



**NANO MİNERALojİK AKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL
ÖZELLİKLERİ VE ISIL SİSTEMDEKİ PERFORMANSA ETKİSİ**

Uğur KARAKAYA

**DOKTORA TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2018

Uğur KARAKAYA tarafından hazırlanan “NANO MİNERALOGİK AKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE ISIL SİSTEMDEKİ PERFORMANSA ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Başkan: Prof. Dr. Adnan SÖZEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Üye: Prof. Dr. İrfan AR

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

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

Üye: Doç. Dr. Çetin ÇAKANYILDIRIM

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Hitit Üniversitesi

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

Üye: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim BİLİCİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Hitit Üniversitesi

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

Tez Savunma Tarihi: 07/05/2018

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

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Uğur KARAKAYA

07/05/2018

NANO MİNERALOGİK AKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE ISIL SİSTEMDEKİ PERFORMANSA ETKİSİ

(Doktora Tezi)

Uğur KARAKAYA

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2018

ÖZET

Bu çalışmada bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit minerolojik malzemeleri içeren nanoakışkanların termofiziksel özellikleri belirlenmiş ve kapalı termosifon tipi ısı borusu performansına olan etkileri incelenmiştir. Spex tipi yüksek enerjili öğütücü kullanılarak 50 nm boyutunda nano parçacıklar üretilmiştir. Bu nano parçacıklar kullanılarak kütlece % 2 minerolojik malzeme ve kütlece % 0,5 sodyum dodesil benzen sülfonat içeren nanoakışkanlar 5 saat ultrasonik karıştırma sonucunda hazırlanmıştır. Hazırlanan nanoakışkanların özgül ısı, ısı iletkenlik ve viskozite değerleri deneysel olarak belirlenmiştir. Nanoakışkanların kullanılarak ısı borusu performans ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Isı borusu deneyleri 40 cm buharlaşma ve yoğunlaşma bölümü ile 20 cm adyabatik bölümden oluşan 1 metre bakır borudan oluşan deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma ısı borusu yatayla 90° açı yapacak şekilde dik konumda, vakum altında, toplam hacminin 1/3'ü olan 44,2 mL nanoakışkan ile dolu halde yapılmıştır. Deneysel çalışma esnasında buharlaştırıcı bölümde 200 W, 300 W ve 400 W ısıtıcı gücü uygulanmış, yoğunlaştırıcı bölümde ise her bir ısıtma gücü için 5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s debide soğutma gerçekleştirilmiştir. Deneyler saf su, bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit içeren nanoakışkanlar ile ayrı ayrı gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit nanoakışkanı kullanılması durumunda ısı borusu buharlaştırıcı bölümünde ortalama sıcaklığın saf suya göre daha düşük olduğu, bu da nanoakışkanların ısı iletkenliğinin daha fazla olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda minerolojik malzeme içeren nanoakışkanlar içerisinde en yüksek verim artışı bentonit içeren nanoakışkanın sağladığı belirlenmiştir. Bentonit içeren nanoakışkan kullanıldığında 200 W ısıtıcı gücü ve 5 g/s soğutma suyu debisinde ısı borusu veriminde saf suya kıyasla % 37 oranında artış olmuştur. Ayrıca bentonit içeren nanoakışkan kullanıldığında 400 W, 5 g/s debide saf suya kıyasla ısı iletkenliğinde yaklaşık % 39'luk bir azalma olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu : 91215
Anahtar Kelimeler : Nanoakışkan, ısı performans, ısı borusu
Sayfa Adedi : 142
Danışman : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

PERFORMANCE EFFECT OF THERMAL SYSTEM AND THERMOPHYSICAL
PROPERTIES OF NANO MINERALOGIC FLUIDS

(Ph. D. Thesis)

Uğur KARAKAYA

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2018

ABSTRACT

In this study, the thermophysical properties of nano-fluids containing bentonite, diatomite, sepiolite and clinoptilolite mineralogical materials were determined and the effects on performance of closed thermosiphon type heat pipe were investigated. Nano particles with a size of 50 nm were produced using a Spex type high-energy mill. Using these nanoparticles, nanoparticles containing 2 % mineralogical material and 0,5 % Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate by mass were prepared by ultrasonic mixing for 5 hours. The specific heat, thermal conductivity and viscosity values of the prepared nanofluids were experimentally determined. Heat pipe performance measurements were performed using nanofluids. Heat conduction tests were carried out with a 40 cm evaporation and condensation section and a 20 cm adiabatic section consisting of 1 meter copper pipe. The experimental work was carried out with the heat pipe filled up with 44,2 mL of nanofluid, which is 1/3 of the total volume under vacuum, in an upright position with a horizontal angle of 90 degrees. During the experimental work, 200 W, 300 W and 400 W of heating power were applied in the evaporator section and 5 g/s, 7,5 g/s and 10 g/s of cooling was performed for each heating power in the condenser section. Experiments were compared with the results obtained by separately using nonaqueous media containing pure water, bentonite, diatomite, sepiolite and clinoptilolite. When bentonite, diatomite, sepiolite and clinoptilolite nanofluids are used, the average temperature in the heat pipe evaporator section is lower than in pure water, which is the result of the nanofluids having higher thermal conductivity. As a result of the experimental study, it was determined that the bentonite containing nanofluids provide the highest efficiency increase among the nanofluids containing mineralogical materials. When using the bentonite-containing nanofluid, heat pipe efficiency of 200 W heater power and 5 g/s coolant water flow increased by 37% compared to pure water. In addition, when bentonite-containing nanofluid was used, a reduction of about 39 % in thermal resistance compared to 400 W, 5 g/s debonded pure water was achieved.

Science Code : 91215

Key Words : Nano fluid, thermal performance, heat pipe

Page Number : 142

Supervisor : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

TEŞEKKÜR

Doktora çalıŐmalarım boyunca her zaman bilgi ve tecrübeleri ile bana katkıda bulunan, manevi güç veren Değerli DanıŐmanım Sayın Prof.Dr. Metin GÜRÜ'ye sonsuz saygı ve teŐekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tez izleme komitesinde bulunan ve tüm çalıŐmalarım boyunca beni destekleyen ve katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Adnan SÖZEN ve Sayın Prof. Dr. İrfan AR'a içtenlikle teŐekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatımın ve yaşamımın her döneminde maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan tüm aileme ve özellikle deneysel çalışmalar sırasında sabırsızlıkla beni bekleyen oğluma sevgilerimi ve teŐekkürlerimi sunarım.

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. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Mineralojik Malzemeler.....	5
2.1.1. Bentonit.....	5
2.1.2. Diatomit	6
2.1.3. Klinoptilolit.....	6
2.1.4. Sepiyolit	7
2.2. Nanoakışkanlar.....	7
2.2.1. Nanoakışkan olarak kullanılan malzemeler	8
2.2.2. Nano parçacık üretim yöntemleri.....	8
2.2.3. Nanoakışkan hazırlama yöntemleri.....	9
2.2.4. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri	9
2.2.5. Nanoakışkanların kararlılığı.....	16
2.2.6. Nanoakışkanların kullanım alanları	18
2.3. Isı Borusu	20
2.3.1. Isı borusunun çalışma prensibi.....	21

	Sayfa
2.3.2. Isı borusunun özellikleri.....	22
2.3.3. Isı borusu çeşitleri	23
2.3.4. Isı Borusunun uygulama alanları	25
2.3.5. Isı borusunda kullanılan akışkanlar.....	25
2.4. Nanoakışkanların Isı Borusunda Kullanımı	26
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	31
3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar.....	31
3.1.1. Nanoparçacık ve nanoakışkan hazırlamak için kullanılan cihaz ve malzemeler	31
3.1.2. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin ölçümü için kullanılan cihaz ve malzemeler	33
3.1.3. Isı borusu deney düzeneği.....	35
3.2. Deneysel Çalışmanın Temelleri	40
3.2.1. Nano parçacık üretimi.....	42
3.2.2. Nanoakışkanların hazırlanması ve kararlılık değerlendirmeleri	43
3.2.3. Termofiziksel özelliklerin belirlenmesi	44
3.2.4. Isı borusu deneyinin yapılışı	46
3.2.5. Teorik hesaplamalar	46
3.2.6. Belirsizlik analizi	47
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	51
4.1. Nano Parçacık Üretimi	51
4.2. Nanoakışkanların Hazırlanması ve Kararlılık Değerlendirmesi	53
4.3. Termofiziksel Özellikler	55
4.3.1 Özgül ısı	55
4.3.2. Viskozite	56
4.3.3. Isıl iletkenlik	57
4.4. Isı Borusu Deney Sonuçları	59

	Sayfa
4.4.1. Isı borusu duvar sıcaklığı sonuçları	59
4.4.2. Isıl direnç.....	100
4.4.3. Verim	113
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER.....	129
KAYNAKLAR	133
EKLER.....	139
EK-1. Isı borusu verim ve ısı direnç örnek hesaplaması	140
ÖZGEÇMİŞ	142

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Isı borularında kullanılan akışkanlar	26
Çizelge 3.1. Bentonit kimyasal bileşimi	41
Çizelge 3.2. Diatomit kimyasal bileşimi.....	41
Çizelge 3.3. Klinoptilolit kimyasal bileşimi	42
Çizelge 3 4 Sepiyolit kimyasal bileşimi	42
Çizelge 3.5. Ölçüm cihazları özellikleri, hassasiyetleri ve ölçüm belirsizlikleri.....	49
Çizelge 4.1. Mineralojik malzemelerin zeta potansiyel sonuçları	54
Çizelge 4.2. Mineralojik nanoakışkanların özgül ısı değerleri	55
Çizelge 4.3. Bentonit içeren nanoakışkanın derişim değişimine bağlı özgül ısı sonuçları.....	56
Çizelge 4.4. Mineralojik nanoakışkanların ısı iletkenlik sonuçları	58
Çizelge 4.5. Bentonit içeren nanoakışkanın derişim değişimine bağlı ısı iletkenlik sonuçları.....	58
Çizelge 4.6. Bentonit nanoakışkanı buharlaştırıcı ortalama duvar sıcaklıkları	65

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Isı borusu	21
Şekil 2.2. Isı borusu çevrimi	22
Şekil 2.3. Mikro ısı boruları.....	23
Şekil 2.4. Düz plaka ısı borusu	24
Şekil 3.1. Isı borusu deney düzeneği şematik görünümü	37
Şekil 3.2. Isı borusu ısıl çift yerleşimi	38
Şekil 4.1. Farklı bilye oranında 7 saat öğütme sonucundaki boyut ölçüm sonuçları ...	51
Şekil 4.2. Klinoptilolit boyut dağılım grafiği	52
Şekil 4.3. 1/17 bilye oranında ve farklı öğütme sürelerindeki boyut ölçüm sonuçları	53
Şekil 4.4. Bentonit nanoakışkanının zeta potansiyeli grafiği	54
Şekil 4.5. Mineralojik nanoakışkanların viskozite sonuçları.....	57
Şekil 4.6. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	59
Şekil 4.7. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 W güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	60
Şekil 4.8. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 W güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	61
Şekil 4.9. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve 5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	62
Şekil 4.10. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve 7,5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	62
Şekil 4.11. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve 10 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	63
Şekil 4.12. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve 5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	64
Şekil 4.13. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve 7,5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	64

Şekil	Sayfa
Şekil 4.14. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	65
Şekil 4.15. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 5 g/s, debide derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	66
Şekil 4.16. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	67
Şekil 4.17. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 10 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	67
Şekil 4.18. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	68
Şekil 4.19. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	68
Şekil 4.20. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 10 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	69
Şekil 4.21. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	69
Şekil 4.22. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	70
Şekil 4.23. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 10 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	70
Şekil 4.24. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	71
Şekil 4.25. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları	72
Şekil 4.26. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 10 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	72
Şekil 4.27. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	73
Şekil 4.28. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları	73
Şekil 4.29. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 10 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	74
Şekil 4.30. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	75

Şekil	Sayfa
Şekil 4.31. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları	75
Şekil 4.32. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 10 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları.....	76
Şekil 4.33. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	77
Şekil 4.34. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	77
Şekil 4.35. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	78
Şekil 4.36. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	79
Şekil 4.37. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	79
Şekil 4.38. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	80
Şekil 4.39. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	81
Şekil 4.40. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	81
Şekil 4.41. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	82
Şekil 4.42. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	83
Şekil 4.43. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	83
Şekil 4.44. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	84
Şekil 4.45. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	85
Şekil 4.46. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	85
Şekil 4.47. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	86

Şekil	Sayfa
Şekil 4.48. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	87
Şekil 4.49. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	87
Şekil 4.50. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	88
Şekil 4.51. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	89
Şekil 4.52. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	89
Şekil 4.53. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	90
Şekil 4.54. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	91
Şekil 4.55. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	91
Şekil 4.56. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	92
Şekil 4.57. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	93
Şekil 4.58. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	93
Şekil 4.59. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 W güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	94
Şekil 4.60. Mineralojik nanoakışkanların 200 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	95
Şekil 4.61. Mineralojik nanoakışkanların 200 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları	95
Şekil 4.62. Mineralojik nanoakışkanların 200 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları	96
Şekil 4.63. Mineralojik nanoakışkanların 300 Watt güçte ve 5 g/s, duvar sıcaklıkları...	96
Şekil 4.64. Mineralojik nanoakışkanların 300 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	97

Şekil	Sayfa
Şekil 4.65. Mineralojik nanoakışkanların 300 Watt güçte ve 10 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	97
Şekil 4.66. Mineralojik nanoakışkanların 400 Watt güçte ve 5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	98
Şekil 4.67. Mineralojik nanoakışkanların 400 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	98
Şekil 4.68. Mineralojik nanoakışkanların 400 Watt güçte ve 10 g/s, debideki duvar sıcaklıkları	99
Şekil 4.69. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütleli debide ısı direnç sonuçları.....	100
Şekil 4.70. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debide ısı direnç sonuçları.....	101
Şekil 4.71. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte güç ve üç farklı kütleli debide ısı direnç sonuçları.....	101
Şekil 4.72. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleli debide derişim değişimine bağlı ısı direnç sonuçları.....	102
Şekil 4.73. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debide derişim değişimine bağlı ısı direnç sonuçları.....	103
Şekil 4.74. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleli debide derişim değişimine bağlı ısı direnç sonuçları.....	103
Şekil 4.75. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı direnç sonuçları.....	104
Şekil 4.76. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı direnç sonuçları.....	105
Şekil 4.77. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı direnç sonuçları.....	105
Şekil 4.78. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları.....	106
Şekil 4.79. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları.....	107
Şekil 4.80. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları.....	107
Şekil 4.81. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları.....	108

Şekil	Sayfa
Şekil 4.82. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütlesele debideki ısı direnç sonuçları.....	108
Şekil 4.83. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütlesele debideki ısı direnç sonuçları.....	109
Şekil 4.84. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütlesele debideki ısı direnç sonuçları.....	110
Şekil 4.85. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütlesele debideki ısı direnç sonuçları.....	110
Şekil 4.86. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütlesele debideki ısı direnç sonuçları.....	111
Şekil 4.87. Mineralojik malzemelerin 200 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki ısı direnç sonuçları.....	112
Şekil 4.88. Mineralojik malzemelerin 300 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki ısı direnç sonuçları.....	112
Şekil 4.89. Mineralojik malzemelerin 400 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki ısı direnç sonuçları.....	113
Şekil 4.90. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki verim sonuçları	114
Şekil 4.91. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki verim sonuçları	114
Şekil 4.92. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki verim sonuçları	115
Şekil 4.93. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki derişim değişimine bağlı verim sonuçları.....	116
Şekil 4.94. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki derişim değişimine bağlı verim sonuçları.....	116
Şekil 4.95. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütlesele debideki derişim değişimine bağlı verim sonuçları.....	117
Şekil 4.96. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütlesele debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları	118
Şekil 4.97. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütlesele debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları	118
Şekil 4.98. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütlesele debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları	119

Şekil	Sayfa
Şekil 4.99. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	120
Şekil 4.100. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	120
Şekil 4.101. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	121
Şekil 4.102. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	122
Şekil 4.103. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	122
Şekil 4.104. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	123
Şekil 4.105. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	124
Şekil 4.106. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	124
Şekil 4.107. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	125
Şekil 4.108. Mineralojik malzemelerin 200 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	126
Şekil 4.109. Mineralojik malzemelerin 300 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	126
Şekil 4.110. Mineralojik malzemelerin 400 Watt güç ve üç farklı kütleseledebideki verim sonuçları	127

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. a: Spex tipi yüksek enerjili öğütücü b: Reaktör ve çelik bilyeler.....	31
Resim 3.2. Ultrasonik banyo.....	32
Resim 3.3. Nano boyut ve zeta potansiyeli ölçüm cihazı	33
Resim 3.4. Özgül ısı deney düzeneği.....	33
Resim 3.5. Viskozitemetre.....	34
Resim 3.6. Isıl iletkenlik deney düzeneği	35
Resim 3.7. Isı borusu deney düzeneği	36
Resim 3.8. Veri kaydedici.....	39
Resim 3.9. Isıl çift.....	39
Resim 3.10. Akış ölçer.....	40
Resim 3.11. Güç kaynağı.....	40

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
c	Özgül ısı [$\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$]
\dot{m}	Kütleli debi [g s^{-1}]
R	Isıl direnç [K W^{-1}]
\dot{Q}_y	Yoğunlaştırıcı ısı transfer miktarı [W]
\dot{Q}_b	Buharlaştırıcı ısı transfer miktarı [W]
W_s	Sonuçlardaki belirsizlik
$W_{Isıl \ Çift}$	Isıl çift belirsizliği
W_{EI}	Elektrikli ısıtıcı belirsizliği
W_D	Debimetre belirsizliği
T	Sıcaklık [K]
ΔT	Sıcaklık farkı [K]
η	Verim
ρ	Yoğunluk [kg m^{-3}]
μ	Viskozite [Pa.s]

Kısaltmalar	Açıklamalar
CTAB	Setil trimetil amonyum bromür
SDBS	Sodyum dodesil benzen sülfonat
Triton X-100	Oktilfenol etoksilat

1. GİRİŞ

Teknolojideki hızlı gelişim enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Özellikle fosil enerji kaynaklarının tükenmeye yüz tuttuğu günümüzde yeni enerji kaynaklarının araştırılması yönündeki çalışmaların önemi artmıştır.

Başta sanayi işletmeleri olmak üzere, güncel yaşamda da enerji önemli bir maliyet kalemi haline gelmiştir. Üretim ve ürün maliyetlerin düşürülebilmesi için enerji maliyetlerinin de düşürülmesi gerekmektedir. Bu sorunda mevcut enerji kaynaklarının daha etkin ve verimli kullanılması yönündeki çalışmalara olan ihtiyacın ne kadar büyük olduğunu göstermektedir.

Enerji yaşamın her aşamasında gerekli olan temel bir ihtiyaç konumundadır. Sanayide enerjiye olan ihtiyacın gerekliliği ne kadar aşikâr ise günlük yaşamda da önemli bir yer tutmaktadır. Günlük yaşamın her noktasında özellikle ulaşım, ısınma ve beslenme gibi alanlarda enerji bağımlılığı ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle mevcut kaynakların etkin verimli bir şekilde kullanılması ve korunması gerekmektedir. Enerji ihtiyacının dengeli bir şekilde karşılanabilmesi için fosil enerji kaynaklarının yanısıra hidrojen, rüzgar, jeotermal gibi alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve kullanımına yönelik yeni projelerin üretilmesi bir gerekliliktir.

Yaşamın her alanında önemli bir ihtiyaç olarak kendini gösteren enerjinin üretiminden kullanımına kadar her aşamada verimliliği arttırmak artık gereksinim haline gelmiştir. Özellikle endüstriyel tesislerde ısıtma sistemlerinde verimlilik kavramı daha da ön plana çıkmaktadır. Endüstriyel uygulamalarda ısıyı bir yerden bir yere transfer etmek için ısı boruları, ısı değiştiriciler ve ısı levhaları çok farklı ısı sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde genellikle ısı taşıma araçları olarak su, yağ ve etilen glikol kullanılmaktadır. Geleneksel olarak bu akışkanlar nükleer santrallerde, kimya, malzeme, savunma sanayi, otomotiv gibi pek çok sanayi kuruluşunda yer alan ısıtma ve soğutma sistemlerinin temel yapıtaşlarıdır.

Isıtma ve soğutma sistemlerde kullanılan akışkanın ısı performansını etkileyen en önemli parametre ısı iletkenliğidir. Bu üç akışkanın da ısı iletkenliğinin düşük olması nedeniyle ısı sistemlerinin performansının kötüleşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle temel akışkan

içerisine özellikle metal parçacıkların eklenmesi ile temel akışkanın ısı iletkenliği dolayısıyla ısı sistemin ısı performansı artırılmaktadır. Temel akışkan içerisine katılan milimetre ve mikrometre boyuttaki parçacıklar ısı transfer cihazlarında birçok probleme neden olmuştur.

Milimetre veya mikrometre boyutunda büyük parçacık içeren akışkanların temel problemi aşğıdaki şekilde özetleyebiliriz.

- Büyük parçacıkların akışkan içerisinde askıda tutulması zor olduğundan hızlı bir şekilde çökmekte,
- Parçacıkların çökmesi nedeniyle ısı transfer cihazlarının akış kanallarında tıkanmalar oluşmakta,
- Süspansiyon içerisinde yer alan bu büyük parçacıkların korozif etkisi nedeniyle kanallarda delinmeler ve erozyonlar oluşmakta,
- Büyük parçacıkların çökmesi akış kanallarında basınç düşüşlerine neden olmaktadır.

Isı transfer cihazlarında milimetre ve mikrometre boyuttaki parçacık içeren akışkanların oluşturduğu bu sorunların üstesinden gelmek amacıyla son yıllarda nanoakışkanlar kullanılmaktadır. Nanoakışkan içerisinde yer alan parçacıkların 100 nm'den daha küçük ve derişim oranının ise en fazla % 10 olması gerekir. Teknolojideki gelişmelere bağlı olarak nanometre boyutunda yüksek ısı iletkenliğe sahip malzeme üretimi gün geçtikçe daha kolay bir hale gelmiştir. Nano boyutta üretilen bu parçacıkların temel akışkan içerisine katılması yeni bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır. Bu yüksek ısı iletkenliğe sahip nano parçacıklar su, etilen glikol veya motor yağı gibi endüstriyel ısı transfer akışkanlarına katılarak ısı transfer cihazlarında kullanılabilir olan yeni nesil nanoakışkanlar hazırlanmıştır.

Temel akışkanın içerisine nano boyutta parçacıkların katılması sonucu oluşturulan süspansiyonlara “nanoakışkan” ismi verilmektedir. Temel akışkanlar olan su etilen glikol ve motor yağı içerisine eklenen nano parçacıklar sayesinde temel akışkanın ısı iletkenliği ve ısı kapasitesi artmakta dolayısıyla kullanıldığı sistemde verim artışına neden olmaktadır.

Temel akışkan içerisine nano parçacıkların eklenmesi sonucunda;

- Nano parçacıklar arasında çarpışmaların artması nedeniyle parçacık-parçacık etkileşimi artmakta,
- Nano parçacıkların süspansiyon içerisinde dağılması nedeniyle temas yüzeyi artmakta,
- Akışkan içerisinde bulunan nano parçacıklar akışkanın çalkantı ve türbülans şiddetleri arttırmakta,
- Yeni oluşan akışkanın ısı iletkenliği artmakta,
- Akışkan ile ısıtma yüzeyi arasında oluşan buhar kabarcıkları boyutu küçülerek ısı direncin azalması sağlanmakta,
- Sonuç olarak nano akışkanlar kullanıldığı sistemin ısı performansının iyileşmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı; klinoptilolit, sepiyolit, diatomit ve bentonit gibi mineralojik malzemeler kullanılarak hazırlanan nano mineralojik akışkanların termofiziksel özellikleri belirlemek ve nano mineralojik akışkanların ısı borusundaki performans etkilerini incelemektir. Öncelikle mineralojik malzemeler spex tipi yüksek enerjili öğütücü kullanılarak nano boyuta getirilmiştir. Temel akışkan olarak su kullanılarak nano mineralojik akışkanlar hazırlanmıştır. Nanoakışkanların ısı borusundaki performans değişimleri saf suya kıyasla incelenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüzde enerjinin verimli kullanımı ve yeni enerji kaynaklarının araştırılması üzerine yapılan çalışmaların önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu nedenle alternatif enerji kaynaklarının araştırılması üzerine yürütülen çalışmalar hız kazanmakta, ayrıca mevcut enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılabilmesi için yeni çalışmalar yürütülmektedir.

Isı boruları ısı değiştiriciler ve ısı plakaları gibi sanayinin ve hatta günlük yaşamın her aşamasında kullanılan sistemlerde ısının bir yere taşınması esnasında veriminin artırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Son yıllarda ısının taşınması için kullanılan sistemlerde verimin arttırılabilmesi için nano boyutta parçacıkların temel akışkan içerisine eklenerek oluşturulan nanoakışkanlar üzerinde yürütülen çalışmalar hız kazanmıştır.

Literatür incelendiği zaman nanoakışkan hazırlamak için kullanılan nano parçacıkların çok çeşitli olduğu görölmektedir. Nanoakışkanlar üretiminde kullanılan malzemeler saf metaller, alaşımlar ve oksit bileşenler (Al_2O_3 , CuO , SiO_2 , ve TiO_2) olarak sıralanabilir.

2.1. Mineralojik Malzemeler

Bu çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden elde edilmiş olan bentonit, sepiyolit, klinoptilolit ve diatomit mineralojik malzemeleri kullanılmıştır.

2.1.1. Bentonit

Bentonit; alüminyum ve magnezyum bakımından zengin volkanik kül, tuf ve lavların kimyasal ayrışması sonucu oluşmuş alüminyum hidrosilikattan oluşan kil mineralidir. Bentonit suyla temas ettiği zaman şişebilen, asitle aktifleştirilebilen, geniş yüzey alanına sahip bir kildir. Tane boyutu, tane şekli, yüzey kimyası, yüzey alanı, renk, aşındırma, absorpsiyon ve adsorpsiyon vb. özelliklerinden dolayı birçok teknolojik uygulamalarda kullanılmaktadır. Özellikle gıda, kağıt, seramik, ilaç, kozmetik, mürekkep ve boya, sabun, temizleyici ve parlatici malzemeler, lastik sanayinde, radyoaktif atık arıtımında, tarım ve hayvancılıkta, su arıtımında, yapıştırıcılarda ve yangın söndürücülerde kullanım alanları bulunmaktadır. Türkiye'de bentonit özellikle Eskişehir, Ankara, Elazığ, Biga Yarımadası,

Gelibolu Yarımadası, Çankırı, Ordu, Trabzon ve Malatya bölgelerinden elde edilmektedir [1].

2.1.2. Diatomit

Diatomit; su yosunları sınıfından tek hücreli mikroskobik alglerin fosilleşmiş silisli yapılarının yanısıra kil, kum, volkanik kül ve diğer organik kalıntılardan oluşan bir mineraldir. Diatomit çok yüksek absorpsiyon kapasitesi, yüksek gözeneklilik özelliği, erime noktasının yüksek olması küçük tane boyutuna öğütülebilmesi gibi özellikleri nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada yer bulmaktadır. Diatomit filtre malzemesi, dolgu maddesi, yapı malzemesi, absorbent, aşındırıcı, katalizör ve katalizör taşıyıcısı, izolasyon silika kaynağı, gübre sanayiinde düzenleyici gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Diatomitin Türkiye’de çıkarıldığı başlıca şehirler Çankırı, Aydın, Afyon, Konya, Ankara, Bingöl, Balıkesir, Eskişehir, Çanakkale, Denizli, Kayseri, Niğde, Kütahya, Sivas ve Van olarak sayılabilir [2,3].

2.1.3. Klinoptilolit

Zeolitler kimyasal yapısında oksijen, alüminyum ve silika içeren sulu alümina silikat mineralleridir. Klinoptilolit ise doğal bir zeolit türüdür. Üç boyutlu kafes yapısına sahip alümina silikat olarak da adlandırılmaktadırlar. Klinoptilolitin kafes yapısında yer alan çok geniş kanal ve boşluklar bulunmaktadır. Bu kanal ve boşlukları ayrıca negatif yük taşımaları sayesinde pozitif yüklü iyonları, atomları ve diğer malzemeleri bünyesinde tutabilmektedir. Bu özelliği sayesinde elek ve filtre görevi yapabilmektedir. Klinoptilolit koku gidermesi, iyon değişim yeteneği, filtre edebilme kabiliyeti, kimyasal ve moleküler elek özelliği ile gaz adsorpsiyon yeteneği nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada yer almaktadır. Özellikle uzay teknolojisi, kimya, madencilik, metalürji, sağlık, inşaat tarım ve hayvancılık sektörleri ile kâğıt ve deterjan sanayi gibi birçok kullanım alanına sahiptir. Türkiye’de özellikle Kapadokya Bölgesinde, Ankara’nın Nallıhan, Beypazarı, Polatlı, ilçelerinde ve İzmir çevresinden elde edilmektedir [4].

2.1.4. Sepiyolit

Sepiyolit; magnezyum hidrosilikat'tan oluşmuş bir kil mineralidir. Yüzey alanının büyük olması, kristal yapısı, kimyasal bileşimi ve sulu çözeltilerde viskozite özellikleri nedeniyle birçok teknolojik uygulamalarda kullanılmaktadır. Hayvancılık sanayinde koku giderici olarak, yemeklik sıvı yağlar ile madeni yağların rafinasyon işlemlerinde, atık suların arıtılmasında, ilaç sanayinde deterjan ve temizlik malzemelerinin üretimi gibi pek çok alanda kullanılmaktadır. Türkiye'de Eskişehir, Çanakkale, Bursa, Kütahya ve Isparta'da bulunmaktadır [5].

2.2. Nanoakışkanlar

Nanometre boyutundaki parçacıkların temel akışkan içerisine katılarak temel akışkanın ısı taşıma özelliklerinin geliştirilmesi yeni bir yaklaşım olarak ortaya çıkmıştır. Bu nanometre boyutundaki katı parçacıkların bulunduğu akışkanlara “nanoakışkan” ismi verilmektedir.

Nanoakışkan kavramı ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların sıvı içindeki süspansiyonu olarak tanımlanmıştır. Choi'e tarafından düşük derişim oranlarında bile nanoakışkanların ısı iletim katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır [6].

Temel akışkan içerisine nano parçacık katılarak hazırlanan nanoakışkanların ısı transfer performansını iyileştirmesini sağlayan temel faktörler şu şekilde sıralanabilir;

- Temel akışkan içerisine katılan yüksek ısı iletkenliğine sahip nano parçacıklar yeni akışkanın ısı iletkenliğini arttırmakta,
- Nano parçacıklar sayesinde nanoakışkanın yüzey alanı ve ısı transfer temas yüzeyi artmakta,
- Nano parçacıkların ısı kapasitesi yüksek olduğundan dolayı yeni akışkanın ısı kapasitesi artmakta,
- Nanoakışkan içerisinde dağılmış olan nano parçacıklar çalkantı ve türbülans şiddetinin artmasını sağlamakta,
- Nano parçacıkların saçılması akışkanın enine sıcaklık gradyanının düzleşmesine neden olmaktadır [7-9].

2.2.1. Nanoakışkan olarak kullanılan malzemeler

Literatür incelendiği zaman temel akışkan ve nano parçacık kullanımının çok çeşitli olduğu görülmektedir. Nanoakışkanlar içerisinde kullanılan nano parçacık türüne göre 4 sınıfa ayrılabilir.

1. Seramik Nanoakışkanlar: Seramik nanoakışkanların üretimi diğer nanoakışkanlara göre çok daha kolaydır ve bu nanoakışkanlar daha kararlıdır. Bu sınıfa örnek olarak SiO_2 , MgO , CaO , Al_2O_3 , Na_2O , Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , ZnO_2 ve SiC verilebilir.
2. Saf Metal Nanoakışkanlar: Metallerin ısı iletkenliği yüksek olduğundan dolayı oluşturdukları nanoakışkanların ısı iletkenlikleri diğerlerine göre çok daha yüksektir. Örnek olarak Ag , Mg , Zn , Fe , Au verilebilmektedir.
3. Alaşımli Nanoakışkanlar: Alaşımli metallerden oluşan nanoakışkanlardır. Bu sınıfa örnek olarak Ag-Cu , Ag-Al , Al-Cu alaşımları verilebilir.
4. Karbon Esaslı Nanoakışkanlar: Karbon esaslı nanoakışkanlar yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaları ve düşük yoğunluk nedeniyle tercih edilmektedir. Bunlara karbon nano tüp, elmas, grafit örnek olarak verilmektedir [9].

2.2.2. Nano parçacık üretim yöntemleri

Nano parçacıklar genellikle küçük parçadan büyük taneye getirme ve iri parçalardan küçültme olarak adlandırılan iki ana yöntem kullanılarak üretilmektedir [10].

İri parçalardan küçültme yönteminde malzemeye dışarıdan mekanik enerji verilir ve sonuçta malzemenin nano boyuta kadar küçük parçalara ayrılması sağlanır. İri parçalardan küçültme yöntemine mekanik aşındırma ve öğütme örnek olarak verilebilir. Bu yöntemde geleneksel yöntemlere göre çok daha yüksek enerji ihtiyacı olduğundan dolayı yüksek enerjili öğütme olarak da adlandırılmaktadır.

Küçük parçadan büyük taneye olan nano parçacık üretim yönteminde ise atomlardan başlanarak kimyasal yöntemler ile boyut istenilen büyüklüğe kadar getirilmektedir. Kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, sol jel ve sprey piroliz yöntemleri bu yöntemlere örnek olarak verilebilir.

2.2.3. Nanoakışkan hazırlama yöntemleri

Nanoakışkan hazırlamak için iki yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin birincisi tek aşamalı, ikincisi ise iki aşamalı yöntemdir [11].

1. Tek aşamalı yöntem; Tek aşamalı yöntem temel akışkan içerisinde nano parçacık üretimi yöntemidir. Bu yöntemde örnek olarak fiziksel buhar biriktirme, sıvı kimyasal yöntem verilebilir. Tek aşamalı yöntem ile hazırlanan nanoakışkanlar temel akışkan içerisinde nano parçacıkların üretilmesi nedeniyle daha kararlı bir yapıya sahiptir.
2. İki aşamalı yöntem; Bu yöntemde daha önce üretimi yapılan nano parçacıklar temel akışkan içerisine karıştırılarak nanoakışkanlar hazırlanır. İlk işlem olarak fiziksel ya da kimyasal yöntemler kullanılarak nano parçacıklar üretilir. İkinci işlem olarak ise bu üretilen nano parçacıklar temel akışkan içerisine homojen olarak dağılması sağlanarak nanoakışkanlar hazırlanır.

2.2.4. Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri

Temel akışkan içerisine nano parçacık eklenmesi ile oluşturulan nanoakışkanların ısı iletkenlik, viskozite, özgül ısı ve yoğunluk gibi termofiziksel özellikleri değişmektedir. Termofiziksel özellikleri nanoakışkanın cinsi, şekli, boyutları, derişim oranı, temel akışkanın cinsi, çalışma sıcaklığı, pH, topaklaşma miktarı gibi birçok parametre termofiziksel özellikleri değiştirmektedir.

Isıl iletkenlik

Temel akışkan içerisine nano parçacık ilavesi ile oluşan yeni nanoakışkanın ısı iletkenliği artmaktadır. Bunun birinci nedeni, nanoparçacıkların ısı davranışını kontrol eden mekanizma olan Brown hareketidir. İkinci nedeni ise katı parçacık yüzeyine yakın sıvı moleküller katmanlı yapılar sayesinde katı sıvı arasında ısı bir köprü oluşturmasıdır [12].

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini birçok parametre etkilemektedir. Bunlar temel akışkan, nano parçacık cinsi, nano parçacık boyutu, nano parçacık şekli, derişim, pH ve sıcaklık olarak sayılabilir.

Temel akışkanın etkisi

Temel akışkanın ısı iletkenliğinin nanoakışkanın ısı iletkenliği üzerinde büyük etkisi olmaktadır. Al₂O₃ içeren nanoakışkan üzerine yapılan çalışmada, temel akışkan olarak su, etilen glikol, gliserin, yağ kullanılmış ve çalışma sonucunda ısı iletkenliği en düşük olan maddenin temel akışkan olarak kullanılması durumunda oluşan nanoakışkanın ısı iletkenliği artmıştır [13].

Nano parçacık malzeme cinsinin etkisi

Nano parçacıkların ısı iletkenliği nanoakışkanın ısı iletkenliği üzerinde büyük etkiye sahiptir. Au, Ag, Cu, Fe, vs. gibi yüksek ısı iletkenliğe sahip metal nanoparçacık içeren nanoakışkanların CuO, Al₂O₃, TiO₂, ZnO, SiC, SiO₂ gibi metal oksit nano parçacıkları içeren nanoakışkanlara göre ısı iletkenlikleri daha fazladır [14].

Temel akışkanı etilen glikol olan bakır nano parçacıkların aynı hacimsel derişimde oksit nano parçacıklara göre daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir. Bakır-etilen glikol esaslı % 0,3 hacimsel derişime sahip nanoakışkanın ısı iletkenliği % 40 oranında artmıştır [15].

Nano parçacık şeklinin etkisi

Nanoakışkan çalışmalarında genellikle küresel ve silindirik olmak üzere iki tür parçacık kullanılmaktadır. Temel akışkan olarak etilen glikol kullanılarak küresel (d = 26 nm) ve silindirik (d = 60 nm) SiC nano parçacıklardan oluşan nanoakışkanın ısı iletkenlikleri incelenmiştir. Silindirik parçacık içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik artışı % 23 iken küresel parçacık içeren nanoakışkanın ısı iletkenliğinde % 15'lik bir artışın olduğu belirlenmiştir [16].

Benzer olarak temel akışkanı su olan ve küresel (d = 15 nm) ve silindirik (ortalama boyut d = 10 nm ve l = 40 nm) TiO₂ nano parçacık içeren nanoakışkanla gerçekleştirilen çalışma sonucunda, silindirik nanoakışkanın ısı iletkenliği ortalama % 33 artar iken küresel nanoakışkanlarda bu değerin % 30 civarlarında olduğu raporlanmıştır [17].

Silindirik nano parçacıklardan oluşturulan nanoakışkanın küresel nano parçacıklardan oluşan nanoakışkanlara göre ısı iletkenliğinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Silindirik

parçacıkların uzunluk yönünde yüksek ısı iletkenliğe sahip olmasının bu hususta etkili olduğu ifade edilmiştir [18].

Nano parçacık boyutunun etkisi

Küçük nano parçacık içeren nanoakışkanların ısı iletkenliği daha büyüktür. Küçük nano parçacıkların rasgele hareketinin daha fazla olması nedeniyle ısı iletkenliği artmaktadır.

Al₂O₃ - Su esaslı nanoakışkanın parçacık boyutunun ısı iletkenlik oranı üzerindeki etkisi incelenmiş ve parçacık boyutunun azalmasıyla birlikte nanoakışkanın ısı iletkenliği artmıştır [19].

Ortalama 47 nm boyutunda Al₂O₃ nano parçacıkları içeren % 1 hacimsel oranda nanoakışkanın ısı iletkenlik artışının aynı hacimsel oranda 150 nm boyutunda parçacık içeren nanoakışkana kıyasla yaklaşık iki kat daha fazla olduğu ortaya konulmuştur [20].

Değişimin etkisi

Nanoakışkanın ısı iletkenliği nano parçacık derişimine doğrudan bağlıdır. Değişim değişiminin etkisini incelemek amacıyla saf metaller (Cu, Ag, Au, Al, Fe), oksitler (TiO₂, Al₂O₃, CuO) ve karbon nanotüpler gibi farklı nano parçacık tiplerinde araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

Ag - Su nanoakışkanın ısı iletkenlik değişimleri % 0,1 ile % 0,39 hacimsel derişim oranlarında incelenmiş ve ısı iletkenlik artışının % 3'ten % 11'e yükseldiğini raporlanmıştır [21].

TiO₂ nano parçacık içeren nanoakışkanın hacimsel derişimi % 0,2'den % 2'ye arttırıldığında, ısı iletkenlik % 7,2'den % 13,2'ye yükselmiştir [22].

Sıcaklığın etkisi

Literatürde yer alan genel eğilim, sıcaklık arttıkça nanoakışkanın ısı iletkenliğinin arttığını göstermektedir.

Al_2O_3 (d = 38,4 nm) - Su esaslı nanoakışkanın ısı iletkenlik sıcaklık arasındaki ilişkisi incelenmiştir. Hacimsel derişimi % 1 olan nanoakışkanın 21 °C ila 51 °C sıcaklıklarında gerçekleştirilen deney sonucunda ısı iletkenliğin % 2'den % 10,8'e yükseldiği belirlenmiştir. Ayrıca hacimsel oran % 4 arttırıldığı zaman 21 °C'de ısı iletkenlik % 9,4'den 51 °C'de % 24,3'e yükseldiği, her iki hacim derişiminde sıcaklıktaki artışa bağlı olarak ısı iletkenliğin doğrusal olarak arttığı sonucuna varılmıştır [23].

Fe_3O_4 - Su esaslı % 1 derişim oranında nanoakışkanın sıcaklığının 10 °C'den 40 °C'ye yükseldiğinde ısı iletkenlik artışının % 2,8'den % 8,9'a yükseldiği [24], sıcaklığın CNT nanoakışkanının ısı iletkenliğinin arttırılması üzerine büyük etkisi olduğu ve sıcaklığın 20 °C'den 30 °C'ye yükseldiğinde ısı iletkenliğin % 10'dan % 79'a yükseldiği belirtilmiştir [25].

pH'nin etkisi

Diğer değişkenlere göre pH değerindeki değişimin ısı iletkenlik üzerine etkisini inceleyen çalışmalar daha kısıtlıdır. Genel olarak incelendiğinde pH arttıka nanoakışkanın ısı iletkenliğinin düştüğü gözlemlenmektedir.

Al_2O_3 - Su esaslı nanoakışkan pH 2'den 11,5'e yükseldiğinde ısı iletkenlik değeri % 23'ten % 19'a düşmüştür [26]. Bir başka çalışmada, yüzey aktif madde olarak sodyum dodesil benzen sülfonat içeren Cu-Su ve Al_2O_3 - Su nanoakışkanların pH ısı iletkenlik değişimi incelenmiştir. Al_2O_3 - Su nanoakışkanın en yüksek ısı iletkenlik artışını pH 8'de sağladığı, temel akışkan ısı iletkenliğinin pH ile belirgin bir şekilde değişmediği raporlanmıştır [27].

Topaklaşmanın etkisi

Topaklaşma, nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen önemli parametrelerden biridir. Derişim arttıka ve zaman uzadıka nanoakışkanların çökmesi artmakta, dolayısıyla ısı iletkenliğin azalmasına neden olmaktadır.

Fe - Etilen glikol esaslı nanoakışkanın 0-70 dakika aralığında ultrasonik titreşime tabi tutulmuş, ultrason süresine bağlı olarak ısı iletkenliğin arttığı, belirli bir doğgunluk değerinde kararlı hale geldiği, ultrason sonrasında zaman arttıka topaklaşmanın etkisi ile ısı iletkenliğin azaldığı belirlenmiştir [28].

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini ölçme yöntemleri

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini ölçmek için Geçici Sıcak Tel Yöntemi, Geçici Düzlem Kaynağı Yöntemi, Sıcaklık Salınım Yöntemi ve Kararlı Hal Paralel Plaka Yöntemi kullanılmaktadır.

Geçici Sıcak Tel Yöntemi: İlk olarak De Groot ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu yöntem yaygın olarak kullanılmaktadır. Geçici sıcak tel yönteminde silindirik bir akışkan hacminin ekseni boyunca sarılan ve akım taşıyan bir tel tarafından ısıtılmaktadır. Telde meydana gelen sıcaklık artışının diferansiyeli zamana bağlı grafiği çizilmektedir. Doğrusal olan bu grafiğin eğiminden ısı iletkenlik hesaplanmıştır [29].

Geçici Düzlem Kaynağı Yöntemi: Geçici sıcak tel yönteminde yapılan değişikliklerle oluşturulan yeni bir ölçüm yöntemidir. Ölçümler esnasında nikelden yapılmış olan bir sensörün direncinin sıcaklık katsayısı kullanılmaktadır. Banyonun sıcaklığı nikel sensörün hemen yanında bulunan ölçüm örneğinin sıcaklığı ile karşılaştırılmaktadır. Bu yöntemde ısı iletim katsayısını ölçmek için Fourier yasası kullanılmaktadır.

Sıcaklık Salınım Tekniği: Santucci ve arkadaşları tarafından geliştirilen bir yöntemdir. Akışkan ile doldurulan silindirik bir hacmin iki ucuna salınımlı sıcaklık sınır şartları uygulanarak ısı iletkenlik ölçümü yapılmaktadır [30].

Kararlı Hal Paralel Plaka Tekniği: Bu yöntemin temelinde sıvı tabakası sabit sıcaklıkta tutulurken ısı akışı bu değişimin fonksiyonu olarak deneysel olarak ölçülür. Ölçüm yapabilmek için iç içe geçmiş silindir ve plakalar ile yapılmaktadır. İç içe geçmiş olan silindirlerin arasına akışkan konulur ve ısı iç silindirden üretilmektedir. Paralel plakalarda ise akışkan iki paralel plaka arasına konulur ve üst plakadan ısı üretilerek ölçümler gerçekleştirilir.

Viskozite

Bir akışkanın viskozitesi ısı transfer uygulamaları, pompalama için gerekli olan güç, akış kanallarında basınç düşüşü ve kanal yüzeylerinde oluşan aşınma gibi olaylarla doğrudan ilişkilidir. Isıl sistemlerde kullanılan nanoakışkanlar için viskozite önemli bir parametredir. Viskozite doğrudan doruya pompalama gücünü etkilemektedir. Nanoakışkanın viskozitesi

nano parçacık türü, boyutu, şekli, derişimi, kayma hızı ve sıcaklık gibi birçok parametreye bağlıdır.

Sıcaklık

Sıcaklık nanoakışkanların viskozitesi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Sıcaklık arttıkça viskozite azalmaktadır. 36 ve 47 nm boyuta sahip Al_2O_3 su esaslı nanoakışkan dinamik viskozitesi üzerine etkisi incelenmiş ve parçacık boyutu arttıkça viskozitenin arttığı, ancak sıcaklık artışı ile viskozitenin azaldığı sonucuna varılmıştır [31]. ZnO nano parçacıklardan oluşan nanoakışkanın 35-55 °C arasında viskozitesi incelenmiş ve sıcaklık artışı ile viskozitenin azaldığı belirlenmiştir [32]. TiO_2 – Su içeren nanoakışkanın 13-55 °C sıcaklık aralığında ısıl iletkenlik ile viskozitede olan değişim incelenmiş ve sıcaklığın artması ile viskozitenin azaldığı tespit edilmiştir [33].

Derişim

Nanoakışkanların derişimi viskoziteyi doğrudan etkileyen parametrelerdendir. Yapılan çalışmalar nano parçacık derişimi arttıkça viskozitenin arttığını göstermiştir [33, 34].

Temel akışkan olarak yağ kullanılan CuO esaslı nanoakışkanın farklı sıcaklıklarda % 0,2-2 derişim oranında viskozite değişimleri incelenmiş, tüm derişim oranı ve sıcaklıklarda newtonian davranışını gösterdiği belirlenmiştir [35]. Al_2O_3 - Su esaslı 43 nm nano parçacık içeren nanoakışkanın %5 derişim oranında viskozitenin iki katına çıktığı ifade edilmiştir [36].

Kayma hızı

Kayma hızında meydana gelen değişime göre nanokışkanlar Newtonian ve non-Newtonian olarak iki kısımda incelenmektedir. Newtonian akışkanlarda viskozite sıcaklığa bağlı olarak değişmekte olup, yüzey gerilimi ve zamanın herhangi bir etkisi yoktur. Non-Newtonian akışkanlar ise bu koşula uymazlar. Kayma hızındaki artışa bağlı olarak parçacık etkileşimi azalarak kopar ve akışkan Newtonian davranış gösterir.

Karbon nanotüp - Su esaslı nanoakışkanların viskozitesi, yüksek nano parçacık derişimlerinde de kayma hızı deneysel olarak incelenmiş, düşük derişimlerde newtonian

davranış gösterdiği, yüksek kayma hızında ise bağıl viskozitenin sıcaklık ile değişmediği raporlanmıştır [37].

ZnO - Etilen Glikol esaslı nanoakışkanların viskozite üzerindeki etkisi incelenmiş, düşük derişim oranlarında newtonian davranış gösterir iken yüksek derişimlerde non-newtonian davranış göstermiştir [38].

Nano parçacık boyut ve şekli

Nanoakışkanın şekli ve boyutunun viskoziteyi etkileyebilmektedir. Al₂O₃ - Su içeren nanoakışkanın 36 nm ve 47 nm iki farklı nano parçacık boyutunda viskozite değişimi incelenmiş ve 47 nm boyutunda 36 nm boyutundan daha yüksek viskoziteye sahip olduğunu belirlenmiştir [31].

Özgül ısı

Özgül ısı nanoakışkanların ısı aktarımını etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir. Bir maddenin özgül ısısı, 1 gram maddenin sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gerekli olan ısı enerjisidir.

Karbon nanotüpten oluşan nanoakışkanın özgül ısı kapasitesine nano parçacık boyutu ve sıcaklığın etkisi incelenmiş, sonuçta özgül ısının belirli bir sıcaklıkta nano parçacık boyut ve şekline bağılı olmadığı sonucuna varılmıştır [39].

Yüksek sıcaklıkta çalışan nanoakışkan elde etmek amacıyla temel akışkan erimiş tuz olan dört farklı boyutlarda (5, 10, 30 ve 60 nm çapında) silikon-dioksit nano parçacıkları içeren nanoakışkan hazırlanmıştır. Özgül ısı değerleri diferansiyel taramalı kalorimetre ile ölçülmüş, sonuçta özgül ısı değerinin nano parçacık boyuta bağılı olmaksızın temel akışkaninkine göre % 25 oranında artmıştır [40].

Tek aşamalı yöntem kullanılarak üretilen bakır nanoakışkanın özgül ısı değeri diferansiyel taramalı kalorimetre yöntemi ile ölçülmüş, bakır nano parçacıkların kristalleşme ve ergime özelliklerini değiştirdiğini ve incelenen sıcaklık aralığında nanoakışkanın özgül ısı değerlerinin arttığı belirlenmiştir [41].

İnorganik hidrat tuzu esaslı kütlece % 0,1, 0,3 ve 0,5 nano parçacık içeren nanoakışkan hazırlanmış ve özgül ısı değişimi diferansiyel taramalı kalorimetre ile ölçülmüştür. Sonuçta, % 0,3 derişim için özgül ısının % 83,5'e kadar arttığı tespit edilmiştir [42].

Yoğunluk

Yoğunluk nanoakışkanlar için önemli bir termofiziksel özellik olarak değerlendirilmektedir.

Al₂O₃ - Su esaslı nanoakışkanın kütlece % 0,5 ile % 7 derişimlerdeki yoğunluklarını deneysel olarak ölçmüştür. Sonuçta yoğunluk, derişim arttıkça artmıştır [43].

Su etilen glikol karışımına karbon nanotüplerin eklenmesi ile oluşan nanoakışkanın yoğunluğu incelenmiş ve teorik modeller ile karşılaştırılmıştır. Nanoakışkan yoğunluğunun temel akışkan yoğunluğundan daha yüksek olduğu ve düşük derişimler için deneysel ölçüm sonuçları ile teorik hesaplamalar aynı sonucu verdiği raporlanmıştır [44].

Al₂O₃ - Su esaslı nanoakışkanın yoğunluğu deneysel olarak ölçülmüş ve teorik modeller ile hesaplanan değerlerden sapmalar gözlemlenmiştir. Hesaplama ile deneysel ölçüm arasında yaklaşık % 1,50-0,06 ve %0,25-2,53 aralığında sapma olduğunu raporlanmıştır. Ayrıca hesaplanan yoğunluk sonuçları, nanoakışkanın derişimi arttıkça arttığını göstermektedir [45].

2.2.5. Nanoakışkanların kararlılığı

Nanoakışkan hazırlama çalışmalarındaki temel problem topaklaşmayı önleyerek kararlı bir yapı oluşturmaktır. Topaklaşma yalnızca nanoakışkanın bulunduğu kanallarda tıkanmaya yol açmaz aynı zamanda ısıl iletkenliğinde düşmesine neden olur. Bu nedenle topaklaşmanın önlenerek kararlılığın artırılmasına yönelik yapılan çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Nanoakışkanların kararlılığını arttırma yöntemleri

Yüzey aktif madde eklenmesi

Yüzey aktif maddeler suda veya sulu bir çözeltide çözüldüğünde yüzey gerilimini azaltan kimyasal bileşiklerdir. Yüzey aktif madde su tarafından itilen (hidrofob) ve su tarafından çekilen (hidrofil) olmak üzere iki grup molekülden meydana gelmektedir. Yüzey aktif maddeler molekül yapısında bulunan hidrofob kısım normal olarak dallanmış hidrokarbon diğer kısım ise hidrofil iyonik veya kuvvetli polar gruplardan oluşmaktadır. Yüzey aktif maddeler dört gruba ayrılır, bunlar; anyonik, katyonik, noniyonik ve amfoterik'tir [46].

Yüzey aktif maddeler nano parçacık ile temel akışkan arasındaki ara yüzeyi değiştirerek topaklaşmayı engellemektedir. Nano parçacık yüzeyine absorbe olan yüzey aktif maddeler yüzeyin enerjisini azaltarak topaklaşmayı önlemektedir. Sodyum dodesil benzen sülfonat, sodyum dodesil sülfat, Triton X-100 ve setil trimetil amonyum bromit (CTAB) yaygın olarak kullanılan yüzey aktif maddelerdir.

Nanoakışkanın pH değerini kontrol etmek

Nanoakışkanın kararlılığını belirleyen temel parametre elektro kinetik özelliklerdir. Nano parçacık yüksek yüzey yüküne sahip ise birbirlerini çok güçlü bir şekilde itecekleri için nanoakışkan içerisinde dağılarak kararlı bir yapı oluştururlar. İzoelektrik noktada nano parçacıkların yüzey yükü sıfır olduğundan, nanoakışkanın kararlı bir yapıya sahip olabilmesi için pH değerinin izoelektrik noktadan uzak olması gerekir.

Al_2O_3 - Su esaslı nanoakışkanın kararlılığı, ısı iletkenliğinin pH ve yüzey aktif madde olan sodyum dodesil benzen sülfonat derişimi ile değişimi incelenmiştir. Sonuçta nanoakışkan kararlılığı ve ısı iletkenliğinin, pH ve sodyum dodesil benzen sülfonat derişimlerine oldukça bağımlı olduğu sonucuna varılmıştır [27].

Magnezyum oksit-etilen glikol nanoakışkanın pH ve ısı iletkenliği sıcaklık, derişim, parçacık boyutu ve ultrason enerjisine göre değişimleri incelenmiştir. Sıcaklık artışı ile birlikte pH değerleri düşerken elektriksel iletkenlik değerinin arttığı, MgO derişimindeki artışın pH ve elektrik iletkenliği arttırdığı, ultrason enerjisini arttırmanın pH ve elektriksel iletkenlik üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı raporlanmıştır [47].

Nanoakışkanların kararlılığını belirleme yöntemleri

Nanoakışkanların kararlılığını belirleme için genellikle zeta potansiyeli ölçme yöntemi, elektron mikroskobu ölçme yöntemi ve UV spektrometre ölçme yöntemi kullanılmaktadır.

Zeta potansiyeli ölçme yöntemi

Zeta potansiyeli ölçümü kararlılık analizi için kullanılan en etkin ve yaygın yöntemdir. Zeta potansiyeli nano parçacık ile temasta olan temel akışkanın arasındaki yük farkıdır. Aynı yüke sahip nano parçacıklar arasındaki itmenin derecesini göstermektedir. Zeta potansiyeli, yüksek pH değerlerinde negatif, düşük pH değerlerinde ise pozitif değere sahiptir. Mutlak zeta potansiyeli büyük ise nano parçacıklar arasındaki itme gücü yüksek olacağından dolayı nanoakışkan kararlı bir yapıya sahip olacaktır [48].

Elektron mikroskobu ölçme yöntemi

TEM (Transmission Electron Microscope-Geçirimli Elektron Mikroskobu) ve SEM (Scanning Electron Microscope-Taramalı Elektron Mikroskobu) elektron mikroskopları nanoakışkan içerisinde yer alan nano parçacıkların boyut, şekil ve topaklaşmasını belirlemek amacıyla kullanılır. Ancak gerçek zamanlı bir ölçüm yöntemi değildir. Islak analiz yapılmadan önce kurutulması gerekmektedir [48].

UV spektrometre ölçme yöntemi

Diğer bir yöntem ise UV Spektrometre ölçüm yöntemidir. Nanoakışkanın emiliminin ölçülmesi yöntemidir. Nanoakışkan içerisindeki derişim arttıkça çökelme de artmaktadır. Bu ölçüm yöntemi yüksek derişimler için uygun bir yöntem değildir [48].

2.2.6. Nanoakışkanların kullanım alanları

Nanoakışkanlar geleneksel ısı transfer akışkanları olan su, etilen glikol ve yağa kıyasla ısı transfer özelliklerinin yüksek olması nedeniyle gün geçtikçe ilgi çeken bir alan olmaktadır. Yürüten çalışmalarda nano parçacıklar temel akışkanın ısı iletkenliğini arttırmak için kullanılmaktadır. Etkin ve yüksek ısı iletkenlik akışkandan ısı transferini arttırmak için önemli bir faktördür.

Bu özellikleri nedeniyle otomotiv soğutma sistemlerinde, güneş kolektörlerinde, endüstriyel ısıtma ve soğutma uygulamalarında, havacılık ve savunma sanayinde, elektronik uygulamalar gibi birçok alanda nanoakışkanlar kullanılmaktadır.

Otomotiv soğutma sistemleri

Otomobillerin motorlarını soğutmak akışkan olarak ısı iletkenliği düşük olan su veya etilen glikol kullanılarak, ısı değiştirici görevi yapan radyatörler ile gerçekleştirilmektedir. Otomobillerin verimi arttıkça soğutma ihtiyacı da artmakta olup, bu ihtiyaç ısı iletkenliği yüksek nanoakışkanlar kullanılarak giderilmektedir. Otomobillerde kullanılan nanoakışkanlar daha yüksek ısı iletkenliği, nedeniyle radyatör boyutları küçülmekte, otomobilin ağırlığının azalmasına aynı zamanda daha düşük emisyon verileri ile yakıt tasarrufu sağlanmaktadır. Geliştirilmiş ısı transferi sayesinde nano akışkan kullanılması nedeniyle soğutma suyu pompalama boyutu ve gücü azalmakta, nanoakışkan kullanımı ile yüksek soğutma performansına ulaşıldığından motorda daha yüksek sıcaklıklara çıkılabilmektedir [49].

Güneş kolektörleri

Güneş enerji sistemlerinde kullanılan geleneksel akışkanların düşük ısı iletkenliğe sahiptirler. Bu geleneksel akışkanlar yerine nanoakışkanların kullanılmasına yönelik çalışmalar hız kazanmıştır. Nano parçacıkların temel akışkan içerisinde dağılması ısı transferi yüzey alanı, optik özellikleri ve emme verimini artırmakta, sonuç olarak güneş kolektörlerinin verimini arttırmaktadır. Nanoakışkanın optik özelliklerinin, temel akışkanın yanı sıra nano parçacık cinsine, boyutuna, şekline ve derişimine bağlıdır. Yüksek derişime kıyasla daha düşük derişimde iyonik sıvı esaslı nanoakışkanların yüksek radyasyon özellikleri nedeniyle güneş kolektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nanoakışkanlar uygun optik özellikler ile düşük sıcaklıklarda absorbe edici özelliği nedeniyle güneş kolektörlerinin verimini arttırmaktadır [49].

Endüstriyel ısıtma ve soğutma uygulamaları

Nanoakışkanların endüstriyel ısıtma ve soğutma sistemlerinde kullanılması ile enerji tasarrufu sağlanabilecektir. Daha küçük ve performansı yüksek sistemler kullanılarak işletme maliyetlerinde tasarruf sağlanabilecektir.

Havacılık ve savunma sanayini

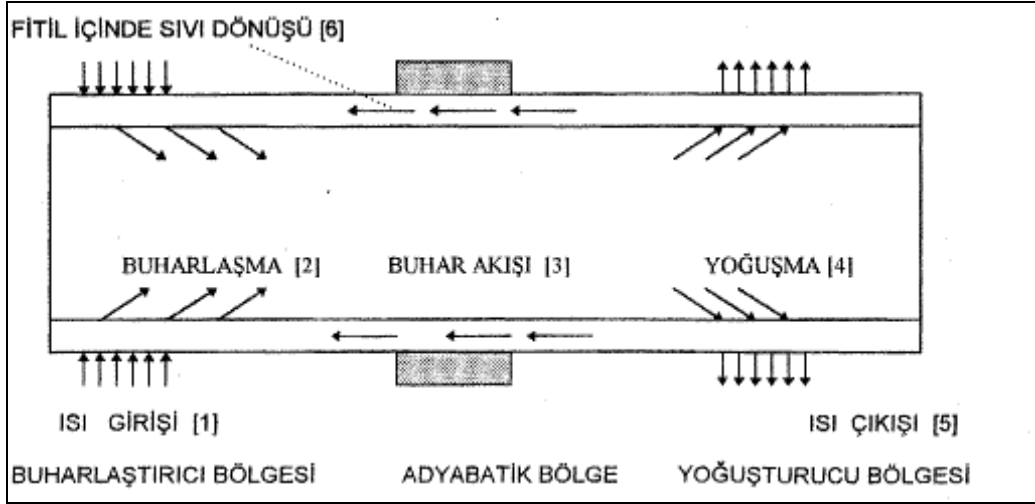
Özellikle etkin ve hızlı bir şekilde soğutma ihtiyacı olan uçak motorları ve savunma sistemlerinde nanoakışkanlar önemli bir yer tutacaklardır. Etkin soğutma sağlayarak daha az maliyetli sistemlerin geliştirilmesinin yanı sıra, etkin ve uzun süreli kullanımın önündeki kısıtlamalar kalkmış olacaktır. Yüksek ısı taşıma kapasitesine sahip nanoakışkanların askeri araçlar, denizaltılar ve yüksek güçlü lazer diyotları da dahil olmak üzere diğer askeri sistemlerde gerekli soğutmayı sağlama potansiyeline sahiptirler. Bu nedenle nanoakışkanlar; gücün ön planda olduğu, gerekli alanın az ve ağırlığın daha düşük olması istenen uçaklar ile savunma sanayinde geniş bir kullanım alanına sahip olduğu düşünülmektedir.

Elektronik uygulamalar

Yüksek performans gerektiren elektronik sistemlerde ısınma sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Bu sorunun yeterli ve etkin bir soğutma sistemi elektronik sistemlerin düzgün ve sürekli çalışabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Bunun için uygun soğutma sistemi tasarımının yapılmasının yanı sıra bu sistemlerde yüksek ısıl iletkenliğe sahip nanoakışkanların kullanılması da sistemlerin performansını arttırmaktadır.

2.3. Isı Borusu

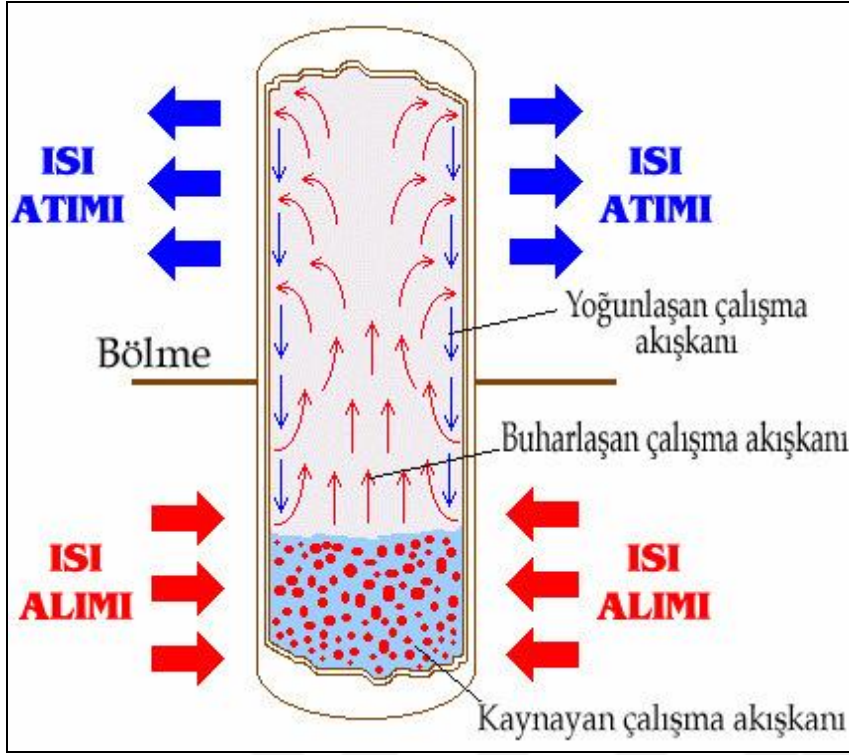
Isı borusu, ısıyı vakum altında temel akışkan tarafından, metal bir boru içerisinde oluşan sıcaklık farkı sayesinde iki nokta arasında taşıyan bir ısı transfer sistemidir. Isı boruları kullanım yerine göre sabit veya esnek silindirik, düz, dairesel veya kullanılacak yerin şekline göre özel tasarım olarak üretilmektedir. Isı borusu Sekil 2.1’de yer aldığı üzere ısının çekildiği buharlaştırıcı bölge, çekilen ısıyı düşük sıcaklıktaki ortama aktarıldığı yoğunlaştırıcı bölge ve ısı alışverişinin olmadığı adyabatik bölgeden meydana gelmektedir.



Şekil 2.1. Isı borusu [50]

2.3.1. Isı borusunun çalışma prensibi

Isı borusu vakumlanmış ve içerisinde az miktarda temel akışkan bulunan kapalı kap şeklinde basit bir sistemdir. Isı borusunun buharlaştırıcı bölümünde uygulanan ısı ile çalışma akışkanı buharlaşarak doymuş buhar oluşur. Yoğunlaştırıcı bölgeden ısı çekilmesi ile birlikte duvar sıcaklığı düşeceğinden dolayı cidarlarda yoğunlaşma başlar. Yoğunlaşma bölgesinde cidarlarda yoğunlaşan sıvı yerçekimi, fitil veya kılcal kuvvetler yardımıyla buharlaştırıcı bölüme geri döner ve ısı borusu içerisinde bir çevrim tamamlanmış olur. Isı borusu çevrimin şematik gösterimi Şekil 2.2’de sunulmuştur. Isı borusunda sıcaklık farkları çok az olsa dahi temel akışkanının buharlaşma gizli ısısının yüksek olması nedeniyle hızlı bir ısı transferi gerçekleşir.



Şekil 2.2. Isı borusu çevrimi [51]

2.3.2. Isı borusunun özellikleri

Bir ısı borusunun ısıyı yüksek verimde taşıyabilmesi için bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Yüksek ısı iletim özelliğine sahip malzemeden üretilmiş olmalı,
- En yüksek çalışma basıncında en az et kalınlığına sahip olmalı,
- Çok iyi vakumlanabilmeli,
- Sıcaklık değişimlerinden etkilenmemeli,
- Isı borusu malzemesi ile akışkan reaksiyona girmemeli,
- Isı borusu boyunca sıcaklık homojen olarak dağılmalı,
- Kullanıldığı ortama uygun şekilde tasarlanmış olmalı,
- İlave pompa gücü gerektirmeden yerçekimi etkisi ile yoğunlaşma bölümünden buharlaşma bölümüne doğru akışkanı taşımaya elverişli olmalı,
- Çok yüksek ısı iletimi sağlamalı,

şeklinde sıralanabilmektedir.

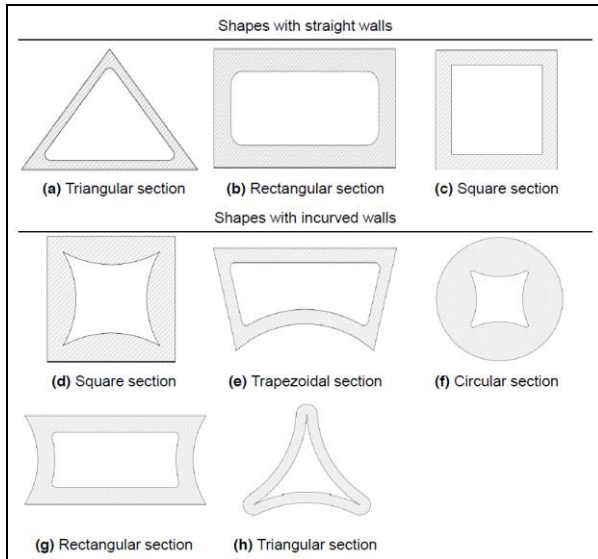
2.3.3. Isı borusu çeşitleri

Termosifon ısı boruları

Termosifon (yerçekimi etkili) ısı borusu buharlaştırıcıda uygulanan ısı enerjisi sayesinde temel akışkanın bir kısmının buharlaşması sağlanır. Isı borusunun içinde bulunan temel akışkan buharlaştırıcı bölümünde dışarıdan ısı verilerek buhar fazına geçer. Buhar yoğunlaştırıcı bölümünde soğuk ortamla karşılaşınca ısı borusu duvarlarında yoğunlaşır ve yer çekimi etkisi ile buharlaştırıcı bölümüne geri döner. Çevrim bu şekilde tamamlanmış olur. Bu çevrim esnasında buhar hızları, ters yönde ilerleyen sıvı akış hızına göre çok yüksektir. Isı borusunda oluşan bu büyük hız farkı, yoğunlaştırıcı bölümünden buharlaştırıcı bölümüne doğru sıvı pompalamasını sağlar.

Mikro ısı boruları

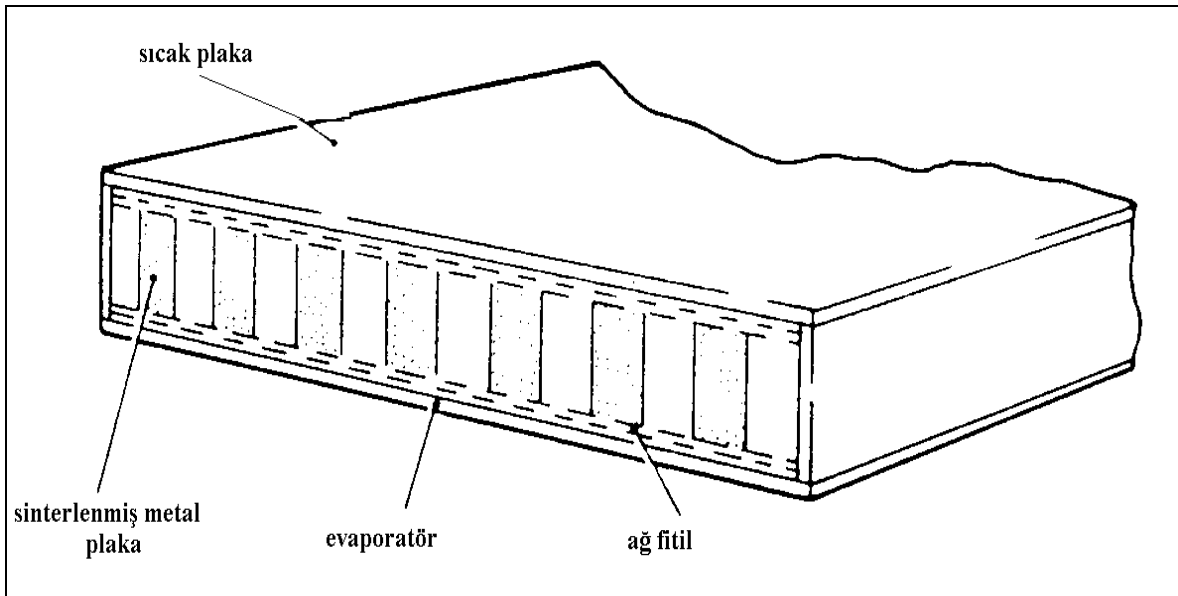
Elektronik sanayindeki gelişmelere bağlı olarak cihazların küçülmesi ve ısı yükünün artması ile mikro ısı borularına olan ihtiyaç da artmaktadır. Mikro ısı boruları bu elektronik cihazların soğutulmasında kullanılmaktadır. Mikro ısı borularına ait resimler Şekil 2.3.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Mikro ısı boruları [52]

Düz ısı boruları

Düz ısı boruları, çalışma prensipleri açısından silindirik ısı borularına çok benzerdir. Düz ısı borularının temel özelliği yüzeyi boyunca çok küçük sıcaklık gradyanlı yüzeyler üretebilmeleridir. Üretilen bu ısı yüzeyler sayesinde kullanım alanına göre çok iyi bir soğutma olanağı sağlamaktadır. Ayrıca, düz plaka ısı boruları üzerine birden fazla ısı üreten sistem konularak çoklu soğutma imkânı da vardır. Şekil 2.4.'de düz plaka ısı borusu görünümü yer almaktadır.



Şekil 2.4. Düz plaka ısı borusu [50]

Döner ısı boruları

Döner ısı boruları uzun yüzeylerde ısıtma için güvenilir bir çalışma imkânı sağlar. Döner ısı boruları uzun yüzeyler boyunca küçük bir sıcaklık farkıyla çok büyük bir ısı taşıma kapasitesine sahiptir. Standart ısı borularından farklı olarak, döngü ısı boruları ayrı buhar ve sıvı hatlarına sahiptir.

Titreşimli ısı boruları

Titreşimli ısı boruları reaksiyon süreleri kısa, verimleri yüksek ve basit yapıli sistemlerdir. Titreşimli ısı boruları kıvrımlı uzun kılcal borulardan, buharlaştırıcı, yoğunlaştırıcı ve

adyabatik bölümden meydana gelir. Buharlaştırıcı bölgesinden yoğunlaştırıcı bölgeye olan ısı akışı akışkanın boru içindeki eksenel titreşimleri sayesinde gerçekleşir.

2.3.4. Isı Borusunun uygulama alanları

Isı boruları reaksiyon sürelerinin kısa olması ve çok büyük miktarda ısı taşıma yeteneğine sahip olmaları nedeniyle sanayinin birçok alanında kullanım olanağı bulmuşlardır. Aşağıda bunlardan birkaçı sıralanmaktadır.

- ✓ Uzay araçlarında sıcaklık kontrolü,
- ✓ Elektronik aletlerin soğutulması,
- ✓ Jeotermal enerji uygulamaları,
- ✓ Enerjinin depolanması çalışmaları,
- ✓ Makine elemanlarının soğutulması,
- ✓ Arabaların kabin kısmının ısıtılması,
- ✓ Gaz türbini jeneratörlerinde ısı transfer elemanı olarak kullanılması,
- ✓ Uçak fren sistemlerinin soğutulması
- ✓ İnsan vücudundaki tümörlerin yok edilmesi amacıyla cerrahi uygulamalar,
- ✓ Uydularda elektronik bileşenler tarafından üretilen ısıyı dağıtmak,

gibi birçok alanda uygulama imkânı bulmuştur.

2.3.5. Isı borusunda kullanılan akışkanlar

Isı borusunda dikkat edilecek en önemli konulardan bir tanesi temel akışkan seçimidir. Temel akışkanının en önde gelen görevi ise düşük sıcaklıklarda buharlaşma sağlamasıdır. Isı borularında kullanılan akışkanlara ilişkin bilgiler Çizelge 2.1’de yer almaktadır.

Isı borularında seçilen temel akışkan buharlaştırıcı bölümündeki ısıyı yoğunlaşma bölgesine hızlı bir şekilde taşınmalıdır. Genellikle bu akışkan ısı borusuna 1/3 oranında doldurulur. Isı borusu doldurma oranının da ısı borusu verimi üzerine etkisi olmaktadır.

Çizelge 2.1. Isı borularında kullanılan akışkanlar [50]

Akışkan	Donma Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)	Kullanım Aralığı (°C)
Helyum	-272	-269	-271 ~ -269
Azot	-210	-196	-203 ~ -160
Amonyak	-78	-33	-60 ~ 100
Freon 11	-111	24	-40 ~ 120
Pentan	-130	28	-20 ~ 120
Freon113	-35	48	-10 ~ 110
Aseton	-95	57	0 ~ 120
Metanol	-98	64	10 ~ 130
Flutec PP2	-50	76	10 ~ 160
Etanol	-112	78	0 ~ 130
Heptan	-90	98	0 ~ 150
Su	0	100	30 ~ 200
Flutec PP9	-70	160	0~150
Freon 21	-134	9	-40 ~ 87
Cıva	-39	361	250 ~ 650
Sezyum	29	670	450 ~ 900
Potasyum	62	774	500 ~ 1000

Isı boruları çalışma akışkanının özelliğine bağlı olarak düşük, orta ve yüksek sıcaklık ısı boruları olarak sınıflandırılabilir. Düşük sıcaklıktaki akışkanlar; Helyum, Oksijen, Azot iken, orta sıcaklıktaki akışkanlar; su, amonyak, metanol ve freon, yüksek sıcaklıklarda kullanılan akışkanlar ise cıva, potasyum, lityum, gümüş olarak sayılabilir

2.4. Nanoakışkanların Isı Borusunda Kullanımı

Birçok araştırmacı, ısı borularında nanoakışkanların ısı iletkenliği, ısı borusunun ısıl direnci ve verimliliği hakkında deneysel çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar müteakip maddelerde sıralanmıştır.

Türkiye’de yer alan Yatağan termik santralinden siklonlarından çıkan Uçucu Kül - Su ve Al_2O_3 - Su esaslı nanoakışkanların termosifon tipi ısı borusundaki ısıl performans değişimi

incelenmiştir. Deneysel çalışma yüzey aktif madde olarak Triton X-100 içeren kütlece % 2 Al_2O_3 nanoakışkanı kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan ısı borusu iç çapı 13 mm, dış çapı 15 mm ve uzunluğu 1 m olan düz bir bakır borudur. Deneyler aynı ısı borusunda aynı koşullar altında hazırlanan nanoakışkan kullanılarak, üç farklı ısıtma gücü (200 W, 300 W ve 400 W) ve üç farklı soğutucu su akış hızında (5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s) gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda, 400 W'lık bir ısıtma gücü ve 5 g/s'lik bir soğutucu su akış hızında uçucu kül içeren nanoakışkan kullanıldığında ısı dirençte % 30,1'lik bir düşüş, alümina nanoakışkanı kullanıldığında ise 400 W'lık bir ısıtma gücü ve 5 g/s'lik soğutma suyu akış hızında ise ısı dirençte % 5,2'lik bir düşüş sağlandığı raporlanmıştır [53].

MgO - Su esaslı nanoakışkanın termosifon tipi ısı borusundaki ısı performansın değişimi incelenmiştir. Deneysel çalışma Triton X-100 yüzey aktif madde içeren % 5 derişimde MgO - Su esaslı nanoakışkan ile gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinde iç boru çapı 13 mm, duvar kalınlığı 2 mm ve uzunluğu 1 m olan düz bir bakırdan üretilmiş deney düzeneği kullanılmıştır. Deneyler yoğunlaştırıcıda üç farklı soğutma suyu akış hızında (5, 7,5 ve 10 g/s) ve buharlaştırıcıda üç farklı ısıtma gücü seviyesinde (200 W, 300 W ve 400 W) gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda, MgO içeren nanoakışkanın 200 W ısıtma gücü ve 7,5 g/s soğutma suyu akış hızında suya kıyasla ısı borusu veriminde % 26'lık bir iyileştirme olduğu belirlenmiştir [54].

Karabük Demir Çelik İşletmelerinin demir döküm fırınından elde edilen yüksek fırın cürufunun termosifon ısı borusunun ısı performansına olan etkisi incelenmiştir. İçerisinde farklı oranlarda Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, SiO_2 , MgO, MnO, K_2O , ve Na_2O içeren fırın cürufu kullanılmıştır. Deneysel çalışmada Triton X-100 yüzey aktif madde içeren % 2 derişime sahip nanoakışkan hazırlanmıştır. Deney sonucunda % 2 yüksek fırın cürufu içeren nanoakışkanın ısı borusu verimini % 22 arttırdığı raporlanmıştır [55].

Fe_2O_3 - Su esaslı nanoakışkanın termosifon ısı borusunun ısı transferini araştırmak için üç boyutlu bir analiz yapılmıştır. Analiz sonuçları dış çapı 15 mm, kalınlığı 0,7 mm ve uzunluğu 2000 mm olan bakır borudan termosifon ısı borusunda gerçekleştirilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışma üç farklı hacimsel derişimde (%0, %2 ve %5,3) ve dört farklı çalışma sıcaklığı (60, 70, 80 ve 90 °C) için gerçekleştirilmiştir. Nano parçacıkların buharlaştırıcı ile yoğunlaştırıcı arasındaki sıcaklık farkını azaltmada önemli

bir etkiye sahip olduğunu bildirilmiştir. Deneysel ve sayısal sonuçlar termosifon ısı borularındaki nanoakışkanların performansının, nano parçacık türü, derişimi, ısı borularının geometrisi ve çalışma sıcaklığı gibi birçok parametreye bağı olduğunu göstermiştir [56].

Termosifon bir ısı borularının ısı performans ve verimliliği biyolojik olarak üretilen Ag-Su nanoakışkanı ile deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonucunda nanoakışkan kullanıldığında buharlaşma bölümünden yoğunlaşma bölümüne doğru sıcaklık dağılım profiline azaldığı, nano parçacık derişiminin optimum derişimin üzerine çıktığında sistemde ters eğilim oluştuğu bildirilmiştir. Nanoakışkanın derişiminin artması sonucunda ısı borusunun sabit sıcaklığa ulaşması için gereken sürenin kısaldığı ve daha iyi ısı performans sağladığı raporlanmıştır [57].

Al_2O_3 - Su / Etilenglikol ve Al_2O_3 - Su / Dietilenglikol esaslı ortalama 42-48 nm olan alümina küresel nanoparçacık içeren nanoakışkanların termosifon ısı borusundaki performansı incelenmiştir. Sistemin performansının temel akışkan türü, akışkan özellikleri, nano parçacık özellikleri, nanoakışkan yoğunluğu, dolum oranı ve eğim açısı gibi birçok parametreye bağı olduğu bildirilmiştir. Nanoakışkanın derişimi arttıkça ısı borusu sıcaklığının buharlaştırıcıdan yoğunlaştırıcıya doğru düştüğü belirlenmiştir. Doluluk oranı arttıkça ısı borusunun verimi artmakla birlikte, dolum oranının % 30'dan küçük ve % 70'den büyük olması durumunda ise verimin önemli ölçüde azaldığı raporlanmıştır. Isı borusu eğiminin ısı performans üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu, eğim açısı arttığında yerçekimi kuvvetinin etkisiyle ısı borusu verimliliğinin arttığı kaydedilmiştir [58].

Demir oksit nano parçacıkları içeren üç farklı hacimsel derişimde (% 0, % 2 ve % 5,3) hazırlanmış nanoakışkanın termosifon ısı borusu performansı eğim açısı 45° ve 90° olması durumu için deneysel olarak incelenmiştir. 45° eğim açısında yapılan deneylerde performansın % 2 derişim oranında % 19 artar iken, % 5,3 derişim oranında % 22,2 arttığı bulunmuştur. 90° eğim açısında yapılan deneylerde performansın % 2 derişim oranında % 39 artmış iken, % 5,3 derişim oranında % 42 arttığı belirlenmiştir. Nanoakışkan derişim artışının termosifon ısı borusu ısı direncini azalttığı bildirilmiştir [59].

CuO - Su esaslı nanoakışkanın termosifon ısı borusunda dolun oranının, temel akışkanın cinsinin, derişim oranının ve çalışma sıcaklığının ısı transferi özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel sonuçları, ısı borusunda en uygun dolun oranının % 60 olduğunu ve ısı performansının genel olarak çalışma sıcaklığının artmasıyla arttığını sonucuna varılmıştır. Su yerine CuO nanoakışkanı kullanıldığında ısı veriminin yaklaşık % 30 oranında arttığı raporlanmıştır [60].

İki fazlı kapalı termosifonun ısı borusunda yüzey aktif madde olarak oleik asit içeren gümüş nanoakışkanın performans değişimini deneysel olarak incelenmiştir. Kütlece % 1 oleik asit ihtiva eden gümüş nanoakışkanın tüm deneysel çalışmada en iyi performansı sağladığı belirlenmiştir. Verim 80 °C işletme sıcaklığında, % 50 doluluk oranı ve 1 litre / dakika soğutma suyu hacimsel akış hızında en iyi sonucu vermiştir [61].

Al₂O₃ - Su esaslı % 1 hacimsel derişimde hazırlanan nanoakışkanın iki fazlı kapalı termosifon ısı borusunda performans değişimini incelenmiştir. Buharlaştırıcı bölümüne farklı dolun oranları ve farklı ısıtma güçleri (100 W, 200 W, 300 W, 400 W, 500 W ve 600 W) uygulanmıştır. Sonuçta nanoakışkan derişiminin artması ısı borusu ısı direncini azalttığı, ısı veriminin ısıtma gücü arttıkça arttığı, ancak 600 W itibaren düşmeye başladığı raporlanmıştır [62].

Ortalama çapı 15 nm olan ve uzunluğu 5-15 µm olan çok duvarlı Karbon Nanotüp - Su nanoakışkanın minyatür termosifon ısı borusundaki performans değişimini incelenmiştir. Derişimin % 2 olduğu durumda en iyi verimin sağlandığı, % 2'den daha yüksek derişimlerde ise verimde azalma olduğu belirlenmiştir. Isı borusu ısı direncinin % 2 karbon nanotüp içeren nanoakışkan derişiminde maksimum azalma gösterdiği belirlenmiştir [63].

Küresel Ag nano parçacıkları içeren Ag-Su esaslı nanoakışkanın ısı iletkenlik ve ısı borusu performansı üzerine deneysel araştırma yapılmıştır. Kütlece % 0,008, % 0,0016, % 0,0021 ve % 0,0032 nanoakışkanlar hazırlanmıştır. İç çapı 0,9 cm ve uzunluğu 100 cm olan bakırdan yapılmış fitilli ısı borusunda deneyler gerçekleştirilmiştir. Kütlece % 0,0032 oranındaki nanoakışkanın ısı iletkenliğindeki artışın % 75,91'e olduğu belirlenmiştir. Sonuçta nanoakışkanların ısı borusundaki ısı direncinin sudan daha düşük olduğu, derişim

oranına göre ısı borusunun ısı direncindeki azaltma oranı sırasıyla % 45,45, % 51,24, % 58,68 ve % 65,29 olduğu raporlanmıştır [64].

Al_2O_3 - Su esaslı % 3'lük hacimsel derişime sahip nanoakışkanın farklı eğim açılarında (0° , 30° , 60° ve 90°) ve doldurma oranlarında (% 20, % 40, % 60 ve % 80) mikro kanallı ısı borusunda ısı performans değişimi incelenmiştir. Doldurma oranı ve eğim açısı arttıkça ısı performans arttığı, en iyi performans artışını 60° eğim açısında olduğu belirlenmiştir. Saf suya göre Al_2O_3 nanoakışkanı kullanıldığında, buharlaşma ve yoğunlaşma ısı transfer katsayılarında iyileşmesi olduğu ve ısı borusu ısı direncindeki en iyi iyileşmenin sırasıyla % 30,4, % 11,1 ve % 18,2 olduğu raporlanmıştır [65].

Al_2O_3 - Su esaslı nanoakışkanın bakırdan yapılmış ısı borusundaki ısı verimi ve ısı direnç değerleri eğim açısı ve doldurma oranına göre deneysel olarak incelenmiştir. İki aşamalı bir yöntem kullanarak, ortalama çap 50 nm ve hacim derişimi % 1 olan Al_2O_3 nanoakışkan hazırlanmıştır. Doldurma oranı % 75 ve eğim açısı 30° için suyu kıyasla nanoakışkanın ısı direncinde yaklaşık % 52'lik bir iyileşme olmuştur [66].

Titreşimli ısı borularında Fe_3O_4 - Su nanoakışkanın manyetik alan uygulandığında ve manyetik alansız ortamda ısı performans ve ısı direnç değişimi incelenmiştir. Bu amaçla beş dönüştü, iç çapı 3 mm olan ve dış çapı 6 mm olan bir cam titreşimli ısı borusu kullanılmıştır. Sonuçta, bir manyetik nanoakışkan ilavesinin, ısı borusu performansını artırdığı, manyetik alanda, tüm deneysel parametreler için ısı girişinde bir artış ile birlikte ısı direnç azaldığını raporlanmıştır. Nanoakışkan derişimi arttıkça ısı performans üzerindeki manyetik alan etkisi azalmıştır [67].

TiO_2 - Su esaslı nanoakışkanın sodyum dodesil benzen sülfonat ve Triton X-100 yüzey aktif maddelerinin etkisi termosifon ısı borusunda karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Sonuçta, ısı borusunda SDBS içeren nanoakışkanın Triton X-100 içerene göre daha düşük sıcaklıklarda buharlaştığı raporlanmıştır. Ayrıca 200 Watt 7,5 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda SDBS içeren nanoakışkanın ısı borusu ısı direncini yaklaşık % 43,26 oranında iyileştirdiği belirlenmiştir [68].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışma dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

1. Nano parçacık üretimi,
2. Nanoakışkan hazırlanması ve kararlılık değerlendirmesi,
3. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin ölçülmesi,
4. Nanoakışkanların ısı borusu performansının ölçülmesi.

3.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Deneysel çalışma sırasında kullanılan cihazlar nano parçacık üretimi ve nanoakışkanların hazırlanması, termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve ısı borusu deney düzeneği olarak üç aşamalı incelenmiştir.

3.1.1. Nanoparçacık üretimi ve nanoakışkan hazırlamak için kullanılan cihaz ve malzemeler

Spex tipi yüksek enerjili bilyeli öğütücü

Yüksek enerjili bilyeli öğütücü olan spex nano parçacıkların üretilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Resim 3.1'de yer alan spex ve öğütmede kullanılan reaktörlere ait teknik özellikler aşağıda sunulmuştur.



Resim 3.1. a: Spex tipi yüksek enerjili öğütücü b: Reaktör ve çelik bilyeler

- Hızı 1000 devir/dakika
- Reaktör hazne sayısı : 12 adet
- Reaktör kapasitesi : 10 g

ISO LAB ultrasonik banyo

Temel akışkan içerisinde nano parçacıkların homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Nanoakışkan hazırlamak için 180 Watt güce sahip ultrason frekansı 40 kHz olan ve Resim 3.2’de sunulan ultrasonik banyo kullanılmıştır.



Resim 3.2. Ultrasonik banyo

Zetasizer nano boyut ve zeta potansiyeli ölçüm cihazı

Nano parçacıkların boyutunu ve nanoakışkanın zeta potansiyelini ölçmek amacıyla kullanılan Malvern marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.3. Nano boyut ve zeta potansiyeli ölçüm cihazı

3.1.2. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin ölçümü için kullanılan cihaz ve malzemeler

Özgül ısı kapasitesi ölçüm deney düzeneği

Nanoakışkanların özgül ısı ölçümleri Resim 3.4'de sunulan deneysel düzende gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği iç içe konulan ve dış ortam ile tam olarak yalıtılmış iki cam kap, sıcaklık ölçümleri için iki adet K tipi ısıl çift, sıcaklık verilerinin kaydedildiği veri kaydedici ve bilgisayardan oluşmaktadır.



Resim 3.4. Özgül ısı deney düzeneği

Viskozitemetre

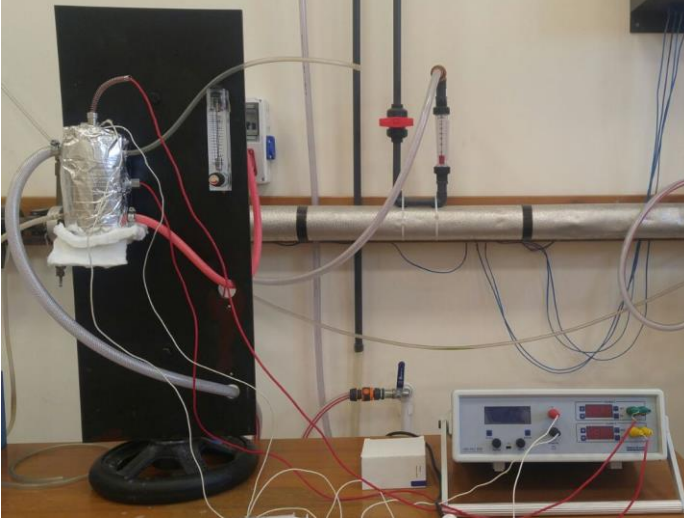
Viskozite ölçümleri Resim 3.5'te yer alan Brookfield marka viskozitemetre ile yapılmıştır. Viskozitemetre 0,1 rpm'den 250 rpm arasında ölçüm yapabilmektedir.



Resim 3.5. Viskozitemetre

Isıl iletkenlik ölçüm deney düzeneği

Isıl iletkenlik katsayısı ölçümleri Resim 3.6'da yer alan deneysel düzenek kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği Test Ünitesi ve Kontrol Ünitesi olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Test ünitesi iç içe geçmiş iki silindirden oluşmaktadır. İçteki silindir alüminyum malzemeden üretilmiş, dıştaki silindir ise pirinç malzemeden üretilmiştir. Dıştaki silindirin etrafında soğutmayı sağlayan bir su ceketisi bulunmaktadır. İki silindir arasında ısıl iletkenliği ölçülecek akışkan yer almaktadır. Sıcaklık ölçümleri ısıl iletkenliği ölçülecek malzeme ve elektrik ısıtıcının bulunduğu iç silindirde K tipi ısıl çiftler kullanılarak yapılmaktadır. Kontrol ünitesi, voltmetre, gerilim değiştirici, sıcaklık göstergesi ile sıcaklık ayar anahtarından oluşmaktadır.



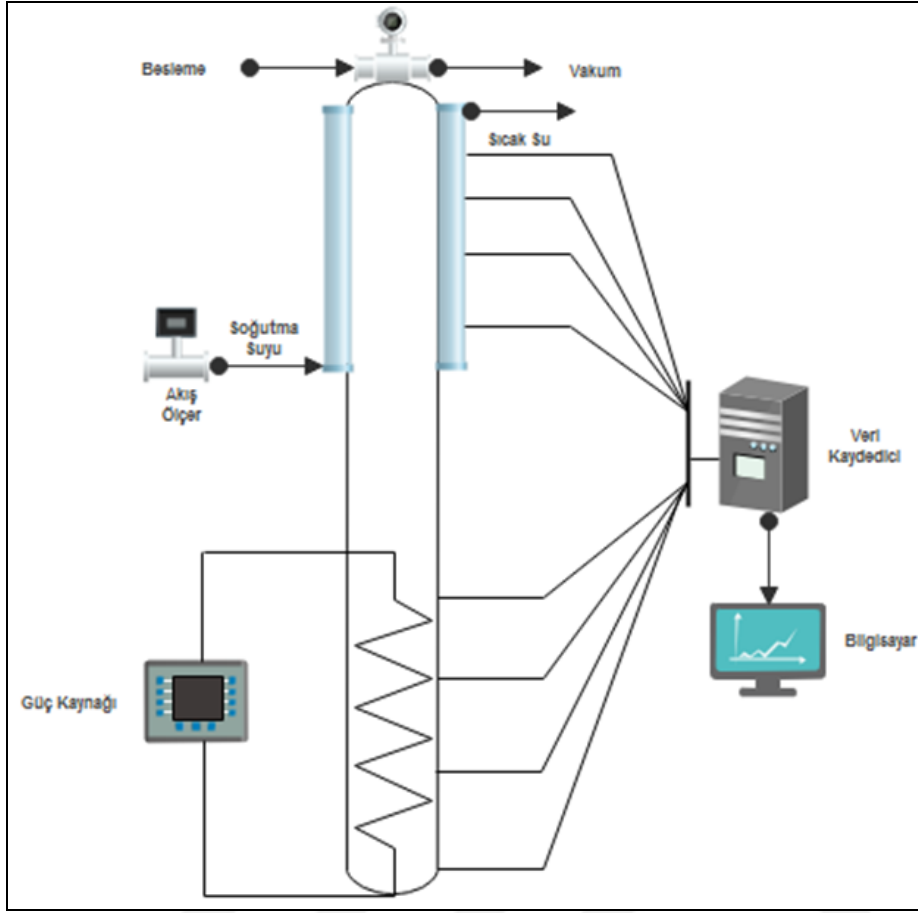
Resim 3.6. Isıl iletkenlik deney düzeneği

3.1.3. Isı borusu deney düzeneği

Deney düzeneğinin resmi Resim 3.7’de Şematik gösterimi Şekil 3.1’de yer almaktadır. Deneyler 1 m uzunluğunda iç çapı 13 mm ve dış çapı 15 mm olan bakır borudan üretilmiş olan ısı borusunda yapılmıştır. Isı borusu 400 mm uzunluğunda buharlaşma, 400 mm uzunluğunda yoğunlaşma bölümleri ile 200 mm uzunluğunda adyabatik bölümden oluşmaktadır.



Resim 3.7. Isı borusu deney düzeneği



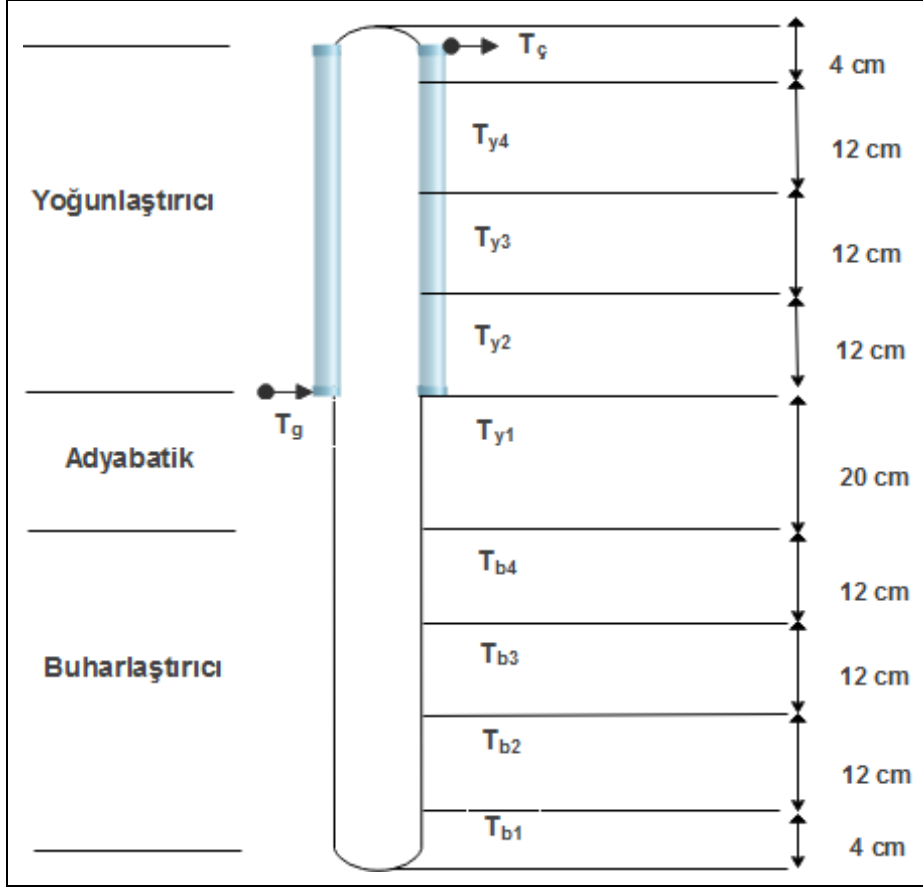
Şekil 3.1. Isı borusu deney düzeneği şematik görünümü

Buharlaşma bölümünde Ni-Cr malzemenen üretilmiş olan ve ısıtmayı sağlayan 1500 W gücüne sahip bir ısıtıcı bulunmaktadır. Isıtıcı giriş gücü ana kontrol ünitesine bağlı olan bir wattmetre aracılığı ile ayarlanmaktadır. Isıtma gücü kontrol ünitesinde ayarlanabilmektedir. Buharlaşma bölümünde uygulanan ısıtma gücünün tamamının akışkana aktarıldığı kabul edilmektedir.

Yoğunlaşma bölümünde ise soğutma bu bölümün etrafında bulunan bir cep ile sağlanmaktadır. Yoğunlaşma bölümüne beslenen soğutma suyunun debisini ayarlamak için bir akış ölçer bulunmaktadır. Tüm sistem yalıtılmış ve dışarıya kayıp olamadığı kabul edilmektedir.

Deneysel çalışma esnasındaki sıcaklık ölçümlerinin yapılabilmesi amacıyla 10 adet (K tipi) ısl çift kullanılmıştır. Bu ısl çiftlerin 4'er adedi yoğunlaşma ve buharlaşma bölümünde 1 adedi soğutma suyu girişinde 1 adedi ise soğutma suyu çıkışında bulunmaktadır. Isı

borusunda yer alan ısı çiftlerinin konumları Şekil 3.2’de sunulmuştur. Sıcaklık ölçümleri, veri kaydetme sistemi kullanılarak bilgisayar ortamında kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 3.2. Isı borusu ısı çifti yerleşimi

Isı borusu deney düzeneği ekipmanları

Deney düzeneği ısı borusu, debimetre, güç kaynağı, veri kaydedici, ısı çiftleri, doldurma vanası, ısıtıcı ve bilgisayardan oluşmaktadır.

Veri kaydedici

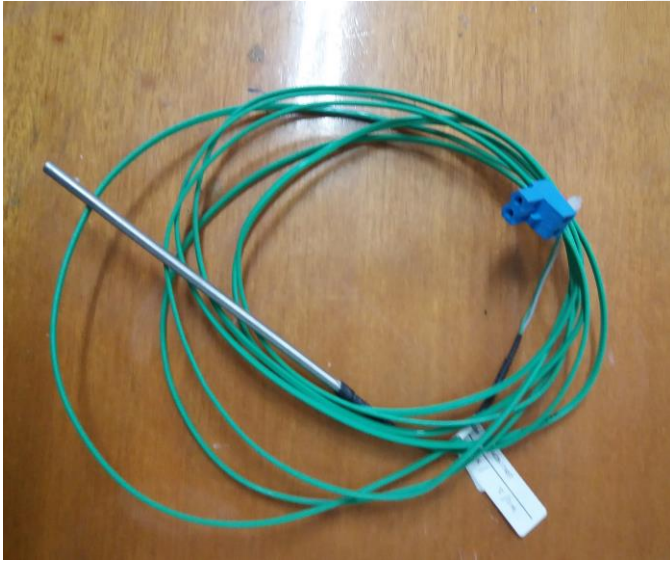
Deney esnasında Resim 3.8’de yer alan ölçülen sıcaklık verilerini okuyan ve bilgisayar ortamına aktaran Elimko marka veri kaydedici bulunmaktadır.



Resim 3.8. Veri kaydedici

Isıl çift

Isıl çift iki farklı iletkenen oluşan alaşımlardır. Bu alaşımlar iki ucu arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılı olarak voltaj oluşturulur ve böylelikle sıcaklık ölçümü sağlarlar. Isıl çiftler -200 °C'den 2000 °C'ye kadar olan farklı sıcaklık aralıklarında ölçümler için kullanılırlar. Deneyler esnasında Resim 3.9'da yer alan ısıl çift ve benzerleri kullanılmıştır.



Resim 3.9. Isıl çift

Akış ölçer

Deneysel çalışma esnasında soğutma suyunun giriş miktarını ayarlayabilmek için metal gövdeli, manüel olarak elle ayarlanan ve Resim 3.10'da yer alan akış ölçer kullanılmıştır. Üzerinde mevcut olan ayar vanası sayesinde hassas akış hızı ayarı yapılmasına olanak sağlar.



Resim 3.10. Akış ölçer

Güç kaynağı

Test sırasında ısı borusunun buharlaştırıcı bölüm etrafında yer alan ısıtıcıya verilecek olan ısıtma gücünü ölçmek için kullanılan ölçü aletleridir. Deney düzeneğinde Resim 3.11’de verilen digital bir güç kaynağı kullanılmıştır.



Resim 3.11. Güç kaynağı

3.2. Deneysel Çalışmanın Temelleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan ve Türkiye’nin çeşitli bölgelerinden çıkartılmış olan mineralojik malzemelerin kimyasal bileşimleri aşağıda sunulmuştur.

Çankırı bölgesinden çıkartılmış olan bentonitin kimyasal bileşimi X-Ray Diffraction yöntemi kullanılarak yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 3.1’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Bentonit kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşimi	% (m/m)
SiO ₂	% 61,28
Al ₂ O ₃	% 17,79
Fe ₂ O ₃	% 3,01
CaO	% 4,54
Na ₂ O	% 2,70
MgO	% 2,10
K ₂ O	% 1,24
Kuru Madde	% 7,34

Ankara'nın Ayaş ilçesinden çıkartılmış olan diatomitin kimyasal bileşimi X-Ray Diffraction yöntemi kullanılarak yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 3.2'de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Diatomit kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşimi	% (m/m)
SiO ₂	% 92,80
Al ₂ O ₃	% 4,20
Fe ₂ O ₃	% 1,50
CaO	% 0,60
MgO	% 0,30
Diğer Oksitler	% 0,50
S	% 0,01

Bigadiç bölgesinden çıkartılmış olan klinoptilolitin kimyasal bileşimi X-Ray Diffraction yöntemi kullanılarak yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 3.3'de sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Klinoptilolit kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşimi	% (m/m)
SiO ₂	% 69,20
Al ₂ O ₃	% 10,81
Fe ₂ O ₃	% 1,18
CaO	% 2,95
MgO	% 1,48
TiO ₂	% 0,08
Na ₂ O	% 0,367
K ₂ O	% 2,78
P ₂ O ₅	% 0,021
SO ₃	% 0,036
Kuru Madde	% 10,21

Eskişehir bölgesinden çıkartılmış olan sepiyolit kimyasal bileşimi X-Ray Diffraction yöntemi kullanılarak yapılmış olup, sonuçlar Çizelge 3.4’de sunulmuştur.

Çizelge 3 4 Sepiyolit kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşimi	% (m/m)
SiO ₂	% 62,70
MgO	% 24,45
CaO	% 6,11
Al ₂ O ₃	% 2,96
Na ₂ O	% 2,61
Fe ₂ O ₃	% 0,89
K ₂ O	% 0,28

3.2.1. Nano parçacık üretimi

Sepiyolit, diatomit, bentonit ve klinoptilolit mineralojik malzemeleri kullanılarak nano parçacıklar üretilmiştir. Nano parçacık üretimi için iri parçadan küçültme yöntemi

kullanılmıştır. Öğütme çalışmalarında, Spex tipi yüksek enerjili bilyeli öğütücü paslanmaz çelik reaktör ve çelik bilyeler kullanılmıştır.

Yüksek enerjili öğütücülerde öğütmenin gerçekleşmesi iki koşula bağlıdır. Bunlar öğütücü içinde birim zamanda meydana gelen çarpışma sayısı (stres sayısı) ve her çarpışmada açığa çıkan enerji miktarıdır. Yüksek enerjili öğütücülerde düşük stres sayısı, taneleri kırmaya yeterli olmadığından daha fazla enerji kullanılmalı ya da stres sayısı artırılmalıdır. Stres sayısının artmasıyla ürün boyutu bir noktaya kadar azalmakta ve bu optimum noktadan sonra ürün boyutu artmaktadır [69].

Öğütme işleminin malzeme cinsi ve yoğunluğu, öğütücü devri, öğütücü hacmi, dolun oranı, numune/bilye oranı ve öğütme süresi gibi birçok parametreye bağlıdır [69,70]. Spex tipi yüksek enerjili bir öğütücüde 20 dakika öğütmenin düşük enerjili bir öğütücüde 20 saatlik öğütmeye eşdeğer olmaktadır [71].

Öğütme parametreleri değerlendirildiğinde numune miktarı sabit tutularak farklı numune/bilye kütle oranı ve farklı sürelerde öğütme yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Nano boyuta öğütme çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalar;

1. Spex tipi öğütücüde 2 g numune miktarı sabit tutularak 1:10, 1:17 ve 1:25 numune/bilye kütle oranlarında 7 saat süre ile öğütme gerçekleştirilmiştir.
2. En uygun numune/bilye oranı belirlenerek 3, 5, 7, 9 ve 15 saat öğütme yapılarak en uygun numune/bilye oranı için öğütme süresi belirlenmiştir.

Öğütme işlemi tamamlanan numunelerin boyutları Malvern Zetasizer marka boyut ölçüm cihazında ölçülmüştür.

3.2.2. Nanoakışkanların hazırlanması ve kararlılık değerlendirmeleri

Nanoakışkanlar iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır [11]. Temel akışkan olarak saf su kullanılarak kütlece % 2 mineralojik malzeme (bentonit, klinoptilolit, sepiyolit, diatomit) ve kütlece % 0,5 oranında yüzey aktif madde içeren nanoakışkanlar hazırlanmıştır.

Yüzey aktif madde olarak kimyasal formülü $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na}$ olan, genellikle deterjanlarda kullanılan anyonik özelliğe sahip sodyum dodesil benzen sülfonat kullanılmıştır. Ayrıca yüzey aktif maddenin termofiziksel özellikler ile ısı borusu performansına olan etkisinin incelenmesi ve karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla kimyasal formülü $\text{C}_{14}\text{H}_{22}\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n$ olan naniyonik özelliğe sahip olan Triton X-100 ikinci yüzey aktif madde olarak incelenmiştir [73].

Kütlece % 2 mineralojik malzeme ve % 0,5 yüzey aktif madde içeren nanoakışkan ultrasonik banyoda 5 saat süreyle ultrasonik karıştırma sonucunda elde edilmiştir. Hazırlanan nanoakışkanların kararlılık değerlendirmeleri zeta potansiyeli ölçümleri Malvern marka zeta potansiyeli ölçüm cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Termofiziksel özelliklerin belirlenmesi

Özgül ısı deneyinin yapılışı

Özgül ısı deneyleri üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda;

1. Saf su kullanılarak deneysel olarak özgül ısı ölçümleri yapılmıştır.
2. Kütlece % 2 mineralojik malzeme (bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit) ile kütlece % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak özgül ısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir.
3. Derişim değişiminin özgül ısı üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla % 0,5, % 2 ve % 4'lik mineralojik malzeme içeren nanoakışkanlar ile deneyler tekrarlanmıştır.

Özgül ısı ölçümleri için deney düzeneğinde, sıcak akışkanın bulunduğu dış kaba 210 g saf su ve özgül ısı değeri ölçülecek olan numune akışkanın bulunduğu iç kaba 50 g saf su konularak deney yapılmış ve kabın öz sığasının sıcaklığa bağlı olarak değişimi belirlenmiştir. Daha sonra sıcak akışkanın bulunduğu dış kaba aynı miktarda saf su ve iç kaba nanoakışkan konularak deney tekrarlanmıştır. Sıcaklıklar veri kaydedici kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Sistem yatışkın hale gelinceye kadar 2 saat süreyle sıcaklık ölçümleri alınmıştır.

Viskozite deneyinin yapılışı

Viskozite ölçümleri Brookfield marka viskozitemetre ile yapılmıştır. Viskozitemetre ve bilgisayar çalıştırılmış, bilgisayar ekranından Rheoscale V2.7 yazılımı açılmıştır. Viskozitesi ölçülecek numune yaklaşık 50 mL olacak şekilde bir mezüre konulmuştur. Ölçüm öncesinde viskozitemetre sıfır ayarı yapılmıştır. Viskozitemetre ölçüm başlığı mezürde içerisinde bulunan numuneye daldırılmış ve milin dönüş hızı ayarlanarak ölçümler alınmıştır. Ölçümler ilk olarak 20 °C'da ve daha sonra sırasıyla 40 °C, 60 °C ve 80 °C'da gerçekleştirilmiştir.

Isıl iletkenlik deneyinin yapılışı

Isıl iletkenlik deneyleri üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde;

1. Saf su kullanılarak ısıl iletkenlik ölçümleri yapılmıştır.
2. Kütlece % 2 mineralojik malzeme (bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit) ile kütlece % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak ısıl iletkenlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.
3. Derişim değişiminin ısıl iletkenlik üzerine etkisinin incelenmesi amacıyla % 0,5, % 2 ve % 4'lik mineralojik malzeme içeren nanoakışkanlar ile ısıl iletkenlik deneyleri tekrarlanmıştır.

Ölçümler için deney düzeneğinde yer alan kontrol paneli üzerindeki ısıtıcı açma düğmesi açılarak ısıtıcı çalıştırılmıştır. Soğutma suyu akış hızı 30 g/s olacak şekilde ayarlanmıştır. Isıl iletkenliği ölçülecek olan nanoakışkan sisteme enjekte edilmiştir. Panel üzerindeki gerilim ayarlayıcı kullanılarak 50, 60, 70 ve 80 Volt değerleri sırasıyla seçilmiş ve sistem yatışkın hale gelinceye kadar beklenmiştir. Sistem yatışkın hale geldiği zaman kontrol panelinde yer alan ısıtıcı sıcaklığı ve numune sıcaklığı kaydedilmiştir. Deney düzeneğinden kaynaklanabilecek hatayı önleyebilmek için öncelikle ısıl iletkenlik deneyi saf su kullanılarak gerçekleştirilmiş, sonuçların doğruluğu belirlendikten sonra deneyler nanoakışkan kullanılarak tekrarlanmıştır.

3.2.4. Isı borusu deneyinin yapılışı

Isı borusunda yürütülen deneysel çalışma dört aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

1. Isı borusunda saf su kullanılarak deneyler yapılmıştır.
2. Isı borusunda 4 mineralojik malzeme arasında en yüksek performans artışını sağlayan malzemeyi belirlemek amacıyla kütlece % 2 mineralojik malzeme (bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit) ile kütlece % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir.
3. En yüksek performans artışını sağlayan mineralojik malzeme kullanılarak % 0,5 % 2 ve % 4 derişim oranları için ısı borusu performans değişimi incelenmiştir.
4. Yüzey aktif maddenin ısı borusu performansına olan etkisinin incelenmesi amacıyla % 2 mineralojik malzeme (bentonit) ile kütlece % 0,5 yüzey aktif madde (SDBS ve Triton X-100) içeren nanoakışkanlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışma esnasında ısı borusu yatayla 90° açı yapacak şekilde dik olarak tutulmuştur. Deneyler vakum altında gerçekleştirilmiştir. Isı borusu içerisine borunun 1/3'ünü dolduracak şekilde 44,2 mL akışkan enjekte edilmiştir. Deneyler önce saf su ile sonra nanoakışkan kullanılarak yapılmıştır. Buharlaştırıcı bölümünde 200 W, 300 W, 400 W lık ısı güçleri uygulanmıştır. Her bir ısıtma gücünde yoğunlaşma bölümünde soğutma suyu 5 g/s, 7,5 g/s ve 10 g/s debide verilmiştir. Sistem yatışkın duruma gelene kadar 20 dakika beklenmiş ve süre sonunda sıcaklık verileri kaydedilmiştir. Her bir ısıtma gücünde üç farklı soğutma suyu debisi için deneyler tekrarlanmıştır.

3.2.5. Teorik hesaplamalar

Deneysel sonuçlardan ısı verim ve ısı dirençleri hesaplamak için kullanılan eşitlikler aşağıda sunulmuştur.

Elde edilen ısı transfer miktarı

$$\dot{Q}_y = \dot{m}c(T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \quad (3.1)$$

\dot{Q}_b , 200 W, 300 W ve 400 W (Isı borusu tamamen yalıtımlıdır. Uygulanan ısıtma gücünün tamamı akışkana aktarılmaktadır)

Isıl Direnç

$$\Delta T = \left(\frac{T_{b1} + T_{b2} + T_{b3} + T_{b4}}{4} \right) - \left(\frac{T_{y1} + T_{y2} + T_{y3} + T_{y4}}{4} \right) \quad (3.2)$$

$$R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_b} \quad (3.3)$$

Verim

$$\eta = \left(\frac{\dot{Q}_y}{\dot{Q}_b} \right) \quad (3.4)$$

şeklindedir (EK-1).

3.2.6. Belirsizlik analizi

Deneysel çalışmada esnasında ısı borusunda bulunan cihaz ve ekipmanlardan kaynaklanan belirsizlikler, belirsizlik analizi ile tespit edilmiştir. Isı borusunda yer alan cihazın cinsi, deney koşulları, verilerin okunması, ölçü aletlerinin bağlantı noktaları gibi birçok parametre belirsizliğe yol açan değişkenlerdir. Eşitlik 3.5'de S sonucu bağımsız değişkenler ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) cinsinden verilen bir fonksiyon, $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ bağımsız değişkenlerdeki belirsizlikler ve W_s sonuçlardaki belirsizliklerdir.

$$W_s = \left[\left(\frac{\partial S}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial S}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial S}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.5)$$

Isı borusunda gerçekleştirilen sıcaklık ölçümlerinin toplam belirsizliği, ısı çiftlerinin hassasiyeti, ısı çiftlerinin bağlantı noktaları ve ölçüm sonucu okumasından gelen hatalardan oluşmaktadır. Bu doğrultuda sıcaklık ölçüm belirsizliği Eşitlik 3.6. kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{Isıl \ Çift} = \left[(W_{Isıl \ Çift \ Hassasiyeti})^2 + (W_{Bağlantı \ Noktası})^2 + (W_{Okuma})^2 \right]^{1/2} \quad (3.6)$$

$$W_{Isıl \ Çift} = ((0,5)^2 + (1)^2 + (0,5)^2)^{1/2} = 1,224$$

Hesaplama sonucunda ısı çifflerin ölçüm belirsizliği % 1,224 olarak belirlenmiştir.

Deney sırasındaki soğutma suyunun akış hızını ölçmek için kullanılan akış ölçer belirsizliği, debimetrenin hassasiyeti ve okuma hatalarından oluşmaktadır. Bu kapsamda debimetre belirsizliği Eşitlik 3.7.'ye göre belirlenir.

$$W_{AÖ} = \left[(W_{Akış \ Ölçer \ Hassasiyeti})^2 + (W_{Okuma})^2 \right]^{1/2} \quad (3.7)$$

$$W_{AÖ} = ((0.01)^2 + (0.01)^2)^{1/2} = 0.0141$$

Sonuçta debimetreden kaynaklanan belirsizlik % 0,0141 olarak hesaplanmıştır.

Deney düzeneğinin buharlaştırıcı bölümünde bulunan güç kaynağının belirsizliği hassasiyeti ve okuma hatasına göre Eşitlik 3.8.'de yer alan formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$W_{GK} = \left[(W_{Güç \ Kaynağı \ Hassasiyeti})^2 + (W_{Okuma})^2 \right]^{1/2} \quad (3.8)$$

$$W_{GK} = ((1)^2 + (1)^2)^{1/2} = 1,414$$

Sonuçta güç kaynağından kaynaklanan belirsizlik % 1,414 olarak hesaplanmıştır.

Deney düzeneğinde yer alan ölçüm cihazlarından kaynaklanan belirsizliklerin kabul edilebilir sınırlarda olduğu görülmektedir. Ölçüm cihazlarına ait teknik bilgiler ile belirsizlikler Çizelge 3.5'te sunulmuştur.

Çizelge 3.5. Ölçüm cihazları özellikleri, hassasiyetleri ve ölçüm belirsizlikleri

Cihaz	Özellikleri	Hassasiyet	Belirsizlik
Isıl Çift (termokupl)	K-tipi ısı çift ölçüm aralığı: 0 °C - + 1100 °C	$\pm 0,5$ °C	% 1,224
Akış Ölçer	Ölçüm aralığı 0-15 g/s	± 0.01 g/s	% 0,0141
Güç Kaynağı	Fluke-43b ölçüm cihazı	± 1 W	% 1,414

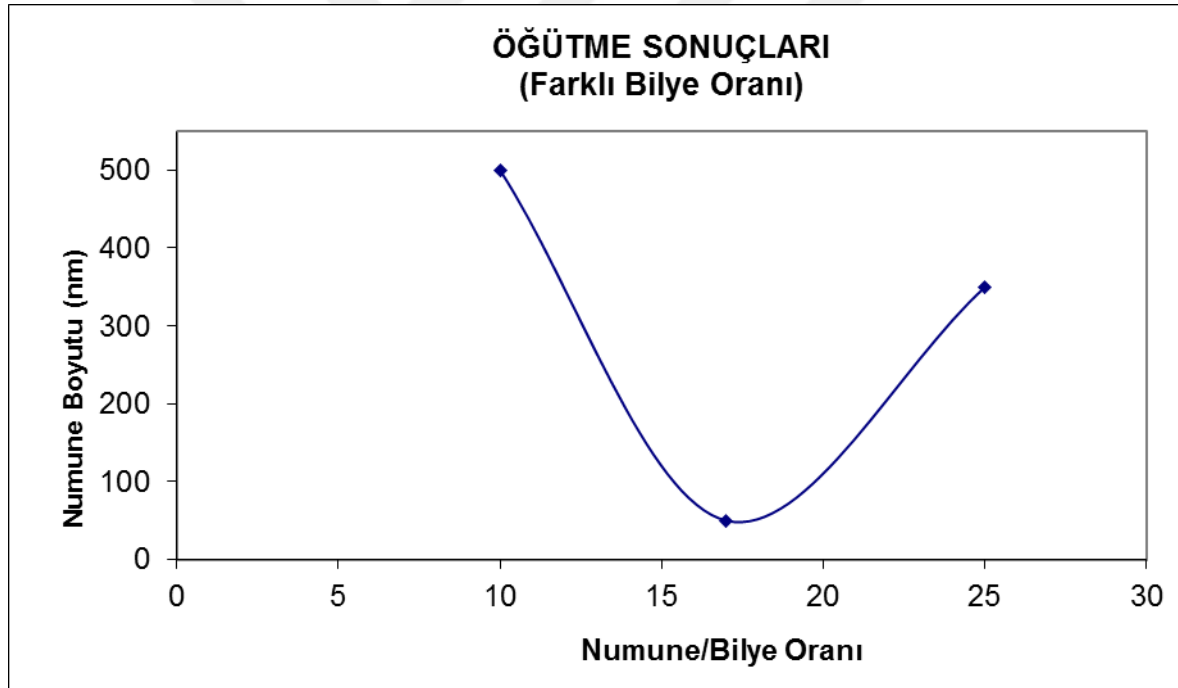


4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar kısmında detaylı olarak anlatılan “Nano Parçacık Üretimi”, “Nanoakışkan Hazırlanması ve Kararlılık Değerlendirmesi”, “Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Ölçülmesi” ve “Nanoakışkanların Isı Borusu Performans Ölçümleri” olmak üzere yürütülen dört aşamalı çalışmanın sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

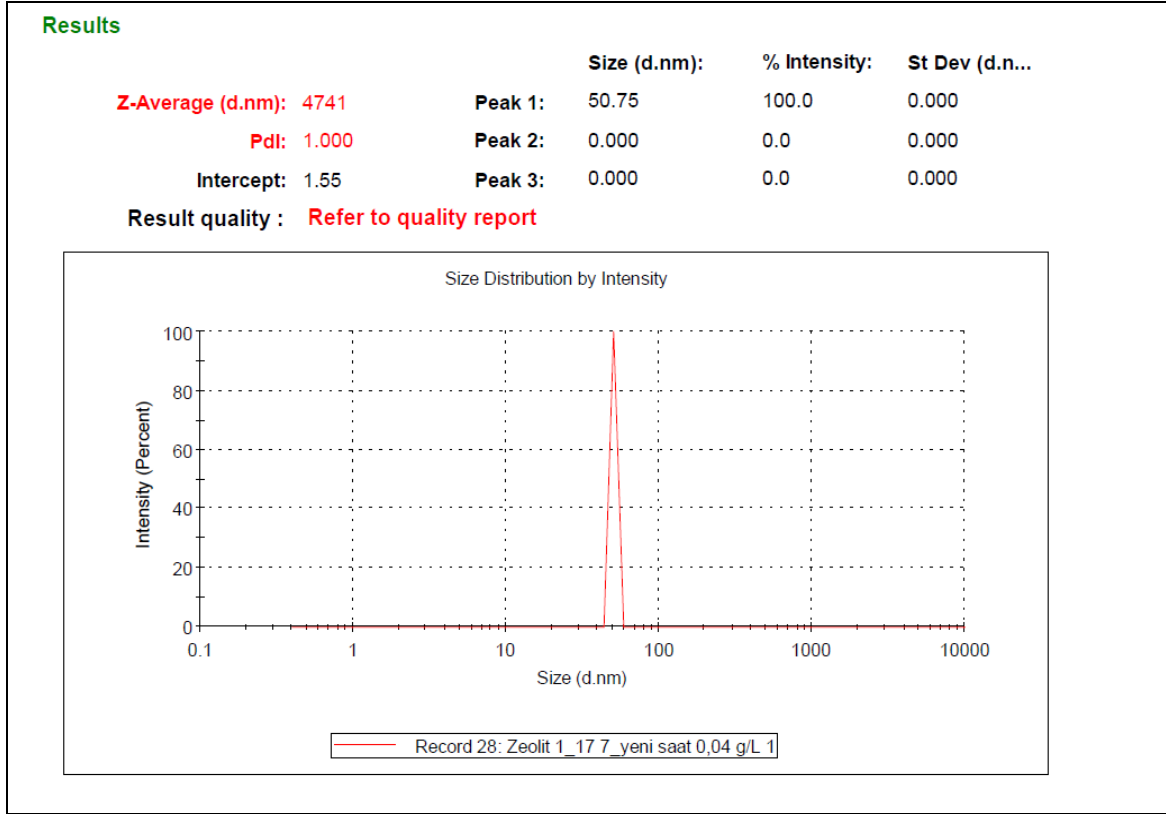
4.1. Nano Parçacık Üretimi

Spex tipi yüksek enerjili bilyeli öğütücüde farklı numune/bilye kütle oranlarında 7 saat süreyle öğütme yapılmıştır. Elde edilen verilerden bilye oranına karşı numune boyutunda olan değişim grafiği çizilmiş ve grafik Şekil 4.1’de sunulmuştur.



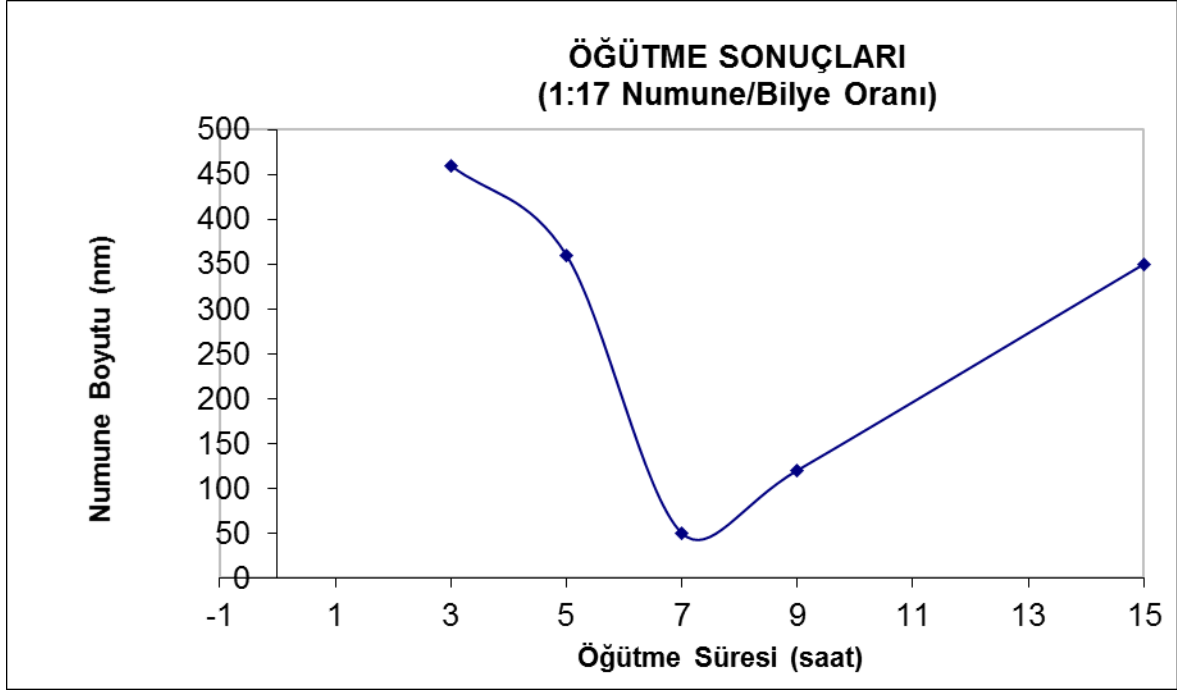
Şekil 4.1. Farklı bilye oranında 7 saat öğütme sonucundaki boyut ölçüm sonuçları

1:17 bilye oranında 7 saat gerçekleştirilen öğütme sonucunda nano parçacık boyut ölçümü Malvern Zetasizer boyut ölçüm cihazında yapılmıştır. Öğütme işlemi sonucunda 50 nm boyutuna kadar inilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen boyut dağılım grafiği Şekil 4.2’de sunulmuştur.



Şekil 4.2. Klinoptilolit boyut dağılım grafiği

Öğütme süresinin boyut üzerindeki etkisini inceleyebilmek amacıyla 1:17 numune/bilye oranında ve 3, 5, 7, 9 ve 15 saat olmak üzere 5 farklı öğütme süresinde deneyler tekrarlanmıştır. Deney sonucunda zamana bağlı olarak numune boyutundaki değişim grafiği çizilmiş ve grafik Şekil 4.3’de sunulmuştur.



Şekil 4.3. 1/17 bilye oranında ve farklı öğütme sürelerindeki boyut ölçüm sonuçları

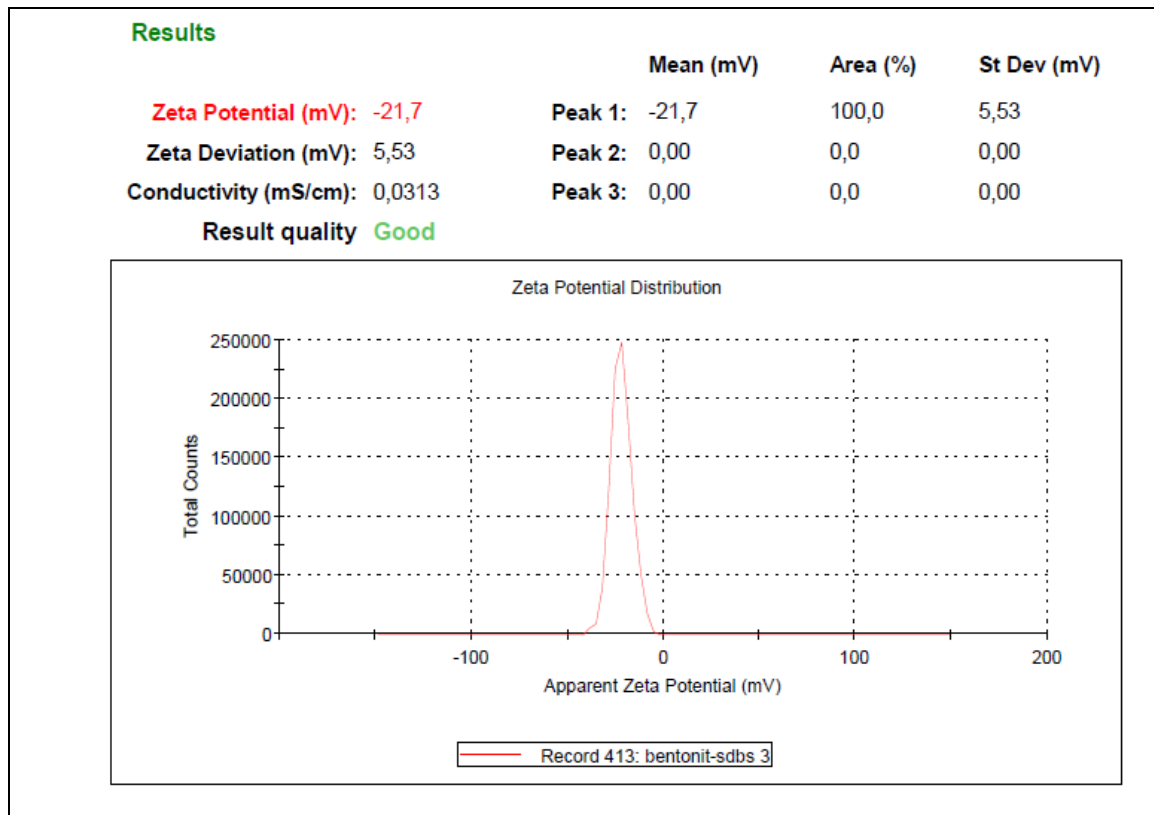
7 saat yapılan öğütme sonucunda ortalama 50 nm boyutuna ulaşıldığı tespit edilmiştir. 7 saatten daha uzun süren öğütme sonucunda boyutun büyüdüğü gözlemlenmiştir. Boyuttaki büyüme topaklaşma oluşumu ile açıklanabilir. Öğütme sırasında sıcaklığında etkisi ile belirli bir boyutun altına inildikten sonra malzemede topaklaşma meydana gelmekte ve sonuç olarak boyutta büyüme oluşmaktadır. Literatürde Spex cihazında magnezyum hidrürün öğütülme çalışmaları sonucunda zamana bağlı olarak boyut küçülürken belirli bir süreden sonra boyutta büyüme olduğu raporlanmaktadır [72]. Sonuçlar literatür verileri ile desteklenmektedir.

4.2. Nanoakışkanların Hazırlanması ve Kararlılık Değerlendirmesi

Öğütme işlemi tamamlanan nano parçacıklar kullanılarak kütlece % 2 bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit ile % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanların kararlılık analizlerinin yapılabilmesi için zeta potansiyelleri ölçülmüştür. Zeta potansiyeli ölçümü nanoakışkanların kararlılığının belirlenmesi için kullanılan en yaygın yöntemdir [48]. Ölçümler sonucunda belirlenen zeta potansiyel sonuçları Çizelge 4.1’de ve en kararlı olduğu belirlenen bentonit içeren nanoakışkana ait zeta potansiyel ölçüm grafiği Şekil 4.4’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Mineralojik malzemelerin zeta potansiyel sonuçları

Mineralojik Malzeme	Zeta Potansiyeli (mV)
Bentonit	-21,7
Diatomit	-20,6
Sepiyolit	-20,1
Klinoptilolit	-19,7



Şekil 4.4. Bentonit nanoakışkanının zeta potansiyeli grafiği

Üretilen numunelerin kararlı olup olmadıkları nanoakışkanlarda genel olarak zeta potansiyelinin ölçülmesi ile belirlenmektedir. Ölçülen zeta potansiyeli mutlak değer olarak, 30 mV'un üzerinde ise fiziksel olarak karardır. 60 mV'un üzerinde ise tam kararlı yapıya sahiptir. Zeta potansiyel değeri, 20 mV'un altına düştüğünde sınırlı bir kararlılığa sahiptir ve 5 mV'un altında ise yoğun topaklanmalar söz konusudur [74].

Sonuçlardan da görüleceği üzere en kararlı yapının bentonit içeren nanoakışkan olduğu belirlenmiştir. Zeta potansiyeli sonuçları ısı borusu deney sonuçları ile desteklenmektedir.

Nanoakışkanın kararlılığı arttıkça ısı borusu verimi artmaktadır. Diğer mineralojik nanoakışkanlara göre daha kararlı olan bentonit içeren nanoakışkanların askıda daha fazla nano metal oksit içermesi nedeniyle ısı iletkenlik ve özgül ısı değerlerinin diğerlerine göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçta kararlı bir süspansiyon oluşturan bentonit içeren nanoakışkanının ısı borusundaki ısı transferini iyileştirerek verimi arttırmıştır.

Ayrıca % 0,5 Triton X-100 içeren nanoakışkanın zeta potansiyeli 13,5 mV olarak ölçülmüştür. SDBS içeren süspansiyonun daha kararlı bir yapı oluşturduğu ve askıda tutulan parçacık miktarının Triton X-100'e göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Literatürde yapılan çalışmada SDBS kullanılması durumunda ısı borusu ısı iletkenliğinin Triton X-100 göre daha düşük olduğu raporlanmış olup, deneysel sonuçlar literatür verileri ile desteklenmektedir [68].

4.3. Termofiziksel Özellikler

Termofiziksel özellikler kütlece % 2 bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit ve % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak ölçülmüştür.

4.3.1 Özgül ısı

Deneysel olarak ölçümleri gerçekleştirilen mineralojik nanoakışkanların özgül ısı sonuçları Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Mineralojik nanoakışkanların özgül ısı değerleri

	Özgül Isı (J/g °C)
Saf Su	4,18
Klinoptilolit	4,31
Sepiyolit	4,32
Diatomit	4,33
Bentonit	4,34

Deney sonuçları incelediğinde her bir nanoakışkanın özgül ısısının suya kıyasla daha büyük olduğu görülmektedir. Nanoakışkanların içerisinde bulunan metal oksitler sayesinde ısı tutma ve taşıma kapasitesinin saf suya göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Bentonit nanoakışkanın özgül ısı değeri diğer mineralojik malzemeler ile kıyaslandığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Isıl iletkenlik sonuçları zeta potansiyeli sonuçları ile desteklenmektedir.

Bentonit nanoakışkanının % 0,5, % 2 ve % 4'lük derişim oranları için özgül ısı değerleri Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

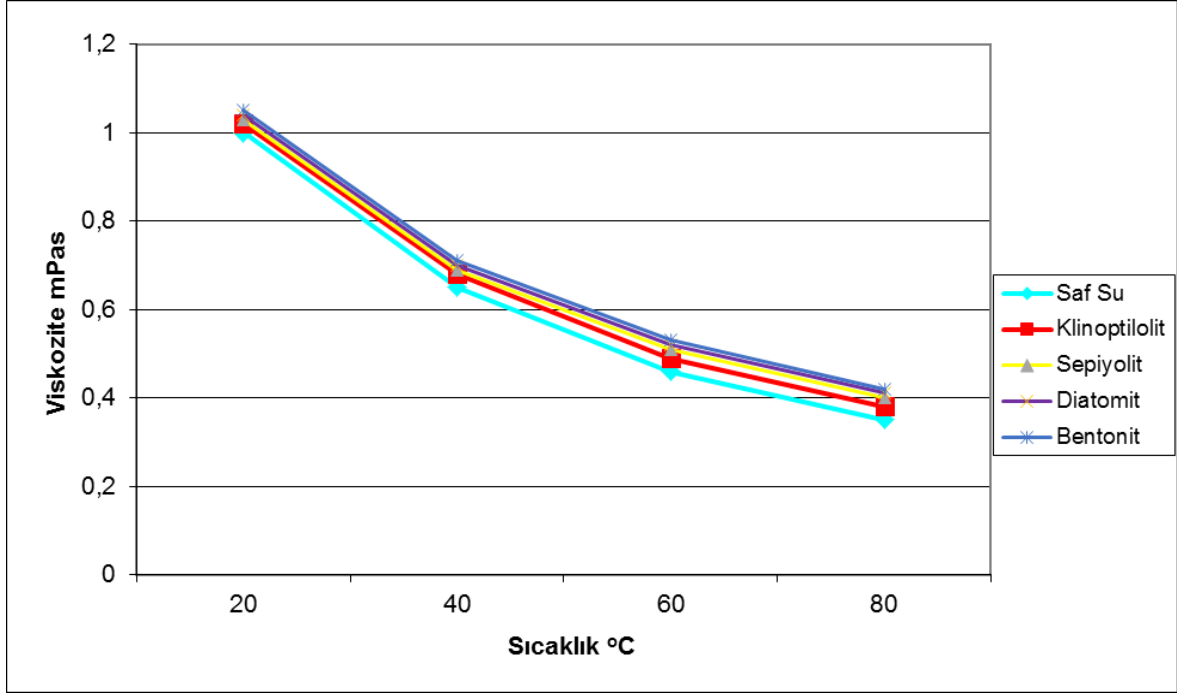
Çizelge 4.3. Bentonit içeren nanoakışkanın derişim değişimine bağlı özgül ısı sonuçları

	BENTONİT NANOAKIŞKAN DERİŞİMİ		
	% 0,5	% 2	% 4
ÖZGÜL ISI (J/g °C)	4,20	4,34	4,36

Nanoakışkan derişimi arttıkça özgül ısı değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bu da nanoakışkan içerisindeki metal oksit tanecik miktarının artması ile ısı taşıma kapasitesinin arttığını göstermektedir. Ancak derişim artışı ile orantılı olarak özgül ısı değerinde bir artış olmamıştır. Derişim artsa dahi süspansiyon içerisinde askıda tutulabilen nano parçacık miktarının derişim artışı ile paralel olarak artmadığı, buna bağlı olarak çökelmenin arttığı gözlemlenmiştir.

4.3.2. Viskozite

Viskozite ölçümleri Brookfield marka viskozitemetre ile 20 °C, 40 °C, 60 °C ve 80 °C sıcaklıklarda yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Şekil 4.5'de sunulmuştur.



Şekil 4.5. Mineralojik nanoakışkanların viskozite sonuçları

Saf suya kıyasla nanoakışkanların viskozite değerleri daha yüksektir. Nanoakışkanlar içerisinde askıda bulunan nano parçacıkların oluşturduğu parçacık-parçacık etkileşimi nedeniyle akışa karşı oluşan direnç artar ve dolayısıyla viskozite artmış olur.

Mineralojik malzeme içeren nanoakışkanların viskozite değerleri sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Literatürde nanoakışkanlarda sıcaklığın artışı ile viskozitenin azaldığı raporlanmaktadır [31-33]. Bu da sıcaklık artışı ile birlikte nano parçacık ve temel akışkan arasındaki etkileşimin azaldığını göstermektedir.

Nanoakışkanların endüstride kullanımını belirleyen önemli termofiziksel özelliklerden bir tanesi de viskozitedir. Viskozite değerine bağlı olarak akış kanallarında basınç düşüşü oluşmakta, akış için gerekli olan pompa gücü artmakta ve kanal boyunca erozyon oluşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı viskozitenin kontrol altında olması gerekmektedir.

4.3.3. Isıl iletkenlik

Isıl iletkenlik sonuçları Çizelge 4.4'de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek ısıl iletkenlik artışının saf suya kıyasla bentonit içeren nanoakışkanın olduğu ve artış oranının % 16 olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. Mineralojik nanoakışkanların ısı iletkenlik sonuçları

	Isıl İletkenlik (W/m °C)
Saf Su	0,5960
Bentonit	0,7585
Diatomit	0,7079
Sepiyolit	0,6932
Klinoptilolit	0,6801

Literatürde nanoakışkanların ısı iletkenliğinin temel akışkana göre daha yüksek olduğu raporlanmıştır [14-15]. Deneysel çalışma sonuçları literatür verileri ile de desteklenmektedir.

Bentonit içeren nanoakışkanın konsatrasyon değişimine bağı ısı iletkenlik sonuçları Çizelge 4.5’de sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Bentonit içeren nanoakışkanın derişim değişimine bağı ısı iletkenlik sonuçları

	BENTONİT NANOAKIŞKAN DERİŞİMİ		
	% 0,5	% 2	% 4
Isıl İletkenlik (W/m °C)	0,6694	0,7585	0,7754

Isıl iletkenlik sonuçlarının ısı borusu, özgül ısı ve zeta potansiyeli sonuçları ile paralellik göstermiştir. En büyük artış bentonit içeren nanoakışkan ile sağlanmıştır. Zeta potansiyeli verileri ile ısı iletkenlik değerlerini desteklemektedir. Zeta potansiyeli en büyük çıkan nanoakışkan bentonit içeren nanoakışkan olarak belirlenmiştir. Bentonit içeren nanoakışkanın diğ er mineral nanoakışkanlara göre çok daha fazla askıda nano parçacıklar içermesi nedeniyle ısı iletkenliğinin diğ er mineralojik nanoakışkanlara göre daha büyük olduğu sonucuna varılmaktadır.

Derişim artttıkça ısı iletkenliğin artmıştır. Derişim artışına paralel olarak ısı iletkenliğin de artmış olması literatür verileri ile de desteklenmektedir [21,22]. Bu da nanoakışkan

içerisindeki metal oksit tanecik miktarının artması ile ısıl iletkenliğin arttığını göstermektedir. Ancak derişim artışı ile orantılı olarak özgül ısı değerinde de artış olduğu gibi ısıl iletkenlikte de bir artış olmamıştır. Derişim artsa da süspansiyon içerisinde askıda tutulabilen nano parçacık miktarının çok fazla artmadığı, buna bağılı olarak çökelenin arttığı gözlemlenmiştir.

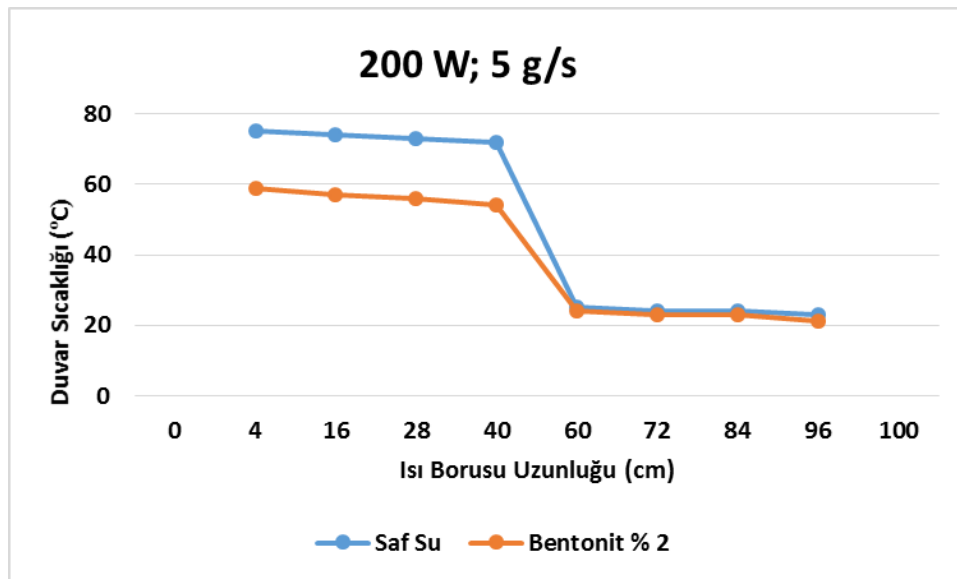
4.4. Isı Borusu Deney Sonuçları

Isı borunda gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda sistemde mineralojik nanoakışkan kullanılması durumunda “Isı Borusu Duvar Sıcaklıkları”, “Isıl Direnç” ve “Verim” değerlerinde oluşan değışim saf suya kıyasla incelenmiştir. Çalışma sonuçları aşağıda sunulmuştur.

4.4.1. Isı borusu duvar sıcaklığı sonuçları

Bentonit içeren nanoakışkanın ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

Bentonit içeren nanoakışkan kullanılarak 200 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağılı olarak sıcaklık değışim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de sunulmuştur.

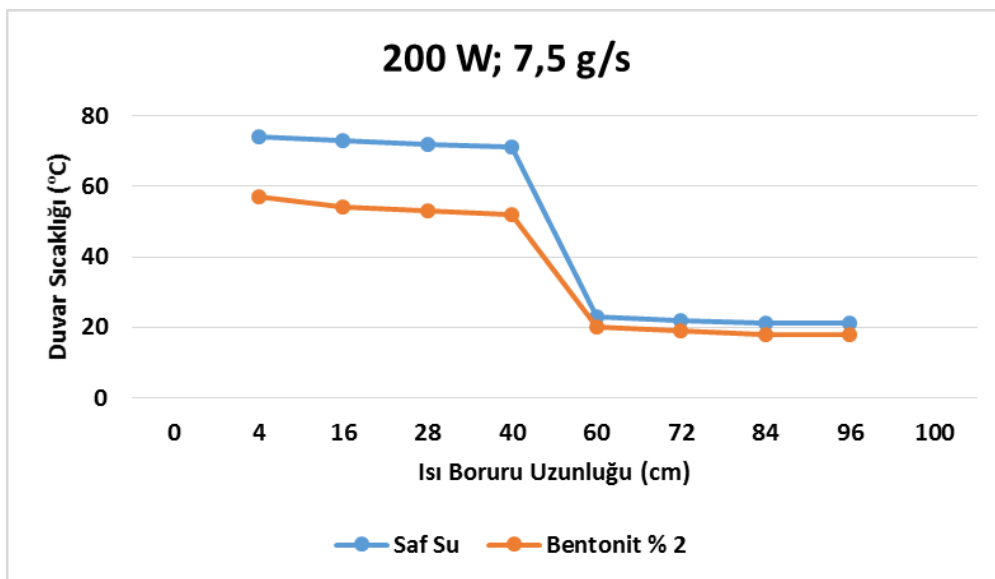


Şekil 4.6. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

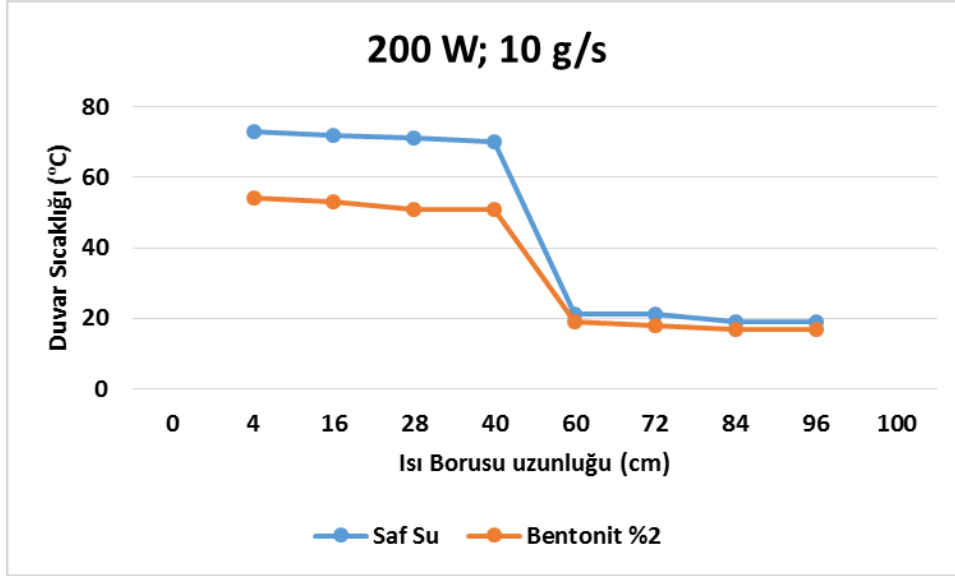
Şekil 4.6'dan da görüldüğü üzere buharlaşma bölümünden yoğunlaşma bölümüne doğru ısı borusu duvarında genel olarak kademeli bir sıcaklık düşüşü gözlenmiştir. Saf su kullanıldığında buharlaştırıcıda ortalama sıcak 73,5 °C iken bentonit nanoakışkanı kullanıldığında ortalama sıcak 56,5 °C olmaktadır. Bentonit içeren nanoakışkan kullanılması durumunda ortalama sıcakta 17 °C azalma olduğu görülmektedir. Sonuçta, bentonit içeren nanoakışkanın suya göre daha düşük sıcaklıklarda kaynadığı belirlenmiştir. Literatürde ısı borusunda nanoakışkan kullanılması durumunda buharlaştırıcı bölümden yoğunlaştırıcı bölüme doğru bir sıcaklık düşüşü olduğu raporlanmış olup, literatür bilgileri deneysel çalışma sonuçlarını desteklemektedir [57,58].

Aynı şekilde de saf suya kıyasla bentonit içeren nanoakışkanın kullanılması durumunda yoğunlaştırıcıdaki ortalama sıcaklığın saf su kıyasla düşük olduğu görülmektedir.

Saf su yerine nanoakışkanın kullanılması durumunda buharlaştırıcıda düşük sıcaklıklarda kaynama olmakta ve yoğunlaştırıcıda soğutma sıvısına ısı transfer hızı daha fazla olmaktadır. Bu da nanoakışkanların saf suya kıyasla ısıl iletkenliğinin ve özgül ısı değerinin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Isıl iletkenlik ve özgül ısı değerlerindeki artışın nedeni olarak nanoakışkan içerisinde bulunan nano boyuttaki metal oksit parçacıkların suya kıyasla daha yüksek ısı taşıma kapasitesine sahip olması ve ayrıca nano parçacıkların ısı transfer alanını arttırması ile açıklanabilmektedir [53-55].



Şekil 4.7. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 W güç ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

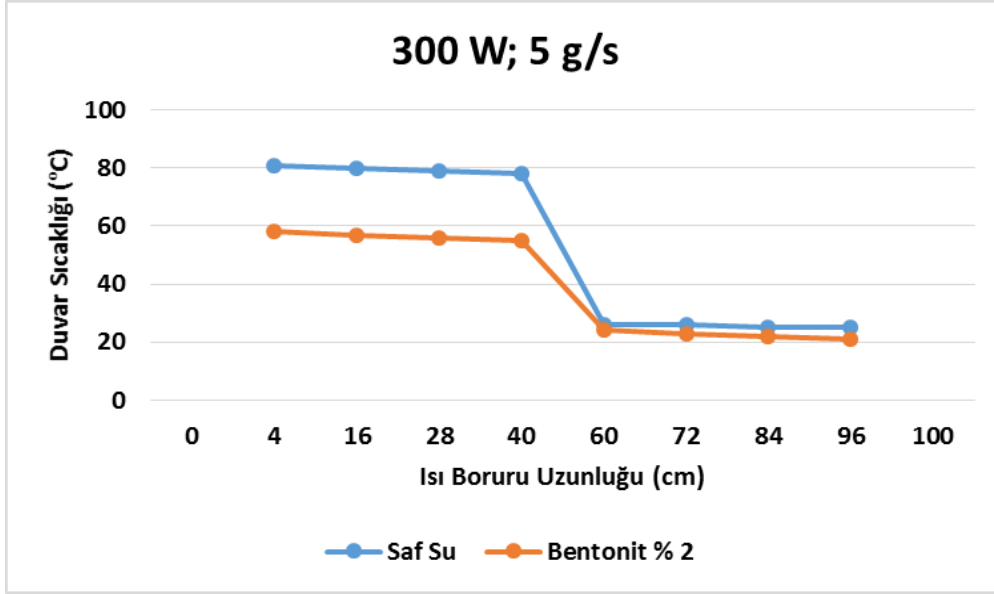


Şekil 4.8. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 W güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

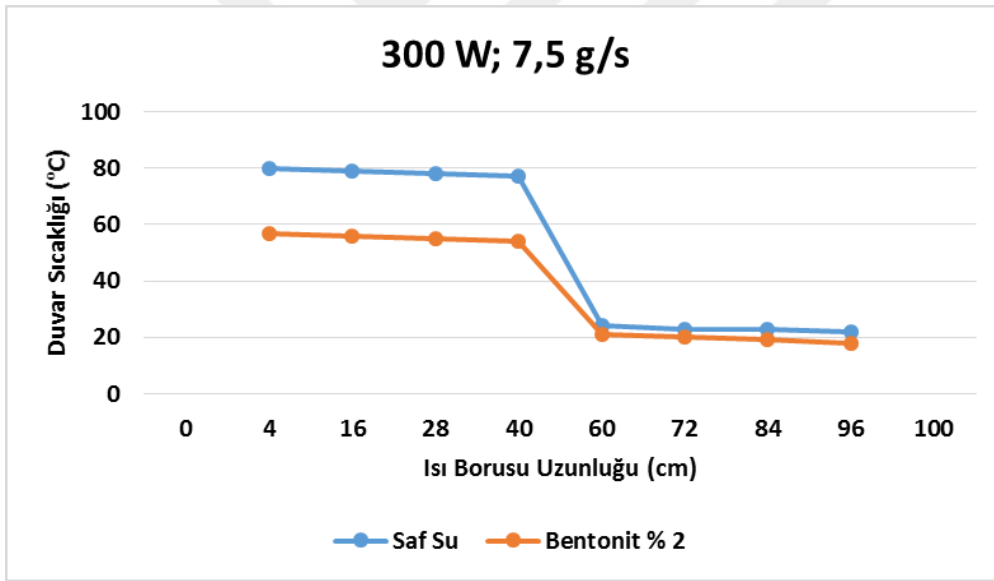
Benzer olarak Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de yer alan deney sonuçlarından da görüldüğü gibi 200 Watt, 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisindeki deney sonuçlarında bentonit içeren nanoakışkanın kullanılması durumunda saf suya kıyasla daha düşük sıcaklıklarda kaynama olduğu belirlenmiştir.

Soğutma suyu debisindeki artışa bağlı olarak buharlaştırıcı ve yoğunlatıcı ortalama duvar sıcaklıklarında kademeli bir düşüş olduğu belirlenmiştir.

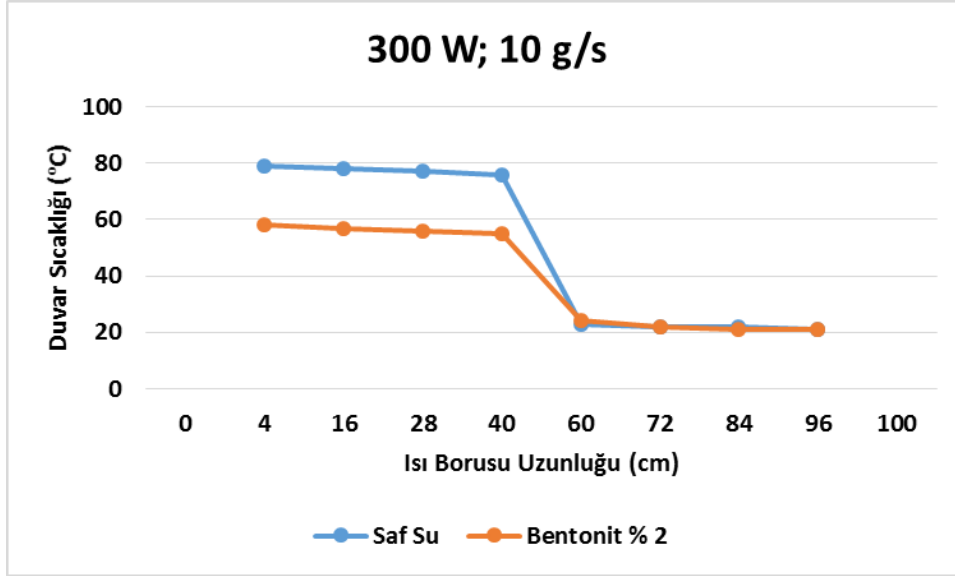
300 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de sunulmuştur.



Şekil 4.9. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve 5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları



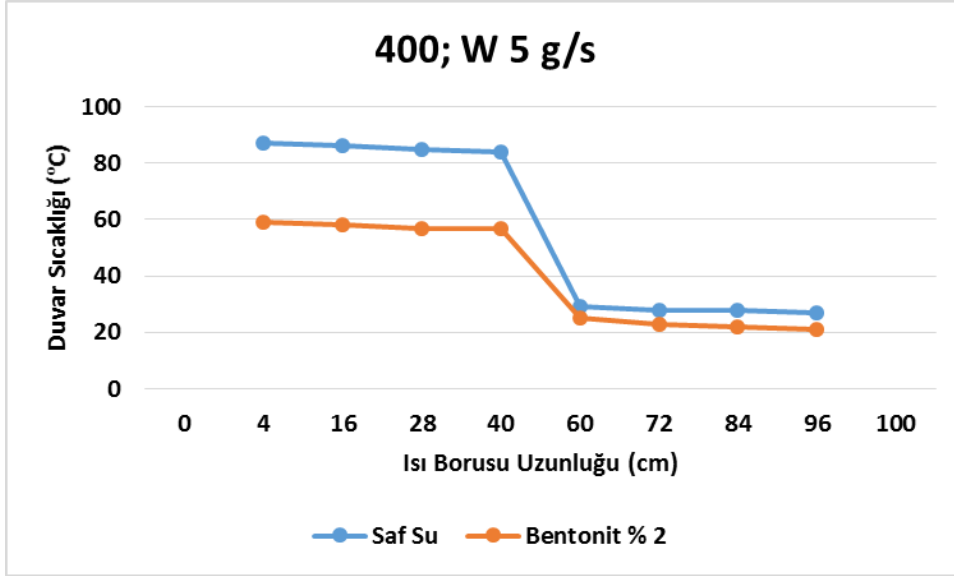
Şekil 4.10. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve 7,5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları



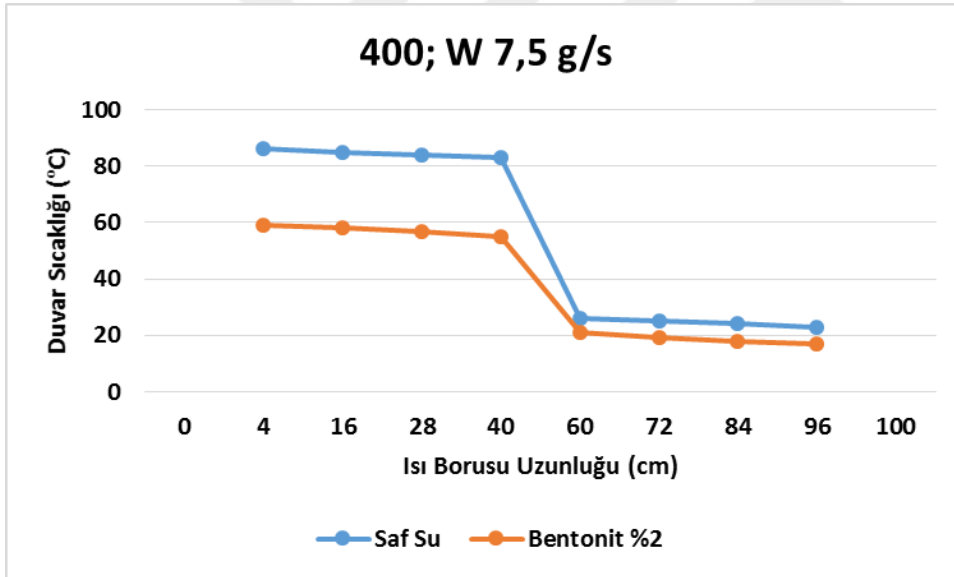
Şekil 4.11. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve 10 g/s, debideki duvar sıcaklıkları

Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de yer alan deney sonuçlarından da görüldüğü gibi 300 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisindeki deney sonuçlarında bentonit içeren nanoakışkanın kullanılması durumunda saf suya kıyasla daha düşük sıcaklıklarda kaynama olmuştur. Isıtma gücü artışına paralel olarak buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı bölümlerin ortalama sıcaklıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Soğutma suyu miktarının artması ile de her iki bölümde ortalama duvar sıcaklıklarında azalma tespit edilmiştir.

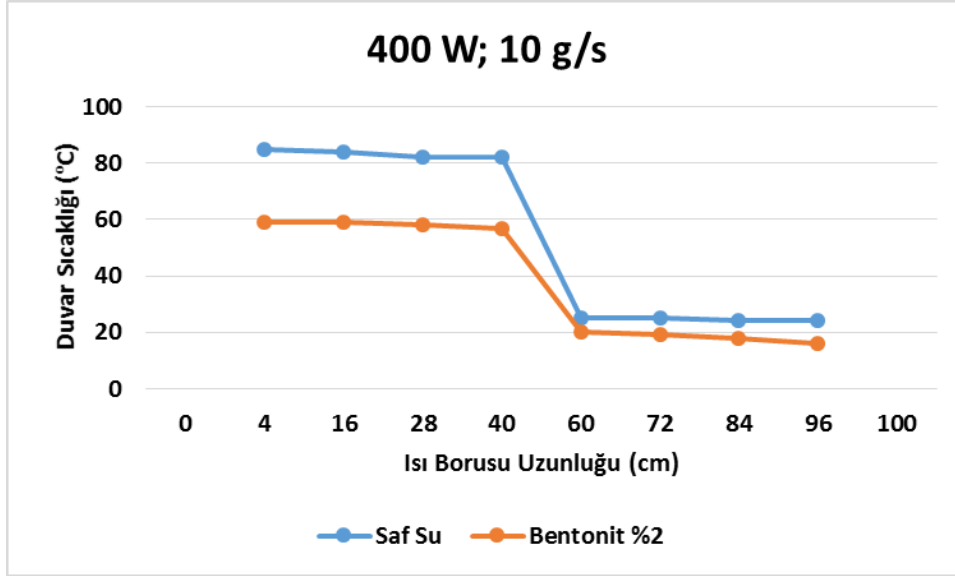
400 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleşen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’da sunulmuştur.



Şekil 4.12. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve 5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 4.13. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve 7,5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 4.14. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

Şekil 4.12 Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de yer alan deney sonuçlarından da görüldüğü gibi 400 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisindeki deney sonuçlarında bentonit içeren nanoakışkanın kullanılması durumunda saf suya kıyasla daha düşük sıcaklıklarda kaynama oluşu gözlemlenmiştir.

Bentonit içeren nanoakışkanın kullanılması durumunda buharlaştırıcıdaki ortalama sıcaklık her bir ısıtma gücü için karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.6’da sunulmuştur.

Çizelge 4.6. Bentonit nanoakışkanı buharlaştırıcı ortalama duvar sıcaklıkları

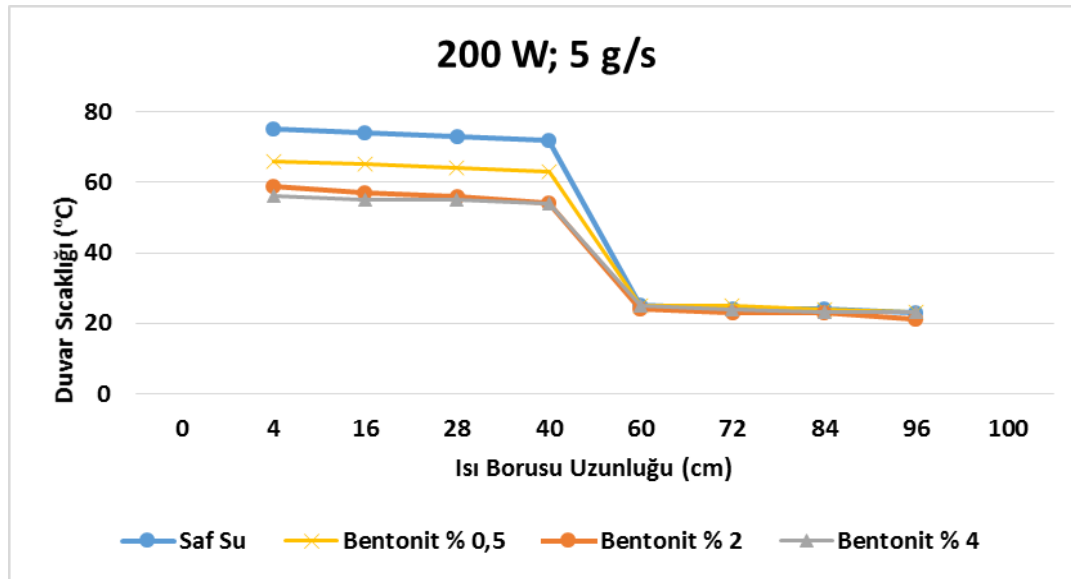
Güç (W)	Debi (g/s)	$\Delta T_{\text{Buharlaştırıcı}} (\text{°C})$ Saf Su	$\Delta T_{\text{Buharlaştırıcı}} (\text{°C})$ Bentonit Nanoakışkanı	Buharlaştırıcı Ortalama Sıcaklık Farkı (°C)
200	5	73,5	56,5	17
	7,5	72,5	56	16,5
	10	71,5	55,5	16
300	5	79,5	56,5	23
	7,5	78,5	55,5	23
	10	77,5	56,5	21
400	5	85,5	57,75	27,75
	7,5	84,5	57,25	27,25
	10	83,5	58,25	25,25

Tüm deney sonuçları incelendiğinde 400 Watt 5 g/s soğutma suyu debisinde, saf su kullanıldığında buharlaştırıcıda sıcaklık ortalama 85,5 °C iken bentonit içeren nanoakışkanın kullanıldığında sıcaklık ortalama 57,75 °C olmuştur. Bentonit kullanılması durumunda buharlaşma bölümündeki ortalama sıcaklığın 27,75 °C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuçlardan görüldüğü üzere saf su yerine nanoakışkan kullanılması durumunda buharlaştırıcı bölümden yoğunlaşma bölümüne doğru daha fazla ısının taşındığını göstermektedir.

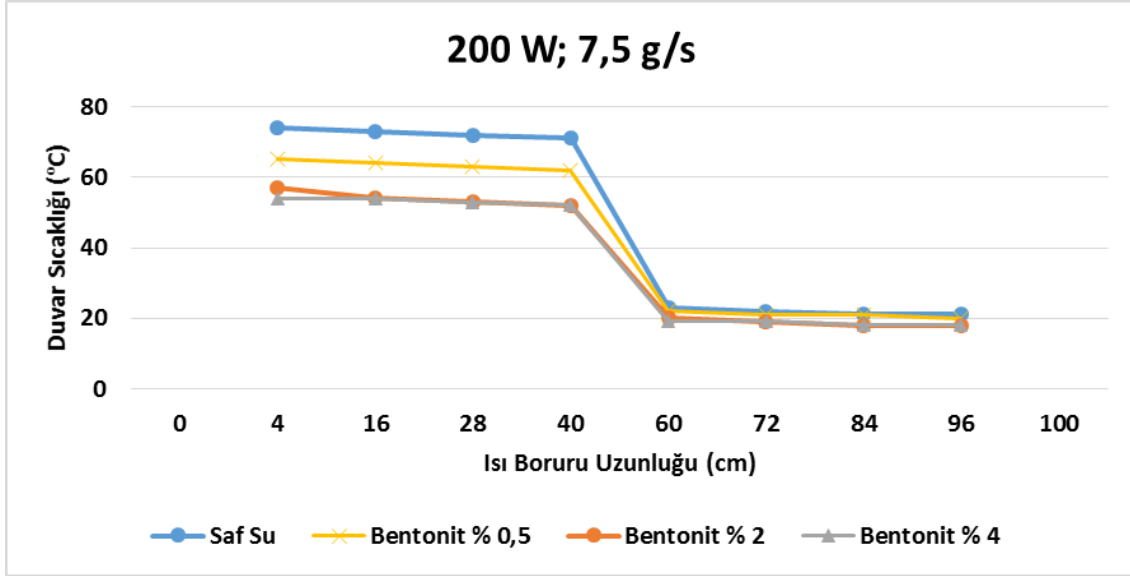
Bentonit içeren nanoakışkan içerisinde bulunan metal oksitler sayesinde ısı iletkenlik ve özgül ısı değerinin saf suya kıyasla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yüksek ısı iletkenlik değerine sahip nanoakışkanın saf suya kıyasla çok daha iyi ısı taşıyabildiğini göstermektedir.

Bentonit içeren nanoakışkanın derişim değişiminin duvar sıcaklığına etkisi

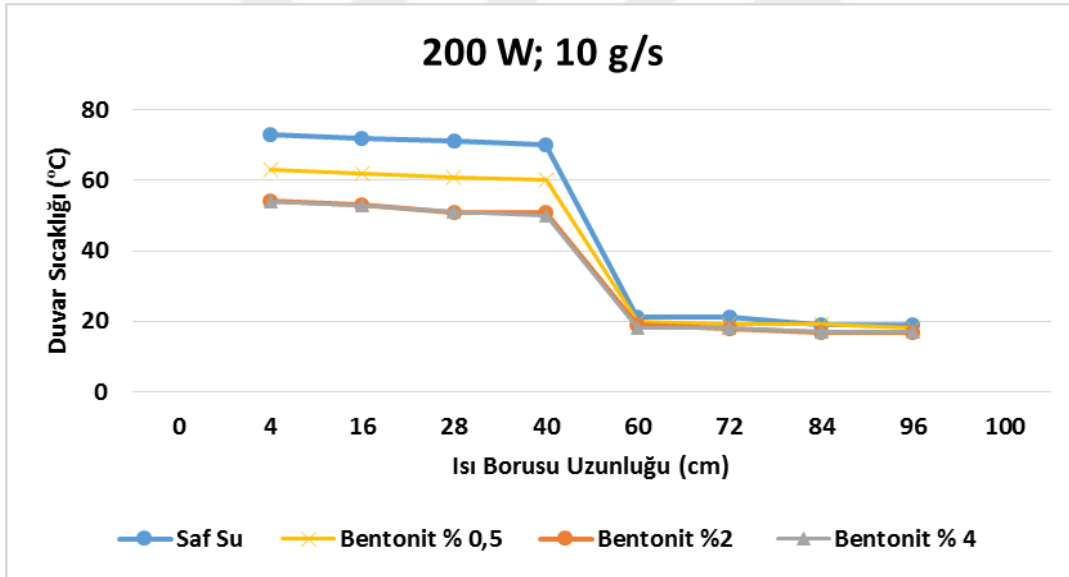
Kütlice % 0,5, % 2 ve % 4 derişim değerlerinde bentonit içeren nanoakışkan hazırlanmış ve ısı borusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. 200 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleşen deney sonuçları sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de sunulmuştur.



Şekil 4.15. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 5 g/s, debide derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



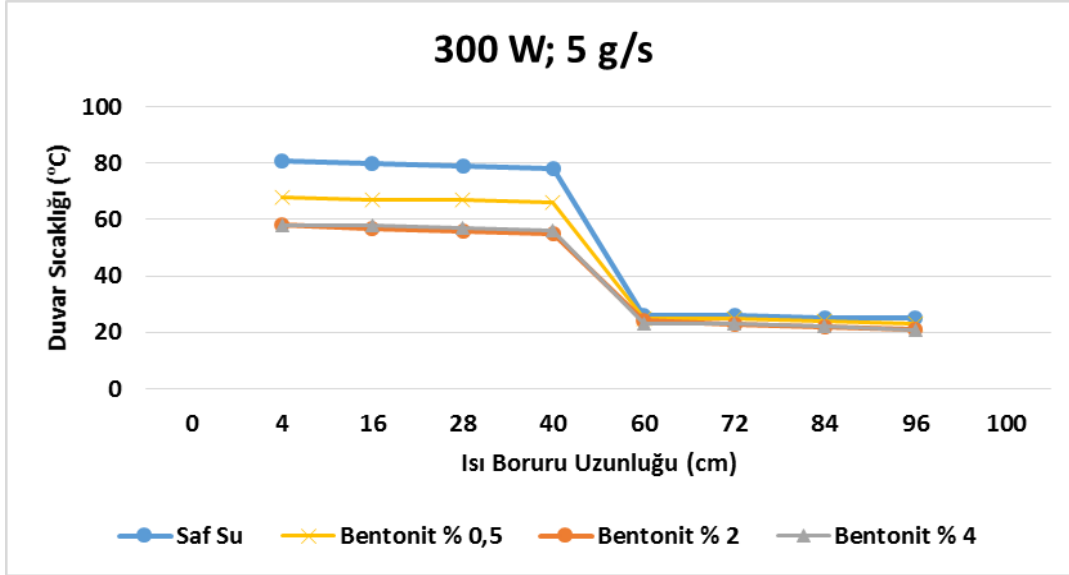
Şekil 4.16. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



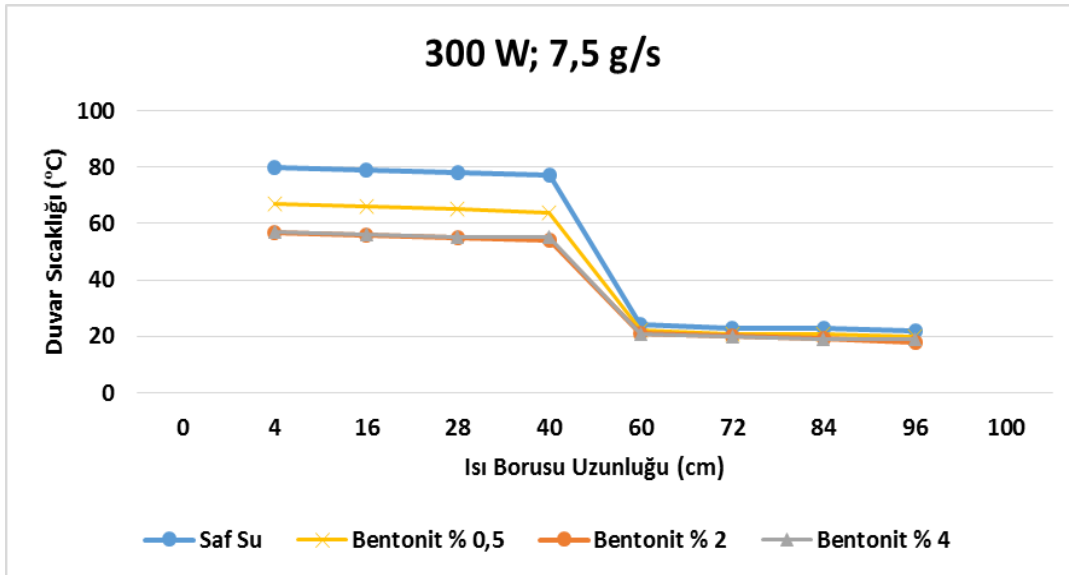
Şekil 4.17. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 10 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları

200 Watt'da gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda bentonit içeren nanoakışkanın derişimi arttıkça ortama duvar sıcaklığının düştüğü gözlemlenmiştir. Ancak % 2 derişim oranından % 4 derişim oranına çıkıldığında duvar sıcaklıklarının çok az değiştüğü görülmektedir.

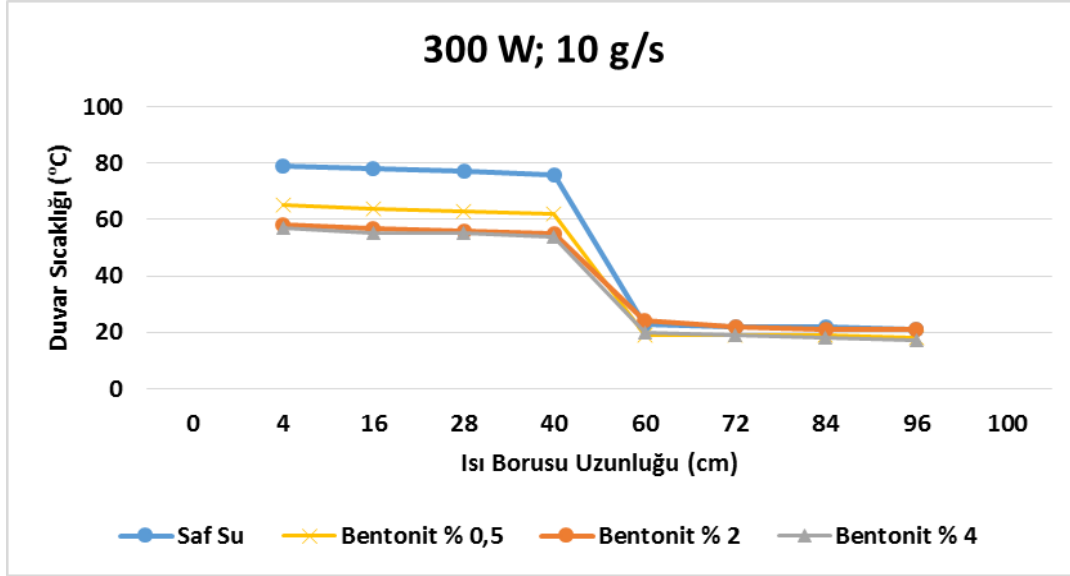
300 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleşen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de sunulmuştur.



Şekil 4.18. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



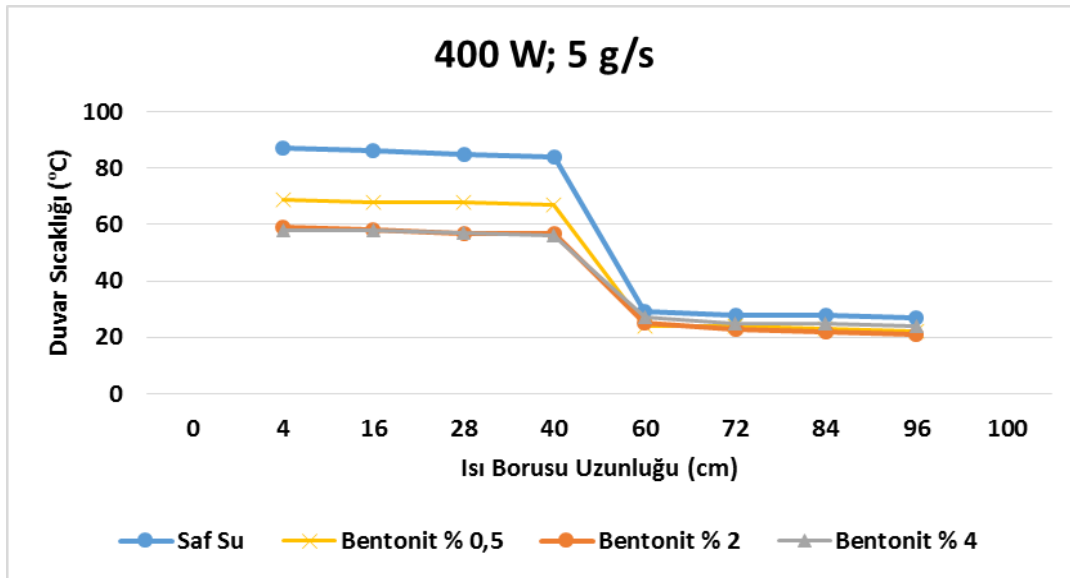
Şekil 4.19. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



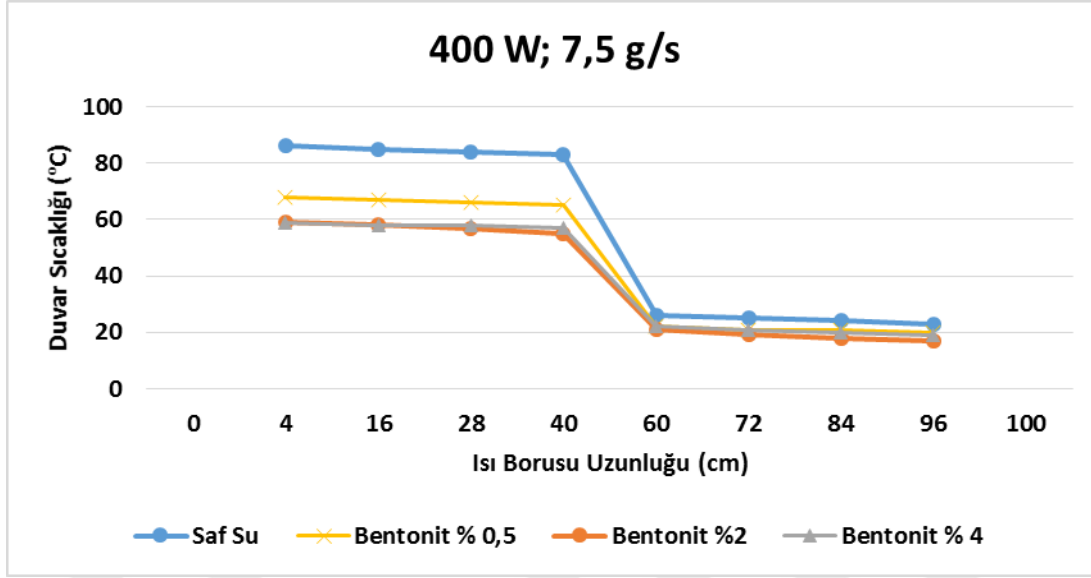
Şekil 4.20. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 10 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları

300 Watt'da geręekleřtirilen sonuçlar da 200 Watt sonuçlarını desteklemektedir. Yine derişim artışı ile duvar sıcaklıklarında düşüş gözlemlenmiştir. % 2 derişim oranından % 4 oranına çıkıldığında duvar sıcaklığının değişmediği tespit edilmiştir.

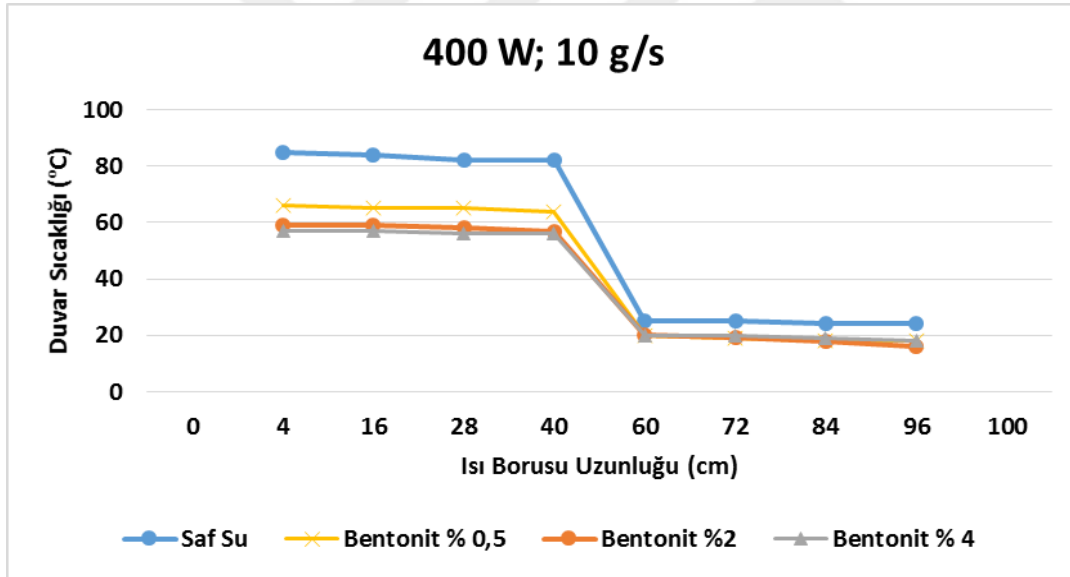
400 Watt 5, 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde geręekleřen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.21, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de sunulmuştur.



Şekil 4.21. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



Şekil 4.22. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



Şekil 4.23. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 10 g/s, debideki derişim değişimine bağlı duvar sıcaklıkları

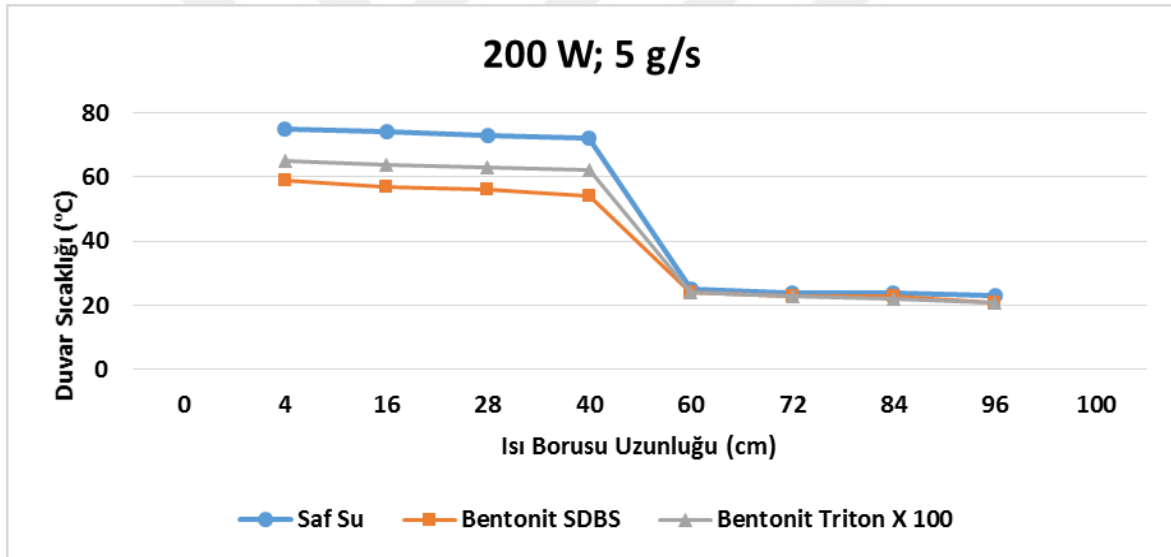
Tüm deney sonuçları irdelendiğinde nanoakışkan derişimi arttıkça daha düşük sıcaklıklarda kaynama olduğu belirlenmiştir Ancak derişim artış oranına paralel olarak kaynama sıcaklığının düşmediği görülmektedir. Bu da derişim arttıkça çökelpmenin arttığı, süspansiyon içerisinde askıda tutulabilen nano parçacık miktarının belli bir derişim oranından sonra derişim artışı ile paralel olarak artmadığını göstermektedir.

Deney sonuçları hem performans hem de maliyet açısından değerlendirildiğinde en iyi performans artışını sağlayan derişim oranının % 2 olduğu sonucuna varılmıştır.

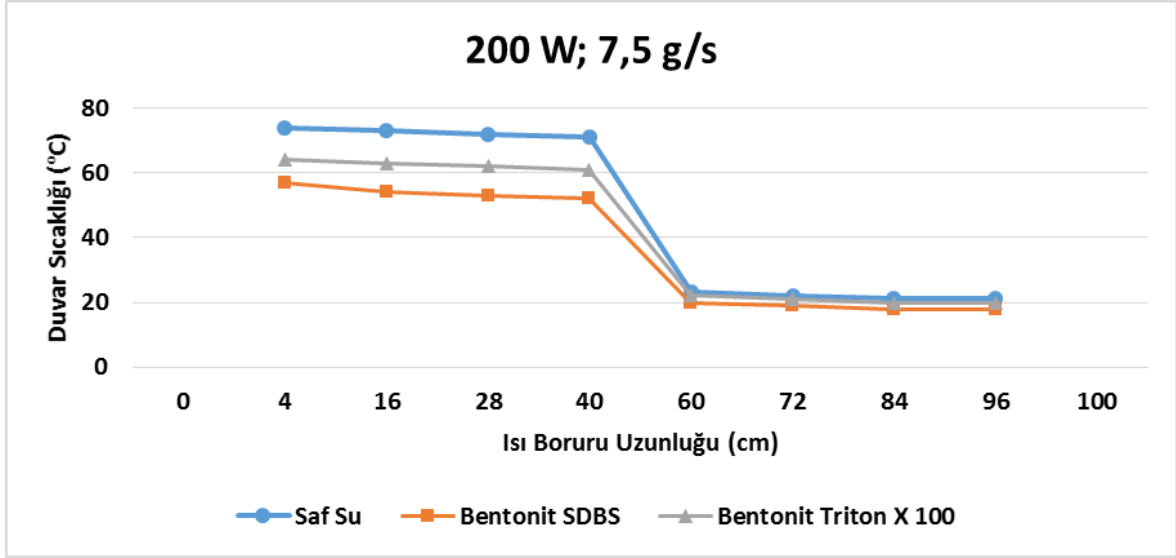
Yüzey aktif maddenin ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

Yüzey Aktif maddeler olan sodyum dodesil benzen sülfonat ve Triton X-100'ün ısı borusu performans değişimleri incelenmiştir. Deneysel çalışma % 2 bentonit ve % 0,5 yüzey aktif madde içeren nanoakışkan ile gerçekleştirilmiştir.

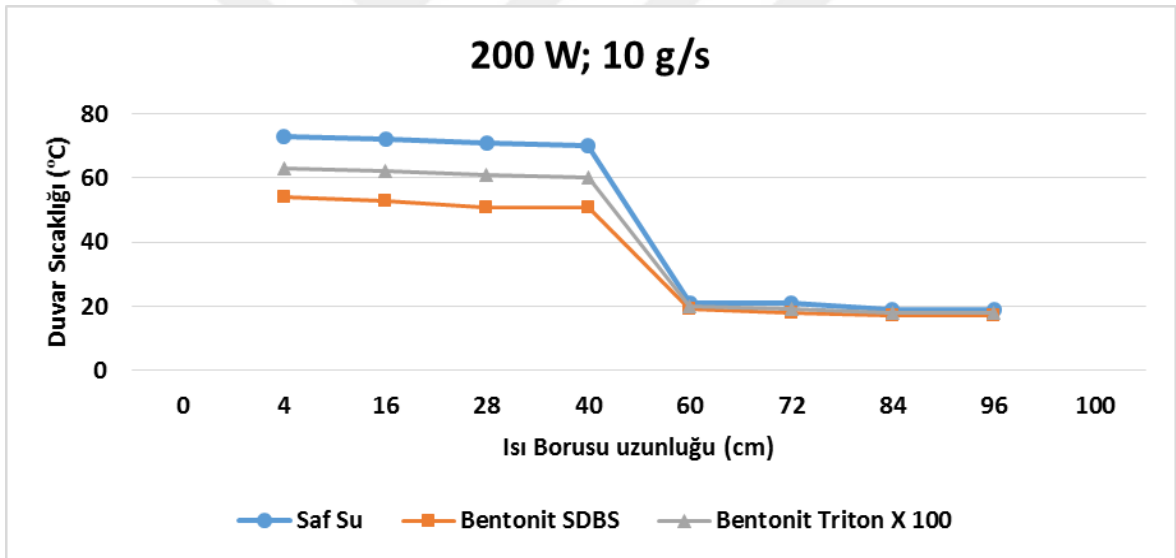
200 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekteşen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da sunulmuştur.



Şekil 4.24. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



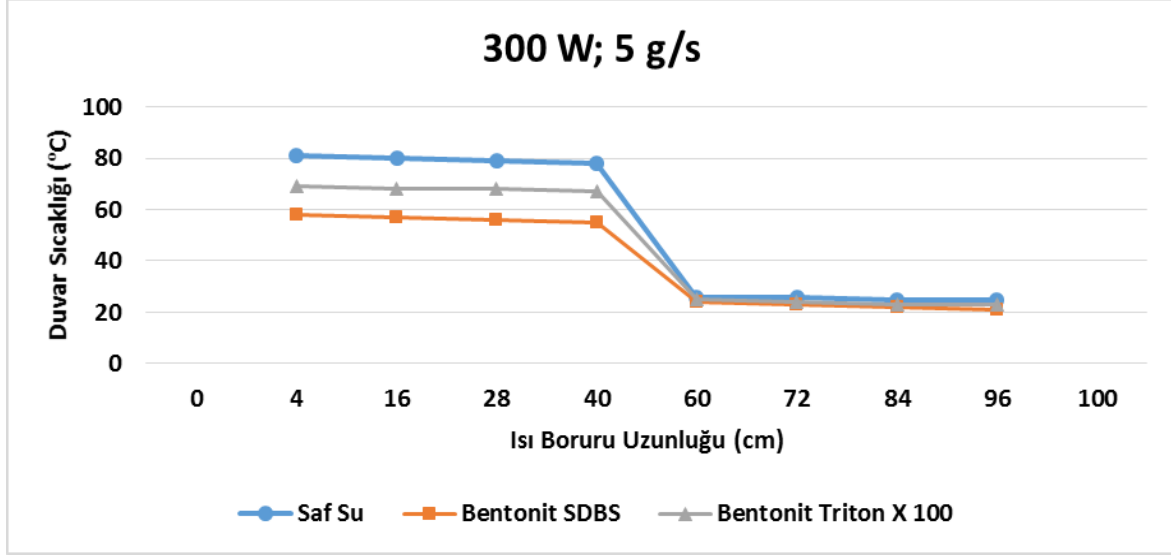
Şekil 4.25. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



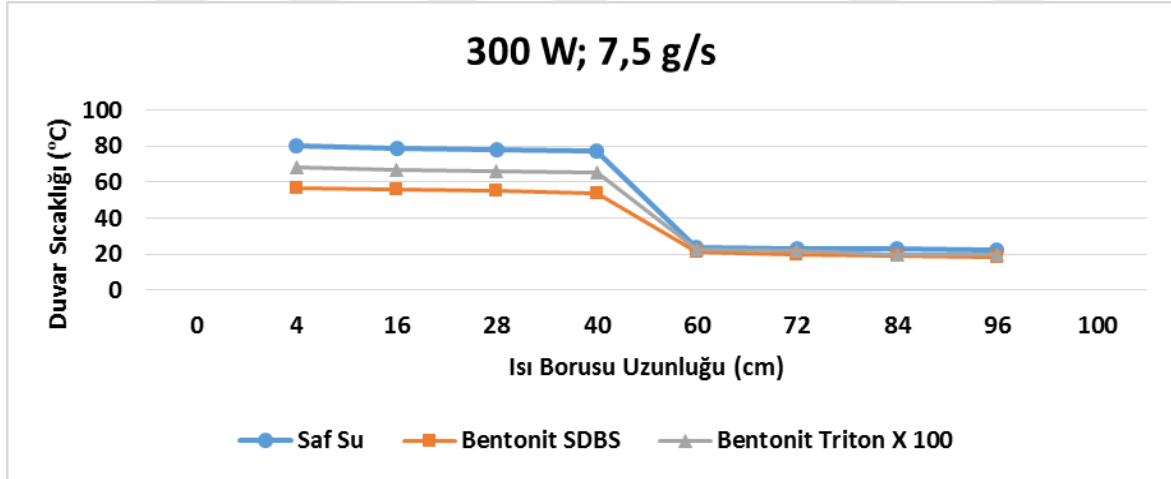
Şekil 4.26. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 10 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları

200 Watt'da gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda ısı borusunda SDBS içeren nanoakışkanın, kullanılması durumunda Triton X-100 içeren nanoakışkana göre daha düşük duvar sıcaklığına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu da SDBS içeren bentonit esaslı nanoakışkanın Triton X-100 içeren bentonit esaslı nanoakışkana göre süspansiyon içerisinde çok daha fazla metal oksit tutabildiğini göstermektedir.

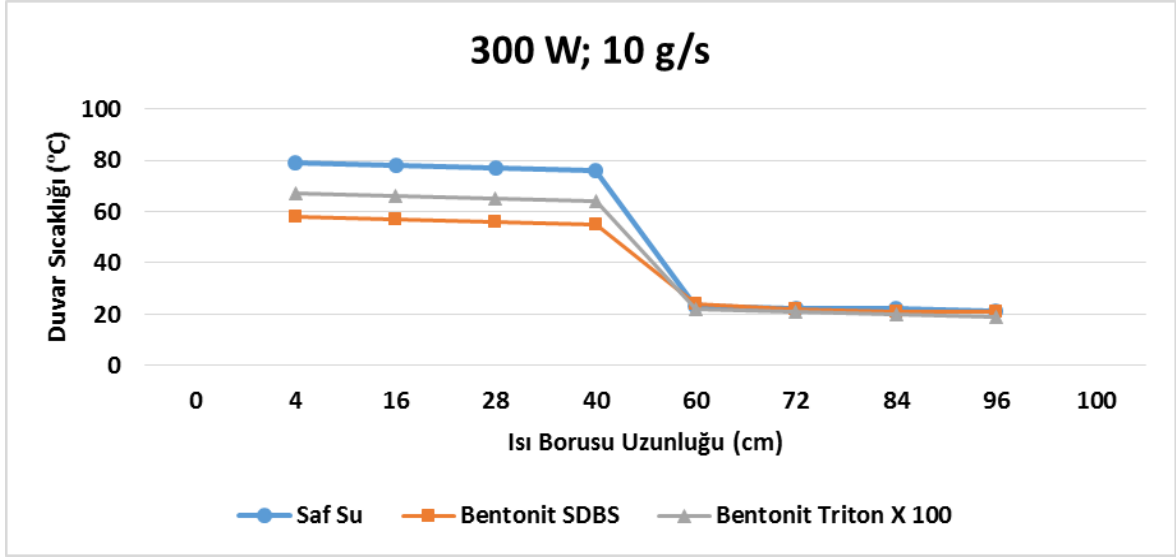
300 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleşen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da sunulmuştur.



Şekil 4.27. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



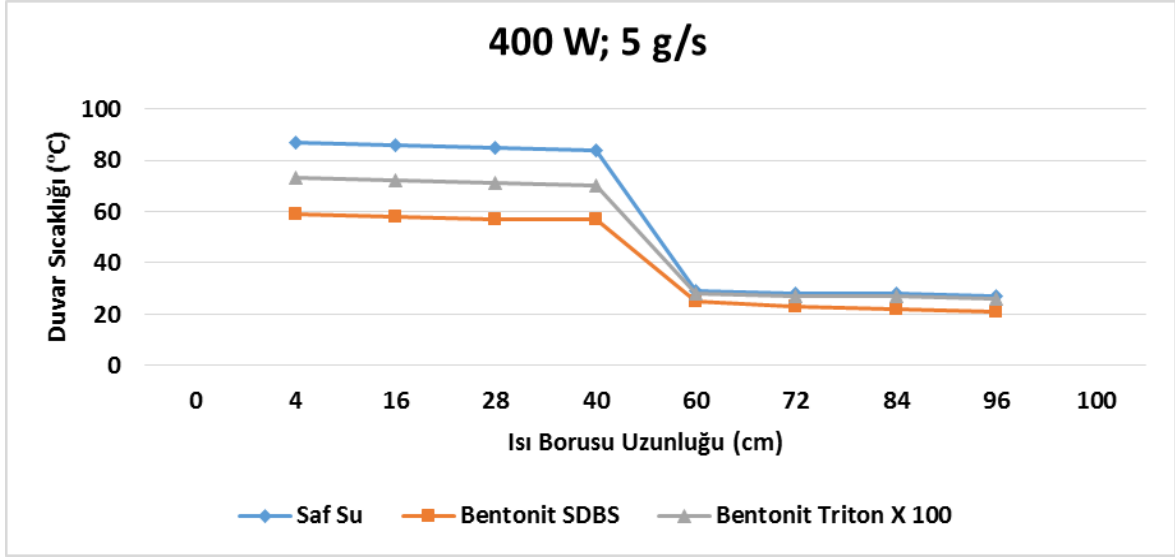
Şekil 4.28. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



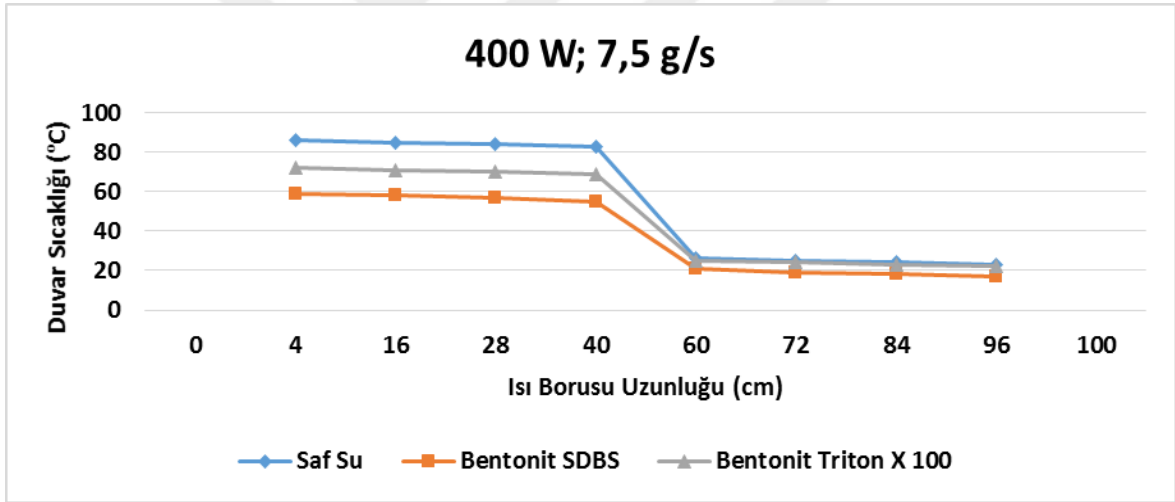
Şekil 4.29. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 10 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları

300 Watt'da gerçekleştirilen deney sonuçları 200 Watta gerçekleştirilen deney sonuçlarını desteklemektedir. 300 Watta yapılan çalışmalar sonucunda da SDBS içeren bentonit esaslı nanoakışkanın Triton X-100 içeren bentonit esaslı nanoakışkandan daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

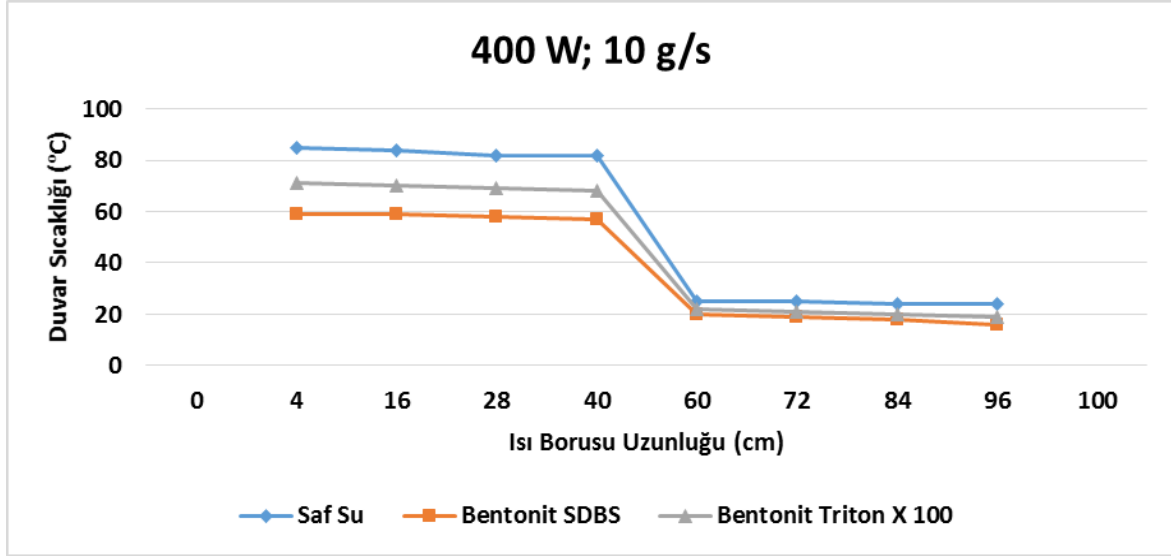
400 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleşen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.30, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de sunulmuştur.



Şekil 4.30. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



Şekil 4.31. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları



Şekil 4.32. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 10 g/s, debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı duvar sıcaklıkları

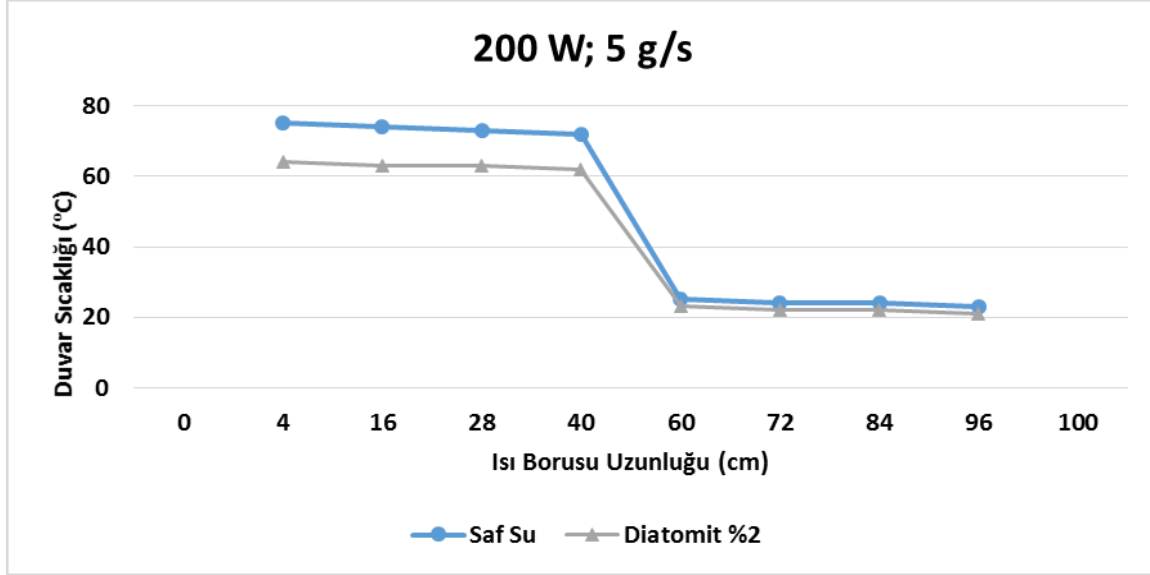
SDBS içeren nanoakışkanın, Triton X-100 içeren nanoakışkana göre ısı borusunda daha düşük sıcaklıklarda kaynama sağladığı kaydedilmiştir. SDBS anyonik Triton X-100 ise naniyonik bir yüzey aktif maddedir. SDBS kullanıldığında askıda tutulan parçacık miktarının daha fazla olduğu ve Triton X-100'e göre daha kararlı bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Bu durumda zeta potansiyeli ölçüm sonuçları ile desteklenmektedir. SDBS içeren bentonit nanoakışkanının zeta potansiyeli 21,7 mV iken, Triton X-100 içeren nanoakışkanın zeta potansiyeli ise 13,5 mV olarak ölçülmüştür. Nanoakışkan içerisinde bulunan nano parçacıklar yüzeyinde SDBS absorbe olarak moleküllerin yüzey enerjisini düşürmekte ve nanoakışkanın içerisindeki parçacıkların üniform dağılmasını sağlayarak topaklaşmayı ve çökelmeyi engellemektedir. Ayrıca literatürde yüzey aktif madde olarak SDBS'in kullanılması durumunda Triton X'e göre ısı borusu duvar sıcaklığı dağılımının daha düşük sıcaklıklarda seyrettiği raporlanmıştır [68].

SDBS yüzey aktif maddesinin kullanılması durumunda kararlı bir üniform nanoakışkan elde edildiğinden dolayı ısı borusu performansının Triton X-100'e göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

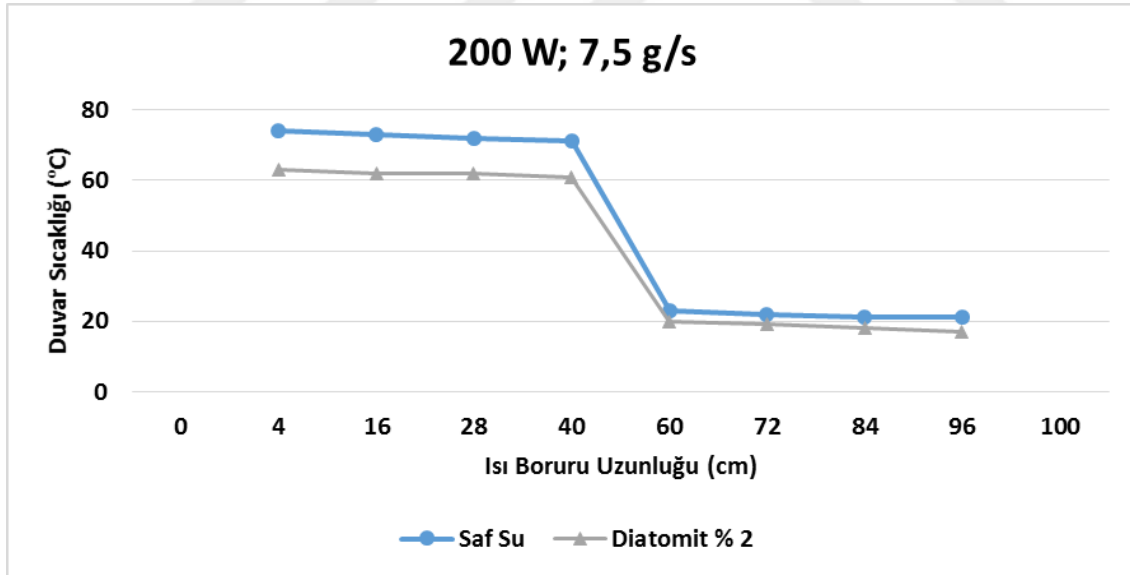
Diatomit içeren nanoakışkanın ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

Diatomit içeren nanoakışkan kullanılarak 200 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru

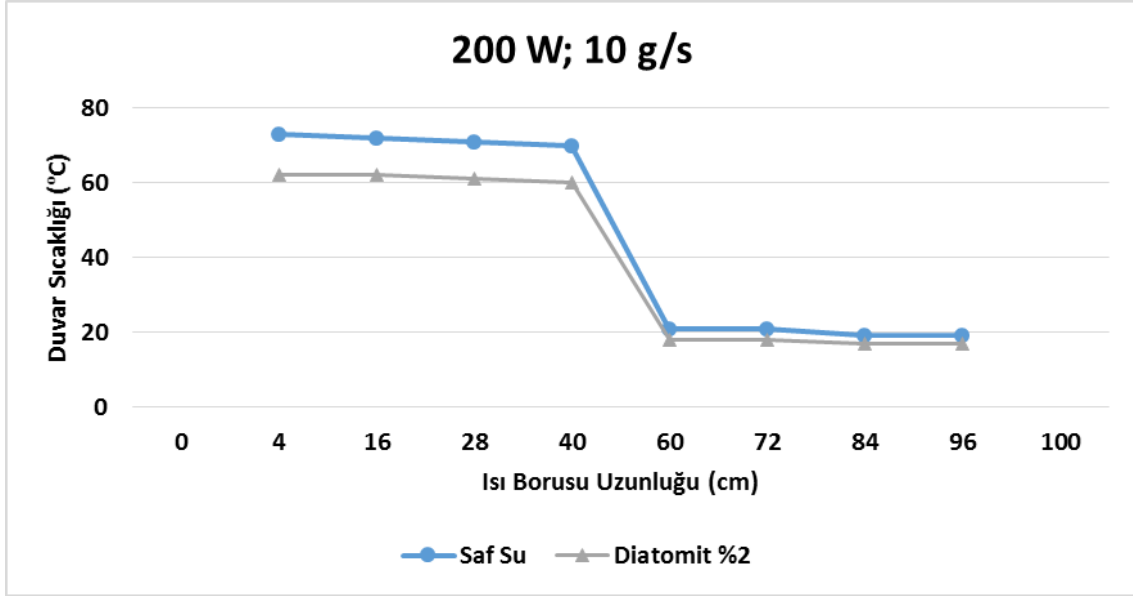
uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.33, Şekil 4.34 ve Şekil 4.35’de sunulmuştur.



Şekil 4.33. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 Watt g¼ęte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



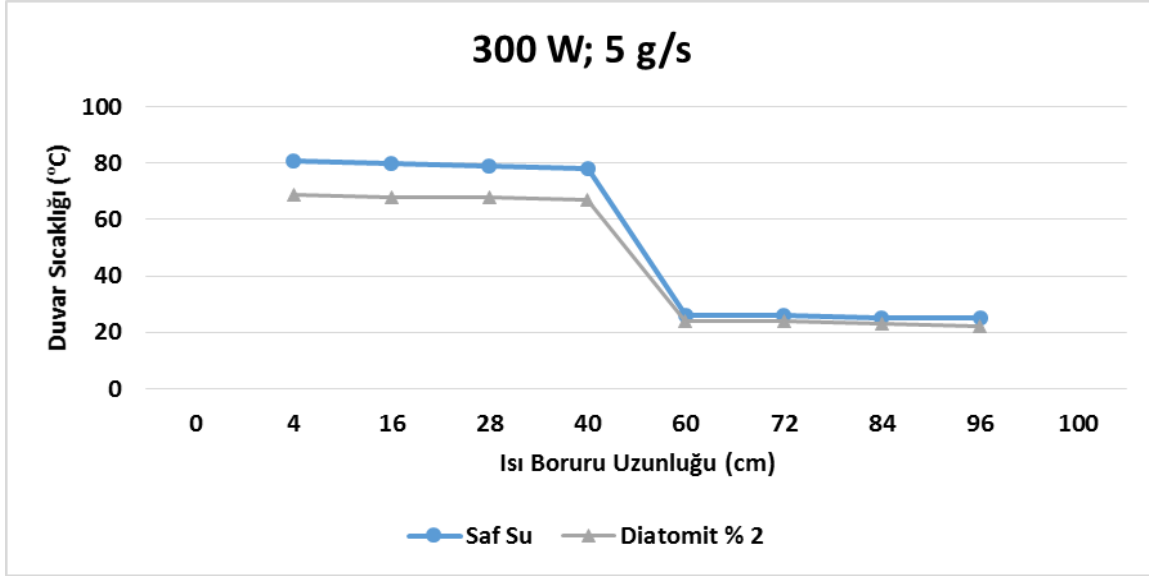
Şekil 4.34. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 Watt g¼ęte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



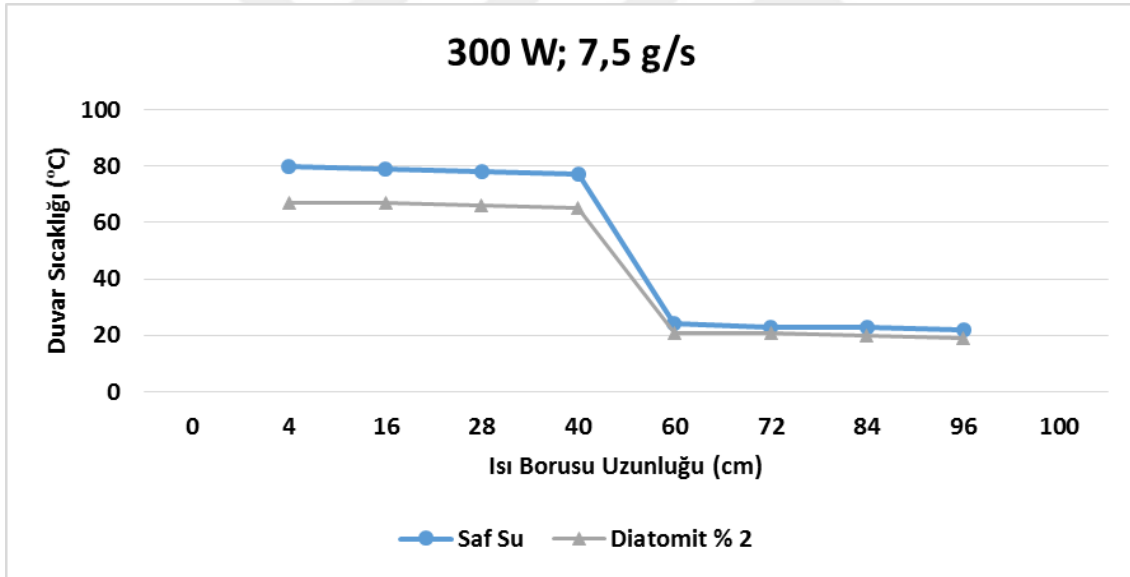
Şekil 4.35. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

200 Watt'da gerçekleştirilen deney sonucunda diatomit içeren nanoakışkan kullanılması durumunda saf suya kıyasla buharlaştırıcı bölüm ortalama duvar sıcaklığı dağılımının daha düşük değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Diatomit nanoakışkanı kullanılması durumunda buharlaştırıcı bölümdeki ortalama sıcaklık yaklaşık 10 °C'lik bir düşüş tespit edilmiştir.

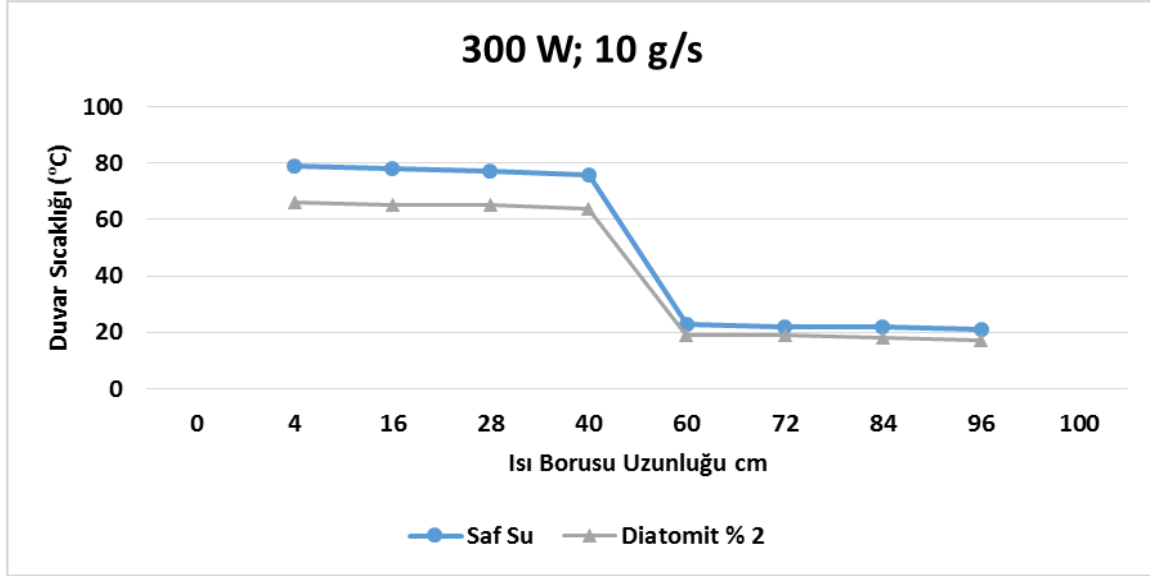
Diatomit içeren nanoakışkan kullanılarak 300 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.36, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de sunulmuştur.



Şekil 4.36. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



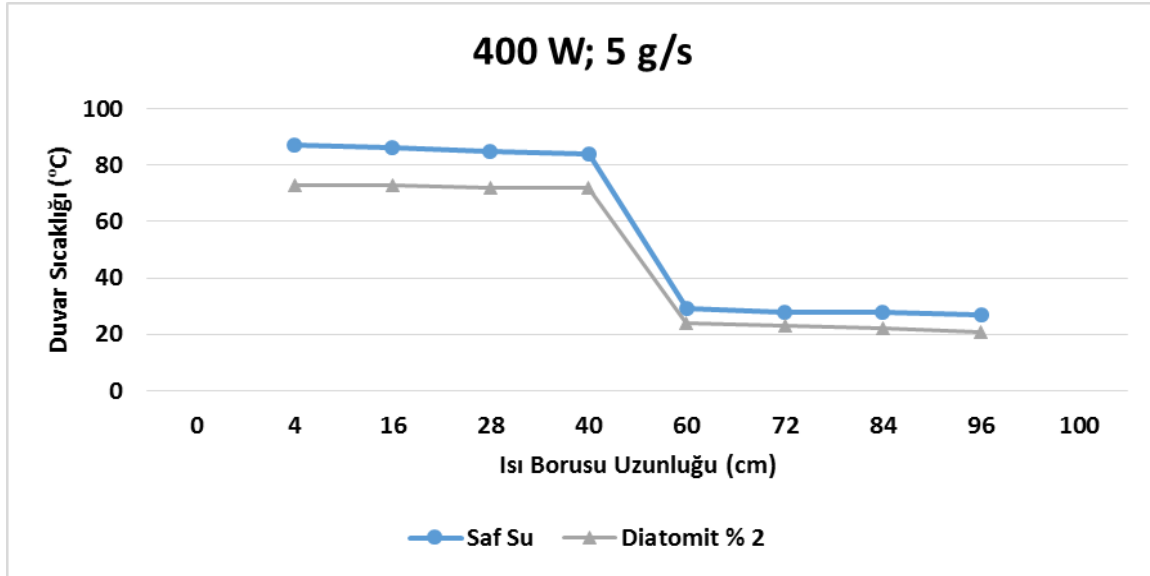
Şekil 4.37. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



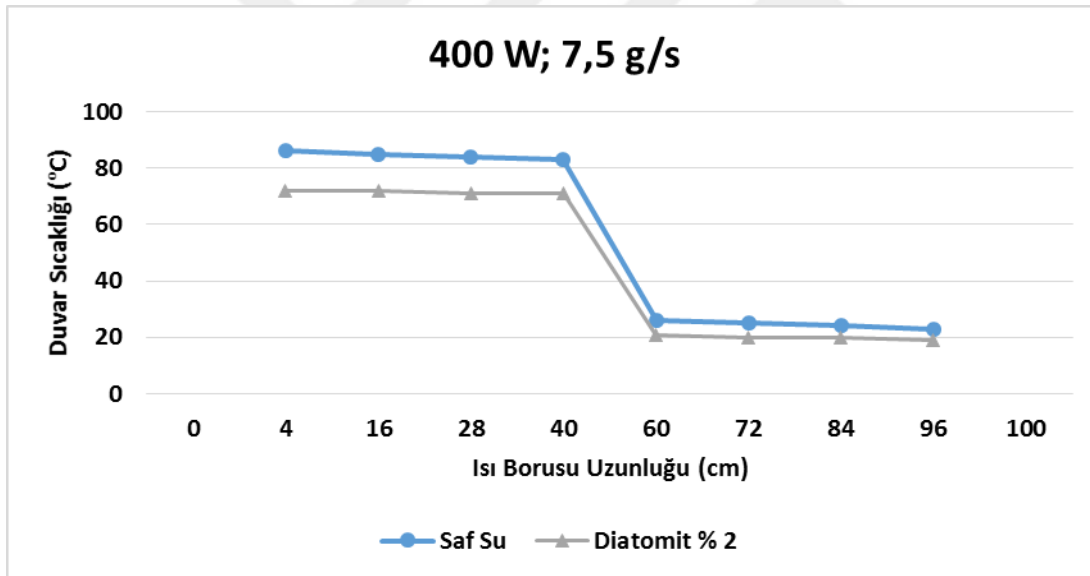
Şekil 4.38. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

300 Watt'da gerçekleştirilen sonuçlar 200 Watt sonuçlarını destekler niteliktedir. Diatomit içeren nanoakışkanın kullanılması durumunda buharlaştırıcı bölümün ortalama sıcaklığında yaklaşık 12,5 °C'lık bir düşüş olduğu belirlenmiştir. Bu da diatomit içeren nanoakışkanın içerdiği metal oksitler sayesinde ısı iletkenliğinin daha yüksek olmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

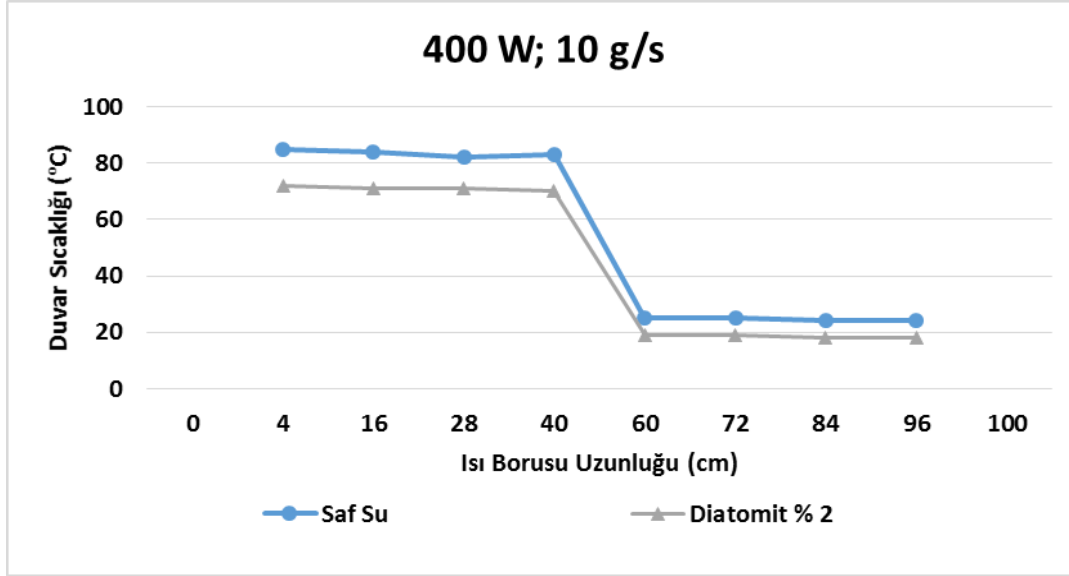
Diatomit içeren nanoakışkan kullanılarak 400 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de sunulmuştur.



Şekil 4.39. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 4.40. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

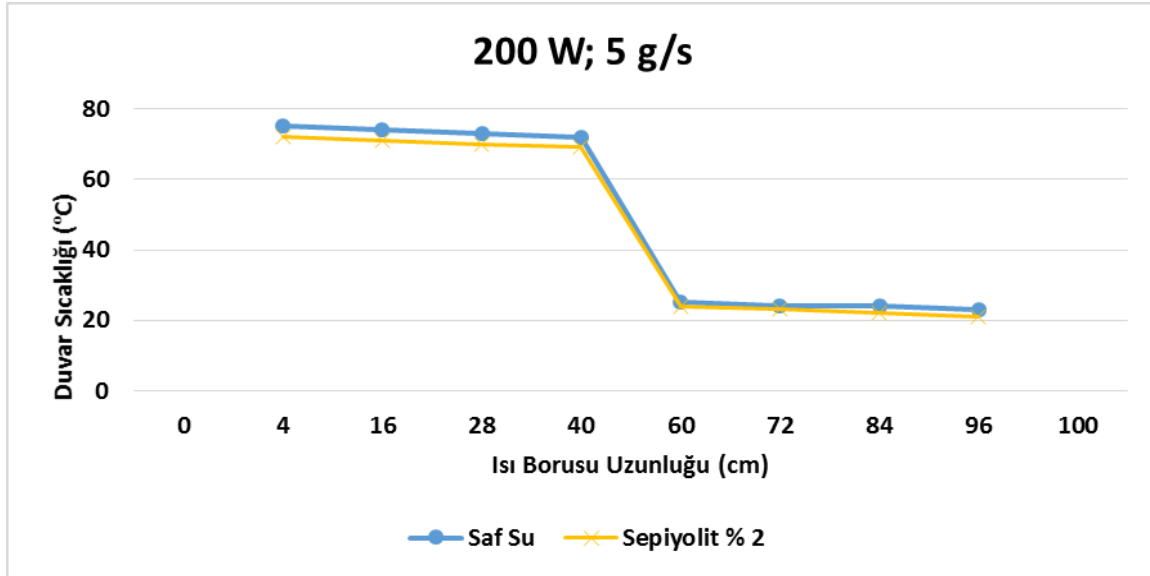


Şekil 4.41. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

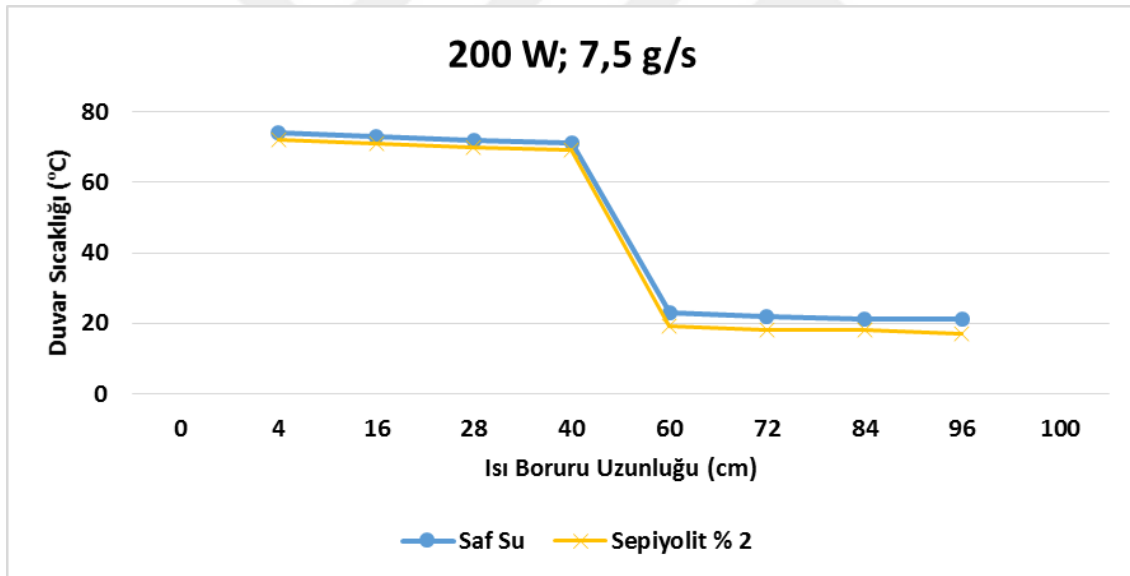
Diatomit içeren nanoakışkanının bentonit içeren nanoakışkana göre duvar sıcaklığı dağılımının saf suya daha yakın seyrettiği görülmektedir. Bentonit içeren nanoakışkan ile gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçlarında olduğu gibi buharlaştırıcı bölümden yoğunlaştırıcı bölüme doğru ortalama duvar sıcaklıklarında kademeli bir düşüş gözlemlenmiştir. Tüm deney sonuçları incelendiğinde 400 Watt 5 g/s soğutma suyu debisinde, saf su kullanıldığında buharlaştırıcıda ortalama sıcaklık 85,5 °C iken diatomit içeren nanoakışkanın kullanıldığında ortalama sıcaklık 72,5 °C olmuştur. Diatomit kullanılması durumunda sıcaklıkta 13 °C daha düşük olduğu belirlenmiştir. Isı borusunda saf su yerine diatomit içeren nanoakışkan kullanılması durumunda buharlaştırıcı bölümden yoğunlaşma bölümüne doğru daha fazla ısının taşındığını göstermektedir.

Sepiyolit içeren nanoakışkanın ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

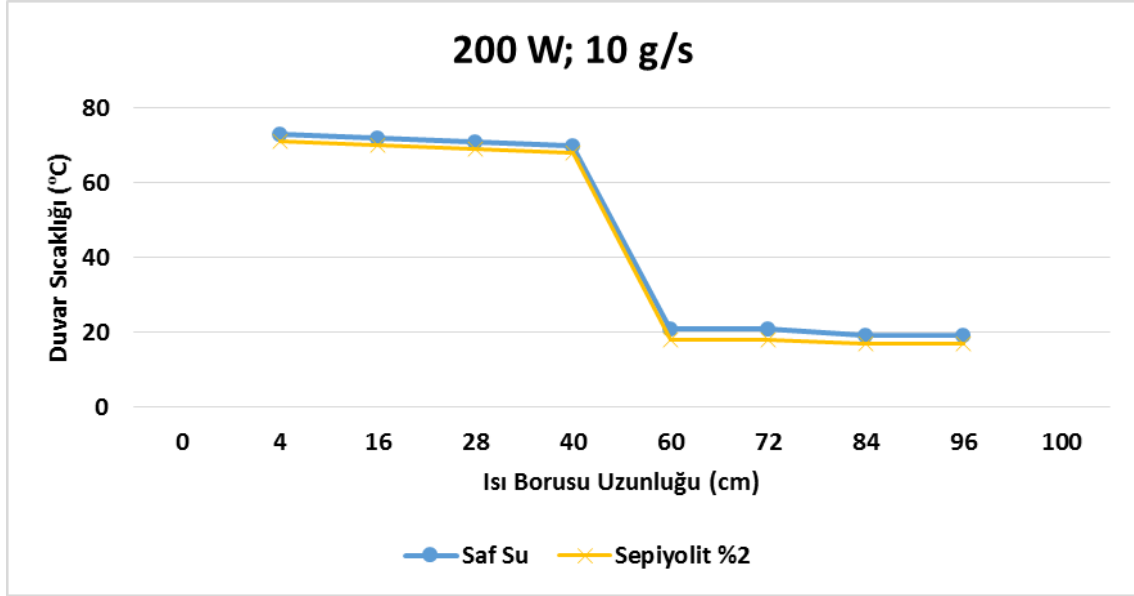
Sepiyolit içeren nanoakışkan kullanılarak 200 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.42, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44'de sunulmuştur.



Şekil 4.42. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



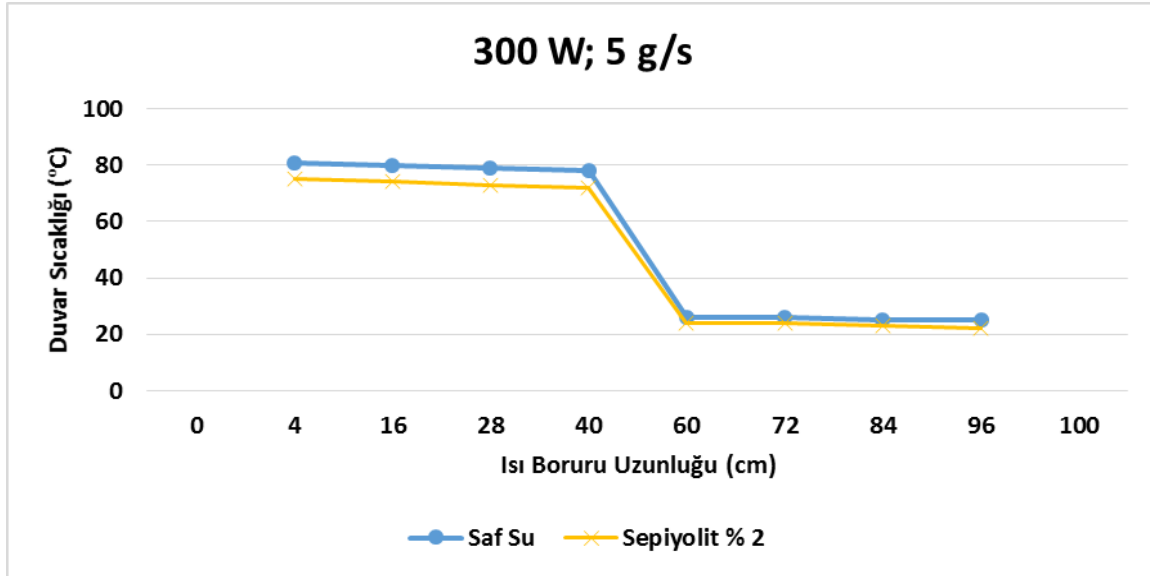
Şekil 4.43. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



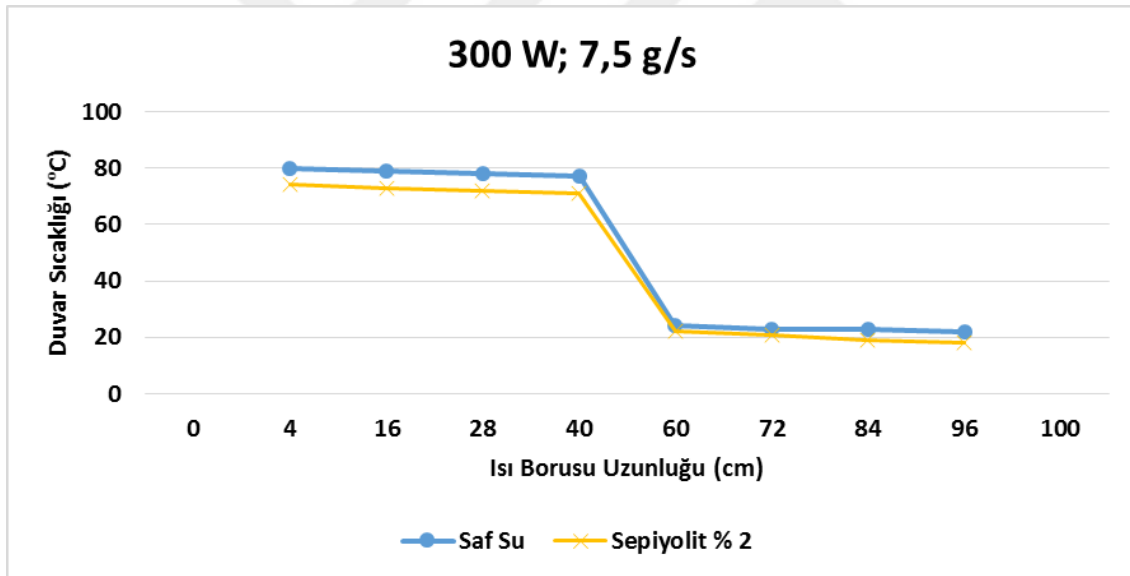
Şekil 4.44. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

200 Watt'da gerçekleştirilen deney sonucunda sepiyolit içeren nanoakışkanın saf suya kıyasla duvar sıcaklığı dağılımının çok yakın seyrettiği gözlemlenmiştir. Sepiyolit nanoakışkanı kullanılması durumunda buharlaştırıcı bölümde ortalama duvar sıcaklığında yaklaşık 2,5 °C'lik bir düşüş tespit edilmiştir.

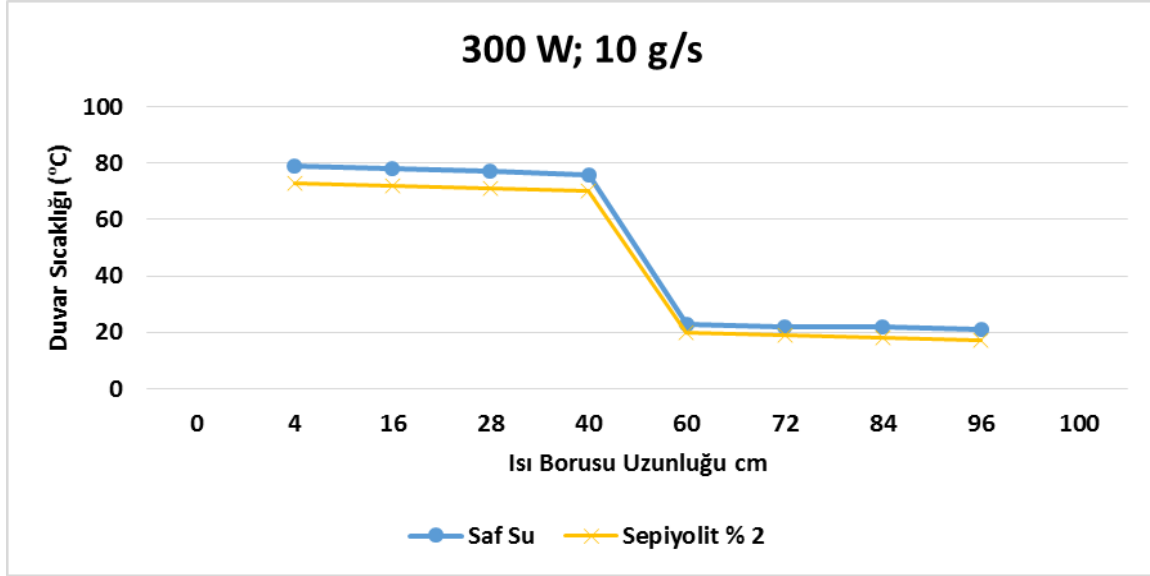
Sepiyolit içeren nanoakışkan kullanılarak 300 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.45, Şekil 4.46 ve Şekil 4.47'de sunulmuştur.



Şekil 4.45. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



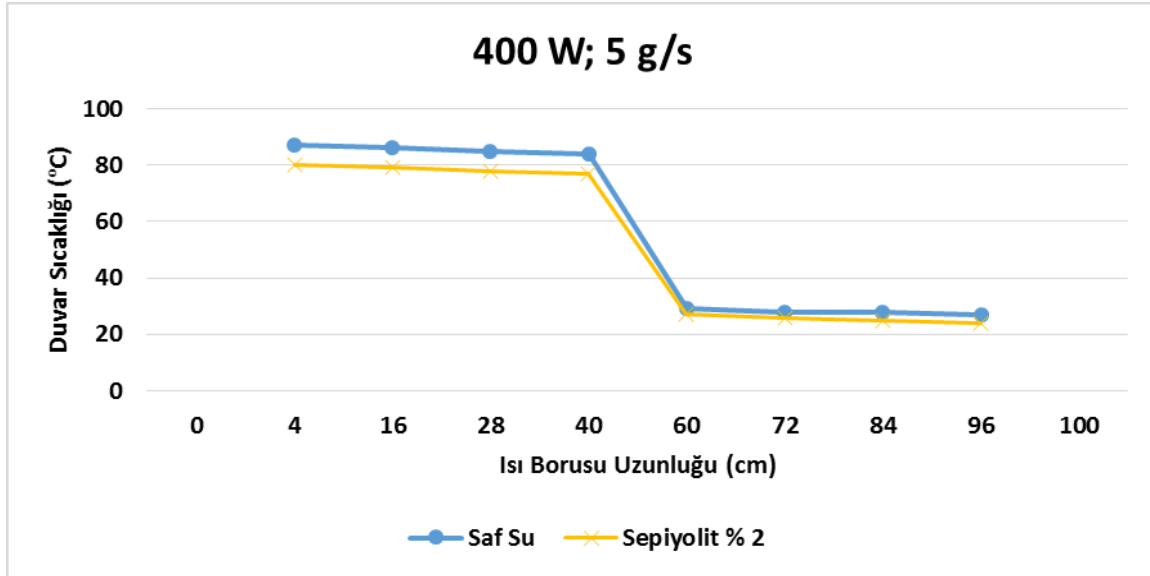
Şekil 4.46. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



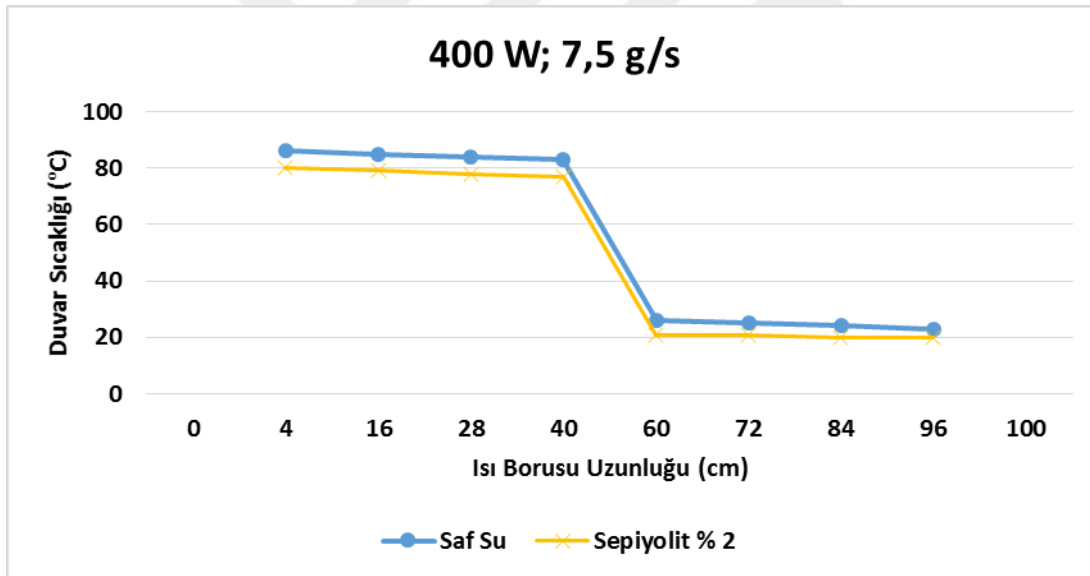
Şekil 4.47. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

300 Watt'da gerçekleştirilen deney sonucunda sepiyolit içeren nanoakışkan kullanılması durumunda ortalama duvar sıcaklıklarında azda olsa bir düşüş gözlemlenmiştir. 300 Watt sonuçları 200 Watt sonuçlarını destekler niteliktedir.

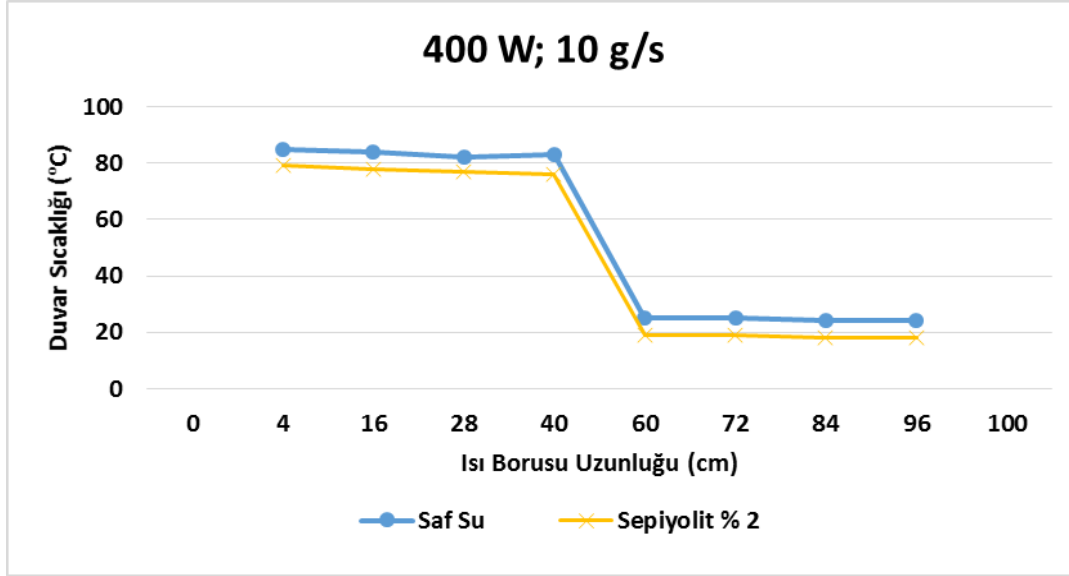
Sepiyolit içeren nanoakışkan kullanılarak 400 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.48, Şekil 4.49 ve Şekil 4.50'de sunulmuştur.



Şekil 4.48. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 4.49. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

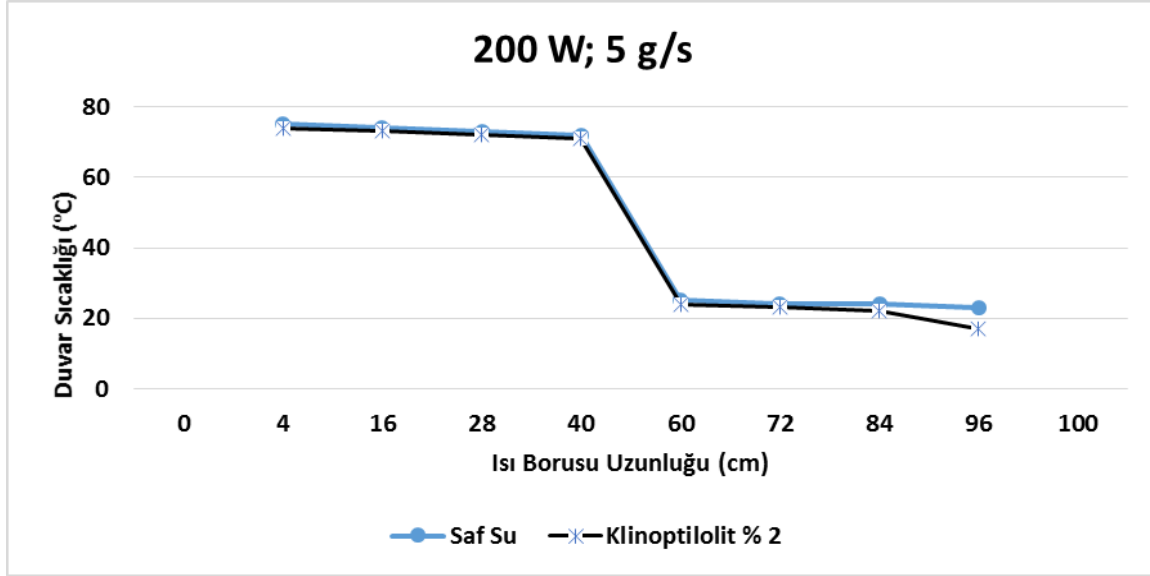


Şekil 4.50. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

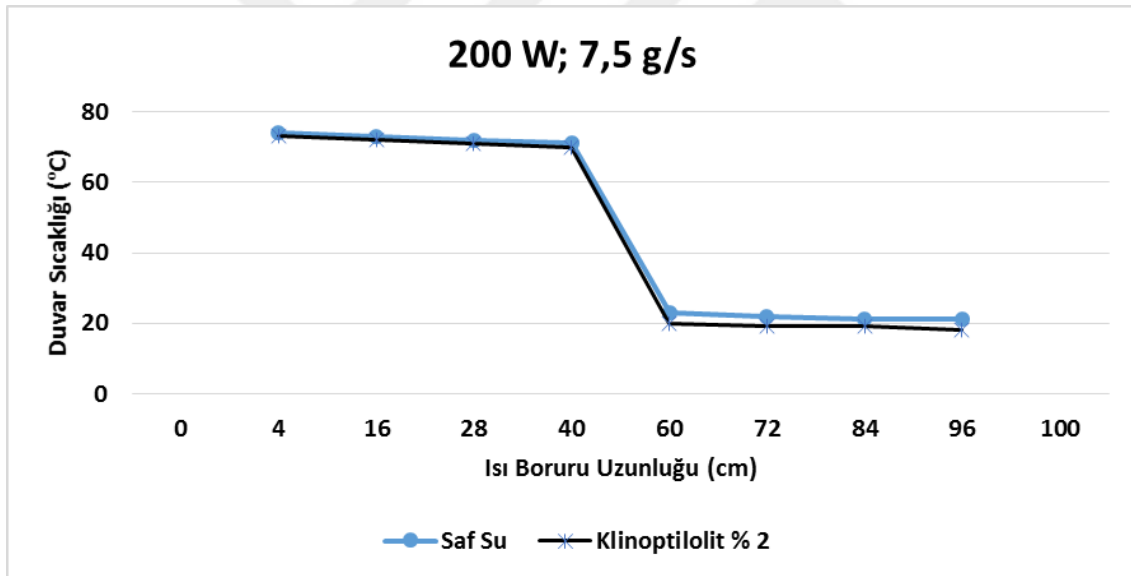
400 Watt'da gerçekleştirilen deney sonucunda sepiyolit içeren nanoakışkan kullanılması durumunda ortalama duvar sıcaklıklarında yaklaşık 6 °C'lık düşüş olduğu tespit edilmiştir. Tüm deney sonuçlarından da görüldüğü üzere sepiyolit içeren nanoakışkanın bentonit ve diatomit içeren nanoakışkanlar göre buharlaştırıcı duvar sıcaklığı dağılımının suya daha yakın seyrettiği görülmektedir. Bu sonuç özgül ısı, ısı iletkenlik ve zeta potansiyeli sonuçları ile desteklenmektedir.

Klinoptilolit içeren nanoakışkanın ısı borusu duvar sıcaklığına etkisi

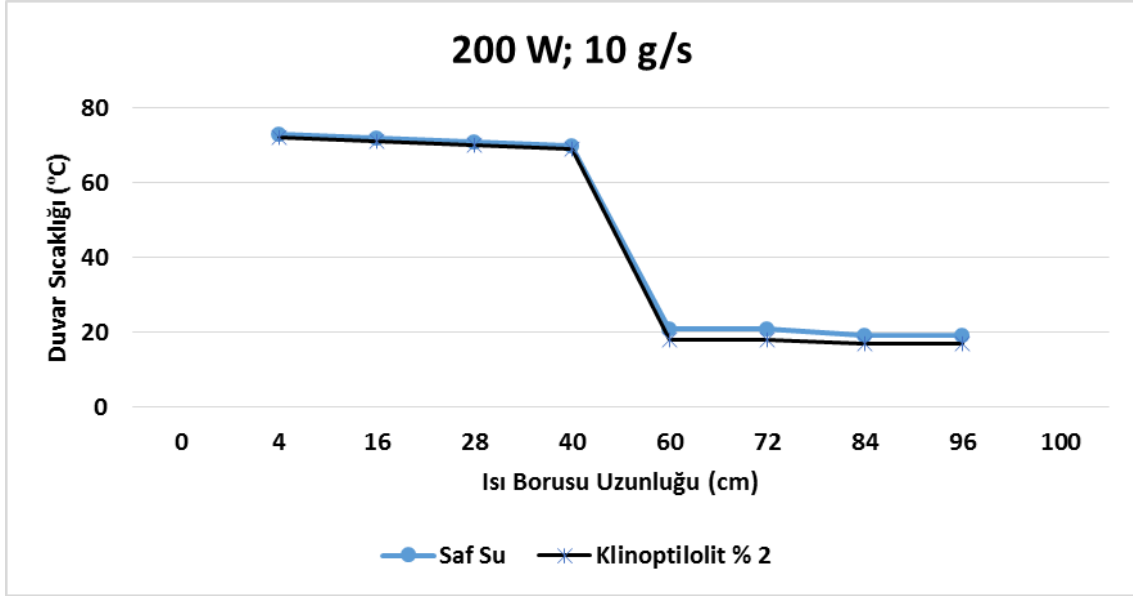
Klinoptilolit içeren nanoakışkan kullanılarak 200 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.51, Şekil 4.52 ve Şekil 4.53'de sunulmuştur.



Şekil 4.51. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



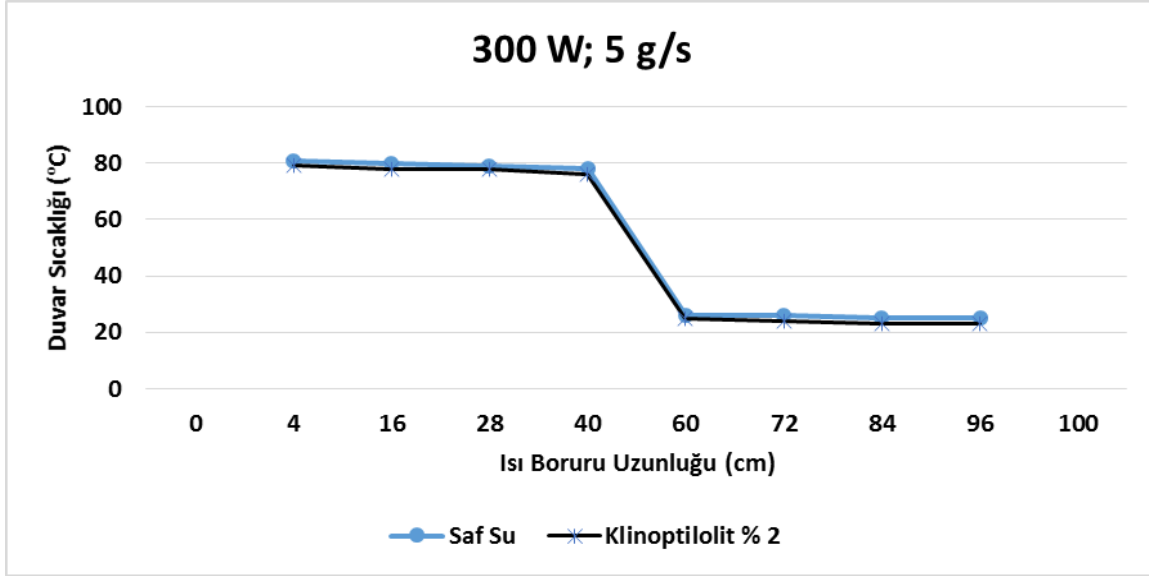
Şekil 4.52. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



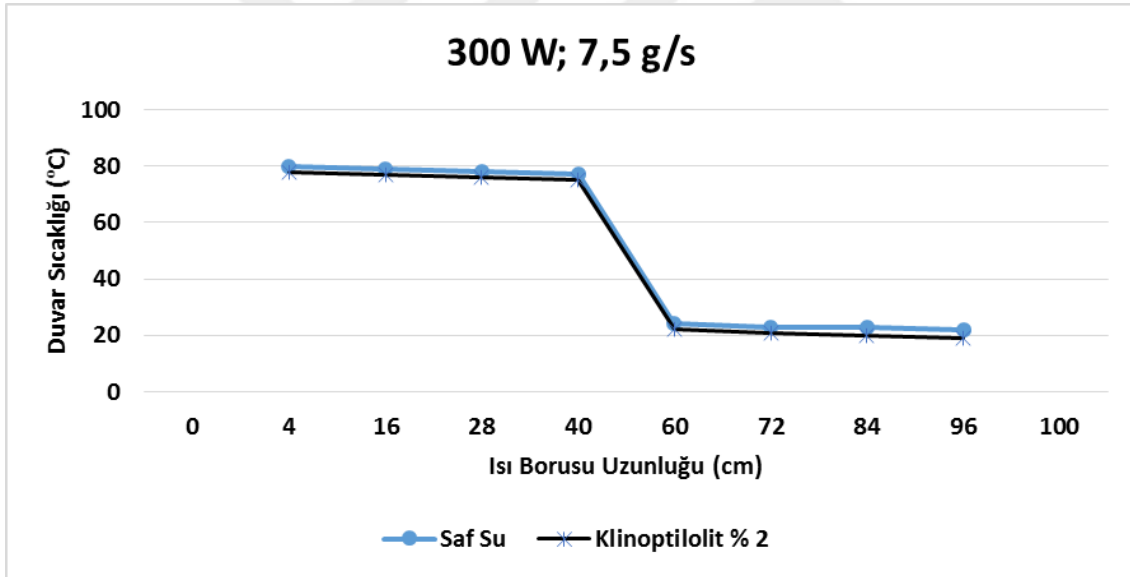
Şekil 4.53. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

200 Watt'da gerçekleştirilen deney sonucunda klinoptilolit içeren nanoakışkanın duvar sıcaklık dağılımının saf su ile aynı olduğu gözlemlenmiştir. Buharlaştırıcı ortalama duvar sıcaklığı dağılımı arasındaki farkın yaklaşık 1 °C olduğu belirlenmiştir.

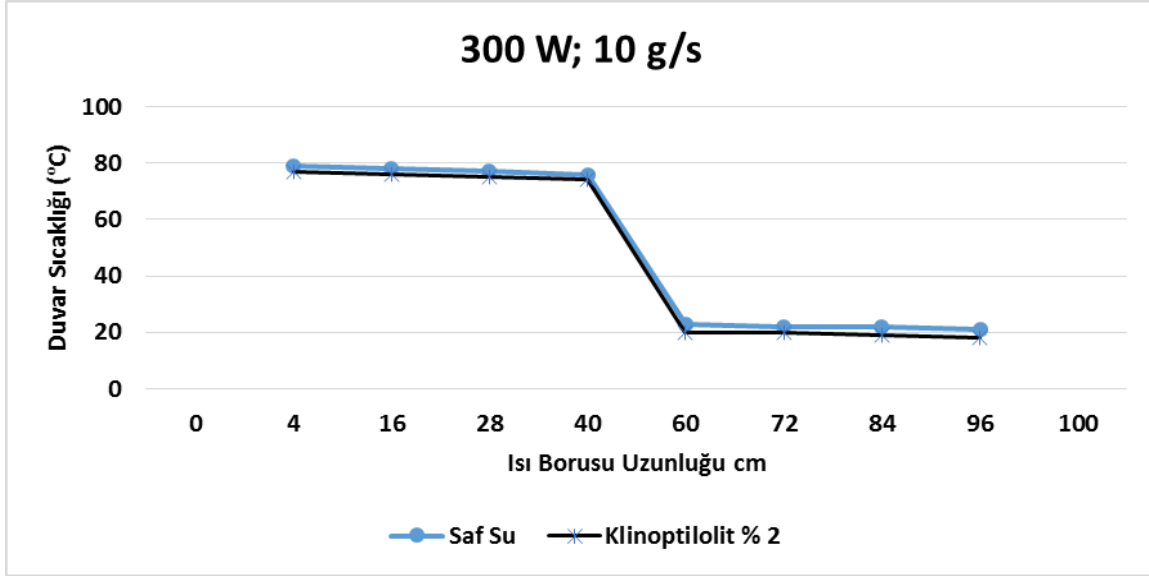
Klinoptilolit içeren nanoakışkan kullanılarak 300 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.54, Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'de sunulmuştur.



Şekil 4.54. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



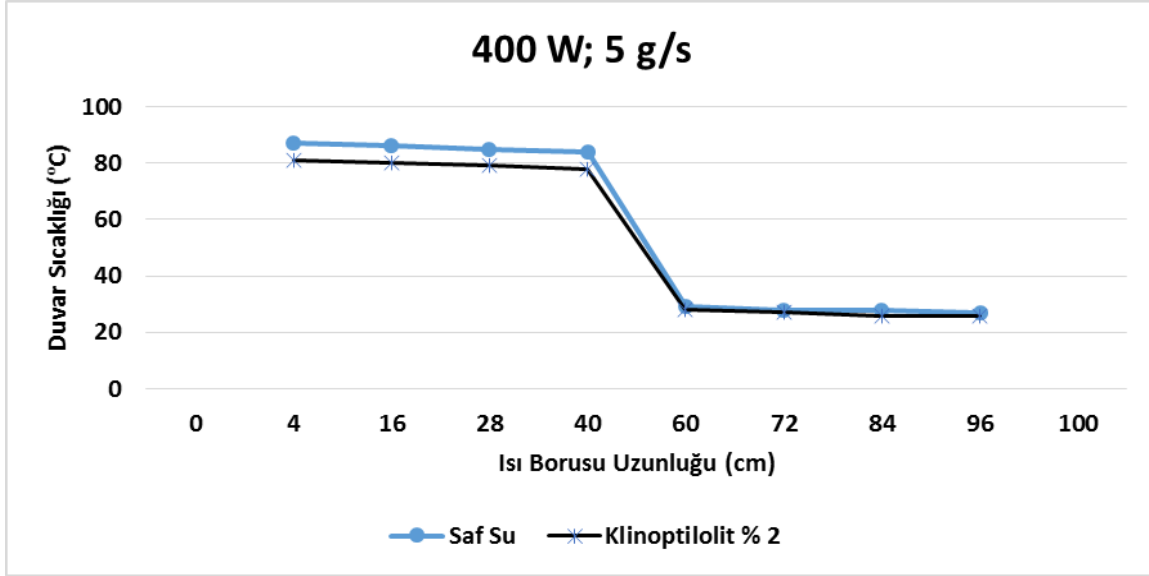
Şekil 4.55. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



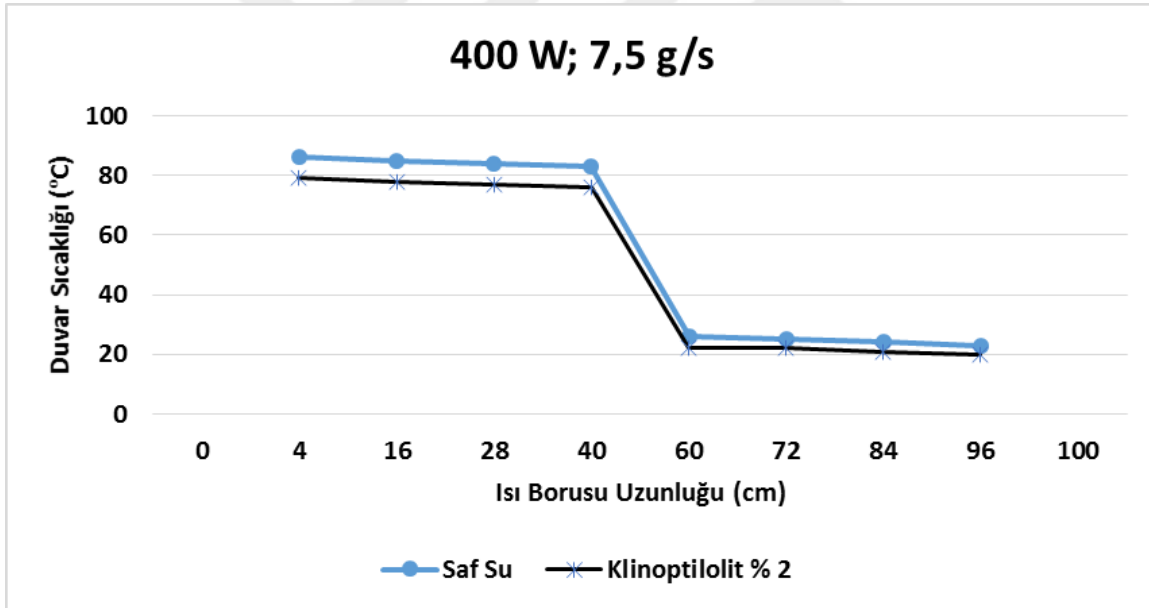
Şekil 4.56. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

300 Watt'da gerçekleştirilen deneysel çalışmada da klinoptilolit içeren nanoakışkanın kullanılması durumunda buharlaştırıcı ve yoğunlaştırıcı bölümü duvar sıcaklıklarında kayda değer bir değişim gözlemlenmemiştir.

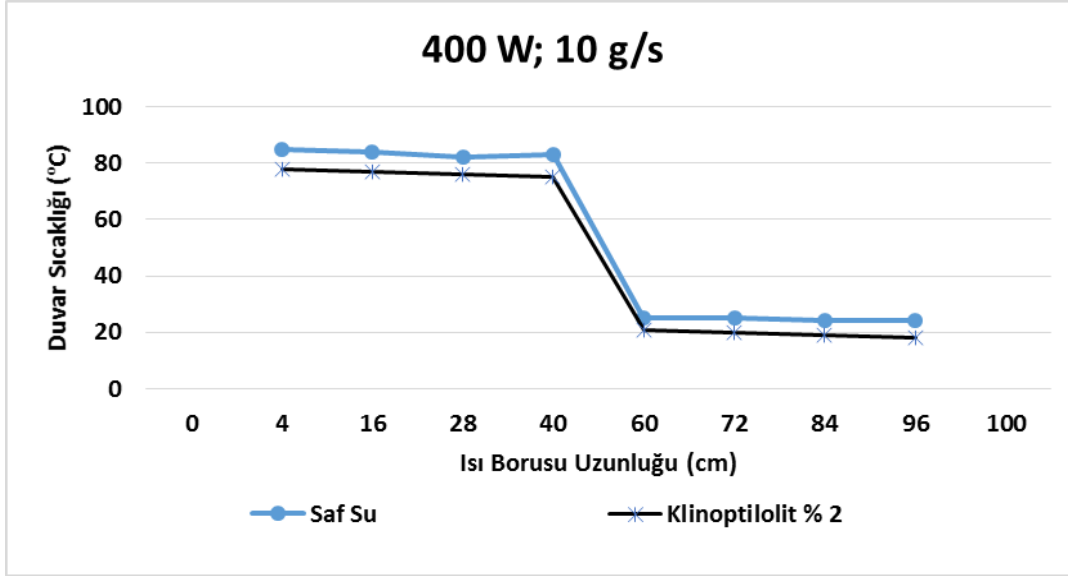
Klinoptilolit içeren nanoakışkan kullanılarak 400 Watt ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.57, Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'de sunulmuştur.



Şekil 4.57. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 4.58. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları



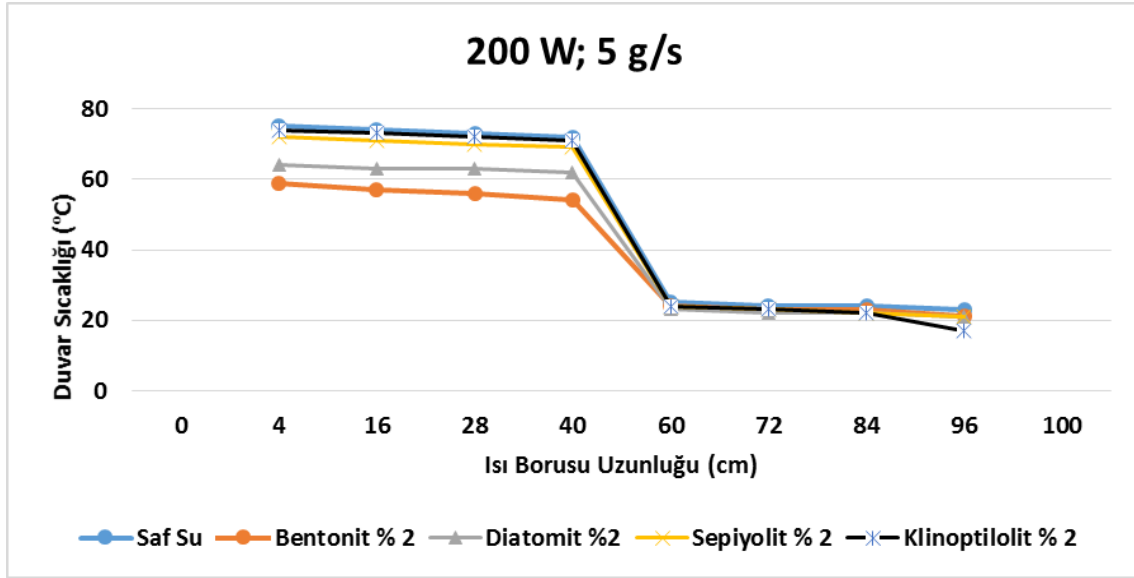
Şekil 4.59. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

400 Watt'da gerçekleştirilen deneysel çalışmada ısıtma gücünün yüksek olması nedeniyle saf suya kıyasla çok azda olsa düşük sıcaklıklarda kaynama olduğu görülmektedir. Bu durum ısıtma gücündeki artışa bağlı olarak klinoptilolit içeren nanoakışkanın ısı iletkenliğinin daha yüksek olması ile açıklanabilmektedir.

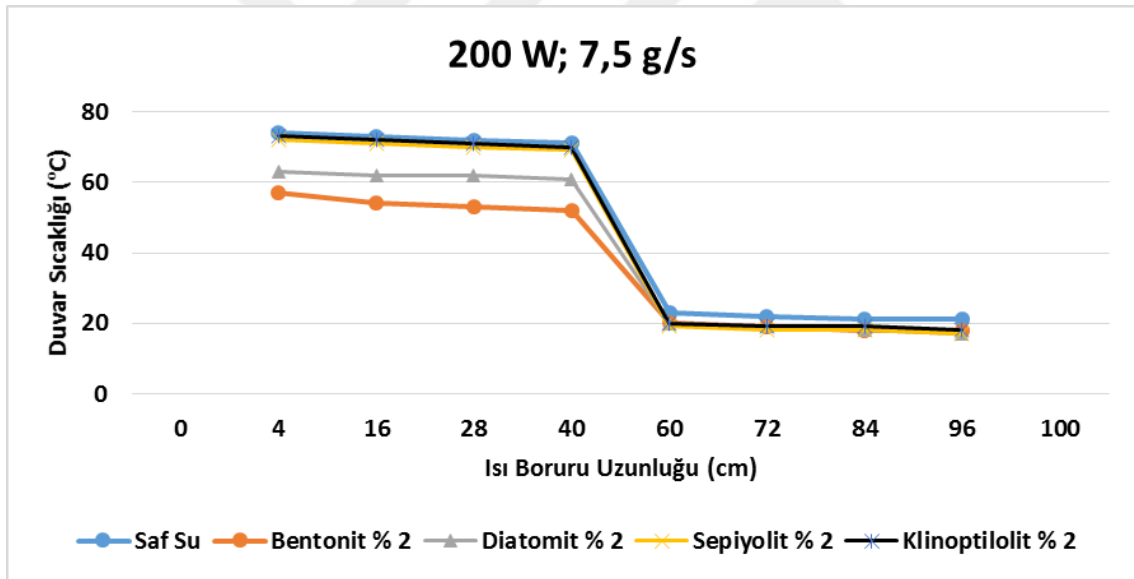
Klinoptilolit içeren nanoakışkan deney sonuçlarının ısı iletkenlik, özgül ısı ve zeta potansiyeli deney sonuçları ile desteklenmektedir. Mineralojik malzemeler içinde en düşük ısı iletkenlik, özgül ısı ve zeta potansiyeline klinoptilolit içeren nanoakışkanın sahip olduğu görülmektedir.

Mineralojik nanoakışkanların ısı borusu deney sonuçları

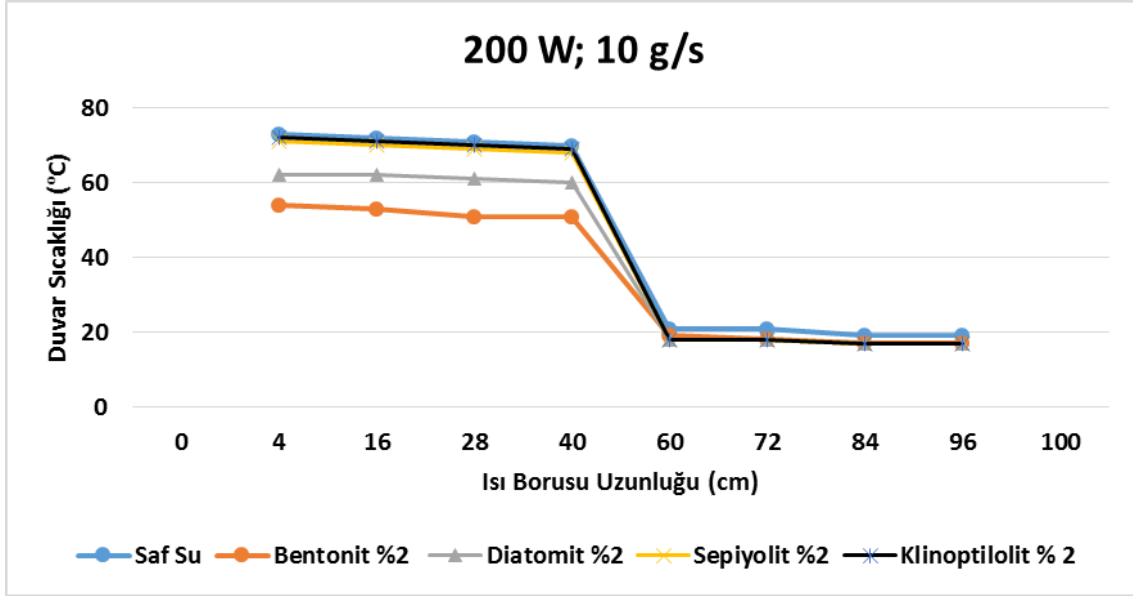
Mineralojik nanoakışkanlar arasında karşılaştırma yapabilmek amacıyla kütlece % 2'lik bentonit, sepiyolit, klinoptilolit ve diatomit ile % 0,5 SDBS içeren nanoakışkanlar kullanılarak ısı borusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. 200 W ısıtma gücünde ve 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.60, Şekil 4.61 ve Şekil 4.62'de yer almaktadır.



Şekil 4.60. Mineralojik nanoakışkanların 200 Watt güçte ve 5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

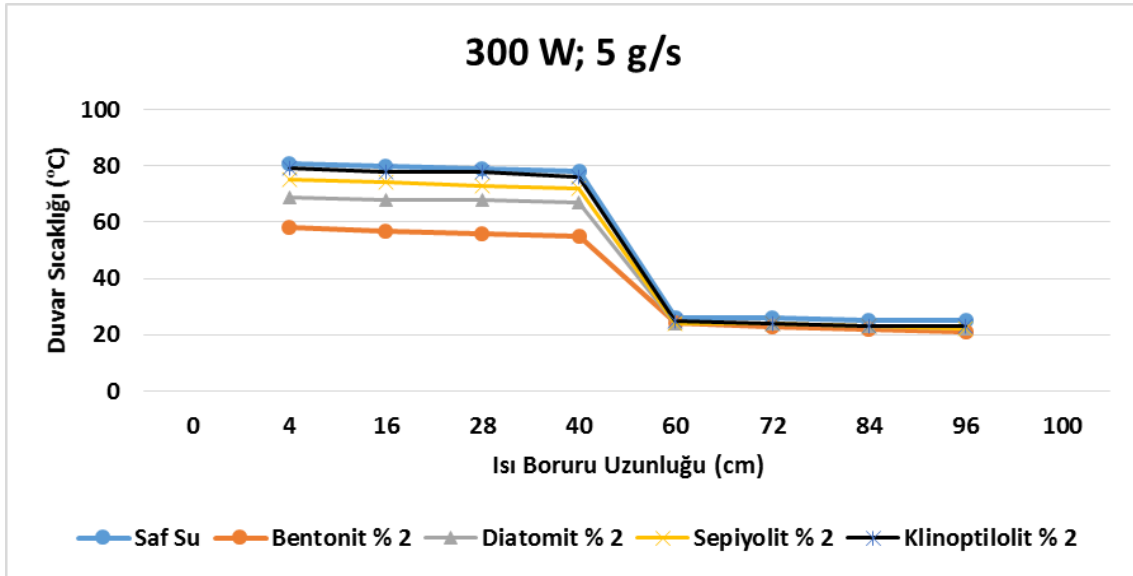


Şekil 4.61. Mineralojik nanoakışkanların 200 Watt güçte ve 7,5 g/s debideki duvar sıcaklıkları

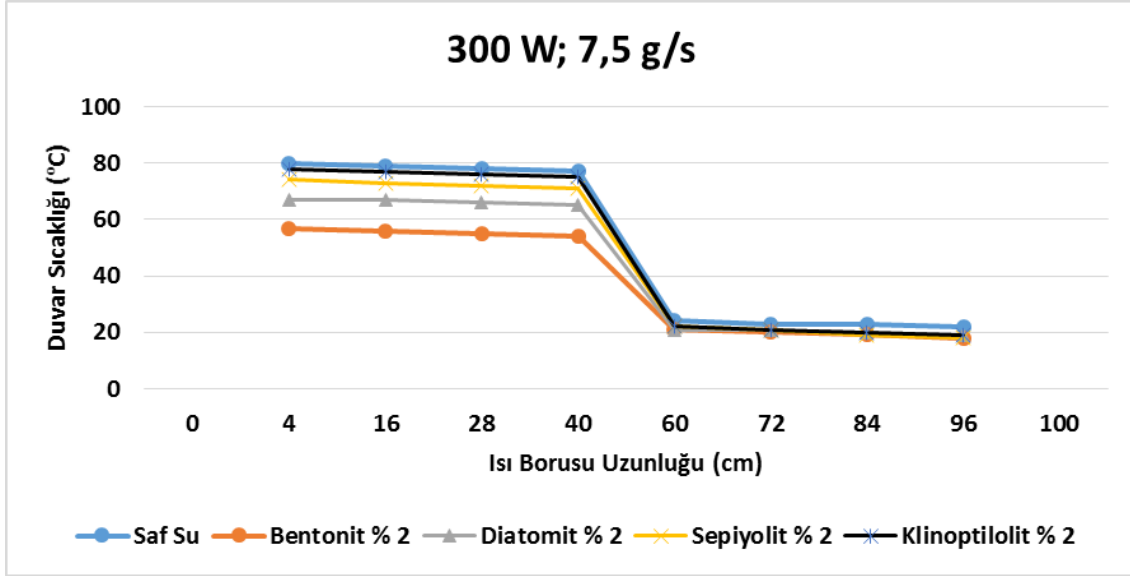


Şekil 4.62. Mineralojik nanoakışkanların 200 Watt güçte ve 10 g/s debideki duvar sıcaklıkları

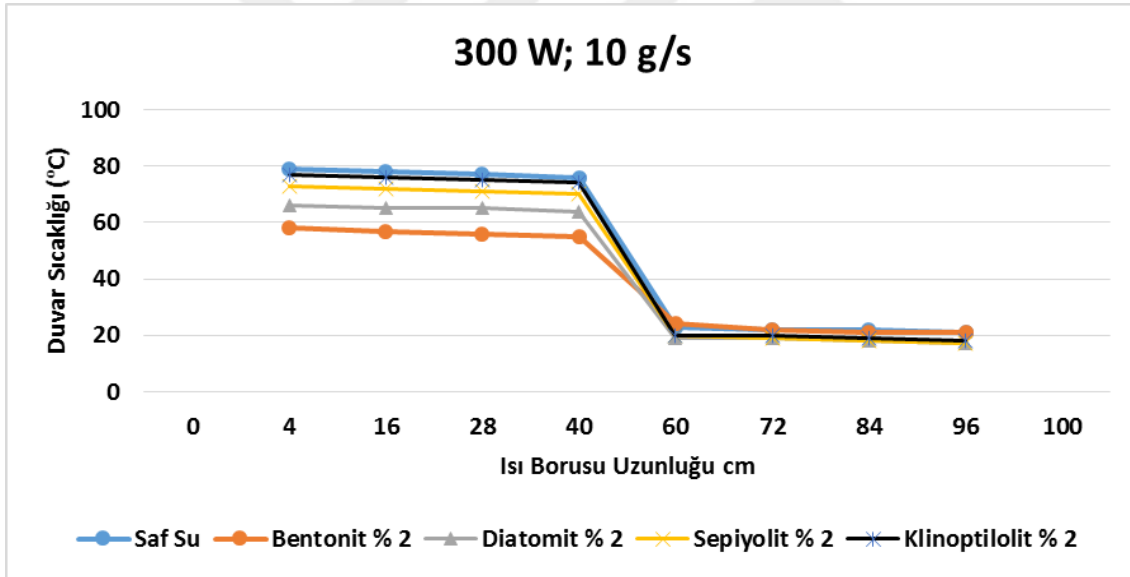
300 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleşen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.63, Şekil 4.64 ve Şekil 4.65’de sunulmuştur.



Şekil 4.63. Mineralojik nanoakışkanların 300 Watt güçte ve 5 g/s, duvar sıcaklıkları

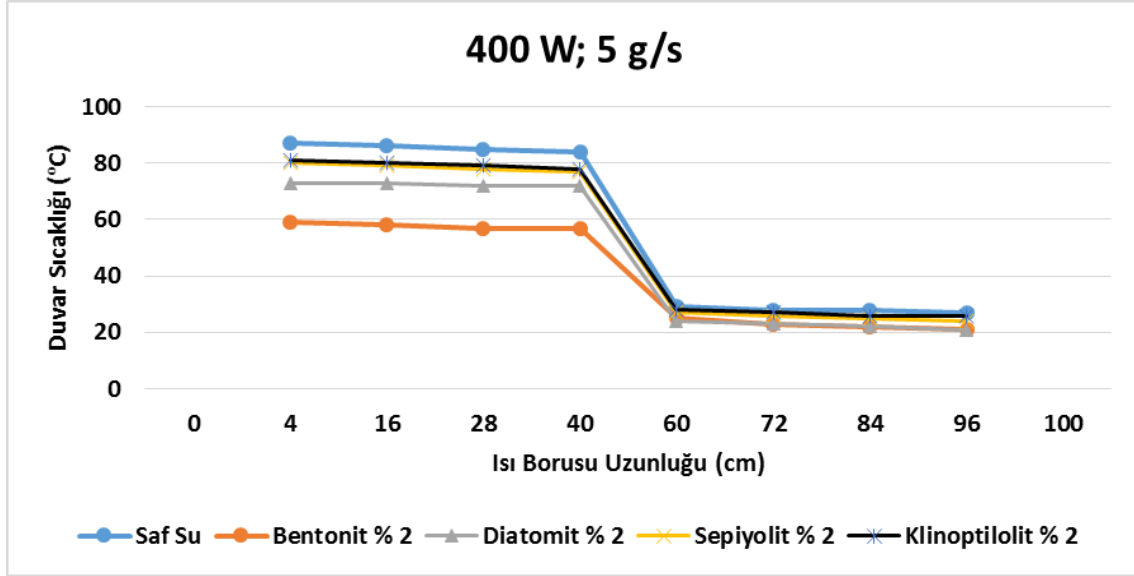


Şekil 4.64. Mineralojik nanoakışkanların 300 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları

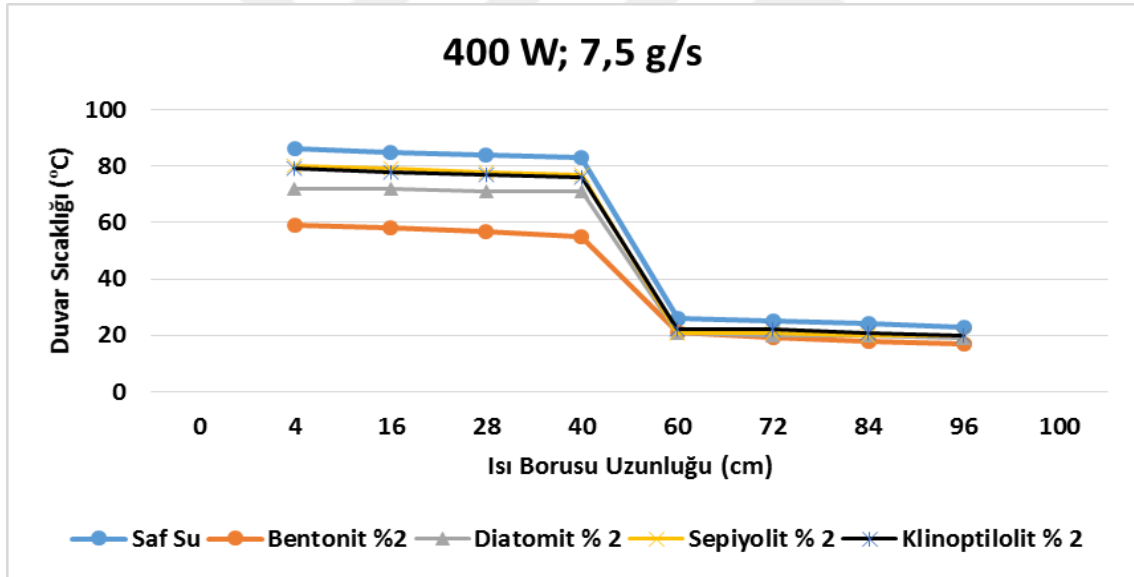


Şekil 4.65. Mineralojik nanoakışkanların 300 Watt güçte ve 10 g/s, debideki duvar sıcaklıkları

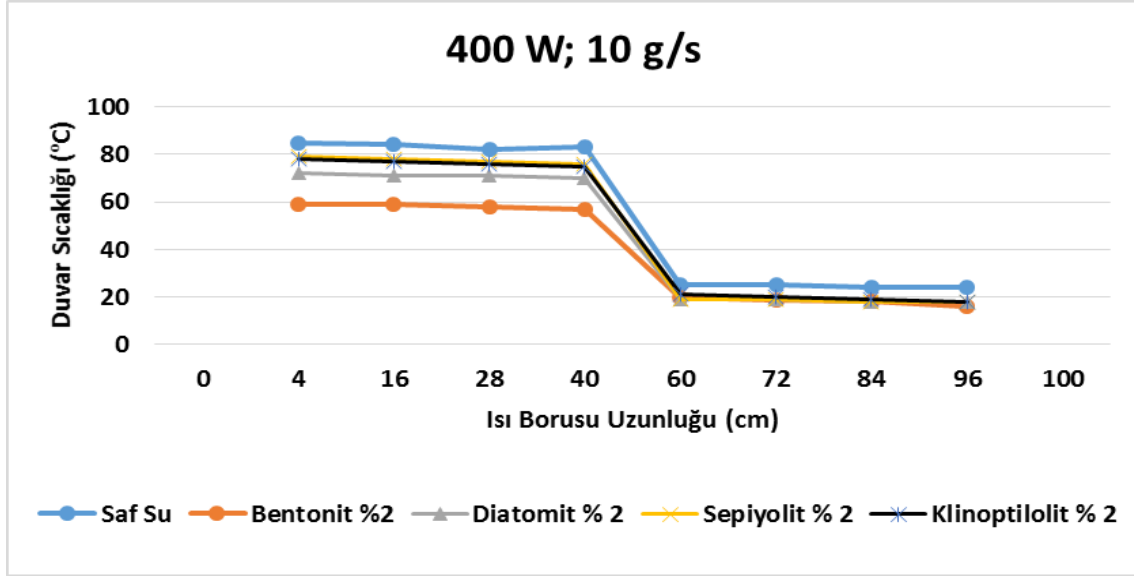
400 Watt 5; 7,5 ve 10 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen verilerden boru uzunluğuna bağlı olarak sıcaklık değişim grafikleri çizilmiş ve bu grafikler sırasıyla Şekil 4.66, Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'de sunulmuştur.



Şekil 4.66. Mineralojik nanoakışkanların 400 Watt güçte ve 5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 4.67. Mineralojik nanoakışkanların 400 Watt güçte ve 7,5 g/s, debideki duvar sıcaklıkları



Şekil 4.68. Mineralojik nanoakışkanların 400 Watt güçte ve 10 g/s, debideki duvar sıcaklıkları

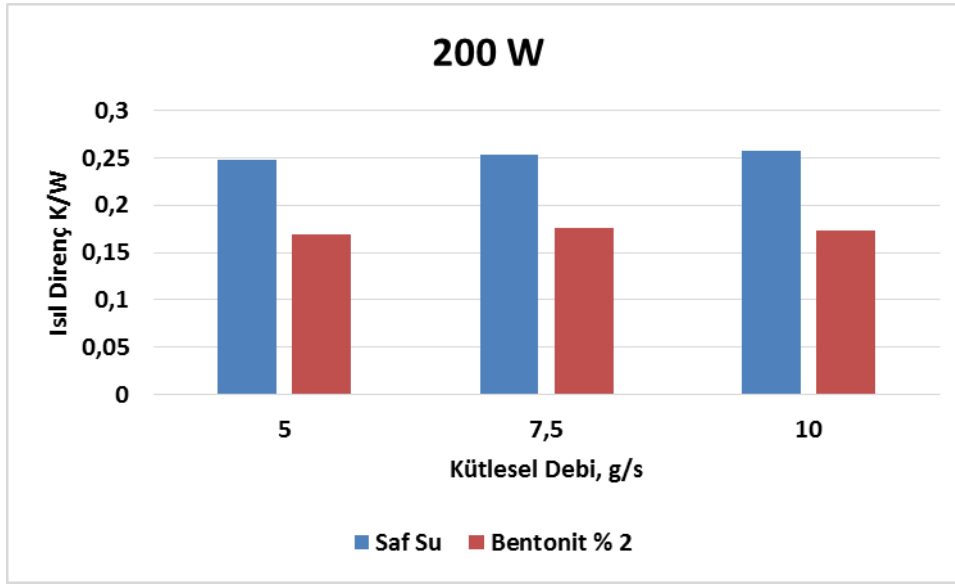
Bentonit, klinoptilolit, sepiyolit ve diatomit içeren nanoakışkanlar ile gerçekleştirilen ısı borusu deneyleri sonucunda;

- Buharlaştırıcıdan yoğunlaştırıcıya doğru ısı borusu duvarında kademeli bir sıcaklık düşüşü gözlemlenmiş,
- Bentonit içeren nanoakışkanın diğer mineralojik malzeme içeren nanoakışkanlara göre buharlaştırıcıda daha düşük sıcaklıklarda kaydığı ve yoğunlaştırıcıda soğutma suyuna ısı transferinin daha iyi olduğu tespit edilmiş,
- Bentonit içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik ve özgül ısı değerlerinin diğer mineralojik malzeme içeren nanoakışkanlara oranla daha yüksek olması nedeniyle ısı borusunda ısı transfer kapasitesinin çok daha iyi olduğu belirlenmiş,
- Bentonit içeren nanoakışkanın diğer mineralojik malzeme içeren nanoakışkanlara göre zeta potansiyelinin daha yüksek olması nedeniyle daha kararlı bir yapı oluşturduğu ve süspansiyon içerisinde askıda tutulan nano boyuttaki katı metal oksit parçacık miktarının daha fazla olması nedeniyle diğer mineralojik malzemelere göre çok daha iyi bir ısı transfer akışkanı olduğu sonucuna varılmıştır.

4.4.2. Isıl direnç

Bentonit içeren nanoakışkanın ısı borusu ısıl direnç sonuçları

Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt ve üç farklı soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre hesaplanan ısıl direnç değerleri Şekil 4.69'da sunulmuştur.



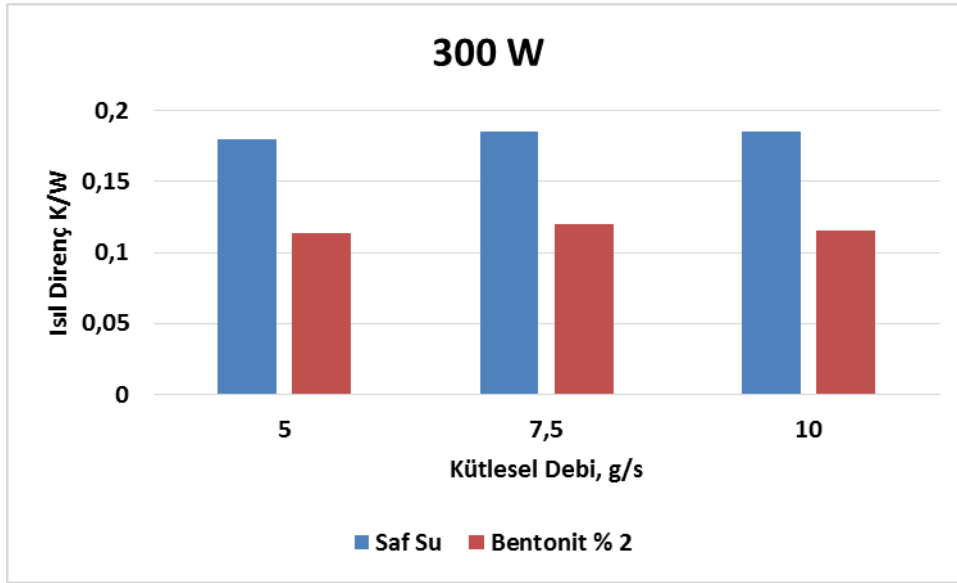
Şekil 4.69. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütlesel debide ısıl direnç sonuçları

200 Watt'da yapılan deney sonucunda 10 g/s debide saf suyun direnci ortalama 0,2575 K/W iken % 2 lik bentonit içeren nanoakışkan kullanıldığında 0,17250 K/W olarak belirlenmiştir. % 2 lik bentonit içeren nanoakışkanın ısıl direnci saf suya göre % 33 oranında düşürdüğü belirlenmiştir. Bentonit içeren nanoakışkan kullanıldığında nanoakışkan içerisinde askıda bulunan metal oksit parçacıklar nedeniyle buhar kabarcıklarının çekirdekleşme boyutu düşmüştür. Dolayısıyla ısı borusu duvarında ısıl direncin artmasına neden olan ve buhar kabarcıklarının büyümesi ile oluşan film tabakanın oluşması engellenmiştir.

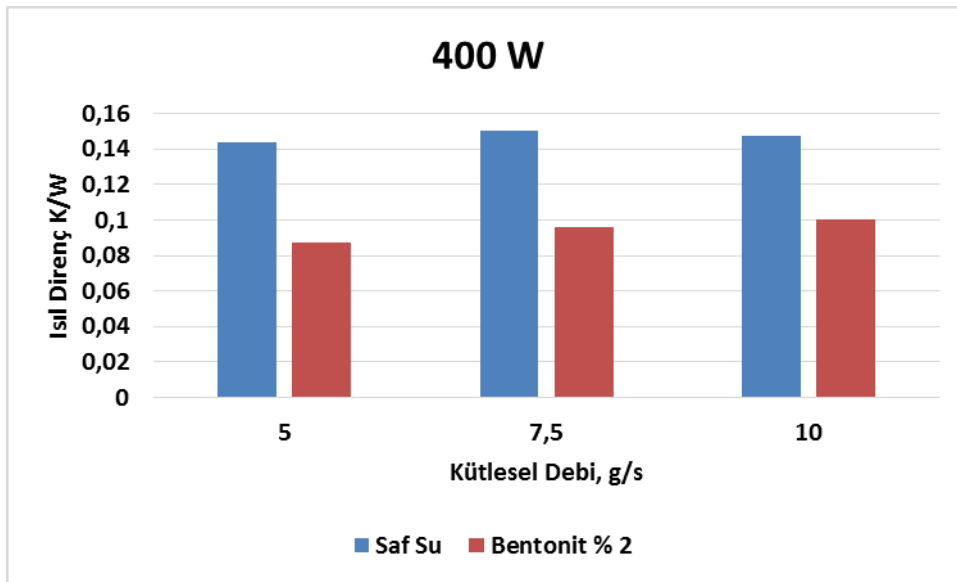
Nanoakışkanların çalışma sıvısı olarak kullanılması durumunda, ısı borusu ısıl direncinin azaldığı belirlenmiştir. Buhar kabarcıkları çekirdekleşme boyutu arttıkça ısıl direnç artmakta dolayısıyla katı yüzeyden sıvıya olan ısı transferi kötüleşmektedir. Sonuç

olarak, askıda nano parçacık içeren nanoakışkanların buhar kabarcığı çekirdekleşme boyutu temel akışkana göre daha küçük olmaktadır.

300 Watt ve 400 Watt gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre belirlenen ısı direnç değerleri sırasıyla Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’de sunulmuştur.



Şekil 4.70. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debide ısı direnç sonuçları



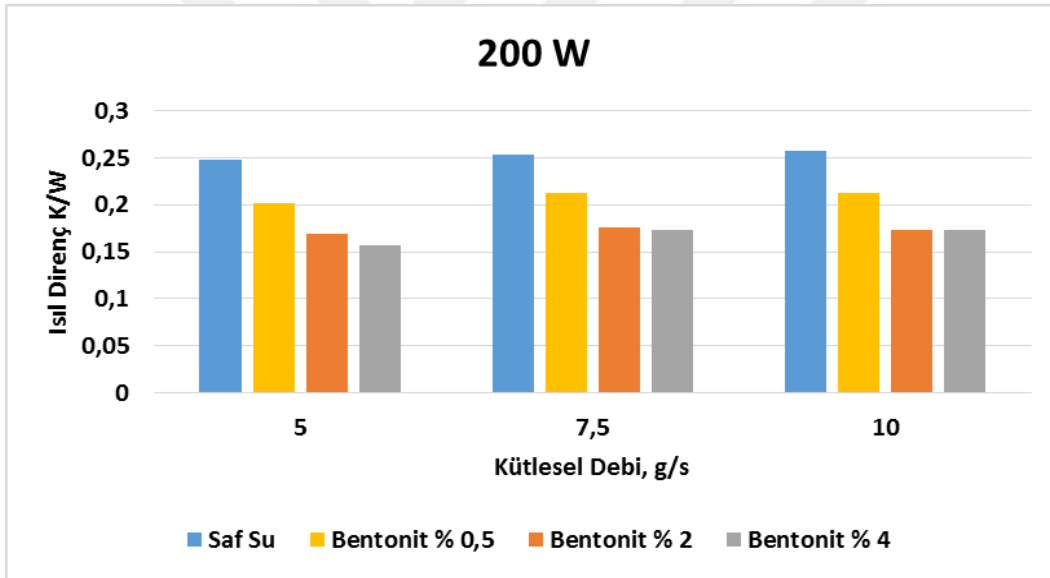
Şekil 4.71. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte güç ve üç farklı kütleli debide ısı direnç sonuçları

Benzer olarak 300 ve 400 Watt'da gerçekleştirilen deneylerin sonuçları incelendiğinde % 2'lik bentonit içeren nanoakışkanın ısı direncinin saf suya göre daha düşük olduğu görülmektedir.

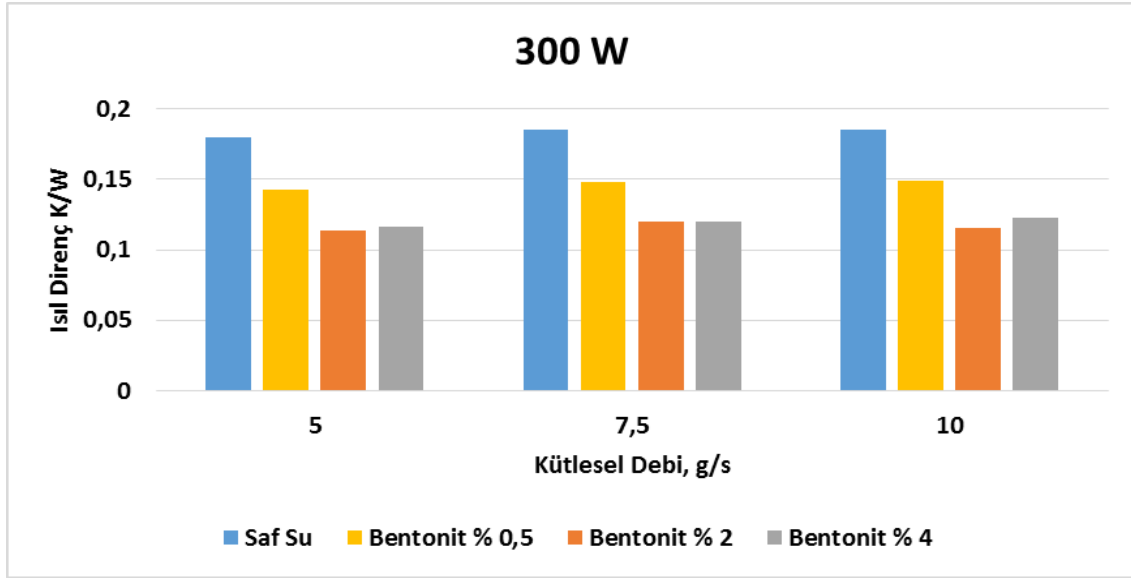
Tüm sonuçlar incelendiğinde 400 Watt ve 5 g/s debide ısı dirençte yaklaşık % 39'luk bir düşüş olduğu sonucuna varılmıştır.

Bentonit içeren nanoakışkanın derişim değişiminin ısı borusu ısı direncine etkisi

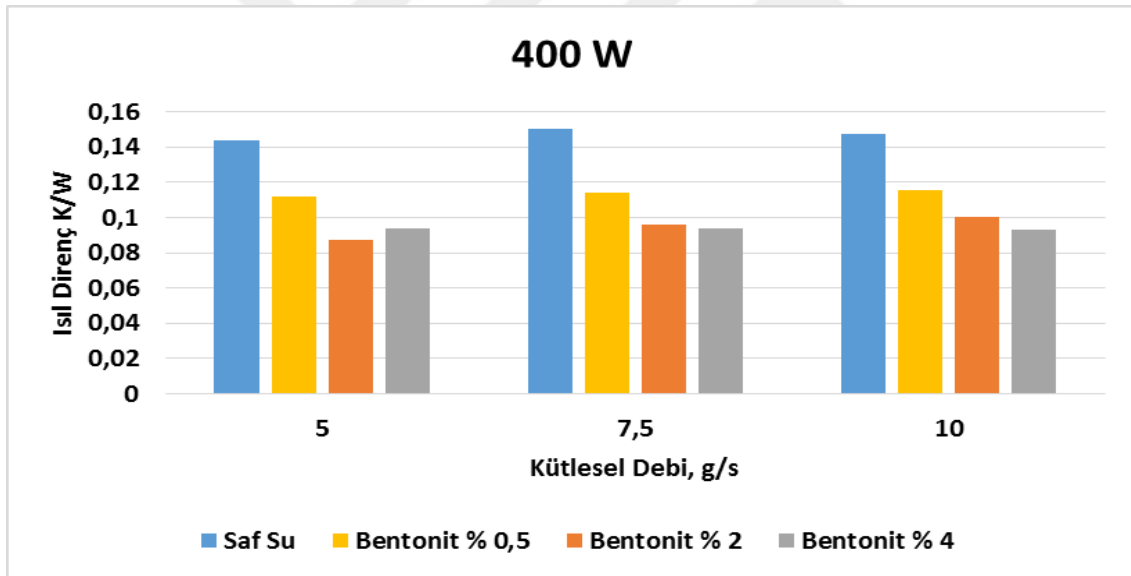
Bentonit içeren nanoakışkanın % 0,5, % 2 ve % 4 derişim oranlarında ısı dirençte olan değişimler her bir ısıtma gücü ve soğutma suyu kütleli debisinde sırasıyla Şekil 4.72, Şekil 4.73 ve Şekil 4.74'de sunulmuştur.



Şekil 4.72. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt gücü ve üç farklı kütleli debide derişim değişimine bağlı ısı direnç sonuçları



Şekil 4.73. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debide derişim değişimine bağlı ısı direnç sonuçları



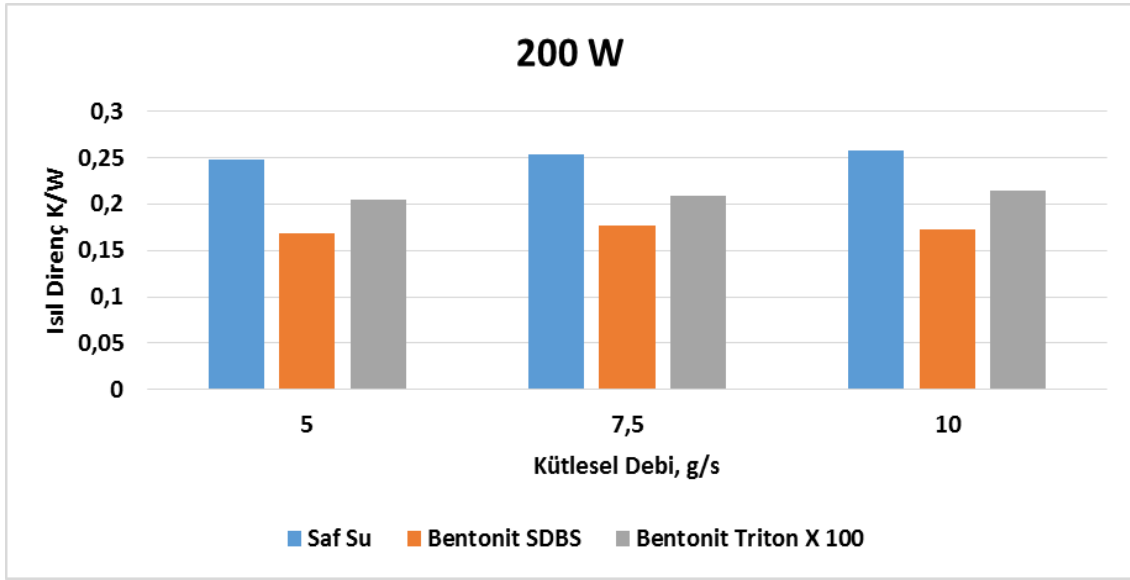
Şekil 4.74. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleli debide derişim değişimine bağlı ısı direnç sonuçları

Deney sonuçları incelendiğinde derişim arttıkça ısı direncin azaldığı belirlenmiştir. Isı dirençte de iyileşmenin % 2 derişimden daha yüksek derişim değeri olan % 4’de kayda değer bir düşüş göstermemiştir. Literatürde derişim artışına paralel olarak ısı direncin düştüğü raporlanmaktadır [59,62]. Karbon nanotülerden hazırlanmış olan nanoakışkan ile gerçekleştirilen çalışmada % 2 derişim oranı için ısı dirençte en iyi sonuca ulaşıldığı bildirilmiştir [63]. Sonuçların literatür verileri ile desteklendiği görülmektedir.

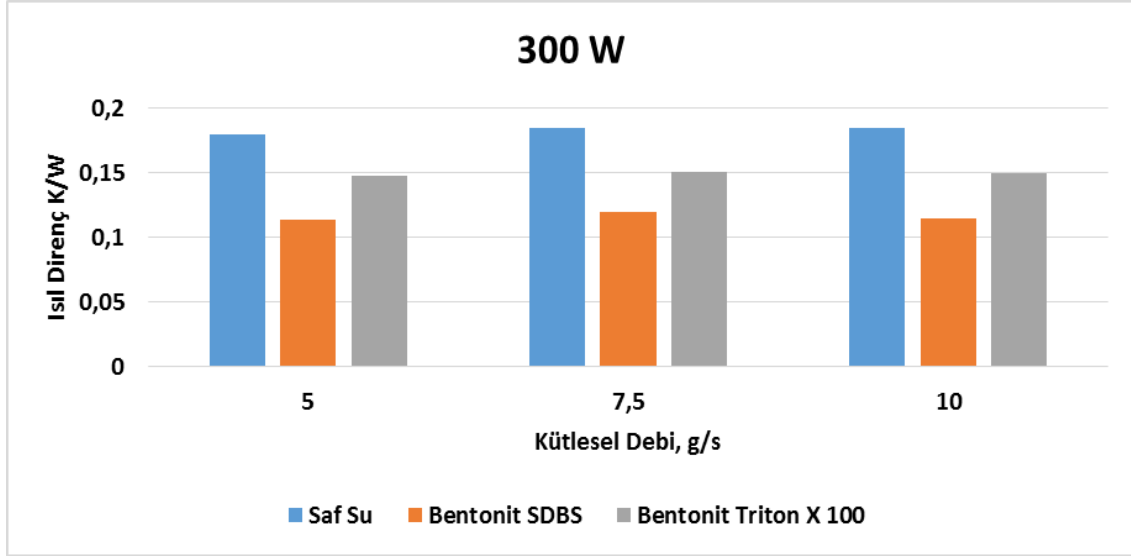
Tüm ısı direnç verileri değerlendirildiğinde; % 2 derişim oranında askıda bulunan metal oksit nano parçacık oranının en yüksek miktarda olduğu, askıdaki nano parçacıkların buhar kabarcıkları çekirdekleşme boyutunu düşürerek ısı direnci azalttığı sonucuna varılmıştır.

Yüzey aktif maddenin ısı borusu ısı direncine etkisi

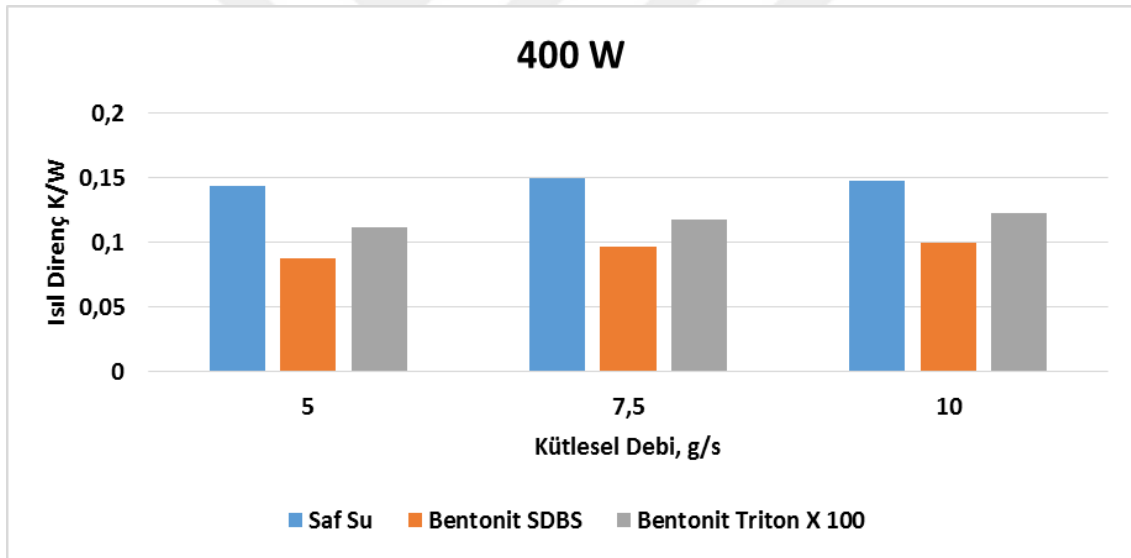
Sodyum dodesil benzen sülfonat ve Triton X 100 kullanılması durumunda ısı dirençte olan değişimler her bir ısıtma gücü ve soğutma suyu debisinde sırasıyla Şekil 4.75, Şekil 4.76 ve Şekil 4.77’de sunulmuştur.



Şekil 4.75. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütlesel debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı direnç sonuçları



Şekil 4.76. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı direnç sonuçları



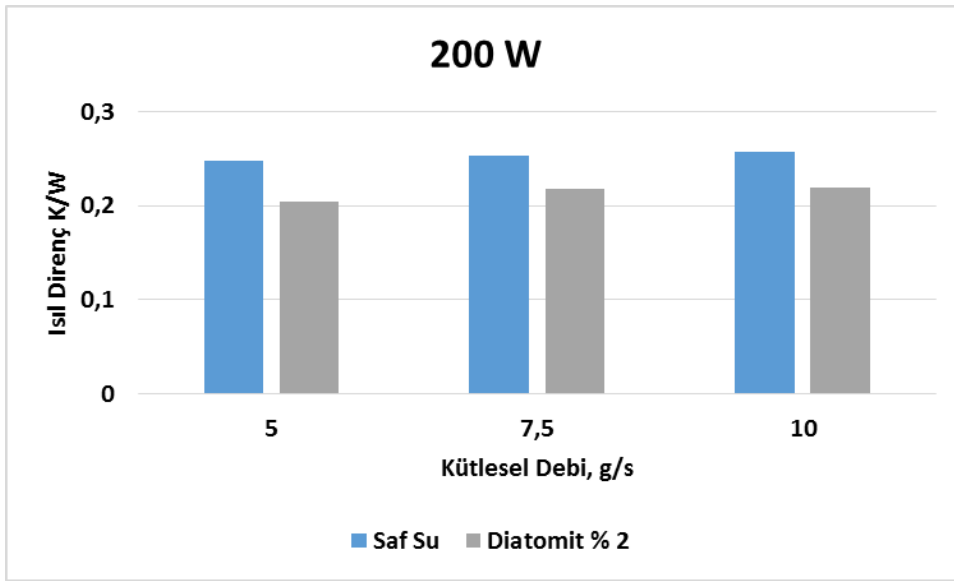
Şekil 4.77. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı ısı direnç sonuçları

Deney sonuçlarına göre SDBS yüzey aktif madde kullanılması durumunda ısı dirençte iyileşmenin Triton X-100'e göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Literatürde yapılan çalışmada SDBS kullanılması durumunda ısı direncin düştüğü raporlanmaktadır [68]. SDBS içeren bentonit nanoakışkanının zeta potansiyeli 21,7 mV iken Triton X-100 içeren bentonit nanoakışkanının zeta potansiyeli 13,5 mV olarak ölçülmüştür Zeta potansiyel değerlerinden de görüldüğü üzere SDBS kullanıldığında askıda tutulabilen nano parçacık miktarının daha fazla olduğu ve daha kararlı bir yapı oluşturduğu belirlenmiştir. Çok daha

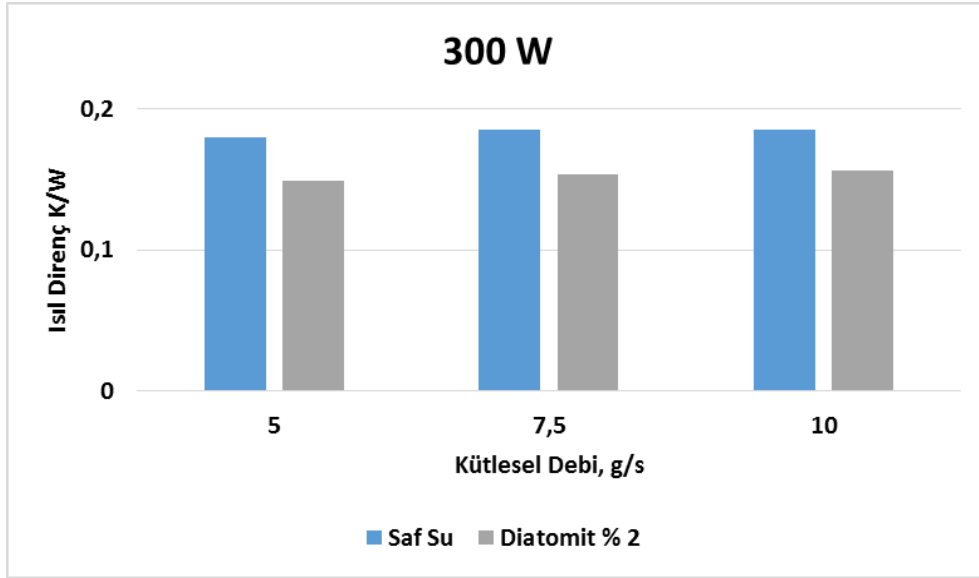
fazla nano parçacık içeren SDBS esaslı nanoakışkan içerisinde buhar kabarcıklarının çekirdekleşme boyutu daha da azaltarak ısı direncin düşmesine neden olmuştur.

Diatomit içeren nanoakışkanın ısı borusu ısı direnç sonuçları

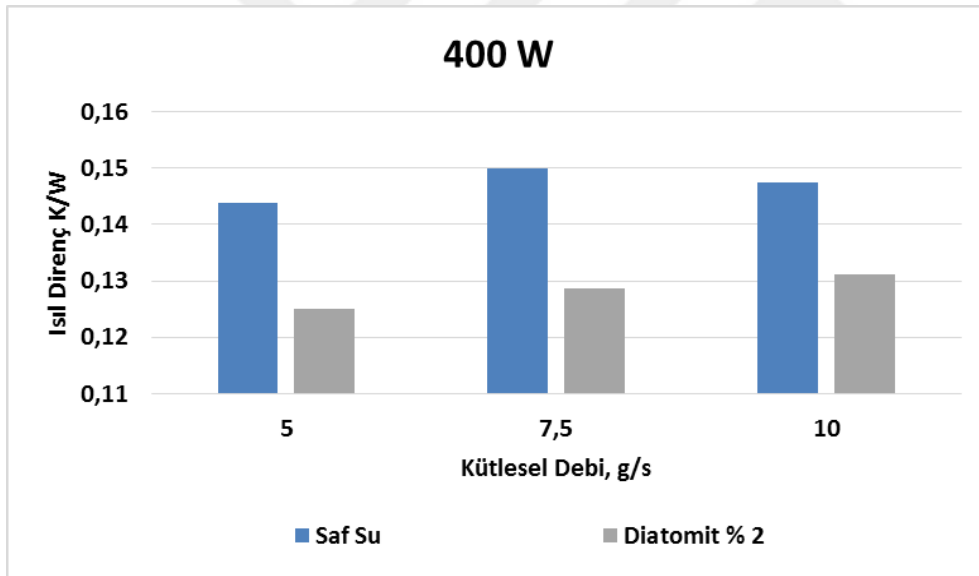
Diatomit içeren nanoakışkanın üç farklı ısıtma gücü ve üç farklı soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı direnç değerleri sırasıyla Şekil 4.78 Şekil 4.79 ve Şekil 4.80’de sunulmuştur.



Şekil 4.78. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları



Şekil 4.79. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları

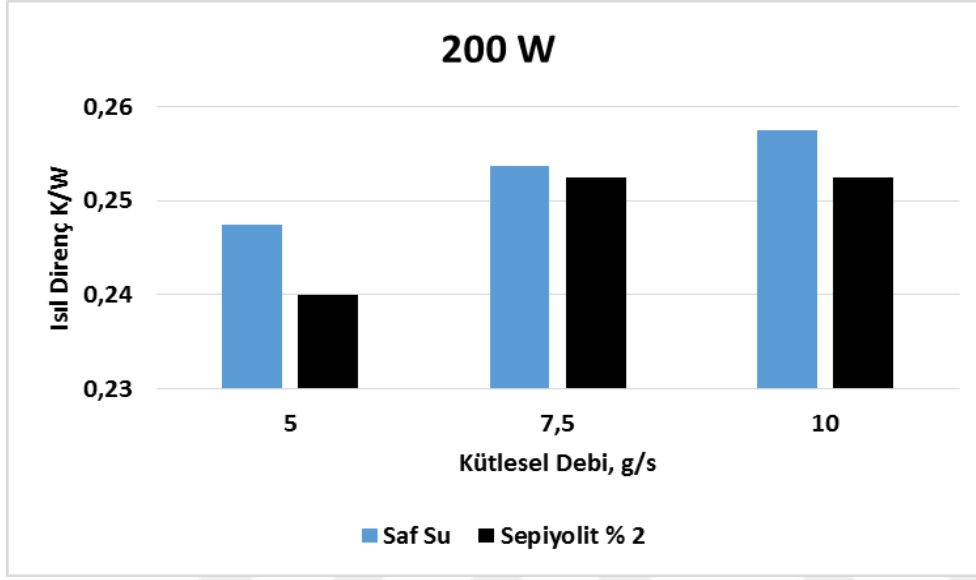


Şekil 4.80. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları

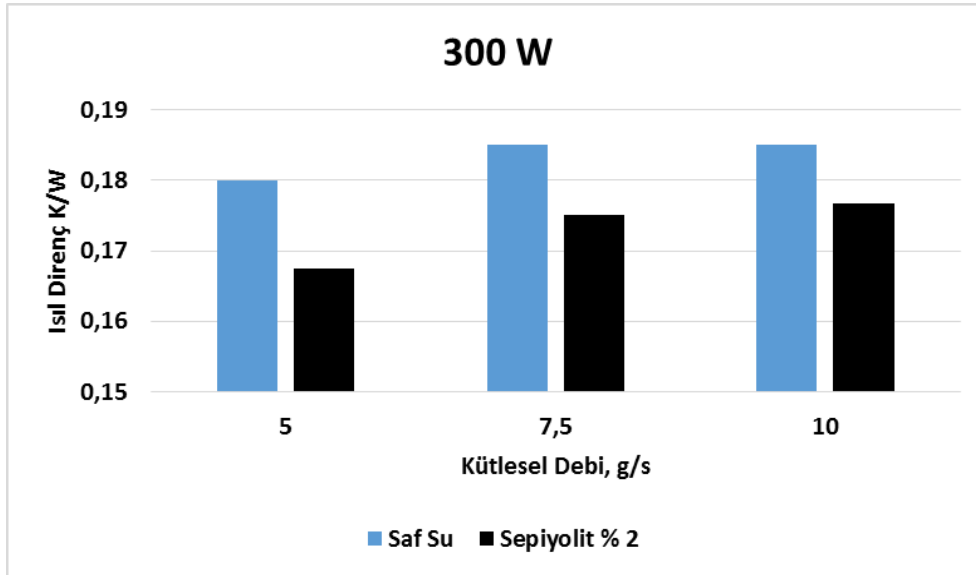
Diatomit içeren nanoakışkan saf suya kıyasla ısı borusu ısı direncini düşürmektedir. Tüm deney sonuçlarına göre ısı dirençteki iyileşmenin 400 Watt'da 7,5 g/s debide % 15 oranında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Diatomit içeren nanoakışkan deney sonuçları da bentonit içeren nanoakışkan deney sonuçlarını desteklemektedir. Isı borusundaki ısı direncin düşmesi nanoakışkan içerisinde bulunan metal oksit parçacıklar nedeniyle buhar kabarcıklarının çekirdeklenme boyutunun küçülmesi ile açıklanmaktadır.

Sepiyolit içeren nanoakışkanın ısı borusu ısı direnç sonuçları

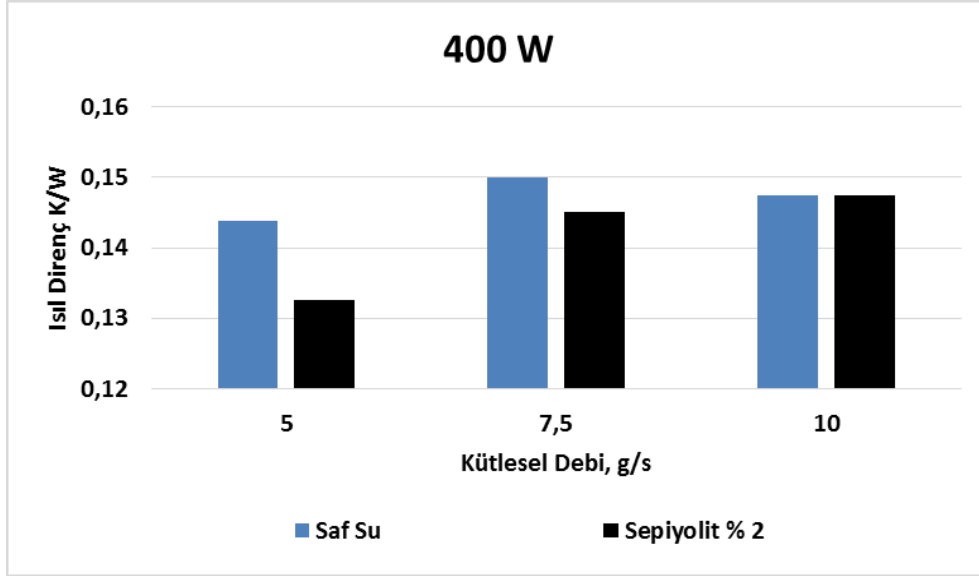
Sepiyolit içeren nanoakışkanın üç farklı ısıtma gücü ve üç farklı soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı direnç değerleri sırasıyla Şekil 4.81 Şekil 4.82 ve Şekil 4.83’de sunulmuştur.



Şekil 4.81. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları



Şekil 4.82. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları

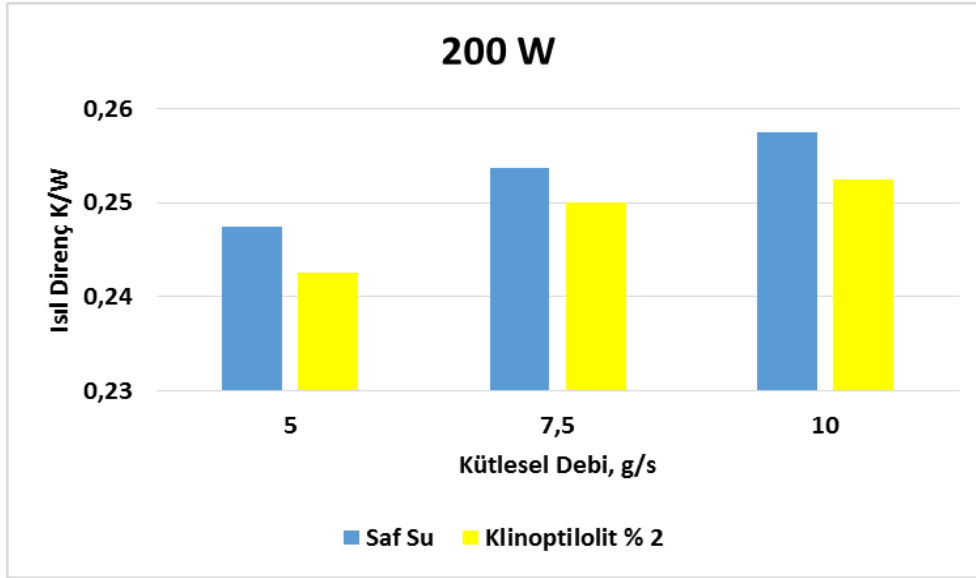


Şekil 4.83. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları

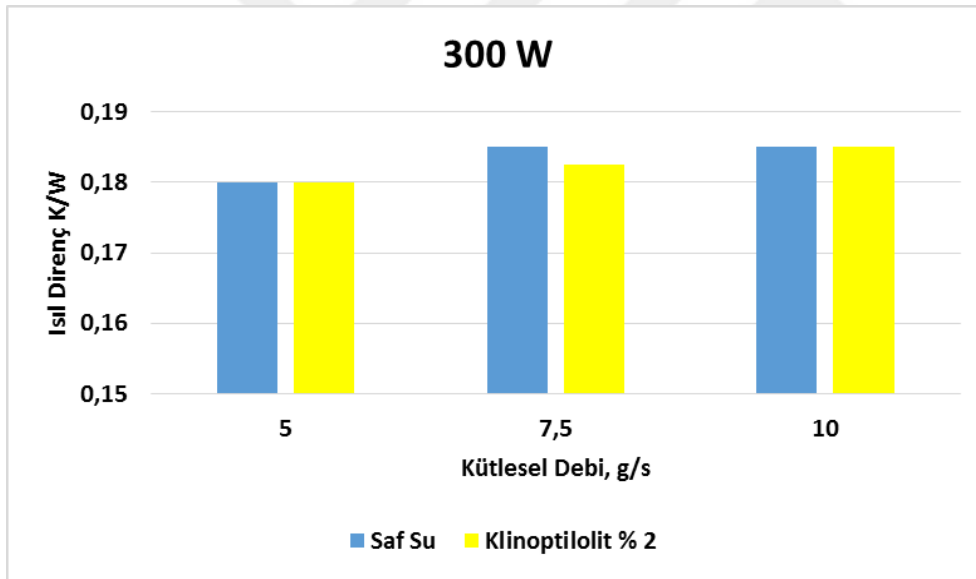
Sepiyolit içeren nanoakışkan saf suya kıyasla ısı borusu ısı direncini düşürmektedir. Ancak ısı dirençteki düşüş oranının bentonit ve diatomit içeren nanoakışkanlara göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Isıl dirençteki en iyi iyileşmenin 400 Watt'da 5 g/s debide % 8 oranında gerçekleştiği belirlenmiştir. Isıl direnç sonuçları özgül ısı, ısı iletkenlik, zeta potansiyeli ve duvar sıcaklığı dağılım sonuçları ile desteklenmektedir.

Klinoptilolit içeren nanoakışkanın ısı borusu ısı direnç sonuçları

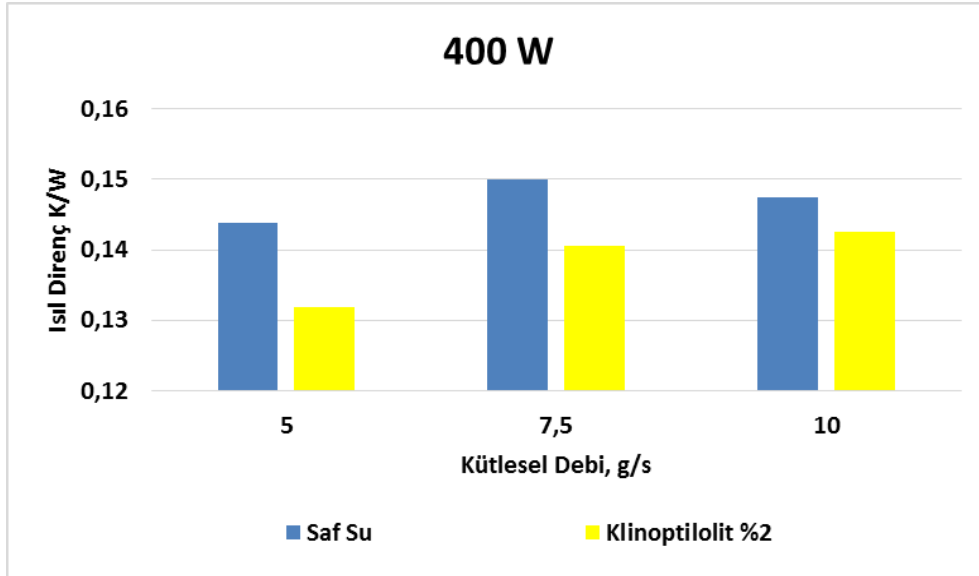
Klinoptilolit içeren nanoakışkanın üç farklı ısıtma gücü ve üç farklı soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre hesaplanan ısı direnç değerleri sırasıyla Şekil 4.84 Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'da sunulmuştur.



Şekil 4.84. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları



Şekil 4.85. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları

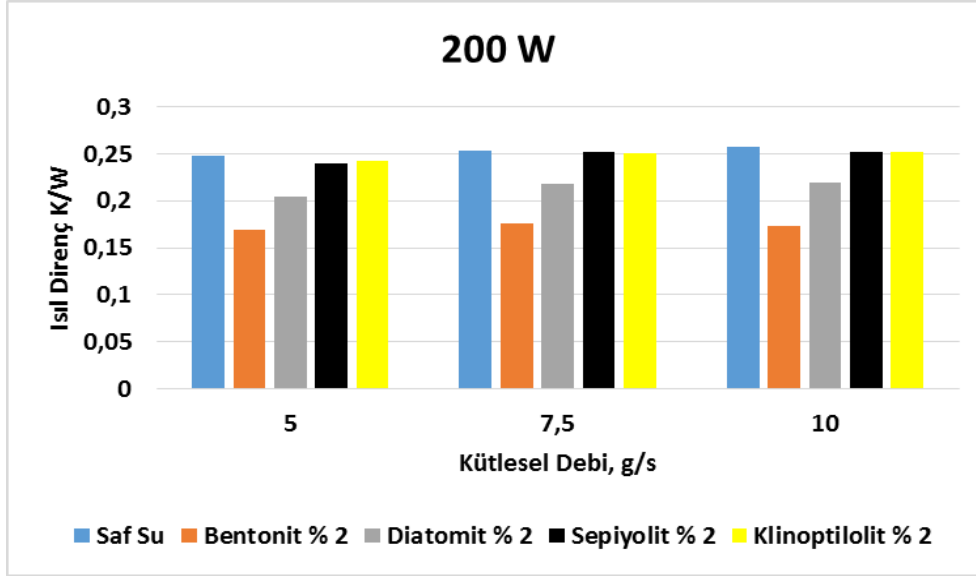


Şekil 4.86. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları

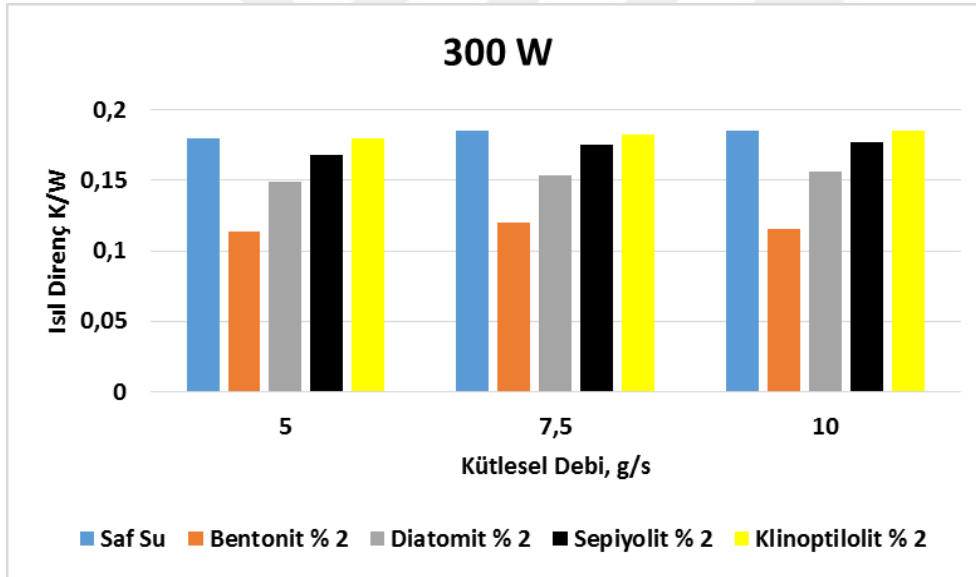
Klinoptilolit içeren nanoakışkanın ısı borusunda kullanılması durumunda ısı direnç değerlerinin saf suya çok yakın seyrettiği ölçülmüştür. 400 Watt'da gerçekleştirilen deneylerde bir miktar ısı dirençte düşüş sağlanmıştır. Bu da yüksek ısıtma gücünde nanoakışkanın içerisinde yer alan metal oksitler sayesinde saf suya göre buhar kabarcığı oluşumunu engellediğini göstermektedir. Ancak tüm deney sonuçları incelendiğinde klinoptilolit'in ısı borusu ısı direnci üzerine etkisinin sınırlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Mineralojik nanoakışkanların ısı direnç sonuçları

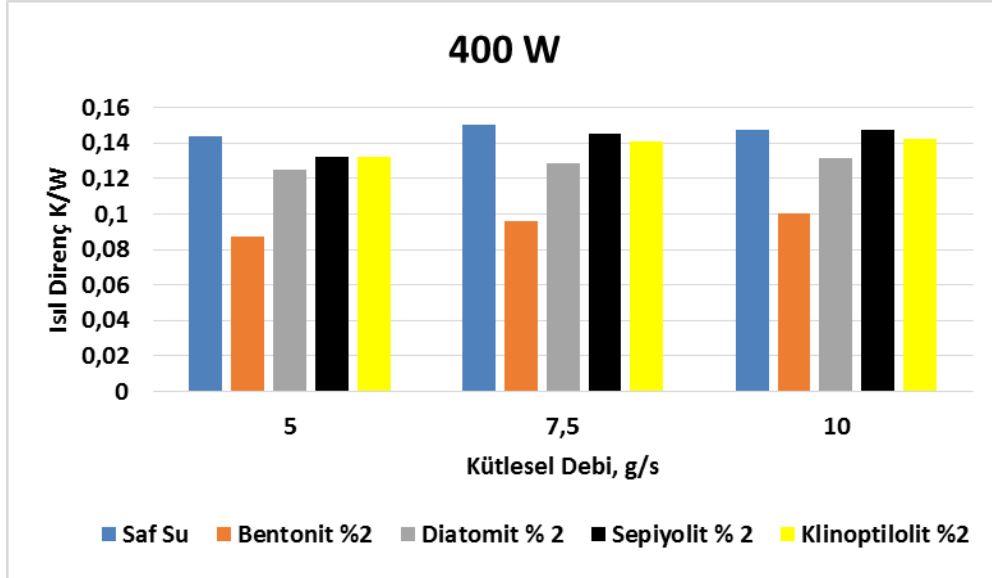
Bentonit, sepiyolit, diatomit ve klinoptilolit içeren nanoakışkanların ısı direnç değişimleri karşılaştırmalı olarak her bir ısıtma gücü ve soğutma suyu debisinde sırasıyla Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89'da sunulmuştur.



Şekil 4.87. Mineralojik malzemelerin 200 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları



Şekil 4.88. Mineralojik malzemelerin 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları



Şekil 4.89. Mineralojik malzemelerin 400 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki ısı direnç sonuçları

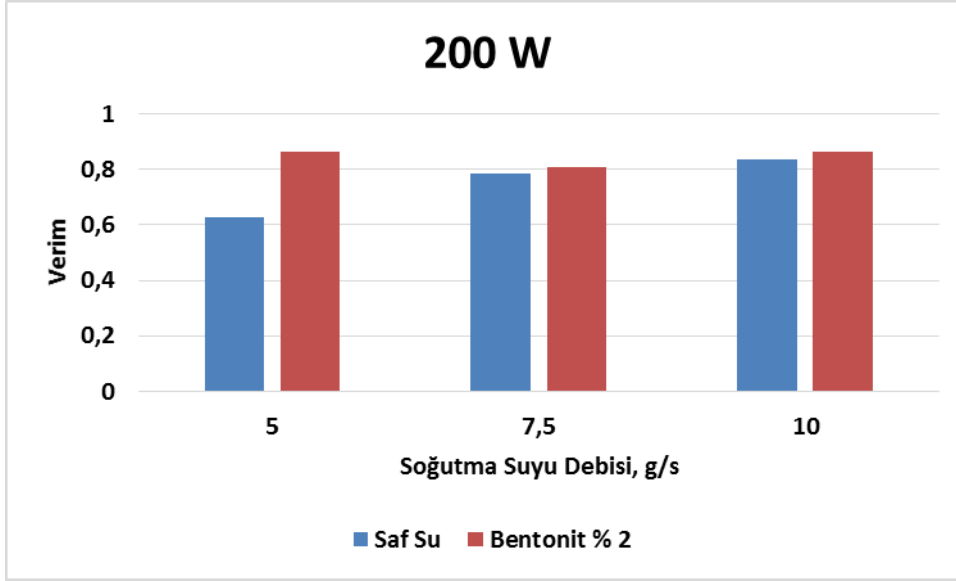
Deney sonuçları incelendiğinde en iyi ısı dirençte iyileşmenin bentonit içeren nanoakışkan ile elde edildiği belirlenmiştir. Bentonitin diğer mineralojik malzemelere göre daha kararlı olması nedeniyle metal oksitler süspansiyon içerisinde homojen bir dağılım sağlamış ve ısı borusunda ısı direncin düşmesine neden olmuştur. Ayrıca buharlaştırıcı bölümde uygulanan ısıtma gücü arttıkça buna paralel olarak ısı direncin düştüğü görülmektedir.

4.4.3. Verim

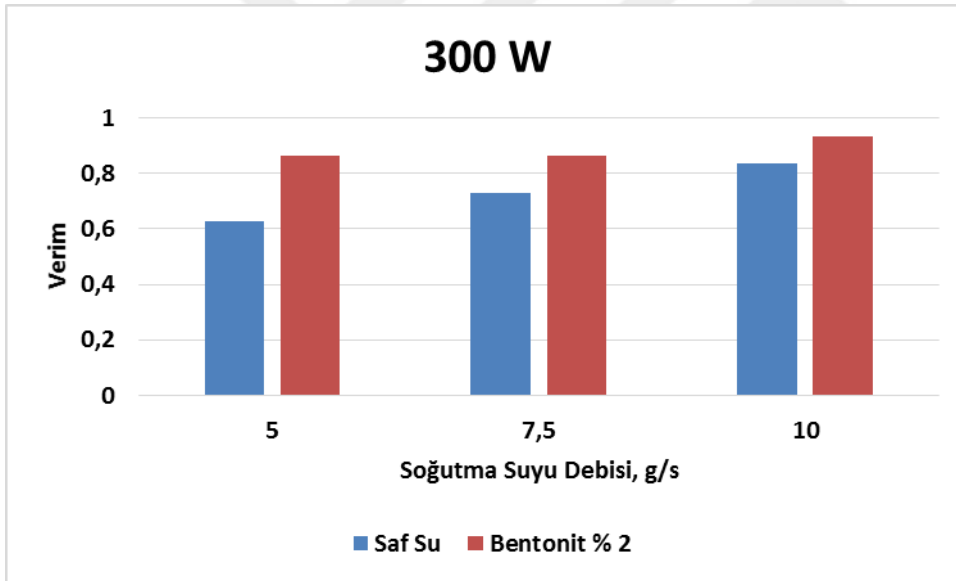
Isı borusunun verimi yoğunlaştırıcı bölümde çekilen ısı miktarının buharlaştırıcı bölümde verilen ısı miktarına oranı olarak hesaplanmıştır.

Bentonit içeren nanoakışkanın ısı borusu verim sonuçları

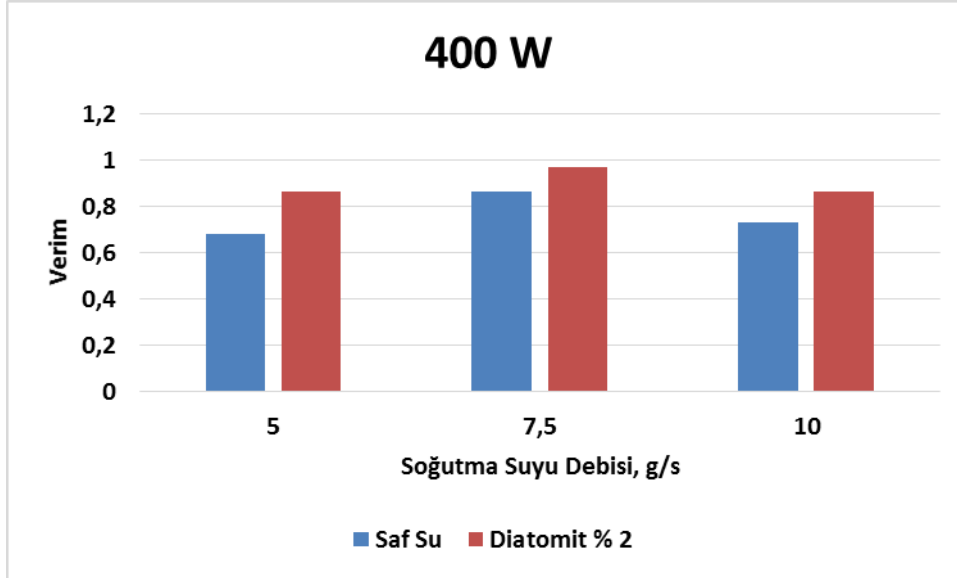
200, 300 ve 400 Watt ısıtma gücünde ve üç debide bentonit içeren nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen verim sonuçları Şekil 4.90, Şekil 4.91 ve Şekil 4.92'de sunulmuştur.



Şekil 4.90. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları



Şekil 4.91. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları

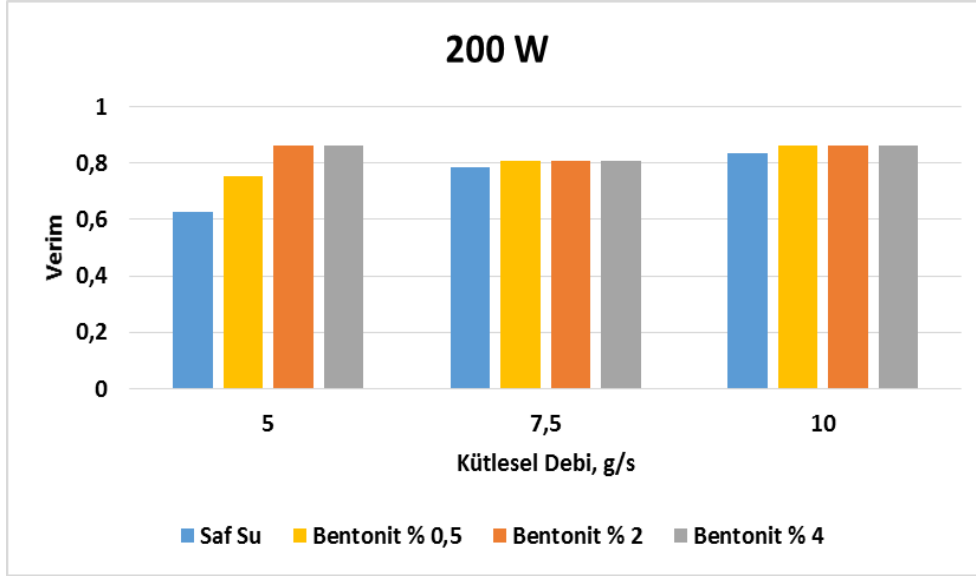


Şekil 4.92. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları

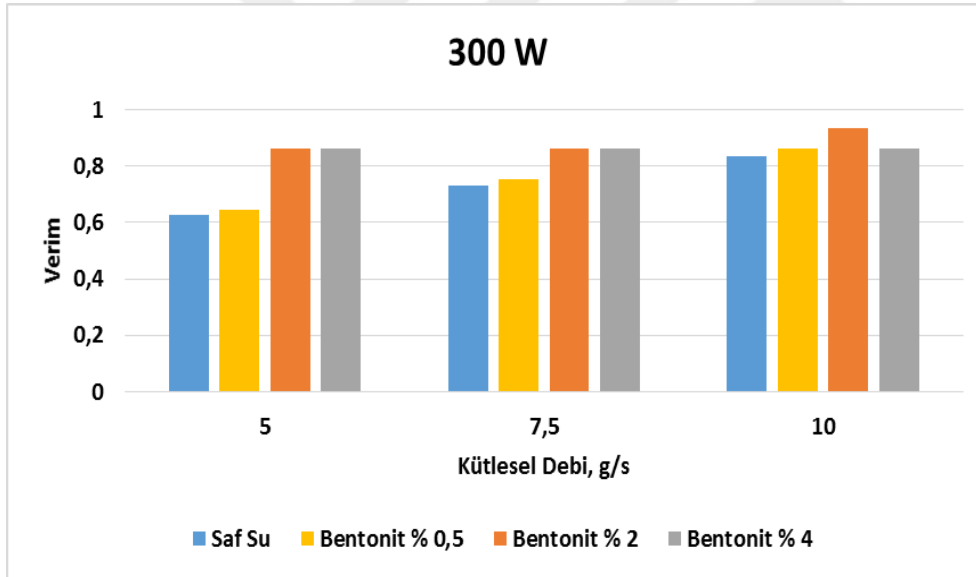
Deney sonuçları incelendiğinde 200 Watt 5 g/s debide % 37 ile en yüksek verim değerine ulaşıldığı görülmektedir. Bentonit içeren nanoakışkan içerisinde bulunan nano boyuttaki metal oksitler sayesinde özgül ısı ve ısı iletkenliğinin saf suya kıyasla yüksek olması nedeniyle ısı borusunda çok daha iyi ısı transferi sağlanarak verimin artmasına neden olmuştur.

Derişim Değişimine Bağlı Isı Borusu Verim Sonuçları

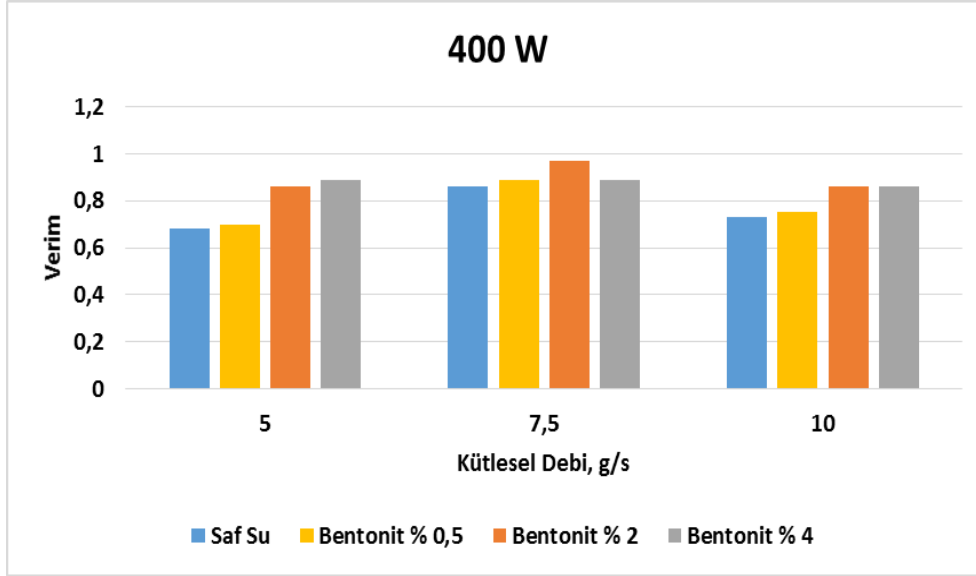
% 0,5, % 2 ve % 4 derişim oranlarında verimde olan değişimler her bir ısıtma gücü ve soğutma suyu debisinde sırasıyla Şekil 4.93, Şekil 4,94 ve Şekil 4.95’de sunulmuştur.



Şekil 4.93. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki derişim değişimine bağlı verim sonuçları



Şekil 4.94. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki derişim değişimine bağlı verim sonuçları

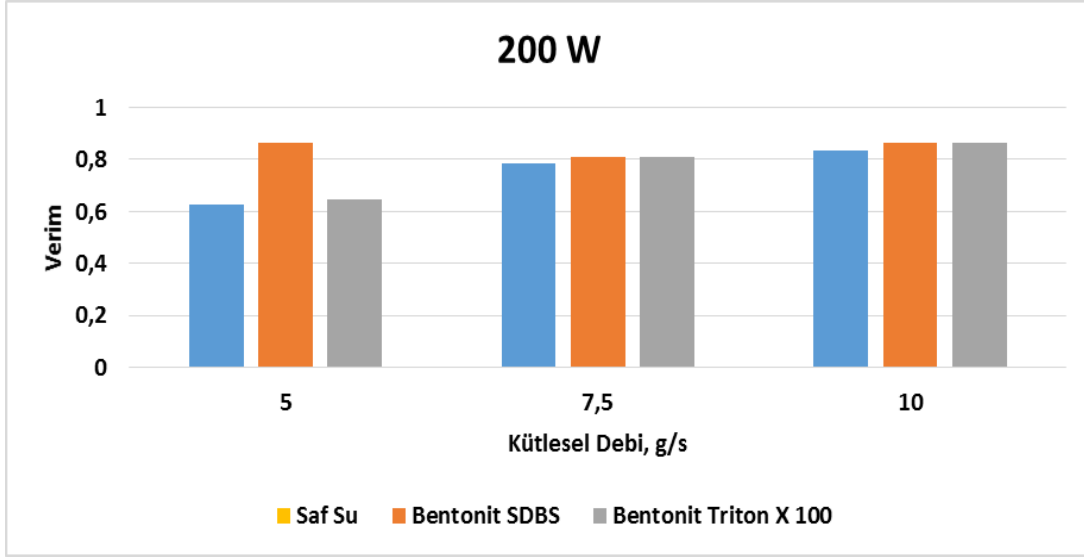


Şekil 4.95. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki derişim değişimine bağlı verim sonuçları

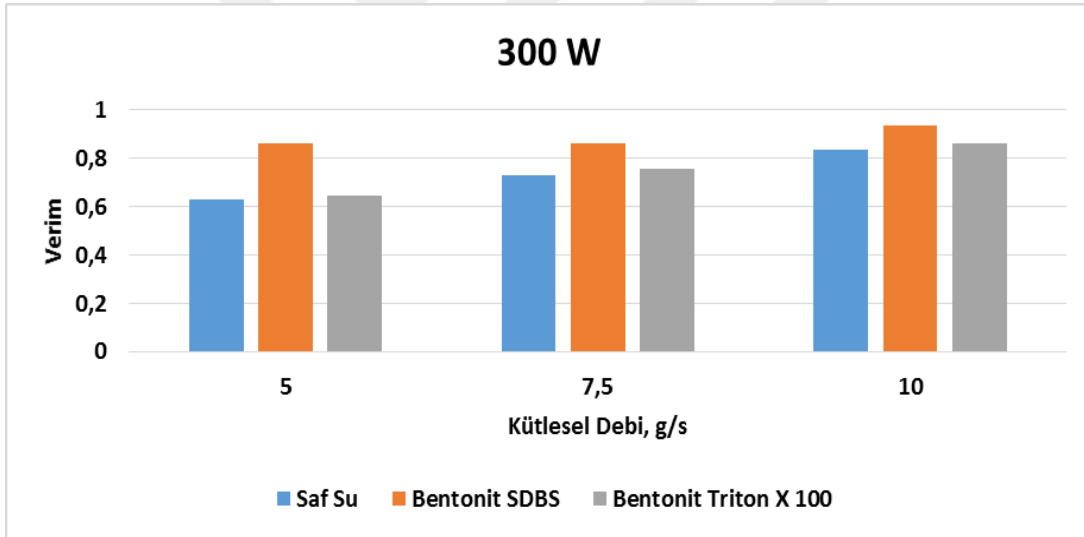
Derişim artışına bağlı olarak verim değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Ancak % 2 derişim değerinden itibaren verimin artmadığı, sabite yakın bir değere kavuştuğu gözlemlenmiştir. Derişim oranı % 2 değerinde nanoakışkanın doğunluğa ulaştığı derişim artışına bağlı olarak askıda bulunan metal oksitlerin çökeldiği sonucuna ulaşılmıştır. Literatürde karbon nanütüplerle gerçekteşirilen ısı borusu verim ölçümlerinde en uygun derişim oranı olarak % 2 verilmektedir [63].

Yüzey aktif maddenin ısı borusu verime etkisi

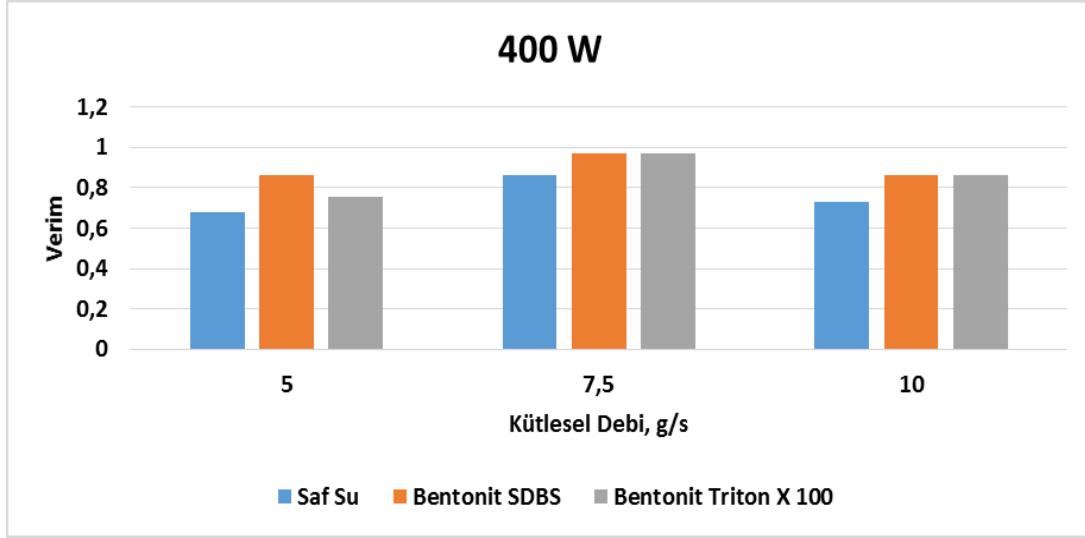
Sodyum dodesil benzen sülfonat ve Triton X 100 yüzey aktif maddelerinin bentonit içeren nanoakışkanda kullanılması durumunda verimde olan değişimler her bir ısıtma gücü ve soğutma suyu debisinde sırasıyla Şekil 4.96, Şekil 4.97 ve Şekil 4.98’de sunulmuştur.



Şekil 4.96. Bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları



Şekil 4.97. Bentonit içeren nanoakışkanın 300 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları

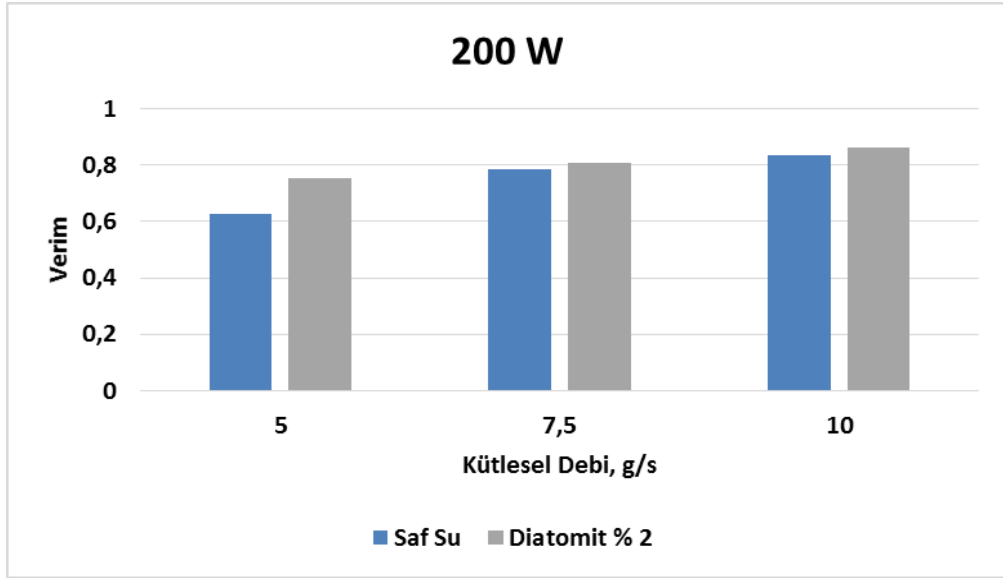


Şekil 4.98. Bentonit içeren nanoakışkanın 400 Watt güçte ve üç farklı kütleli debideki yüzey aktif madde değişimine bağlı verim sonuçları

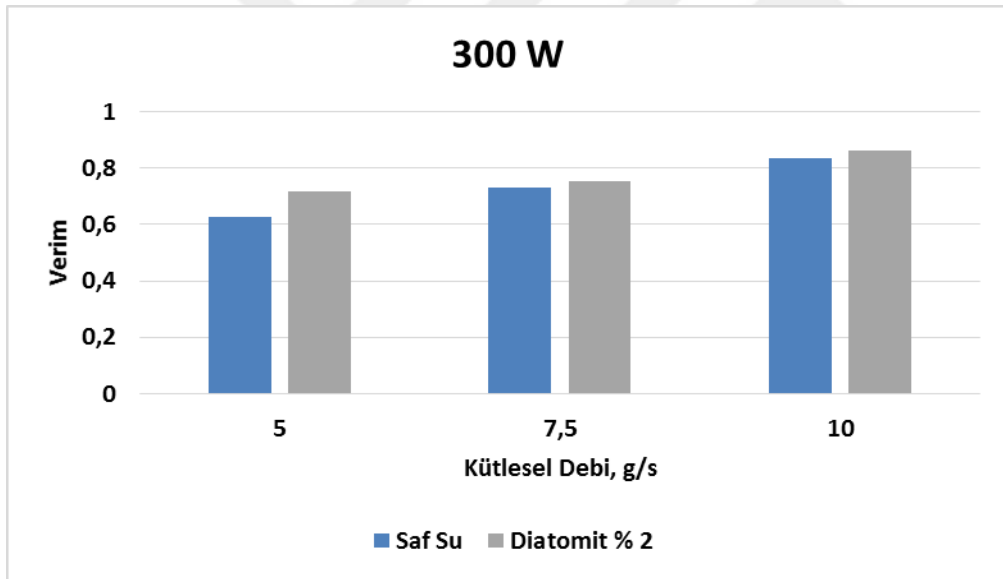
Deney sonuçlarına göre SDBS yüzey aktif madde kullanılması durumunda ısı borusu veriminin Triton X 100'e kıyasla daha yüksek olmadığı belirlenmiştir. Buda SDBS içeren nanoakışkanın Triton X 100 içeren nanoakışkana göre zeta potansiyel değerinin daha yüksek olması nedeniyle kararlı bir süspansiyon oluşturması ile açıklanabilmektedir.

Diatomit içeren nanoakışkanın ısı borusu verim sonuçları

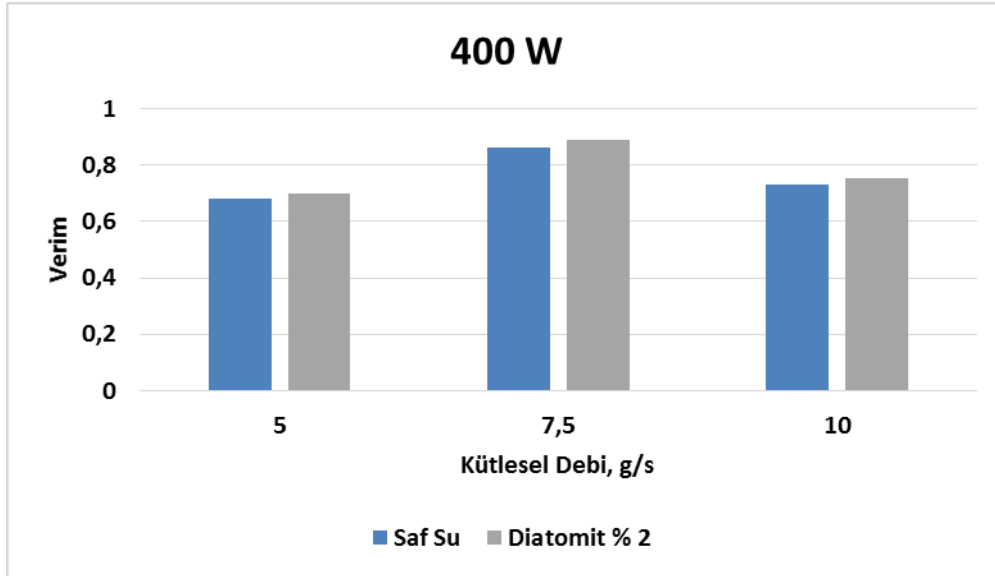
200, 300 ve 400 Watt ısıtma gücünde ve üç debide diatomit içeren nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen verim sonuçları Şekil 4.99, Şekil 4.100 ve Şekil 4.101'de sunulmuştur.



Şekil 4.99. Diatomit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları



Şekil 4.100. Diatomit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları

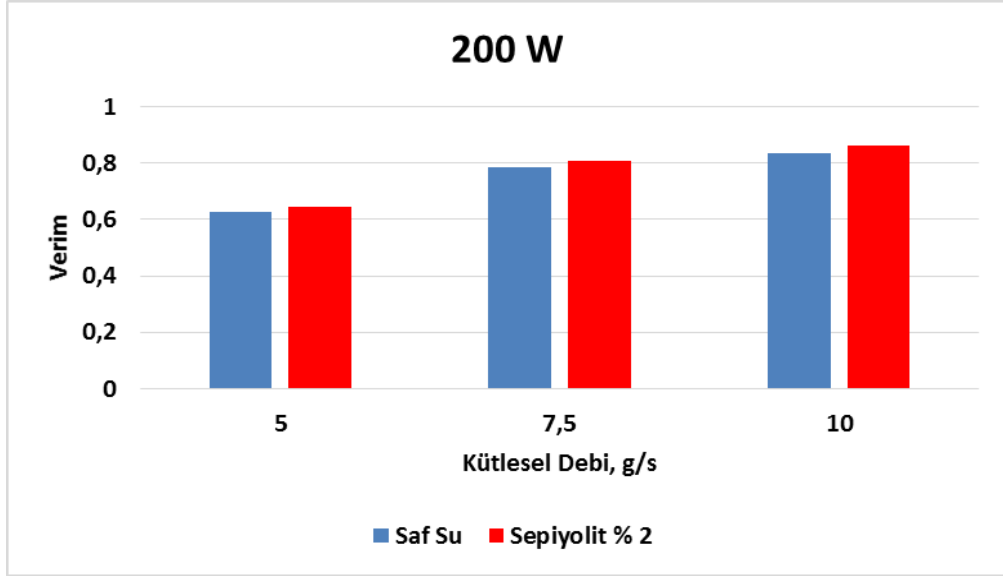


Şekil 4.101. Diatomit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları

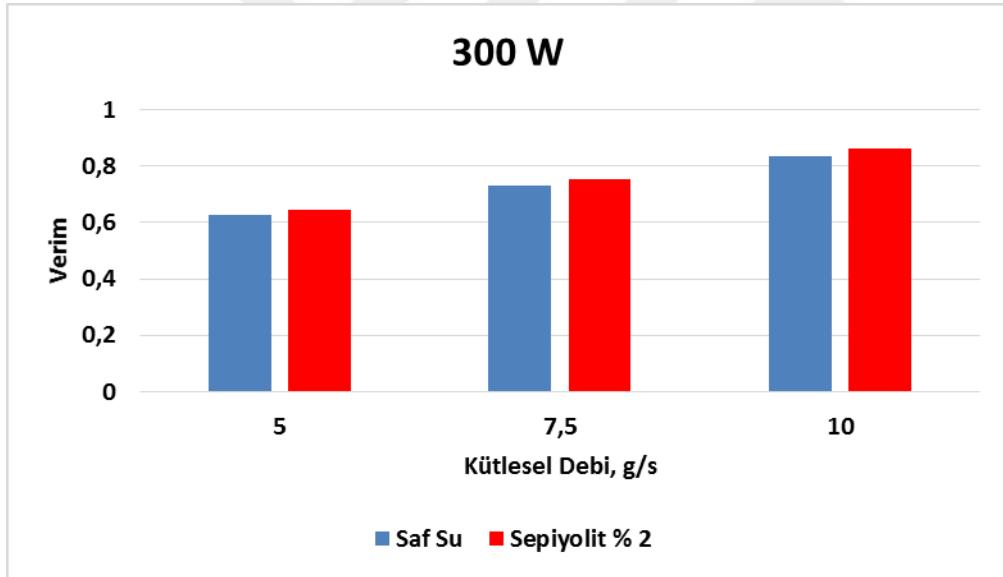
Deney sonuçları incelendiğinde 200 Watt 5 g/s debide % 20 ile en yüksek verim değerine ulaşıldığı görülmektedir. Deneysel sonuçlar özgül ısı, ısı iletkenlik, zeta potansiyeli, ısı borusu sıcaklık dağılımı ve ısı borusu ısı iletkenlik değerleri ile desteklenmektedir. Diatomit içerisinde yer alan metal oksitlerin ısı iletkenliğinin saf suya göre daha büyük olması nedeniyle ısı borusunda çok daha iyi ısı transferi sağlanarak verimin artmasına neden olmuştur.

Sepiyolit içeren nanoakışkanın ısı borusu verim sonuçları

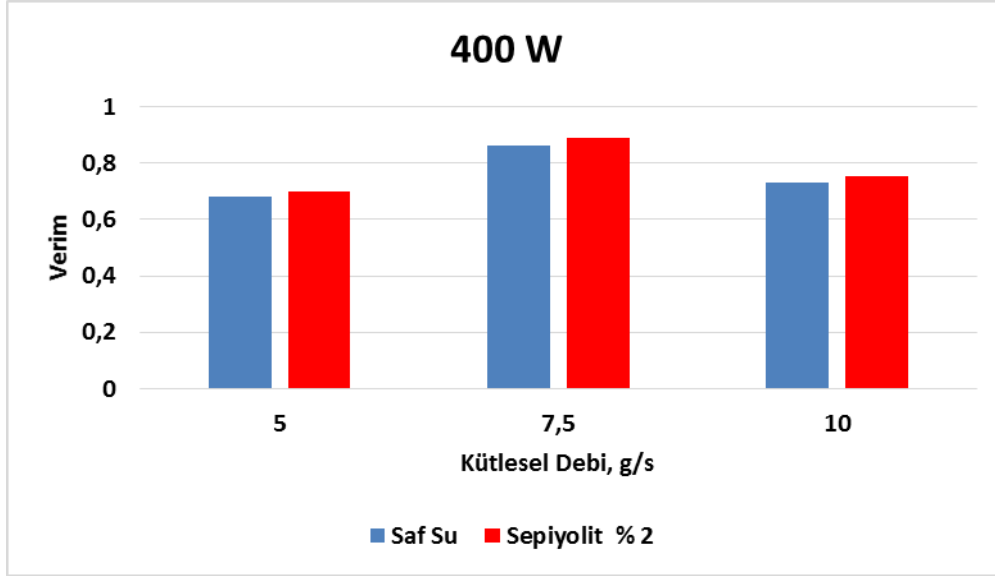
200, 300 ve 400 Watt ısıtma gücünde ve üç debide sepiyolit içeren nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen verim sonuçları Şekil 4.102, Şekil 4.103 ve Şekil 4.104'de sunulmuştur.



Şekil 4.102. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları



Şekil 4.103. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları

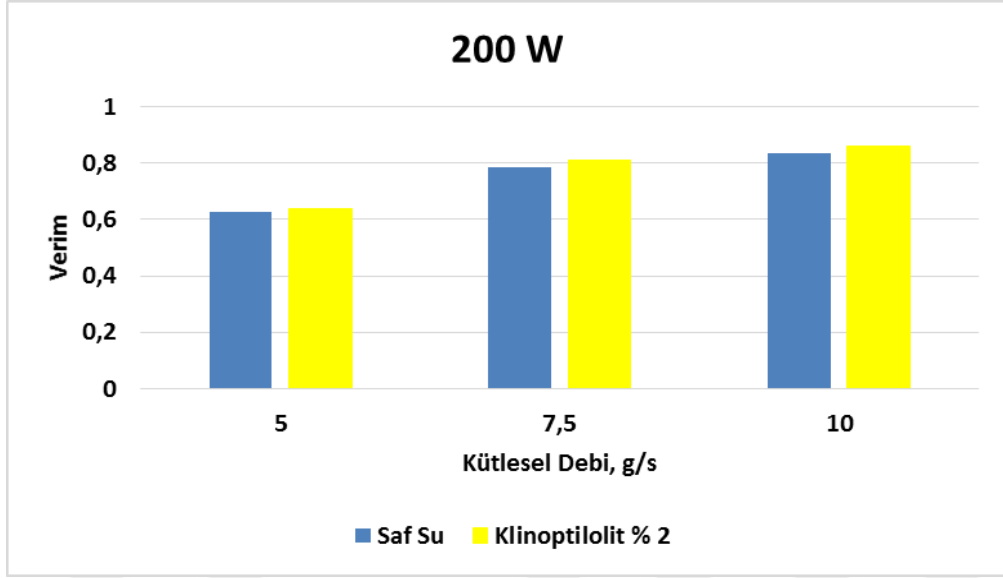


Şekil 4.104. Sepiyolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları

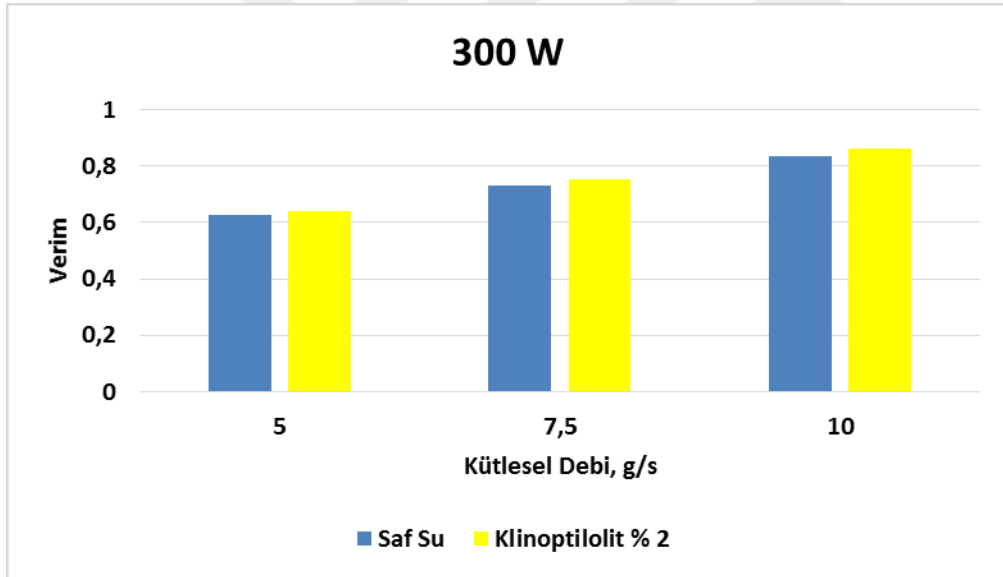
Sepiyolit içeren nanoakışkanın ısı borusu verim değerlerinin saf suya yakın olduğu görülmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde ortalama % 3'lük verim artışı olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç ısı borusu sıcaklık dağılımı ve ısı iletkenlik sonuçları ile desteklenmektedir.

Klinoptilolit içeren nanoakışkanın ısı borusu verim sonuçları

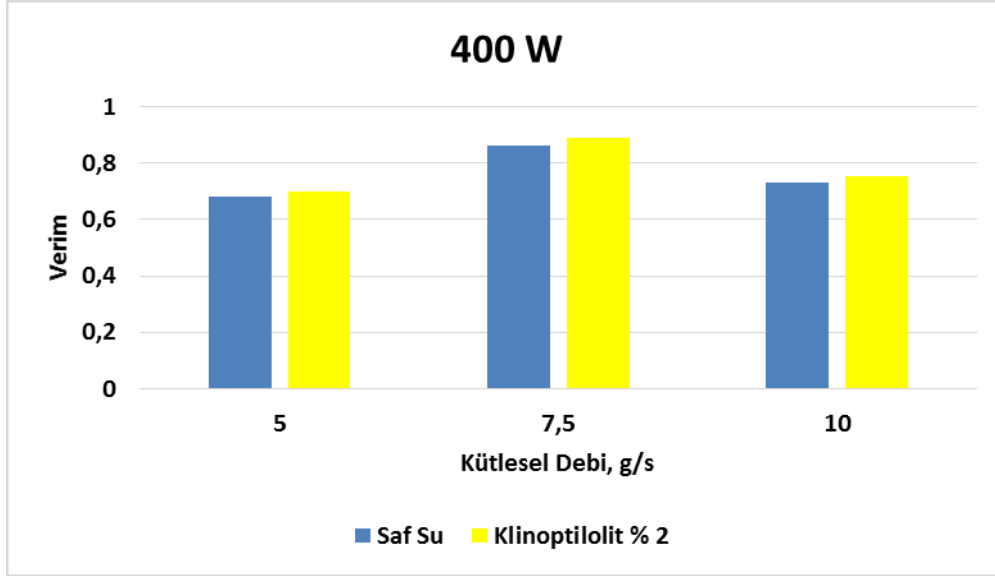
200, 300 ve 400 Watt ısıtma gücünde ve üç debide klinoptilolit içeren nanoakışkan kullanılarak gerçekleştirilen deney sonucunda elde edilen verim sonuçları Şekil 4.105, Şekil 4.106 ve Şekil 4.107'de sunulmuştur.



Şekil 4.105. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 200 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları



Şekil 4.106. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları

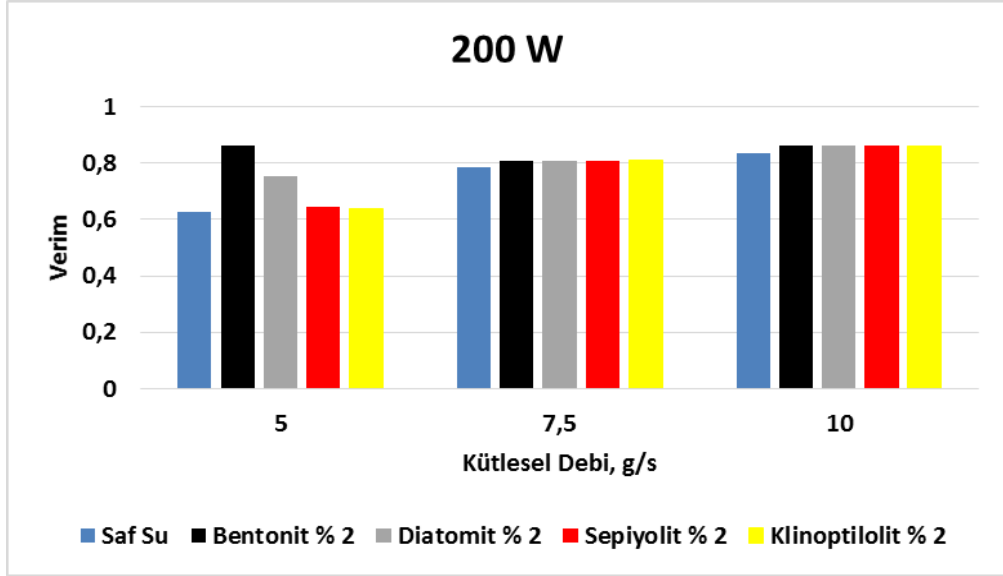


Şekil 4.107. Klinoptilolit içeren nanoakışkanın 400 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları

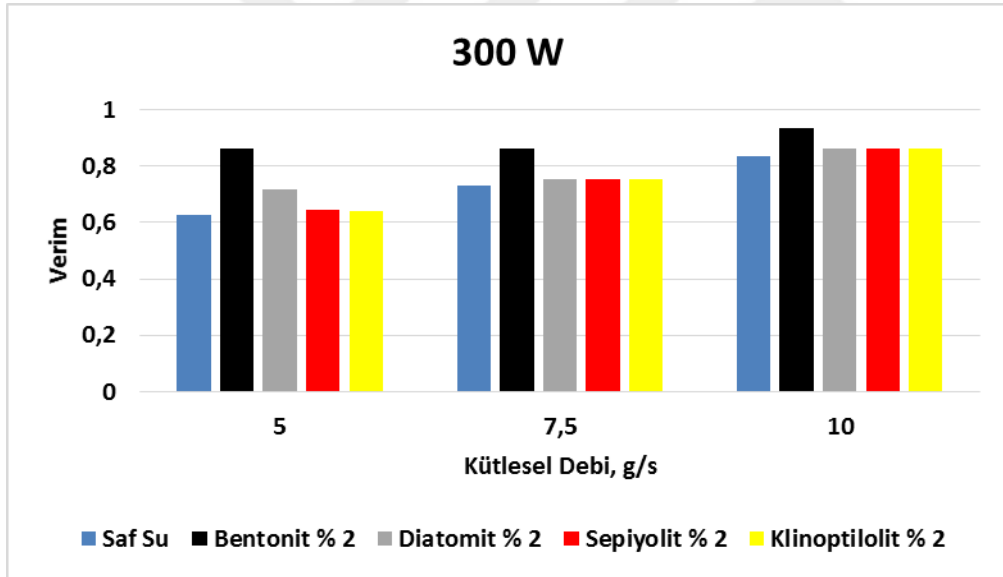
Deney sonuçları irdelendiğinde klinoptilolit içeren nanoakışkanın kullanılması durumunda ısı borusu veriminin saf su ile aynı olduğu sonucuna varılmıştır. Klinoptilolit nanoakışkanının kullanılmasının verim artışı getirmemesi nedeniyle ısı borusu için alternatif temel akışkan olarak önerilmemektedir.

Mineralojik nanoakışkanların ısı borusu verim sonuçları

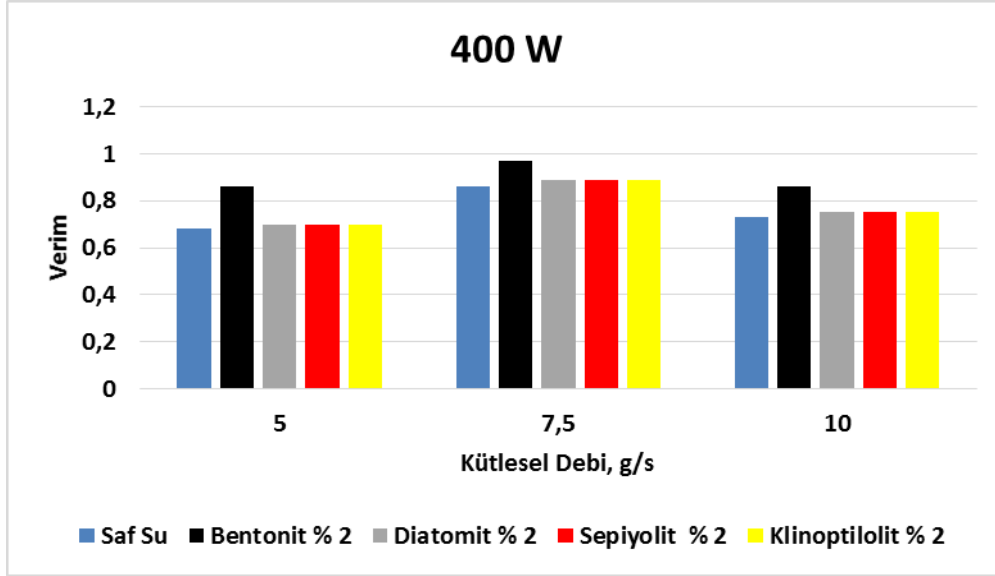
Bentonit, sepiyolit, diatomit ve klinoptilolit içeren nanoakışkanların verim değişimleri karşılaştırmalı olarak her bir ısıtma gücü ve soğutma suyu debisinde sırasıyla Şekil 4.108, Şekil 4.109 ve Şekil 4.110'de sunulmuştur.



Şekil 4.108. Mineralojik malzemelerin 200 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları



Şekil 4.109. Mineralojik malzemelerin 300 Watt güç ve üç farklı kütleli debideki verim sonuçları



Şekil 4.110. Mineralojik malzemelerin 400 Watt güç ve üç farklı kütlesel debideki verim sonuçları

Tüm sonuçlar incelendiğinde en iyi verim artışını sağlayan mineralojik malzemenin bentonit nanoakışkanı olduğu belirlenmiştir.

Buna göre bentonit içeren nanoakışkanın;

- Isıl iletkenlik değerinin ($0,7585 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$) diğer mineralojik nanoakışkanlardan daha büyük olması nedeniyle çok daha iyi bir ısı transferi sağlıyor olması,
- Özgül ısının ($4,34 \text{ J/g } ^\circ\text{C}$) diğer mineralojik nanoakışkanlardan daha büyük olması nedeniyle çok daha iyi bir ısı depolama özelliğine sahip olması,
- Zeta potansiyelinin ($21,7 \text{ mV}$) diğer mineralojik nanoakışkanlardan daha büyük olması nedeniyle daha kararlı bir nanoakışkan oluşturarak askıda tutulan metal oksit miktarının daha fazla olması,

nedenlerinden dolayı ısı borusu veriminin diğer mineralojik nanoakışkanlardan daha fazla olduğu tespit edilmiş ve en yüksek verim artışının 200 Watt, 5 g/s debide % 37 oranı ile sağlandığı belirlenmiştir.



5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden elde edilmiş olan bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit mineralojik malzemeleri kullanılarak nanoakışkanlar hazırlanmış, nanoakışkanların termofiziksel özellikleri belirlenmiş ve nanoakışkanların ısı borusu performansına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Ülkemizde mineralojik malzeme rezervinin çok olması, kolay ulaşılabilir olması, maliyetinin çok düşük olması ve içerdikleri yüksek oranda metal oksitler sayesinde ısı sistemlerinde bu mineralojik malzemelerden hazırlanan nanoakışkanların temel akışkan olarak kullanılabilirliği ön plana çıkmaktadır. Çalışmalarda kullanılan mineralojik malzemelerin maliyet araştırması yapıldığında çok ucuz ürünler olduğu görülmektedir. Maliyet avantajlarının yanısıra kolay işlenebilmeleri de tercih edilebilirliklerini arttırmaktadır.

Deneysel çalışma sırasında, geliştirme ve üretimi yurt içinde gerçekleştirilmiş olan Spex tipi yüksek enerjili öğütücüler kullanılarak nano boyutta mineralojik malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu nano malzeme üretim yöntemi hem kolay hem de düşük maliyetli olması nedeniyle nanoakışkan üretimi için ön plana çıkmaktadır. Mineralojik malzemeler Spex tipi yüksek enerjili öğütücüde nano boyuta gelinceye kadar öğütülmüştür. Yüksek enerjili Spex öğütücülerde öğütme işlemi malzeme cinsi, yoğunluğu, öğütücü devri, öğütücü hacmi, dolun oranı, numune/bilye oranı ve öğütme süresi gibi birçok parametreye bağlıdır. Parametreler dikkate alınarak 1/17 numune bilye kütle oranında 7 saat öğütme sonucunda parçacıkların boyutu 50 nm'ye düşürülmüştür. Öğütme süresi uzadıkça topaklaşma nedeniyle boyutta büyüme olduğu gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Özgül ısı değerleri bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit içeren nanoakışkanlar için sırasıyla 4,34 J/g °C, 4,33 J/g °C, 4,32 J/g °C ve 4,31 J/g °C olarak ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları nanoakışkanların içerisinde bulunan metal oksitler sayesinde ısı tutma ve taşıma kapasitelerinin saf suya göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Nanoakışkan derişimi arttıkça özgül ısı değeri de artmaktadır. Bu da nanoakışkan içerisindeki metal oksit tanecik miktarının artması ile ısı taşıma kapasitesinin arttığını göstermektedir. Ancak derişim artışı ile doğru orantılı olarak özgül ısı değerinde bir artış olmamıştır. % 2 derişim değerinden daha büyük oranlar için süspansiyon içerisinde

askıda tutulabilen nano parçacık miktarının derişim oranı ile paralel olarak artmadığı, buna bağılı olarak çökelpnenin arttığı gözlemlenmiştir.

- Nanoakışkanların endüstriyel alanda kullanımını sınırlayan önemli parametrelerden bir tanesi de viskozitedir. Viskozite değerine bağılı olarak akışın gerçekleştiğı kanallarda basınç düşüşü oluşmakta, pompalama için gerekli olan güç artmakta ve akış kanallarında aşınmalar oluşmaktadır. Deneysel çalışma sonucunda nanoakışkanlar içerisinde bulunan nano parçacıkların oluşturduğu parçacık-parçacık etkileşimi nedeniyle akışa karşı oluşan direncin arttığı, dolayısıyla saf suya kıyasla viskozitenin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca sıcaklığın artması sonucunda nano parçacık ile temel akışkan arasındaki etkileşimin azalması nedeniyle viskozitesinin azaldığı belirlenmiştir.
- Isıl iletkenlik değerleri bentonit, diatomit, sepiyolit ve klinoptilolit içeren nanoakışkanlar için sırasıyla 0,7585 W/m °C, 0,7079 W/m °C, 0,6932 W/m °C ve 0,6801 W/m °C olarak ölçülmüştür. En büyük artış bentonit içeren nanoakışkan ile sağlanmıştır. Zeta potansiyeli verilerinden de görüldüğü üzere en kararlı olan bentonit içeren nanoakışkanın askıda bulunan nano parçacık miktarının daha fazla olması nedeniyle ısıl iletkenliğinin diğer mineralojik malzeme içeren nanoakışkanlara göre daha büyük olduğu sonucuna varılmaktadır. Derişim arttıkça ısıl iletkenlik artmaktadır. Bu da nanoakışkan içerisindeki metal oksit tanecik miktarının artması ile ısıl iletkenliğin arttığını göstermektedir. Ancak derişim artışı ile orantılı olarak özgül ısı değerinde de olduğu gibi ısıl iletkenlikte de bir artış olmamıştır.
- Zeta potansiyeli ölçüm sonuçları incelendiğinde 21,7 mV ile en yüksek zeta potansiyeline bentonit içeren nanoakışkanın sahip olduğu görülmektedir. Bentonit içeren nanoakışkanın diğerlerinden daha kararlı bir yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Nanoakışkanın kararlılığı arttıkça ısı borusu veriminin de arttığı, daha kararlı olan bentonit içeren nanoakışkanının askıda daha fazla nano metal oksit içermesi nedeniyle ısıl iletkenliği ve özgül ısıyı dolayısıyla ısı transferini iyileştirerek verimi arttırdığı sonucuna varılmıştır.
- Isı borusunda gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda, bentonit, klinoptilolit sepiyolit ve diatomit içeren nanoakışkanın ısı borusu buharlaştırıcı bölümünde kaynama sıcaklığının saf suya göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum nanoakışkanların içerdiği nano boyuttaki metal oksit parçacıklarının daha üstün ısıl özelliklere sahip olması ile açıklanabilmektedir.

- Isı borusunda en yüksek performans artışını sağlayan bentonit içeren nanoakışkanın olduğu belirlenmiştir. 400 Watt'da gerçekleştirilen deneylerde saf su kullanıldığında buharlaştırıcıda ortalama sıcaklık 85,5 °C iken bentonit nanoakışkanı kullanıldığında 57,75 °C olduğu, bentonit nanoakışkanı kullanılması durumunda buharlaşma bölümü ortalama sıcaklığında 27,75 °C azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar buharlaştırıcıda daha düşük sıcaklıklarda kaynama, yoğunlaştırıcıda ise ısı aktarım hızında artış olduğunu göstermektedir.
- Isı borusunda bentonit içeren nanoakışkan kullanıldığında saf suya kıyasla verimin 200 W, 5 g/s debide % 37 arttığı belirlenmiştir. Bentonit içeren nanoakışkan içerisinde bulunan nano boyuttaki metal oksitler sayesinde ısı iletkenlik ve özgül ısı değerlerinin saf suya göre daha yüksek olması nedeniyle ısı borusunda çok daha iyi ısı transferi sağlanmış ve daha yüksek verim elde edilmiştir.
- Bentonit nanoakışkanı kullanıldığında saf suya kıyasla ısı direncinde 400 W, 5 g/s debide yaklaşık % 39'luk bir azalma olduğu hesaplanmıştır. Bentonit içeren nanoakışkan kullanıldığı zaman nanoakışkan içerisinde askıda bulunan metal oksit parçacıklar nedeniyle buhar kabarcıklarının çekirdekleşme boyutu düşmüştür. Dolayısıyla ısı borusu duvarında ısı direncin artmasına neden olan ve buhar kabarcıklarının büyümesi ile oluşan film tabakanın oluşmasının engellendiği şeklinde açıklanabilmektedir.
- Nanoakışkan derişimi arttıkça daha düşük sıcaklıklarda kaynama olduğu, buhar kabarcıkları çekirdekleşme boyutunda azalma olduğu gözlemlenmiştir. Ancak derişim artışına paralel olarak kaynama sıcaklığının düşmediği görülmektedir. Bu da derişim arttıkça çökmenin arttığını ve süspansiyon içinde askıda tutunan nano parçacık miktarının belli bir orandan sonra sabit kaldığını göstermektedir.
- Yüzey aktif madde olarak SDBS'in kullanılması durumunda Triton X 100'e göre ısı borusu performansı artmıştır. SDBS eklendiğinde mineralojik malzeme içeren nanoakışkanların zeta potansiyelinin daha yüksek olması nedeniyle süspansiyonun içerisinde kararlı bir yapı oluşturduğu ve askıda tutulan parçacık miktarının Triton X-100'e göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Düşük maliyet girdileri ile üretilen nanoakışkanların ısı sistemlerde su yerine temel akışkan olarak kullanılması önerilmektedir. Deneysel çalışma sonuçlarından da görüleceği üzere ısı borusunda saf su yerine bentonit içeren nanoakışkan kullanılması durumunda ısı dirençte % 39 bir azalma ve ısı borusu veriminde ise % 37'lik bir artış olduğu belirlenmiştir. Nanoakışkan içerisinde yer alan ısı iletkenliği yüksek metal oksit nano

parçacıkları ısı iletkenliği ve ısı 1 transfer temas y1zeyini arttırarak ısı borusunun daha verimli bir Şekilde 1alışmasını sağlamaktadır.

Isı borusunda nanoakışkanların kullanılması ile daha d1ř1k sıcaklıklarda kaynama olmaktadır. Bu sonu1, ısı 1 sistemlerde temel akışkan olarak saf su yerine mineralojik malzeme i1eren nanoakışkan kullanılması durumunda aynı işi yapabilmek i1in 1ok daha az enerji harcanacağını g1stermektedir. Mineralojik malzeme i1eren nanoakışkanların y1ksek ısı iletkenliğe sahip olması ve yığın i1indeki ısı 1 transfer alanını genişletmesi nedeniyle ısı 1 sistemlerin k111lmesini sağlayacaktır. Temel akışkan olarak su yerine yağ kullanılan sistemlerde de minerel malzeme i1eren nanoakışkanların kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca mineralojik malzeme i1eren nanoakışkanların ısı 1 sistemlerin yanısıra soğutma sistemlerinde de kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Etilen glikol i1eren otomobil soğutma sistemleri i1in mineralojik malzeme i1eren nanoakışkanların kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Otomobillerin g1c1 arttı1a soğutma ihtiya1ı da artmakta olup, bu ihtiya1 termofiziksel 1zellikleri daha iyi olan mineralojik malzeme i1eren nanoakışkanlar kullanılarak sağlanabilecektir. Otomobillerde daha 1st1n termofiziksel 1zelliklere sahip mineralojik malzeme i1eren nanoakışkanlar kullanılarak, radyat1r boyutları k111lt1lebiyecek, otomobilin ağırlığının azalmasına ve yakıt tasarrufuna imk1n sağlanabilecektir. Mineralojik malzeme i1eren nanoakışkanlar sayesinde soğutma suyu pompalama boyutu ve g1c1 azalacak, motorda daha y1ksek sıcaklıklara 1ıkılarak motor performansı y1kseltilebilecektir.

1zellikle etkin ve hızlı bir Şekilde soğutma ihtiya1ı olan u1ak motorları ve savunma sistemlerinde 1st1n termofiziksel 1zelliklere sahip olan mineralojik malzeme i1eren nanoakışkanların 1nemli bir yer tutacağı 1ng1r1lmektedir. Mineralojik nanoakışkanların, uzay ara1ları, y1ksek g1c1l1 lazer sistemleri, askeri ara1lar gibi performans gereksinimi y1ksek olan sistemlerde soğutma amacıyla kullanılabilecektir. Bu nedenle mineralojik malzeme i1eren nanoakışkanlar y1ksek performans ve g11 odaklı, kısıtlı alana sahip ağırlığın 1nemli olduğu uzay, u1ak ve savunma sanayinde geniş bir geniş bir kullanım alanı bulacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. İpekoğlu, B. ve Kurşun, İ. (1997). *Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış*. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumunda sunuldu, İzmir, Türkiye.
2. Uygun, A. (1976). *Diatomit jeolojisi ve yararlanma olanakları*. Maden Teknik ve Araştırma Genel Müdürlüğü Raporu, Ankara, 31-38.
3. Söğüt, E.G. (2015). *Çaldıran-Van diatomiti, modifikasyonu ve fizikokimyasal özellikleri*. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
4. Şener A.G. (2013). Zeolit süspansiyonunun farklı değerlikli katyonlara sahip inorganik tuzlar ile koagülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
5. Sabah, E., Çelik, M. (1999). *Sepiyolit özellikleri ve kullanım alanları*. 3. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumunda sunuldu, İzmir, Türkiye.
6. Choi, S.U.S., Eastman, J.A. (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles*, Paper presented at the ASME International Mechanical Engineer Congress Exposition, San Francisco, USA.
7. Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö. ve Yılmaz, M. (2006). Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi. *Mühendis ve Makine*, 47, 559-565.
8. Menlik, T., Sözen, A., Gürü, M., Çağlayan, N. ve Öztaş, S. (2015). Spineloksit partikül içeren nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 285-303.
9. Goharshadi, E.K., Ahmadzadeh, H., Samiee S. and Hadadian, M. (2013). Nanofluids for heat transfer enhancement-A review, *Physical Chemistry Research*, 1(1), 1-33.
10. Toparlı, Ç. (2013). *FeNiCo alışı nano partiküllerinin ultrasonik spreylendirme ve hidrojen redüksiyonu (USP-HR) tekniği ile üretimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
11. Yang, L. and Hu, Y. (2017). Toward TiO₂ nanofluids-part 1: *Preparation and Properties*, *Nanoscale Research Letters*, 12(1), 417-422.
12. Keblinski, P., Eastman, J.A. and Cahill, D.G. (2005). Nanofluids for thermal transport, *Materials Today*, 8(6), 36-44.
13. Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y. and Ai, F. (2002). Dependence of the thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture on the base fluid, *Journal of Materials Science Letters*, 21(9), 1469-1471.
14. Yang, L., Xu, J., Du, K. and Zhang, X. (2017). Recent developments on viscosity and thermal conductivity of nanofluids, *Powder Technology*, 317, 348-369.

15. Eastman, J.A., Choi, S.U.S., Li, S. and Thompson, L.J. (2001). Thompson L.J. Anomalous increased effective thermal conductivities of ethyleneglycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 78(6), 718-720.
16. Xie, H., Wang, J., Xi, T. and Liu, Y. (2002). Thermal conductivity of suspensions containing nanosized SiC particles, *International Journal of Thermophysics*, 23(2), 571-580.
17. Murshed, S.M.S., Leong, K.C. and Yang, C. (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO₂ water based nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences*, 44(4), 367-373.
18. Lomascolo, M., Colangelo, G., Milanese, M. and Risi, A. (2015). Review of heat transfer in nanofluids: Conductive convective and radiative experimental results, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 1182-1198.
19. Teng, T.P., Hung, Y.H., Teng, T.C., Mo, H.E. and Hsu, H.G. (2010). The effect of alumina/water nanofluid particle size on thermal conductivity, *Applied Thermal Engineering*, 30(14-15), 2213-2218.
20. Chon, C.H., Kihm K.D., Lee S.P. and Choi S.U.S. (2005). Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement, *Applied Physics Letters*, 87(15), 153107.
21. Kang, H.U., Kim, S.H., and Oh, J.M. (2006). Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume, *Experimental Heat Transfer*, 19(3), 181-191.
22. Duangthongsuk, W., Wongwises, S. (2009). Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂-water nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(4), 706-714.
23. Da, S.K., Putra, N., Thiesen, P. and Roetzel, W. (2003). Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, *Journal of Heat Transfer*, 125(4), 567-574.
24. Abareshi, M., Goharshadi, E.K., Zebarjad, S.M., Fadafan, H.K. and Youssefi, A. (2010). Fabrication characterization and measurement of thermal conductivity of Fe₃O₄ nanofluids, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322(24), 3895-3901.
25. Ding, Y., Alias, H., Wen, D. and Williams, R.A. (2006). Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids). *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49(1-2), 240-250.
26. Xie, H., Wang, J., Xi, T., Liu, Y., Ai, F. and Wu, Q. (2002). Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles, *Journal of Applied Physics*, 91(7), 4568-4572.
27. Wang, X., Zhu, D. And Yang, S. (2009). Investigation of pH and SDBS on enhancement of thermal conductivity in nanofluids, *Chemical Physics Letters*, 470(1-3), 107-111.

28. Hong, K.S., Hong, T.K. and Yang, H.S. (2006). Thermal conductivity of Fe nanofluids depending on the cluster size of nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 88(3), 031901.
29. De Groot, J.J., Kestin, J. and Sookiazian, H. (1974). Instrument to measure the thermal conductivity of gases, *Physica*, 75(3), 454-482.
30. Santucci, A., Verdini, L. and Verdini, P.G. (1986). Data-acquisition system for measurement of thermal diffusivity and propagation properties of thermal waves by a non-steady-state method, *Review of Scientific Instruments*, 57(8), 1627-1632.
31. Nguyen, C.T., Desgranges, F., Galanis, N., Roy, G., Maré, T., Boucher, S. and Mintsa, H.A. (2008). Viscosity data for Al₂O₃-water nanofluid-hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable, *International Journal of Thermal Sciences*, 47(2), 103-111.
32. Suganthi, K.S. and Rajan, K.S. (2012). Temperature induced changes in ZnO – water nanofluid: zeta potential, size distribution and viscosity profiles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55(25-26), 7969-7980.
33. Turgut, A., Tavman, I., Chirtoc, M., Schuchmann, H.P., Sauter, C. and Tavman, S. (2009). Thermal conductivity and viscosity measurements of water-based TiO₂ nanofluids, *International Journal of Thermophysics*, 30(4), 1213-1226.
34. Sundar, S.L., 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.
35. Saeedinia, M., Akhavan-Behabadi, M.A. and Razi, P. (2012). Thermal and rheological characteristics of CuO–Base oil nanofluid flow inside a circular tube, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(1), 152-159.
36. Chandrasekar, M., Suresh, S. and Bose, A.C. (2010) Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al₂O₃/water nanofluid, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34(2), 210-216.
37. Halelfadl, S., Estellé, P., Aladag, B., Doner, N. and Maré, T. (2013). Viscosity of carbon nanotubes water-based nanofluids: influence of concentration and temperature, *International Journal of Thermal Sciences*, 71, 111-117.
38. 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(1-2), 92-96.
39. Wang, B.X., Zhou, L.P. and Peng, X.F. (2006). Surface and size effects on the specific heat capacity of nanoparticles, *International Journal of Thermophysics*, 27(1), 139-151.
40. Tiznobaik, H. and Shin, D. (2013). Enhanced specific heat capacity of high-temperature molten salt-based nanofluids, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 57(2), 542-548.

41. De Robertis, E., Cosme, E.H.H., Neves, R.S., Kuznetsov, A.Y., Campos, A.P.C. and Landi, S.M. (2012). Application of the modulated temperature differential scanning calorimetry technique for the determination of the specific heat of copper nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, 41, 10–17.
42. Liu, Y. and Yang, Y. (2017). Investigation of specific heat and latent heat enhancement in hydrate salt based TiO₂ nanofluid phase change material, *Applied Thermal Engineering*, 124, 533-538.
43. Pastoriza-Gallego, M.J., Casanova, C., Paramo, R. and Pineiro, M.M. (2009). A study on stability and thermophysical properties (density and viscosity) of Al₂O₃ in water nanofluid, *Journal of Applied Physics*, 106(6), 123-129.
44. Ganeshkumar, J., Kathirkaman, D., Raja, K. and Velraj, R. (2015). Experimental study on density, thermal conductivity, specific heat and viscosity of water ethylene glycol mixture dispersed with carbon nanotubes, *Thermal Science*, 21, 255-265.
45. Teng, T.P. and Hung, Y.H. (2014). Estimation and experimental study of the density and specific heat for alumina nanofluid, *Journal of Experimental Nanoscience*, 9(7), 707-718.
46. Batıgöç, Ç. (2010). *Yüzey aktif maddelerin etkileşimlerinin ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi*, Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
47. Adio, A.S., Sharifpur, M. and Meyer, J.P. (2015) Factors affecting the pH and electrical conductivity of MgO-ethylene glycol nanofluids, *Bulletin of Materials Science*, 38(5), 1345-1357.
48. Dey, D., Kumar, P. and Samantaray, S. (2017) A review of nanofluid preparation, stability, and thermo-physical properties, *Heat Transfer - Asian Research*, 46(8), 1413-1442.
49. Gupta, M., Singh, V., Kumar, R. and Said, Z. (2017). A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 638–670.
50. Balcıoğlu, B. (2014). *Alumina nanoakışkan kullanımının ısı borusu performansına etkisinin deneysel olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
51. Alt, N. (2010). *Tek kanallı ısı borusu ile çok kanallı ısı borusu verimlerinin karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
52. Akkuş, Y. (2015). *Multi dimensional modellig of evaporation in the micro region of a micro grooved head pipe*, The Degree of Doctor, Middle East Technical University Graduate School of Natural and Applied Science, Ankara.
53. Sözen, A., Menlik, T., Gürü, M., Boran, K., Kılıç, F., Aktaş, M. and Çakır, M. T. (2016). A comparative investigation on the effect of fly-ash and alumina nanofluids on the thermal performance of two-phase closed thermo-syphon heat pipes, *Applied Thermal Engineering*, 96, 330-337.

54. Menlik, T., Sozen A., Guru, M. and Öztas, S. (2015). Heat transfer enhancement using MgO/water nanofluid in heat pipe, *Journal of the Energy Institute*, 88(3), 247-257.
55. Sözen, A., Menlik, T., Aktaş, M. and Gürü, M. (2017). Utilization of blast furnace slag nano-fluids in two-phase closed thermos-syphon heat pipes for enhancing heat transfer, *Experimental Heat Transfer*, 30(2), 112-125.
56. Huminic, G. and Huminic, A. (2013). Numerical study on heat transfer characteristics of thermosyphon heat pipes using nanofluids, *Energy Conversion and Management*, 76, 393-399,
57. Sarafraz, M.M., Hormozi, F. and Peyghambarzadeh, S.M. (2014). Thermal performance and efficiency of a thermosyphon heat pipe working with a biologically ecofriendly nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 57, 297-303.
58. Sarafraz, M.M. and Hormozi, F. (2014). Experimental study on the thermal performance and efficiency of a copper made thermosyphon heat pipe charged with alumina-glycol based nanofluids, *Powder Technology*, 266, 378-387.
59. Huminic, G., Huminic, A., Morjan, I. and Dumitrache, F. (2011). Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54, 656-661.
60. Lu, L., Liu, Z.H. and Xiao, H.S. (2011). Thermal performance of an open thermosyphon using nanofluids for high-temperature evacuated tubular solar collectors Part 1: indoor experiment, *Solar Energy*, 85, 379-387.
61. 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, 315.
62. Parate, N. P. and Farkade, H.S. (2014). Thermal Performance of a Two Phase Closed Thermosyphon Using Nanofluid, *International Journal for Scientific Research & Development*, 2, 8-11.
63. Liu, Z.H., Yang, X.F., Wang, G.S. and Guo, G.L. (2010). Influence of carbon nanotube suspension on the thermal performance of a miniature thermosyphon, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 3, 1914-1920.
64. Wang, W., Duan, G., Li, J., Zhao, W., Liu, Z. and Li, C. (2017). The preparation and thermal performance research of spherical Ag-H₂O nanofluids & applied in heat pipe, *Applied Thermal Engineering*, 116, 811-822.
65. Elbalshouny, M.A., Abd El-Hameed, H.M., Fatouh, M. and Wael, I.A.A. (2017). Thermal performance evaluation of a helically-micro-grooved heat pipe working with water and aqueous Al₂O₃ nanofluid at different inclination angle and filling ratio, *Applied Thermal Engineering*, 110, 1294-1304.
66. Senthil, R., Ratchagaraja, D., Silambarasan, R. and Manikandan, R. (2016). Contemplation of thermal characteristics by filling ratio of Al₂O₃ nanofluid in wire mesh heat pipe, *Alexandria Engineering Journal*, 55, 1063-1068.

67. Kang, S-W., Wang, Y-C., Liu, Y-C. and Lo, H-M. (2017). Visualization and thermal resistance measurements for a magnetic nanofluid pulsating heat pipe, *Applied Thermal Engineering*, 126, 1044-1050.
68. Sözen, A., Gürü, M., Menlik, T., Karakaya, U. and Çiftçi, E. (2018). Experimental comparison of Triton X-100 and sodium dodecyl benzene sulfonate surfactants on thermal performance of TiO₂-deionized water nanofluid in a thermosiphon. *Experimental Heat Transfer*, 1-20.
69. Celep, O., Alp, İ. ve Türk, T. (2008). İnce öğütme teknolojisinde karıştırmalı ortam değirmenleri ve cevher hazırlamadaki uygulamaları, *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 21, 61-73.
70. Yang, H. K., Lee, J. H., Hong, W. T., Jang, H. I., Moon, B. K., Jeong, J. H. and Je, J. Y. (2015). Preparation and photoluminescence properties of nano-sized SrZnO₂: Sm³⁺ phosphor powders obtained by high-energy ball milling. *Ceramics International*, 41(1), 991-994.
71. Kaya, H. (2009). *Spex Tipi Mekanik Alışımama Cihazının Tasarımı İmalatı ve Öğütme Kabiliyetinin İncelenmesi*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda sunuldu, Karabük, Türkiye.
72. Gaşan, H., Aydınbeyli, N., Çelik, O. ve Yaman, M. (2008). Magnezyum Hidrürün öğütülmesinde parçacık boyutunun ve meydana gelen yapısal değişimlerin hidrürün geri bırakım sıcaklığı ile ilişkisinin incelenmesi, *Mühendis ve Makine*, 37, 579-586.
73. Özdemir, U. (2012). *Sodyum dodesil benzen sülfonatın adsorpsiyonda kinetik ve termodinamik parametrelerinin incelenmesi*, Yüksek Lisan Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
74. 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 Al₂O₃ nanoparticles, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(11-12), 2651-2656.



EKLER

EK-1. Isı borusu verim ve ısı direnç örnek hesaplaması

Örnek hesaplama için % 2 bentonit içeren nanoakışkanın 200 Watt güçte ve 5 g/s soğutma suyu debisinde gerçekleştirilen deneysel çalışmaya ait veriler kullanılmıştır.

Soğutma suyu debisi $\dot{m} = 5$ g/s

Buharlaştırıcı ısıtma gücü $\dot{Q}_b = 200$ Watt

Soğutma suyu giriş sıcaklığı $T_{giriş} = 17$ °C

Soğutma suyu çıkış sıcaklığı $T_{çıkış} = 25$ °C

Bentonit nanoakışkanı özgül ısısı $c = 4,3425$ J / g °C

Buharlaştırıcı duvar sıcaklıkları:

$$T_{b1} = 59$$
 °C

$$T_{b2} = 57$$
 °C

$$T_{b3} = 56$$
 °C

$$T_{b4} = 54$$
 °C

Yoğunlaştırıcı duvar sıcaklıkları:

$$T_{y1} = 24$$
 °C

$$T_{y2} = 23$$
 °C

$$T_{y3} = 23$$
 °C

$$T_{y4} = 21$$
 °C

Ortalama sıcaklık $\Delta T = \left(\frac{T_{b1} + T_{b2} + T_{b3} + T_{b4}}{4} \right) - \left(\frac{T_{y1} + T_{y2} + T_{y3} + T_{y4}}{4} \right)$ formülü kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\Delta T = \left(\frac{59 + 57 + 56 + 54}{4} \right) - \left(\frac{24 + 23 + 23 + 21}{4} \right)$$

$$\Delta T = 33,75$$
 °C

Yoğunlaştırıcıda geri kazanılan ısı $\dot{Q}_y = \dot{m}c(T_{çıkış} - T_{giriş})$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_y = 5 * 4,3425(25 - 17)$$

EK-1. (devam) Isı borusu verim ve ısı direnç örnek hesaplaması

$\dot{Q}_y = 173 \text{ Watt}$ hesaplanmıştır.

Isıl Direnç $R = \frac{\Delta T}{\dot{Q}_b}$ formülü kullanılarak belirlenmiştir.

$$R = \frac{33,75}{200}$$

$$R = 0,1687 \text{ K/W}$$

Verim $\eta = \left(\frac{\dot{Q}_y}{\dot{Q}_b}\right)$ formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta = \left(\frac{173}{200}\right)$$

$$\eta = (0,865)$$

olarak belirlenmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAKAYA, Uğur
 Uyuşu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.08.1976, Yozgat
 Telefon : 0 (312) 411 90 76
 e-mail : ugkarakaya@mynet.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Doktora	Gazi Üniversitesi /Kimya Mühendisliği	Devam ediyor
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi /Kimya Mühendisliği	2000
Lisans	Gazi Üniversitesi /Kimya Mühendisliği	1996
Lise	Ankara Başkent Lisesi	1992

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-Halen	Milli Savunma Bakanlığı	Milli Savunma Uzmanı
2001-2017	Milli Savunma Bakanlığı	Proje Mühendisi
1998-2001	Toros Gübre	Üretim Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Gürü, M., Karakaya, U., Altıparmak, D. and Alicılar, A. (2002). Improvement of diesel fuel properties by using additives. *Energy conversion and Management*, 43(8), 1021-1025.
- Sözen, A., Gürü, M., Menlik, T., Karakaya, U. and Çiftçi, E. (2018). Experimental comparison of Triton X-100 and sodium dodecyl benzene sulfonate surfactants on thermal performance of TiO₂-deionized water nanofluid in a thermosiphon. *Experimental Heat Transfer*, 1-20.
- Sözen, A., Çiftçi, E., Keçel, S., Gürü, M., Variyenli, H.İ., Karakaya, U. (2018). Investigation Of Diatomite-Containing Nanofluid Usage As The Working Fluid In A Wickless Loop Heat Pipe: Experimental And Numerical Study. *Heat Transfer Research*, 1-10.



GAZİ GELECEKTİR..