



**T.C.
RECEP TAYYİP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GELİŞMEKTE OLAN BİR BORU AKIŞINDA NANOAKIŞKAN
VE ENGEL KULLANIMININ ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN
SAYISAL İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet Emre KANSIZ

**Danışman
Doç. Dr. Birol ŞAHİN**

**RİZE
2023**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında, Doç. Dr. Birol ŞAHİN danışmanlığında, Muhammet Emre KANSIZ tarafından hazırlanan *Gelişmekte Olan Bir Boru Akışında Nanoakışkan ve Engel Kullanımının Isı Transferine Etkisinin Sayısal İncelenmesi* adlı bu tez çalışması, 28/08/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/oy çokluğuyla başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvanı, Adı SOYADI

İmza

Başkan

:

Prof. Dr. Haydar KÜÇÜK

Üye

:

Doç. Dr. Birol ŞAHİN

Üye

:

Dr. Öğr. Üyesi Cemalettin AYGÜN

ETİK BEYAN

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “Gelişmekte Olan Bir Boru Akışında Nanoakışkan ve Engel Kullanımının Isı Transferine Etkisinin Sayısal İncelenmesi” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

04/08/2023

Muhammet Emre KANSIZ

ÖN SÖZ

Bu çalışma günümüzde etkin olarak kullanılan nano akışkanların ısı transferine etkileri hakkında bir araştırma yazısıdır. Yapılan çalışmada nano akışkanların oluşum şekilleri ve literatürdeki çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir. Aynı zamanda bir boru içerisinde gelişmekte olan akış üzerine yapılan sayısal çalışmalarda nano akışkan kullanımının ısı transferi ve akış üzerine etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Bu çalışmanın bu noktaya gelinceye kadar tüm desteğini ve emeğini benden esirgemeyen başta Can'ım annem ve Can'ım babam ve değerli danışman hocam Doç. Dr. Birol ŞAHİN'e saygılarımı sunar, teşekkür ederim.

Muhammet Emre KANSIZ

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYAN.....	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR.....	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	X
ŞEKİLLER LİSTESİ	XIX
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	2
1.1. Nano Akışkan.....	2
1.2. Nanoakışkanlarda Isı Transferi	4
2. TEZ KONUSU İLE İLGİLİ YAPILAN LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	5
2.1. Nanoakışkanların Üretim Yöntemleri	18
2.1.1. Tek Adım Yöntemi	18
2.1.2. İki Adım Yöntemi.....	19
2.2. Nanoakışkanların Kararlılıkları.....	20
2.2.1. Nanoakışkanların Kararlılığını Arttırma	24
2.2.2. Nanoakışkanlarda Kararlılığı Ölçme Yöntemleri.....	27
2.2.2.1. Sedimentasyon Yöntemi	27
2.2.2.2. Zeta Potansiyeli Ölçme Yöntemi	27
2.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	29
2.3.1. Nanoakışkanlarda Yoğunluk	29
2.3.2. Nanoakışkanlarda Özgül Isı.....	30
2.4. Nanoakışkanların Uygulama Alanları.....	31
2.4.1. Güneş Enerjisi Uygulamaları.....	31
2.4.2. Elektronik Soğutma	33
2.4.3. Uzay ve Savunma Sanayi	35
2.4.4. Kameralar, Mikro Cihazlar Ve Ekranlar	35
2.4.5. Talaşlı İmalatta Soğutma Sıvısı Olarak Kullanımı.....	36

3. LİTERATÜR ÖZETİ.....	37
4. TEZ KONUSU İLE İLGİLİ YAPILAN SAYISAL ÇALIŞMALAR.....	38
4.1. Farklı Hacimsel Oranlarda Nanoparçacıkların Kullanılması İle Oluşturulan Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi.....	51
4.2. Geometrik Ağ Sıklığı Kontrol Analizi.....	58
4.3. Farklı Nanoparçacık Kullanımı İle Akış Analizi Yapma.....	60
4.4. Doğrulama Çalışması.....	78
4.5. Farklı Baz Akışkanların Kullanılması İle Akış Analizi	84
4.6. Engellerin Eklenmesi Durumunda Nanoakışkanların Isı Transferine Etkilerinin Araştırılması.....	92
5. BULGULAR.....	169
5.1. Aynı Geometrilere Farklı Nanoparçacıklar Farklı Nanoparçacık Hacimsel Oranları Ve Farklı Baz Akışkan Kullanılmasının Nano Akışkanlara Etkisi.....	169
5.2. Aynı Geometriye Engeller Eklemenin Nano Akışkana Etkisi.....	171
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	175
KAYNAKÇA.....	180

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Türü : Yüksek Lisans

Danışman : Doç. Dr. Birol ŞAHİN

Hazırlayan : Muhammet Emre KANSIZ

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 182

ÖZET

GELİŞMEKTE OLAN BİR BORU AKIŞINDA NANOAKIŞKAN VE ENGEL KULLANIMININ ISI TRANSFERİNE ETKİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

Yapılan çalışmada günümüzde yaygın olarak kullanılan nano akışkanların bir boru içerisindeki akış ve ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Bu amaçla 5 mm çapında ve 30 mm uzunluğunda dairesel kesitli bir boruda gelişmekte olan akış koşulları altında sayısal çalışma yapılmıştır. Boru üst duvarından sabit bir ısı akısı ile ısıtılmıştır. İş akışkanı olarak kullanılan nano akışkanı oluşturan baz akışkan için su veya eşit oranlarda etilen-glikol-su karışımı kullanılmıştır. Nano parçacık olarak % 4'e varan hacimsel karışım oranlarında Al_2O_3 , TiO_2 , MgO ve CuO kullanılmıştır. Aynı zamanda nano akışkanların ısı transferine etkisinin araştırılması için boru içerisine yarım daire geometrisinde tekli ve çoklu engeller konulmuştur. Baz akışkanların ve nano akışkanların termofiziksel özelliklerindeki farklılıklar karşılaştırılarak nano akışkanların ısı transferi üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Belirtilen şartlar altında iş akışkanının entropisinde meydana gelen değişim de incelenmiştir. Üst duvar çeperinden dışa doğru ısı transfer değeri arttıkça entropinin azaldığı gözlenmiştir. Bu bilgi ışığında yapılan çalışmada nano akışkanların entropisinin baz akışkanların entropisinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında boru içerisindeki baz akışkan ve nano akışkanın hız değerlerinin değişmediği belirlenmiştir. Ancak borunun üst ve alt duvarlarına engeller eklendiğinde baz akışkanın ve nano akışkanın hız değerlerinin önemli ölçüde değiştiği tespit edilmiştir. Isı akısı borunun üst duvarı boyunca uygulandığından alt duvar boyunca sıcaklık ve entropi değerlerinin değişmediği, borunun üst duvarı boyunca sıcaklık ve entropi değerinin arttığı gözlenmiştir. Boru çıkışının en üst noktasında sıcaklık ve entropinin maksimum değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Borunun üst duvarı boyunca akım fonksiyonu değerinin maksimum değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Ayrıca nano akışkanın akım fonksiyonu, baz akışkanın akım fonksiyonundan daha büyük çıkmıştır. Aynı zamanda nano akışkanın ısı taşınım katsayısı baz akışkandan daha fazla çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gelişmekte olan akış, Nano akışkan, Isı transferi

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Mechanical Engineering

Thesis Type : Master Thesis

Supervisor : Associate Prof. Dr. Birol ŞAHİN

Author : Muhammet Emre KANSIZ

Year : 2023

Pages : 182

ABSTRACT

NUMERICAL INVESTIGATION OF THE EFFECT OF NANOFLUID AND OBSTACLE USE ON HEAT TRANSFER IN A DEVELOPING PIPE FLOW

In this study, the flow and heat transfer characteristics of nanofluids, which are widely used today, in a pipe were investigated. For this purpose, a numerical study was carried out under developing flow conditions in a circular pipe with a diameter of 5 mm and a length of 30 mm. The pipe is heated by a constant heat flux through its upper wall. Water or equal proportions of ethylene-glycol-water mixture was used for the base fluid forming the nanofluid used as the working fluid. Al_2O_3 , TiO_2 , MgO and CuO were used as nanoparticles in volumetric mixing ratios up to 4%. At the same time, in order to investigate the effect of nanofluids on heat transfer, single and multiple barriers in semicircular geometry were placed inside the pipe. By comparing the differences in thermophysical properties of base fluids and nanofluids, the effects of nanofluids on heat transfer were observed. The change in the entropy of the working fluid under the specified conditions was also investigated. It was observed that the entropy decreased as the heat transfer from the upper wall to the outside increased. In the light of this information, it has been determined that the entropy of nanofluids is lower than the entropy of base fluids. In this thesis study, it was determined that the velocity values of the base fluid and nanofluid in the pipe did not change. However, it was determined that the velocity values of the base fluid and nanofluid changed significantly when obstacles were added to the upper and lower walls of the pipe. Since the heat flux is applied along the upper wall of the pipe, it has been observed that the temperature and entropy values do not change along the lower wall, while the temperature and entropy values increase along the upper wall of the pipe. It was determined that the temperature and entropy reached their maximum values at the top of the pipe outlet. It was observed that the stream function value reached the maximum values along the upper wall of the pipe. In addition, the stream function of the nanofluid was greater than the stream function of the base fluid. In addition, the nusselt number of nanofluid was minor than the nusselt number of base fluid. At the same time, the heat transfer coefficient of the nanofluid was higher than that of the base fluid.

Keywords: Developing flow, Nanofluid, Heat transfer

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Ag	:	Gümüş
Al	:	Alüminyum
Al ₂ Cu	:	Alüminyum Bakır
Al ₂ O ₃	:	Alüminyum Oksit
B	:	Manyetik alan
bf	:	Baz akışkan
C _p	:	Özgül ısı
cp	:	centipoise
C	:	Karbon
Co	:	Kobalt
Cu	:	Bakır
CuO	:	Bakır Oksit
CNT	:	Karbon nanotüp
d	:	Boru çapı
eff	:	Nano akışkan
EG	:	Etilen Glikol
EO	:	Motor Yağı
f	:	Baz akışkan
φ	:	Nano parçacık hacimsel oranı
Fe ₂ O ₃	:	Demir (III) Oksit
Fe ₃ O ₄	:	Manyetit
γ	:	Arayüzey yükseklik/genişlik oranı
h	:	Isı taşınım katsayısı
H ₂ O	:	Su
k	:	Isı iletim katsayısı
K	:	Ortamin geçirgenliği
L	:	Uzunluk
l _c	:	Karakteristik uzunluk
MgO	:	Magnezyum Oksit
MWCNT	:	Çoklu duvarlı karbon nanotüp

μ	:	Dinamik viskozite
nf	:	Nano akışkan
Nu	:	Nusselt sayısı
p	:	Nano parçacık
∂	:	Kısmi türev
Ψ	:	Akım Fonksiyonu
ρ	:	Yoğunluk
S	:	Entropi
SiC	:	Silisyum Karbür
σ	:	Yüzey gerilmesi
SiO_2	:	Silisyum Dioksit
SO	:	Silikon Yağı
$SWCNT$	:	Tek duvarlı karbon nanotüp
T	:	Sıcaklık
TiO_2	:	Titanyum Dioksit
T_0	:	Akışkanın ilk yığın sıcaklığı
T_s	:	Yüzey sıcaklığı
u	:	x eksenindeki hız bileşeni
v	:	y eksenindeki hız bileşeni
ZrO_2	:	Zirkonyum Oksit

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Metalik olmayan nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri (Elsaid vd., 2021; Bellos vd., 2018; Alawi vd., 2020; Lafdaili vd., 2021; Al Kalbani vd., 2016)	3
Tablo 2. Metalik nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri (Elsaid vd., 2021; Ghofrane vd., 2016; Al Kalbani vd., 2016)	3
Tablo 3. Baz akışkanların termofiziksel özellikleri (Yu vd., 2017; Elsaid vd., 2021; Al Kalbani vd., 2016)	4
Tablo 4. Literatürdeki başlıca ısı iletim modelleri (Aybar vd., 2015)	9
Tablo 5. Belirli hacimsel oranda nanoparçacıkların nanoakışkanların ısı transfer katsayısına etkileri (Perumal vd., 2020)	11
Tablo 6. Belirli hacimsel oranlardaki nanoparçacıkların nanoakışkanların ısı transfer miktarına etkileri (Perumal vd., 2020)	11
Tablo 7. Belirli hacimsel oranlardaki nanoparçacıkların nanoakışkanların prandtl sayılarına etkileri (Perumal vd., 2020)	11
Tablo 8. Belirli hacimsel oranlardaki nanoparçacıkların nanoakışkanların birleşik ısı transfer katsayısına etkileri (Perumal vd., 2020)	12
Tablo 9. Nanoakışkanlara ait dinamik viskozite modelleri (Kotia vd., 2016; Li vd., 2022)	17
Tablo 10. Isı transferlerindeki artışın nanoakışkanların kararlılığı ile ilgili deneysel veriler (Şahin ve Namlı, 2018)	26
Tablo 11. Zeta potansiyeli değerinin nanoparçacık kararlılığına etkileri (Ateş, 2018)	28
Tablo 12. Sayısal çalışmalarda kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri	40
Tablo 13. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri	41
Tablo 14. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanın boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri	41
Tablo 15. H ₂ O baz akışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri	43
Tablo 16. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanın boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri	44
Tablo 17. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri	45

Tablo 18. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri	45
Tablo 19. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri.....	49
Tablo 20. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri	49
Tablo 21. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri	51
Tablo 22. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri	51
Tablo 23. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanın boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri	52
Tablo 24. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri	53
Tablo 25. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri	54
Tablo 26. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri	56
Tablo 27. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri	58
Tablo 28. Nanoakışkanın gerçek ve deneysel hız değerleri.....	59
Tablo 29. Nanoakışkanın gerçek ve deneysel akım fonksiyonu değerleri.....	59
Tablo 30. Nanoakışkanın gerçek ve deneysel sıcaklık değerleri	59
Tablo 31. Nanoakışkanın gerçek ve deneysel entropi değerleri	60
Tablo 32. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgelerindeki hız değerleri.....	60
Tablo 33. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri	61
Tablo 34. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri	62
Tablo 35. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri	65
Tablo 36. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri	66

Tablo 37. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri	67
Tablo 38. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri	68
Tablo 39. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri	69
Tablo 40. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri	71
Tablo 41. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri	72
Tablo 42. %4 $\text{CuO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri	73
Tablo 43. %4 $\text{CuO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri	74
Tablo 44. %4 $\text{CuO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri	75
Tablo 45. %4 $\text{CuO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri	77
Tablo 46. %4 $\text{CuO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri	78
Tablo 47. Farklı hacimsel oranlarda CuO içeren baz akışkanı su olan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri (Khalili Najafabadi vd., 2022).....	80
Tablo 48. Farklı hacimsel oranlarda CuO içeren baz akışkanı su olan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri (Kansız, 2023)	81
Tablo 49. $\text{EG}+\text{H}_2\text{O}$ (1/1) baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri	84
Tablo 50. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+(\text{EG}+\text{H}_2\text{O}$ (1/1)) nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri	85
Tablo 51. $\text{EG}+\text{H}_2\text{O}$ (1/1) baz akışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri	86
Tablo 52. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+(\text{EG}+\text{H}_2\text{O}$ (1/1)) nanoakışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri	86

Tablo 53. EG+H ₂ O (1/1) baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri	88
Tablo 54. %4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1)) nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri.....	88
Tablo 55. EG+H ₂ O (1/1) baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri	90
Tablo 56. %4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1)) nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri.....	90
Tablo 57. EG+H ₂ O (1/1) baz akışkanının boru bölgelerindeki Nusselt sayısı değerleri	92
Tablo 58. %4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1)) nanoakışkanının boru bölgelerindeki Nusselt sayısı değerleri	92
Tablo 59. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (bir tümsek)	93
Tablo 60. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (bir tümsek).....	93
Tablo 61. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (bir tümsek).....	95
Tablo 62. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (bir tümsek).....	95
Tablo 63. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (bir tümsek).....	96
Tablo 64. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (bir tümsek).....	97
Tablo 65. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (bir tümsek).....	99
Tablo 66. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (bir tümsek).....	99
Tablo 67. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (bir tümsek).....	101
Tablo 68. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (bir tümsek).....	101

Tablo 69. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (bir çukur)	101
Tablo 70. %4 Al ₂ O ₃ + H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (bir çukur)	102
Tablo 71. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (bir çukur)	103
Tablo 72. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (bir çukur)	103
Tablo 73. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (bir çukur)	105
Tablo 74. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (bir çukur)	105
Tablo 75. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (bir çukur)	107
Tablo 76. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (bir çukur)	107
Tablo 77. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (bir çukur)	109
Tablo 78. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (bir çukur)	109
Tablo 79. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (önce çukur sonra tümsek)	110
Tablo 80. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (önce çukur sonra tümsek)	110
Tablo 81. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce çukur sonra tümsek)	111
Tablo 82. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce çukur sonra tümsek)	111
Tablo 83. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce çukur sonra tümsek)	113
Tablo 84. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (önce çukur sonra tümsek)	113

Tablo 85. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (önce çukur sonra tümsek).....	115
Tablo 86. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (önce çukur sonra tümsek).....	116
Tablo 87. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (önce çukur sonra tümsek).....	117
Tablo 88. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (önce çukur sonra tümsek).....	117
Tablo 89. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (önce tümsek sonra çukur)	118
Tablo 90. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	118
Tablo 91. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	119
Tablo 92. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	120
Tablo 93. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	121
Tablo 94. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	122
Tablo 95. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	125
Tablo 96. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	125
Tablo 97. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	127
Tablo 98. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (önce tümsek sonra çukur).....	127
Tablo 99. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (iki tümsek iki çukur).....	128
Tablo 100. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (iki tümsek iki çukur).....	128

Tablo 101. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (iki tümsek iki çukur)	130
Tablo 102. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (iki tümsek iki çukur)	131
Tablo 103. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (iki tümsek iki çukur)	132
Tablo 104. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (iki tümsek iki çukur)	133
Tablo 105. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (iki tümsek iki çukur)	136
Tablo 106. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (iki tümsek iki çukur)	137
Tablo 107. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (iki tümsek iki çukur).....	139
Tablo 108. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (iki tümsek iki çukur)	139
Tablo 109. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (iki çukur)	140
Tablo 110. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (iki çukur)	140
Tablo 111. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (iki çukur)	141
Tablo 112. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (iki çukur)	142
Tablo 113. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (iki çukur).....	143
Tablo 114. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (iki çukur)	144
Tablo 115. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (iki çukur).....	146
Tablo 116. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (iki çukur)	147

Tablo 117. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (iki çukur)	148
Tablo 118. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (iki çukur)	149
Tablo 119. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (üç çukur)	149
Tablo 120. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (üç çukur).....	149
Tablo 121. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (üç çukur).....	151
Tablo 122. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (üç çukur).....	152
Tablo 123. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (üç çukur)	153
Tablo 124. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (üç çukur).....	153
Tablo 125. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (üç çukur)	156
Tablo 126. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (üç çukur).....	156
Tablo 127. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (üç çukur).....	159
Tablo 128. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (üç çukur).....	159
Tablo 129. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı).....	159
Tablo 130. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	160
Tablo 131. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	161
Tablo 132. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	161

Tablo 133. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı).....	163
Tablo 134. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	163
Tablo 135. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı).....	166
Tablo 136. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	166
Tablo 137. H ₂ O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	168
Tablo 138. %4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	168
Tablo 139. Aynı Geometride Farklı Nanoakışkanların Maksimum Hız Analizleri	169
Tablo 140. Aynı Geometride Farklı Nanoakışkanların Maksimum Akım Fonksiyonu Analizleri	170
Tablo 141. Aynı Geometride Farklı Nanoakışkanların Maksimum Sıcaklık Analizleri	170
Tablo 142. Aynı Geometride Farklı Nanoakışkanların Maksimum Entropi Analizleri	170
Tablo 143. Aynı Geometride Farklı Nano Akışkanların Ortalama Nusselt Sayısı Analizleri	171
Tablo 144. Engel Eklenmesinde Aynı Nanoakışkanın Maksimum Hız Analizi.....	172
Tablo 145. Engel Eklenmesinde Aynı Nanoakışkanın Maksimum Akım Fonksiyonu Analizi.....	173
Tablo 146. Engel Eklenmesinde Aynı Nanoakışkanın Maksimum Sıcaklık Analizi	173
Tablo 147. Engel Eklenmesinde Aynı Nanoakışkanın Maksimum Entropi Analizi	173
Tablo 148. Engel Eklenmesinde Aynı Nano akışkanın Ortalama Nusselt Sayısı Analizi	174

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Nanoparçacık çapının nanoakışkanın ısı iletkenliğine etkisi	5
Şekil 2. %2 oranında farklı nanoparçacıklar için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak su bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayısının değişimi	6
Şekil 3. Oda sıcaklığında farklı nanoparçacıklar için nanoparçacık hacimsel oranının fonksiyonu olarak su bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının değişimi	6
Şekil 4. %1 ve %3 hacimsel oranlarda 11 nm ve 150 nm Al_2O_3 içeren etilen glikol bazlı nanoakışkanın sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısının değişimi	7
Şekil 5. Nanoparçacık şeklinin sıcaklığa bağlı nanoakışkanın ısı iletim katsayısına etkisi.....	7
Şekil 6. Aynı hacimsel oranda CuO nanoparçacığı içeren farklı baz akışkanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların ısı iletim katsayısının değişimi	8
Şekil 7. Farklı hacimsel oranlarda nanoparçacık içeren aynı nanoakışkanların sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısındaki değişim.....	8
Şekil 8. Farklı ısı iletkenlik modellerinin MWCNT nanoparçacık hacimsel oranı ile ilişkileri	14
Şekil 9. Farklı ısı iletkenlik modellerinin grafen nanoparçacık hacimsel oranı ile ilişkileri	14
Şekil 10. Farklı dinamik viskozite modellerinin MWCNT nanoparçacık hacimsel oranı ile ilişkileri	15
Şekil 11. Farklı dinamik viskozite modellerinin grafen nanoparçacık hacimsel oranı ile ilişkileri	15
Şekil 12. İki adım yönteminin şematik resmi	20
Şekil 13. Nanoparçacıkların Karakterizasyon Analizleri	21
Şekil 14. Al_2O_3 +glikol nanoakışkanı hazırlandıktan hemen sonraki durum	22
Şekil 15. Al_2O_3 + glikol nanoakışkanı hazırlandıktan bir hafta sonraki durum.....	22
Şekil 16. Al_2O_3 + glikol nanoakışkanı hazırlandıktan bir ay sonraki durum.....	23
Şekil 17. Al_2O_3 +Su nanoakışkanın hazırlandıktan belli süreler sonraki çökme oluşumu durumları.....	23
Şekil 18. CuO/Su ile hazırlanan nanoakışkanın pH değerleri değiştirilerek uygun kararlılık durumu mavi ışık altında çöküntü durumlarına göre tespit edilmsi.....	25

Şekil 19. Zeta Potansiyeli – pH ilişkisi.....	29
Şekil 20. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü	33
Şekil 21. Vakumlu güneş kollektörü	33
Şekil 22. Isı borusunun çalışma prensibi	34
Şekil 23. 8 mm genişliğinde 3 mm kalınlığında ısı borusu	35
Şekil 24. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkan için iterasyon grafiği	40
Şekil 25. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının hızının boru uzunluğu boyunca değişimi	41
Şekil 26. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanın baz akışkana göre hızının $x=0,030$ m’de boru çapı boyunca karşılaştırılması.....	42
Şekil 27. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nano akışkanın baz akışkana göre hızının $x=0,005$ m’de boru çapı boyunca karşılaştırılması.....	42
Şekil 28. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanın baz akışkana göre hızının $x=0,010$ m’de boru çapı boyunca karşılaştırılması.....	43
Şekil 29. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca değişimi	44
Şekil 30. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanın baz akışkana göre akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	45
Şekil 31. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	46
Şekil 32. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanın baz akışkana göre sıcaklığının boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	47
Şekil 33. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanın baz akışkana göre sıcaklığının $x=0,030$ m’de boru çapı boyunca karşılaştırılması	48
Şekil 34. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanın baz akışkana göre sıcaklığının $x=0,005$ m’de boru çapı boyunca karşılaştırılması	48
Şekil 35. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanın baz akışkana göre sıcaklığının $x=0,010$ m’de boru çapı boyunca karşılaştırılması	49
Şekil 36. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	50
Şekil 37. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanın baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	51

Şekil 38. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	52
Şekil 39. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre hızlarının borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması.....	53
Şekil 40. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	53
Şekil 41. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması.....	54
Şekil 42. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	54
Şekil 43. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre sıcaklığının boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	55
Şekil 44. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre sıcaklığının borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	56
Şekil 45. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	57
Şekil 46. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	58
Şekil 47. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi değişimi.....	60
Şekil 48. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hızının borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	61
Şekil 49. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	61
Şekil 50. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	62
Şekil 51. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	63
Şekil 52. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	64
Şekil 53. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	65

Şekil 54. %4 MgO+H ₂ O nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	65
Şekil 55. %4 MgO+H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	66
Şekil 56. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	67
Şekil 57. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	68
Şekil 58. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	68
Şekil 59. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	69
Şekil 60. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	70
Şekil 61. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	70
Şekil 62. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanlarının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	71
Şekil 63. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	71
Şekil 64. %4 TiO ₂ +H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	72
Şekil 65. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	73
Şekil 66. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	74
Şekil 67. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	74
Şekil 68. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması.....	75
Şekil 69. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	75

Şekil 70. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	76
Şekil 71. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	77
Şekil 72. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	77
Şekil 73. %4 CuO+H ₂ O nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması	78
Şekil 74. Dikdörtgen kesitli kanal (Khalili Najafabadi vd., 2022)	79
Şekil 75. Dairesel kesitli kanal (Kansız, 2023)	79
Şekil 76. Dörtgen gibi ağ yapısı (Kansız, 2023).....	80
Şekil 77. Dörtgen yapıli ağ yapısı (Khalili Najafabadi vd., 2022)	80
Şekil 78. %4 CuO+H ₂ O boru uzunluğu boyunca sıcaklık değişimi (Khalili Najafabadi vd., 2022)	81
Şekil 79. %4 CuO+H ₂ O boru uzunluğu boyunca sıcaklık değişimi (Kansız, 2023) .	81
Şekil 80. %4 CuO+H ₂ O boru uzunluğu boyunca hız değişimi (Khalili Najafabadi vd., 2022)	82
Şekil 81. %4 CuO+H ₂ O boru uzunluğu boyunca hız değişimi (Kansız, 2023).....	82
Şekil 82. 2 boyutlu laminar akışa sahip akışkanın boru uzunluğu boyunca akım fonksiyonu değişimi (<i>Red</i> =100) (Doma vd., 2010)	83
Şekil 83. 2 boyutlu laminar akışa sahip akışkanın boru uzunluğu boyunca akım fonksiyonu değişimi (<i>Red</i> =55,60) (Kansız, 2023).....	84
Şekil 84. %4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1)) nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	85
Şekil 85. %4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1)) nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	86
Şekil 86. %4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1)) nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	87
Şekil 87. %4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1)) nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	87
Şekil 88. %4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1)) nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	88

Şekil 89. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+(\text{EG}+\text{H}_2\text{O} (1/1))$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	89
Şekil 90. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+(\text{EG}+\text{H}_2\text{O} (1/1))$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması	90
Şekil 91. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+(\text{EG}+\text{H}_2\text{O} (1/1))$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi	91
Şekil 92. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+(\text{EG}+\text{H}_2\text{O} (1/1))$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi.....	92
Şekil 93. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek).....	94
Şekil 94. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (bir tümsek).....	94
Şekil 95. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek).....	95
Şekil 96. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek).....	96
Şekil 97. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)	97
Şekil 98. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)	98
Şekil 99. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+ \text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (bir tümsek)	99
Şekil 100. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)	100
Şekil 101. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin baz akışkana göre boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)	101
Şekil 102. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)	102
Şekil 103. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (bir çukur).....	103
Şekil 104. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nano akışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur).....	104

Şekil 105. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)	104
Şekil 106. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)	105
Şekil 107. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)	106
Şekil 108. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (bir çukur)	107
Şekil 109. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)	108
Şekil 110. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)	109
Şekil 111. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)	110
Şekil 112. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (önce çukur sonra tümsek)	111
Şekil 113. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)	112
Şekil 114. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)	112
Şekil 115. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)	113
Şekil 116. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)	114
Şekil 117. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (önce çukur sonra tümsek)	115
Şekil 118. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)	116
Şekil 119. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)	117

Şekil 120. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)	119
Şekil 121. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (önce tümsek sonra çukur)	119
Şekil 122. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur).....	120
Şekil 123. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)	121
Şekil 124. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur).....	122
Şekil 125. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)	124
Şekil 126. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (önce tümsek sonra çukur)	125
Şekil 127. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur).....	126
Şekil 128. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)	127
Şekil 129. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur).....	129
Şekil 130. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (iki tümsek iki çukur)	130
Şekil 131. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur).....	131
Şekil 132. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur).....	132
Şekil 133. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur)	133
Şekil 134. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin	

boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tđmsek iki çukur)	135
şekil 135. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana gđre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bđlgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (iki tđmsek iki çukur)	136
şekil 136. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tđmsek iki çukur)	137
şekil 137. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana gđre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tđmsek iki çukur)	138
şekil 138. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur).....	140
şekil 139. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana gđre hız değerlerinin borunun çıkış bđlgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (iki çukur)	141
şekil 140. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)	142
şekil 141. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana gđre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur).....	143
şekil 142. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)	144
şekil 143. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana gđre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur).....	145
şekil 144. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana gđre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bđlgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (iki çukur)	146
şekil 145. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)	147
şekil 146. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana gđre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur).....	148
şekil 147. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (đř çukur).....	150
şekil 148. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana gđre hız değerlerinin borunun çıkış bđlgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (đř çukur).....	151
şekil 149. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (đř çukur).....	152

Şekil 150. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)	153
Şekil 151. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur).....	154
Şekil 152. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)	155
Şekil 153. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (üç çukur).....	156
Şekil 154. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur).....	157
Şekil 155. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)	158
Şekil 156. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı).....	160
Şekil 157. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	161
Şekil 158. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	162
Şekil 159. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	163
Şekil 160. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	164
Şekil 161. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı).....	165
Şekil 162. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	166
Şekil 163. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	167
Şekil 164. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)	168

Şekil 165. Boruya engeller eklenmesi durumunda boru uzunluğu boyunca nanoakışkanın Nusselt sayısının değişimi	172
--	-----



GİRİŞ

Günümüzde nanoakışkanlar birçok alanda kullanılmaktadır. Nanoakışkan kavramı ilk kez 1995 yılında Choi tarafından nanometre boyutundaki katı parçacıkların süspansiyonu olarak tanımlanmıştır (Karakaya vd., 2019). Bu parçacıklara örnek olarak metaller, oksitler, karpitler, nanokarbon tüpler (CNT) , grafen verilmektedir. Nanoparçacıklar 1-100 nm arasında etkili bir şekilde kullanılan nano boyutlarda ve yıldız, küre, çubuk gibi bir çok şekillerde bulunabilmektedir. Örnek olarak gümüş, altın, çinko oksit gibi bir çok farklı inorganik ve metalik nanoparçacıklar gibi organik maddelerden de oluşabilir (URL-1). Temel akışkan olarak da genellikle su ve etilen glikol kullanılmaktadır. Nanoakışkanlar yüksek ısı iletim katsayıları ile beraber gelecekte oldukça fazla kullanım alanına sahiptir.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Nano Akışkan

Nanoparçacıkların bir sıvı içerisindeki süspansiyonlarına denir. Nanoakışkanların oluşumu nanoparçacıklar içerisinde akışkanın (sıvının) oluşturduğu heterojen karışımlardır. Temel akışkan içerisine 100 nm'den küçük nanoparçacıkların belirli teknikler ve yöntemler kullanılarak ilave edilmesi ile elde edilen ısı transfer akışkanlarıdır. Nanoakışkanlar ile ilk kez Choi ile 1995 yılında tanışılmıştır (Karakaya vd., 2018). Nanoakışkanlar içerisinde homojen olarak karışmış nanoparçacıklar ve bir temel (baz) akışkandan oluşmaktadır. Nanoakışkanlar kendi içinde üç kısma ayrılabilir. Bunlar metalik, seramik ve polimer karbon nanotüp nanoakışkanlardır (Atmaca vd., 2019).

a.) Metalik Nanoakışkanlar: Metal nanoparçacıkların (alüminyum, bakır, nikel, demir, gümüş ve altın gibi diğer metaller) temel baz akışkanında çözünmesi ile oluşan nanoakışkanlardır. Yapılan çalışmalarda aynı hacimsel orandaki metal oksit nanoakışkanlara kıyasla daha yüksek ısı iletkenlik sağladıkları saptanmıştır. Ayrıca bazı metal alaşımları da nanoakışkanlarda kullanılmaktadır (Atmaca vd., 2019).

b.) Seramik Nanoakışkanlar: Tarihin en eski nanoakışkan türleri arasında yer alır. Xuan ve Li(2000) yaptığı çalışmalar sırasında Al_2O_3 ve CuO esaslı nanoakışkanlar kullanarak baz akışkanın nanoparçacık haline kıyasla ısı iletkenliğinin önemli ölçüde arttığını gözlemlenmiştir. TiO_2 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , CuO ve MgO nanoparçacıklarının baz akışkanı içinde çözünmesi ile oluşan nanoakışkanlara seramik nano akışkanlar adı verilir (Atmaca vd., 2019).

c.) Polimer ve Karbon Nanotüp Nanoakışkanlar: Polimer ve karbon nanotüpleri ile yapılan çalışmalar ile, bu tür nanoakışkanların metal veya metal oksit esaslı nanoakışkanlara oranla aynı hacimsel oranda çok daha yüksek ısı iletkenlik sağladığı sonucuna varılmıştır. Karbon nanotüplerinin yaklaşık 3000 W/mK'den daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğu göz önüne alındığında bu artışın nedeni anlaşılmaktadır. Nanoakışkanlar üzerinde yapılan çalışmalar en boy oranının ısı iletkenlik üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. Nanotüpler, diğer nanoakışkanlar arasında en boy oranı konusunda ısı iletkenliğe en çok katkıda bulunacak yapıya sahiptir (Atmaca vd., 2019).

Temel (Baz) Akışkan: Su, motor yağı, etanol (C₂H₅OH), etilen glikol, eşit oranlarda karıştırılmış etilen glikol-su, silikon yağı...gibi akışkanlar temel (baz) akışkan olarak temsil edilebilir.

Tablo 1’de metalik olmayan (seramik) nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri verilmiştir. Tablo 2’de metalik nanoparçacıkların ve Tablo 3’te ise baz akışkanların termofiziksel özellikleri olan yoğunluk, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozite değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Metalik olmayan nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri (Elsaid vd., 2021; Bellos vd., 2018; Alawi vd., 2020; Lafdaili vd., 2021; Al Kalbani vd., 2016)

Nanoparçacık	Isı İletim Katsayısı k (W/mK)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Özgül Isı C_p (J/kgK)
Al ₂ O ₃	40	3970	765
CuO	20	6500	535.6
ZnO	80	5600	495
MgO	55	3560	955
ZrO ₂	2.6	5600	418
TiO ₂	8.4	4230	692
SiO ₂	1.4	2200	765
Grafen	5000-6000	2000-2500	643-2100
SWCNT	6600	2600	425
MWCNT	3000	1600	796
Fe ₃ O ₄	80.4	5180	670

Tablo 2. Metalik nanoparçacıkların termofiziksel özellikleri (Elsaid vd., 2021; Ghofrane vd., 2016; Al Kalbani vd., 2016)

Nanoparçacık	Isı İletim Katsayısı k (W/mK)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Özgül Isı C_p (J/kgK)
Ag	429	10400	234
Cu	398	8933	385
Al	237	2700	877
C	129	220	710
Co	100	8900	420

Tablo 3. Baz akışkanların termofiziksel özellikleri (Yu vd., 2017; Elsaid vd., 2021; Al Kalbani vd., 2016)

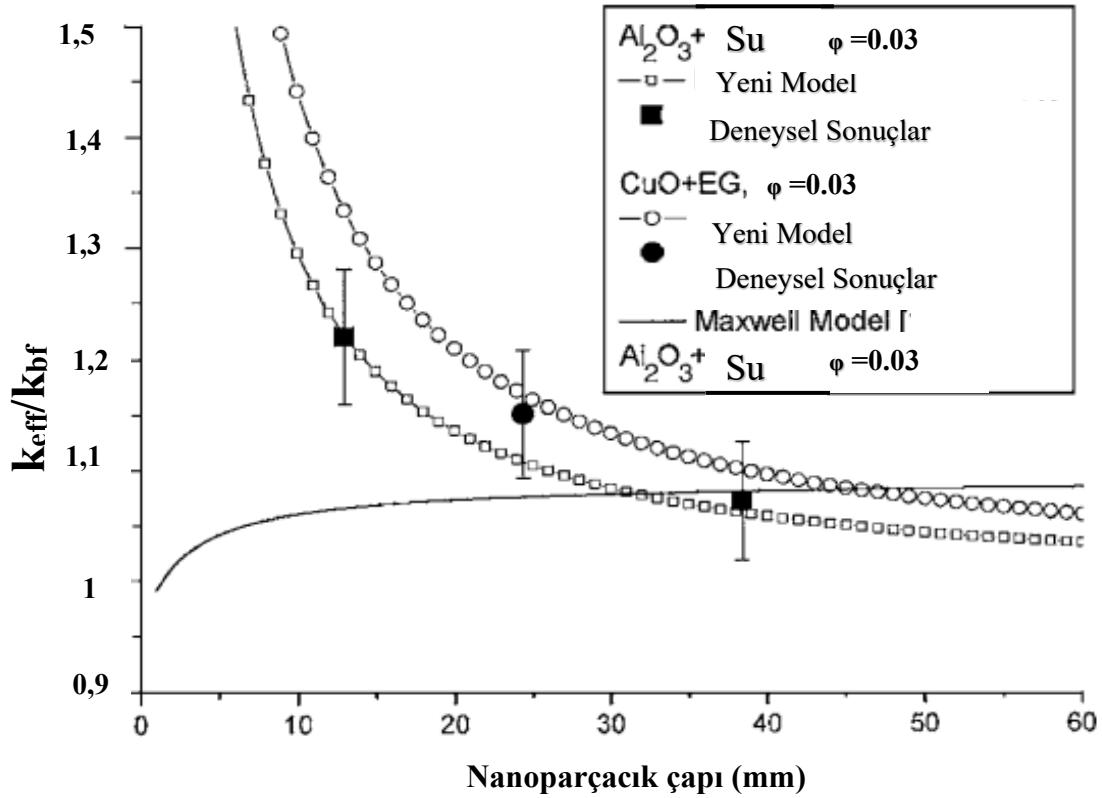
Temel (Baz) Akışkan	Isı İletim Katsayısı k (W/mK)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Özgül Isı C_p (J/kgK)	Dinamik Viskozite μ (kg/ms)
Su (H ₂ O)	0.597	998.2	4182	$9.98 \cdot 10^{-4}$
Etilen Glikol (EG)	0.253	1111	2350	$155 \cdot 10^{-4}$
Motor Yağı (EO)	0.145	880	1800	$840 \cdot 10^{-4}$
Etilen Glikol –Su (eşit oranlarda)	0.380	1073	3280	$39.4 \cdot 10^{-4}$
Slikon Yağı (SO)	0.156	930	1510	$110 \cdot 10^{-4}$
Kerosen	0.149	780	2090	$16.4 \cdot 10^{-4}$

1.2. Nanoakışkanlarda Isı Transferi

Isı transferi genel olarak endüstride birçok alanı doğrudan etkilemektedir. Isı transferinde meydana getirilebilecek iyileştirmeler tarafından enerji verimliliği artırılır ve beraberinde endüstriyel uygulamalarda malzemelerin çalışma süreleri azaltılarak malzemelerin kullanım ömürleri artırılır. Nanoakışkanın geçtiği plakanın şekli olsun nanoakışkanın termofiziksel özellikleri olsun tüm bunlar tarafından nanoakışkanın akma yönü değiştirilebilir. Günümüzde de termal sistemlerde ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı ısı transfer alanının artırılması ve ısı transfer akışkanının termofiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi çalışmalarıdır. Isı transfer yüzey alanını arttırmak ısı transferini belirgin ölçüde artırır. Ancak bu durumda ısı değiştiricinin boyutları ve geometrik yapısı artacağı için uygulama alanları sınırlıdır (Şahin ve Namlı, 2018). Bu bir dezavantaj ve sınırlandırıcı bir faktördür. Bu yüzden ısı transfer akışkanının termo-fiziksel özelliklerini iyileştirilmesi daha uygun, daha kullanışlı ve daha pratik bir yöntemdir, ısı transfer alanının artırılması ile karşılaştırıldığında. Bunu sağlamak için nano boyutlarda parçacıklar akışkan içerisine eklenmektedir. Süspansiyon oluşturulur.

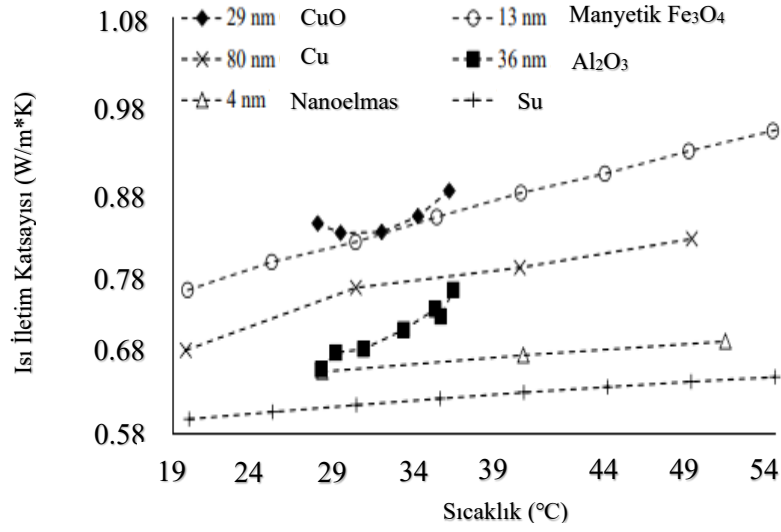
2. TEZ KONUSU İLE İLGİLİ YAPILAN LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Şekil 1’de nanoparçacık çapının nano akışkanın ısıl iletkenliğine nasıl etki ettiği gösterilmiştir. Görüldüğü üzere aynı hacimsel oranlarda nanoparçacıklar içeren iki farklı nanoakışkan kullanılmıştır. Bu nanoakışkanlar Al_2O_3+Su ve $CuO+EG$ olmaktadır. Deneysel sonuçlara en yakın değerleri Al_2O_3+Su nanoakışkanı vermektedir. Ayrıca nanoparçacık çapı arttıkça nanoakışkanın ısıl iletkenliği azalmaktadır.



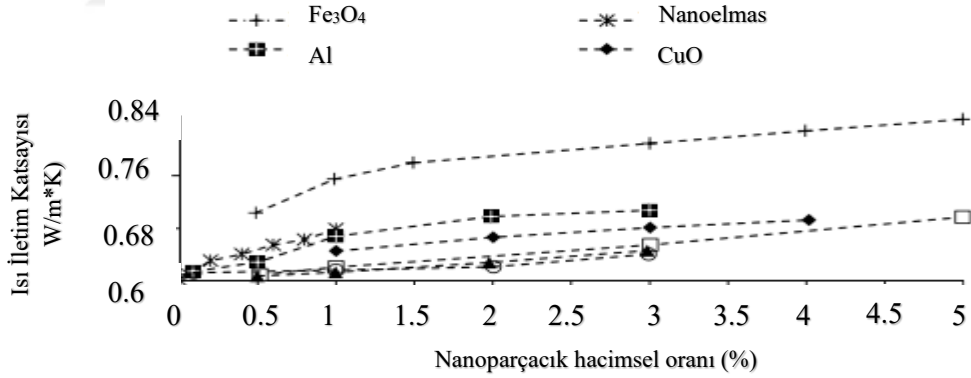
Şekil 1. Nanoparçacık çapının nanoakışkanın ısıl iletkenliğine etkisi (Pil Jang ve Choi, 2007)

Şekil 2’de baz akışkanı su olan her biri %2 hacimsel orana sahip olan farklı nanoparçacıklar kullanılarak hazırlanmış nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının baz akışkan olan suya göre nasıl değiştiği gösterilmekte olup en iyi ısı iletim katsayısındaki artış manyetik Fe_3O_4 nanoparçacığının kullanılması ile gerçekleşmektedir.



Şekil 2. %2 oranında farklı nanoparçacıklar için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak su bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayısının değişimi (Simpson vd., 2018)

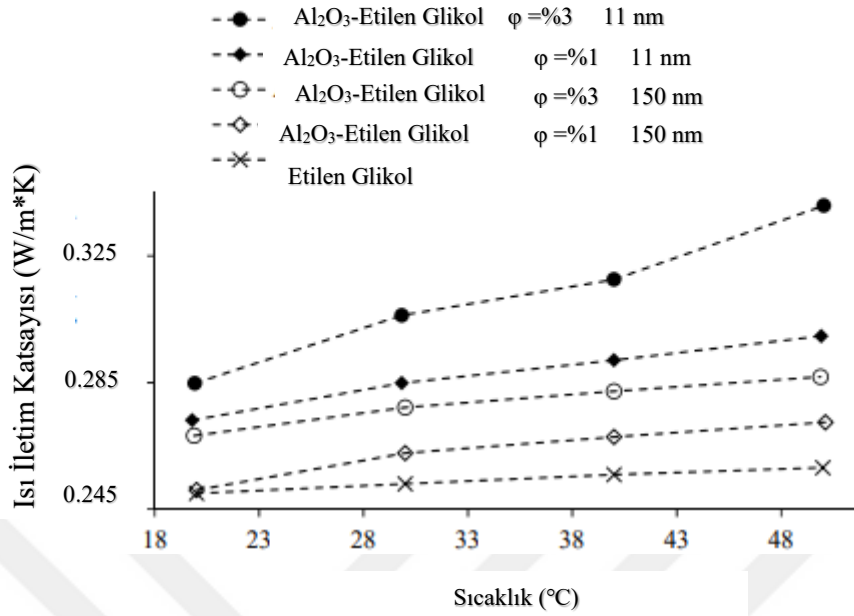
Şekil 3'te nanoparçacıkların hacimsel oranının baz akışkan olarak suyun kullanıldığı farklı nanoparçacıklar kullanarak hazırlanan nanoakışkanların oda sıcaklığındaki (25 °C) nanoparçacık hacimsel oranının nanoakışkanların ısı iletim katsayısını nasıl etkilediği anlatılmaktadır.



Şekil 3. Oda sıcaklığında farklı nanoparçacıklar için nanoparçacık hacimsel oranının fonksiyonu olarak su bazlı nanoakışkanların ısı iletim katsayılarının değişimi (Simpson vd., 2018)

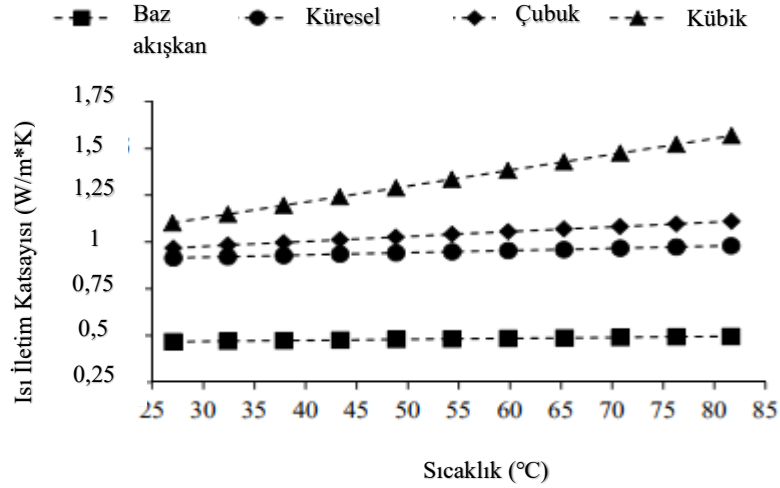
Şekil 4'te baz akışkanı etilen glikol ve nanoparçacık olarak 11 nm-150 nm farklı boyutlardaki ve %1 ve %3 hacimsel oranlardaki Al₂O₃ kullanılarak hazırlanan 4 farklı nanoakışkanın sıcaklığına bağlı olarak ısı iletim katsayısının nasıl değiştiği gösterilmektedir. En iyi ısıl iyileşme düşük çaptaki ve yüksek hacimsel orandaki alüminyum oksit nanoparçacığının kullanılarak hazırlanan nanoakışkanda elde

edilmiştir.



Şekil 4. %1 ve %3 hacimsel oranlarda 11 nm ve 150 nm Al₂O₃ içeren etilen glikol bazlı nanoakışkanın sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısının değişimi (Simpson vd., 2018)

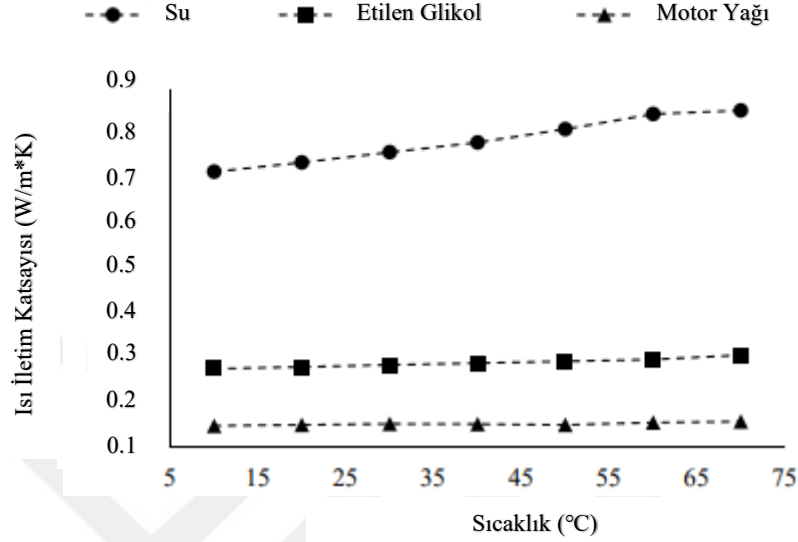
Şekil 5'te nanoparçacık şeklinin nanoakışkanın ısı iletim katsayısını nasıl etkilediği gösterilmektedir.



Şekil 5. Nanoparçacık şeklinin sıcaklığa bağlı nanoakışkanın ısı iletim katsayısına etkisi (Simpson vd., 2018)

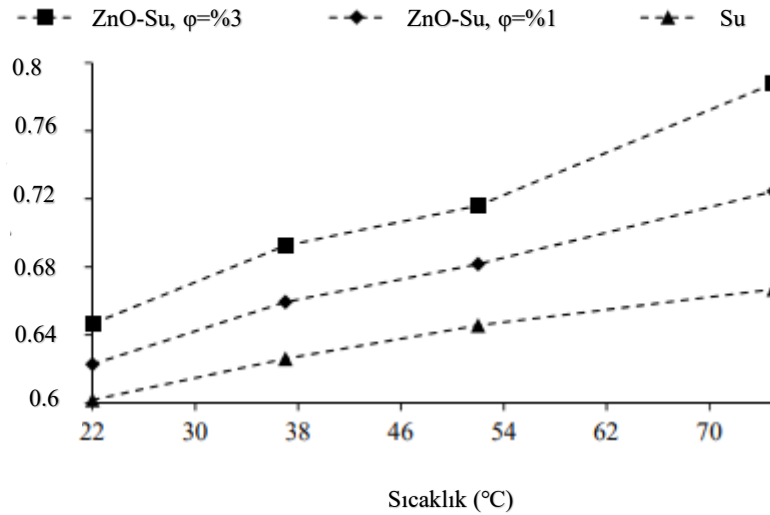
Şekil 6'da farklı baz akışkanlar kullanımının aynı nanoparçacıkla oluşturulan nanoakışkanlar arasındaki ısı iletim katsayısının değişimi anlatılmaktadır. %2 hacimsel oranda CuO nanoparçacığı kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların ısı

iletim katsayılarını incelenecektir. Kullanılan baz akışkanlar su, etilen glikol ve motor yağıdır. Suyun diğer baz akışkanlara göre ısı iletim katsayısının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 6. Aynı hacimsel oranda CuO nanoparçacığı içeren farklı baz akışkanlar kullanılarak hazırlanan nanoakışkanların ısı iletim katsayısının değişimi (Simpson vd., 2018)

Şekil 7’de nanoparçacık hacimsel oranının nanoakışkanın ısı iletim katsayısını nasıl etkilediği gösterilmektedir.



Şekil 7. Farklı hacimsel oranlarda nanoparçacık içeren aynı nanoakışkanların sıcaklığa bağlı ısı iletim katsayısındaki değişim (Simpson vd., 2018)

Şekil 7’den de anlaşılacağı üzere nanoparçacık hacimsel oranı arttırıldıkça

nanoakışkanın ısı iletim katsayısı artış göstermektedir. En yüksek ısı iletim katsayısı değerine %3 hacimsel oranda ZnO kullanıldığı zaman ulaşılmıştır. Baz akışkan ise su olmuştur.

Tablo 4'te ise nanoakışkanların ısı iletim katsayılarını hesaplamak için kullanılan matematiksel modelleri verilmiştir. Hamilton ve Crosser 1962 ısı iletim modeli ilerleyen konularda ayrıca detaylı olarak incelenecektir.

Tablo 4. Literatürdeki başlıca ısı iletim modelleri (Aybar vd., 2015)

Model Adı	Model	Uygulama Alanı
Maxwell 1881	$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = 1 + \frac{3 * \left[\frac{k_p}{k_{bf}} - 1 \right] * \varphi}{\left[\frac{k_p}{k_{bf}} + 2 \right] - \left[\frac{k_p}{k_{bf}} - 1 \right] * \varphi}$	Küresel nanoparçacıklar
Bruggeman 1935	$\left(\frac{1}{\varphi + 1} - 1 \right) * \left[\frac{k_p - k_{nf}}{k_p + 2 * k_{nf}} \right] = \left[\frac{k_{bf} - k_{nf}}{k_{bf} + 2 * k_{nf}} \right]$	Küresel nanoparçacıklar / yüksek hacim oranları
Wasp	$k_{nf} = \frac{k_p + 2 * k_{bf} + 2 * \varphi * (k_p - k_{bf})}{k_p + 2 * k_{bf} - \varphi * (k_p - k_{bf})}$	Küresel nanoparçacıklar
Yu ve Choi 2003	$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = \frac{k_p + 2 * k_{bf} + 2 * \varphi * (k_p - k_{bf}) * (1 - \beta)^2}{k_p + 2 * k_{bf} + 2 * \varphi * (k_p - k_{bf}) * (1 - \beta)^2}$	Sıvı arayüz $k_{layer} = k_p$ ve $\beta = \frac{h}{r}$
Hamilton ve Crosser 1962	$\frac{k_{nf}}{k_{bf}} = \frac{k_p + (n - 1) * k_{bf} - (n - 1) * \varphi * (k_{bf} - k_p)}{k_p + (n - 1) * k_{bf} + \varphi * (k_{bf} - k_p)}$	Küresel nanoparçacıklar için $n = 3$, Silindirik nanoparçacıklar için $n = 6$

Tablo 4'te n_f indisi nanoakışkanı temsil etmektedir, p indisleri ise nanoparçacığı temsil etmektedir, b_f indisleri ise temel (baz) akışkanı temsil etmektedir, φ ise nanoparçacığın nanoakışkan içerisindeki hacimsel olarak yüzdesini temsil etmektedir. Yu and Choi 2003 ısı iletim modelinde ise k_{layer} ile ifade edilen nanoparçacığın baz akışkanla teması sonucunda ara yüzey tabakanın ısı iletim katsayısını temsil etmektedir. β ile ifade edilen değer ise nanoparçacığın yüksekliğinin nanoparçacığın yarıçapına oranıdır.

Farbod ve Ahangarpour, 2022 tarafından yapılan çalışmada CNT'lerin en boy

oranının etkisini incelemek için yeniden düzenlenmiş Hamilton-Crosser ve Nan modeller geliştirilmiştir. Çünkü orijinal Hamilton-Crosser ve The Nan Model tarafından deneysel ısıl iletkenliklerini tahmin edilemezdi. Hamilton-Crosser'a ait ısıl iletkenlik modeli Tablo 4'te verilmiştir. Farbod ve Ahangarpour tarafından yapılan çalışmada orijinal Hamilton-Crosser modelde n ile tasvir edilen ampirik şekil faktörü değeri 6 yerine $n = 6 + x * \frac{L}{D}$ değiştirilmiştir ve bu bağıntıda L ve D sırası ile CNT'lerin uzunluğu ve çapıdır. Aynı zamanda orijinal The Nan modelde ϕ nanoparçacık hacimsel oranı yerine $\phi^*(x * \frac{D}{L})$ bağıntısı ortaya konulmuştur. The Nan Modele ait ampirik bağıntı (1) numaralı denklemde verilmiştir.

$$k_{eff} = \frac{3 + \phi * \left[\frac{k_c}{k_{bf}} \right]}{3 - 2 * \phi} k_{bf} \quad (1)$$

Bilindiği üzere Hamilton-Crosser ve The Nan Model nanoparçacığı CNT ve baz akışkanı su olan nanoakışkanların ısıl iletkenliğini tahmin etmek için geliştirilmiştir. Hamilton-Crosser $n = 6$ yerine $n = 6 + x * \frac{L}{D}$ yazarak L ve D sırası ile CNT'nin uzunluğu ve çapı idi. Düzeltilmiş denklemin deneysel veriyi tahmin edebildiği bulunmuştur. The Nan Model'de ϕ yerine $\phi^*(x * \frac{D}{L})$ yazarak düzeltilmiş The Nan Model'in tahmininin deneysel veri ile çok uyumlu olduğu görülmektedir. Bir başka literatür çalışmasında nanoparçacık hacimsel oranının nanoakışkanın ısı transferini nasıl etkilediği incelenmiştir.

Perumal vd., 2020 tarafından yapılan çalışmada içi boş silindir boru ve ısı eşanjöründe nanoakışkanların ısı transeferine etkileri araştırılmıştır. Yapmış oldukları çalışmada farklı hacimsel oranlara sahip olan Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 ve ZrO_2 nano parçacıklardan ve baz akışkan olarak suyun kullanılarak oluşturulmuş olan nanoakışkanların ısı transfer katsayısı, ısı transfer miktarı, prandtl sayısı, birleşik ısı transfer katsayısı değerlerinin nasıl değiştiği hakkında çalışma yapılmıştır. Tablo 5, 6, 7 ve 8'de bu değişimler sayısal değerler bazında verilmiştir.

Tablo 5. Belirli hacimsel oranda nanoparçacıkların nanoakışkanların ısı transfer katsayısına etkileri (Perumal vd., 2020)

Nanoparçacık hacimsel oranı (%)	Isı Transfer Katsayısı (W/m ² *K)			
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂
0.5	1365.12	1145.73	1498.77	1296.77
1	2458.61	2346.91	2555.13	2598.36
1.5	3365.57	3185.47	3465.99	3200.77
2	4025.31	3625.23	4253.22	3710.21

Tablo 6. Belirli hacimsel oranlardaki nanoparçacıkların nanoakışkanların ısı transfer miktarına etkileri (Perumal vd., 2020)

Nanoparçacık hacimsel oranı (%)	Isı Transfer Miktarı (W)			
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂
0.5	3	3	7	3
1	6.8	5.8	13.45	5
1.5	12.4	10	20.36	9.4
2	19	16.7	29.43	15.47

Tablo 7. Belirli hacimsel oranlardaki nanoparçacıkların nanoakışkanların prandtl sayılarına etkileri (Perumal vd., 2020)

Nanoparçacık hacimsel oranı (%)	Prandtl Sayısı			
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂
0.5	0.0459	0.0446	0.0389	0.0441
1	0.0407	0.0417	0.037	0.0414
1.5	0.0394	0.0395	0.0355	0.0393
2	0.0379	0.0375	0.0335	0.0366

Prandtl sayısı da viskoz yayılım hızının ısı yayılım hızına oranı ile ifade edilir ve Prandtl sayısı olmak üzere (2) numaralı denklemde aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Pr = \frac{\mu * Cp}{k} \quad (2)$$

Tablo 8’de dört adet farklı hacimsel oranlarda ve farklı nanoparçacıklarla hazırlanan nanoakışkanların birleşik ısı transfer katsayılarının aldığı değerler gösterilmektedir.

Tablo 8. Belirli hacimsel oranlardaki nanoparçacıkların nanoakışkanların birleşik ısı transfer katsayısına etkileri (Perumal vd., 2020)

Nanoparçacık hacimsel oranı (%)	Birleşik Isı Transfer Katsayısı (W/m ² *K)			
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂
0.5	236.15	231.58	238.75	229.74
1	246.57	242.86	254.17	240.87
1.5	259.64	252.34	263.47	250.34
2	265.31	259.13	301.12	260.18

Asleshirin vd., 2020 tarafından yapılan çalışmada efektif ısıl iletkenlik ile dinamik viskozitenin ilişkisi araştırılmıştır.

Dinamik viskozite ile ısı iletim katsayısı arasındaki ilişkiyi gösteren aşağıdaki (3) numaralı denklemden yararlanılarak aşağıdaki denklem yazılmıştır.

$$\frac{\mu_{\text{iyonik nanoakışkan}}}{\mu_{\text{iyonik baz akışkan}}} = \frac{k_p + k_{bf} - 2\varphi * (k_{bf} - k_p)}{k_p + 2k_{bf} + \varphi * (k_{bf} - k_p)} \quad (3)$$

Bu denklemde k_p değeri nano parçacığın ısı iletim katsayısını temsil ederken k_{bf} değeri ise baz akışkanın ısı iletim katsayısı değerini temsil etmektedir. Bu model Maxwell'e ait olan bir model. Maxwell'e ait olan bu modeli Bruggeman tarafından daha da geliştirilmiştir. Nanoparçacıkların küme şeklinde olabileceğini de ortaya koyarak yeni bir model hazırlamıştır ve (4) numaralı denklemde bu durumu incelenirse;

$$\mu_{\text{iyonik nanoakışkan}} = \frac{1}{4} * ((3\varphi - 1) * k_p + (2 - 3\varphi) * k_{bf}) + \frac{k_{bf}}{4} * \sqrt{\Delta} \quad (4)$$

Bu denklemde Δ bir katsayı olup (5) numaralı denklemdeki gibi hesaplanır.

$$\Delta = (3\varphi - 1)^2 * \left(\frac{k_p}{k_{bf}}\right)^2 + (2 - 3\varphi)^2 + 2(2 + 9\varphi - 9\varphi^2) \left(\frac{k_p}{k_{bf}}\right) \quad (5)$$

Maxwell'in denklemini kümelenmiş nanoparçacıkların hacimsel oranı olan φ_a değerini de katarak (6) numaralı denklemde olduğu gibi düzenlenmektedir. (6) numaralı denklemde k_a değeri kümelenmiş halde bulunan nanoparçacıkların ısı iletim katsayısını temsil eder.

$$\frac{\mu_{\text{iyonik nanoakışkan}}}{\mu_{\text{iyonik baz akışkan}}} = \frac{k_a + 2k_{bf} - 2\varphi_a * (k_{bf} - k_a)}{k_a + 2k_{bf} + \varphi_a * (k_{bf} - k_a)} \quad (6)$$

k_a değeri aşağıdaki (7) numaralı denklemdeki gibi hesaplanır.

$$\frac{k_a}{k_{bf}} = \frac{1}{4} * \left[(3 * \varphi_{in} - 1) * \frac{k_p}{k_{bf}} + 3 * (1 - \varphi_{in}) - 1 + \left[\left((3 * \varphi_{in} - 1) * \frac{k_p}{k_{bf}} + 3 * (1 - \varphi_{in}) \right)^2 + 8 * \frac{k_p}{k_{bf}} \right]^{1/2} \right] \quad (7)$$

ile hesaplanır.

φ_{in} değeri zeminde katı halde kümelenmiş nanoparçacık hacimsel oranını temsil etmektedir ve φ_{in} değeri (8) numaralı denklemdeki gibi hesaplanır.

$$\varphi_{in} = \left(\frac{a_a}{a} \right)^{3-D} \quad (8)$$

ile belirlenir. (7) numaralı denklemi temsil eden model daha yüksek ısı iletim katsayısı değerlerini verir. Böylelikle nanoakışkanların ısı transfer katsayısı değeri artırılmış olur. Ancak bu model deneysel ısı iletim katsayısının belirlenmesinde etkili değildir. Temel baz akışkanın içerisine nanoparçacıkların ara yüzey tabakalarına yaptığı etkileri de göz önüne alarak nanoakışkanların etkin ısı iletim katsayısı değerleri belirlenebilir. Aşağıdaki (9) numaralı denklem tarafından nanoakışkanların etkin ısı iletim katsayısı değerinin nasıl hesaplanacağı gösterilir.

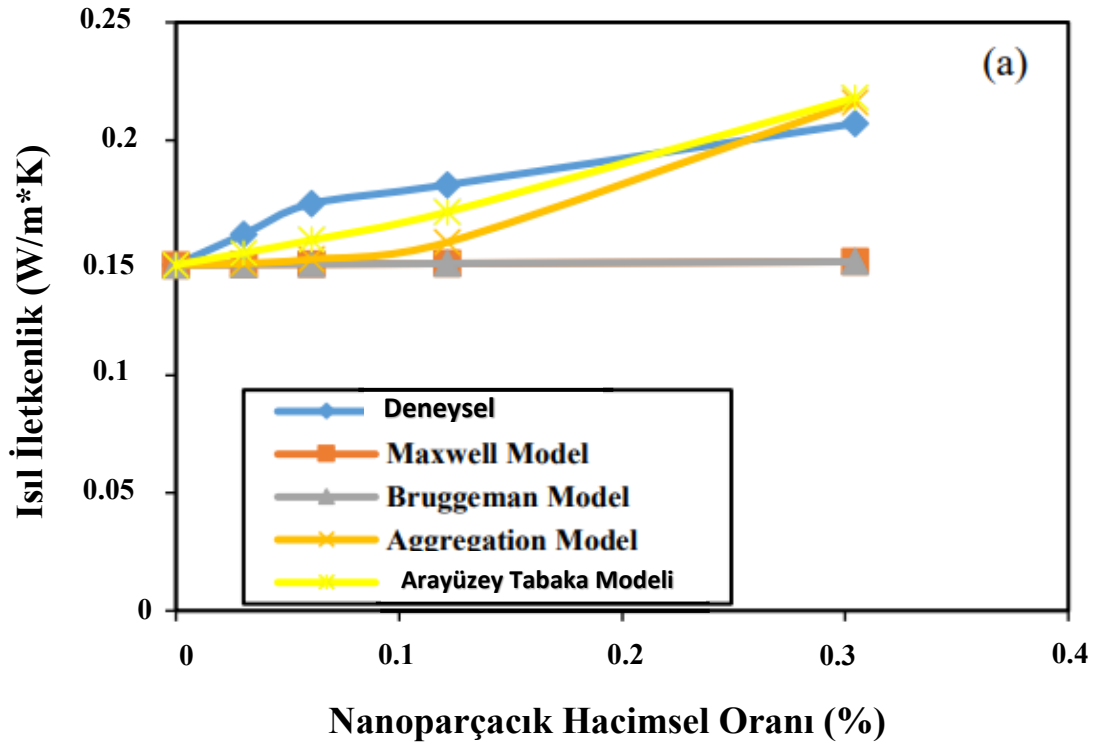
$$k_{iyonik \ nanoakışkan} = \frac{(k_p - k_{ir}) * \varphi * k_{ir} * [2 * \gamma_1^2 - \gamma^2 + 1] + (k_p + 2 * k_{ir}) \gamma_1^2 [\varphi * \gamma^2 * (k_{ir} - k_{bf}) + k_{bf}]}{(k_p + 2 * k_{ir}) * \gamma_1^2 - (k_p - k_{ir}) * \varphi * k_{ir} * [\gamma_1^2 + \gamma^2 - 1]} \quad (9)$$

(9) numaralı denklemde γ ve γ_1 katsayılarının nasıl hesaplandığını aşağıdaki (10) ve (11) numaralı denklemler tarafından gösterilmektedir.

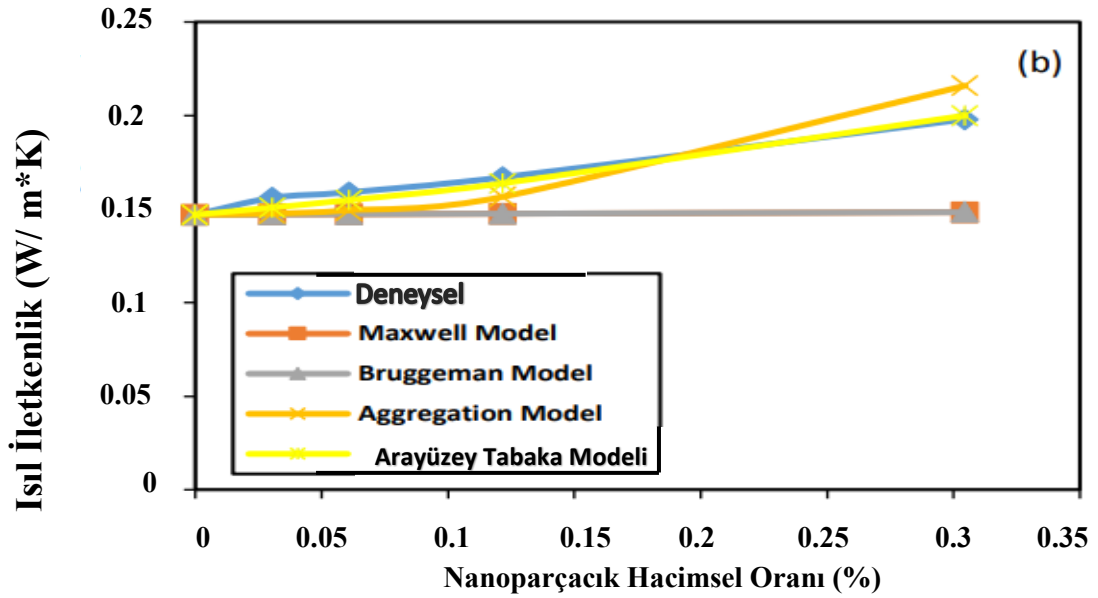
$$\gamma = 1 + \frac{h}{a} \quad (10)$$

$$\gamma_1 = 1 + \frac{h}{2 * a} \quad (11)$$

(10) ve (11) numaralı denklemlerde h değeri nanoparçacığın temel baz akışkan içerisinde oluşturduğu arayüzeyin yüksekliğini temsil ederken a ile gösterilen değer de nanoparçacığın temel baz akışkan içerisinde oluşturduğu arayüzeyin genişliğini temsil eder. Yapılan çalışmada $h=2$ nm ve $a=15$ nm numaralı arayüzey tabaka modeline ait ısı iletim katsayısının hesaplanması ile elde edilen nanoakışkanın ısı iletim katsayısındaki değerleri deneysel ölçümlerle elde edilen nanoakışkanın ısı iletim katsayılarındaki değerlere en fazla yakınsayan model arayüzey tabaka modeline ait ısı iletim modeli olmuştur. Şekil 8, 9 incelendiğinde ısı iletim modellerinden deneysel olarak ısı iletim katsayısı değerlerine en yakın değerler arayüzey tabaka modelinde incelenmiştir. Aynı zamanda bu şekiller incelendiğinde nanoparçacık hacimsel oranı arttıkça nanoakışkanların ısı iletim katsayısı değerleri de artmaktadır.



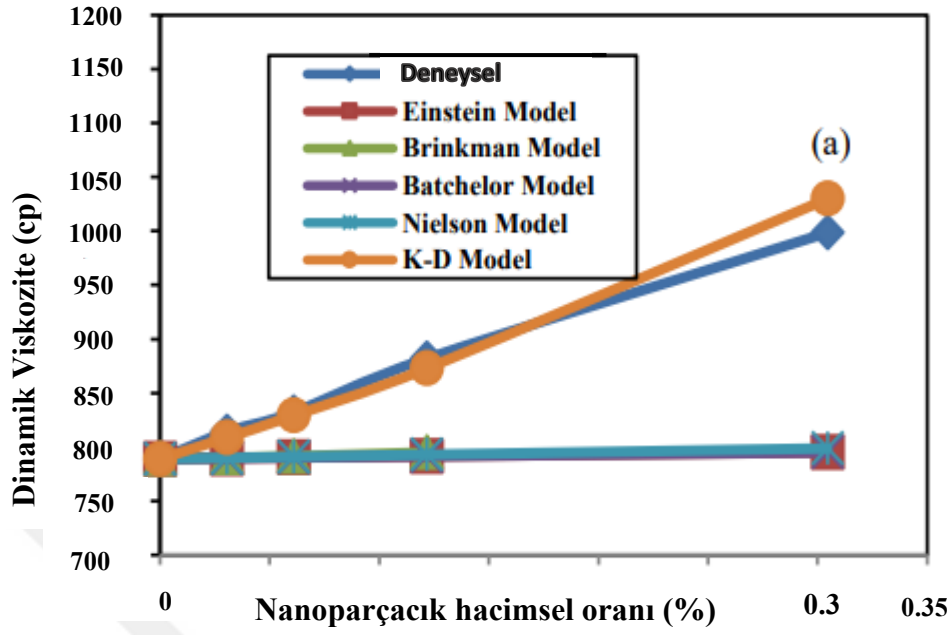
Şekil 8. Farklı ısı iletkenlik modellerinin MWCNT nanoparçacık hacimsel oranı ile ilişkileri (Asleshirin vd., 2020)



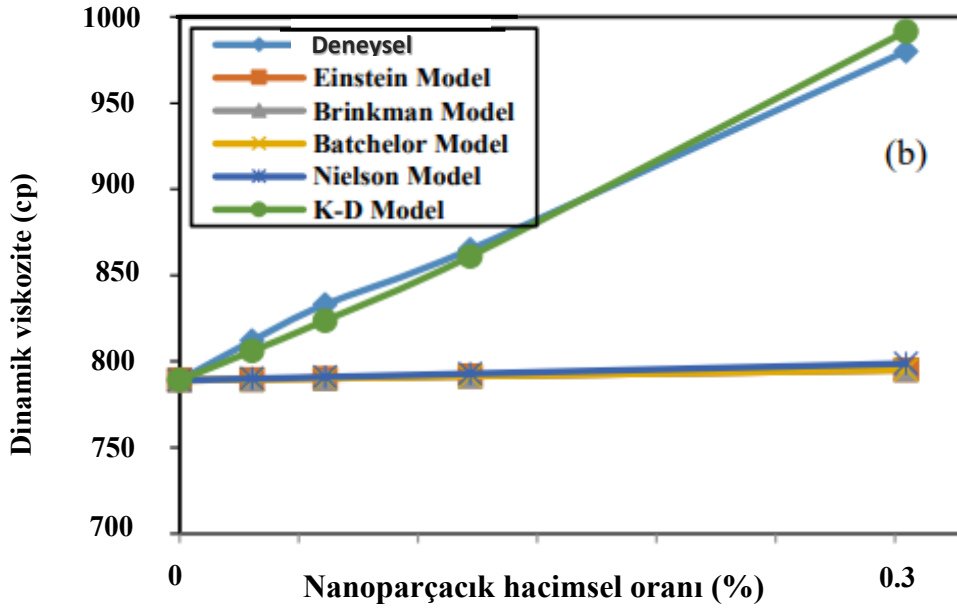
Şekil 9. Farklı ısı iletkenlik modellerinin grafen nanoparçacık hacimsel oranı ile ilişkileri (Asleshirin vd., 2020)

Asleshirin, vd., 2020 tarafından yapılan çalışmada nanoakışkanların dinamik viskozitelerinin hesaplanmasında bazı modeller ortaya konulmuştur. Şekil 10, 11 incelenirse deneysel modele en yakın sonuçlar K-D dinamik viskozite modelinde elde

edilmiştir.



Şekil 10. Farklı dinamik viskozite modellerinin MWCNT nanoparçacık hacimsel oranı ile ilişkileri (Asleshirin vd., 2020)



Şekil 11. Farklı dinamik viskozite modellerinin grafen nanoparçacık hacimsel oranı ile ilişkileri (Asleshirin vd., 2020)

Krieger – Dougherty tarafından Nielson'un matematiksel dinamik viskozite

modeli daha da genişletilerek daha doğru sonuçlar bulunmasına yardımcı olacak bir denklem hazırlanmıştır. Ek olarak nanoparçacıkları kendi içerisinde nanoakışkanın içerisinde yığılmış, kümeleşmiş olarak ve tek yalnız başına nanoparçacıklar olarak ele almıştır. Aşağıdaki modelde a_a değeri yığılmış, kümelenmiş halde bulunan nanoparçacıkların ortalama yarıçapını temsil ederken a değeri ise tek olarak herhangi bir nanoakışkan içerisinde yığılma olmadan temel nanoparçacığın ortalama yarıçapını temsil etmektedir. φ_a değeri ise yığılmış, kümelenmiş halde bulunan nanoparçacığın efektif hacimsel oranını gösterirken φ değeri ise tek, yalnız halde olan nanoparçacığın hacimsel oranını göstermektedir. (12) numaralı denklem daha da geliştirilmiş ve bir nanoakışkanın dinamik viskozitesini hesaplamak için kullanılabilecek K-D Model dinamik viskozite ampirik bağıntısı verilmektedir.

$$\frac{\mu_{iyonik\ nanoakışkan}}{\mu_{iyonik\ baz\ akışkan}} = 1 - \left[\frac{\varphi_a}{0.605} * \left(\frac{a_a}{a} \right)^{1.2} \right]^{-1.5125} \quad (12)$$

Yukarıdaki modelde φ_a değeri (13) numaralı denklemdeki gibi hesaplanır.

$$\varphi_a = \varphi * \left(\frac{a_a}{a} \right)^{3-D} \quad (13)$$

bağıntısı ile bulunur. $D = 1.8$ olarak nanoakışkanlar için fraktal (oran) indeks sabitidir ve aralığında değerler alabilir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü üzere iyonik nano akışkanlar (MWCNT ve grafen) K-D Modele ait $a_a/a = 16$ ila 18 aralığında yığılma (kümeleşme) faktörü değerlerinde deneysel dinamik viskozite değerlerine uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki paragrafta bu çalışmaya ait çıkarılabilecek sonuçlar verilmiştir.

Deneysel sonuçlara en yakın dinamik viskozite değerleri K-D Model’de elde edilmiştir. Bu durumun en önemli sebebi K-D Model’e ait dinamik viskozite hesabı yapılırken nanoparçacıkların nanoakışkan içerisinde kümelenme durumu da göz önüne alınmaktadır. Bu yüzden nanoakışkanın dinamik viskozite değerinde artış gözlemlenmektedir. Einstein’in dinamik viskozite modelinde nanoparçacıkların nanoakışkan içerisindeki kümelenme durumu dikkate alınmaz göz ardı edilmiştir. Bu yüzden nanoakışkanın dinamik viskozitesinde herhangi bir artış gözlemlenmemiştir. Tablo 9’da nanoakışkanlara ait matematiksel dinamik viskozite modelleri verilmiştir.

Tablo 9. Nanoakışkanlara ait dinamik viskozite modelleri (Kotia vd., 2016; Li vd., 2022)

Yazarlar	Matematiksel Modeller
Einstein	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = 1 + 2.5 * \varphi$ (%2'den küçük hacimsel orana sahip küresel nanoparçacıklar için)
Brinkman	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{(1 - \varphi)^{2.5}}$ (Einstein'in denkleminin düzeltilmiş hali)
Wang et. al.	$\mu_{eff} = \mu_{bf} * (1 + 7.3 * \varphi + 123 * \varphi^3)$ Parçacık hacimsel oranının nanoakışkanın viskozitesinin artmasında önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.
Batchelor	$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = 1 + 2.5 * \varphi + 6.2 * \varphi^2$ Einstein'in modelinin genişletilmiş denklemi olup parçacıklar arasındaki brownian hareketinin etkisini de dikkate almaktadır.
Lundgren	$\mu_{eff} = \mu_{bf} * (1 + 2.5 * \varphi + 6.25 * \varphi^2 + f(\varphi^3))$ Einstein'in modelindeki azalmayı ifade eder. Aynı zamanda Taylor serisinden oluşturularak elde edilmiştir.
Chen et.al.	$\mu_{eff} = \mu_{bf} * (1 + 10.6 * \varphi + 10.6 * \varphi^2)$
Nguyen et.al.	$\mu_{eff} = \mu_{bf} * (1 + 0.0025 * \varphi + 0.015 * \varphi^2)$
Zhuo et.al.	$\mu_{eff} = \mu_{bf} * (1 + 0.0068 * \varphi + 0.0002 * \varphi^2)$

Nanoparçacıkların termofiziksel özelliklerinin ısı transferinde etkileri aşağıda maddeleri halinde verilmiştir.

- Homojen şekilde dağıtılan nanoparçacıkların sahip olduğu yüksek yüzey alanı, akışkanın ısı geçiş alanını artırmaktadır.
- Nanoparçacıklar akışkanda türbülans etkisini artırmakta ve karışık dalgalanmalara neden olabilmektedir.
- Temel akışkandan daha yüksek ısı iletim katsayısına sahip nanoparçacıklar,

akışkanın ısı iletim katsayısını arttırmaktadır.

- Nanoparçacıkların akışkan içerisindeki hareketliliği ve parçacıklar arası oluşan etkileşimler sonucu mikro-konveksiyon gerçekleşmektedir.

Isı transferinde elde edilen bu iyileştirmeler nanoparçacıkların hacimsel oranı, malzemesi ve şekli, temel akışkanın türü, sıcaklık, pH değeri, yüzey aktif madde ve kararlılık gibi birçok faktöre bağlıdır. Nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini etkileyen önemli parametrelerden biri olan hacimsel oranın değişiminin sonuçlarını inceleyen birçok çalışma yapılmıştır (Şahin ve Namlı, 2018). Genel olarak pH değeri arttıkça nanoakışkanın ısı transfer değeri azalmaktadır (Demirpolat vd., 2020).

2.1. Nanoakışkanların Üretim Yöntemleri

Nanoakışkanlar, nanoparçacıkların temel akışkan ile karıştırılmasıyla elde edilir. Ancak bu karıştırma işlemi, sıradan katı-sıvı karıştırması gibi değildir. Nano boyutlardaki tozlar, kütlelerine oranla çok yüksek yüzey alanlarına sahip oldukları için yüzey enerjileri fazladır. Bu yüzey gerilmelerinin sebep olduğu enerji, tozların hidrofobik özelliklerini artırır ve akışkan ile karıştırılması zorlaşır. Nanoakışkanlarda nanoparçacıkların iyi bir dağılım göstermesini ve birbirleri ile topaklanma yapmadan askıda, süspansiyon olarak homojen bir dağılım göstermesi beklenir. Nanoakışkan hazırlama yöntemi olarak kabul görmüş iki genel metot bulunur. Bunlar tek adım yöntemi ve iki adım yöntemidir (Şahin ve Namlı, 2018).

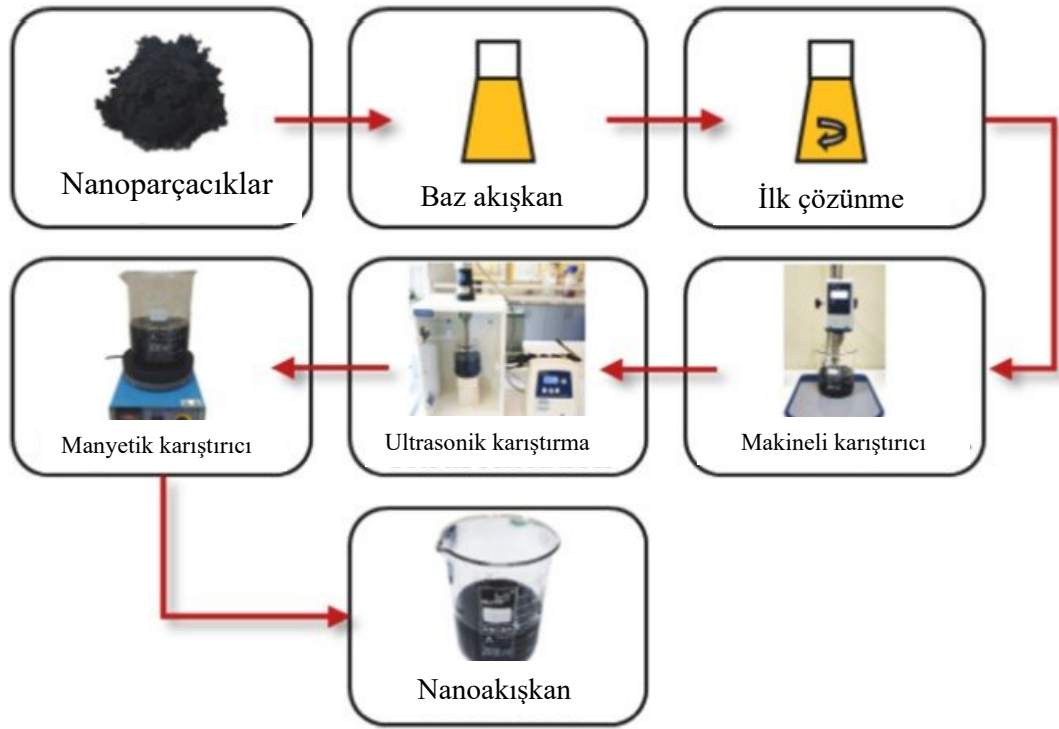
2.1.1. Tek Adım Yöntemi

Tek adım yönteminde nanoakışkanlar, nanoparçacıkların eş zamanlı olarak temel akışkan ile sentezlenmesi sonucu tek bir işlemle elde edilir. Tek adım yönteminde kullanılan yöntemler kimyasal ıslatma yöntemi, vakum buharlaştırma yöntemi, lazer ablasyon yöntemi ve toz altı nanoparçacık yöntemleri kullanılır. Tek adım yönteminde genel olarak ısı iletim katsayısı yüksek ve hızlı oksitlenme özelliklerine sahip bakır, gümüş ve altın gibi metal malzemeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu yöntemde metal nanoparçacıklar akışkan ile birlikte sentezlenerek havayla teması engellenmiş olur. Metal nanoparçacık içeren nanoakışkanları üretebilmek için daha uygun bir yöntemdir. Metal olmayan nanoparçacıklardan oluşan nanoakışkanların elde edilmesinde kullanılamaz. Metal olmayan nanoparçacıkları

hatırlarsak Al_2O_3 , SiO_2 , TiO_2 ...gibi. Ayrıca nanoakışkan içerisinde üretilen nanoparçacıklar sayesinde önemli ölçüde homojenlik sağlanarak istenilen süspanse durum elde edilmiş olur. Yani nanoparçacıklar nanoakışkan içerisinde dibe çökmeden akışkan içerisinde kalır (Şahin ve Namlı, 2018).

2.1.2. İki Adım Yöntemi

İki adım yöntemi en yaygın kullanılan nanoakışkan hazırlama yöntemidir. Birinci aşaması nanoparçacıkların fiziksel veya kimyasal yollarla kuru toz halinde üretilmesi, ikinci aşaması da üretilen nanoparçacıkların akışkana karıştırılması kısmını oluşturmaktadır. Birinci aşamada nano boyutta üretilen nanoparçacıklar topaklanma eğiliminde olurlar. Bu durum istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden ikinci aşama da bu topaklanmış halde olan nanoparçacıkların yeniden ayrıştırılması ve dağıtılması gerekmektedir. İşte bu durumda ultrasonik karıştırıcılar fiziksel müdahale olarak kullanılırken kimyasal müdahale olarak da dağıtıcı kimyasal kullanarak nanoparçacıklarda topaklanma gibi istenmeyen şekil yüzey bozukluklarının önüne geçilmiş olur. Sadece fiziksel ya da kimyasal müdahale uygulanabilirken fiziksel ve kimyasal müdahalelerin her ikisi birlikte de uygulanabilir. İki adım yönteminde ultrasonik karıştırma süresi ve kullanılan dağıtıcı kimyasalın miktarı nanoakışkanın kararlılığını etkileyen oldukça önemli parametrelerdir. İki adım yönteminde sadece uygun sürede ultrasonik karıştırıcı kullanarak nanoakışkanlarda uzun süreli kararlılık sağlanabilmektedir. Hem ultrasonik karıştırıcı hem de yüzey aktif madde olan dağıtıcı kimyasal kullanarak da nanoakışkanlarda uzun süreli kararlılığın sağlandığı görülmektedir. Ancak dağıtıcı kimyasal olan yüzey aktif maddenin kullanımı nanoparçacıkların morfolojik özellikleri olan şekilsel özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir. Aynı zamanda kimyasal madde kullanımı ile nanoakışkanların ısı transferi olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Kimyasal madde kullanımı nanoakışkanlarda sıcaklık artışına karşı duyarlılığı arttırarak nanoakışkanların kullanım yerlerini sınırlandırır (Şahin ve Namlı, 2018). Şekil 8’de iki adım yönteminin nasıl uygulandığı anlatılmaktadır. Nanoakışkan oluşturmak için öncelikli gerekli olan malzemeler nanoparçacıklar ve baz akışkan olmaktadır İki adım yönteminde tek adım yöntemine göre farklı olarak manyetik ve ultrasonik karıştırma işlemleri de uygulanmıştır. Tek adım yönteminde bu işlemler gözlenmemektedir.

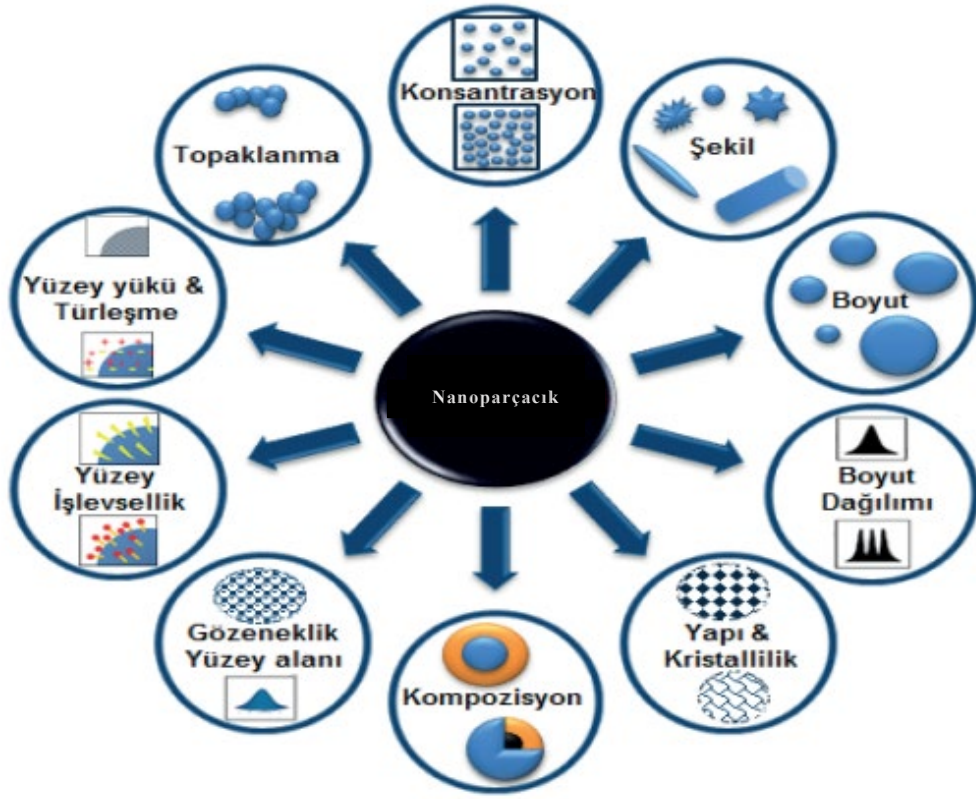


Şekil 12. İki adım yönteminin şematik resmi (Şirin, 2022)

İki adım yöntemi, tek adım yöntemine göre parçacıkların akışkan içerisindeki süspanse durumları ve kararlılığı bakımından daha zayıf bir yöntemdir. Ancak, iki adım yöntemi, tek adım yöntemine göre çok daha ekonomiktir. Ayrıca bu yöntemin çok daha büyük miktarlarda nanoakışkan üretilme imkânı olmakla birlikte ticarileşme potansiyeli daha yüksektir (Şahin ve Namlı, 2018).

2.2. Nanoakışkanların Kararlılıkları

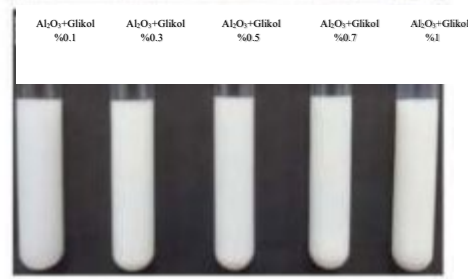
Şekil 13'te nanoparçacıkların fiziksel özellikleri gösterilmektedir. Şekil 13'te nanoparçacıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri şematize edilmiştir. Konsantrasyon ile ifade edilen özellik kimyasal özellik olarak tanımlanırken yüzey yapısı, topaklanma, gözenekli yapı, şekil ile ilgili özellikler fiziksel özellikler olarak tanımlanır. Nanoparçacık şekilleri silindirik, küresel, çubuk gibi tanımlanmıştır. Nanoparçacık şekli, boyutu, konsantrasyonu ve topaklanma davranışları nano akışkanın ısı iletkenliğini oldukça etkileyen parametreler olduğu hatırlanmalıdır.



Şekil 13. Nanoparçacıkların Karakterizasyon Analizleri (Ateş, 2018)

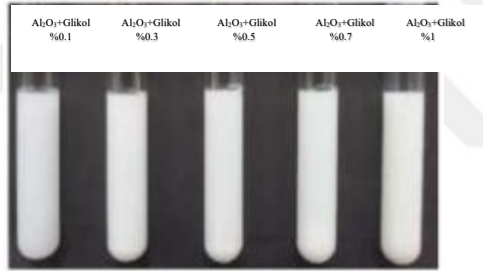
Yukarıdaki şekil tarafından nanoparçacıkların karakterizasyon analizler şematik bir olarak anlaşılmıştır. Tüm bu parametreler aslında bizlere nanoakışkanın kararlılıkları ile ilgili fikir sağlamaktadır. İlerleyen cümlelerde bu durumlarla ilgili açıklamalar yapılmaktadır. Nanoakışkan kararlılığı, temel akışkan içerisine dağıtılan nanoparçacıkların süspansiyon (askıda) kalarak oluşan yeni akışkanın viskozitesi, ısı iletkenliği, parçacıkların ortalama çapı ve parçacıkların temel akışkan içerisindeki hacimsel oranı gibi fiziksel özelliklerini zamanla değişmeden koruması olarak tanımlanabilir. Nanoparçacık boyutlarının yaklaşık 100 nm'den küçük olması istenmektedir. Temel akışkan içerisinde asılı halde kalması istenilen bu tanecikler üzerine etki eden yerçekimi kuvveti ihmal edilecek kadar küçüktür. Akışkan içerisine dağıtılan parçacıklar birbirleri ile etkileşerek yapışma ve topaklaşma eğilimi gösterirler. Topaklaşmanın artmasıyla birlikte yerçekimi kuvveti etkili olur ve çöküntüler meydana gelmeye başlar. Aynı zamanda nanoakışkanlar hazırlandıktan belli bir süre sonra homojenlik bozulur ve renk farklılıkları ortaya çıkar. Bu durum nanoakışkanlar içerisinde çökme ve topaklanma olduğunu göstermektedir (Şahin ve Namlı, 2018). Yapılmış olan bir deneysel çalışmada baz akışkan olarak glikol ve

nanoparçacık olarak da Al_2O_3 kullanılan ve sırası ile hacimsel oranları %0.1, %0.3, %0.5, %0.7 ve %1 olarak belirlenen nanoakışkan örneklerinin kararlılık durumları ve ortaya çıkan durumlar verilmiştir. Bu durum ile ilgili şekiller aşağıda verilmektedir. Şekil 14'te nano akışkanlar hazırlandıktan hemen sonraki durum:

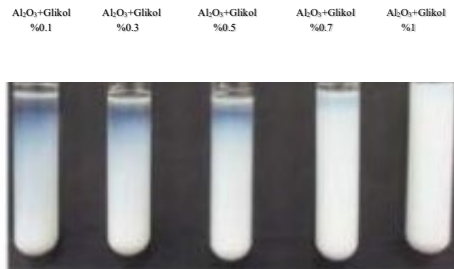


Şekil 14. Al_2O_3 +glikol nanoakışkanı hazırlandıktan hemen sonraki durum (Şahin ve Namli, 2018)

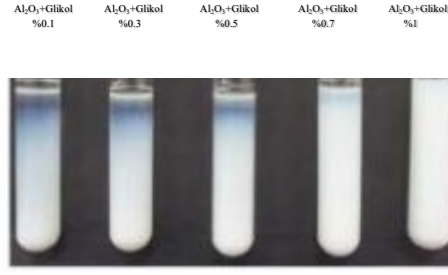
Şekil 15'te Al_2O_3 +glikol nanoakışkanı hazırlandıktan bir hafta sonraki durum verilmektedir.



Şekil 15. Al_2O_3 + glikol nanoakışkanı hazırlandıktan bir hafta sonraki durum (Şahin ve Namli, 2018)



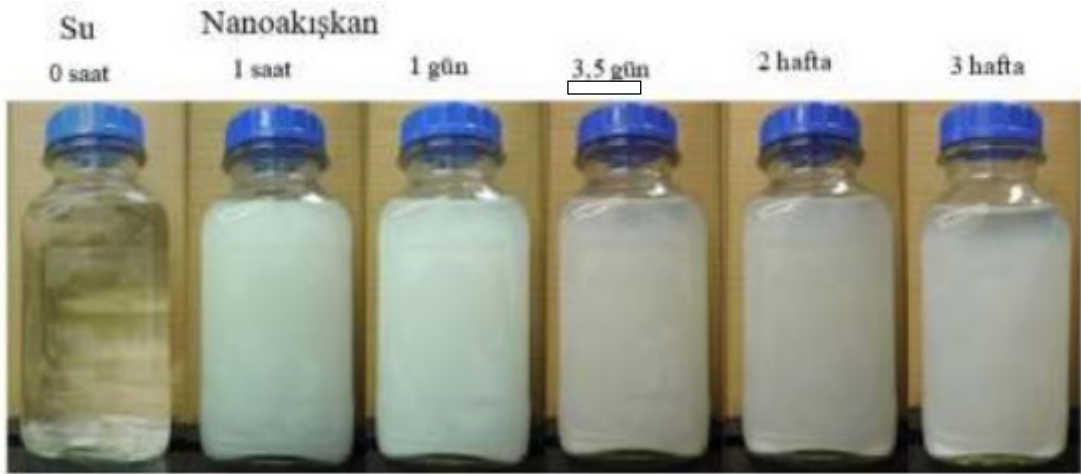
Şekil 16'da Al_2O_3 + glikol nanoakışkanı hazırlandıktan bir ay sonraki durum verilmektedir.



Şekil 16. Al_2O_3 + glikol nanoakışkanı hazırlandıktan bir ay sonraki durum (Şahin ve Namlı, 2018)

Şekil 14, 15 ve 16'dan çıkarılabilecek en önemli sonuçlar nanoakışkan hazırlandıktan hemen sonraki durumda nanoakışkanlar oldukça homojen bir görünüme sahiptir. Ancak nanoakışkanların hazırlanmasından 1 ay sonra gözle görülür ölçüde renk değişimleri meydana gelmektedir.

Bir diğer deneysel çalışmada ise sabit hacimsel orandaki Al_2O_3 nanoparçacığından oluşan baz akışkan olarak su kullanılarak hazırlanan bir nanoakışkanın hazırlandıktan sonraki belli zaman aralıklarında nanoakışkanda gözlenen durumlar Şekil 17 tarafından anlatılmaktadır. Nanoakışkanda meydana gelen çökmeleri görmek adına iyi bir örnek olmuştur (Şahin ve Namlı, 2018).



Şekil 17. Al_2O_3 +Su nanoakışkanın hazırlandıktan belli süreler sonraki çökme oluşumu durumları (Şahin ve Namlı, 2018)

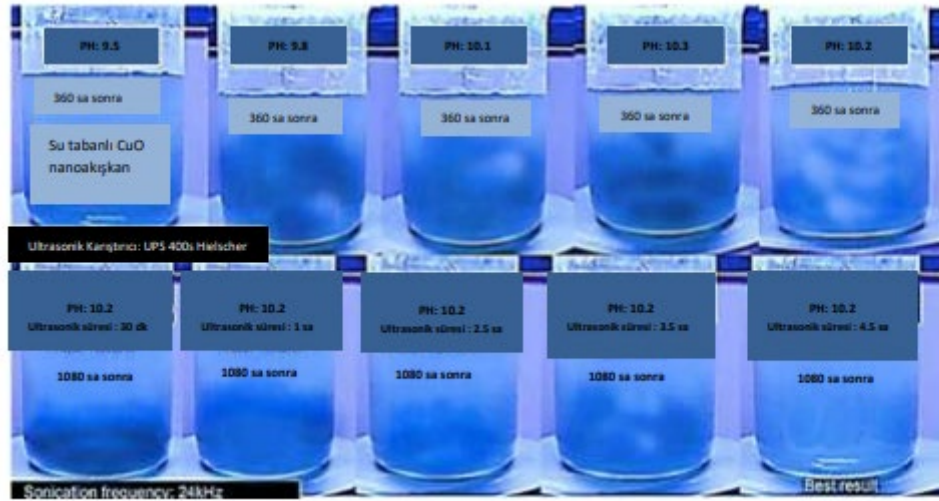
Şekil 17'den çıkarılabilecek en önemli sonuçlar şunlardır. Nanoakışkan hazırlandıktan sonra zaman geçtikçe nanoakışkanın beyaz olarak görünümü grileşmiştir. Aynı zamanda çöküntü meydana gelmiştir. Tüm bu nanoakışkandaki topaklaşmalar olsun çökmeler olsun renk değişimleri olsun hepsi nanoakışkanların ısı

transferini olumsuz yönde etkileyen durumlardır. Nanoparçacıkların yüzey alanı/hacim oranı oldukça fazladır. Bu durumdan dolayı nanoparçacıkların üzerine etki eden kütleli kuvvetlerin nanoparçacıkların hacimlerine göre oldukça fazla olan yüzey alanlarından dolayı alansal kuvvetlere dönüştüğü bilinmektedir.

2.2.1. Nanoakışkanların Kararlılığını Arttırma

Nanoakışkan kararlılığını arttırmak için literatürde en sık kullanılan yöntemler ultrasonik karıştırıcı kullanımı, yüzey aktifleştirici madde veya dağıtıcı kimyasal kullanımı ve su tabanlı nanoakışkanlar için pH değerlerinin değiştirilmesidir. Nanoakışkanlar hazırlanırken bu yöntemlerden ultrasonik karıştırıcı kullanımı tek başına uygulanabildiği gibi diğer yöntemlerle birlikte de uygulanabilmektedir. Ultrasonik karıştırma, homojenleştirme olarak da geçmektedir. Nanoakışkan hazırlanırken nanoparçacıklar ile temel akışkan arasında yüzey gerilimleri meydana gelir. Oluşan yüzey gerilimleri parçacıkların temel akışkan içerisinde dağılmasını önemli ölçüde etkiler. Yüzey aktif maddeler bu gerilimleri azaltıcı yönde etki yapan kimyasal moleküllerdir. Ultrasonik karıştırma iki farklı şekilde uygulanır. Bir prob yardımı ile belli bir güç ve frekansta ses dalgası göndermek. Diğer bir yöntem ise ultrasonik banyo yöntemidir. Belirli güç ve frekanstaki cihazlar uygun genlik değerleri ile ses dalgası göndererek topaklanmış olan nano parçacıkları amaçlamayı hedef edinmişlerdir. Nanoakışkanlar hazırlanırken nanoparçacık ile temel akışkan arasında yüzey gerilmeleri oluşur. Yüzey aktif maddeler bu gerilimleri azaltıcı yönde etki yapan kimyasal moleküllerdir. Bu yöntem ile birbirini çekme eğiliminde olan nano parçacıkların temel akışkan içerisinde dağılmaları için sıvı tarafından itilen ve ıslanmayan (hidrofobik) oksit yüzeylerin yüzey aktif maddeyi absorbe etmesi istenir. Yüzey aktif madde nanoparçacıkların arasında meydana gelen çekme kuvvetlerini perdeleyerek birbirlerini itme doğrultusunda olan kuvvetleri açığa çıkarır. Yüzeye emilen yüzey aktif madde nanoakışkan üretim sürecinde nanoparçacıkların ve temel akışkanın yapısına göre belirlenir. Belirlenen yüzey aktif maddenin nanoakışkan sentezinde kullanılması gereken miktarın iyi belirlenmesi uzun süreli kararlılık sağlamak için gereklidir. Sulu bir çözeltinin asitlik veya bazlık derecesini belirten ölçüye pH değeri denilmektedir. İki parçacığın etkileşim şiddeti yüzeylerde bulunan yüklerin yoğunluğuna ve türüne bağlı olarak değişmektedir. Nanoparçacık yüzeyinden

asidik grupların ayrışmasıyla yüzey negatif yükle ve yüzeyden bazik grupların ayrışmasıyla yüzey pozitif yükle yüklenmektedir. Oluşan bu yükler parçacığın yüzey yükünü meydana getirmektedir. Yüzey yükünün büyüklüğü ise akışkanın asidik ve bazik değerlerinin ölçütü olan pH değerine bağlıdır. Nanoparçacıklar arasındaki itme kuvvetinin elektriksel potansiyel değerine zeta potansiyeli denilmektedir. Nanoakışkanların kararlılığının doğrudan ifadesi zeta potansiyel değerinin mutlak büyüklüğü ile ifade edilmektedir. Bu değer büyüklüğü akışkanın kararlılığını belirlemektedir. CuO/Su ile hazırlanan nanoakışkanın pH değerleri değiştirilerek uygun kararlılık durumu mavi ışık altında çöküntü durumlarına göre tespit edilmeye çalışılmıştır. Nanoakışkan kararlılığını sağlamak amacıyla yapılan çalışmada, pH değerleri değiştirilerek nanoakışkanlar hazırlanmıştır. Çöküntünün en az olduğu pH değerine sahip nanoakışkan belirlenmiştir. Daha sonra diğer bir parametre olan ultrasonik karıştırma süreleri değiştirilerek yapılan çalışma sonucunda uygun kararlılık değeri sağlanmıştır. Uygun pH değerinin belirlendiği 10.2 değerinde zeta potansiyel değerinin en yüksek değere ulaşmış olduğu düşünülmektedir. Şekil 18’de CuO nanoparçacığı ile baz akışkan olarak su kullandığımız nanoakışkanın farklı pH değerlerinde mavi ışık uygulanarak meydana gelen nanoparçacıdaki çökme durumları gösterilmektedir.



Şekil 18. CuO/Su ile hazırlanan nanoakışkanın pH değerleri değiştirilerek uygun kararlılık durumu mavi ışık altında çöküntü durumlarına göre tespit edilmsi (Şahin ve Namlı, 2018)

Tablo 10’da aynı veya farklı nanoakışkanlara farklı kararlılık artırma yöntemleri uygulanarak en yüksek ısı transferindeki artışın hangi kararlılık artırma

yöntemlerinin uygulanması ile gerçekleştiği açıklanmaktadır. Örnek olarak titanyum dioksit su nanoakışkanını dikkate alınırsa, aynı nano akışkana her ikisinde ultrasonik karıştırma uygulanmıştır. İki adım yöntemi ile üretildiği anlaşılmaktadır bu yargıdan. Kararlılık artırma yöntemlerinden birisine yüzey aktif madde eklenmiş diğerine yüzey aktif madde eklenmeden pH değeri değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında zaman görülüyor ki yüzey aktif madde eklendiği zaman ısı transferinde %1 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Ancak pH değeri değiştirildiğinde %32 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Buradan çıkarılabilecek en önemli sonuç pH değerinin azaltılması nanoakışkanın kararlılığını önemli ölçüde arttırmıştır. Nanoakışkan kararlılığını arttıran en önemli diğer özellikler iki adım yönteminde kullanılan ultrasonik karıştırma ve yüzey aktif madde eklemek olmuştur.

Tablo 10. Isı transferlerindeki artışın nanoakışkanların kararlılığı ile ilgili deneysel veriler (Şahin ve Namlı, 2018)

Nano parçacıklı/Temel akışkan	Kararlılık Artırma Yöntemi	Kararlılık süresi	Isı Transferindeki Artış
Al ₂ O ₃ /Su	Ultrasonik Karıştırma, pH, Yüzey aktif madde:SDBS (sodyum dodesil benzen sülfonat)	Belirtilmemiş	%10.1
Al ₂ O ₃ /Su	Ultrasonik Karıştırma	Belirtilmemiş	%9.7
TiO ₂ / Su	Ultrasonik Karıştırma, Yüzey aktif madde:SDS (sodyum dodesil sülfonat)	Belirtilmemiş	% 1
TiO ₂ / Su	Ultrasonik Karıştırma, pH	Belirtilmemiş	% 32
SiO ₂ /Su	Ultrasonik Karıştırma	Belirtilmemiş	% 23

2.2.2. Nanoakışkanlarda Kararlılığı Ölçme Yöntemleri

Nanoakışkanların kararlılığını ölçmek için sedimentasyon yöntemi, zeta potansiyeli ölçme yöntemi, UV spektral analiz yöntemi ve dinamik ışık saçılım spektrometresi (DLS) yöntemi ve elektron mikroskobu ölçüm yöntemi (SEM, TEM) literatürde en çok kullanılan yöntemlerdir (Şahin ve Namlı, 2018).

2.2.2.1. Sedimentasyon Yöntemi

Nanoakışkanların kararlılığının çökeltme karakteristiklerinin belirlenmesi ile belli bir süre gözleme yöntemi ile belirlenmesi yöntemine sedimentasyon yöntemi ile nanoakışkanın kararlılığını belirleme yöntemi adı verilmektedir. Dereceli bir tüp içerisinde hazırlanmış nanoakışkanda zamanla meydana gelen çökelmenin hacminin veya miktarının belirlenmesi ile nanoakışkanın kararlılığının ölçülmesi olayıdır (Şahin ve Namlı, 2018). Sedimentasyon yöntemi en basit nanoakışkanın kararlılığını ölçme yöntemi olarak bilinmektedir.

2.2.2.2. Zeta Potansiyeli Ölçme Yöntemi

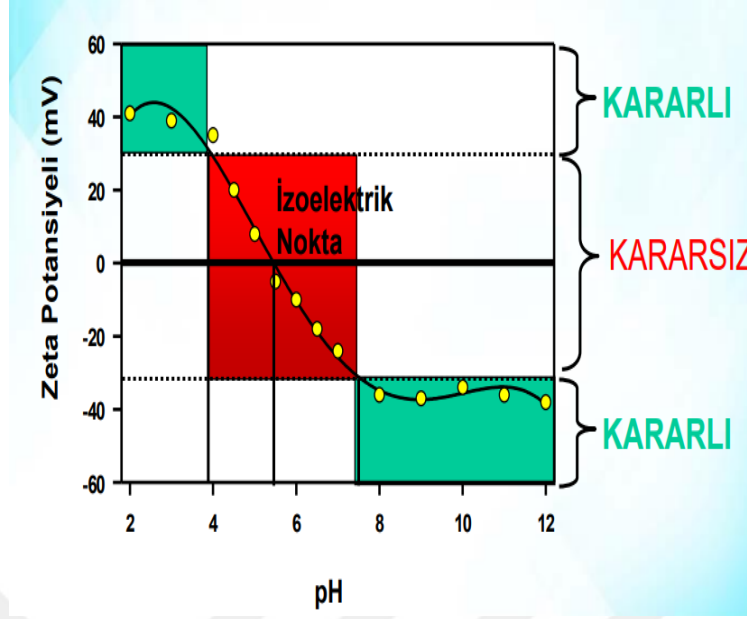
Zeta Potansiyeli parçacık ile parçacığın içinde bulunduğu sıvı arasında oluşmaktadır. Parçacıklar arasında itme ve çekme kuvvetleri oluşur. Kısaca zeta potansiyeli tanecikler arasındaki itme ve çekme değerinin ölçümüdür. Bir sıvı içerisindeki aynı yükteki parçacıklar birbirini iter zıt yükteki parçacıklar birbirini çeker. Bu çekme ve itme kuvveti parçacığın zeta potansiyeli değerine bağlıdır. Zeta potansiyel ölçümü dağılma mekanizmaları hakkında ayrıntılı bilgi verir ve elektrostatik dağılma kontrolünün anahtarıdır. Belli bir yükteki parçacık, süspansiyon içerisindeki karşı yükteki iyonları çeker, bunun sonucunda yüklü parçacık yüzeyinde güçlü bir bağ yüzeyi oluşur ve daha sonra da yüklü parçacığın yüzeyinden dışa doğru yayılmış bir yüzey oluşur. Oluşan bu yüzey içerisinde kayma yüzeyi olarak adlandırılan bir sınır bulunmaktadır. Yüklü parçacık ve onun etrafında bulunan iyonların kayma yüzey sınırına kadar olan kısmı tek bir parça olarak hareket eder. Bu kayma yüzeyindeki potansiyel zeta potansiyeli olarak adlandırılır. Hem parçacığın yüzey yapısından hem de içerisinde bulunduğu sıvının özelliğinden etkilenir. Zeta potansiyeli elektrokinetik potansiyeli olarak da bilinmektedir ve nanoparçacık yüzeyi üzerindeki etkili elektrik yükünün ölçüsüdür. Kolloidal nanoparçacıkların yük

kararlılığının miktarını belirlemeye yarar. Zeta potansiyeli değeri nanoparçacığın içinde bulunduğu sıvının pH değeri ile değişmektedir. Çünkü birçok sistemde H^+ iyonu potansiyel belirleyici iyonudur. Değişimin sıfır eksenini kestiği pH değeri izoelektrik nokta olarak adlandırılır. Zeta potansiyeli düşük pH değerleri için pozitif değer alırken yüksek pH değerleri için ise negatif değer almaktadır (Ateş, 2018). Zeta potansiyelinin büyüklüğü parçacık kararlılığı hakkında önemli bilgi sağlar. Zeta potansiyeli değeri ne kadar fazla olursa o kadar elektrostatik itme meydana gelir ve bu durumda nanoakışkanların kararlılığının artmasını işaret eder. Nanoakışkanların artan zeta potansiyeli değeri ile nanoparçacıkların kararlılığını karşılaştırma Tablo 11’de verilmektedir.

Tablo 11. Zeta potansiyeli değerinin nanoparçacık kararlılığına etkileri (Ateş, 2018)

Zeta Değeri	Nanoparçacıkların kararlılığı
0 – 5 mv	Parçacıklar kümeleşme ve bir araya gelme eğilimi gösterirler
5 – 20 mv	Parçacıklar minimum düzeyde kararlıdır
20 – 40 mv	Parçacıklar orta düzeyde kararlıdır
40+ mv	Parçacıklar son derece kararlıdır

Yukarıdaki tablodan da görüldüğü üzere zeta potansiyeli değeri 0-5 mV arasında iken nanoparçacıklar kararlı durumda değildir. 5 mV zeta potansiyeli değerinden daha yüksek zeta potansiyeli değerlerine gidildikçe nanoparçacıklar kararlı yapıya ulaşmış olmaktadırlar. Şekil 19’a göre zeta potansiyeli değeri ile pH arasındaki ilişki verilmiştir. Nanoakışkanların hangi zeta potansiyeli değerlerinde kararlı hangi zeta potansiyeli değerlerinde kararsız olduğu gözlenmiştir. pH değerinin 4-8 olması durumunda nano akışkanda kararsız bir davranış gözlemlenmiştir.



Şekil 19. Zeta Potansiyeli – pH ilişkisi (URL-2)

Zeta potansiyeli iki altın elektrot içeren bir hücreye bir çözelti eklenerek ölçülür. Elektrota bir voltaj uygulanır ve nanoparçacıklar zıt yönlü elektrota doğru hareket ederler. Voltajın bir fonksiyonu olarak nanoparçacığın hızını ölçmek için Doppler tekniği uygulanır. Doppler tekniği yüksek frekanslı ses dalgaları nanoparçacıklara gönderilir ve nanoparçacıkların hızı ölçülmüş olur (Ateş, 2018).

2.3. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Isı transfer analizlerinde akışkanların termofiziksel özellikleri performansın belirlenmesinde önemli yer tutar akışkanların Reynolds (Re), Prandtl (Pr) ve Nusselt (Nu) sayıları termofiziksel özelliklerinin fonksiyonudur ve bu boyutsuz sayılar akışkanların taşınım katsayılarını doğrudan etkiler. Nanoakışkanlarda termofiziksel özellikler genel olarak kullanılan nanoparçacığın kimyasal yapısı, büyüklüğü, şekli, temel akışkan içerisindeki miktarı ile beraber kullanılan temel akışkanın özelliklerine bağlı olarak değişir (Atmaca vd., 2019). Nanoakışkanın ısı iletkenliği, dinamik viskozitesi, özgül ısı, yoğunluğu gibi özellikler nanoakışkanın termofiziksel özellikleri olarak adlandırılabilir. Bu özellikler aynı zamanda geleneksel ısı transfer akışkanlarında olduğu gibi sıcaklığa da bağlıdır.

2.3.1. Nanoakışkanlarda Yoğunluk

Sulu akış üzerinde literatürdeki mikrometre boyutta parçacıklar için iki fazlı karışımların yoğunluk denklemi (Cheremisinoff, 1986) tarafından elde edilmiştir. Pak

ve Cho aynı denklemi nano boyuttaki nanoparçacıklar için yoğunluk denklemi olarak tanımlamıştır (Vajjha vd., 2009). (14) numaralı denklem ile tanımlanmaktadır.

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi) * \rho_f + \varphi * \rho_p \quad (14)$$

ρ_{nf} , ρ_f , ρ_p sırasıyla nanoakışkan, ana akışkan ve parçacık yoğunluğunu temsil etmektedir ve nanoakışkanın yoğunluğunun φ nanoparçacığın hacimsel oranına bağlı olarak temsil eden ampirik bağıntı sunulmuştur.

2.3.2. Nanoakışkanlarda Özgül Isı

Özgül ısı nanoakışkanların ısı transferini etkilemede önemli rol oynayan ve ısı transferini etkileyen önemli özelliklerden birisidir. 1 g nano akışkanın sıcaklığını 1 °C yükseltmek için gerekli olan ısı miktarına özgül ısı adı verilmektedir (Aytaç, 2020). Nanoakışkanların özgül ısıları nanoparçacıkların boyutuna, şekline, malzemesine, hacimsel oranına ve nanoakışkanın sıcaklığına bağlı olarak değişir (Atmaca vd., 2019). Baz akışkan içerisindeki nanoparçacıkların hacimsel oranı için nanoakışkanların özgül ısı değeri hesaplanabilir. Xuan ve Roetzel tarafından nanoakışkanın özgül ısısı aşağıdaki denklemde olduğu gibi hesaplanmaktadır (Aytaç, 2020).

$$Cp_{nf} = \frac{(1-\varphi)*\rho_f*Cp_f + \varphi*\rho_p*Cp_p}{\varphi*\rho_p + (1-\varphi)*\rho_f} \quad (15)$$

(14) numaralı denklemi dikkate alarak nanoakışkanlara ait özgül ısı denklemi (16) numaralı denklemdeki gibi hesaplanır.

$$Cp_{nf} = \frac{(1-\varphi)*\rho_f*Cp_f + \varphi*\rho_p*Cp_p}{\rho_{nf}} \quad (16)$$

Burada Cp_{nf} , Cp_f , Cp_p sırasıyla nanoakışkan, ana (baz) akışkan ve parçacık ısı kapasitesini temsil etmektedir.

Nanoakışkanların özgül ısısını belirten bir başka model sunulmuştur. Bu modelde nanoparçacık ile bir bütün olarak karıştırılmış nanoakışkanın özgül ısısını belirten model aşağıda (17) numaralı denklemde verilmiştir. Ancak (17) numaralı denklemde nanoakışkanın özgül ısısını bulma bağıntısı her nanoakışkan için uygulanamaz. Çünkü seyreltik bir biçimde oluşturulmuş nanoparçacık nanoakışkan karışımları için uygulanır aynı zamanda nanoakışkanı oluşturan baz akışkan ile nanoparçacık arasındaki yoğunluk farkının görmezden gelinebilecek kadar az olması gereklidir. Örneğin (17) numaralı denklem Al_2O_3 nanoparçacıktan oluşan ve baz akışkanı su olan bir nanoakışkan için uygulanamaz. Çünkü Al_2O_3 'ün yoğunluğu 3970

kg/m³ iken suyun yoğunluğu 998.2 kg/m³ değerindedir. Oldukça fazla yoğunluk değerlerinde fark vardır (Zhou vd., 2009).

$$Cp_{nf} = \varphi * Cp_p + (1 - \varphi) * Cp_f \quad (17)$$

Nanoakışkan içerisine dağılmış nanoparçacıklar ile sıvı fazlar arasında termal denge olduğu varsayılarak ortaya çıkan nanoakışkan özgül ısısını belirleme ile ilgili model aşağıda (18) numaralı denklemde verilmiştir (Akilu vd., 2017).

$$Cp_{nf} = \varphi * \rho_p * Cp_p + (1 - \varphi) * \rho_f * Cp_f * \varphi * \rho_p + (1 - \varphi) * \rho_f \quad (18)$$

2.4. Nanoakışkanların Uygulama Alanları

2.4.1. Güneş Enerjisi Uygulamaları

Nanoakışkanlar güneş enerjisinin ısı uygulamalarında çoğunlukla güneş kolektörlerinde ve güneş enerjili sıcak su sistemlerinde tercih edilmiştir (Atmaca vd., 2019). Güneş kolektörü kavramını açıklamak gerekirse, güneş kolektörü güneş enerjisini toplayan ve içersinde dolaşan bir akışkana ısı olarak aktaran aletlere veya aygıtlara denilmektedir. Güneş kolektörü ne işe yarar sorusuna verilebilecek en iyi cevap ise güneş enerjisini kullanarak iklimlendirme ve sıcak su elde etme amacı ile kullanılmaktadır. Güneş kolektörü bulunacağı yörenin enlemine göre güneşi maksimum alacak biçimde sabit açı ile konumlandırılır. 100 °C sıcaklığa kadar ulaşabilir bir güneş kolektörü. Sıcaklığın etkisi ile oluşan ısı enerjisi başka cihazlar yardımı ile konutlarda, ısıtılacak olan alanlarda yerden ısıtma, duvardan ısıtma, radyatör, fan coil gibi ısıtma cihazlarına aktarılabilir. (URL-3) Güneş kolektörü çalışma şekillerine göre 4 kısıma ayrılır:

Tabi Dolaşımı Sistemler: Isı transfer akışkanın sistem içerisinde kendiliğinden dolaştığı sistemlerdir. Kollektör içerisinde dolaşan akışkanın ısınması sonucunda yoğunluğunda meydana gelen değişmeye azalma veya artmaya bağlı olarak sistemin çalışması sağlanır. Bu sistemlerde depo kolektörün üst seviyesinden daha yukarıda olmaktadır. Sıcak su ihtiyacının fazla olmadığı yerlerde kullanılır (URL-3).

Pompalı Sistemler: Isı transfer akışkanının sistemde pompa ile dolaştırıldığı güneş kolektörü çeşididir. Kullanılacak olan deponun kolektörün yukarısında olma gibi bir zorunluluğu yoktur. Depo kollaktörün üst kısmına konulamıyor. Sıcak su ihtiyacının fazla olduğu yerlerde kullanılır (URL-3).

Açık Sistemler: Bu sistemde kolektörde dolaşan akışkan aynı zamanda kullanma

akışkandır. Kollektörde ısınan akışkan depoya gelir. Depo ise kullanılacak olan yerlere akışkanı dağıtır. Depodan dağıtılacak olan akışkan kollektörde toplanacak olan akışkan ile aynı akışkan olduğu için herhangi bir antifiriz kullanımı söz konusu değildir (URL-3). Burada özellikle antifiriz nedir ve ne işe yarar onun hakkında bilgi verilmelidir. Antifiriz akışkana katılan bir katkı maddesi olarak düşünülebilir. Özellikle güneş enerjili sistemlerde antifiriz kullanarak sistem içinde dolaşan akışkanın kış aylarında donmasını engelleyerek sistemin her daim çalışmasını sağlar. Diyelim ki antifiriz kullanılmadı bu durumda sistem içersinde dolaşan akışkanın kış aylarında donması söz konusu olmaktadır. Akışkanın donma durumunda sistem çalışmaz. Çalışmayan sistem yüzünden güneş kollektörünün görevi olan ısıtma sistemlerinde kullanılacak akışkanın temini ve sıcak su eldesi mümkün olmayacaktır. Eğer açık sistemli kollektör kullanılacak ise kollektör içerisinde dolaşan akışkanın donma ihtimalini göz önüne alarak kollektör içerisinde dolaşan akışkanın boşaltılması gerekmektedir. Kapalı sistemlere göre verimleri daha yüksektir. Kapalı sistemlere göre maliyeti daha ucuzdur.

Kapalı Sistemler: Depodan dağıtılan akışkan ile kollektörde dolaşan akışkan aynı değildir. Kollektörde ısınan akışkanın sıcaklığı yükseldikçe bir eşanjör yardımı ile ortaya çıkan yükselmiş ısıyı ısıtma sistemlerinde ve sıcak su eldesinde kullanılacak olan akışkana aktarır. Bu sayede kollektörde dolaşan akışkanda donma, kireçlenme ve korozyon durumlarının önüne geçilmiş olunur. Açık sistemler ile karşılaştırıla yaptığımız zaman maliyeti açık sistemlere göre daha yüksektir çünkü kapalı sistemlerde eşanjör kullanılmaktadır (URL-3). Kapalı sistemlerin verimleri açık sistemlere göre daha düşüktür çünkü eşanjör kullanılmaktadır. Eşanjör kullanımı verimi neden düşürür sorusuna verilebilecek cevap ise eşanjör içerisinde bazı olumsuzluklar ortaya çıkabilir. Bu olumsuzluklara örnek olarak eşanjör içerisinde kollektörde dolaşan akışkanın ısının artması ile birlikte meydana gelen ısının bir eşanjör vasıtası ile ısıtma sistemlerinde ve sıcak su elde etmede kullanılan akışkana aktarılması sırasında eşanjör içerisinde ısı kayıpları ve yüksek basınç artışı meydana gelebilir. Çünkü eşanjör içerisinde buhar oluşumu meydana gelebilir.

Şekil 20’de düzlemsel yüzeye sahip tabi dolaşımli kollektör verilmektedir. Şekil 21’de vakımlı güneş kollektörü verilmektedir. Genelde evlerde vakumlu güneş kollektörlerinin kullanıldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 20. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü (URL-4)

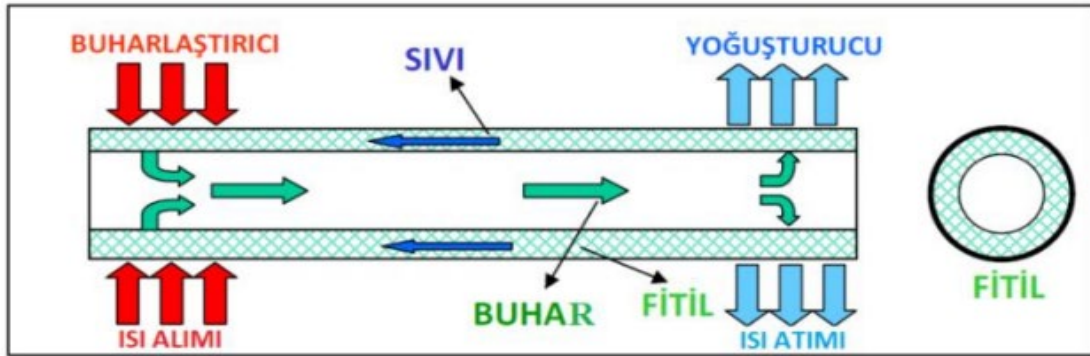


Şekil 21. Vakumlu güneş kollektörü (URL-5)

2.4.2. Elektronik Soğutma

Elektronik uygulamalarda soğutma sisteminin performansını artırırken bunun için gerekli yüzey alanını azaltmak önemli bir zorluktur. Nanoakışkanlar, yüksek ısı iletim özellikleri sayesinde önemli bir alternatif sunmaktadır. Örnek olarak elektronik aletlerin soğutulmasında kullanılan mikrokanallarla ilgili ısı transferini iyileştirmek oldukça önemlidir. Ancak elektronik soğutmada kullanmak üzere nanoakışkan seçimi yapılırken bazı noktalara dikkat edilmelidir. Seçilecek akışkan kararlı olmalı, soğutma sistemi üzerinde korozyif bir etkisi olmamalı, daha iyi ısı iletkenliğe sahip olmalı ve

ekonomik olarak kullanılabilir olmalıdır (Ganvir vd., 2017), (Atmaca vd., 2019). Isı boruları da elektronik soğutma uygulamasında oldukça önemli bir yer kapsamaktadır. Isı boruları bilgisayarlar gibi elektronik aletlere yerleştirilen ve yüksek kapasitede ısıya sahip olan düşük sıcaklık farkı ile uzun mesafeler boyunca yüksek miktarda ısı aktarımını sağlayan çalışma sürecinde pompa, kompresör gibi makine elemanlarına gereksinim duymayan soğutucu sistemlerdir. Bu sistemlerde iş akışkanının faz değiştirmesi ile ısı transferi sağlanmaktadır. Isı borusunun çalışma prensibi genel olarak şu şekilde ifade edilebilir. Isı borusu 3 kısımdan oluşur buharlaştırıcı, yoğusturucu ve fitil olmak üzere. Buharlaştırıcı kısmında soğutacağı makine örneğin bilgisayarın içinde oluşan ısıyı alır ve bu aldığı ısıyı ısı borusunun içinde bulunan iş akışkanını buharlaştırmak için kullanır. Meydana gelen buhar ısı borusunun buharlaştırıcı bölgesinden yoğusturucu bölgesine doğru hareket eder. Yoğusturucu bölgesinde tekrar iş akışkanı sıvı hale gelir ve yoğusturucu bölgesinden ısı atımı sağlanmış olur. Sıvı haldeki akışkan ısı borusundaki kılcal bir yapıya sahip olan fitilde kılcallık etkisi ile tekrardan buharlaştırıcıya geri döner. Isı borularında iş akışkanı olarak kullanacağımız akışkanın ısı transfer katsayısının fazla olması önemlidir. Çünkü daha fazla miktarda ısıyı alıp dışarıya atabilmesi açısından. Şekil 22 tarafından ısı borusunun çalışma mekanizması gösterilmiştir.



Şekil 22. Isı borusunun çalışma prensibi (Markal ve Aksoy, 2018)

Şekil 23'te diz üstü bilgisayarlarda soğutma amaçlı kullanılan ısı boruları örneği verilmektedir.



Şekil 23. 8 mm genişliğinde 3 mm kalınlığında ısı borusu (URL-6)

2.4.3. Uzay ve Savunma Sanayi

Yüksek teknoloji uygulamaların olduğu bu alanda nanoteknolojiye sıklıkla rastlanmaktadır. Büyük oranda soğutma ihtiyacına sahip bazı güç elektronikleri, enerji silahları ve askeri cihazlar bu gruba girer. Nanoakışkanlar bu ihtiyacın giderilmesi konusunda önemli bir potansiyele sahiptir. Bazı durumlarda savunma sanayi uygulamalarında nanoakışkan kullanımı, birden fazla fonksiyonu yerine getirmek üzere tasarlanmıştır. Örneğin bilinen özelliklerinin yanında enerji depolama veya kimyasal reaksiyonlar sırasında enerji toplama gibi (Yu vd., 2007) uygulamalar söylenebilir (Atmaca vd., 2019). Askeri araçlarda askeri sistemlerin çalışma durumlarında meydana gelen ısıyı atmaları için ya yüzey alanlarını büyütmek gerekecek ki bu durum istemeyen bir durumdur. Örneğin askeri sistemde küçük boyutlarda olması gereken aletler mevcut. Bu aletlerin çalışması esnasında ortaya çıkan ısının atılabilmesi için bu aletlerin yüzey alanlarını büyütmek istenmeyen bir durum olacaktır. Çünkü küçük olarak tasarlanmalıdır.

2.4.4. Kameralar, Mikro Cihazlar Ve Ekranlar

Yeni yapılan çalışmalarda nanoakışkanların elektrik alanlara maruz kaldıklarında daha yüksek performans ve kararlılık gösterdikleri görülmüştür (Saidur vd. 2011). Bu özelliğin, yeni tip minyatür kamera lenslerinin, cep telefonu ekranlarının ve diğer bazı küçük ölçekli sıvı yapıdaki cihazların geliştirilmesine imkân sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmalar, nanoakışkanların mikro veya nano boyuttaki

cihazların tahrik düzeneklerinde kullanılabilme imkanını ortaya koymuştur (Atmaca vd., 2019). Özellikle uzun süre çalışan cihazların boyutlarını büyütme gerektirmeden çalışma anındaki meydana gelen ısıyı dışarıya atmaları ve çalıştığı ortamdaki ısıyı daha fazla absorbe etmesi amacı ile bu sistemlerde kullanılan ısı transfer akışkanlarının su gibi baz akışkan yerine nanoparçacık ile baz akışkanın karıştırılması ile elde edilen nanoakışkanın daha yüksek ısı transfer katsayılarına çıktığı bilinmektedir. Bu yüzden kameralarda, mikrokanallarda ısı transfer akışkanı olarak nanoakışkan kullanmanın oldukça yararlı olduğu düşünülür. Böylelikle örneğin elektronik aletlerin çalışması ile ortaya çıkan ısının bu mikrokanalların ortaya çıkan ısıyı içine çekip mikrokanal içerisinde dolanan nanoakışkanın bu ısıyı dışarıya en iyi şekilde atması sağlanmış olur. Elektronik aletlerde ısınmaya bağlı olarak bir sorun ortaya çıkmaz.

2.4.5.Talaşlı İmalatta Soğutma Sıvısı Olarak Kullanımı

Talaşlı imalat esnasında açığa çıkan ısı ve sürtünme, kullanılan takımların ömrü açısından her zaman önemli bir problem olmuştur. Kesme sıvıları bu sorunu çözmek için kullanılan geleneksel yöntemlerdir. Ancak bu sıvıların çevreye verdikleri zararlar kullanımlarının sınırlandırılmasına neden olmuştur. Bu noktada nanoakışkanlar, ısı transfer karakteristikleri ve yağlama özellikleri ile bu problemin çözümünde alternatif bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır (Srikant vd., 2009), (Atmaca vd., 2019). Talaşlı imalatta meydana gelen ısının atılması çok önemlidir. Çünkü eğer bu ısı atılmazsa talaş kaldırılan yüzeyde aşınmalar meydana gelmektedir.

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Nanoakışkanların ısı transferinin iyileştirilmesinde önemli literatür çalışmaları yapılmıştır. Nanoparçacık çapının artması nanoakışkanın ısı transferini kötüleştirmektedir. Nanoparçacık hacimsel oranının arttırılması nano akışkanın ısı transferini arttırır. Nanoparçacık şeklinin kübik olması ısı transferinin iyileştirilmesinde en iyi etkiyi yapmıştır. Yeni düzenlenen ısı iletim modellerinden özellikle ara yüzey tabaka modeli deneysel sonuçlara en yakın değerleri vermiştir. Bu modelde nanoparçacıkların temel (baz) akışkan ile olan ara yüzeyinin de dikkate alınması ile oluşturulan teorik ara yüzey tabaka modeli deneysel olarak elde edilen ısı iletim katsayısı değerlerine oldukça yakın değerler sunmuştur. Nanoakışkanlarda eğer dinamik viskozitenin deneysel olarak elde edilen dinamik viskozite değerlerine en yakın değerler vermesi isteniyorsa bu durumda K-D dinamik viskozite teorik modeli ile nano akışkanın dinamik viskozitesi hesaplanmalıdır. Çünkü K-D dinamik viskozite modeli nanoparçacıkların kendi içerisinde kümelenme durumlarını da dikkate alarak bir model sunmuştur.

4. TEZ KONUSU İLE İLGİLİ YAPILAN SAYISAL ÇALIŞMALAR

Nanoakışkanlar için yapılan sayısal çalışmada ANSYS programı kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan baz akışkanlar su ve eşit oranlarda etilen glikol iken kullanılan nanoparçacıklar ise alüminyum oksit, magnezyum oksit, titanyum dioksit ve bakır oksit kullanılmıştır. Ayrıca nanoakışkan içerisindeki nanoparçacık hacimsel oranı değiştirilerek nanoakışkanın ısı transferine etkileri incelenmiştir. Aynı zamanda akışkanın geçtiği boruya engeller eklenmiştir ve engeller eklenmeden yalnızca borunun giriş ve çıkış kenarları eğimli duruma getirilmiştir.

Akışın incelendiği geometrik şekli ise 5 mm çapında 30 mm uzunluğunda dairesel kesitli bir boru olmuştur. Dairesel kesitli borunun üst kenarı boyunca sabit ve $q'' = 5000 \text{ W/m}^2$ büyüklüğünde ısı akısı uygulanmıştır. Akışkan boruya 0.011 m/s hızla girmekte olup akışkanın boruya giriş sıcaklığı 293 K olarak tanımlanmıştır. Bu bölümden sonra yapılan tüm çalışmalarda başlangıç ve sınır koşulları bu şekilde tanımlanmıştır. Baz akışkan ve nanoakışkana ait tablolarda boru bölgelerinde elde edilen hız, akım fonksiyonu, sıcaklık, entropi ve nusselt sayısı değerleri bulunarak nanoakışkanların ısı transferine etkileri incelenmiştir. Tablolardaki değerler ortalama değerlerdir.

Sayısal çalışmalarda yararlanılan denlemler:

$$\Delta u = \frac{\partial}{\partial x} * (\rho * u) * \partial x - \rho * u \quad (19)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial \Psi}{\partial y} = u, -\frac{\partial \Psi}{\partial x} = v \quad (21)$$

$$S_{\text{üretim}} = \left[\frac{k_{nf}}{k_{bf}} \right] * \left(\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right) + \frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} * \frac{Br^*}{Da} * (u^2 + v^2) + \frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} * Br^* * \left(2 * \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right) + Br^* * Ha^2 * \left(\frac{\sigma_{nf}}{\sigma_{bf}} \right) * (u * \sin(\alpha) - v * \cos(\alpha))^2 \quad (\text{Marzougui, 2021}) \quad (22)$$

$$Nu = \frac{h * l_c}{k} = \frac{\partial T}{\partial x} \quad (23)$$

$$q'' = h * (T_{\text{yüzey}} - T_{\text{ortam}}) \quad (24)$$

(19) numaralı denklemden x eksenini boyuncası hareket eden bir akışkanın hızındaki değişim söz konusudur. (20) numaralı denklem ise süreklilik denklemdir. Kütle

korunumu denklemidir. (21) numaralı denklem ise akım fonksiyonu denklemidir. (22) numaralı denklem ise entropi üretimi denklemidir. (23) numaralı denklem ise Nusselt sayısı denklemidir. (21) numaralı denklemde;

Ψ : Akım fonksiyonu

u : Akışkanın x eksenindeki hızı

v : Akışkanın y eksenindeki hızı

(22) numaralı denklem incelenirse;

$\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}$: x ve y yönlerinde uzunluk boyunca olan boyutsuz sıcaklık gradyanlarıdır.

Br^* : Düzeltilmiş Brinkman sayısıdır ve (25) numaralı denklemde olduğu gibi hesaplanır

$$Br^* = \frac{\mu * u^2}{k_{bf} * (T_s - T_0)} \quad (25)$$

Ha : Hartman sayısı ve (26) numaralı denklemde olduğu gibi hesaplanır.

$$Ha = B * d * \sqrt{\frac{\sigma_{bf}}{\mu_{bf}}} \quad (26)$$

Da : Darcy sayısı

$$Da = \frac{K}{d^2} \quad (27)$$

(22), (23), (24), (25), (26) ve (27) numaralı denklemde sembollerin ne oldukları semboller ve kısaltmalar dizininde verilmiştir. Aynı zamanda (23) numaralı denklemde l_c çizgisel bir uzunluk üzerinde incelenirse bu durumda uzunluk olarak alınır. Ancak eğer boru iç yüzeyinde çap olarak incelenirse o zaman çap olarak alınır. Yapılan bu sayısal çalışmada boru üst duvarı boru uzunluğu boyunca çizgisel olarak sabit bir ısı akısı uygulandığı kabul edilmiştir.

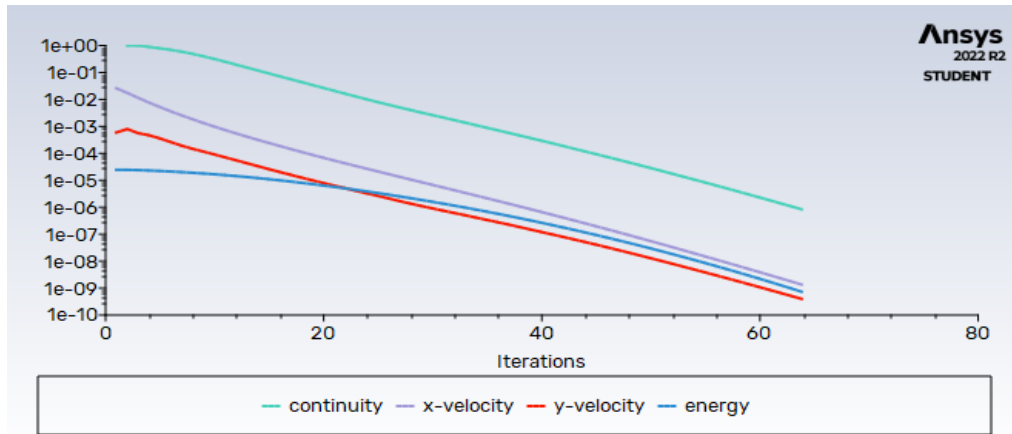
Bu çalışmalarda ilk önce baz akışkanın söz konusu olan geometrilerdeki akışını incelenmiştir. Sonrasında ise nanoakışkanın söz konusu geometrilerdeki davranışları incelenmiştir. Nanoparçacıkların yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı değerleri Tablo 1'den alınmıştır. Baz akışkanın yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozite değerleri ise Tablo 3'ten alınmıştır. Bu bilgilere binaen aşağıdaki değerler elde edilmiştir. Nanoakışkanın yoğunluk ve özgül ısı değerleri (14) ve (16) numaralı denklemlerden yararlanılarak elde edilmiştir. Nanoakışkanların ısı iletim katsayısı ise Tablo 4'ten Maxwell 1881 ısı iletim modelinden elde edilmiştir. Nanoakışkanların dinamik viskoziteleri ise Tablo 9'dan Brinkman dinamik viskozite

modelinden yararlanılarak elde edilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan nanoakışkanlar ve baz akışkanların yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozite değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Tablo 12’de tez çalışmasında yapılan sayısal çalışmalarda kullanılan baz akışkan ve nanoakışkana ait matematiksel modellerden elde edilen ampirik bağıntılar yardımı ile elde edilen ısı iletim katsayısı, özgül ısı, yoğunluk ve dinamik viskoziteler verilmiştir.

Tablo 12. Sayısal çalışmalarda kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri

Nanoakışkan	Yoğunluk (kg/m ³)	Özgül Isı (J/kg*K)	Isı İletim Katsayısı (W/m*K)	Dinamik Viskozite (kg/m*s)
%4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	1117.072	3696.248	0.6683	1.105e-3
%2 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	1057.636	3925.475	0.6319	1.0497e-3
%4 MgO+H ₂ O	1100.672	3764.505	0.6692	1.105e-3
%4 TiO ₂ +H ₂ O	1127.472	3764.505	0.6572	1.105e-3
%4 CuO+H ₂ O	1218.272	3403.796	0.6651	1.105e-3
4 Al ₂ O ₃ +(EG+H ₂ O (1/1))	1118.88	2944.069	0.4261	4.363e-4

Şekil 24’te iterasyon sayısı ile süreklilik, x yönündeki ve y yönündeki hızın değişiminin enerji denklemine göre davranışı anlatılmaktadır. Bu grafikte mutlak kriter 10⁻⁶’dır.



Şekil 24. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanı için iterasyon grafiği

Tablo 13'te baz akışkanın boru bölgelerindeki ortalama hız değerleri verilmiştir. Tablo 14'te ise nanoakışkanın boru bölgelerinde ortalama hız değerleri verilmiştir.

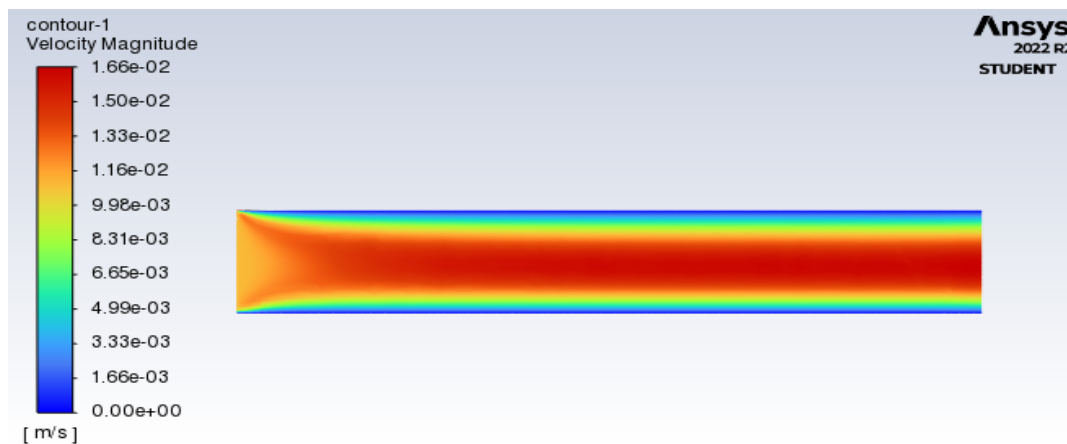
Tablo 13. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.01117097
Boru çıkışı	0.010999523
Boru üst duvarı	0

Tablo 14. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanın boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.011171098
Boru çıkışı	0.010999524
Boru üst duvarı	0

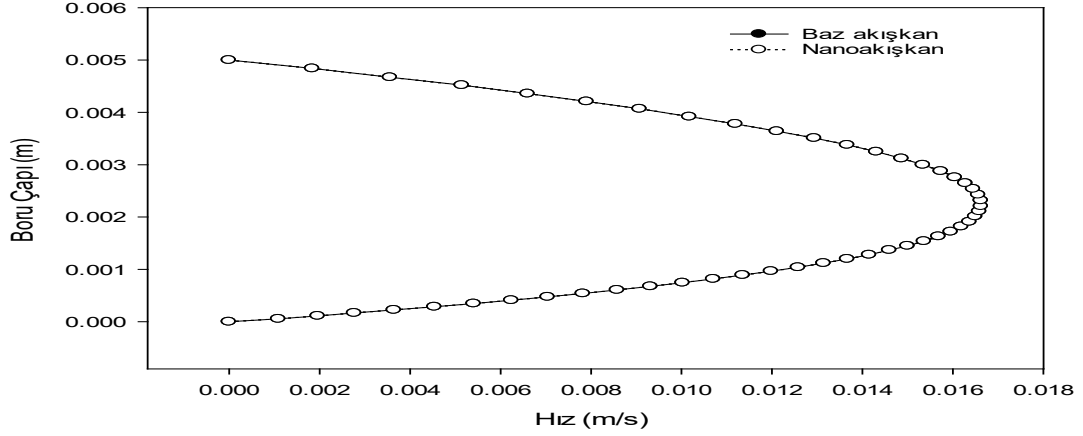
Şekil 25'te nanoakışkanın boru uzunluğu boyunca aldığı hız değerleri gösterilmektedir. Akışkanın hızı boru duvarlarında sıfır olup borunun duvarlarından borunun merkezine doğru gidildikçe akışkanın hızı artış göstermiştir. Akışkanın hızının borunun merkezinde en yüksek değerlere ulaştığı gözlenmiştir.



Şekil 25. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının hızının boru uzunluğu boyunca değişimi

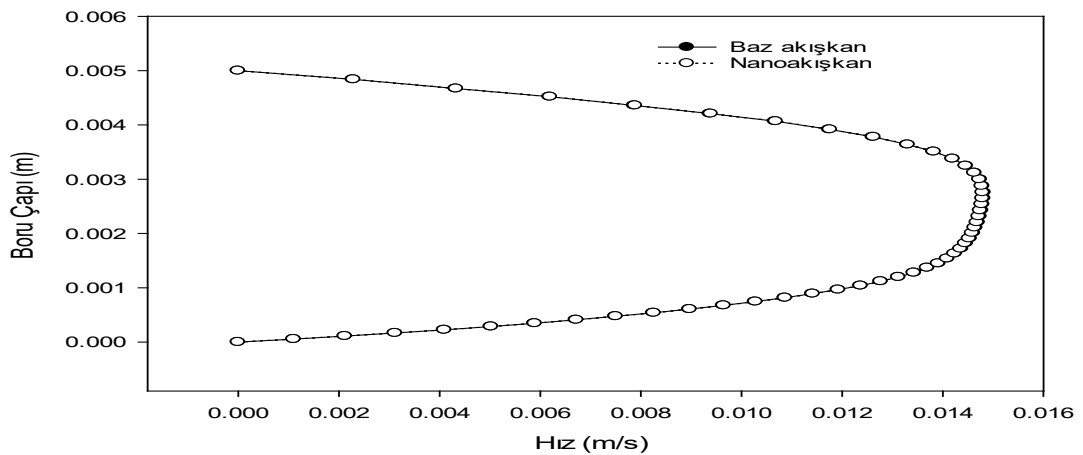
Şekil 26'da tek bir grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hızlarının boru çıkışında boru çapı yönünde olan değişimleri

karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru çıkışında borunun merkezinde tam ortasında akışkan hızı en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda borunun alt ve üst çeperlerinde akışkan hızının sıfır olduğu gözlenmiştir.



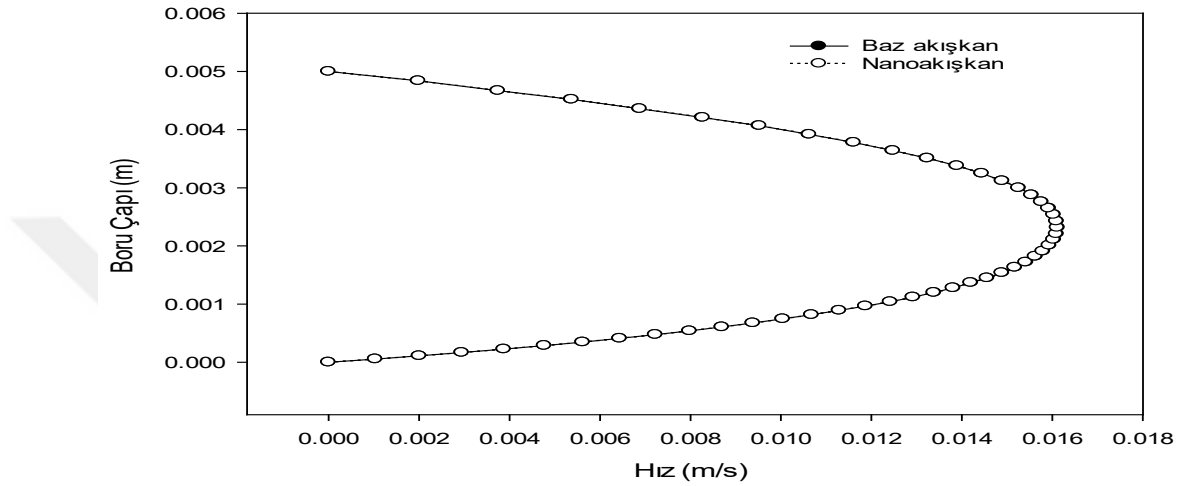
Şekil 26. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hızının $x=0.030$ m'de boru çapı boyunca karşılaştırılması

Şekil 27'de aynı başlangıç ve sınır koşullarında borunun girişinden itibaren 5 mm uzaklıkta baz akışkan ve nanoakışkanın boru çapındaki hız değişimleri gösterilmiştir. Akışkan hızı yine boru çeperlerinde $y=0$ ve $y=0.005$ m konumlarında sıfır değerlerinde olduğu gözlenmiştir. Tam gelişmiş bir akış değildir. Akışkan hızı borunun merkezi boyunca en yüksek değerde olmayıp biraz daha boru üst duvarına yakın kısımda en yüksek değerini almıştır. Akış gelişmekte olan bir akıştır.



Şekil 27. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nano akışkanının baz akışkana göre hızının $x=0.005$ m'de boru çapı boyunca karşılaştırılması

Şekil 28’de aynı başlangıç ve sınır koşullarında borunun girişinden itibaren 10 mm uzaklıkta baz akışkan ve nanoakışkanın boru çapı boyunca olan hız değişimleri gösterilmiştir. Akış gelişmekte olan bir akıştır. Yine akışkan hızı en yüksek değeri borunun orta kısmında almaktadır. Borunun üst duvarında ve borunun alt duvarında hızın sıfır olduğu gözlenmiştir.



Şekil 28. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanın baz akışkana göre hızının $x=0.010$ m’de boru çapı boyunca karşılaştırılması

Şimdi ise akım fonksiyonu kavramı incelenirse,

Aşağıdaki Tablo 15 ve Tablo 16’da görüldüğü üzere akışkanın akım fonksiyonu borunun alt duvarında sıfır değerini alırken Tablo 15, 16’da boru bölgelerinde baz akışkanın ve nanoakışkanın aldığı akım fonksiyonu değerlerinin ortalama değerleri verilmektedir.

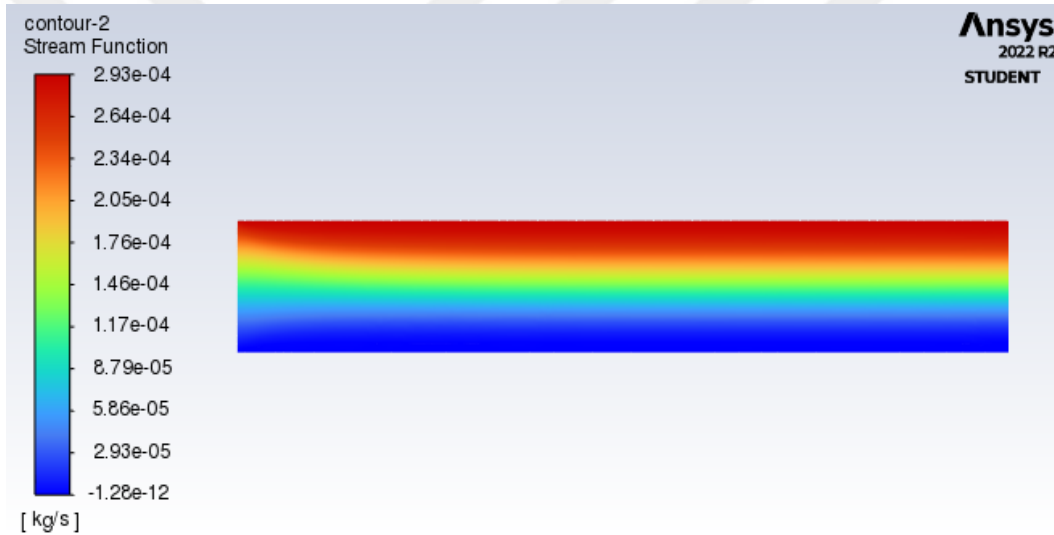
Tablo 15. H_2O baz akışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	1.4589169e-06
Boru girişi	0.00013065076
Boru iç yüzeyi	0.00014487091
Boru çıkışı	0.00014958816
Boru üst duvarı	0.00025863698

Tablo 16. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanın boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri

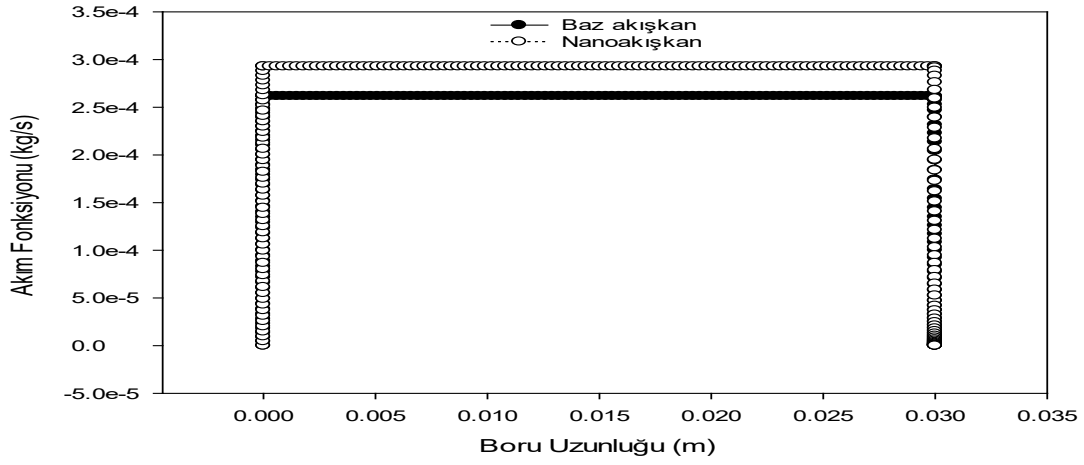
Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	1.633452e-06
Boru girişi	0.00014620937
Boru iç yüzeyi	0.00016210167
Boru çıkışı	0.00016739747
Boru üst duvarı	0.00028943283

Şekil 29’da görüldüğü üzere nanoakışkanın akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca nasıl değiştiği gösterilmektedir. Akışkanın akım fonksiyonu boru üst duvarı boyunca en yüksek değerlerde seyrederken borunun alt duvarı boyunca sıfır değerini almıştır. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir.



Şekil 29. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 30’daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonlarının boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 30’a göre akım fonksiyonu değerleri boru girişinden boru üst duvarına doğru boru üst duvarı boyunca en yüksek değerlerde seyretmiştir. Boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru akışkanın akım fonksiyonu sıfıra yaklaşmıştır. Boru alt duvarı boyunca akışkanın akım fonksiyonu sıfır değerinde olmuştur. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Akışkanın akım fonksiyonu boru çapı boyunca artış göstermiştir.



Şekil 30. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanın baz akışkana göre akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

Tablo 17, 18’de baz akışkanın ve nanoakışkanın boru bölgelerinde aldığı ortalama sıcaklık değerleri verilmektedir.

Tablo 17. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri

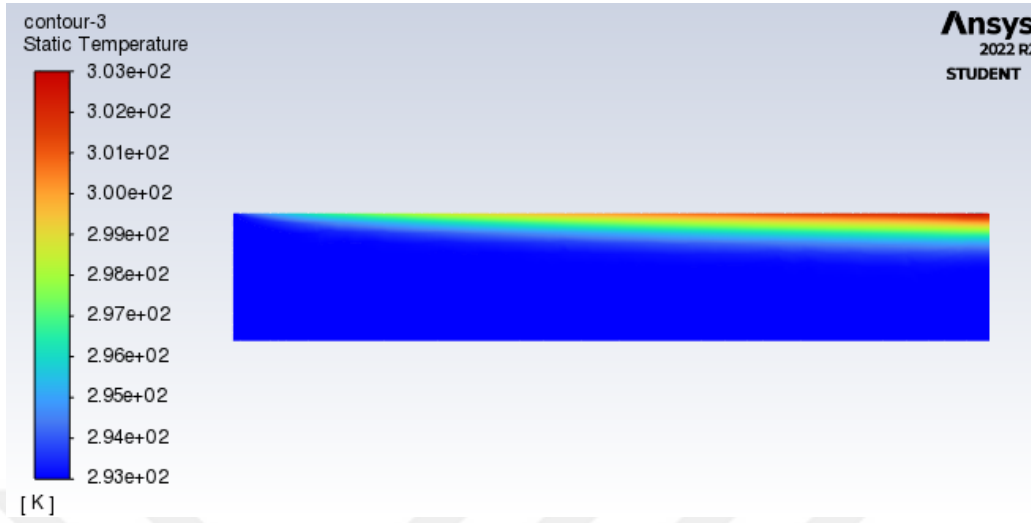
Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00002
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.03378
Boru çıkışı	295.13285
Boru üst duvarı	300.1675

Tablo 18. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00002
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.01557
Boru çıkışı	295.07956
Boru üst duvarı	299.70583

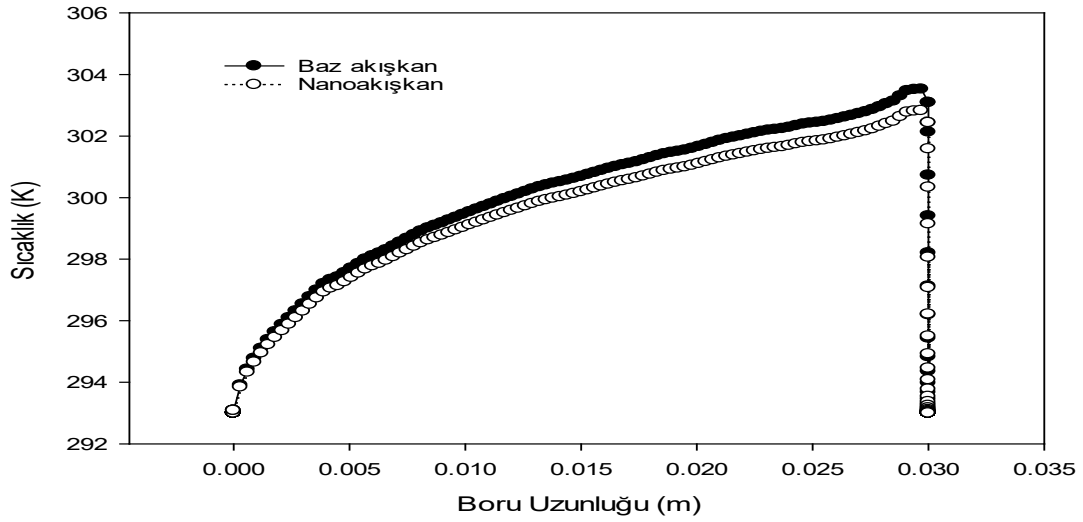
Şekil 31’de akışkanın boru uzunluğu boyunca aldığı sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Akışkanın sıcaklığı boru üst duvarında en yüksek değerleri almıştır. Bu durumun esas nedeni borunun üst duvarı boyunca sabit ısı akısının uygulanmış

olmasıdır.



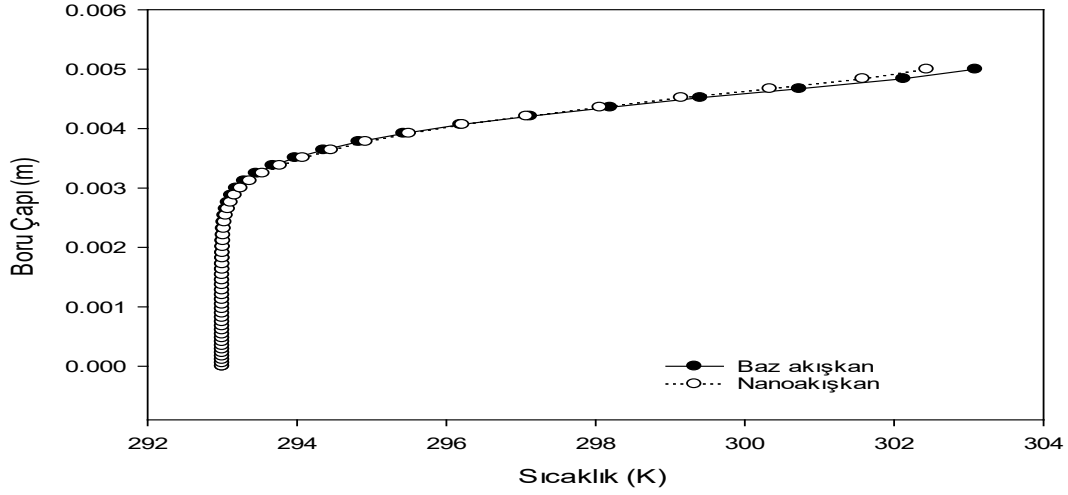
Şekil 31. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 32’de tek bir grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerini boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın boru üst duvarı boyunca sıcaklığı daha fazla olmuştur nano akışkanın sıcaklığına göre. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü baz akışkanın dinamik viskozitesi nano akışkanın dinamik viskozitesine göre daha azdır. Akışkanın dinamik viskozitesi azaldıkça sıcaklığı artmaktadır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



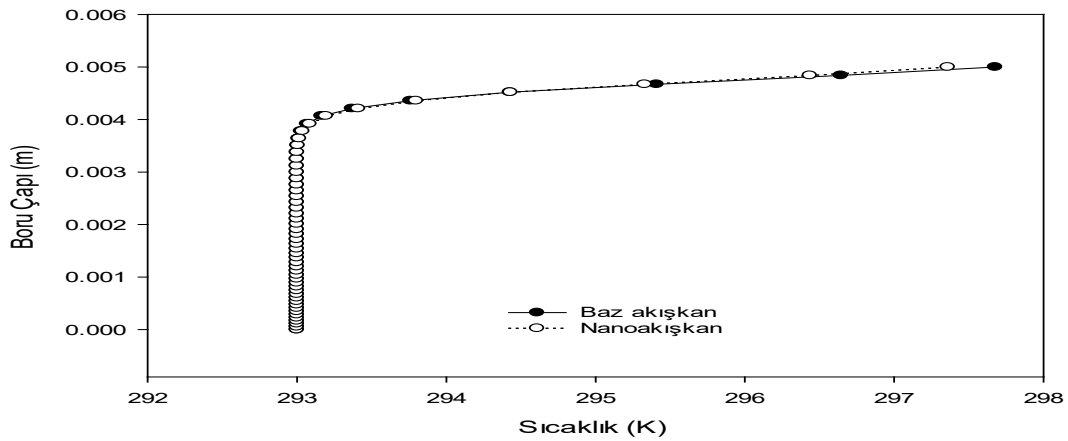
Şekil 32. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklığının boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

Şekil 33'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru alt duvarında akışkanın sıcaklığında borunun girişindeki sıcaklığa göre bir değişme olmamıştır. Boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulnadığı için akışkanın sıcaklığı boru üst duvarına doğru atırış göstermiştir ve boru üst duvarında en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda nanoakışkanın sıcaklığının baz akışkanın sıcaklığına göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni nanoakışkanın dinamik viskozite değerlerinin baz akışkanın dinamik viskozite değerlerine göre daha fazla olması olarak bilinmiştir. Çünkü sıvıların dinamik viskoziteleri arttıkça sıcaklıkları azalır.

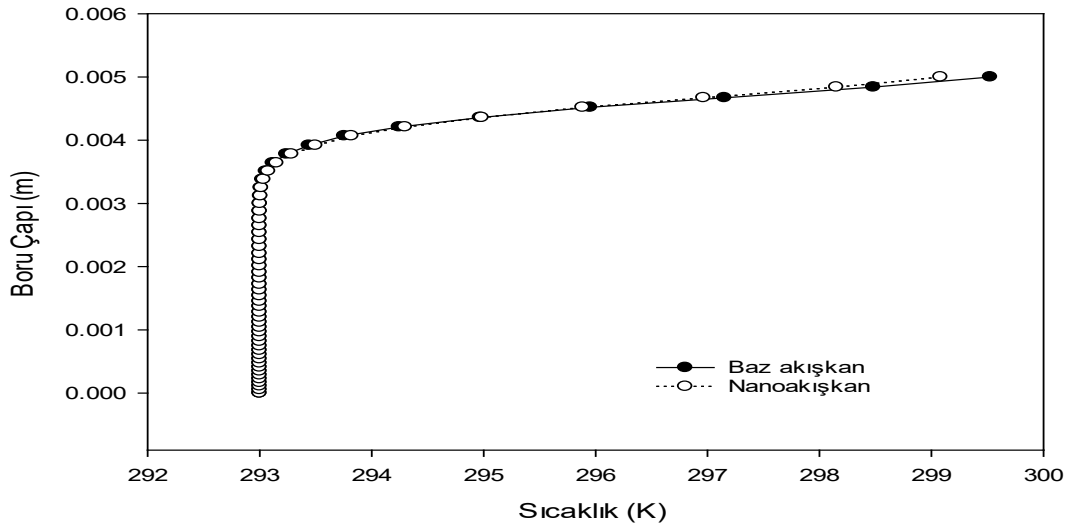


Şekil 33. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanın baz akışkana göre sıcaklığının $x=0.030$ m'de boru çapı boyunca karşılaştırılması

Şekil 34, 35'teki grafiklerde borunun girişinden itibaren sırasıyla 5 mm ve 10 mm uzaklıkta boru çapı boyunca olan baz akışkanın ve nanoakışkanın sıcaklıklarının değişimleri gösterilmiştir. Borunun girişinden 5 mm uzaklıkta boru çapı boyunca akışkanın sıcaklığı en yüksek değer daha geç ulaşmıştır. Boru girişinden 10 mm uzaklıkta biraz daha geç en yüksek sıcaklığına ulaşmıştır akışkan. Yine nano akışkanın dinamik viskozitesi baz akışkanının dinamik viskozitesinden daha fazla olduğu için nano akışkan baz akışkana göre daha düşük sıcaklıklara sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 34. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanın baz akışkana göre sıcaklığının $x=0.005$ m'de boru çapı boyunca karşılaştırılması



Şekil 35. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanın baz akışkana göre sıcaklığının $x=0.010$ m’de boru çapı boyunca karşılaştırılması

Şimdi ise entropi kavramı incelenmektedir Sistemden dışarıya geçen ısı arttıkça sistemde oluşan entropi azalır (URL-7). Tablo 19, 20’de baz akışkan ve nanoakışkanın boru bölgelerindeki ortalama entropi değerleri verilmiştir.

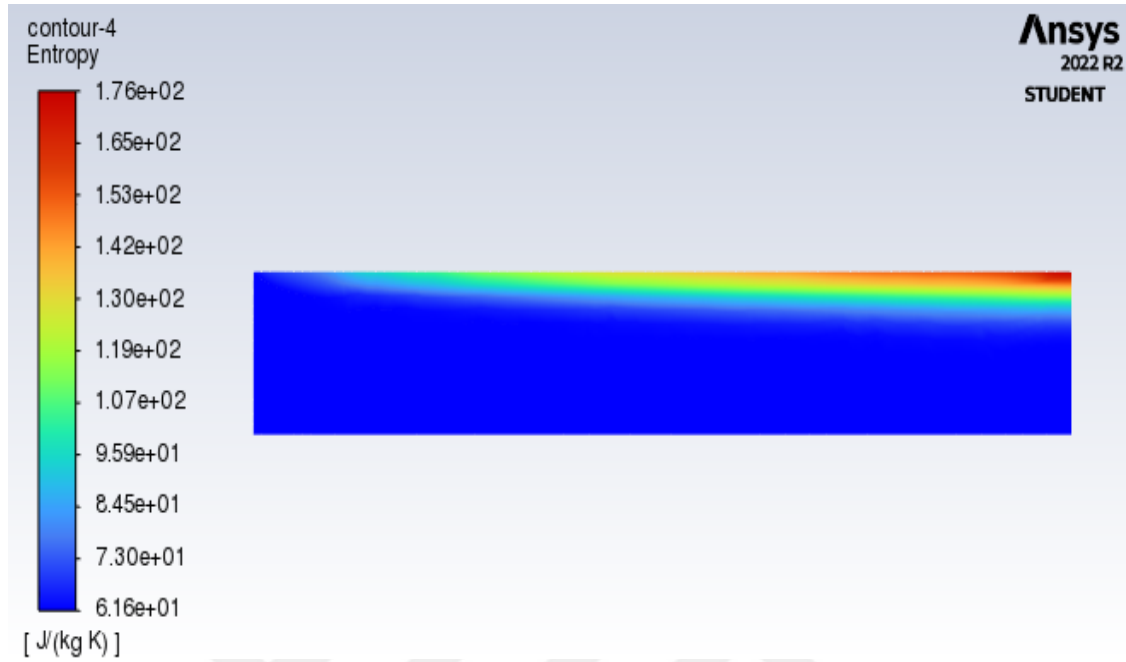
Tablo 19. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	69.65846
Boru girişi	69.746629
Boru iç yüzeyi	84.294487
Boru çıkışı	99.768891
Boru üst duvarı	149.20581

Tablo 20. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri

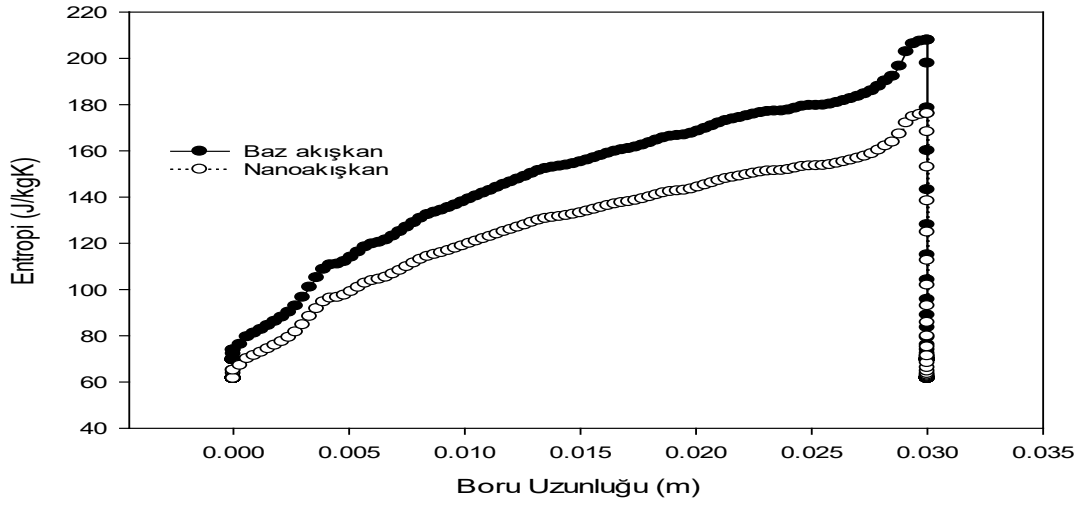
Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	61.567449
Boru girişi	61.644095
Boru iç yüzeyi	74.281708
Boru çıkışı	87.53366
Boru üst duvarı	128.19523

Şekil 36’da nanoakışkanın boru uzunluğu boyunca entropisinin nasıl olduğu anlatılmaktadır.



Şekil 36. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 37’deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın entropi değerleri nanoakışkanın entropi değerlerine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (22) numaralı denkleme göre sıcaklık gradyeni arttıkça entropi artış gösterir. Baz akışkan nanoakışkana göre daha fazla sıcaklıklara ulaşabildiği için baz akışkana ait entropi değerleri nanoakışkana ait entropi değerlerinden daha fazla olmuştur. Entropi değerlerinin sıcaklık değişiminin olduğu boru üst duvarında özellikle değişim gösterdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç entropi değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 37. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanın baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

Tablo 21. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	734.15386

Tablo 22. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri

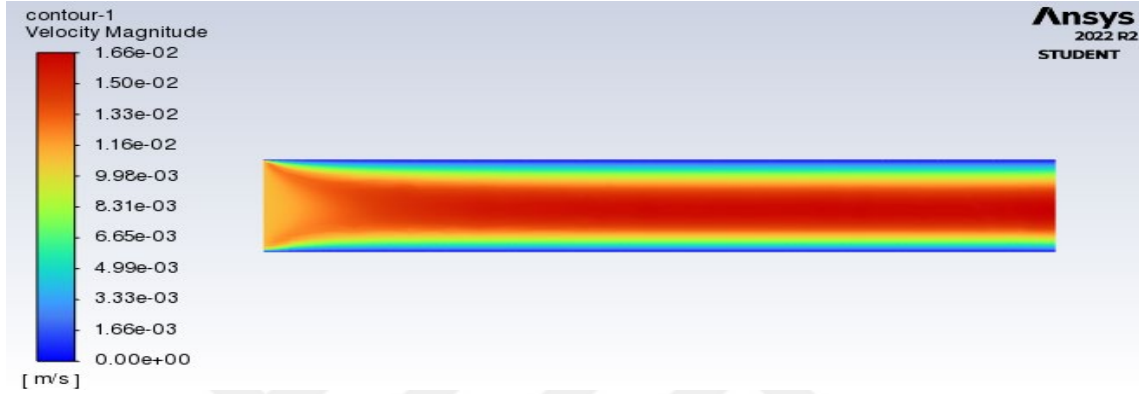
Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	679.90027

4.1. Farklı Hacimsel Oranlarda Nanoparçacıkların Kullanılması İle Oluşturulan Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi

Aynı geometriye sahip dairesel kesitli boruda aynı baz akışkan kullanılmıştır ancak bu sefer %2 oranında Al_2O_3 nanoparçacığı kullanılarak hazırlanmış olan nanoakışkan kullanılmaktadır.

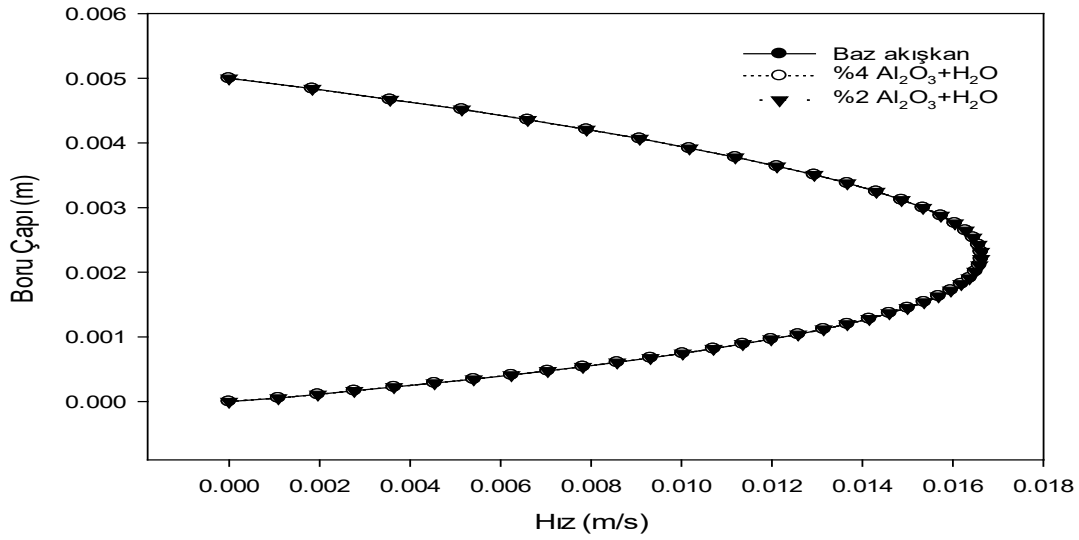
Tablo 23. %2 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanın boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.011171058
Boru çıkışı	0.010999524
Boru üst duvarı	0



Şekil 38. %2 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

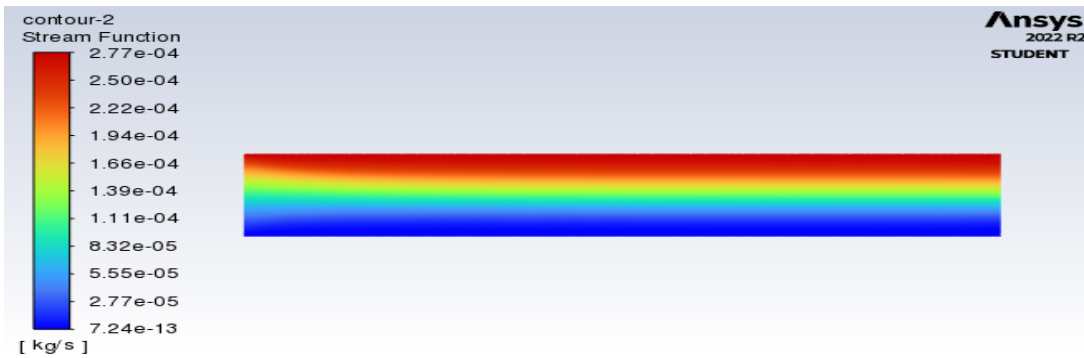
Şekil 39'daki grafikte baz akışkan ile %2 ve %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hızlarının boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Aynı şekilde akışkanın hız değerlerinde pek bir değişiklik gözlenmemiştir. Nanoparçacık hacimsel oranının değiştirilmesi sonucunda da nanoakışkanın baz akışkan ile olan hızı arasında önemli bir değişme gözlemlenmemiştir. Akışkanın hızının boru uzunluğu boyunca boru merkezinde en yüksek olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 39. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre hızlarının borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

Tablo 24. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri

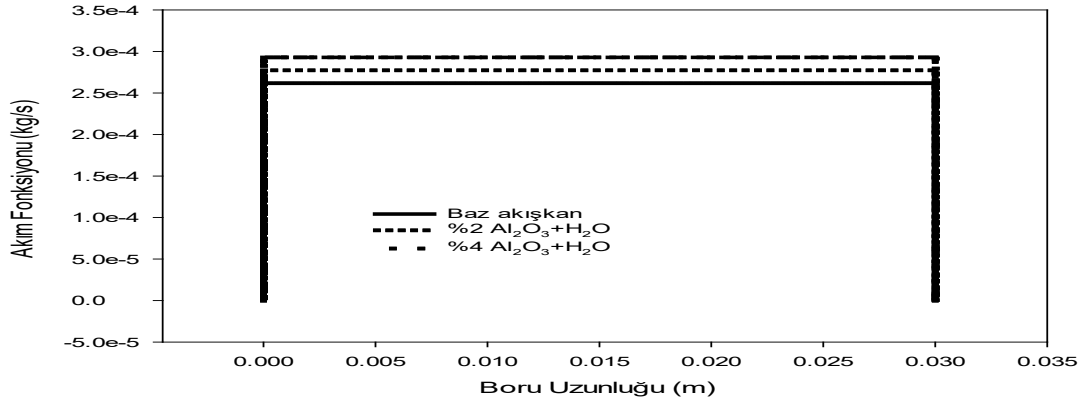
Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	1.5463056e-06
Boru girişi	0.00013843005
Boru iç yüzeyi	0.00015348308
Boru çıkışı	0.00015849214
Boru üst duvarı	0.00027403427



Şekil 40. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 41'deki grafikte baz akışkan ile %2 ve %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak

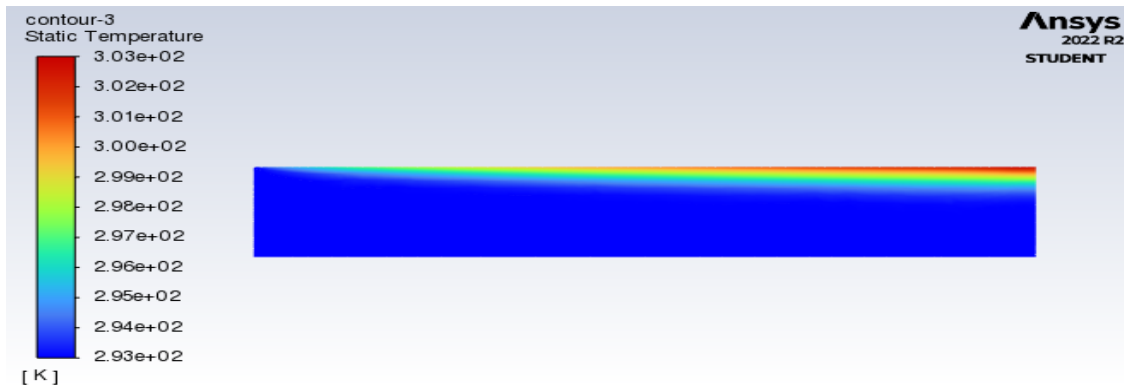
verilmiştir. Nanoparçacık hacimsel oranının artması ile beraber nanoakışkanın akım fonksiyonu artar. Akım fonksiyonu boru üst duvarı boyunca en fazla değeri almaktadır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonu değerlerinin yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 41. %4 Al₂O₃+H₂O ve %2 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanlarının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

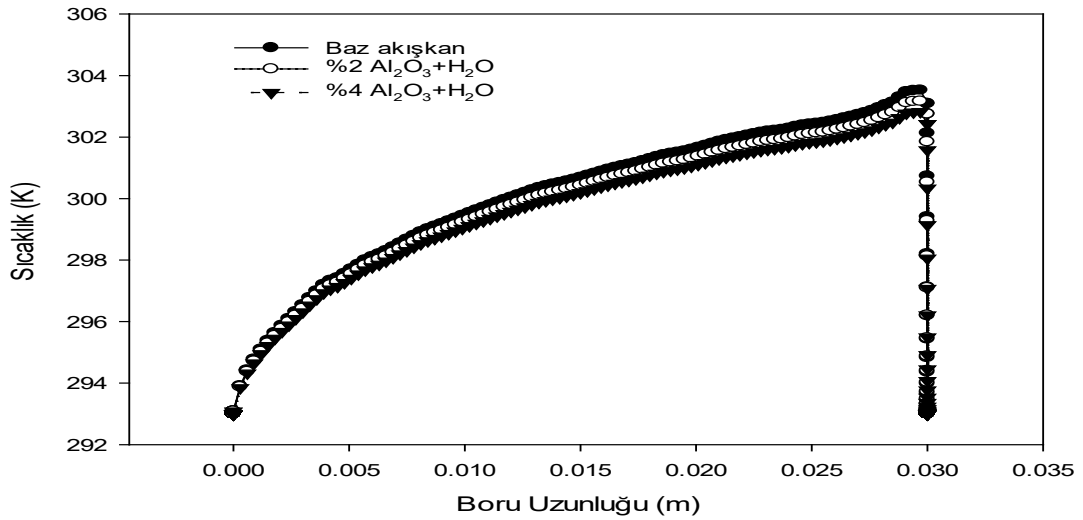
Tablo 25. %2 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00002
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.02445
Boru çıkışı	295.10566
Boru üst duvarı	299.9305



Şekil 42. %2 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

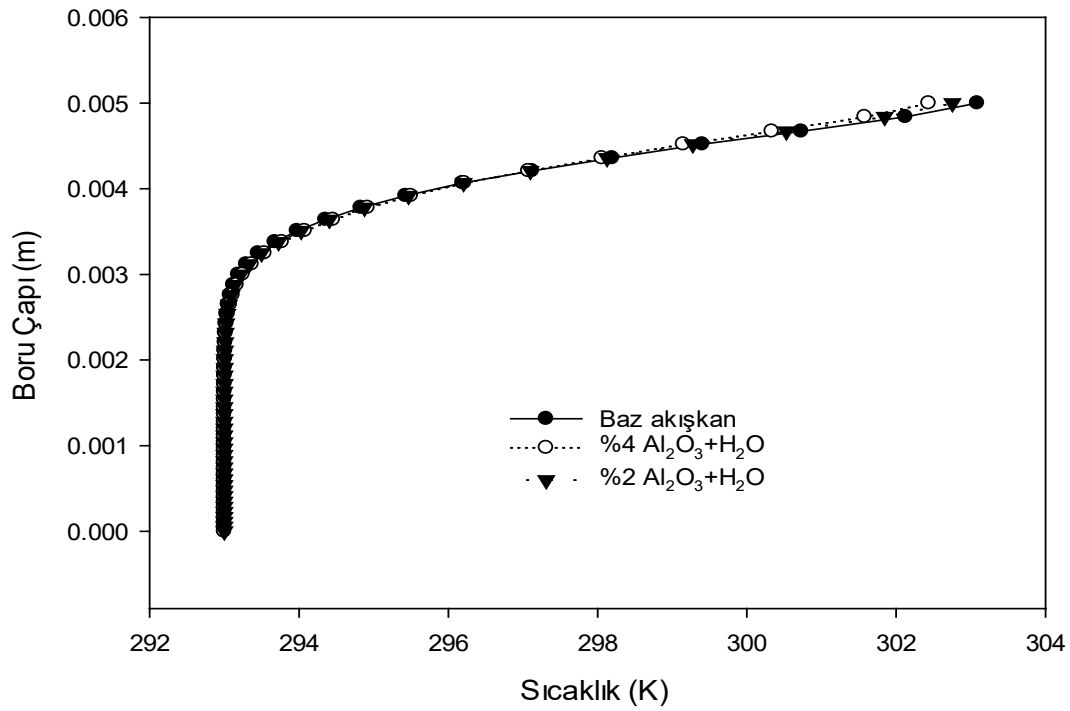
Şekil 43'teki grafikte baz akışkan ile %2 ve %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanların sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Nanoakışkandaki nano parçacık hacimsel oranı arttıkça nanoakışkanın sıcaklığı azalış göstermiştir. Bu durumun nedeni nanoparçacık hacimsel oranının artması nanoakışkanın dinamik viskozitesini arttıracak bu yüzden de akışkanın sıcaklığı azalacaktır. Ancak özellikle boru üst duvarı boyunca akışkanın sıcaklığı artmıştır. Bu durumun nedeni ise boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulanmasına bağlı olarak sıcaklığın artması beklenmiştir. Akışkan sıcaklığı boru uzunluğu boyunca artış göstermiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 43. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre sıcaklığının boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

Şekil 44'teki grafikte baz akışkan ile %2 ve %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanların sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru alt duvarından yaklaşık 3 mm yukarı çıkıldıkça akışkan sıcaklığı sabit olarak devam etmiştir. Ancak 3 mm'den sonra akışkan sıcaklığında artış gözlemlenmiştir. Tam 5 mm'de yani boru üst duvarında akışkan sıcaklığı en yüksek değerini almıştır. Bu durumun nedeni ise boru üst duvarına daha da yakın olduğu için akışkan boru üst duvarına sabit olarak uygulanan ısı akısına daha çok maruz kalmıştır. Baz akışkan en yüksek sıcaklığa ulaşmıştır. Bu

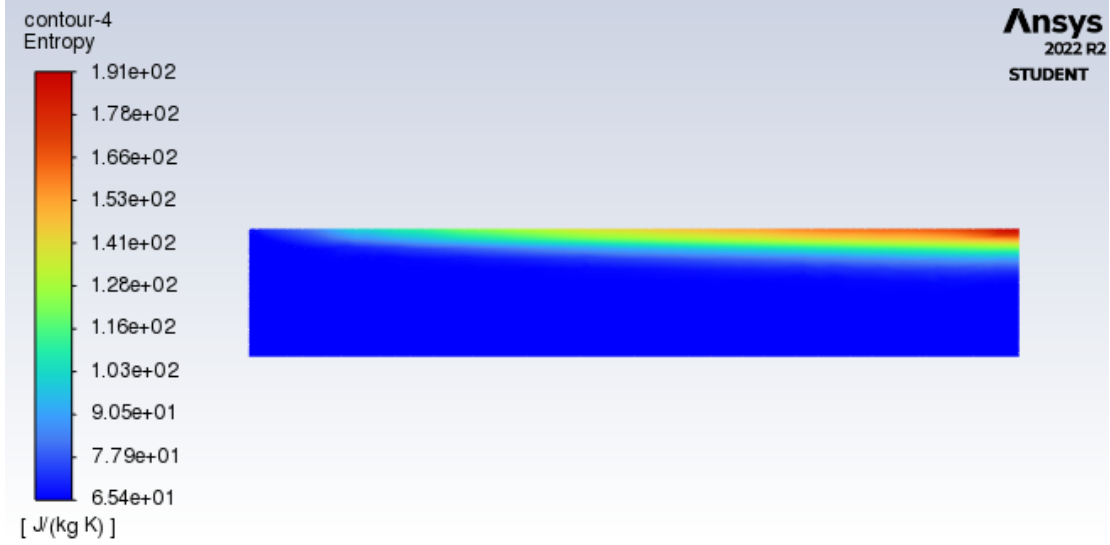
durumun nedeni baz akışkanın dinamik viskozite değeri nanoakışkanların dinamik viskozite değerlerinden daha az oluşudur. Hatırlandığı üzere sıvılarda dinamik viskozite arttıkça sıcaklık azalış gözlemlenmiştir. Aynı zamanda nanoakışkan içerisindeki nanoparçack çapının artırılması nanoakışkanın dinamik viskozitesinin artmasına ve akışkanın dinamik viskozitesi arttıkça sıcaklığı azalır.



Şekil 44. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre sıcaklığının borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

Tablo 26. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri

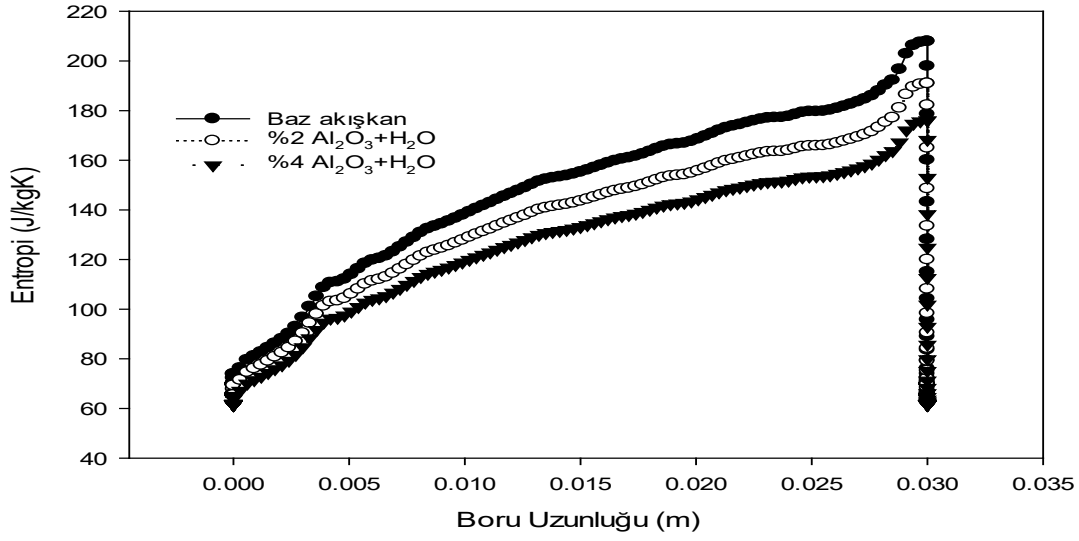
Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	65.385604
Boru girişi	65.467681
Boru iç yüzeyi	79.003312
Boru çıkışı	93.298689
Boru üst duvarı	138.05718



Şekil 45. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 45'te nanoakışkanın boru uzunluğu boyunca aldığı entropi değerleri gösterilmiştir.

Şekil 46'daki grafikte baz akışkan ile %2 ve %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanların entropi değerlerinin yatay boru mesafesi boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Borunun üst duvarı boyunca entropi değerleri artmıştır. Bu durumun iki tane nedeni vardır. Entropi ile ilgili (22) numaralı denklem incelendiği zaman entropi değerlerinin sıcaklık gradyeni ile arttığı gözlenmektedir. Baz akışkanın sıcaklık gradyeninin nanoakışkanın sıcaklık gradyenine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü nanoakışkanın dinamik viskozitesi baz akışkanın dinamik viskozitesine göre daha azdır. Aynı zamanda boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulandığı için boru üst duvarında daha çok ısı transferi meydana gelecektir ve akışkan içerisindeki ısıyı atacaktır. Akışkan dışarıya ne kadar çok ısı atarsa entropi değeri o kadar az olacağı için nanoakışkanın entropisi baz akışkanın entropisinden daha az olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda nanoakışkan içerisindeki nanoparçacık hacimsel oranı arttıkça akışkan daha çok ısıyı dışarıya atacağı için hem akışkanın sıcaklığında azalış gözlemlenecektir hem de akışkanın entropi değeri azalış gözlemlenecektir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç entropisine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 46. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ve %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

Tablo 27. %2 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	706.44258

4.2. Geometrik Ağ Sıklığı Kontrol Analizi

Baz akışkan olarak su ve nanoparçacık olarak da %4 oranında alüminyum oksit kullanılan bir nanoakışkanın akış analizinde aynı geometriye sahip dairesel kesitli borunun üst duvarı, alt duvarı, giriş ve çıkışını ifade eden kenarlarda ağ yapısının değiştirilmediği ve iki katına çıkarıldığı durumların karşılaştırılarak meydana gelen değişim oranının belirlenmesi sağlanacaktır. Ağ yapısı dörtgen gibi olarak tanımlanmıştır. (28) numaralı denklemde ise ortalama değerler borunun tüm bölgelerindeki akışkana ait hız, akım fonksiyonu, sıcaklık ve entropi değerlerinin toplanarak boru bölge sayısına bölünmesi ile elde edilen değerlerdir. Ağ yapısını 2 kat sıklaştırarak meydana gelen değişim oranı numaralı denklemde olduğu gibi hesaplanır.

$$\% \text{ Değişim Oranı} = \frac{|\text{Ortalama Deneysel Değer} - \text{Ortalama Gerçek Değer}|}{|\text{Ortalama Gerçek Değer}|} * 100 \quad (28)$$

5 mm çapında 30 mm uzunluğundaki dairesel kesitli boruda mesh ağ yapısı için

aşağıdaki açıklamalar yapılmıştır:

- 5 mm’lik kenarlar 50 bölmeye ayrılmıştır.
- 30 mm’lik kenarlar 100 bölmeye ayrılmıştır.

Yukarıdaki işlemlerle elde edilen değerler nano akışkanın gerçek değerlerini temsil etmektedir.

- 5 mm’lik kenarlar 100 bölmeye ayrılmıştır
- 30 mm’lik kenarlar 200 bölmeye ayrılmıştır

Yukarıdaki işlemlerle elde edilen değerler nano akışkanın deneysel değerlerini temsil etmektedir. Tablo 28, 29, 30 ve 31’de akışkanın geçtiği geometrinin ağ yapısını değiştirilmesi ile meydana gelen termofiziksel özelliklerin değişimi verilmiştir.

Tablo 28. Nanoakışkanın gerçek ve deneysel hız değerleri

Bölge	Gerçek Değer	Deneysel Değer	Değişim (%)
Boru Alt Duvarı	0	0	
Boru Girişi	0.011	0.011	
Boru İç Yüzeyi	0.011171098	0.010289425	
Boru Çıkışı	0.010999524	0.01099955	
Boru Üst Duvarı	0	0	
Ortalama	0.006634124	0.006457795	2.730489277

Tablo 29. Nanoakışkanın gerçek ve deneysel akım fonksiyonu değerleri

Bölge	Gerçek Değer	Deneysel Değer	Değişim (%)
Boru Alt Duvarı	1.633452e-06	4.5942808e-07	
Boru Girişi	0.00014620937	0.00014636104	
Boru İç Yüzeyi	0.00016210167	0.00016877248	
Boru Çıkışı	0.00016739747	0.00016728921	
Boru Üst Duvarı	0.00028943283	0.00029196717	
Ortalama	0.0001533560524	0.0001549698656	1.052330948

Tablo 30. Nanoakışkanın gerçek ve deneysel sıcaklık değerleri

Bölge	Gerçek Değer	Deneysel Değer	Değişim (%)
Boru Alt Duvarı	293.00002	293.00002	
Boru Girişi	292.99999	292.99999	
Boru İç Yüzeyi	294.01557	294.3061	
Boru Çıkışı	295.07956	295.06566	
Boru Üst Duvarı	299.70583	299.80265	
Ortalama	294.96022	295.034884	0.025313244

Tablo 31. Nanoakışkanın gerçek ve deneysel entropi değerleri

Bölge	Gerçek Değer	Deneysel Değer	Değişim (%)
Boru Alt Duvarı	61.567449	61.567422	
Boru Girişi	61.644095	61.601867	
Boru İç Yüzeyi	74.281708	77.911813	
Boru Çıkışı	87.53366	87,363719	
Boru Üst Duvarı	128.19523	137.48644	
Ortalama	82.6444284	85.1862522	3.07561423

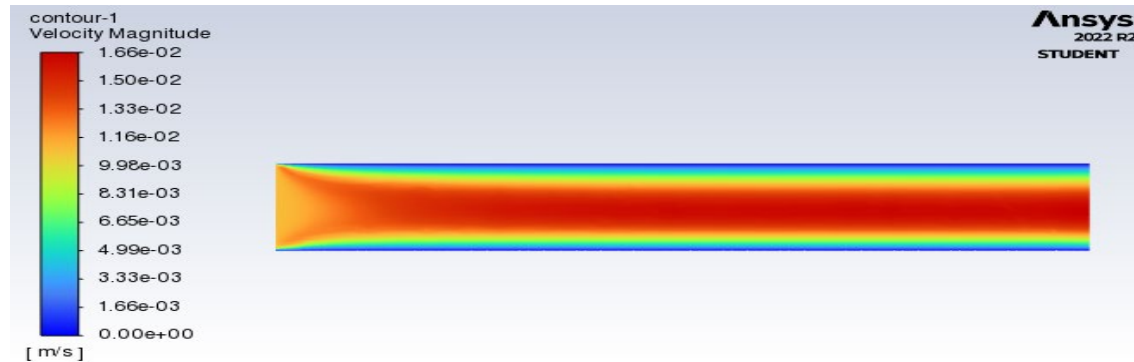
Yukarıdaki tablolara göre nanoakışkanın gerçek ve deneysel değerleri arasındaki hız, akım fonksiyonu, sıcaklık ve entropi değerleri arasında karşılaştırma yaptığımız zaman değişim oranlı en yüksek entropi değerleri arasında gözlemlenmiştir. Bu değişim oranı ise %3 değerindedir. Eğer bu değişim oranı %10 ve yukarısı olsaydı o zaman geometriye uygulanan ağ yapısının hatalı olduğundan bahsedilebilirdi. Ancak %3 değişim oranı oldukça uygun bir değer olup kabul edilebilir bir değer olduğu belirtilmiştir.

4.3. Farklı Nanoparçacık Kullanımı İle Akış Analizi Yapma

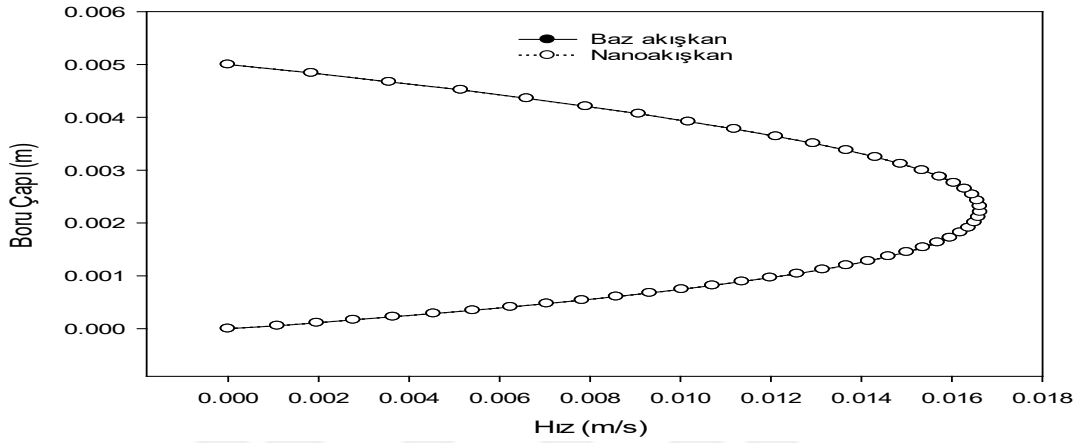
Aynı geometriye sahip dairesel kesitli boruda aynı baz akışkan kullanılmıştır ve nanoakışkan olarak %4 oranında MgO nanoparçacığı kullanılarak hazırlanmış olan nanoakışkan kullanılmaktadır.

Tablo 32. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının boru bölgelerindeki hız değerleri

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.011170921
Boru çıkışı	0.010999522
Boru üst duvarı	0

**Şekil 47.** %4 MgO+H₂O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

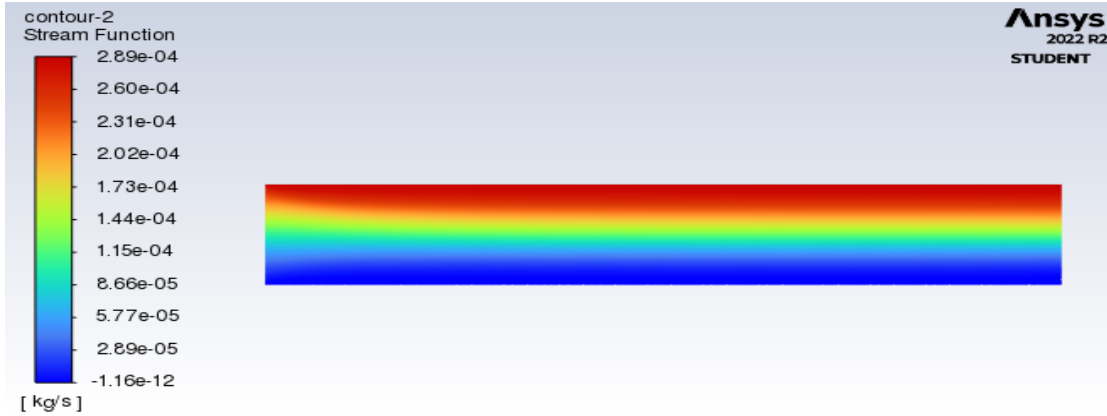
Şekil 48'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki magnezyum oksit içeren nanoakışkanın hızlarının değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru çıkışında borunun merkezinde tam ortasında akışkan hızı en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda borunun alt ve üst duvarlarında akışkan hızının sıfır olduğu gözlenmiştir.



Şekil 48. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre hızının borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

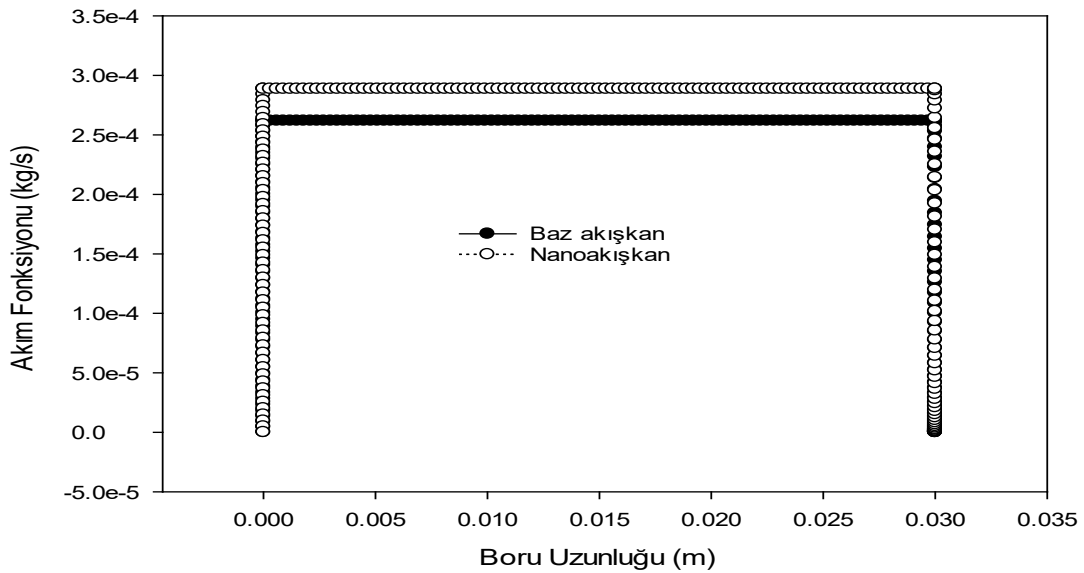
Tablo 33. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	1.6083837e-06
Boru girişi	0.00014406299
Boru iç yüzeyi	0.000159751
Boru çıkışı	0.00016494611
Boru üst duvarı	0.00028518944



Şekil 49. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

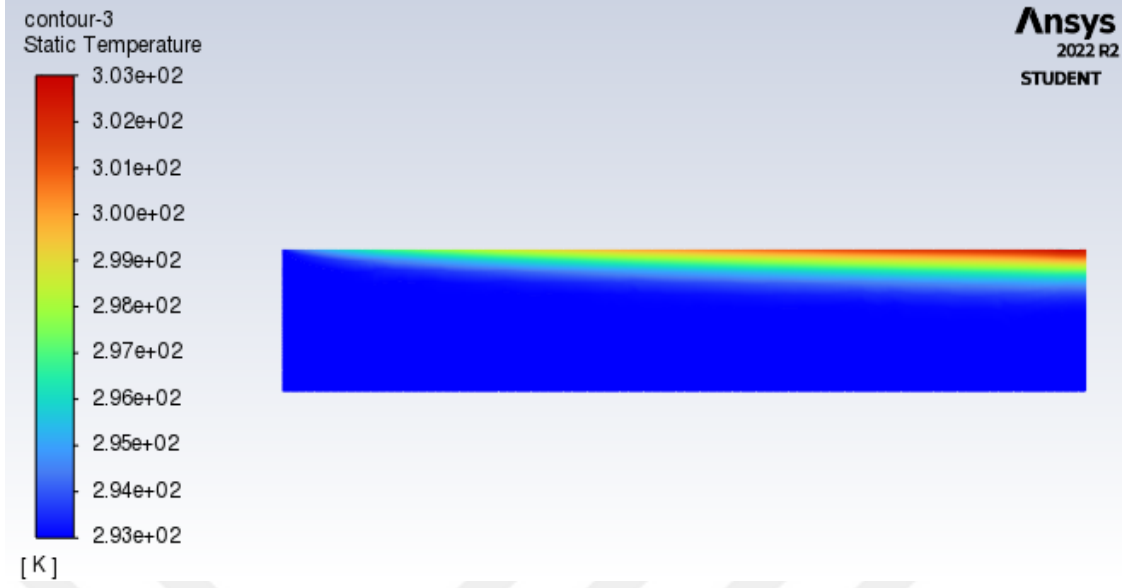
Şekil 50'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki magnezyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin yatay boru mesafesi boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Akışkanın akım fonksiyonu değerleri boru üst duvarı boyunca en yüksek değerlerde seyretmiştir. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Akışkanın akım fonksiyonu boru çapı boyunca artış göstermiştir. Nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin baz akışkanın akım fonksiyonu değerlerinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni ise nanoakışkanın hızının baz akışkanın hızından daha fazla olmuş olmasıdır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 50. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

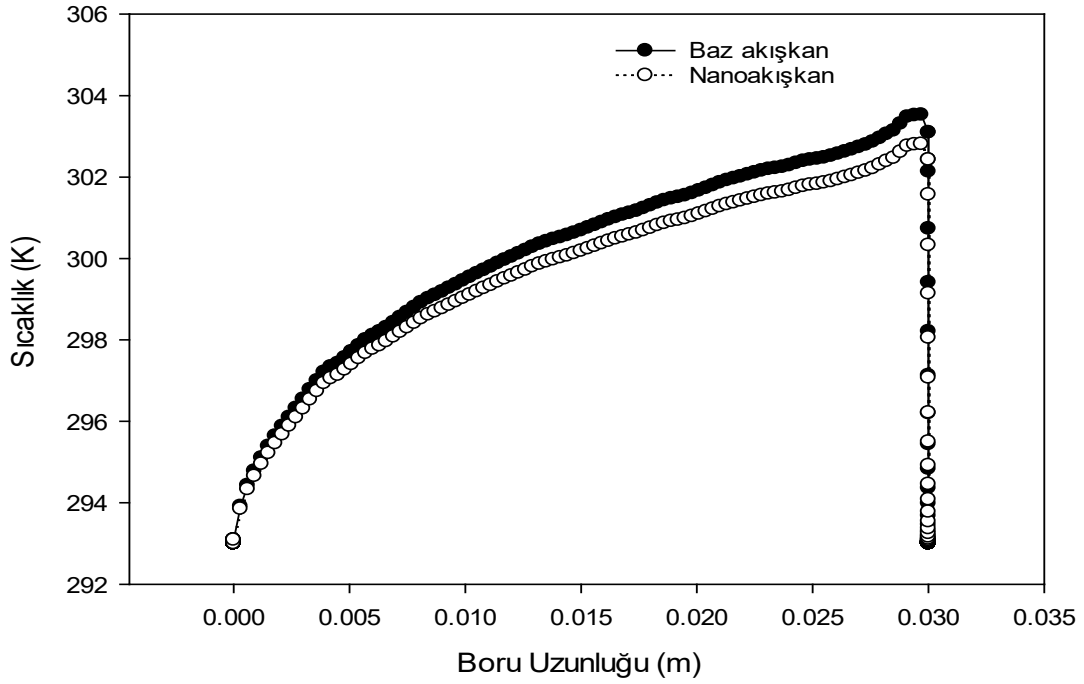
Tablo 34. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00002
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.01314
Boru çıkışı	295.07376
Boru üst duvarı	299.69437



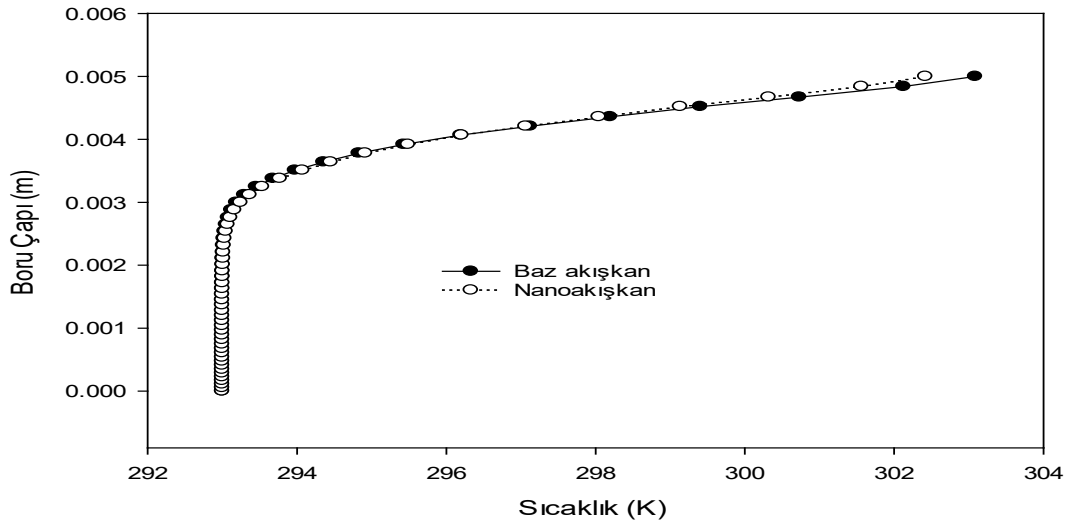
Şekil 51. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 52'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki magnezyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın boru üst duvarı boyunca sıcaklığı daha fazla olmuştur nano akışkanın sıcaklığına göre. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü baz akışkanın dinamik viskozitesi nano akışkanın dinamik viskozitesine göre daha azdır. Akışkanın dinamik viskozitesi azaldıkça sıcaklığı artmaktadır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 52. %4 $\text{MgO}+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

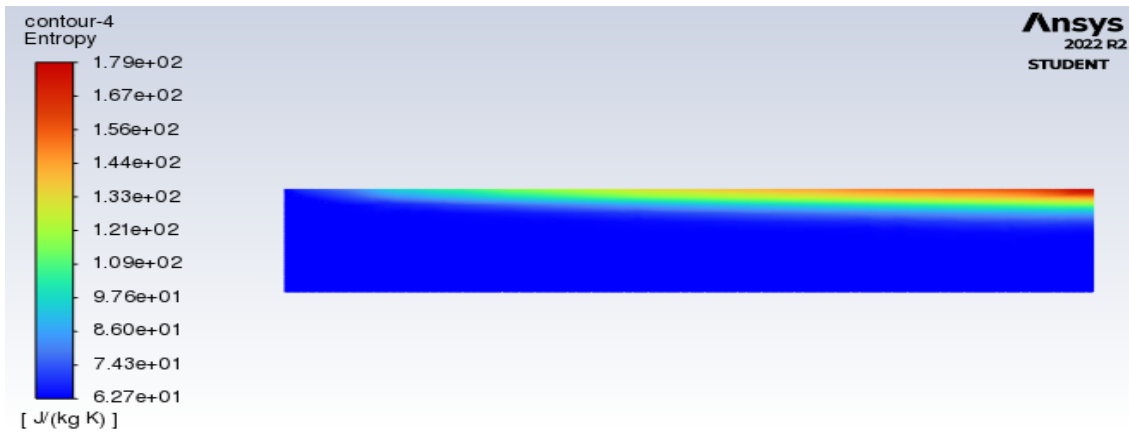
Şekil 53'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki magnezyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru alt duvarında akışkanın sıcaklığında borunun girişindeki sıcaklığa göre bir değişme olmamıştır. Boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulnadığı için akışkanın sıcaklığı boru üst duvarına doğru atırış göstermiştir ve boru üst duvarında en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir.



Şekil 53. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

Tablo 35. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri

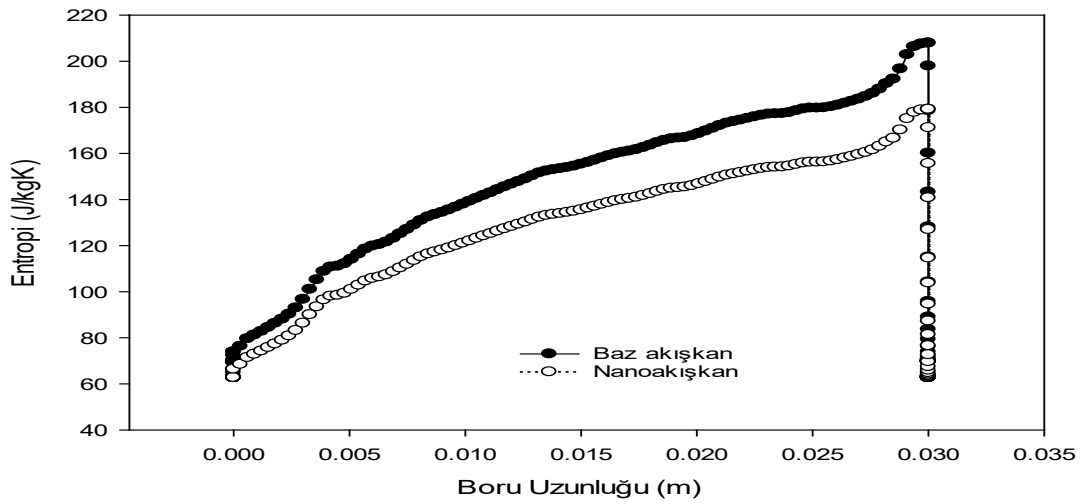
Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	62.704387
Boru girişi	62.782257
Boru iç yüzeyi	75.622653
Boru çıkışı	89.076882
Boru üst duvarı	130.44173



Şekil 54. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 55'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki magnezyum oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı

üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın boru üst duvarı boyunca sıcaklığı daha fazla olmuştur nanoakışkanın sıcaklığına göre. Bu durumda baz akışkanın sıcaklık gradyeni daha fazla olmuştur. Böylelikle baz akışkana ait entropi değerlerinin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü baz akışkanın dinamik viskozitesi nanoakışkanın dinamik viskozitesine göre daha azdır. Akışkanın dinamik viskozitesi azaldıkça sıcaklığı artmaktadır. Bu durumda da entropisi de artmaktadır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 55. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

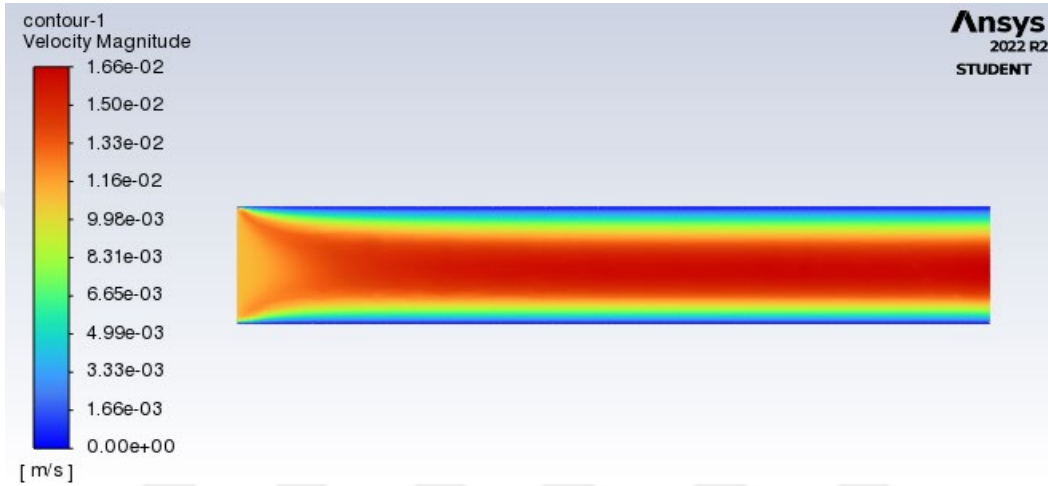
Tablo 36. %4 MgO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	679.55566

Şimdiki çalışmada aynı baz akışkan ve nanoakışkan olarak %4 oranında titanyum dioksit nanoparçacığı kullanılarak hazırlanmış olan nano akışkan kullanılmıştır.

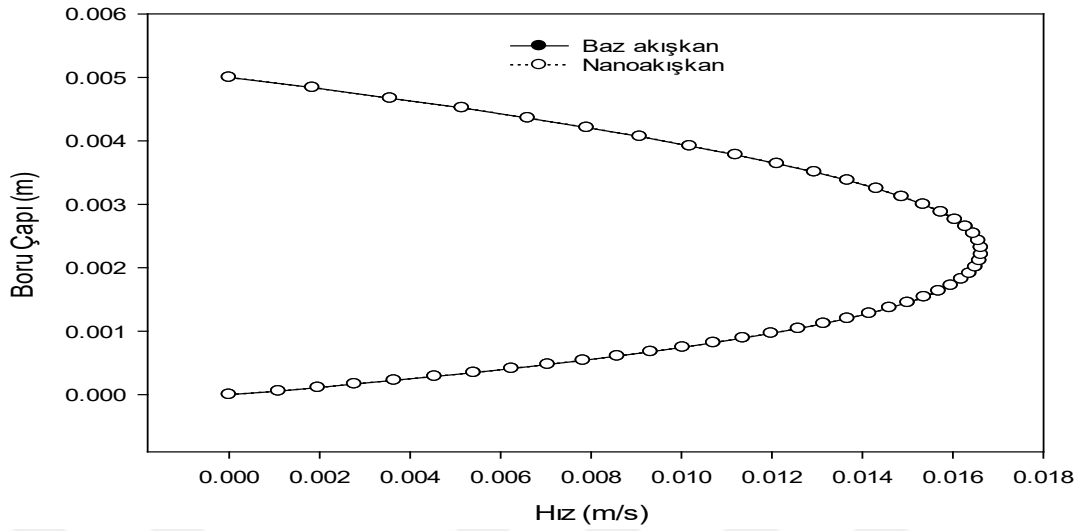
Tablo 37. %4 TiO₂+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.011171213
Boru çıkışı	0.010999525
Boru üst duvarı	0



Şekil 56. %4 TiO₂+H₂O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

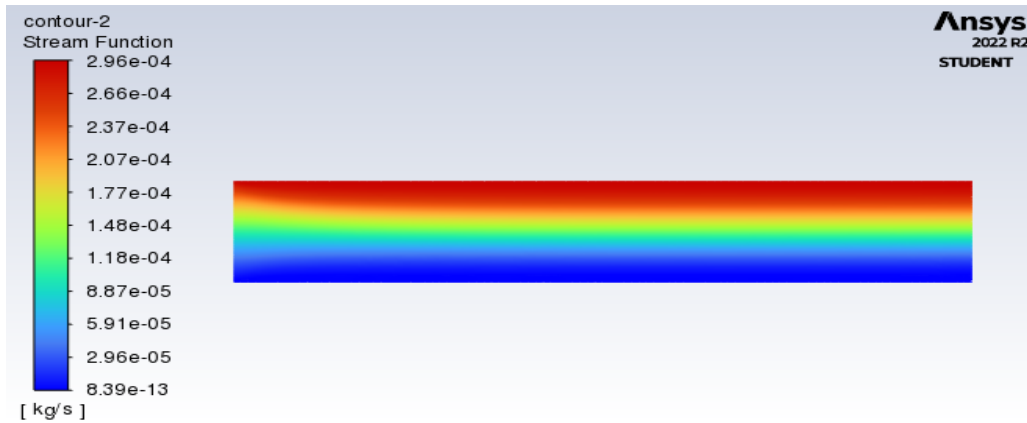
Şekil 57'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki titanyum dioksit içeren nanoakışkanın hızlarının değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru çıkışında borunun merkezinde tam ortasında akışkan hızı en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda borunun alt ve üst duvarlarında akışkan hızının sıfır olduğu gözlenmiştir.



Şekil 57. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

Tablo 38. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri

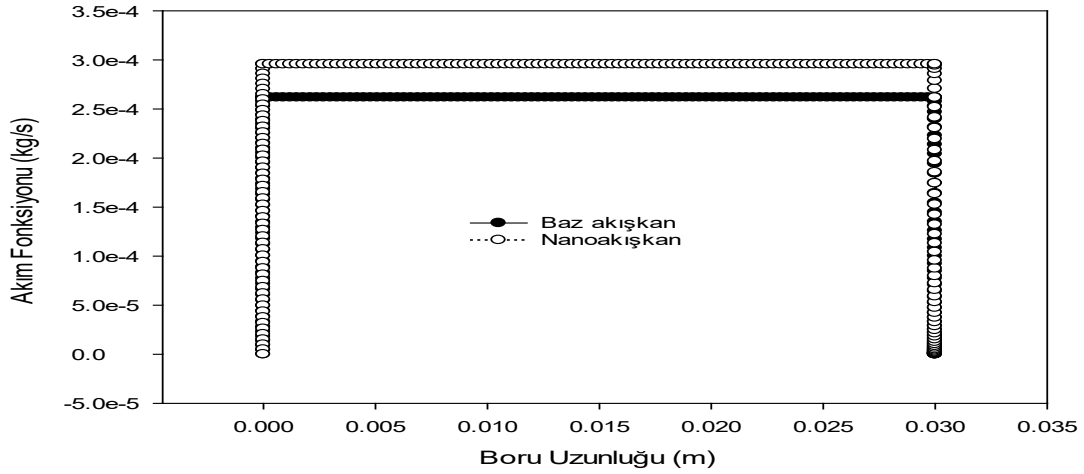
Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	1.6493708e-06
Boru girişi	0.00014757049
Boru iç yüzeyi	0.00016359197
Boru çıkışı	0.00016895183
Boru üst duvarı	0.00029212368



Şekil 58. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 59'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki titanyum dioksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak

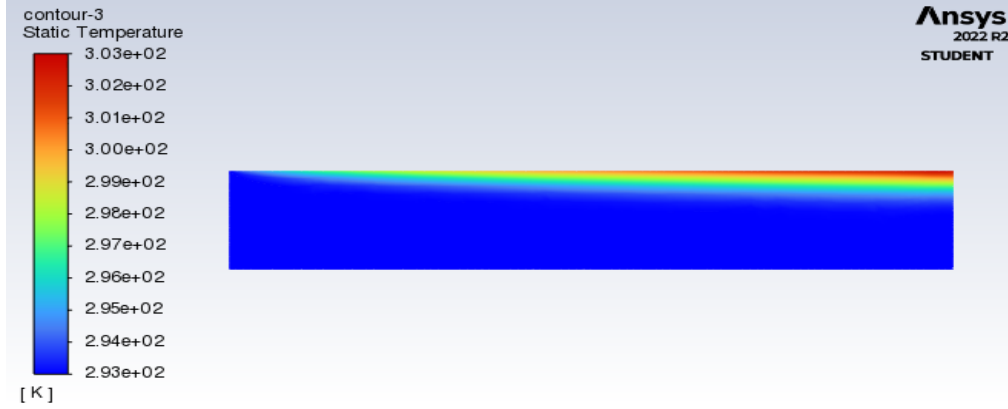
verilmiştir. Akım fonksiyonu değerleri boru üst duvarı boyunca en yüksek değerlerde seyretmiştir. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Akışkanın akım fonksiyonu boru çapı boyunca artış göstermiştir. Nanoakışkanın akım fonksiyonunun baz akışkanın akım fonksiyonundan daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanın hızının baz akışkanın hızından daha fazla olmasıdır.



Şekil 59. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonunun boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

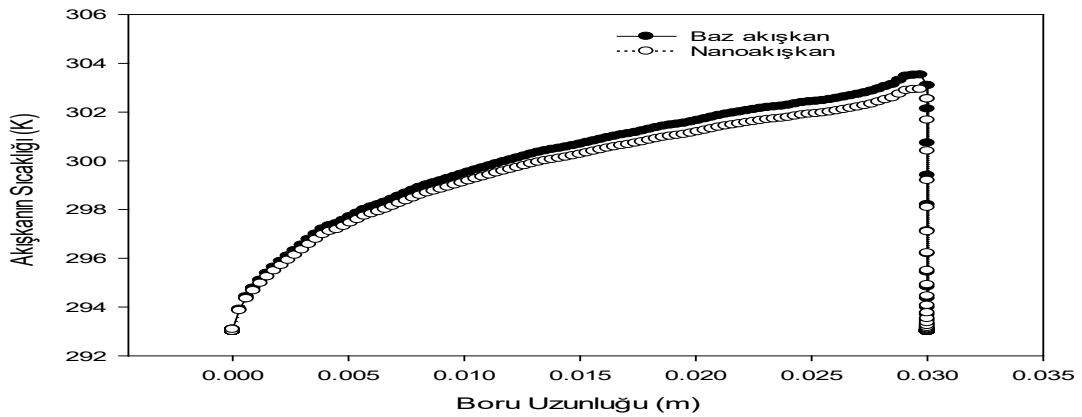
Tablo 39. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00002
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.0199
Boru çıkışı	295.09119
Boru üst duvarı	299.77699



Şekil 60. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

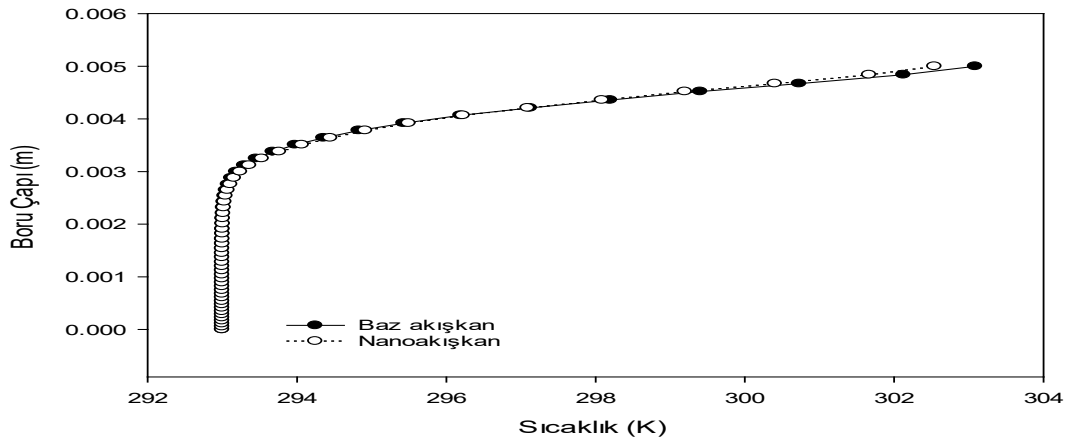
Şekil 61'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki magnezyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın boru üst duvarı boyunca sıcaklığı daha fazla olmuştur nanoakışkanın sıcaklığına göre. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü baz akışkanın dinamik viskozitesi nanoakışkanın dinamik viskozitesine göre daha azdır. Akışkanın dinamik viskozitesi azaldıkça sıcaklığı artmaktadır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 61. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

Şekil 62'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki magnezyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan

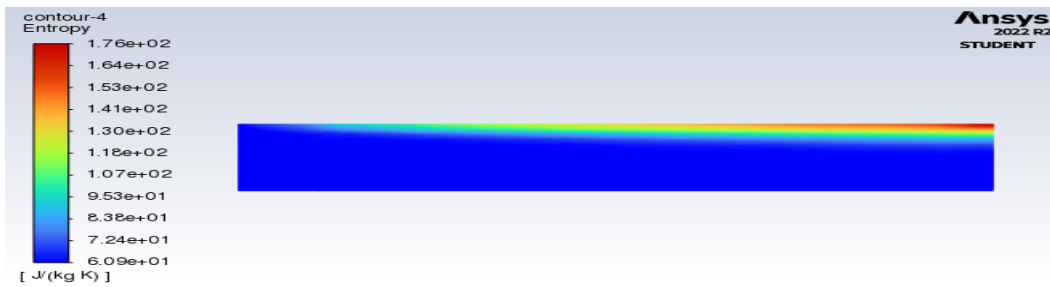
değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru alt duvarında akışkanın sıcaklığında borunun girişindeki sıcaklığa göre bir değişme olmamıştır. Boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulandığı için akışkanın sıcaklığı boru üst duvarına doğru atırış göstermiştir ve boru üst duvarında en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir.



Şekil 62. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

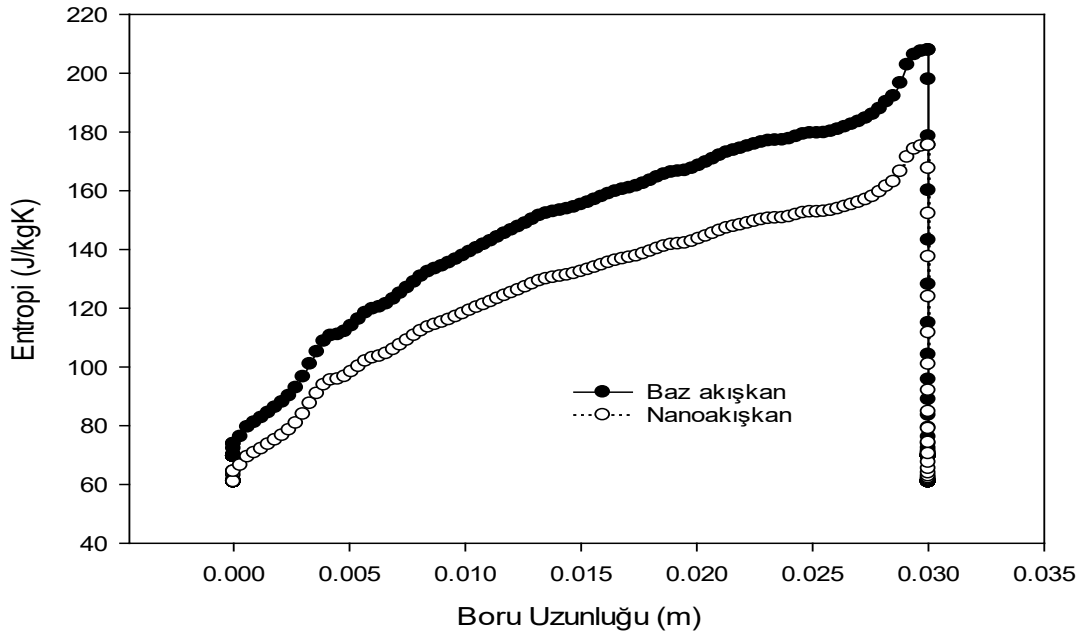
Tablo 40. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	60.934604
Boru girişi	61.010784
Boru iç yüzeyi	73.57095
Boru çıkışı	86.774815
Boru üst duvarı	127.46456



Şekil 63. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 64'teki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki titanyum dioksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın entropi değerleri nano akışkanın entropi değerlerine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (22) numaralı denkleme göre sıcaklık gradyeni arttıkça entropi atışı gösterir. Baz akışkan nano akışkana göre daha fazla sıcaklıklara ulaşabildiği için baz akışkana ait entropi değerleri nano akışkana ait entropi değerlerinden daha fazla olmuştur. Entropi değerlerinin sıcaklık değişiminin olduğu boru üst duvarında özellikle değişim gösterdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 64. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

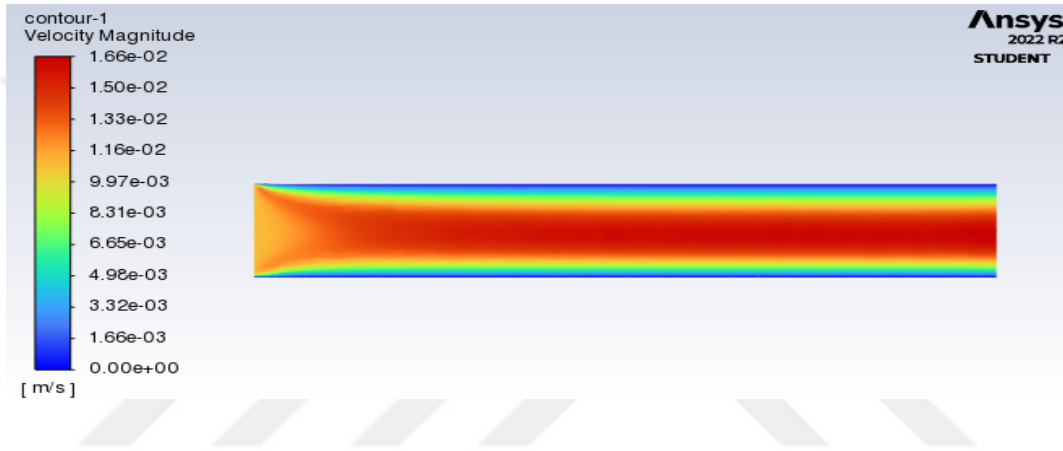
Tablo 41. %4 $\text{TiO}_2+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	687.52625

Şimdiki çalışmada baz akışkan olarak su ve nano akışkan olarak % 4 oranında bakır oksit nanoparçacığı kullanılarak hazırlanmış olan nanoakışkanın akış analizi yapılmıştır.

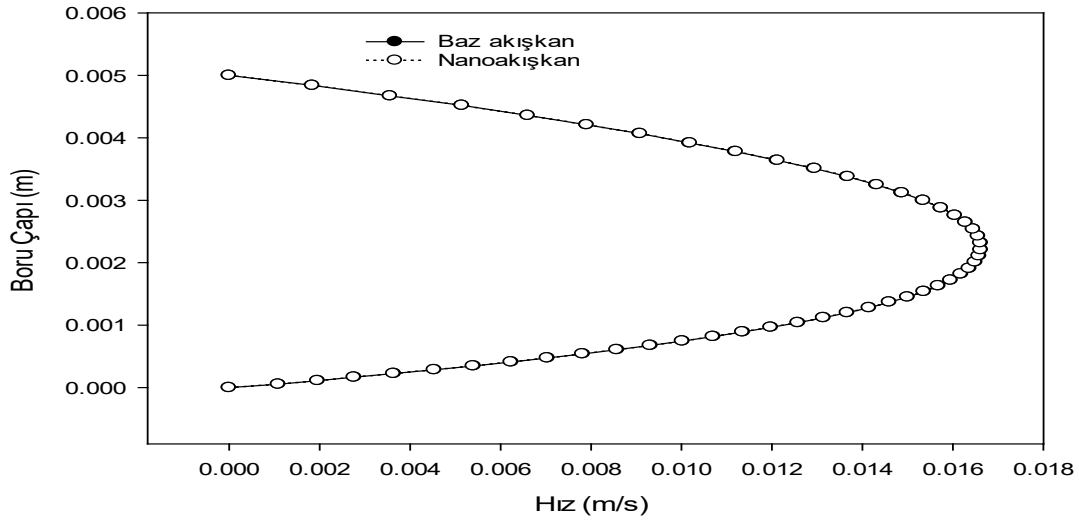
Tablo 42. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.011172201
Boru çıkışı	0.010999538
Boru üst duvarı	0



Şekil 65. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

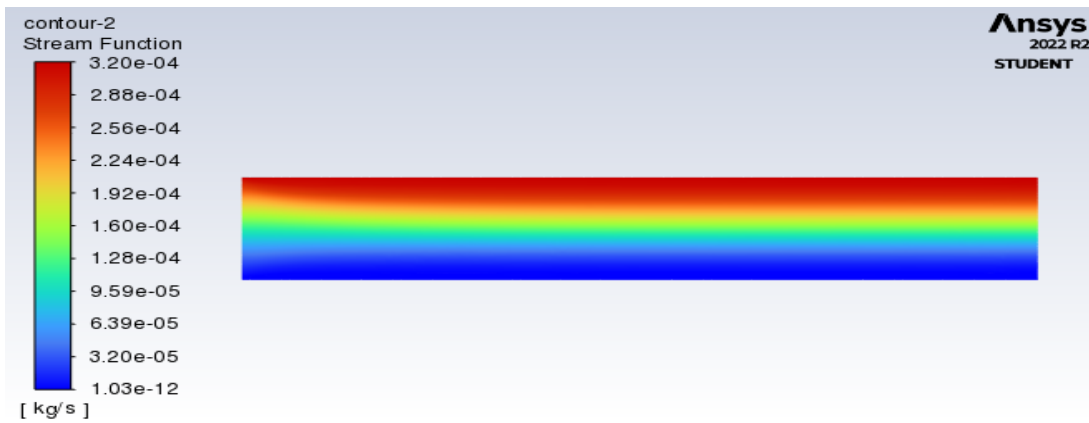
Şekil 66'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki bakır oksit içeren nanoakışkanın hızlarının değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru çıkışında borunun merkezinde tam ortasında akışkan hızı en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda borunun alt ve üst çeperlerinde akışkan hızının sıfır olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda borunun üst duvarında ve alt duvarında hız sıfırdır. Borunun uzunluğu boyunca merkez çizgisi boyunca hız en yüksek değerlerini almıştır. Laminer akışın bir özelliğidir.



Şekil 66. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

Tablo 43. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri

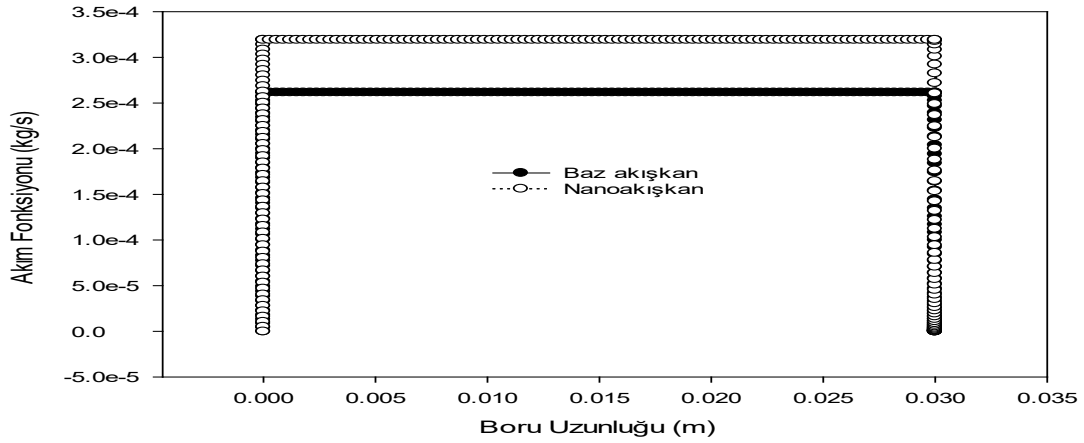
Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	1.7889478e-06
Boru girişi	0.00015945409
Boru iç yüzeyi	0.00017658963
Boru çıkışı	0.00018251646
Boru üst duvarı	0.00031561388



Şekil 67. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 68'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki bakır oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve

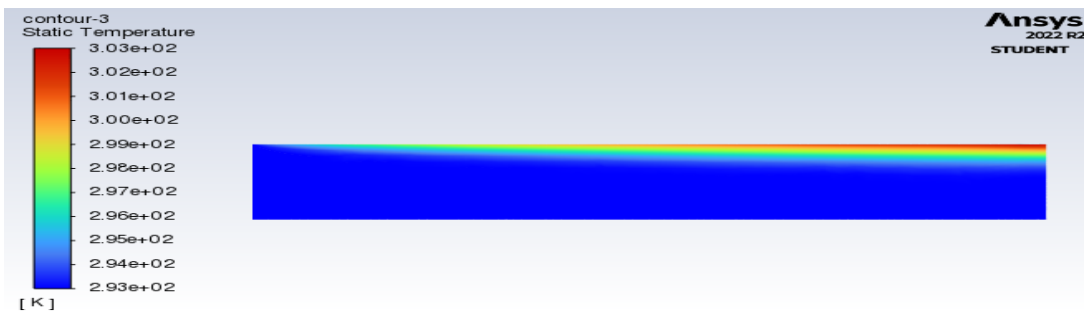
çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Akım fonksiyonu değerleri boru üst duvarı boyunca en yüksek değerlerde seyretmiştir. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Akışkanın akım fonksiyonu boru çapı boyunca artış göstermiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 68. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

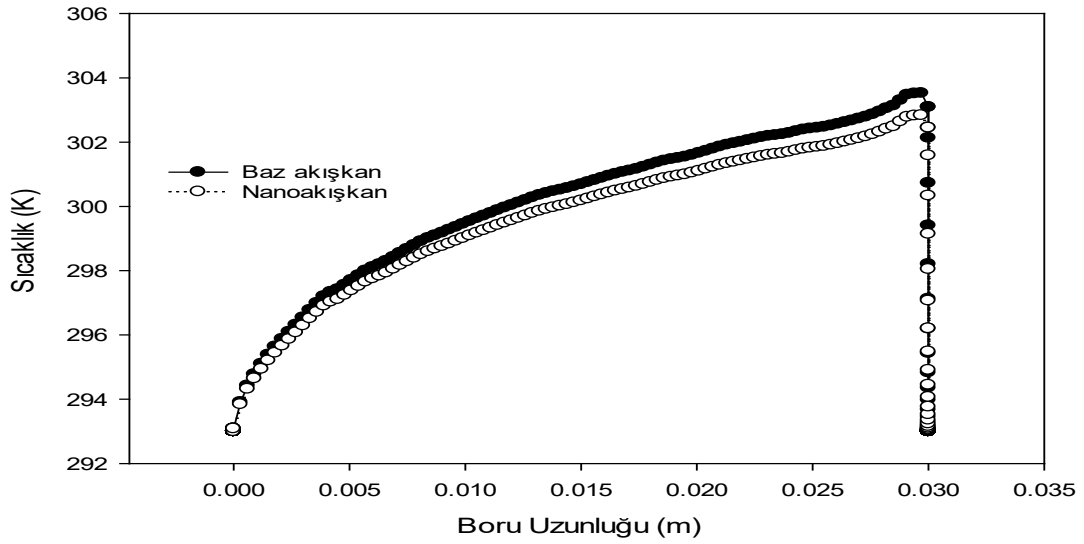
Tablo 44. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00002
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.00941
Boru çıkışı	295.07492
Boru üst duvarı	299.69643



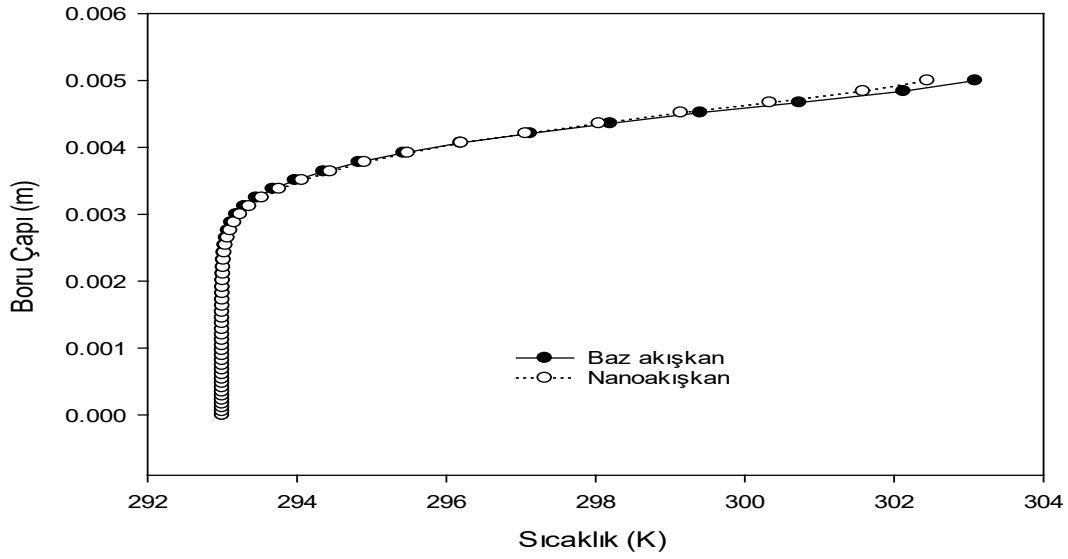
Şekil 69. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 70'deki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki bakır oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın boru üst duvarı boyunca sıcaklığı daha fazla olmuştur nano akışkanın sıcaklığına göre. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü baz akışkanın dinamik viskozitesi nano akışkanın dinamik viskozitesine göre daha azdır. Akışkanın dinamik viskozitesi azaldıkça sıcaklığı artmaktadır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 70. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

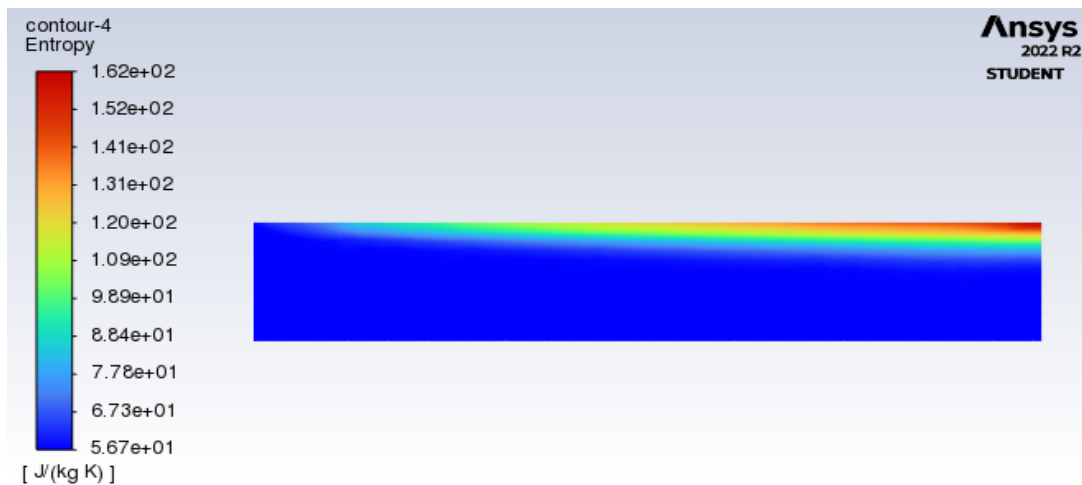
Şekil 71'deki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki bakır oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru alt duvarında akışkanın sıcaklığında borunun girişindeki sıcaklığa göre bir değişme olmamıştır. Boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulnadığı için akışkanın sıcaklığı boru üst duvarına doğru atırış göstermiştir ve boru üst duvarında en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir.



Şekil 71. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

Tablo 45. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri

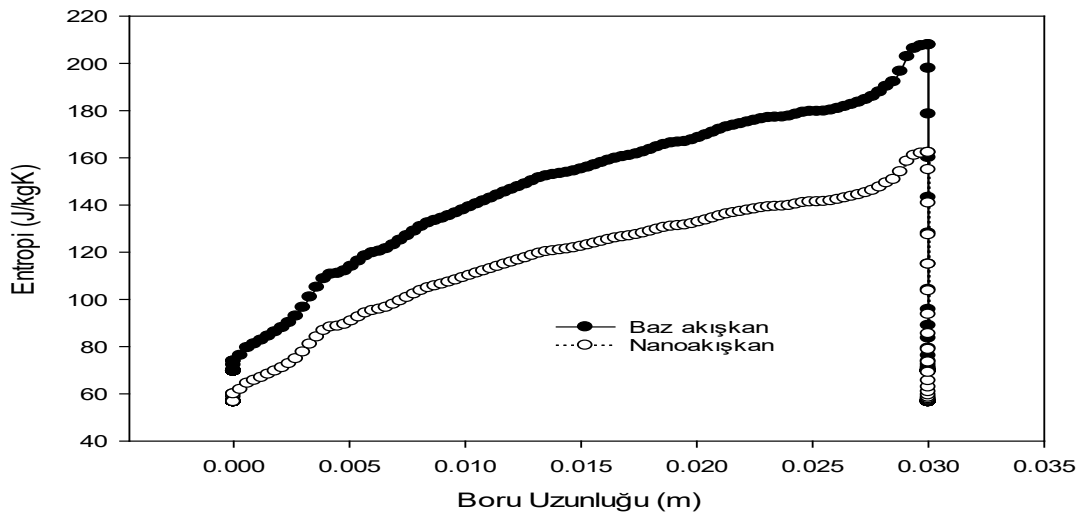
Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	56.696148
Boru girişi	56.766332
Boru iç yüzeyi	68.333498
Boru çıkışı	80.554199
Boru üst duvarı	117.86904



Şekil 72. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 73'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki bakır oksit içeren nanoakışkanın

sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın entropi değerleri nano akışkanın entropi değerlerine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (22) numaralı denkleme göre sıcaklık gradyeni arttıkça entropi atışı gösterir. Baz akışkan nano akışkana göre daha fazla sıcaklıklara ulaşabildiği için baz akışkana ait entropi değerleri nano akışkana ait entropi değerlerinden daha fazla olmuştur. Entropi değerlerinin sıcaklık değişiminin olduğu boru üst duvarında özellikle değişim gösterdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 73. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerinin boru uzunluğu boyunca karşılaştırılması

Tablo 46. %4 CuO+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	683.95697

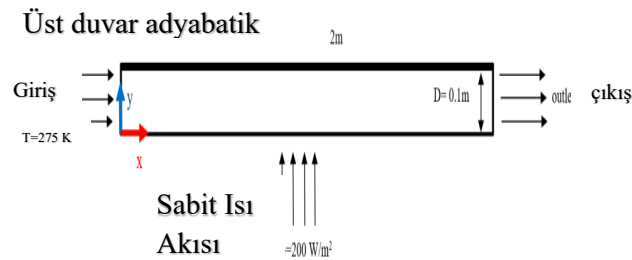
4.4. Doğrulama Çalışması

(Khalili Najafabadi vd., 2022) yapmış oldukları bir çalışma mevcut. Bu çalışmada baz akışkan olarak su ve nanoparçacık olarak da CuO kullanılmıştır. Benim tarafımdan da baz akışkan olarak su ve nanoparçacık olarak da CuO kullanılmıştır. Çalışmanın amacı baz akışkanın ısı iletkenliğini arttıracak bir sıvı oluşturulması ve

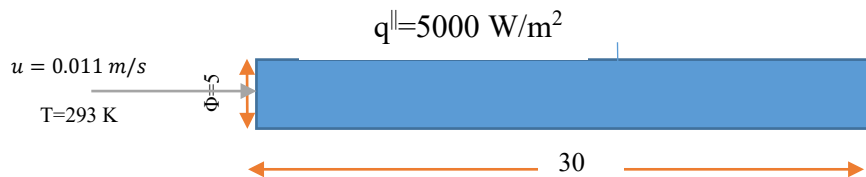
bunun için baz akışkan ile beraber bir nanoparçacık kullanmanın düşünülmüştür. Baz akışkan içerisinde farklı hacimsel oranlarda %1, %2, %3 ve %4 bakır oksit içeren nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini inceleyip ısı transferine etkileri araştırılmıştır. Bu çalışmalarında akışkanın içerisinde geçtiği geometriyi 2 boyutlu dikdörtgen kesitli bir kanal olarak tasarlanmıştır. ANSYS Fluent programı kullanarak akış analizi yapılmıştır. Yatay konumlandırılmış olan dikdörtgen kesitli bir borudan akışkanın hız dağılımını ve ısı transferine olan etkileri araştırılmıştır. Oluşturulan geometrinin çapı 100 mm olup uzunluğu ise 2000 mm'dir. Akışkanın boru girişindeki sıcaklığı 275 K olup akışkanın girişteki hızı ise Reynolds sayısının 1000 olarak kabul edilmesi ile hesaplanmıştır. Borunun alt kenarı alt taraftan sabit 200 W/m^2 lik bir ısı akısı almaktadır. Benim tarafımdan yapılan çalışmada ise oluşturulan geometri 5 mm çapında ve 30 mm uzunluğundadır. Akışkanın boru girişindeki sıcaklığı 293 K olarak tanımlanmıştır. (Khalili Najafabadi vd., 2022) tarafından yapılan çalışmada borunun üst duvarı ise adyabatiktir. Yani borunun üst duvarı ne dışarıdan ısı alabilir ne de dışarıya ısı verebilir. Akış analizini yapmadan önce iterasyon için mutlak kriter 10^{-6} olarak tanımlanmıştır. Yapılmış olan çalışmada bazı kabuller mevcuttur. Bu kabuller aşağıda verilmektedir.

1. Nanoparçacık ve baz akışkan birbiri içerisinde homojen olarak karışmıştır.
2. Akış sürekli ve sıkıştırılamaz olarak tanımlanmıştır
3. Nanoakışkanın yoğunluk, ısıl iletkenlik, viskozitesi ve sıcaklığı gibi özellikler nanoparçacığın hacimsel oranına bağlıdır.

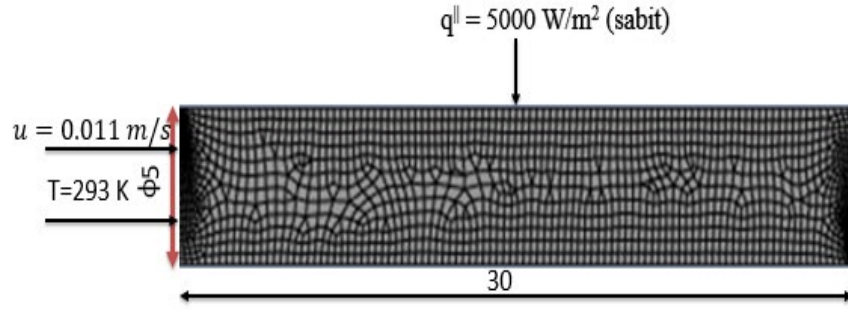
Yapılan çalışmanın şematik olarak geometrik şekli ise aşağıda verilmektedir.



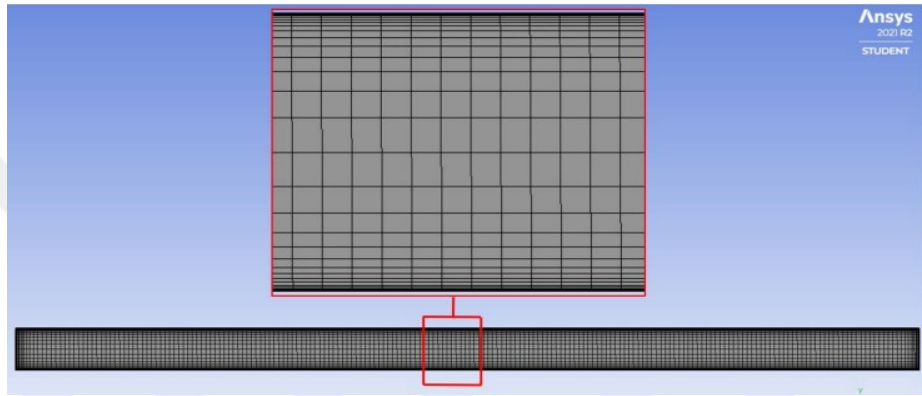
Şekil 74. Dikdörtgen kesitli kanal (Khalili Najafabadi vd., 2022)



Şekil 75. Dairesel kesitli boru (Kansız, 2023)



Şekil 76. Dörtgen gibi ağ yapısı (Kansız, 2023)



Şekil 77. Dörtgen yapıli ağ yapısı (Khalili Najafabadi vd., 2022)

Aşağıdaki tablolarda baz akışkan olarak su kullanılan ve farklı hacimsel oranlardaki bakır oksit nanoparçacığı kullanılarak elde edilen nanoakışkanların termofiziksel özellikleri verilmektedir. Tablo 47, 48’de sırası ile (Khalili Najafabadi vd., 2022) ve benim tarafımdan yapılan çalışmada %1, %2, %3 ve %4 hacimsel oranlarda CuO içeren nanoakışkanların yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozite değerleri gösterilirken verilen termofiziksel özellikler sırası ile yoğunluk, özgül ısı, ısıl iletkenlik ve dinamik viskozite değerleridir.

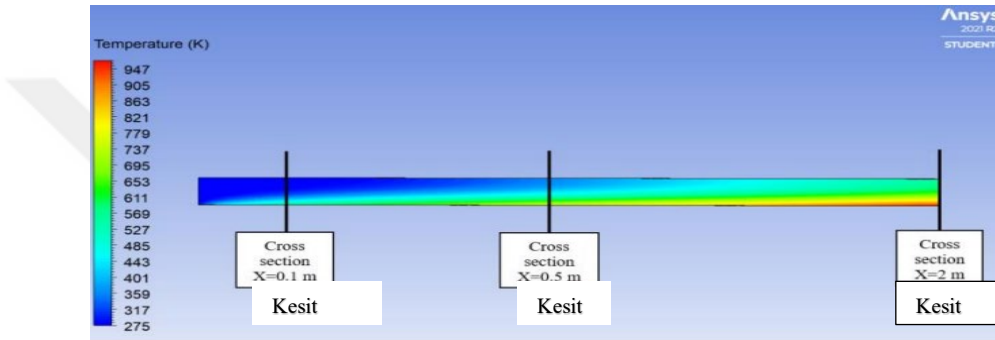
Tablo 47. Farklı hacimsel oranlarda CuO içeren baz akışkanı su olan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri (Khalili Najafabadi vd., 2022)

Hacimsel Oran ϕ	%1	%2	%3	%4
ρ_{nf} (kg/m ³)	1053.218	1108.236	1163.254	1218.272
Cp_{nf} (J/kg*K)	3956.96017	3754.264391	3570.74227	3403.796118
k_{nf} (W/m*K)	0.616623822	0.633557563	0.650809972	0.668390129
μ_{eff} (kg/m*s)	0.00102852	0.001054959	0.00108236	0.001110767

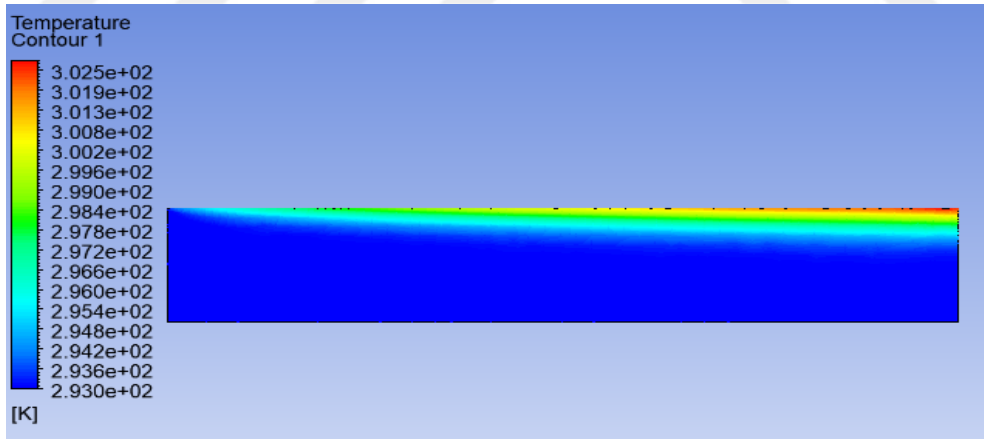
Tablo 48. Farklı hacimsel oranlarda CuO içeren baz akışkanı su olan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri (Kansız, 2023)

Hacimsel Oran ϕ	%1	%2	%3	%4
ρ_{nf} (kg/m ³)	1053.218	1108.236	1163.254	1218.272
Cp_{nf} (J/kg*K)	3956.960	3754.264	3570.742	3403.796
k_{nf} (W/m*K)	0.6136	0.6304	0.6476	0.6651
μ_{eff} (kg/m*s)	0.001023	0.001050	0.001077	0.001105

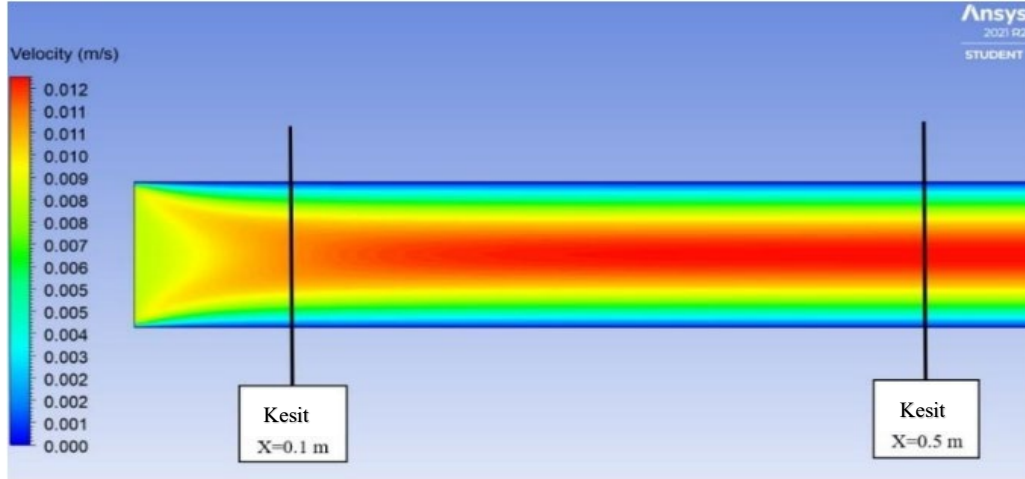
Şekil 78’de tüm boru kesiti boyunca %4 oranında CuO içeren nanoakışkanın sıcaklık değişimi verilmektedir.



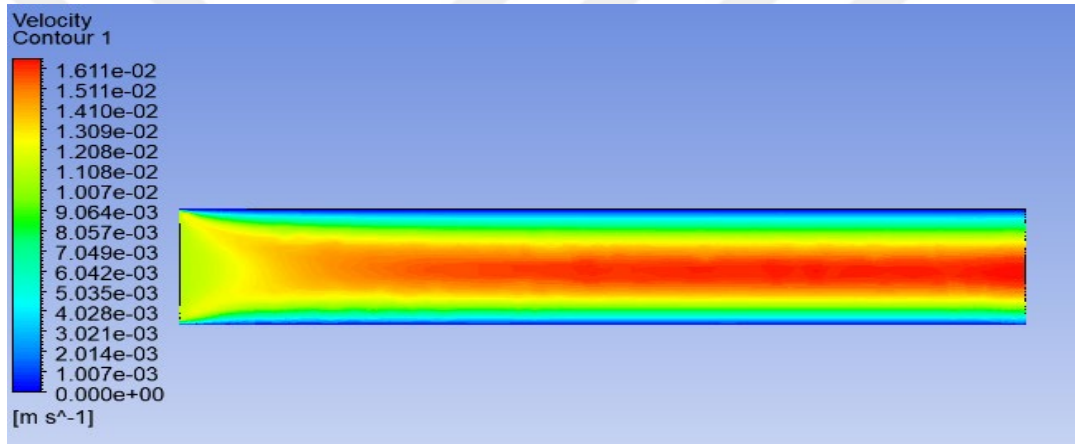
Şekil 78. %4 CuO+H₂O boru uzunluğu boyunca sıcaklık değişimi (Khalili Najafabadi vd., 2022)



Şekil 79. %4 CuO+H₂O boru uzunluğu boyunca sıcaklık değişimi (Kansız, 2023)



Şekil 80. %4 CuO+H₂O boru uzunluğu boyunca hız değişimi (Khalili Najafabadi vd., 2022)

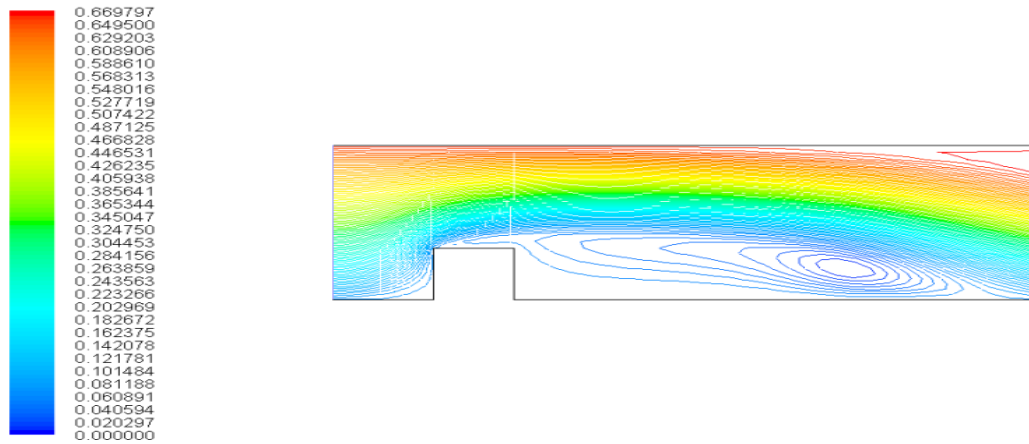


Şekil 81. %4 CuO+H₂O boru uzunluğu boyunca hız değişimi (Kansız, 2023)

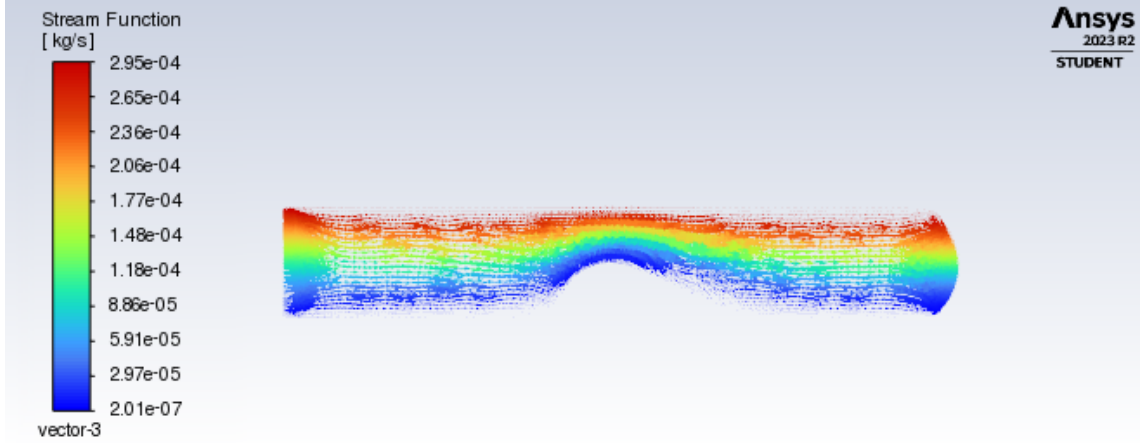
Kendi yapmış olduğum çalışmaya gelinirse aynı baz akışkan aynı hacimsel oranlarda aynı nanoparçacık kullanılmıştır. Farklı hacimsel oranlardaki CuO nanoparçacığının (%1-%4) kullanılması ile elde edilen nanoakışkanların yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve dinamik viskozite gibi değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmamda da akışkanın geçtiği geometrik şekli 2 boyutlu dairesel kesitli bir boru olarak tasarlanmış iken literatür çalışmasının geometrisi 2 boyutlu dikdörtgen kesitli bir kanal olarak tanımlanmıştır. Borunun çapı 5 mm ve uzunluğunu 30 mm olarak tasarlanan borudur. Yalnız benim tarafımdan bu çalışmada üst duvara dışarıdan gelecek biçimde sabit 5000 W/m² lik bir ısı akısı tanımlanmıştır. Akışkanın giriş hızı 0.011 m/s olarak belirlenmiştir ve akışın laminar olduğu tanımlanarak ve akışkanın boru girişindeki sıcaklığı ise 293 K olarak belirlenmiştir. Akış analizini yapmadan önce iterasyon için gerekli olan mutlak kriter değerini 10⁻⁶ olarak tanımlandı ve sonrasında ANSYS Fluent

programında akışın analizini yapıldı. Kendi yaptığım çalışma ile literatürde yapılmış çalışmayı karşılaştırdığımda aralarındaki önemli noktalar şunlardır. Öncelikle ısı akısının meydana geldiği çeperde sıcaklık artışı gözlenmiştir. Aynı zamanda sıcaklık artışı boru uzunluğunun son kısımlarındaki yerde maksimum değere ulaşmıştır. Boru kesiti boyunca hız değerlerinin borunun üst ve alt çeperlerinde sıfır olduğunu ve borunun iç bölgesinde orta kısımlarında maksimum değere ulaştığı görülmüştür. Bir diğer husus ise nanoakışkanın ısı iletkenliğinin nanoparçacığın hacimsel oranının artması ile arttığı görülmüştür. Aynı zamanda nanoparçacığın hacimsel oranının artması nanoakışkanın dinamik viskozitesinin arttığı yapılan çalışmalarda görülmektedir.

Akım fonksiyonu için bir doğrulama çalışması yapılmıştır. Benim tarafımdan yapılan akım fonksiyonu çalışması ile Doma vd., 2010 tarafından yapılan çalışma karşılaştırıldığı zaman akım fonksiyonunun her iki çalışmada da borunun üst yüzeyinde en yüksek değerde olduğu görülmüştür ve alt yüzeyinde de en düşük değerde olduğu görülmüştür. Bu çalışmada Reynolds sayısının etkisi de önemlidir. Çünkü Reynolds sayısına bağlı olarak akışı laminar ya da türbülanslı... gibi tanımlayabiliriz. Eğer akışkanın Reynolds sayısı 2300'den küçük veya eşitse akış laminar olarak tanımlanmıştır.



Şekil 82. 2 boyutlu laminar akışa sahip akışkanın boru uzunluğu boyunca akım fonksiyonu değişimi ($Re_d=100$) (Doma vd., 2010)



Şekil 83. 2 boyutlu laminar akışa sahip akışkanın boru uzunluğu boyunca akım fonksiyonu değişimi ($Re_d=55.60$) (Kansız, 2023)

Her iki çalışmada da akım fonksiyonu değerlerinin boru üst yüzeyinde en yüksek değere ulaşmıştır. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular nitelikte olmuştur. Aynı zamanda her iki durumda laminar akıştır. Çünkü Reynolds sayısı değerleri 2300'den küçüktür. Reynolds sayısı (29) numaralı denklemde olduğu gibi hesaplanır.

$$Re_d = \frac{\rho * u * d}{\mu} \quad (29)$$

4.5. Farklı Baz Akışkanların Kullanılması İle Akış Analizi

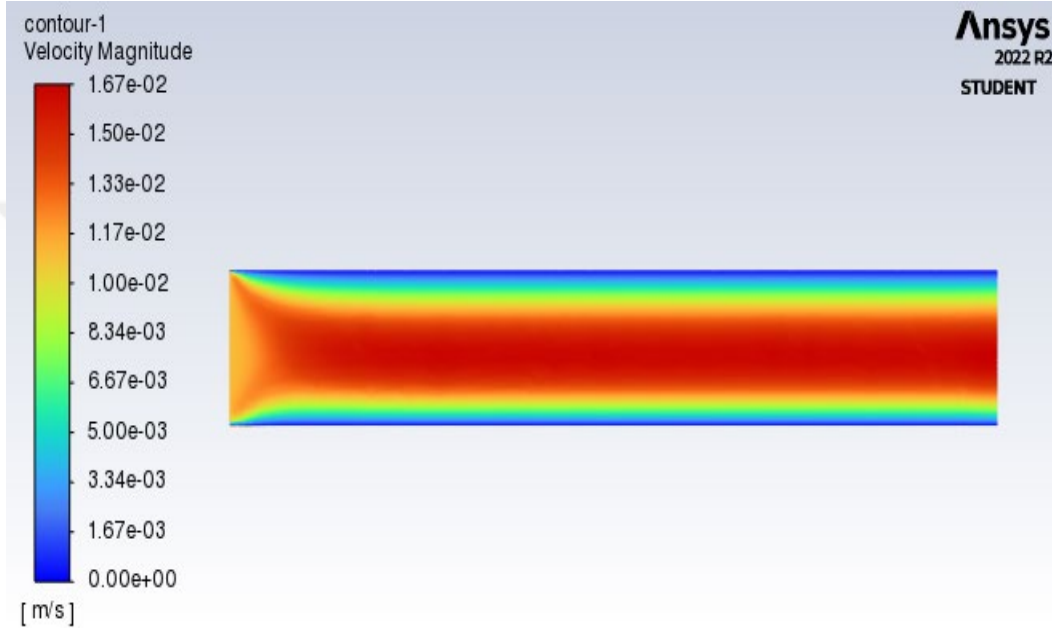
Aynı geometriye sahip dairesel kesitli boruda bu sefer farklı bir baz akışkan kullanarak akış analizine devam edilmiştir. Yeni çalışmada kullanılan baz akışkan eşit oranlarda su ve etilen glikol ile oluşturulmuş bir karışım akışkanı olmuştur. Nanoparçacık olarak da %4 oranında alüminyum oksit olacak şekilde hazırlanan bir nanoakışkanın akış analizi yapılmıştır.

Tablo 49. EG+H₂O (1/1) baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.011167146
Boru çıkışı	0.010999602
Boru üst duvarı	0

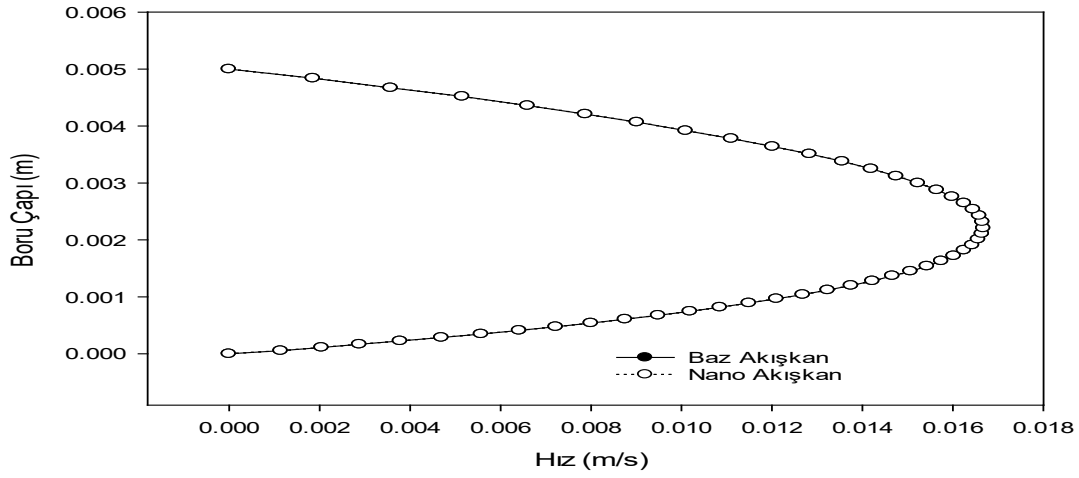
Tablo 50. %4 Al₂O₃+(EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.011167144
Boru çıkışı	0.010999602
Boru üst duvarı	0



Şekil 84. %4 Al₂O₃+(EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 85'teki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru çıkışında borunun merkezinde tam ortasında akışkan hızı en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda borunun alt ve üst duvarlarında akışkan hızının sıfır olduğu gözlenmiştir.



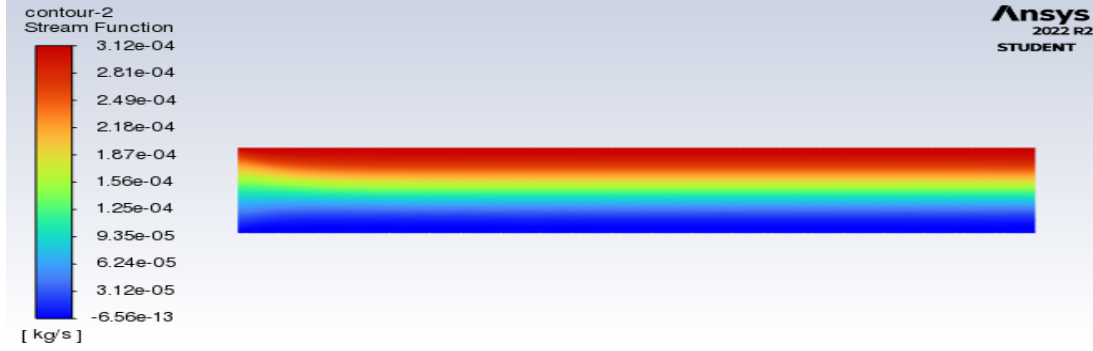
Şekil 85. %4 Al_2O_3 +(EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

Tablo 51. EG+H₂O (1/1) baz akışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	1.523127e-06
Boru girişi	0.00014045679
Boru iç yüzeyi	0.00015713512
Boru çıkışı	0.00016112875
Boru üst duvarı	0.00027827797

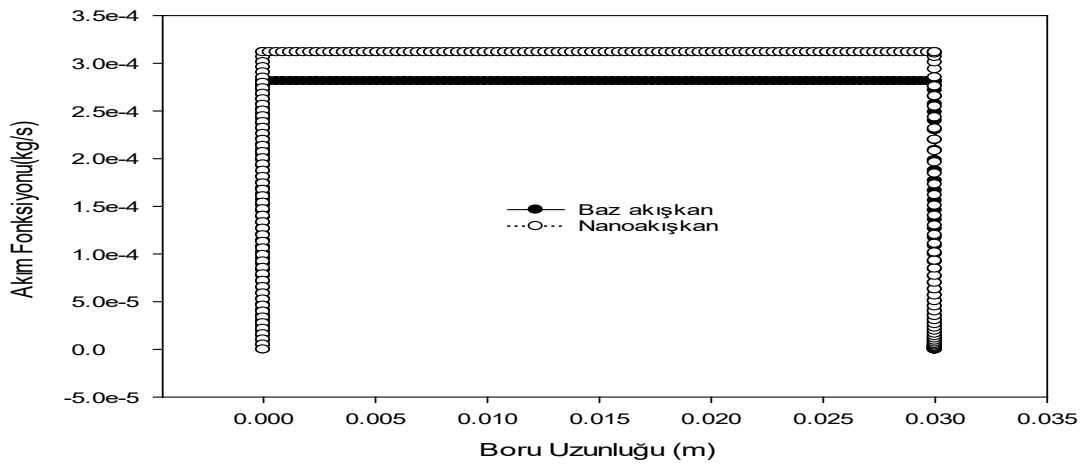
Tablo 52. %4 Al_2O_3 +(EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının boru bölgelerindeki akım fonksiyonu değerleri

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	1.6876272e-06
Boru girişi	0.00015562559
Boru iç yüzeyi	0.00017410479
Boru çıkışı	0.00017852988
Boru üst duvarı	0.0003083309



Şekil 86. %4 Al_2O_3 +(EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 87’deki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Akım fonksiyonu değerleri boru üst duvarı boyunca en yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Akışkanın akım fonksiyonu boru çapı boyunca artış göstermiştir. Nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin baz akışkanın akım fonksiyonu değerlerinden daha fazla olmasının nedeni ise nanoakışkanın hızının baz akışkanın hızından daha fazla olduğu içindir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine başlangıç sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



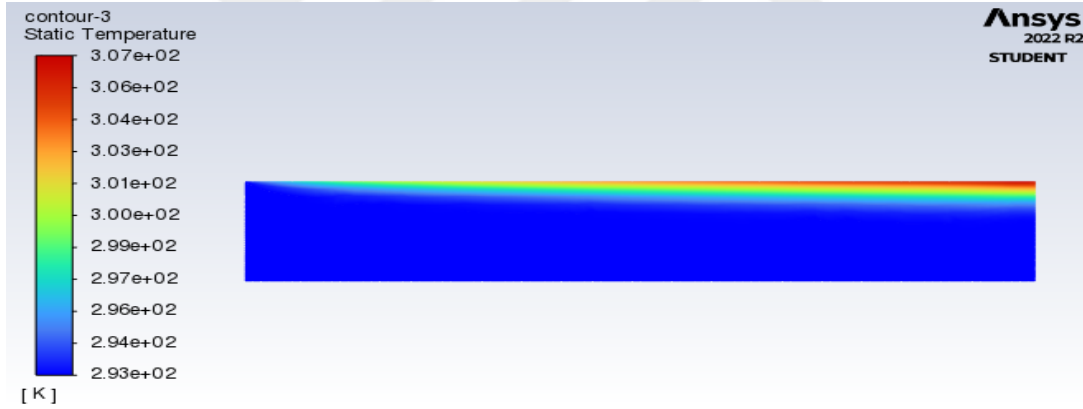
Şekil 87. %4 Al_2O_3 +(EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Tablo 53. EG+H₂O (1/1) baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00002
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.33857
Boru çıkışı	295.75262
Boru üst duvarı	303.33042

Tablo 54. %4 Al₂O₃+((EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri

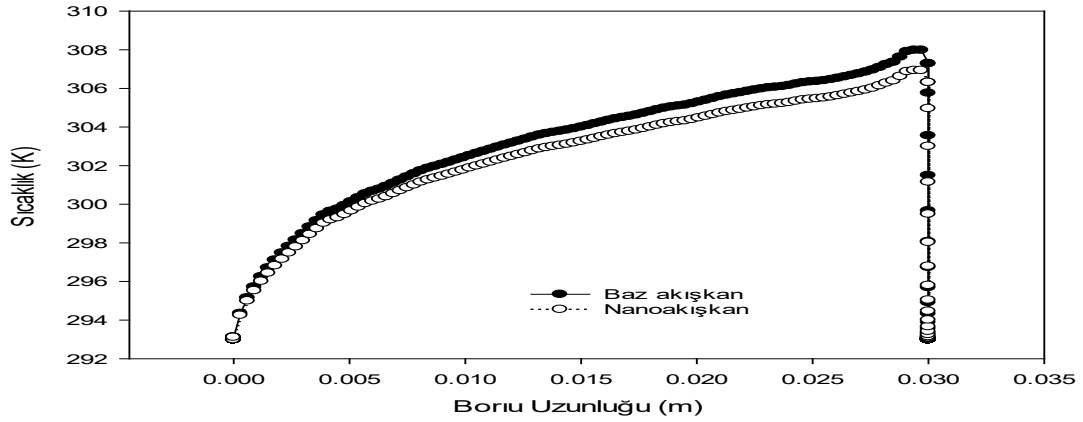
Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00002
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.30985
Boru çıkışı	295.671
Boru üst duvarı	302.63679



Şekil 88. %4 Al₂O₃+((EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

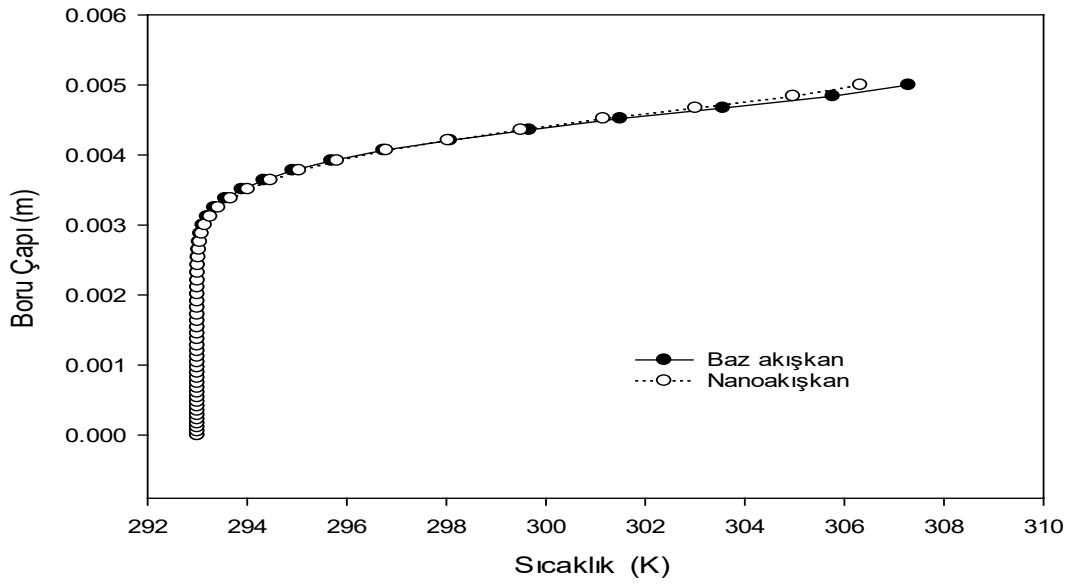
Şekil 89'daki bir grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın boru üst duvarı boyunca sıcaklığı daha fazla olmuştur nano akışkanın sıcaklığına göre. Bu durum beklenen bir sonuçtur. Çünkü baz akışkanın dinamik viskozitesi nano akışkanın dinamik viskozitesine göre daha azdır. Akışkanın dinamik viskozitesi azaldıkça sıcaklığı artmaktadır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine

başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 89. %4 $Al_2O_3+(EG+H_2O (1/1))$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 90'daki bir grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklıklarının boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru alt duvarında akışkanın sıcaklığında borunun girişindeki sıcaklığa göre bir değişme olmamıştır. Boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulandığı için akışkanın sıcaklığı boru üst duvarına doğru atırış göstermiştir ve boru üst duvarında en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısının uygulanmış olmasıdır. Aynı zamanda grafik incelendiği zaman nanoakışkanın sıcaklığının baz akışkanın sıcaklığından daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanın dinamik viskozitesi baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha fazladır. Sıvıların dinamik viskozite değerleri arttıkça sıcaklıkları azalır.



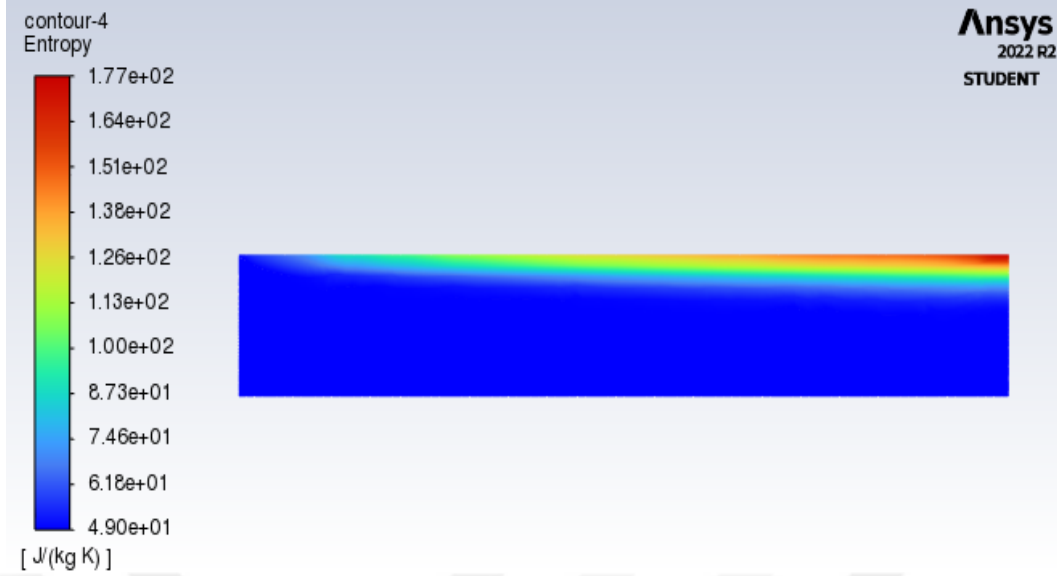
Şekil 90. %4 Al_2O_3 +(EG+ H_2O (1/1)) nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması

Tablo 55. EG+ H_2O (1/1) baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	54.634072
Boru girişi	54.723835
Boru iç yüzeyi	69.449438
Boru çıkışı	84.974448
Boru üst duvarı	141.98299

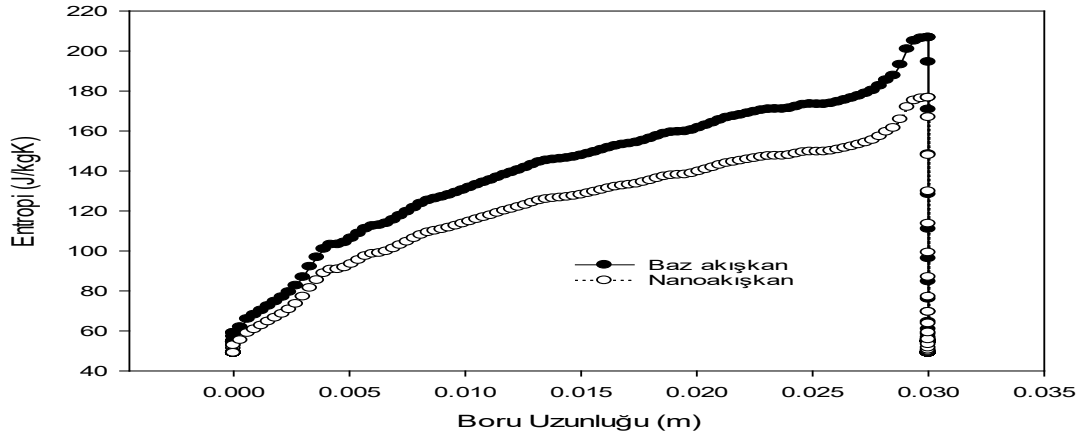
Tablo 56. %4 Al_2O_3 +(EG+ H_2O (1/1)) nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	49.038563
Boru girişi	49.117629
Boru iç yüzeyi	62.060483
Boru çıkışı	75.491643
Boru üst duvarı	123.21957



Şekil 91. %4 Al_2O_3 +(EG+ H_2O (1/1)) nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Şekil 92'deki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki bakır oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkanın entropi değerleri nano akışkanın entropi değerlerine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (22) numaralı denkleme göre sıcaklık gradyeni arttıkça entropi atırış gösterir. Baz akışkan nano akışkana göre daha fazla sıcaklıklara ulaşabildiği için baz akışkana ait entropi değerleri nano akışkana ait entropi değerlerinden daha fazla olmuştur. Entropi değerlerinin sıcaklık değişiminin olduğu boru üst duvarında özellikle değişim gösterdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 92. %4 Al_2O_3 +(EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi

Tablo 57. EG+H₂O (1/1) baz akışkanının boru bölgelerindeki Nusselt sayısı değerleri

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	924.92768

Tablo 58. %4 Al_2O_3 +(EG+H₂O (1/1)) nanoakışkanının boru bölgelerindeki Nusselt sayısı değerleri

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	861.3112

4.6. Engellerin Eklenmesi Durumunda Nanoakışkanların Isı Transferine Etkilerinin Araştırılması

Kullanılan geometriye tümsek ve çukurlar eklenmiştir. Bu çukur ve tümseklerin sayıları gittikçe arttırılarak ve herhangi bir engel eklemekten de sadece borunun giriş ve çıkış kenarlarını eğimli hale getirerek bu durumların akışkanın hız, akım fonksiyonu, sıcaklık, entropi ve Nusselt sayısı değerlerini nasıl etkilediği tartışılmıştır. Bu çalışma da baz akışkan olarak su kullanılmıştır ve nanoakışkan olarak ise %4 oranında alüminyum oksit nanoparçacığı içeren nanoakışkan kullanılmıştır.

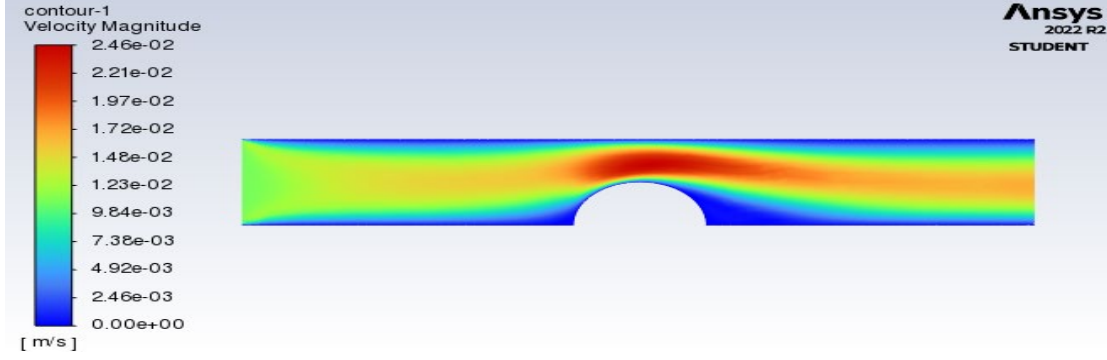
Tablo 59. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (bir tümsek)

Bölge	Hız (m/s)
Tümsek	0
Boru girişi	0.010999999
Boru iç yüzeyi	0.011575199
Boru sol alt duvarı	0
Boru çıkışı	0.011004328
Boru üst duvarı	0
Boru sağ alt duvarı	0

Tablo 60. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (bir tümsek)

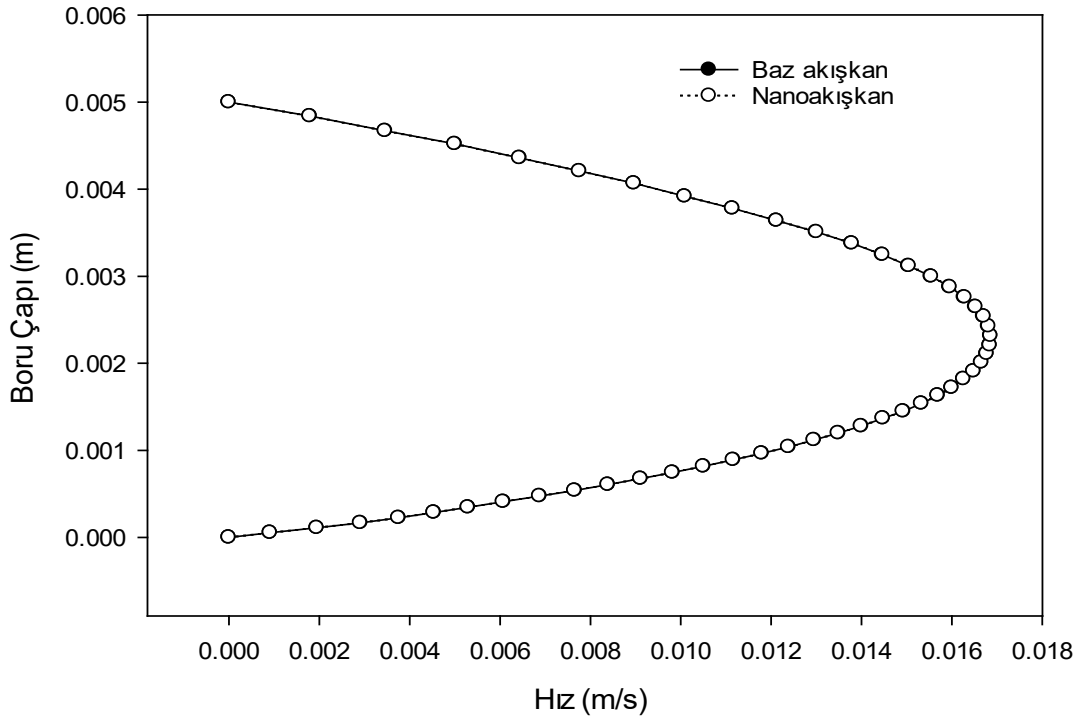
Bölge	Hız (m/s)
Tümsek	0
Boru girişi	0.010999999
Boru iç yüzeyi	0.011575185
Boru sol alt duvarı	0
Boru çıkışı	0.011004342
Boru üst duvarı	0
Boru sağ alt duvarı	0

Şekil 93'e göre dairesel boruda akan akışkanın hızının tümseğin olduğu bölgede en yüksek değeri aldığı gözlemlenmiştir. Yine boru duvarlarında akışkanın hızının sıfır olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 93. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)

Şekil 94'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 94'te akışkanın hızında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir boru üzerinde herhangi bir engel bulunmaması durumuna göre. Laminer akışta hız grafiği istenilen şekli ile aşağıda verilmiştir. Aynı zamanda hem baz akışkan hem de nanoakışkanın hız değerlerinin boru üst ve alt duvarlarında sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Boru yarıçapında ise akışkan hızının en yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir.



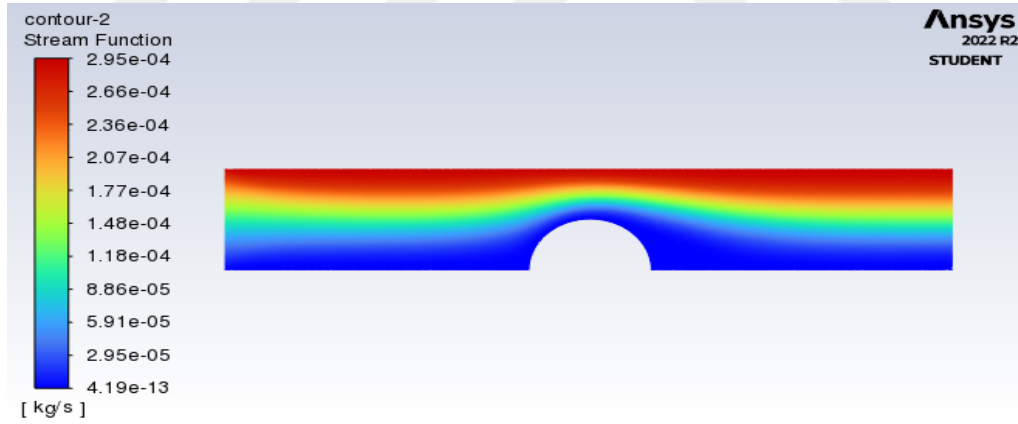
Şekil 94. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (bir tümsek)

Tablo 61. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (bir tümsek)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Tümsek	2.531056e-06
Boru girişi	0.00013263793
Boru iç yüzeyi	0.00013675093
Boru sol alt duvarı	2.7091772e-06
Boru çıkışı	0.00015140532
Boru üst duvarı	0.00026034712
Boru sağ alt duvarı	2.198066e-06

Tablo 62. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (bir tümsek)

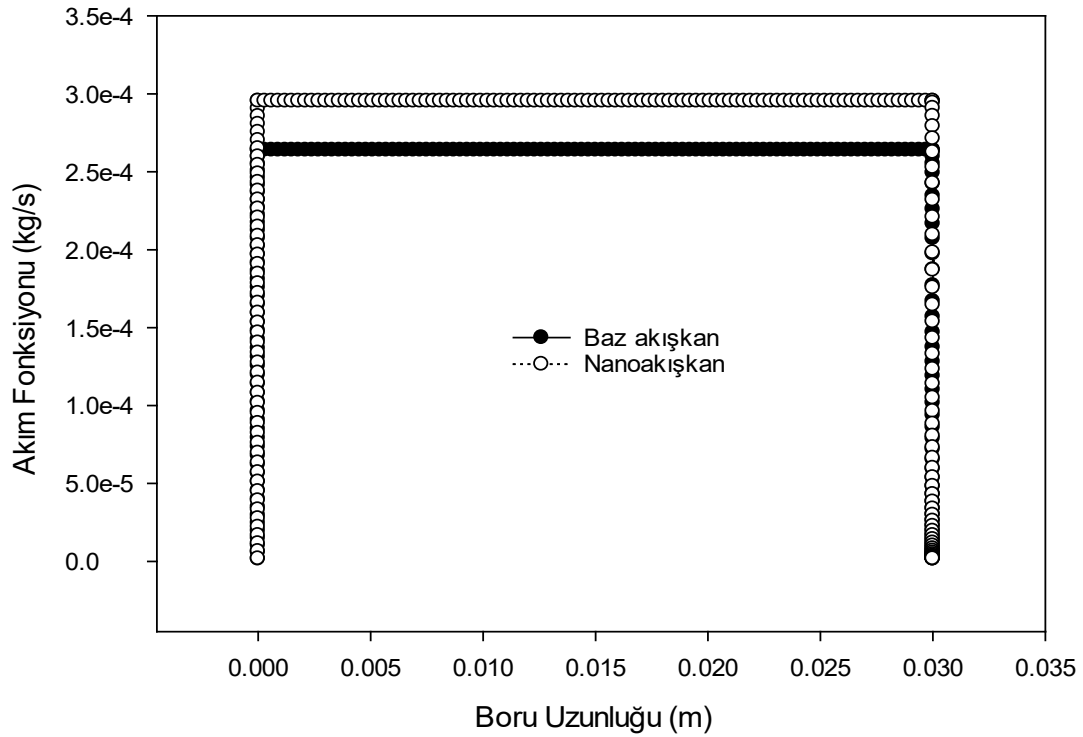
Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Tümsek	2.878474e-06
Boru girişi	0.00014847813
Boru iç yüzeyi	0.00015303461
Boru sol alt duvarı	3.0778482e-06
Boru çıkışı	0.0001694773
Boru üst duvarı	0.00029139064
Boru sağ alt duvarı	2.4988726e-06



Şekil 95. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)

Şekil 96'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Akım fonksiyonu değerleri boru üst duvarı boyunca en yüksek değerlerde seyretmiştir. Aynı zamanda nanoakışkanın akım fonksiyonu değerleri baz akışkanın

akım fonksiyonu değerlerinden daha fazladır. Çünkü nanoakışkanın hızı baz akışkanın hızından daha fazladır. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Akışkanın akım fonksiyonu boru çapı boyunca artış göstermiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



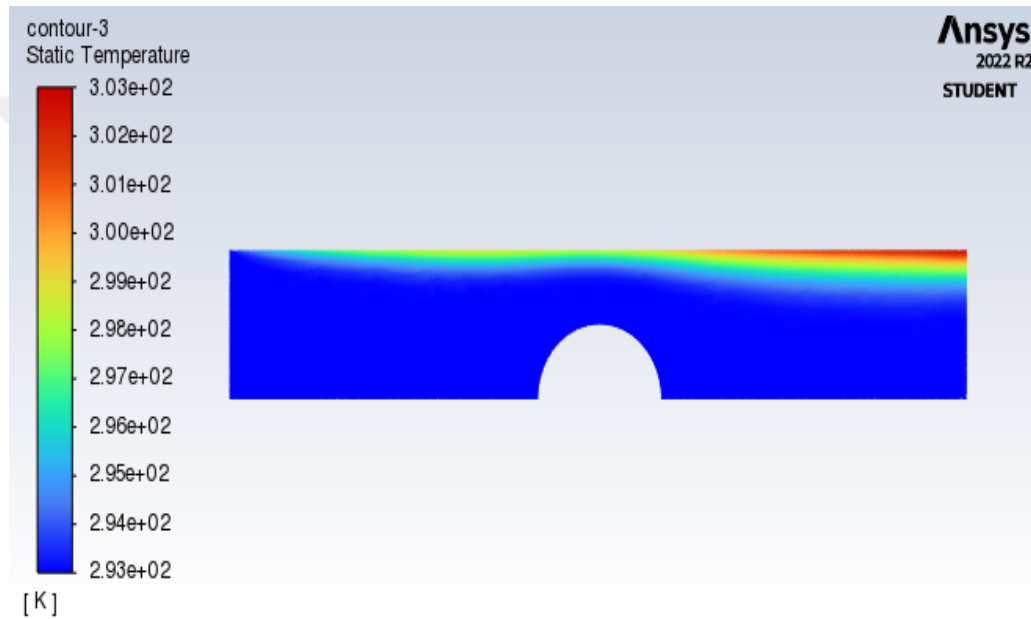
Şekil 96. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)

Tablo 63. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (bir tümsek)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Tümsek	293.00001
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	293.94132
Boru sol alt duvarı	293.00002
Boru çıkışı	295.11189
Boru üst duvarı	299.47078
Boru sağ alt duvarı	293.00012

Tablo 64. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (bir tümsek)

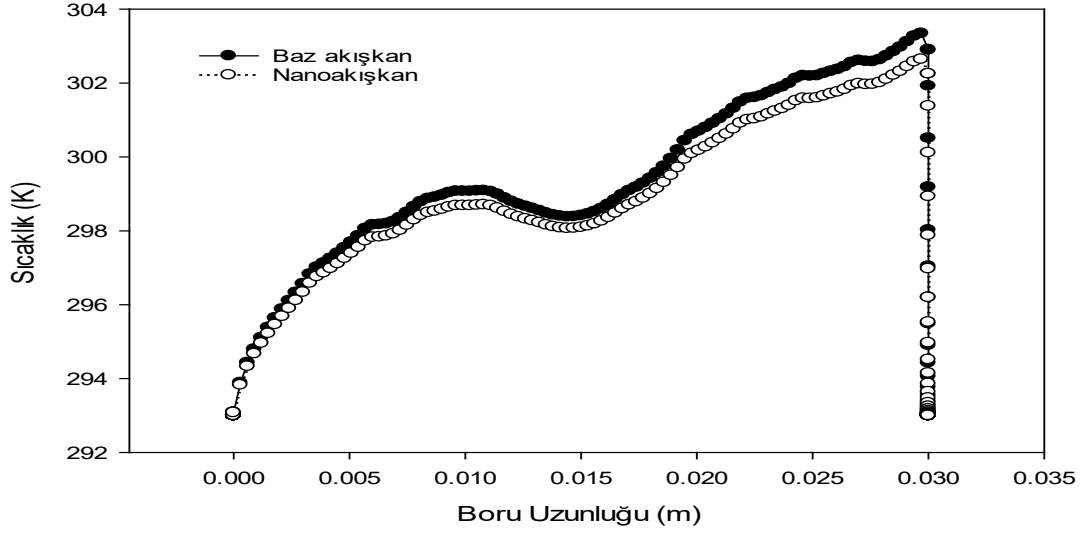
Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Tümsek	293.00003
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	293.92245
Boru sol alt duvarı	293.00002
Boru çıkışı	295.05683
Boru üst duvarı	299.0538
Boru sağ alt duvarı	293.00022



Şekil 97. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)

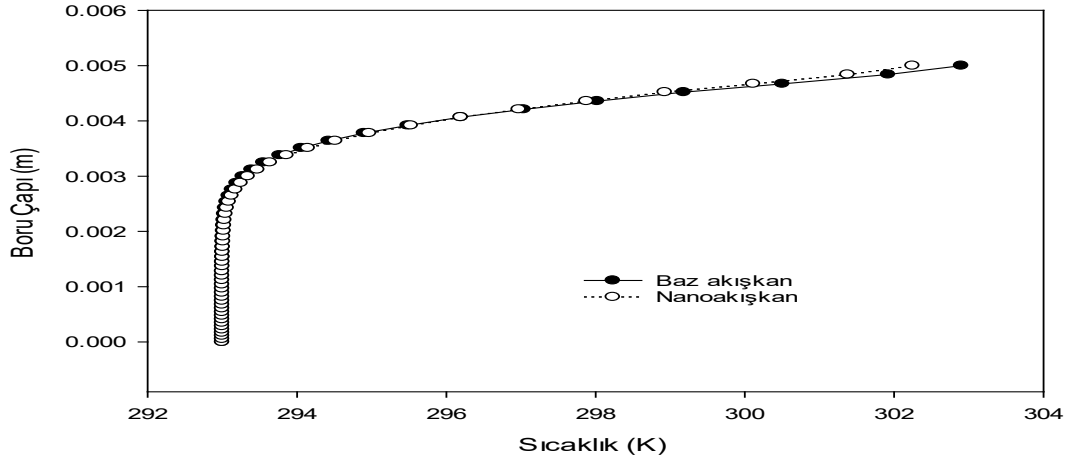
Şekil 98'deki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Nanoakışkanın sıcaklığının boru üst duvarı boyunca artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Tümseğin olduğu bölgede hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın sıcaklığının azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak tümseğin son bulunduğu yerden boru çıkışına doğru boru üst duvarı boyunca hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın sıcaklığı artış göstermiştir. Tümseklerde hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın sıcaklıklarının azalış göstermesinin sebebi tümseğin olduğu bölgede akışkanın hızı artış gösterir akışkanın hızı arttıkça basıncı azalır. Akışkanın basıncı azaldıkça

sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 98. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)

Şekil 99'da baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklıklarının boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru alt duvarında akışkanın sıcaklığında borunun girişindeki sıcaklığa göre bir değişim olmamıştır. Boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulnadığı için akışkanın sıcaklığı boru üst duvarına doğru atırış göstermiştir ve boru üst duvarında en yüksek değerini aldığı gözlenmiştir.



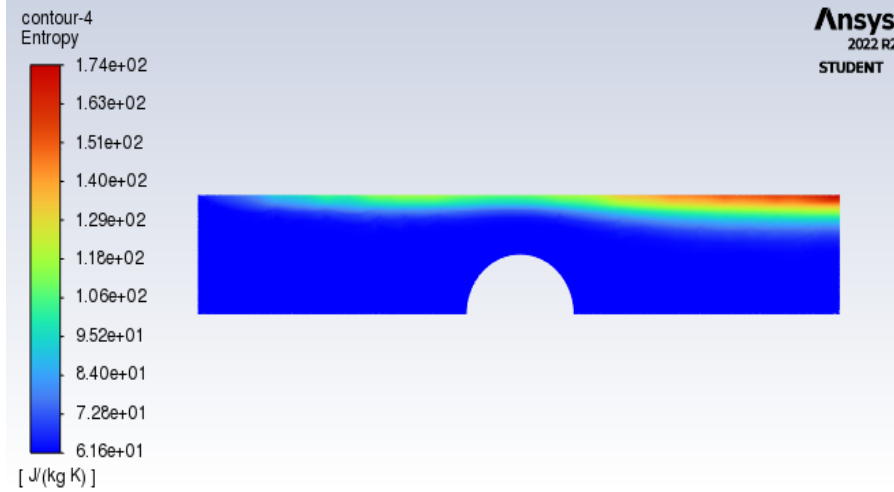
Şekil 99. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (bir tümsek)

Tablo 65. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (bir tümsek)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Tümsek	69.65871
Boru girişi	69.728021
Boru iç yüzeyi	82.992915
Boru sol alt duvarı	69.658439
Boru çıkışı	99.484902
Boru üst duvarı	141.40592
Boru sağ alt duvarı	69.6599

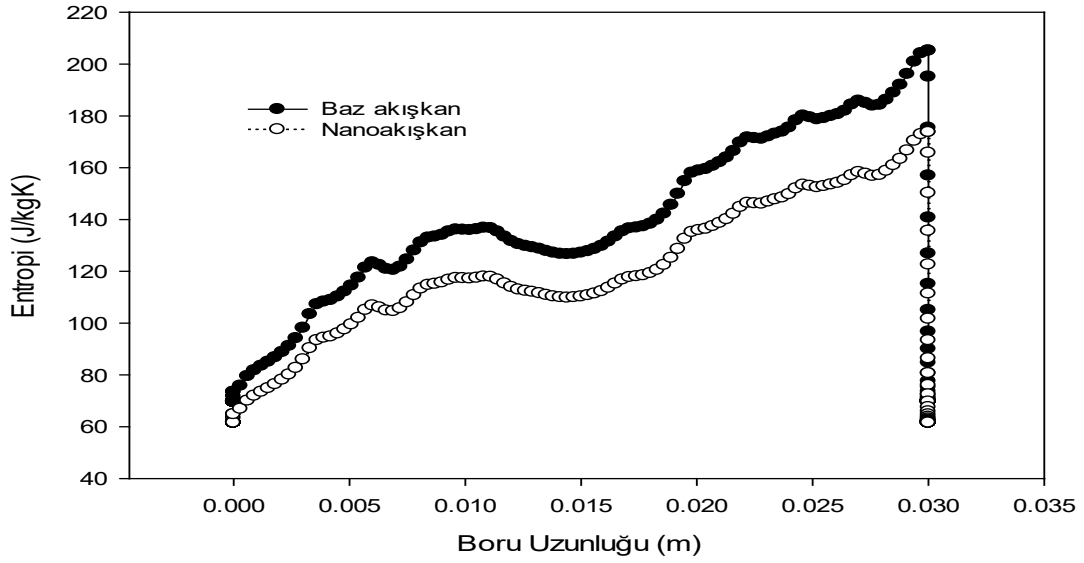
Tablo 66. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (bir tümsek)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Tümsek	61.567837
Boru girişi	61.627986
Boru iç yüzeyi	73.12205
Boru sol alt duvarı	61.5674
Boru çıkışı	87.259962
Boru üst duvarı	121.66558
Boru sağ alt duvarı	61.569933



Şekil 100. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)

Şekil 101'deki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Nanoakışkanın entropisinin boru üst duvarı boyunca artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Tümseğin olduğu bölgede hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın entropisinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak tümseğin son bulunduğu yerden boru çıkışına doğru boru üst duvarı boyunca hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın entropisi artış göstermiştir. Tümseklerde hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın entropisinin azalış göstermesinin sebebi tümseğin olduğu bölgede akışkanın hızı artış gösterir akışkanın hızı arttıkça basıncı azalır. Akışkanın basıncı azaldıkça sıcaklığıda azalış gösterir. Entropide sıcaklık gradyeni ile doğru orantılı olarak değişir. (22) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 101. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin baz akışkana göre boru uzunluğu boyunca değişimi (bir tümsek)

Tablo 67. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (bir tümsek)

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	775.32696

Tablo 68. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (bir tümsek)

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	716.89409

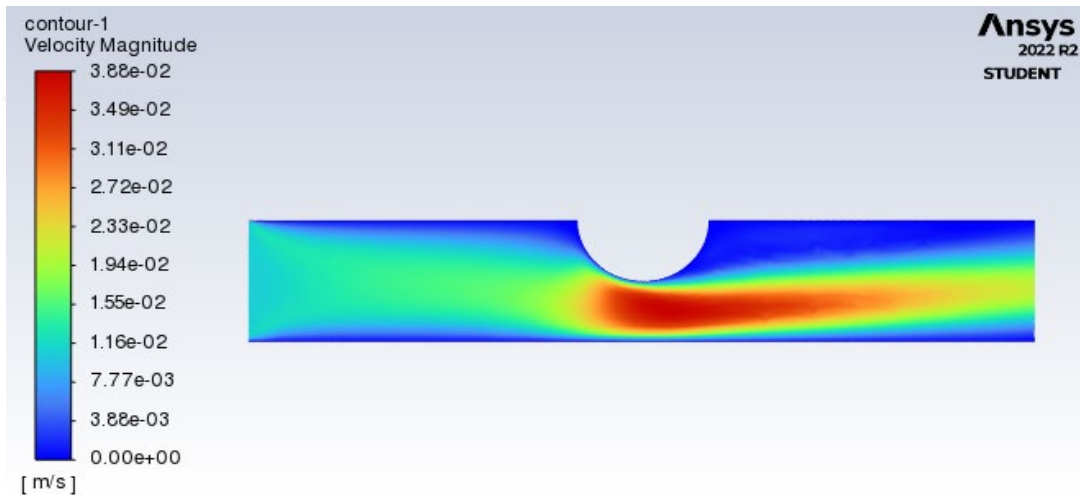
Şimdiki çalışmada boru duvarında 5 mm çapında bir çukur olan dairesel kesitli bir boruda akış analizi yapılmıştır.

Tablo 69. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (bir çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Çukur	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.012469604
Boru sol üst duvar	0
Boru çıkışı	0.011060632
Boru sağ üst duvar	0

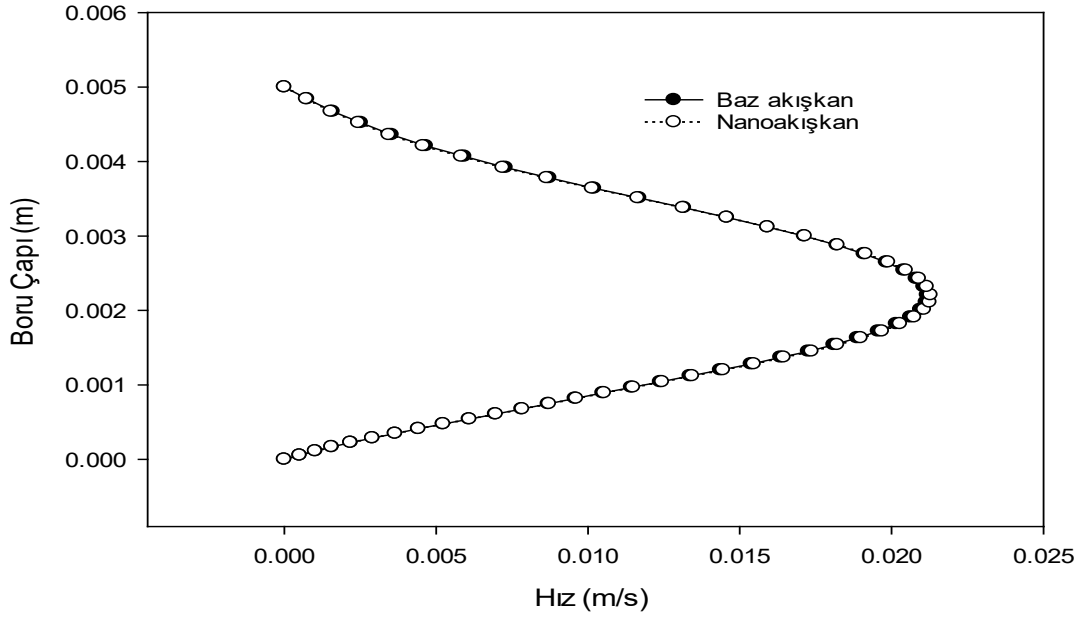
Tablo 70. %4 Al₂O₃+ H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (bir çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Çukur	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.012475717
Boru sol üst duvar	0
Boru çıkışı	0.011061738
Boru sağ üst duvar	0



Şekil 102. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)

Şekil 103'te baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hızlarının boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hem baz akışkan hem de nanoakışkanın hızlarında çukurun olduğu bölgede oldukça fazla artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Aynı şekilde akışkanın aktığı bölgenin çapı daralırsa bu durumda akışkanın hızı artış göstereceği aşağıdaki grafikte de gözlemlenmiştir. Yine borunun alt ve üst duvarlarında akışkan hızının sıfır olduğu gözlemlenmiştir.



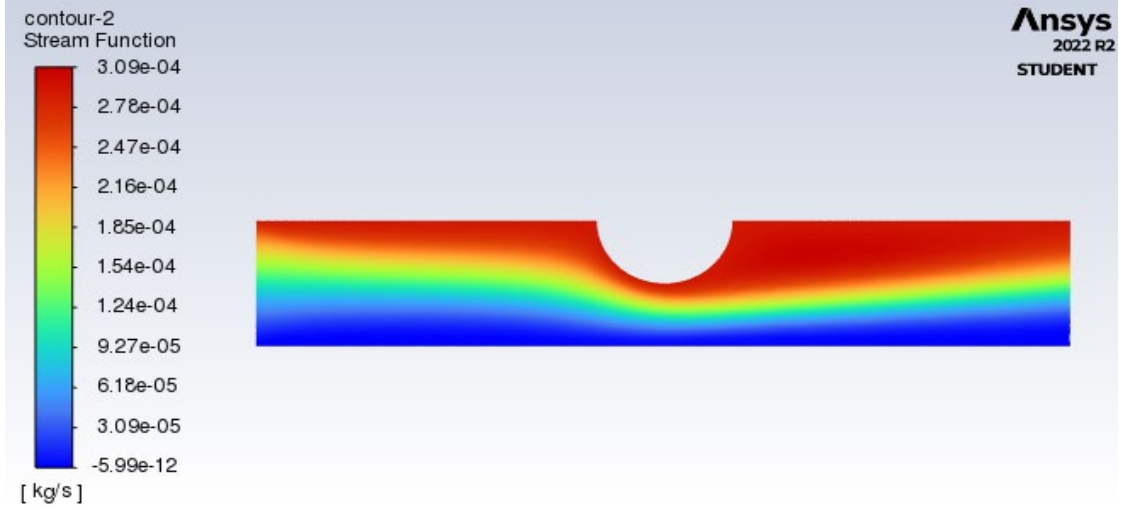
Şekil 103. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (bir çukur)

Tablo 71. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (bir çukur)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	2.3110073e-06
Çukur	0.00025869623
Boru girişi	0.00013012078
Boru iç yüzeyi	0.00016653264
Boru sol üst duvar	0.00025719864
Boru çıkışı	0.0001582274
Boru sağ üst duvar	0.00026118269

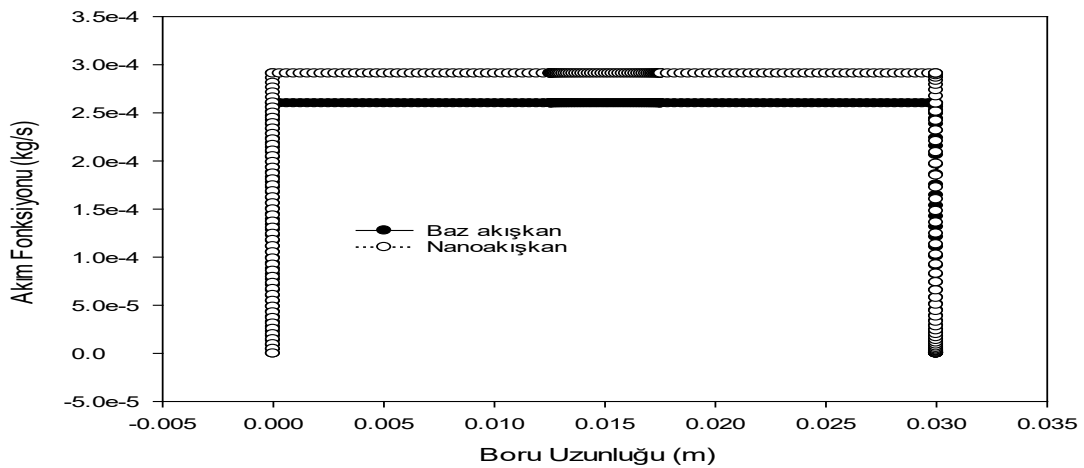
Tablo 72. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (bir çukur)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	2.5942631e-06
Çukur	0.00028949902
Boru girişi	0.00014561631
Boru iç yüzeyi	0.00018650152
Boru sol üst duvar	0.00028782155
Boru çıkışı	0.00017752387
Boru sağ üst duvar	0.00029230918



Şekil 104. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nano akışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)

Şekil 105'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Akım fonksiyonu değerleri boru üst duvarı boyunca en yüksek değerlerde seyretmiştir. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliklidir. Akışkanın akım fonksiyonu boru çapı boyunca artış göstermiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



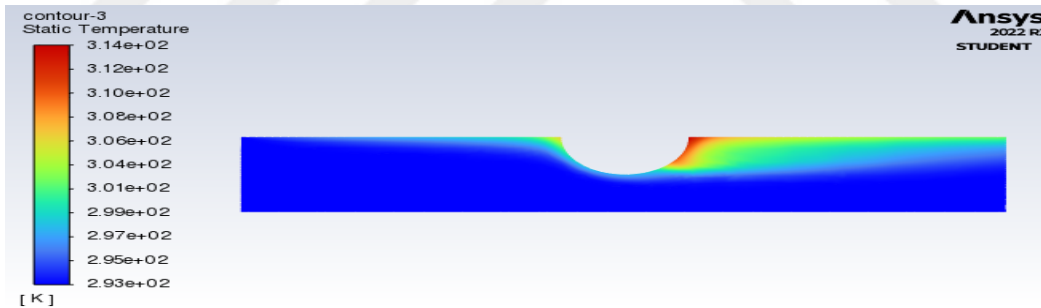
Şekil 105. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)

Tablo 73. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (bir çukur)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00008
Çukur	304.07497
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	295.49293
Boru sol üst duvar	298.47638
Boru çıkışı	295.38492
Boru sağ üst duvar	305.28811

Tablo 74. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (bir çukur)

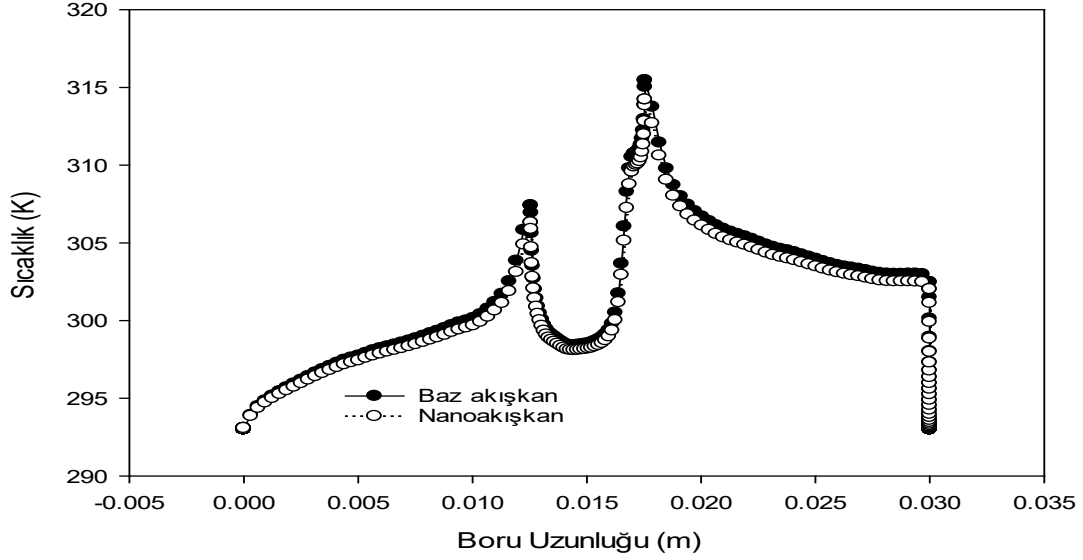
Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00013
Çukur	303.43753
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	295.43652
Boru sol üst duvar	298.11196
Boru çıkışı	295.35754
Boru sağ üst duvar	304.72963



Şekil 106. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)

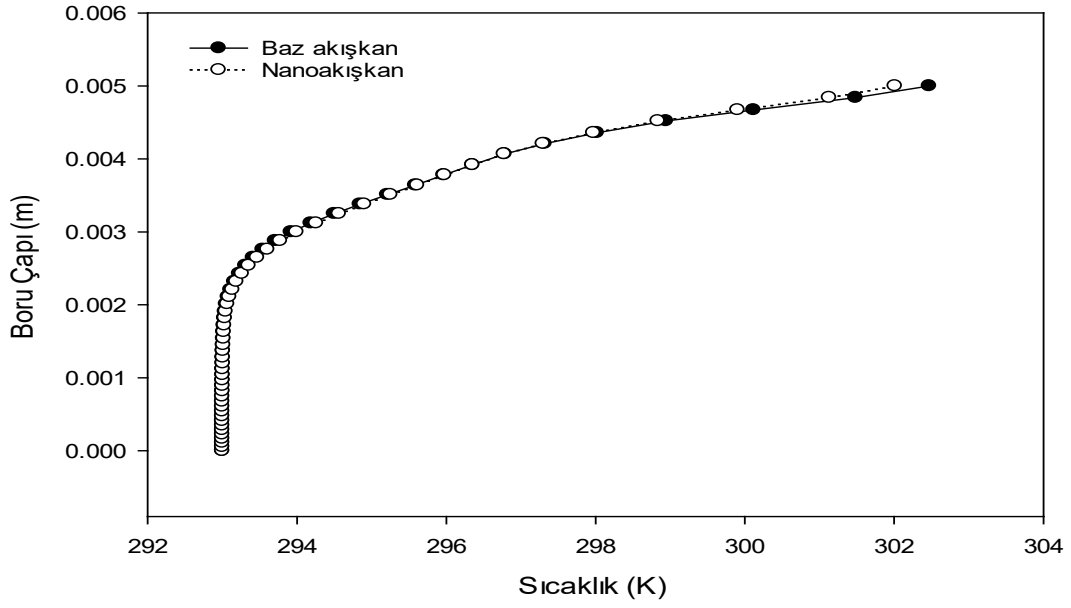
Şekil 107'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu grafikte özellikle çukurun olduğu bölgelerde akışkan sıcaklıklarında önemli ölçüde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni ise çukurun olduğu bölgede akışkanın hızında artma gözlemlenmiştir. Akışkanın hızında artma gözlemlendiği için akışkanın basıncı azalma olacaktır. Akışkanın basıncı azaldığı için akışkanın sıcaklığında da azalma gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt

duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 107. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)

Şekil 108'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yine akışkanın sıcaklığı boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulandığı için bu bölgede en yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Nanoakışkanın sıcaklığının baz akışkanın sıcaklığından daha az olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü nanoakışkanın dinamik viskozitesi baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha büyüktür. Bu durumun en temel nedeni ise nanoakışkanı oluşturan nanoparçacıkların nanoakışkanın akışını zorlaştırmasıdır. Bu yüzden nanoakışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç daha fazladır. Akışkanın sıcaklığı ile akışkanın dinamik viskozitesi ters orantılıdır.



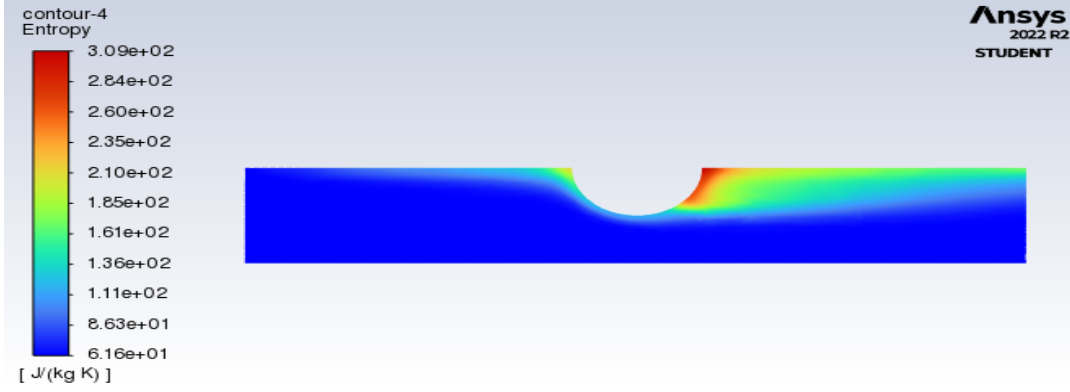
Şekil 108. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (bir çukur)

Tablo 75. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (bir çukur)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	69.659481
Çukur	213.39435
Boru girişi	69.7349
Boru iç yüzeyi	104.73835
Boru sol üst duvar	127.25003
Boru çıkışı	103.41495
Boru sağ üst duvar	221.76343

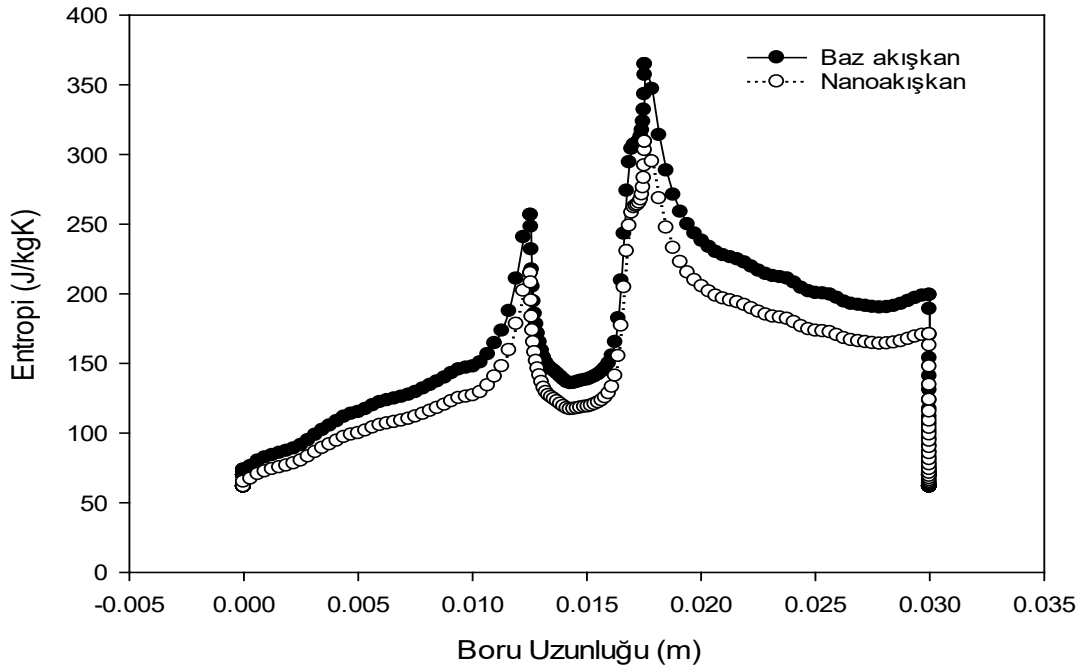
Tablo 76. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (bir çukur)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	61.569004
Çukur	181.90964
Boru girişi	61.63399
Boru iç yüzeyi	91.887346
Boru sol üst duvar	109.81624
Boru çıkışı	91.073226
Boru sağ üst duvar	191.06565



Şekil 109. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)

Şekil 110'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Entropi değerlerinin çukurun çıkışında çentik bölgesinde özellikle büyük bir artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Çukurun çıkışında akışkanın hızı azalır ve akışkanın hızı azaldıkça basıncı artar. Basıncı artan akışkanın sıcaklığı da artar. Sıcaklığı artan akışkanın entropisinde de artış gözlemlenmiştir. Çünkü (22) numaralı denklem incelendiği zaman, entropi üretimi akışkanın sıcaklık gradyeni ile doğru orantılıdır. Sıcaklık gradyeni akışkanın sıcaklığının boru uzunluğu ya da boru çapı boyunca olan değişimini ifade ettiği bilinmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 110. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (bir çukur)

Tablo 77. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (bir çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Çukur	589.50195
Boru sol üst duvar	868.53584
Boru sağ üst duvar	498.72641

Tablo 78. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (bir çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Çukur	547.22682
Boru sol üst duvar	800.389
Boru sağ üst duvar	460.33183

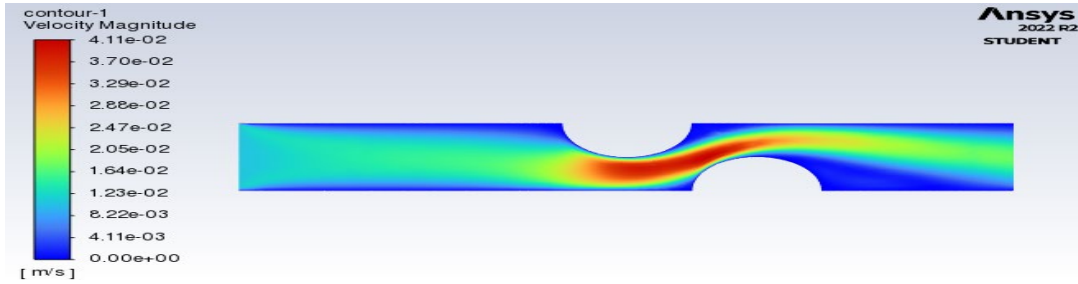
Bir sonraki çalışmada borunun üst duvarında boru girişinden 15 mm uzaklıkta 5 mm çapında bir çukur ve boru girişinden borunun alt duvarında 20 mm uzaklıkta 5 mm çapında tümsek olan dairesel kesitli bir boruda akış analizini yapılmıştır.

Tablo 79. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Hız (m/s)
Tümsek	0
Çukur	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.013410171
Boru sol alt duvar	0
Boru sol üst duvar	0
Boru çıkışı	0.011090789
Boru sağ alt duvar	0
Boru sağ üst duvar	0

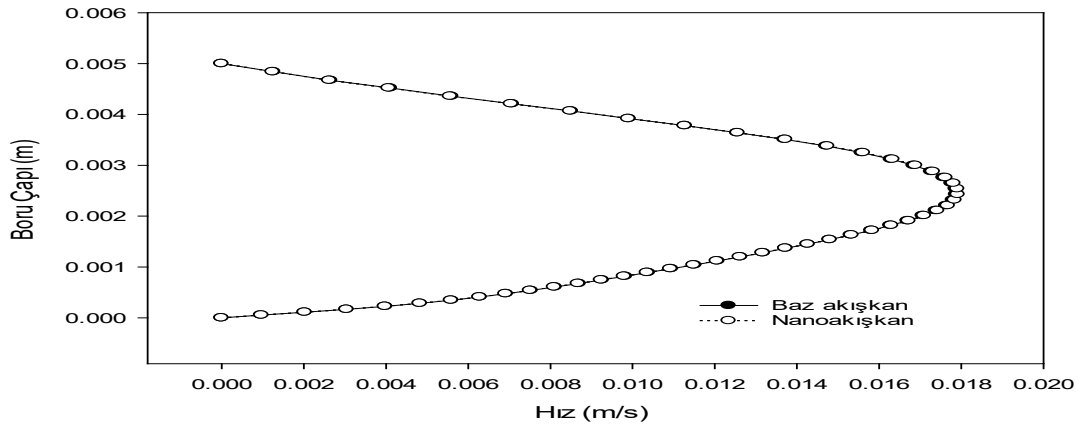
Tablo 80. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Hız (m/s)
Tümsek	0
Çukur	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.013414926
Boru sol alt duvar	0
Boru sol üst duvar	0
Boru çıkışı	0.011094423
Boru sağ alt duvar	0
Boru sağ üst duvar	0



Şekil 111. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)

Şekil 112'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hızlarının boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Aşağıdaki şekildeki grafikte akışkan hızının boru uzunluğu boyunca borunun merkezinde en yüksek değerini aldığı gözlemlenmiştir.



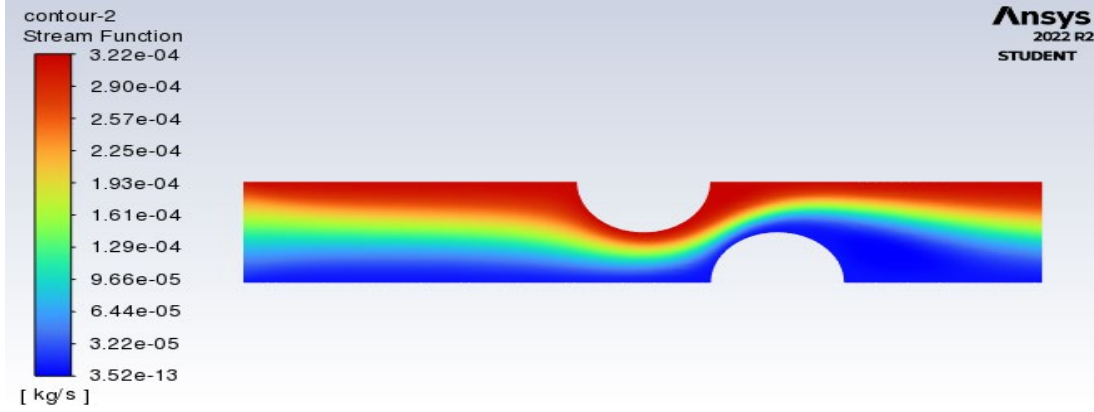
Şekil 112. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (önce çukur sonra tümsek)

Tablo 81. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Tümsek	9.8955532e-06
Çukur	0.00028119341
Boru girişi	0.00014575786
Boru iç yüzeyi	0.00015406216
Boru sol alt duvar	1.0764045e-05
Boru sol üst duvar	0.00028011178
Boru çıkışı	0.00016535015
Boru sağ alt duvar	8.3135453e-06
Boru sağ üst duvar	0.0002793694

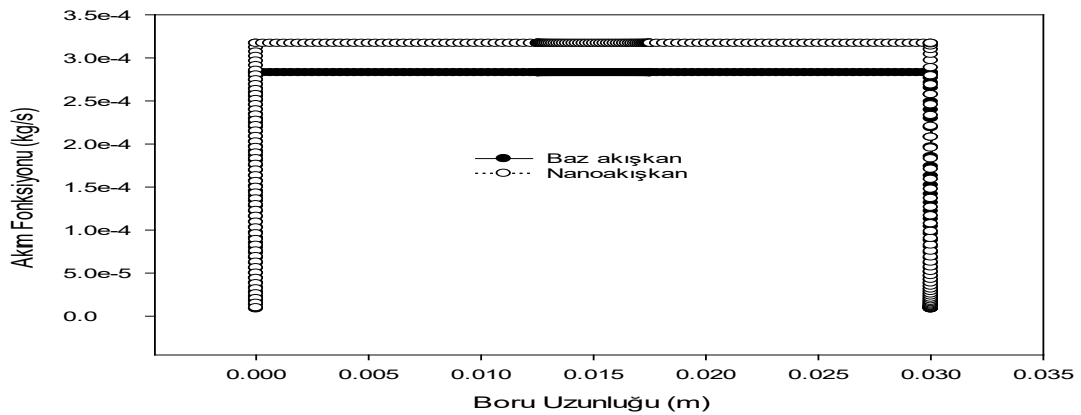
Tablo 82. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Tümsek	1.1372203e-05
Çukur	0.00031497247
Boru girişi	0.00016341276
Boru iç yüzeyi	0.00017259874
Boru sol alt duvar	1.234737e-05
Boru sol üst duvar	0.0003137607
Boru çıkışı	0.00018538834
Boru sağ alt duvar	9.5801272e-06
Boru sağ üst duvar	0.00031292831



Şekil 113. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)

Şekil 114'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki bakır oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Borunun üst duvarı boyunca akışkanın akım fonksiyonunda artış gözlemlenmiştir. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Nanoakışkanın akım fonksiyonunun baz akışkana göre daha yüksek çıkmasının nedeni akım fonksiyonu değeri akışkanın boru uzunluğu yönündeki hızı yani x eksenindeki hızının daha fazla olmasıdır. Boru üst duvarı boyunca hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın akım fonksiyonunda artış gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni akışkanın akım fonksiyonu akışkanın geçtiği yerin y eksenindeki boru çapı yönündeki uzunluğunun artıyor olmuş olması olarak açıklanmıştır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



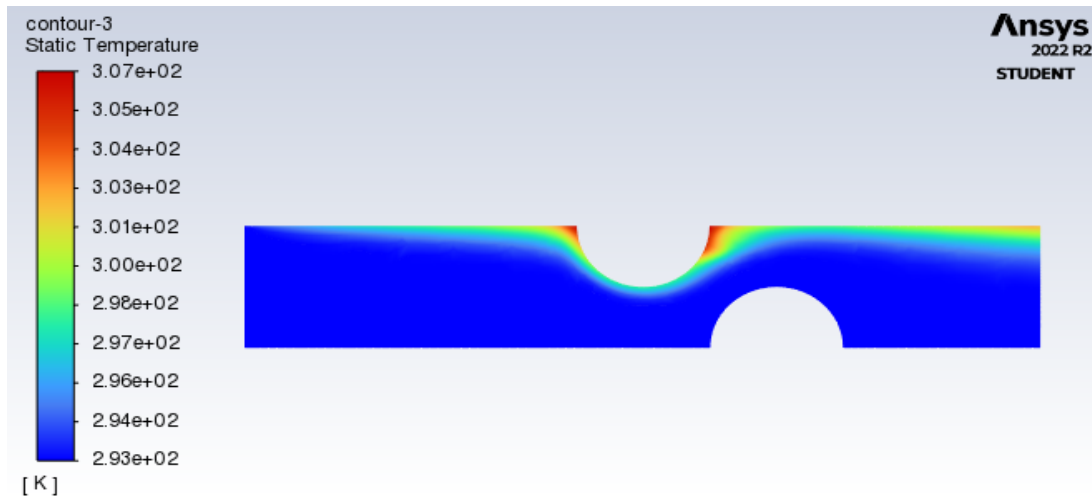
Şekil 114. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)

Tablo 83. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Tümsek	293.00071
Çukur	301.32971
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	294.18884
Boru sol alt duvar	292.99999
Boru sol üst duvar	298.47899
Boru çıkışı	295.17577
Boru sağ alt duvar	293.00245
Boru sağ üst duvar	300.80007

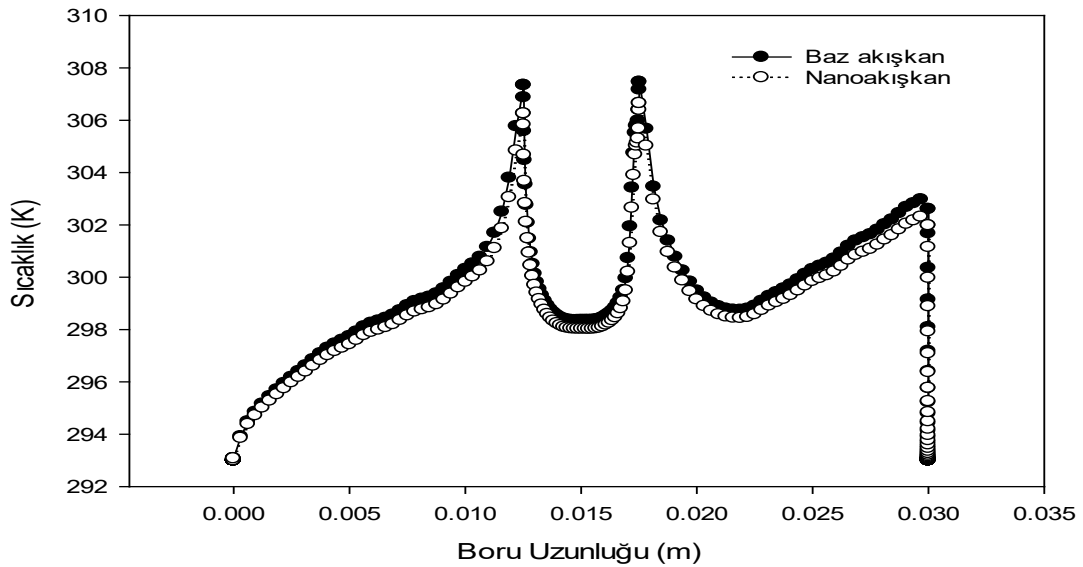
Tablo 84. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Tümsek	293.00113
Çukur	300.80214
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	294.15684
Boru sol alt duvar	292.99999
Boru sol üst duvar	298.114
Boru çıkışı	295.11891
Boru sağ alt duvar	293.00396
Boru sağ üst duvar	300.33909



Şekil 115. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)

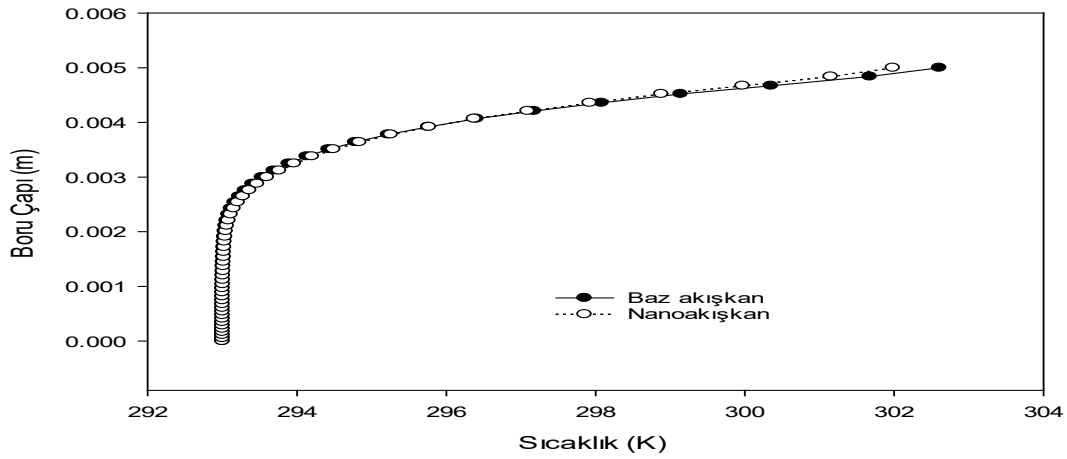
Şekil 116'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu grafikte özellikle çukurun olduğu bölgelerde akışkan sıcaklıklarında önemli ölçüde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni ise çukurun olduğu bölgede akışkanın hızında artma gözlemlenmiştir. Akışkanın hızında artma gözlemlendiği için akışkanın basıncı azalma olacaktır. Akışkanın basıncı azaldığı için akışkanın sıcaklığında da azalma gözlemlenmiştir. Tümseğin olduğu bölgede hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın sıcaklığının azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak tümseğin son bulunduğu yerden boru çıkışına doğru boru üst duvarı boyunca hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın sıcaklığı artış göstermiştir. Tümseklerde hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın sıcaklıklarının azalış göstermesinin sebebi tümseğin olduğu bölgede akışkanın hızı artış gösterir akışkanın hızı arttıkça basıncı azalır. Akışkanın basıncı azaldıkça sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 116. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)

Şekil 117'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan

değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Borunun üst duvarına yaklaştıkça akışkanın sıcaklığında artış gözlemlenmiştir. Nanoakışkanın sıcaklığının baz akışkanın sıcaklığından daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanın dinamik viskozitesinin baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha fazla olması olarak açıklanmıştır. Hatırlanırsa sıvıların dinamik viskozitesi arttıkça sıcaklığı azalır.



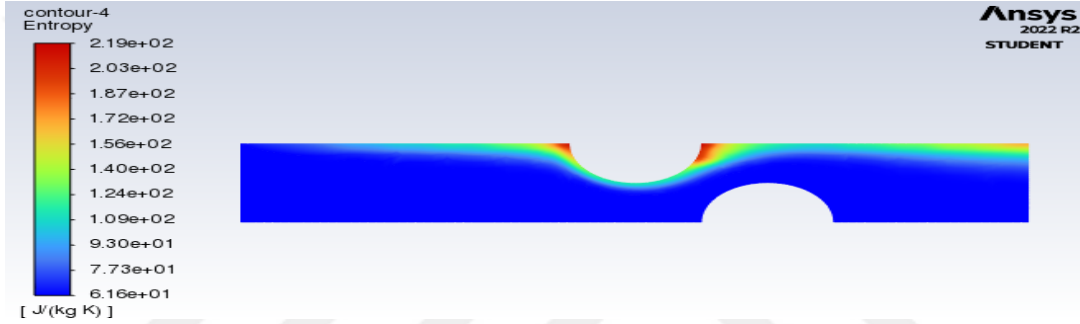
Şekil 117. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (önce çukur sonra tümsek)

Tablo 85. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Tümsek	69.668599
Çukur	176.14798
Boru girişi	69.733324
Boru iç yüzeyi	86.474553
Boru sol alt duvar	69.658433
Boru sol üst duvar	128.10033
Boru çıkışı	100.40835
Boru sağ alt duvar	69.693157
Boru sağ üst duvar	160.78248

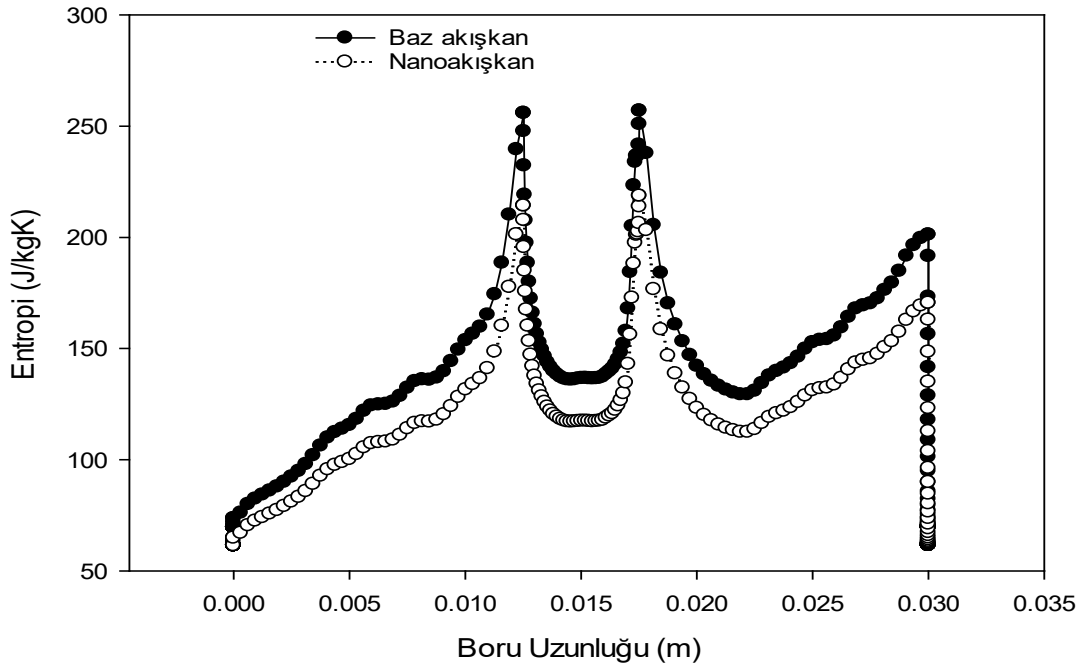
Tablo 86. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Tümsek	61.58171
Çukur	150.21368
Boru girişi	61.632727
Boru iç yüzeyi	76.038136
Boru sol alt duvar	61.567397
Boru sol üst duvar	110.48628
Boru çıkışı	88.051459
Boru sağ alt duvar	61.617162
Boru sağ üst duvar	138.19393



Şekil 118. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)

Şekil 119'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki bakır oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tümseklerde hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın entropisinin azalış göstermesinin sebebi tümseğin olduğu bölgede akışkanın hızı artış gösterir akışkanın hızı arttıkça basıncı azalır. Akışkanın basıncı azaldıkça sıcaklığıda azalış gösterir. Entropide sıcaklık gradyeni ile doğru orantılı olarak değişir. (22) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 119. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce çukur sonra tümsek)

Tablo 87. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Nusselt Sayısı
Çukur	669.34096
Boru sol üst duvar	868.05102
Boru sağ üst duvar	674.17242

Tablo 88. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (önce çukur sonra tümsek)

Bölge	Nusselt Sayısı
Çukur	621.26797
Boru sol üst duvar	799.98756
Boru sağ üst duvar	624.42015

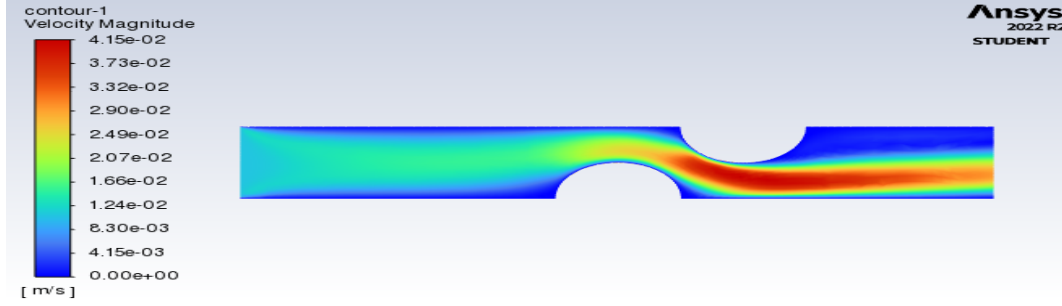
Bir sonraki çalışmada borunun alt duvarında boru girişinden 15 mm uzaklıkta 5 mm çapında bir tümsek ve boru girişinden borunun üst duvarında 20 mm uzaklıkta 5 mm çapında çukur olan dairesel kesitli bir boruda akış analizi yapılmıştır.

Tablo 89. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (önce tümsek sonra çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Tümsek	0
Çukur	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.013670859
Boru sol alt duvar	0
Boru sol üst duvar	0
Boru çıkışı	0.011958605
Boru sağ alt duvar	0
Boru sağ üst duvar	0

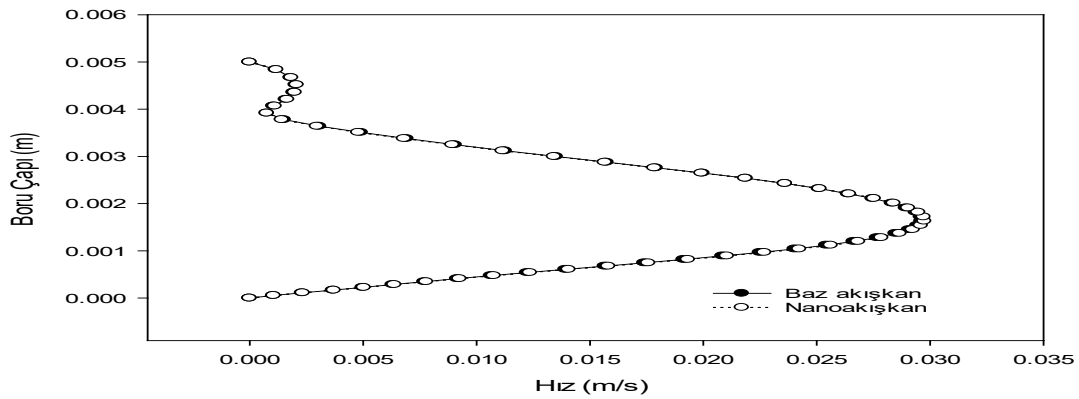
Tablo 90. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (önce tümsek sonra çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Tümsek	0
Çukur	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.013675542
Boru sol alt duvar	0
Boru sol üst duvar	0
Boru çıkışı	0.011984611
Boru sağ alt duvar	0
Boru sağ üst duvar	0



Şekil 120. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)

Şekil 121'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru üst ve alt duvarında hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın hız değerleri sıfır olmuştur. Ancak boru yarıçapında akışkan hızının en yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir.



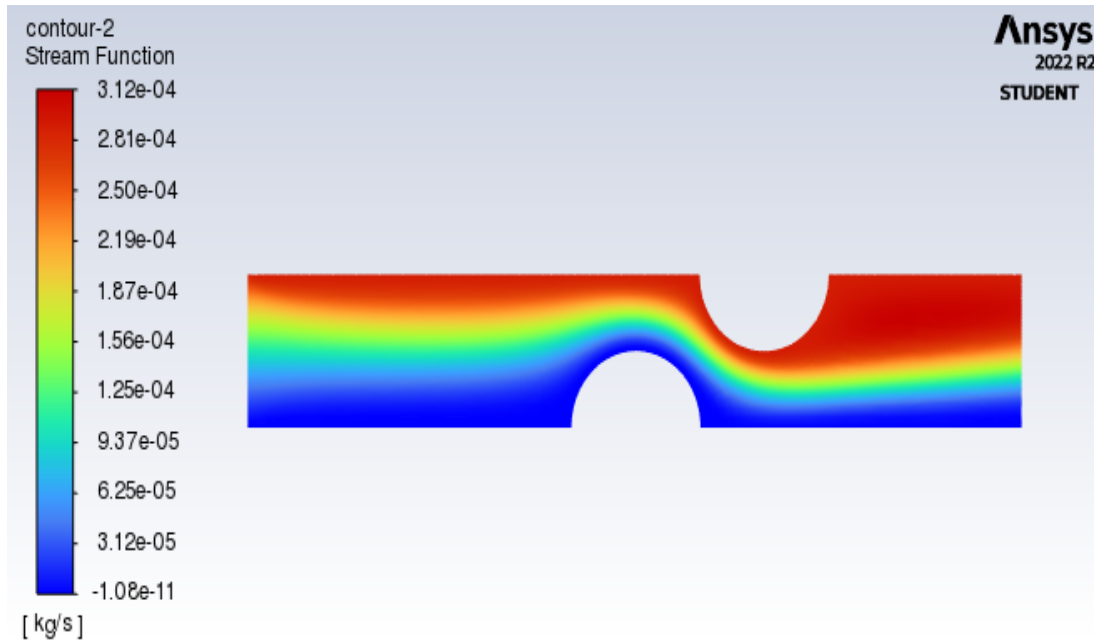
Şekil 121. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (önce tümsek sonra çukur)

Tablo 91. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce tümsek sonra çukur)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Tümsek	1.7779831e-06
Çukur	0.00025836491
Boru girişi	0.00013012667
Boru iç yüzeyi	0.00015893947
Boru sol alt duvar	1.2189733e-06
Boru sol üst duvar	0.00025600075
Boru çıkışı	0.00019289048
Boru sağ alt duvar	3.5397938e-06
Boru sağ üst duvar	0.00026134247

Tablo 92. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (önce tümsek sonra çukur)

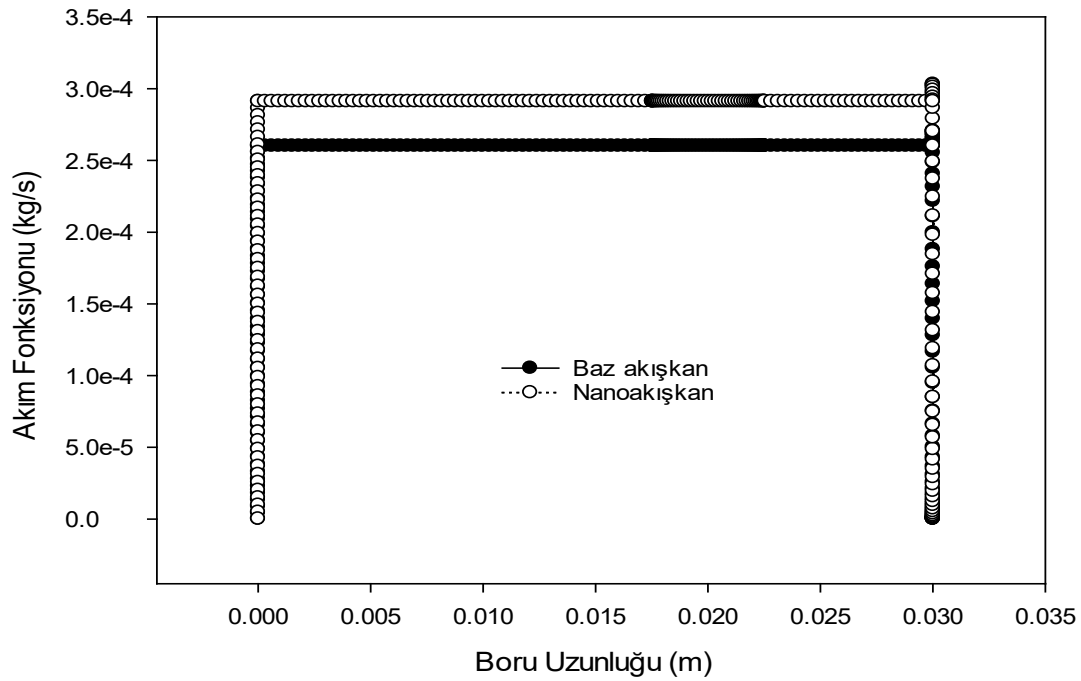
Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Tümsek	1.9963888e-06
Çukur	0.00028913105
Boru girişi	0.00014562533
Boru iç yüzeyi	0.00017794026
Boru sol alt duvar	1.3675946e-06
Boru sol üst duvar	0.00028648128
Boru çıkışı	0.0002163729
Boru sağ alt duvar	3.9781453e-06
Boru sağ üst duvar	0.00029246959



Şekil 122. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)

Şekil 123'teki bir grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru üst duvarı boyunca akım fonksiyonunun en yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin baz akışkanın akım fonksiyonu değerlerinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni nanoakışkanın hız değerlerinin baz akışkanın hız değerlerinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru girişinden boru üst duvarına doğru hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Bu durumun esas nedeni ise akışkana ait akım fonksiyonunun boru çapı boyunca yani pozitif y eksenini doğrultusunda artış göstermesi olarak bilinmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışının alt noktasına yani boru alt duvarının mesafesine inildikçe hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



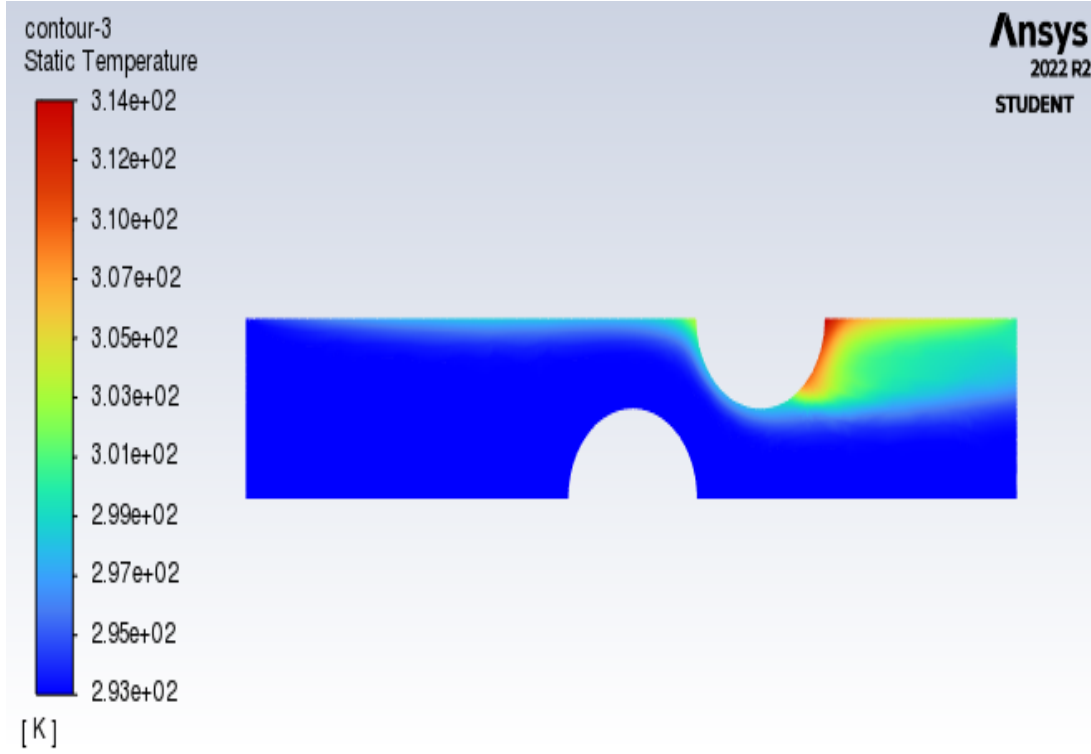
Şekil 123. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)

Tablo 93. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (önce tümsek sonra çukur)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Tümsek	293.00002
Çukur	303.5274
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	295.1792
Boru sol alt duvar	293.00002
Boru sol üst duvar	298.14537
Boru çıkışı	296.70222
Boru sağ alt duvar	293.00051
Boru sağ üst duvar	305.75237

Tablo 94. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (önce tümsek sonra çukur)

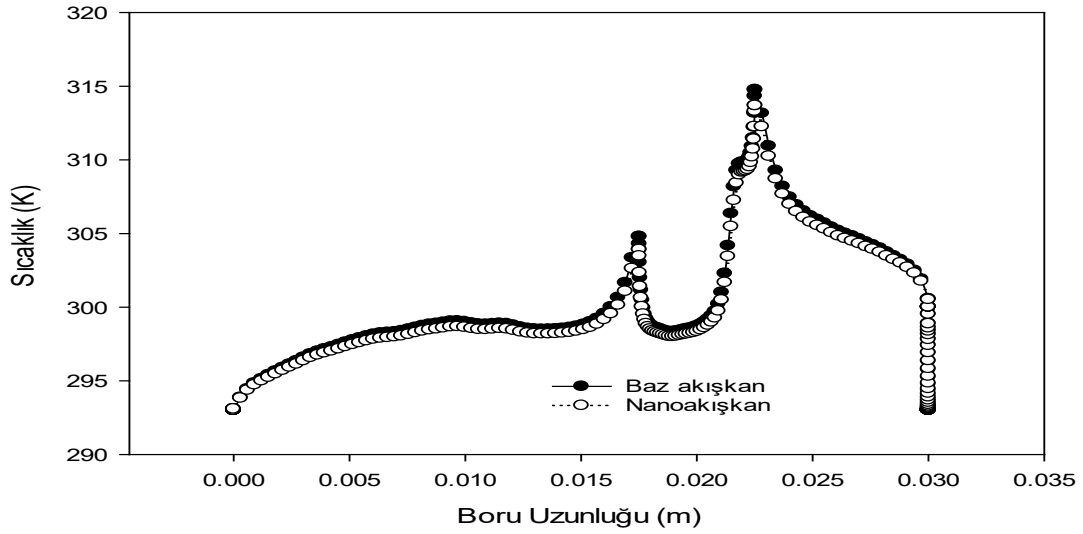
Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Tümsek	293.00004
Çukur	302.97017
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	295.15075
Boru sol alt duvar	293.00002
Boru sol üst duvar	297.81842
Boru çıkışı	296.70794
Boru sağ alt duvar	293.00089
Boru sağ üst duvar	305.35713



Şekil 124. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)

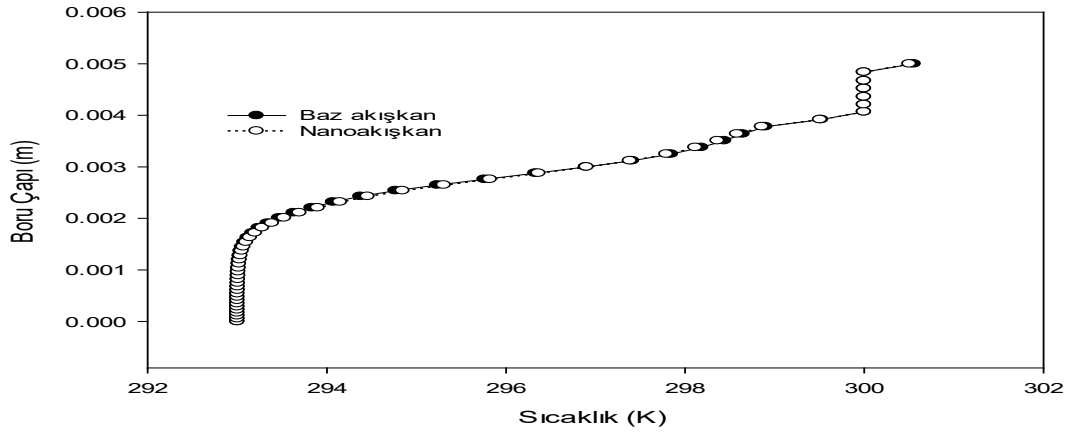
Şekil 125'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Nanoakışkanın sıcaklığının baz akışkanın sıcaklığından daha düşük değerlerde seyrettiği gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni nanoakışkanın dinamik viskozitesinin baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha az olması olarak açıklanabilmektedir. Grafiğe bakıldığında boru üst duvarı boyunca akışkanlara ait sıcaklık değerlerinde

boru girişine göre bir artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni olarak boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısının uygulanmış olması olarak belirtilmiştir. Tümseğin olduğu ve çukurun olduğu bölgelerde akışkan sıcaklıklarında bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise tümseğin ve çukurun olduğu yerde akışkan hızlarında artma gözlemlenmiştir. Akışkanın hızlarının artması akışkanın basıncında azalmaya neden olmuştur. Akışkanın basıncındaki azalma ise akışkanın sıcaklığında azalmanın meydana gelmesini sağlamıştır. Bir diğer husus ise çukurun olduğu bölgede akışkan hızındaki azalma tümseğin olduğu bölgeye göre çok daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise tümseğin olduğu bölgeye yani tümseğin kenarları boyunca herhangi bir ısı akısı uygulanmıyor olmasıdır. Ancak çukurun olduğu bölgede çukurun kenarları boyunca ısı akısı uygulandığı için çukur boyunca akışkanın basıncında azalma gözlenmiş olsa dahi çukurun yüzeyine yani kenarlarına sabit ısı akısı uygulanmış olduğu için akışkan sıcaklıklarında çok fazla düşüş gözlemlenmemiştir. Devamında yazılabilecek durumlar ise akışkanın tümsekten kurtulduğu bölgede akışkanın sıcaklığında yine bir artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkanın tümsekten kurtulduğu bölgede basıncında tekrar bir artış gözlemlendiği için akışkanın sıcaklığında da aynı şekilde artış gözlemlenmiştir. Akışkanın çukurun olduğu bölgeden kurtulduğu zaman sıcaklığında bir artış gözlemlenmesinin esas nedeni ise akışkanın çukurdan kurtulduğu bölgede tekrardan basıncının artmasıdır. Basıncı artan akışkanın sıcaklığında da artış gözlemlenmiş olması beklenen bir durumdur. Akışkanın çukurun bittiği yerden boru çıkışından boru alt duvarına doğru sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkanın artık sabit bir ısı akısına maruz kaldığı bölgeden uzaklaşıyor olması olarak bilinmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 125. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)

Şekil 126'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikte dikkat edilebilecek önemli noktalar şunlardır. Grafikte hem baz akışkana hem de nanoakışkana ait sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca pozitif y eksenini boyunca değişimi verilmiştir. Boru çıkışında akışkanın sıcaklığında boru alt duvarından 2 mm yukarıya kadar herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. 2mm'den sonra hem baz akışkana hem de nanoakışkana ait sıcaklık değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak akışkanlar artık borunun sabit ısı akısının uygulandığı boru üst duvarına yaklaşmaktadır. Boru üst duvarında akışkanlara ait sıcaklık değerleri en yüksek değerlerini almıştır. İkinci önemli nokta ise nanoakışkana ait sıcaklık değerlerinin baz akışkana ait sıcaklık değerlerinden daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanın dinamik viskozitesi baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha fazladır. Sıvı olan akışkanların dinamik viskozitelerinin sıcaklıkları arasında ters orantılı olarak değişim bilinmiştir.



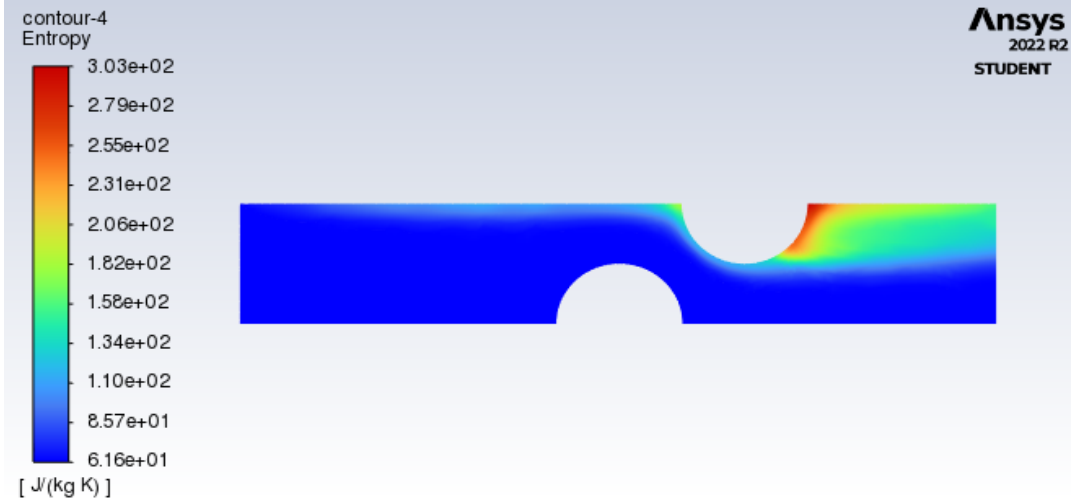
Şekil 126. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (önce tümsek sonra çukur)

Tablo 95. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (önce tümsek sonra çukur)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Tümsek	69.658755
Çukur	205.80948
Boru girişi	69.733473
Boru iç yüzeyi	100.33872
Boru sol alt duvar	69.658439
Boru sol üst duvar	122.72008
Boru çıkışı	122.49659
Boru sağ alt duvar	69.665474
Boru sağ üst duvar	230.4529

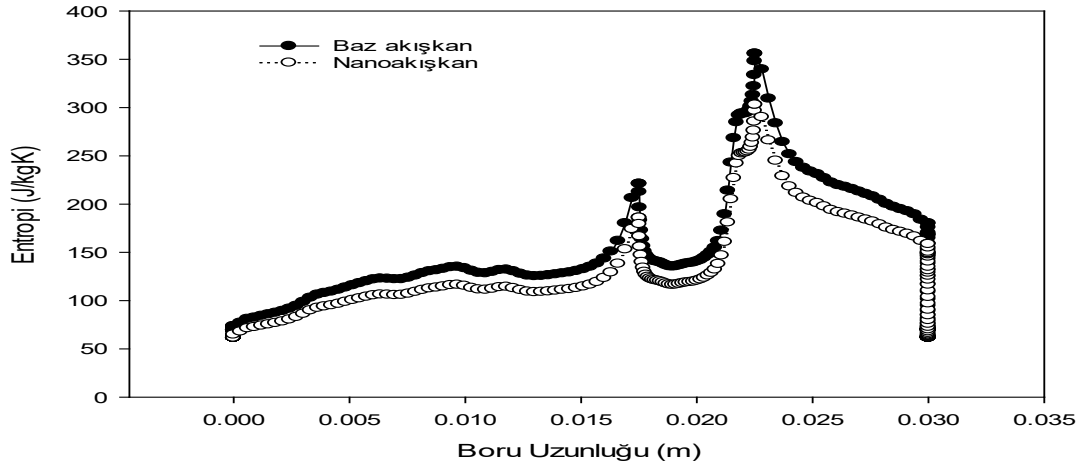
Tablo 96. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (önce tümsek sonra çukur)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Tümsek	61.56795
Çukur	176.13425
Boru girişi	61.632615
Boru iç yüzeyi	88.339175
Boru sol alt duvar	61.5674
Boru sol üst duvar	106.25933
Boru çıkışı	108.30424
Boru sağ alt duvar	61.578377
Boru sağ üst duvar	200.53545



Şekil 127. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)

Şekil 128'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Akışkanlara ait sıcaklık değerleri ile nanoakışkanlara ait entropi değerlerinin değişimi aşağıdaki grafikte verilmiştir. Borunun girişinde belli bir değerdedir akışkanın entropi değerleri. Ancak boru girişinden boru üst duvarına doğru akışkanların entropi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni olarak boru üst duvarında akışkanlara ait sıcaklık değerlerinde artış gözlemlenmiş olmasıdır. Akışkanın entropi değerlerinde artış gözlemlenmiş olmasının nedeni akışkanlara ait sıcaklık gradyanları değerlerinin artış göstermesi olarak açıklanmıştır. Tümsek ve çukurun olduğu bölgelerde entropi değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni akışkanlara ait sıcaklık değerlerinin düşüş göstermesi ile akışkanlara ait sıcaklık gradyanlarının azalması gerçekleşmiştir. Akışkanlara ait sıcaklık gradyanlarının azalması akışkanlara ait entropi değerlerinin azalmasına neden olmuştur. (22) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Tümseğin ve çukurun bittiği yani akışkanın tümsek ve çukurdan kurtulduğu bölgelerde akışkanlara ait hız azalmaktadır. Akışkanlara ait hız azaldıkça akışkanlara ait basınç artmaktadır. Akışkanlara ait basınç arttıkça akışkanların sıcaklığı artmaktadır. Akışkanların sıcaklıkları arttıkça sıcaklık gradyanları da artar. Akışkanların sıcaklık gradyanları arttıkça da entropi değerleri artar. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 128. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (önce tümsek sonra çukur)

Tablo 97. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (önce tümsek sonra çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Çukur	610.21092
Boru sol üst duvar	869.03467
Boru sağ üst duvar	487.71605

Tablo 98. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (önce tümsek sonra çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Çukur	565.42737
Boru sol üst duvar	800.56456
Boru sağ üst duvar	444.82633

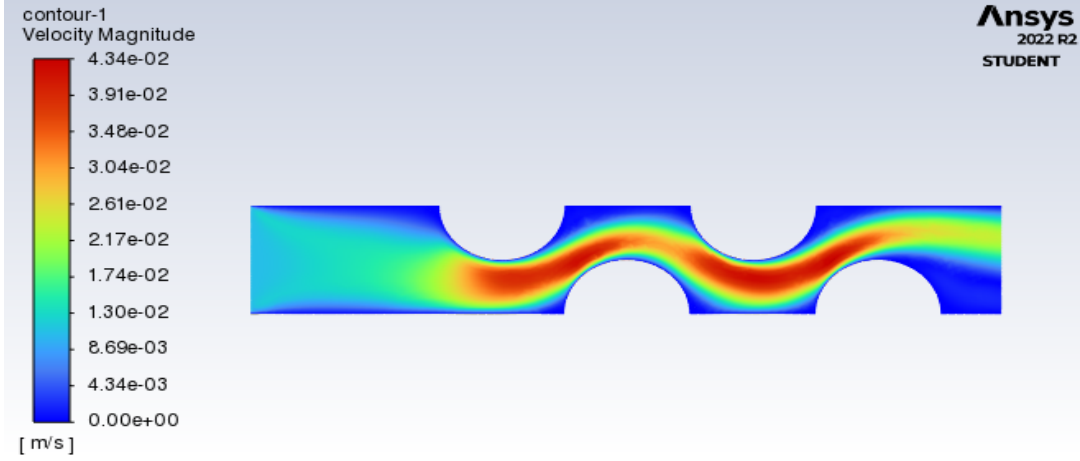
Bir sonraki çalışmada borunun alt duvarında boru girişinden sırasıyla 15 mm ve 25 mm uzaklıkta iki adet 5 mm çapında tümsekler ve boru girişinden borunun üst duvarından 10 mm ve 20 mm uzaklıkta 5 mm çapında iki adet çukur olan dairesel kesitli bir boruda akış analizini yapılmıştır.

Tablo 99. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (iki tümsek iki çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.016244254
Boru sol alt duvarı	0
Sol tümsek	0
Sol çukur	0
Boru sol üst duvarı	0
Boru alt orta duvar	0
Boru üst orta duvar	0
Boru çıkışı	0.01168341
Boru sağ alt duvar	0
Sağ tümsek	0
Sağ çukur	0
Boru sağ üst duvarı	0

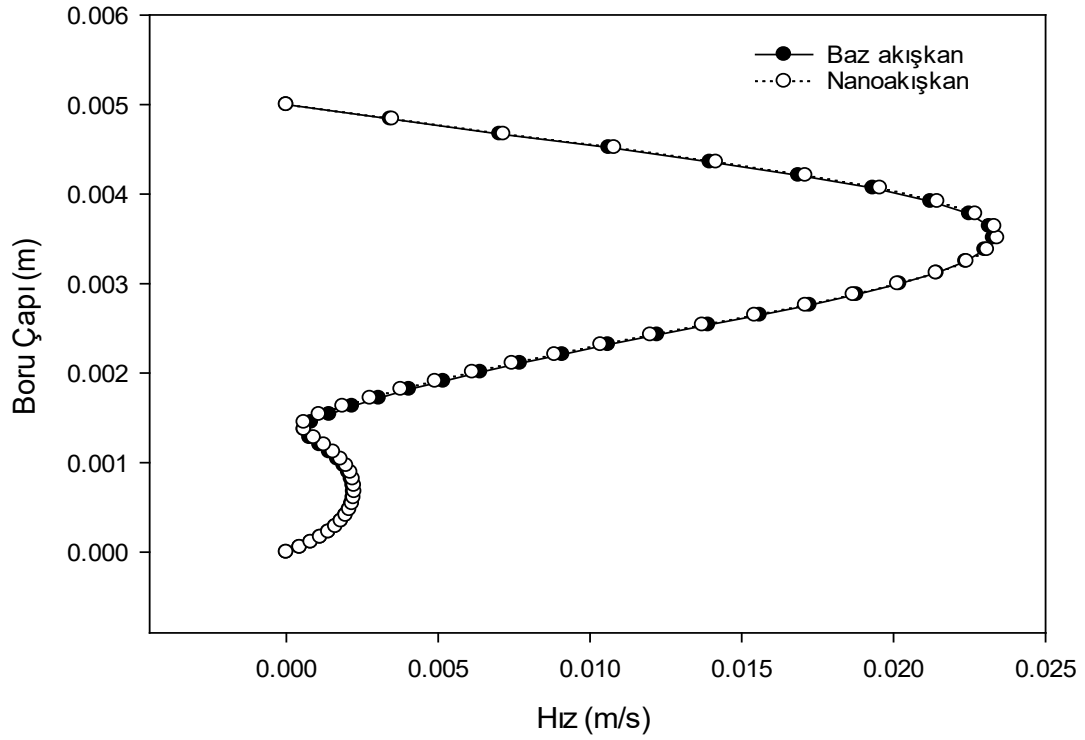
Tablo 100. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (iki tümsek iki çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.016247364
Boru sol alt duvarı	0
Sol tümsek	0
Sol çukur	0
Boru sol üst duvarı	0
Boru alt orta duvar	0
Boru üst orta duvar	0
Boru çıkışı	0.011700105
Boru sağ alt duvar	0
Sağ tümsek	0
Sağ çukur	0
Boru sağ üst duvarı	0



Şekil 129. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur)

Şekil 130'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikte akışkanın hızının boru çıkışının en alt noktasından 1 mm yukarıya kadar akışkanın hızında çok az bir artış gözlemlenmiştir. Bu durum halkasal etki olarak adlandırılır. Halkasal etki de akışkanın bulunduğu yüzeydeki durumlardan meydana gelir. Sonrasında akışkanın hızı boru üst ve alt duvarında sıfırdır. Borunun iç yüzeyinde borunun çapının ortasında boru uzunluğu boyunca akışkanların hızı en yüksek değeri almış olduğu gözlemlenmiştir.



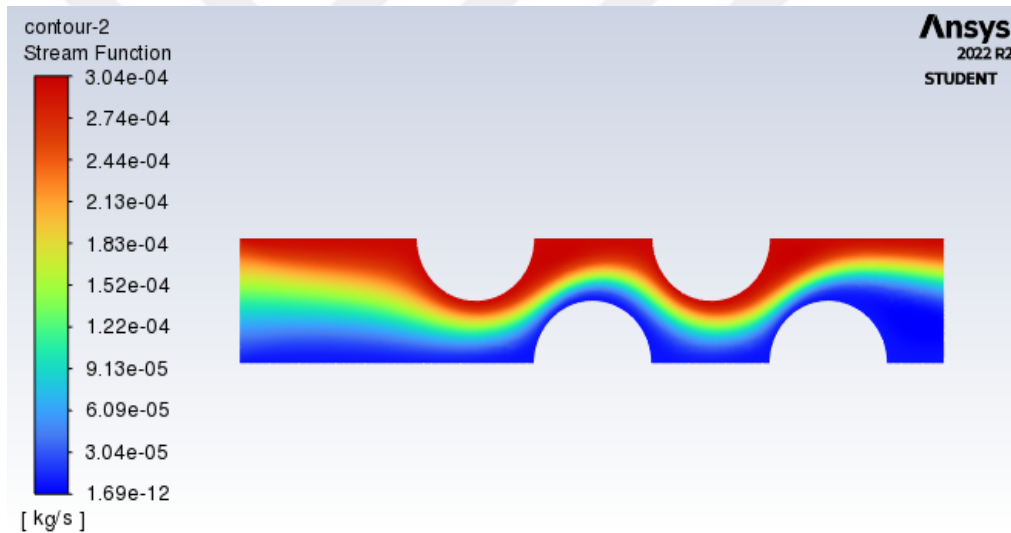
Şekil 130. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (iki tümsek iki çukur)

Tablo 101. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (iki tümsek iki çukur)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru girişi	0.00013758478
Boru iç yüzeyi	0.00014735785
Boru sol alt duvarı	1.0865852e-05
Sol tümsek	1.0446119e-05
Sol çukur	0.0002651027
Boru sol üst duvarı	0.00026422793
Boru alt orta duvar	1.0054109e-05
Boru üst orta duvar	0.0002668216
Boru çıkışı	0.00010945523
Boru sağ alt duvar	8.1325311e-06
Sağ tümsek	9.7563042e-06
Sağ çukur	0.00026483147
Boru sağ üst duvarı	0.00026347574

Tablo 102. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (iki tümsek iki çukur)

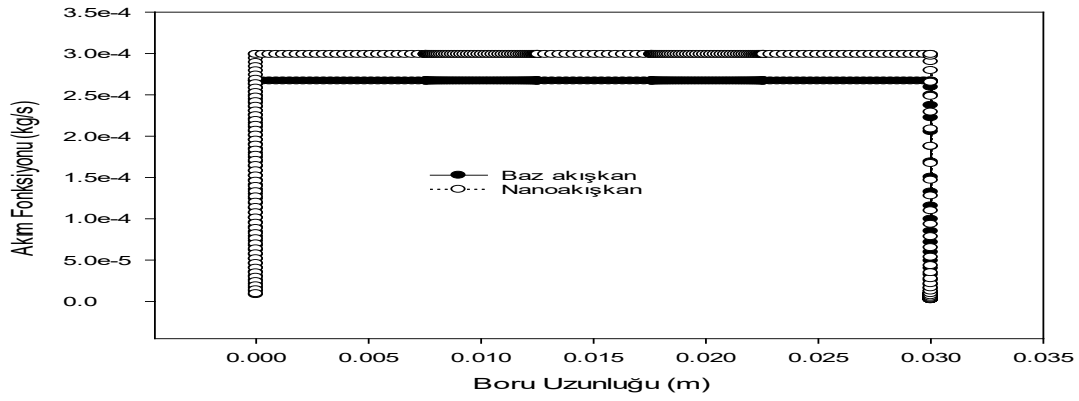
Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru girişi	0.00015424166
Boru iç yüzeyi	0.00016509515
Boru sol alt duvarı	1.2437723e-05
Sol tümsek	1.1968901e-05
Sol çukur	0.00029694066
Boru sol üst duvarı	0.0002959608
Boru alt orta duvar	1.151492e-05
Boru üst orta duvar	0.00029890568
Boru çıkışı	0.00012182234
Boru sağ alt duvar	9.374418e-06
Sağ tümsek	1.1191721e-05
Sağ çukur	0.00029664004
Boru sağ üst duvarı	0.00029511044



Şekil 131. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur)

Şekil 132'deki grafikte aşağıdaki şekilde baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru üst duvarı boyunca akım fonksiyonunun en yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin baz akışkanın akım fonksiyonu değerlerinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni nanoakışkanın hız değerlerinin baz akışkanın hız değerlerinden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru girişinden boru üst duvarına doğru hem

baz akışkanının hem de nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkana ait akım fonksiyonunun boru çapı boyunca yani pozitif y eksenini doğrultusunda artış göstermesi olarak bilinmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışının alt noktasına yani boru alt duvarının mesafesine inildikçe hem baz akışkanının hem de nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Çukurların ve tümseklerin olduğu bölgelerde de akışkanların akım fonksiyonu en yüksek değerleri aldığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



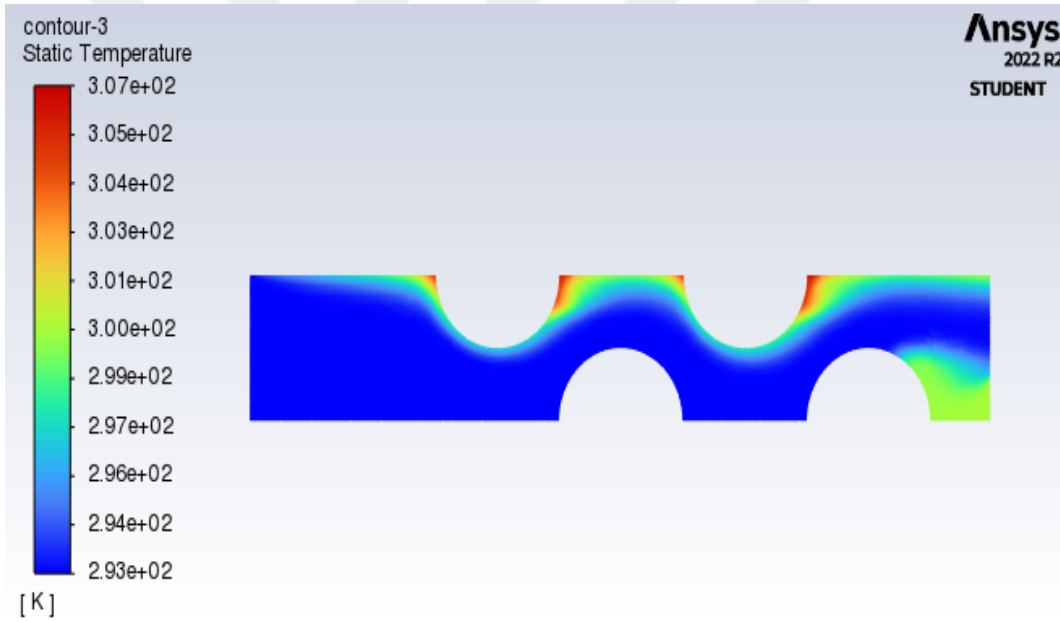
Şekil 132. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur)

Tablo 103. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (iki tümsek iki çukur)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.71191
Boru sol alt duvarı	293.00002
Sol tümsek	293.00017
Sol çukur	300.32041
Boru sol üst duvarı	297.67187
Boru alt orta duvar	293.00101
Boru üst orta duvar	301.36373
Boru çıkışı	295.87948
Boru sağ alt duvar	299.92531
Sağ tümsek	295.00263
Sağ çukur	300.85382
Boru sağ üst duvarı	300.32602

Tablo 104. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (iki tümsek iki çukur)

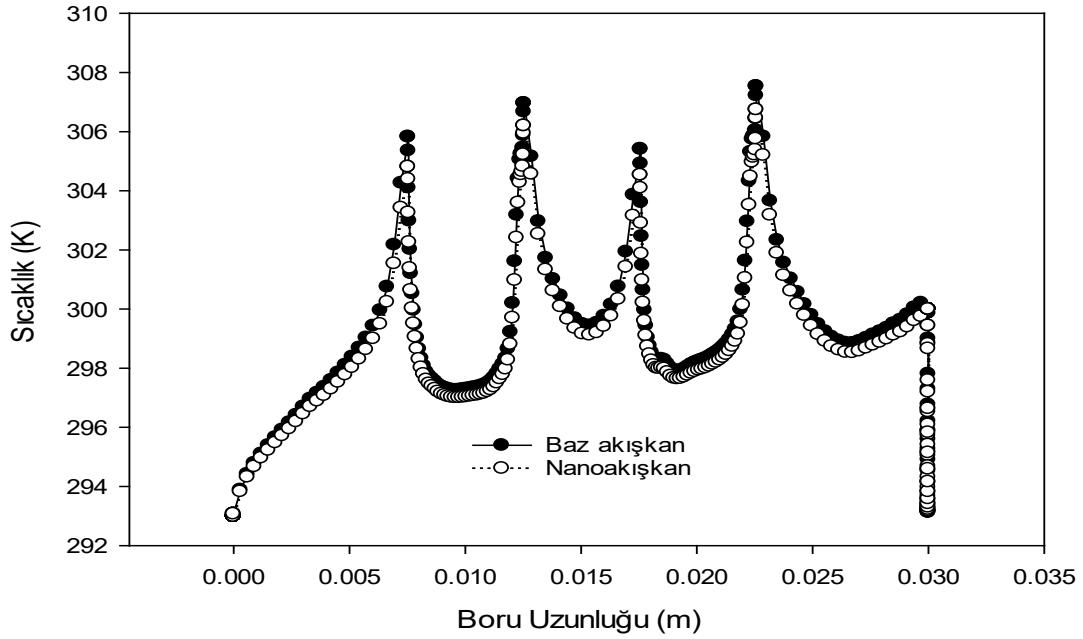
Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru girişi	292.99999
Boru iç yüzeyi	294.67923
Boru sol alt duvarı	293.00002
Sol tümsek	293.0003
Sol çukur	299.85632
Boru sol üst duvarı	297.35552
Boru alt orta duvar	293.00166
Boru üst orta duvar	300.9281
Boru çıkışı	295.91654
Boru sağ alt duvar	299.92298
Sağ tümsek	294.99584
Sağ çukur	300.39095
Boru sağ üst duvarı	299.92869



Şekil 133. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur)

Şekil 134'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Nanoakışkanın sıcaklığının baz akışkanın sıcaklığından daha düşük değerlerde seyrettiği gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni nanoakışkanın dinamik viskozitesinin baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha az olması olarak açıklanabilmektedir. Grafiğe bakıldığında boru üst duvarı boyunca akışkanlara ait sıcaklık değerlerinde

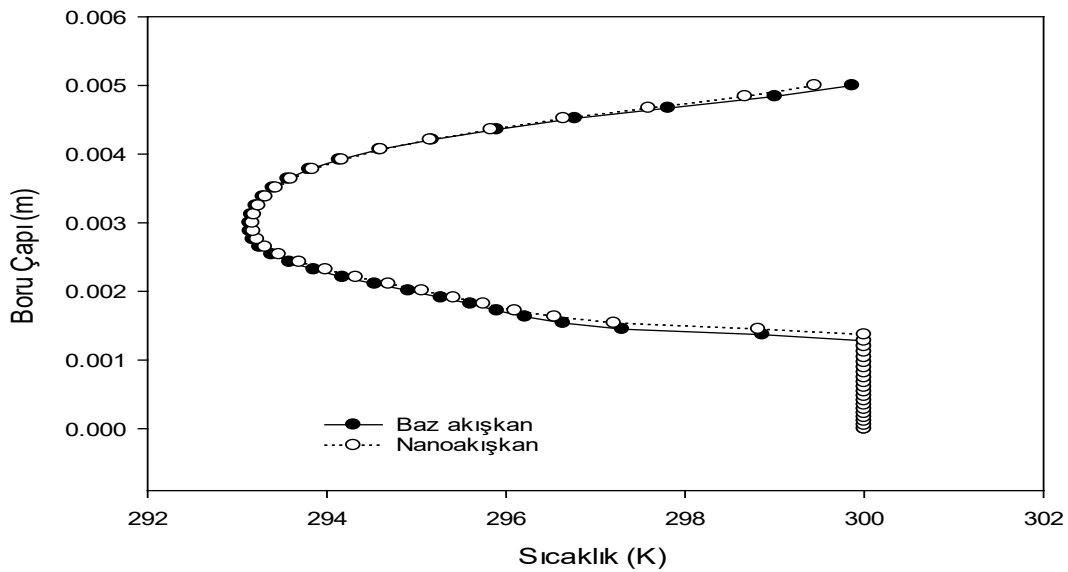
boru girişine göre bir artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni olarak boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısının uygulanmış olması olarak belirtilmiştir. Tümseğin olduğu ve çukurun olduğu bölgelerde akışkan sıcaklıklarında bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise tümseğin ve çukurun olduğu yerde akışkan hızlarında artma gözlemlenmiştir. Akışkanın hızlarının artması akışkanın basıncında azalmaya neden olmuştur. Akışkanın basıncındaki azalma ise akışkanın sıcaklığında azalmanın meydana gelmesini sağlamıştır. Bir diğer husus ise çukurun olduğu bölgede akışkan hızındaki azalma tümseğin olduğu bölgeye göre çok daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise tümseğin olduğu bölgeye yani tümseğin kenarları boyunca herhangi bir ısı akısı uygulanmıyor olmasıdır. Ancak çukurun olduğu bölgede çukurun kenarları boyunca ısı akısı uygulandığı için çukur boyunca akışkanın basıncında azalma gözlenmiş olsa dahi çukurun yüzeyine yani kenarlarına sabit ısı akısı uygulanmış olduğu için akışkan sıcaklıklarında çok fazla düşüş gözlemlenmemiştir. Devamında yazılabilecek durumlar ise akışkanın tümsekten kurtulduğu bölgede akışkanın sıcaklığında yine bir artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkanın tümsekten kurtulduğu bölgede basıncında tekrar bir artış gözlemlendiği için akışkanın sıcaklığında da aynı şekilde artış gözlemlenmiştir. Akışkanın çukurun olduğu bölgeden kurtulduğu zaman sıcaklığında bir artış gözlemlenmesinin esas nedeni ise akışkanın çukurdan kurtulduğu bölgede tekrardan basıncının artmasıdır. Basıncı artan akışkanın sıcaklığında da artış gözlemlenmiş olması beklenen bir durumdur. Akışkanın çukurun bittiği yerden boru çıkışından boru alt duvarına doğru sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkanın artık sabit bir ısı akısına maruz kaldığı bölgeden uzaklaşıyor olması olarak bilinmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 134. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur)

Şekil 135'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikte dikkat edilebilecek önemli noktalar şunlardır. Grafikte hem baz akışkana hem de nanoakışkana ait sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca pozitif y eksenini boyunca değişimi verilmiştir. Boru çıkışında akışkanın sıcaklığında boru alt duvarından 2 mm yukarıya kadar herhangi bir değişme gözlemlenmemiştir. 2mm'den sonra hem baz akışkana hem de nanoakışkana ait sıcaklık değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durumun nedeni olarak akışkanlar artık borunun sabit ısı akısının uygulandığı boru üst duvarına yaklaşmaktadır. Boru üst duvarında akışkanlara ait sıcaklık değerleri en yüksek değerlerini almıştır. Ancak bu grafikte boru çıkışında boru alt duvarına 1 mm kala akışkanın sıcaklığı sabit ve en yüksek değeri almıştır. Yani boru girişindeki sıcaklık değerine inmediği gözlemlenmiştir akışkanların sıcaklığı boru alt duvarının bitiş noktasında. Bu durumun nedeni olarak çukur ve tümseklerin sayılarının arttırılmış olmasından ve akışkanın sıcaklığının çukur ve tümseğin bitiş noktasından hemen sonra artış gösterdiği ve çukur ve tümseklerin boru çıkış bölgesine çok yakın olduğu için

boru çıkış bölgesinde de akışkanın sıcaklığında boru alt duvarına doğru çok fazla bir azalma gözlenmemiştir. İkinci önemli nokta ise nanoakışkana ait sıcaklık değerlerinin baz akışkana ait sıcaklık değerlerinden daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanın dinamik viskozitesi baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha fazladır. Sıvı olan akışkanların dinamik viskozitelerinin sıcaklıkları arasında ters orantılı olarak değişim bilinmiştir.



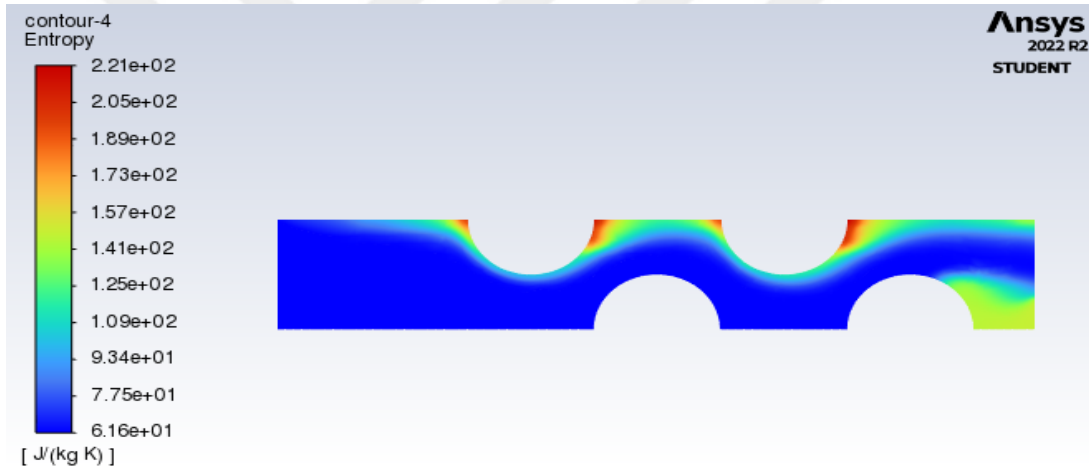
Şekil 135. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (iki tümsek iki çukur)

Tablo 105. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (iki tümsek iki çukur)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru girişi	69.748386
Boru iç yüzeyi	93.860677
Boru sol alt duvarı	69.65844
Sol tümsek	69.660914
Sol çukur	161.94611
Boru sol üst duvarı	117.8843
Boru alt orta duvar	69.673767
Boru üst orta duvar	171.91724
Boru çıkışı	110.15865
Boru sağ alt duvar	167.32009
Sağ tümsek	98.027245
Sağ çukur	170.00139
Boru sağ üst duvarı	156.07483

Tablo 106. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (iki tümsek iki çukur)

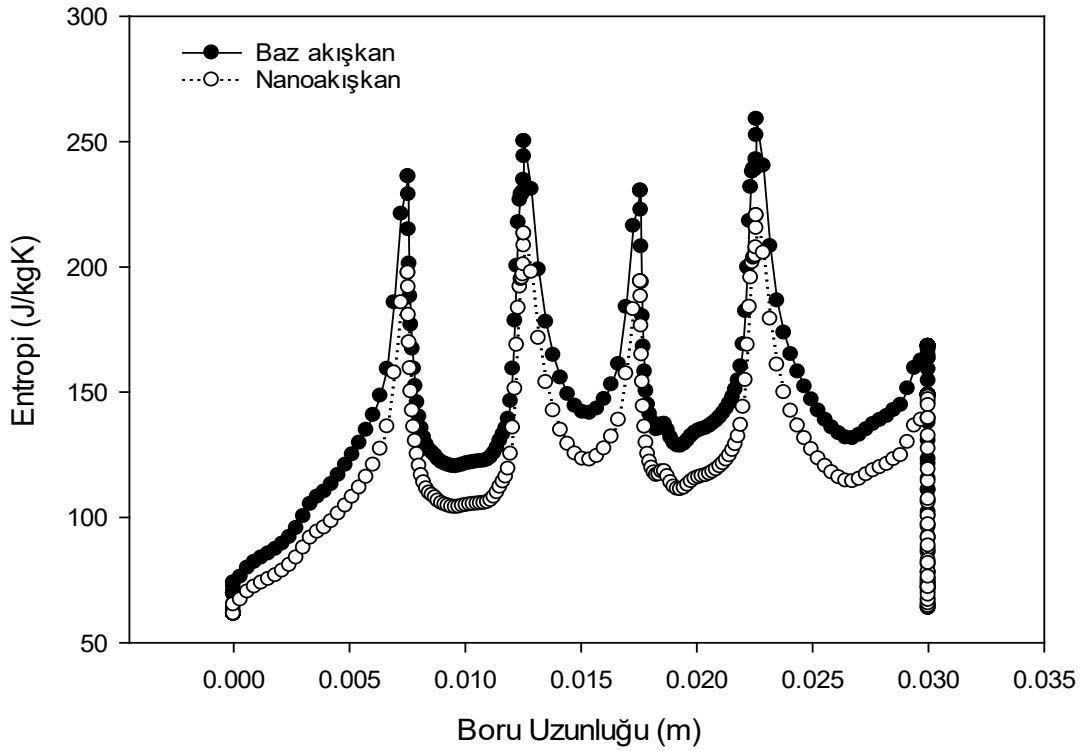
Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru girişi	61.645701
Boru iç yüzeyi	82.558883
Boru sol alt duvarı	61.567401
Sol tümsek	61.571192
Sol çukur	138.43976
Boru sol üst duvarı	101.94832
Boru alt orta duvar	61.589198
Boru üst orta duvar	148.04962
Boru çıkışı	97.767102
Boru sağ alt duvar	147.85639
Sağ tümsek	86.559211
Sağ çukur	145.52247
Boru sağ üst duvarı	134.62828



Şekil 136. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur)

Şekil 137'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Baz akışkana ve nanoakışkana ait entropi değerlerinin değişimi aşağıdaki grafikte verilmiştir. Borunun girişinde belli bir değerdedir akışkanın entropi değerleri. Ancak boru girişinden boru üst duvarına doğru akışkanların entropi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni olarak boru üst duvarında akışkanlara ait sıcaklık değerlerinde artış gözlemlenmiş olmasıdır. Akışkanın entropi değerlerinde artış gözlemlenmiş olmasının nedeni akışkanlara ait sıcaklık gradyanları değerlerinin artış göstermesi olarak açıklanmıştır. Tümsek ve çukurun olduğu bölgelerde entropi

değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni akışkanlara ait sıcaklık değerlerinin düşüş göstermesi ile akışkanlara ait sıcaklık gradyenlerinin azalması gerçekleşmiştir. Akışkanlara ait sıcaklık gradyenlerinin azalması akışkanlara ait entropi değerlerinin azalmasına neden olmuştur. (22) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Tümseğin ve çukurun bittiği yani akışkanın tümsek ve çukurdan kurtulduğu bölgelerde akışkanlara ait hız azalmaktadır. Akışkanlara ait hız azaldıkça akışkanlara ait basınç artmaktadır. Akışkanlara ait basınç arttıkça akışkanların sıcaklığı artmaktadır. Akışkanların sıcaklıkları arttıkça sıcaklık gradyenleri de artar. Akışkanların sıcaklık gradyenleri arttıkça da entropi değerleri artar. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 137. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki tümsek iki çukur)

Tablo 107. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (iki tümsek iki çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Sol çukur	734.2573
Boru sol üst duvarı	947.79611
Boru üst orta duvar	648.12425
Sağ çukur	695.6891
Boru sağ üst duvarı	701.86186

Tablo 108. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (iki tümsek iki çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Sol çukur	679.6634
Boru sol üst duvarı	870.84538
Boru üst orta duvar	598.02862
Sağ çukur	643.30322
Boru sağ üst duvarı	647.93458

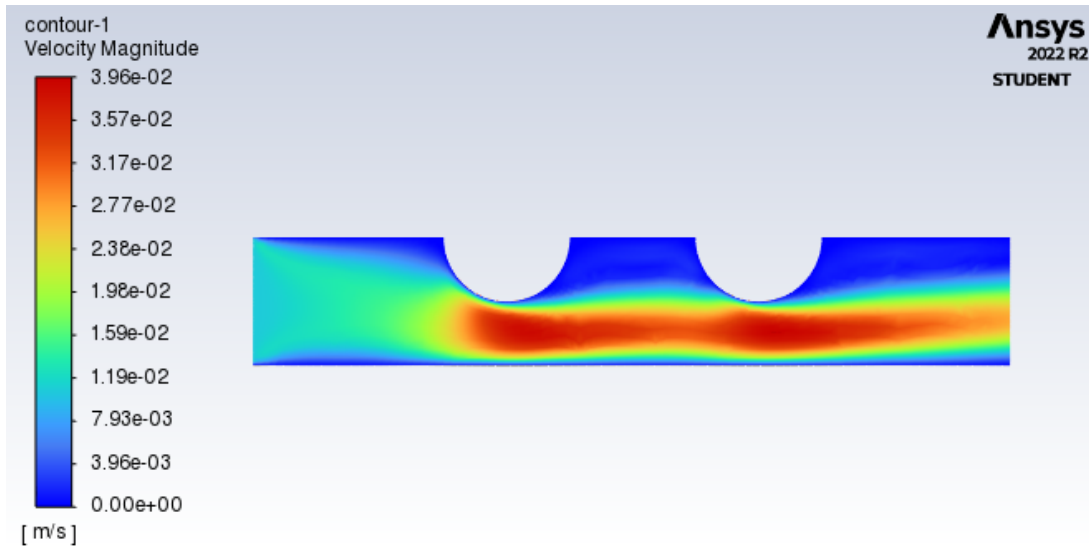
Bir sonraki çalışmada boru girişinden borunun üst duvarından 10 mm ve 20 mm uzaklıkta 5 mm çapında iki adet çukur olan dikdörtgen kesitli bir boruda akış analizini yapılmıştır.

Tablo 109. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (iki çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.013733988
Sol çukur	0
Boru sol üst duvarı	0
Boru üst orta duvarı	0
Boru çıkışı	0.011489143
Sağ çukur	0
Boru sağ üst duvarı	0

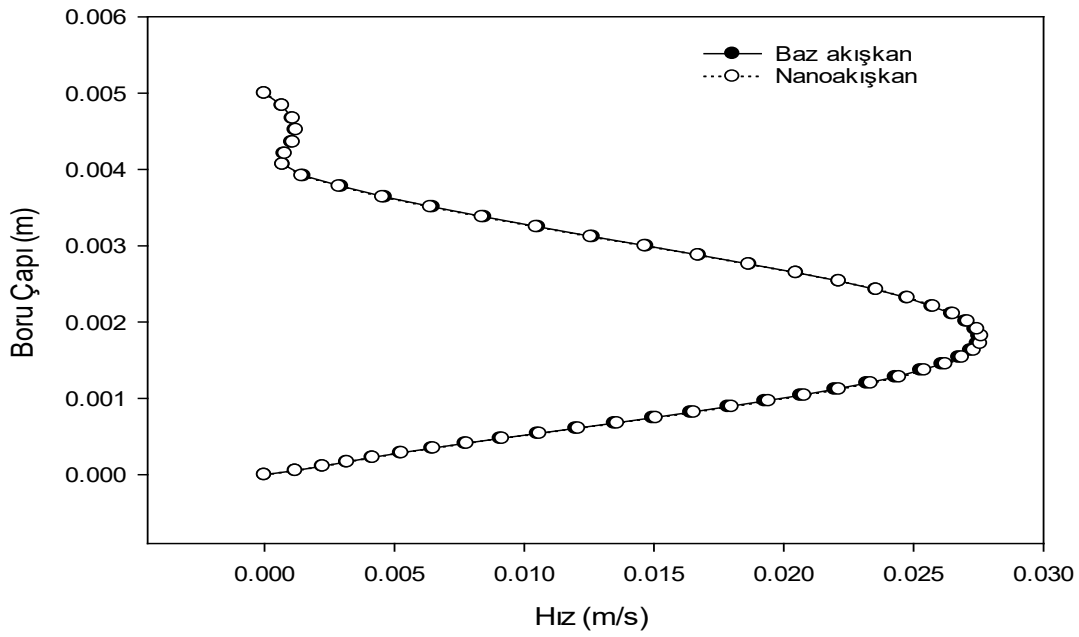
Tablo 110. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (iki çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.013739935
Sol çukur	0
Boru sol üst duvarı	0
Boru üst orta duvarı	0
Boru çıkışı	0.011511854
Sağ çukur	0
Boru sağ üst duvarı	0



Şekil 138. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)

Şekil 139'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Aşağıdaki grafikte boru üst duvarından 1 mm aşağı mesafeye kadar akışkan hızında halkasal etki gözlemlenmiştir. Halkasal etki özellikle akışkanın geçtiği yüzeyin özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanın hızının boru uzunluğu boyunca genel olarak sabit olup boru uzunluğu boyunca boru merkezi doğrultusunda en yüksek değerler aldığı gözlemlenmiştir.



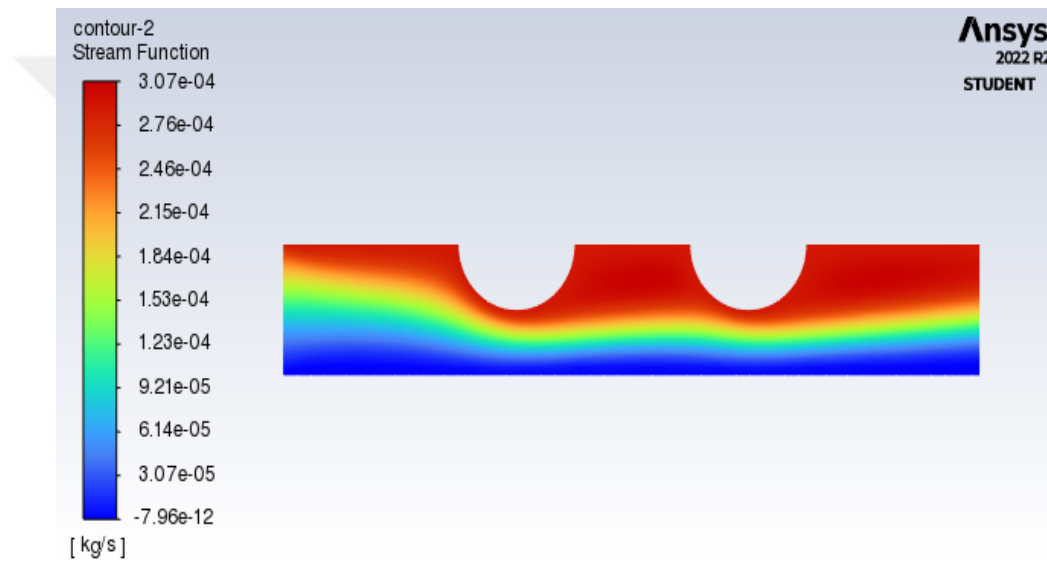
Şekil 139. %4 $Al_2O_3+H_2O$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (iki çukur)

Tablo 111. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (iki çukur)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	3.3007465e-06
Boru girişi	0.00012942214
Boru iç yüzeyi	0.00017876424
Sol çukur	0.00025678253
Boru sol üst duvarı	0.00025528379
Boru üst orta duvarı	0.00025922253
Boru çıkışı	0.0001838119
Sağ çukur	0.00025727479
Boru sağ üst duvarı	0.00025934155

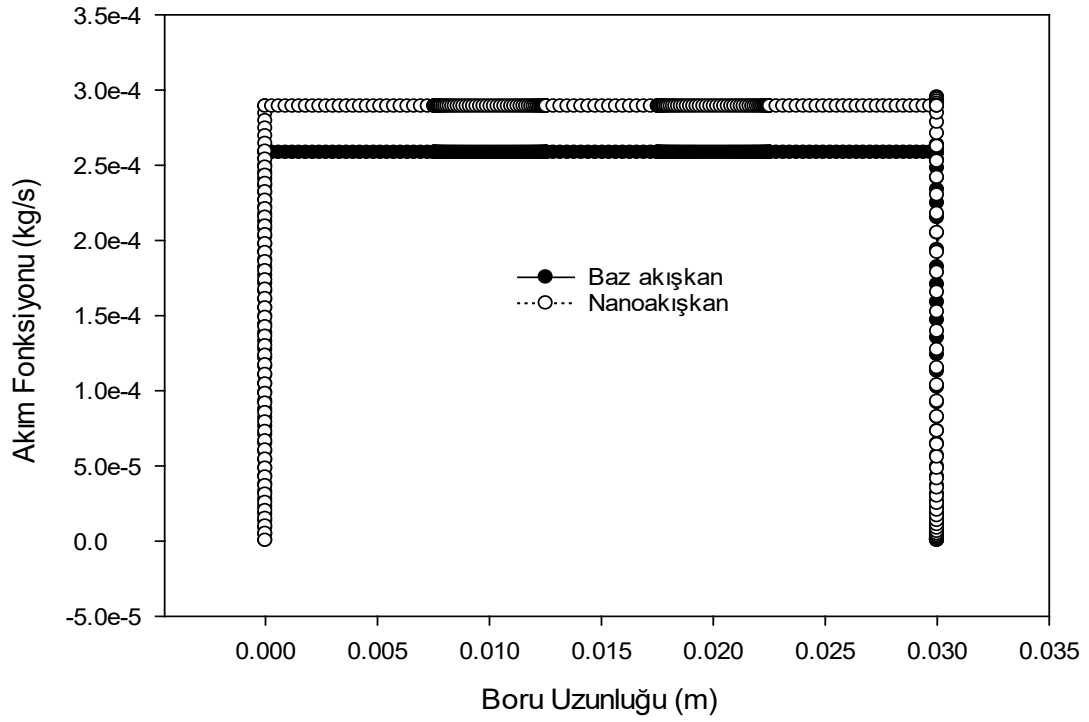
Tablo 112. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (iki çukur)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	3.7033881e-06
Boru girişi	0.00014483432
Boru iç yüzeyi	0.00020015003
Sol çukur	0.00028735723
Boru sol üst duvarı	0.00028567839
Boru üst orta duvarı	0.00029009434
Boru çıkışı	0.00020617979
Sağ çukur	0.00028791507
Boru sağ üst duvarı	0.00029023015



Şekil 140. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)

Şekil 141'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın akım fonksiyonu değerleri boru üst duvarı ve çukurların üst yüzeylerinde en yüksek değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Aynı zamanda nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin baz akışkanın akım fonksiyonu değerlerine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanın hızının baz akışkanın hızından daha fazla olmasıdır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akım fonksiyonunun yine sıfıra indiği gözlemlenmiştir.



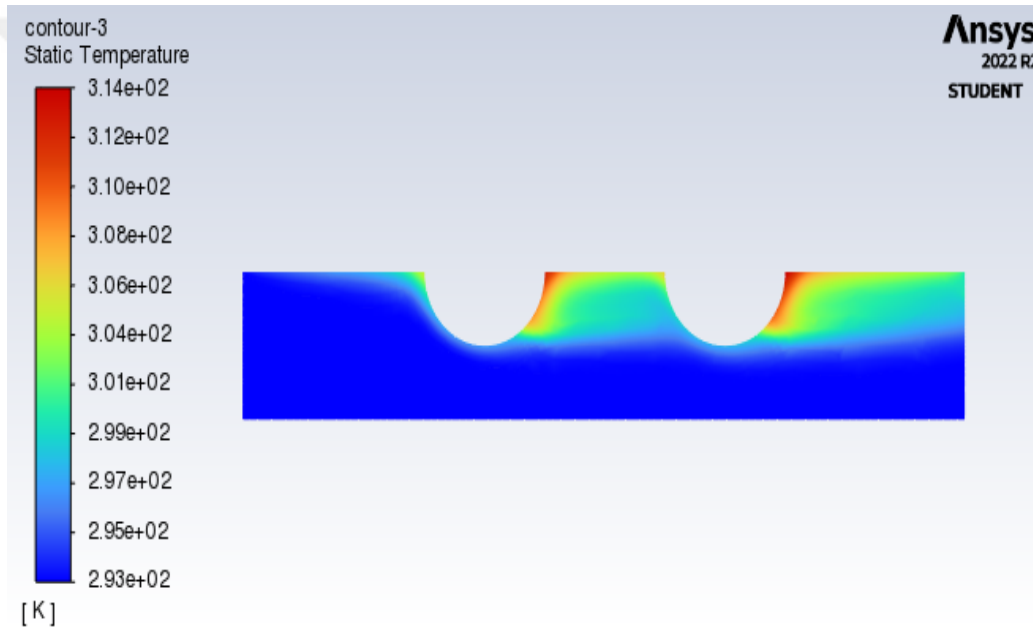
Şekil 141. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)

Tablo 113. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (iki çukur)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00024
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	296.31033
Sol çukur	302.65492
Boru sol üst duvarı	297.60286
Boru üst orta duvarı	306.31144
Boru çıkışı	296.44923
Sağ çukur	303.76159
Boru sağ üst duvarı	305.85941

Tablo 114. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (iki çukur)

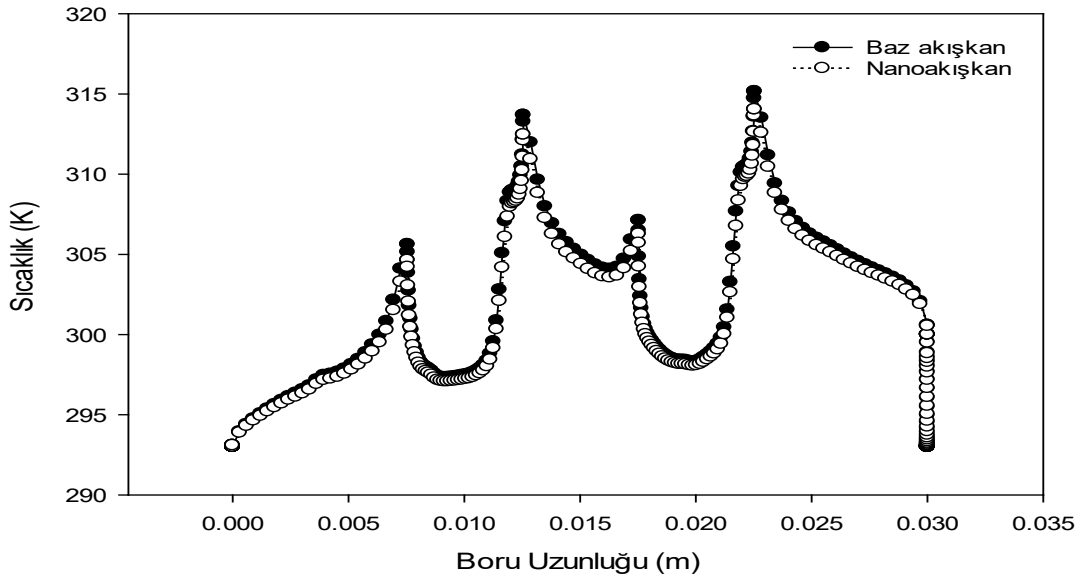
Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00038
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	296.23488
Sol çukur	302.07904
Boru sol üst duvarı	297.29127
Boru üst orta duvarı	305.6462
Boru çıkışı	296.45253
Sağ çukur	303.24398
Boru sağ üst duvarı	305.42979



Şekil 142. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)

Şekil 143'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru girişinden boru üst duvarına doğru boru çapı boyunca artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın sıcaklıklarında çukura girdikleri zaman azalış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni olarak hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın hızlarında artış gözlemlenmiştir. Sıvının hızı arttıkça basıncı azalır. Basıncı azalan sıvının sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Ancak grafiğe bakıldığı

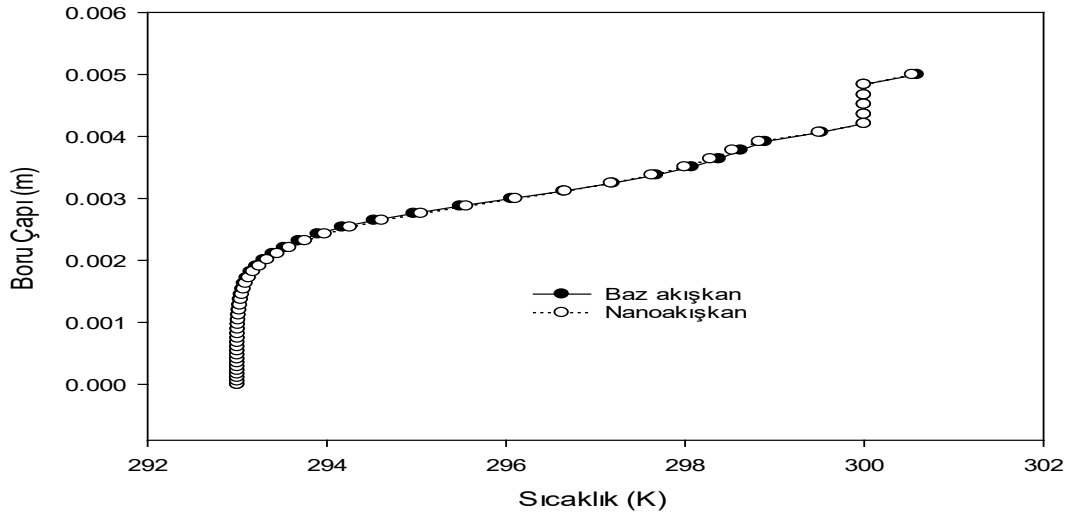
zaman akışkanın çukurun çıkışına doğru boru üst duvarına yöneldikçe sıcaklığında artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkanın çukurun çıkışına boru üst duvarına doğru olan bölgede hızında azalma gözlemlenmiştir. Akışkanın hızı azaldıkça basıncı artar. Basıncı artan akışkanın sıcaklığında da artış gözlemlenmiştir. Aynı zamanda nanoakışkanın sıcaklığı baz akışkanın sıcaklığından daha azdır. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanın dinamik viskozitesinin baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha fazla olmasıdır. Sıvıların dinamik viskoziteleri arttıkça sıcaklıklarında azalma gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 143. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)

Şekil 144'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikte nanoakışkanın sıcaklığında boru alt duvarından 2 mm yukarı doğru boru çapı boyunca sıcaklığında önemli bir değişim gözlemlenmemiştir. Hatta herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. Ancak bu mesafeden boru üst duvarına doğru boru çapı boyunca çıkıldıkça akışkan sabit ısı akısının uygulandığı boru üst duvarında akışkanlara ait sıcaklık değerleri en yüksek

değerlerini almaktadır. Bu durumun esas nedeni ise boru üst duvarı ve çukurların üst yüzeyleri boyunca sabit ısı akısı uygulanmış olmasıdır.



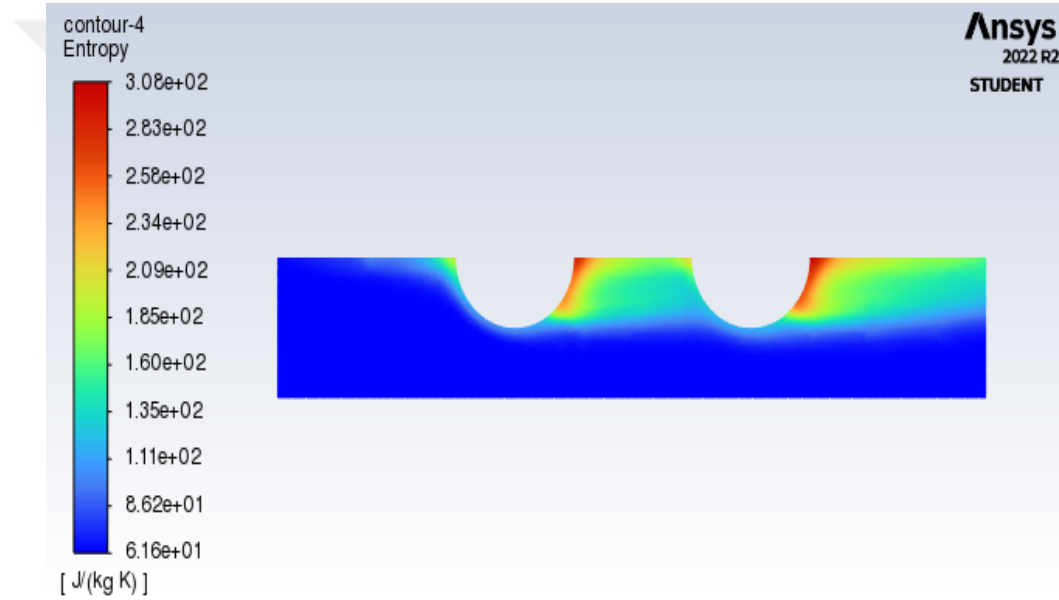
Şekil 144. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (iki çukur)

Tablo 115. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (iki çukur)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	69.661679
Boru girişi	69.814404
Boru iç yüzeyi	116.19345
Sol çukur	194.15529
Boru sol üst duvarı	116.36939
Boru üst orta duvarı	238.17149
Boru çıkışı	118.95568
Sağ çukur	209.75636
Boru sağ üst duvarı	232.01296

Tablo 116. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (iki çukur)

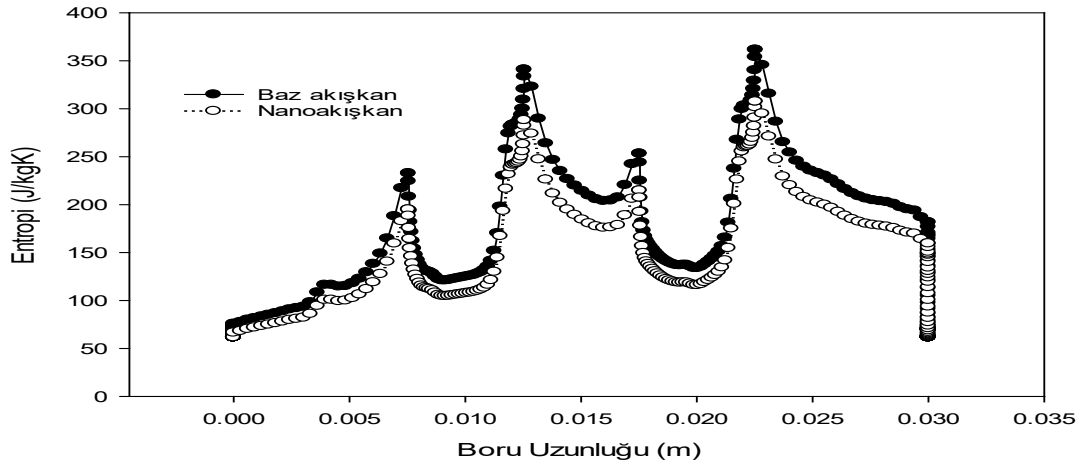
Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	61.572084
Boru girişi	61.701106
Boru iç yüzeyi	101.77987
Sol çukur	165.59435
Boru sol üst duvarı	100.72134
Boru üst orta duvarı	204.09812
Boru çıkışı	105.11963
Sağ çukur	180.08632
Boru sağ üst duvarı	201.48838



Şekil 145. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)

Şekil 146'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru girişinde belli bir değerde olan entropi değerleri boru üst duvarına doğru boru çapı yönünde pozitif y ekseninde doğru gidildikçe akışkanın entropi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Akışkanın entropi değerlerinde artış gözlemlenmesinin esas nedenlerinden en önemlisi akışkana ait sıcaklık gradyanında artış gözlemlenmiş olmasıdır. Hem baz akışkan hem de nanoakışkan çukura girdikleri zaman hızlarında artış gözlemlenmiştir. Akışkanların hızlarında artış gözlemlendiği için basınçlarında azalma gözlemlenmiştir. Basınçlarında azalma gözlenen akışkanların sıcaklıklarında

da azalma gözlemlenmiştir. Akışkanların sıcaklıkları azaldığı için sıcaklık gradyanları da azalır. Sıcaklık gradyanı azalan akışkanın entropi değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Aynı zamanda hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın çukurun bitiş noktasına doğru boru üst duvarına doğru hareket ederken akışkanların hızında azalma gözlemlenmiştir. Akışkanların hızında azalma meydana geldiği için basınçlarında artma meydana gelmiştir. Basınçları artan baz akışkan ve nanoakışkanın sıcaklıkları artacaktır. Sıcaklıkları artan akışkanların sıcaklık gradyanları da artacaktır. Bu sayede sıcaklık gradyanları artış gösteren baz akışkan ve nanoakışkanın entropi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. (22) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 146. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (iki çukur)

Tablo 117. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (iki çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Sol çukur	654.60311
Boru sol üst duvarı	953.01792
Boru üst orta duvarı	468.9999
Sağ çukur	600.22488
Boru sağ üst duvarı	484.98312

Tablo 118. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (iki çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Sol çukur	606.41465
Boru sol üst duvarı	875.64665
Boru üst orta duvarı	434.53201
Sağ çukur	552.98238
Boru sağ üst duvarı	443.22005

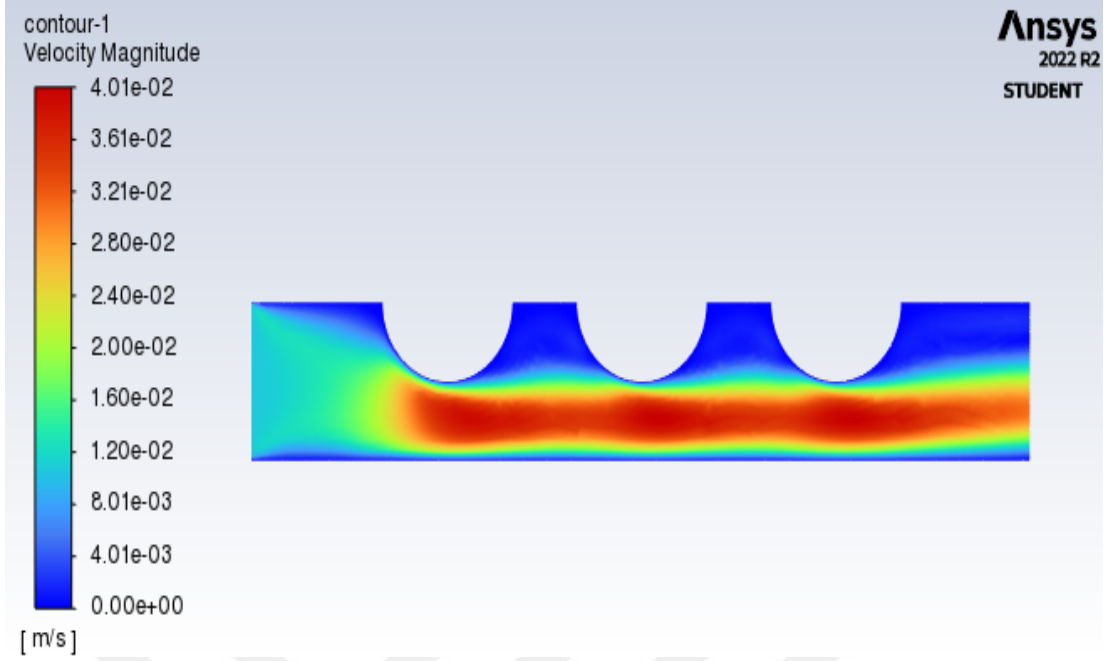
Bir sonraki çalışmada boru girişinden borunun üst duvarından sırasıyla 7,5 mm, 15 mm ve 22,5 mm uzaklıkta 5 mm çapında üç adet çukur olan dikdörtgen kesitli bir boruda akış analizini yapılmıştır.

Tablo 119. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (üç çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.014932665
Sol çukur	0
Boru sol üst duvarı	0
Boru küçük sol duvar	0
Orta çukur	0
Boru çıkışı	0.012095867
Sağ çukur	0
Boru sağ üst duvar	0
Boru küçük sağ duvar	0

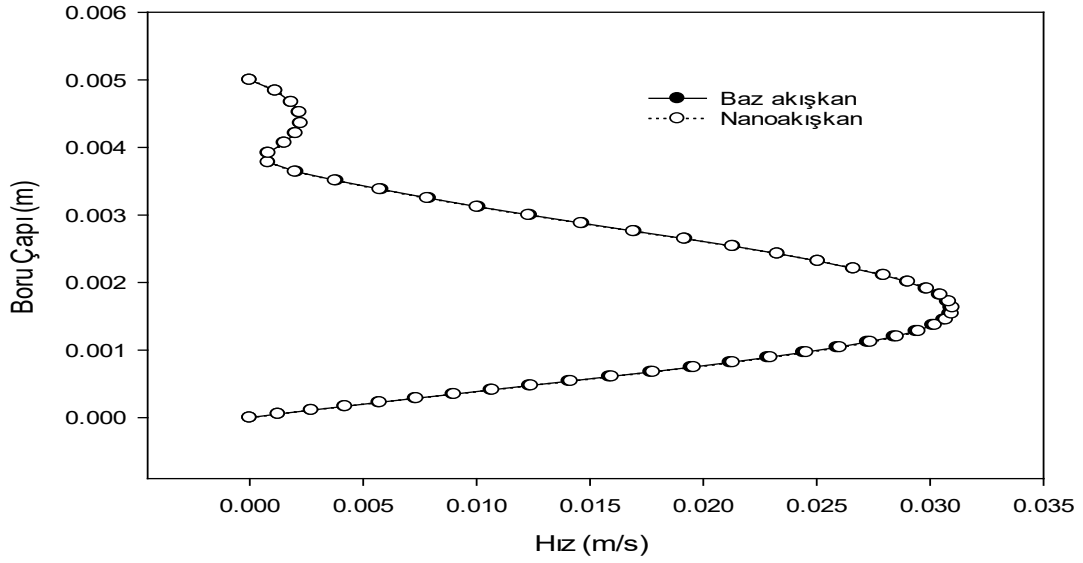
Tablo 120. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (üç çukur)

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.014935985
Sol çukur	0
Boru sol üst duvarı	0
Boru küçük sol duvar	0
Orta çukur	0
Boru çıkışı	0.01211193
Sağ çukur	0
Boru sağ üst duvar	0
Boru küçük sağ duvar	0



Şekil 147. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)

Şekil 148'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikte hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın hızlarında boru üst duvarından 1 mm kadar boru çapı yönünde inildikçe çok az bir artış gözlemlenmiş olup sonra yine sıfır değerine inmiştir. Bu durumun adı halkasal etki olarak tanımlanmıştır. Halkasal etki akışkanın geçtiği yüzeyin özelliklerinden kaynaklanır. Aynı zamanda akışkanların hızlarının boru alt ve üst duvarlarında sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Akışkanların hızlarının boru yarıçapında en yüksek değeri aldığı gözlemlenmiştir.



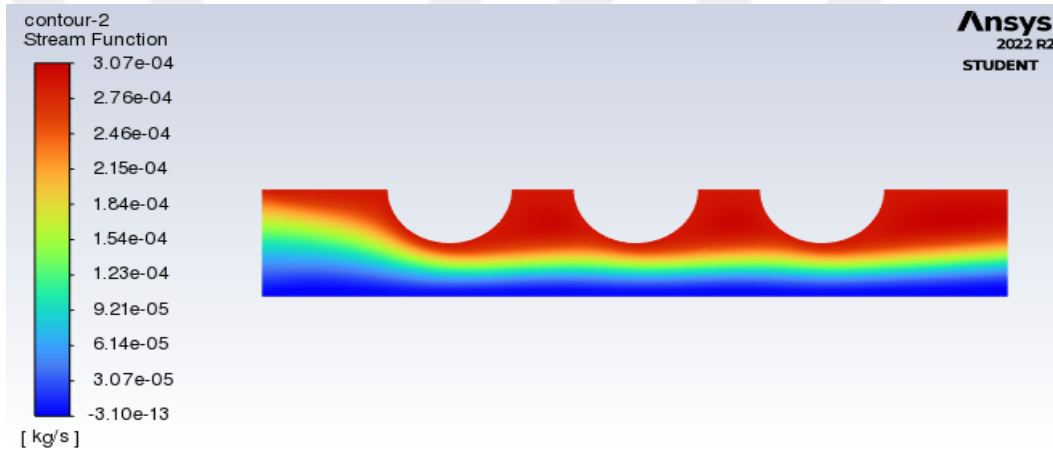
Şekil 148. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (üç çukur)

Tablo 121. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (üç çukur)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	3.7969995e-06
Boru girişi	0.00012934576
Boru iç yüzeyi	0.00018306038
Sol çukur	0.000257244
Boru sol üst duvarı	0.00025892243
Boru küçük sol duvar	0.00025622483
Orta çukur	0.00025802041
Boru çıkışı	0.00019585021
Sağ çukur	0.00025801283
Boru sağ üst duvar	0.00025897235
Boru küçük sağ duvar	0.00025966053

Tablo 122. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (üç çukur)

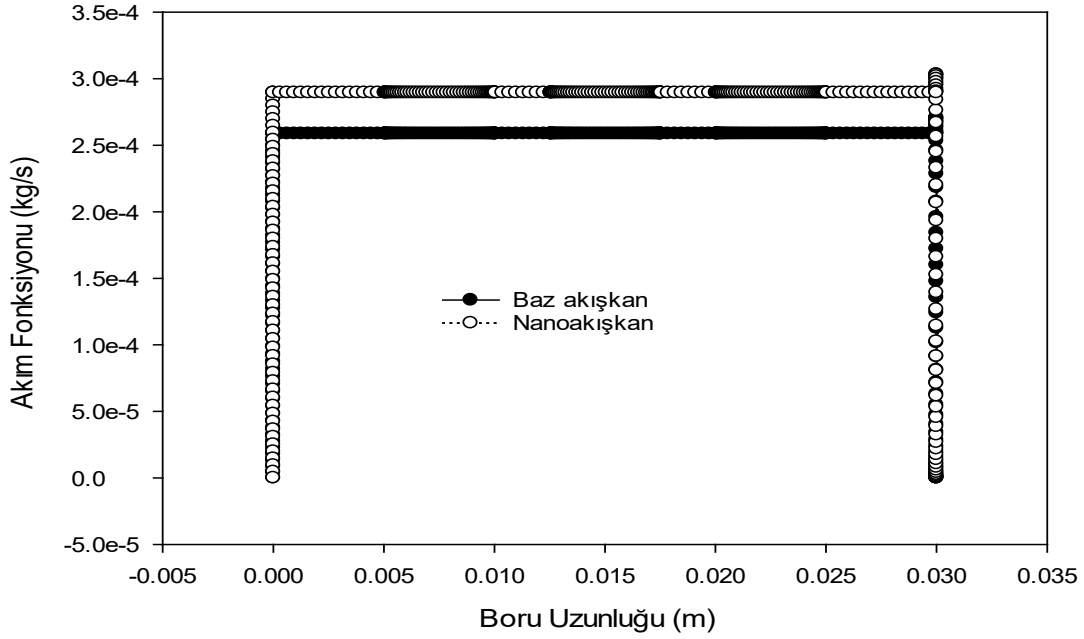
Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	4.2569523e-06
Boru girişi	0.000144749
Boru iç yüzeyi	0.00020491869
Sol çukur	0.00028787326
Boru sol üst duvarı	0.00028975653
Boru küçük sol duvar	0.0002867333
Orta çukur	0.00028874902
Boru çıkışı	0.00021949045
Sağ çukur	0.00028874055
Boru sağ üst duvar	0.00028981248
Boru küçük sağ duvar	0.00029058218



Şekil 149. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)

Şekil 150'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinde boru girişinden boru çapı yönünde yukarıya doğru gidildikçe akışkanların akım fonksiyonu değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarı boyunca hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın akım fonksiyonu değerlerinde herhangi bir değişim gözlemlenmemiştir. Boru üst duvarından boru alt duvarına doğru gidildikçe hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin sıfıra yaklaştığı gözlemlenmiştir. Boru alt duvarına inildiğinde artık hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Tüm bu

durumlar (21) numaralı denklemde doğrulanmıştır. Nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin baz akışkanın akım fonksiyonu değerlerinden daha fazla olmasının esas nedeni ise nanoakışkanın hız değerlerinin baz akışkanın hız değerlerine göre daha fazla olması olarak açıklanmıştır.



Şekil 150. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)

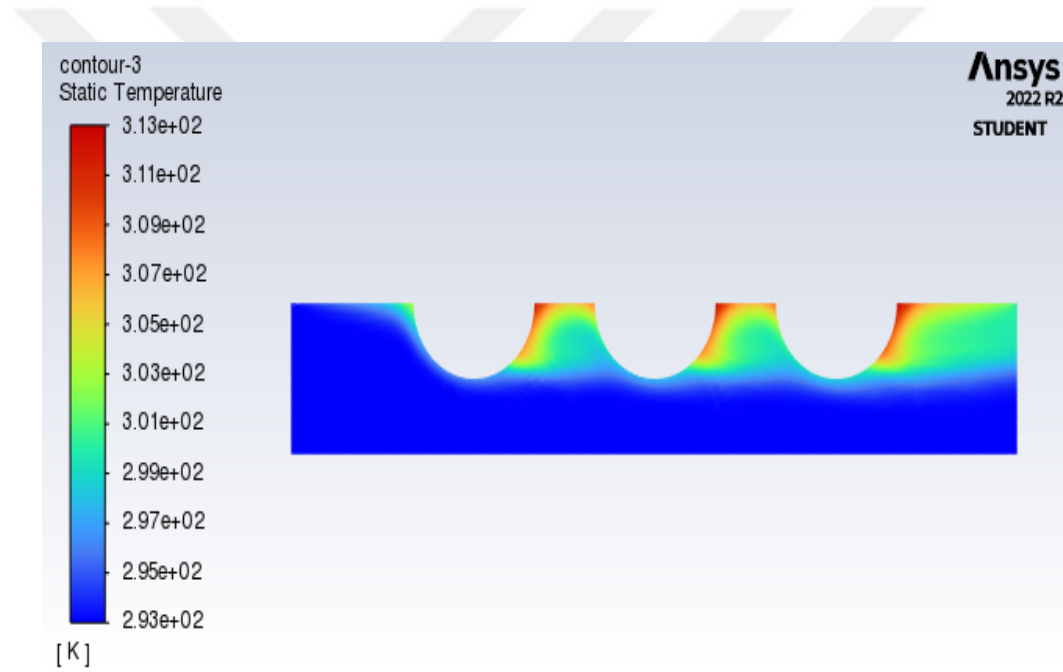
Tablo 123. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (üç çukur)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00012
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	296.51455
Sol çukur	301.74825
Boru sol üst duvarı	307.99742
Boru küçük sol duvar	297.12941
Orta çukur	303.32224
Boru çıkışı	297.0334
Sağ çukur	304.19134
Boru sağ üst duvar	308.5458
Boru küçük sağ duvar	305.66805

Tablo 124. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık

değerleri (üç çukur)

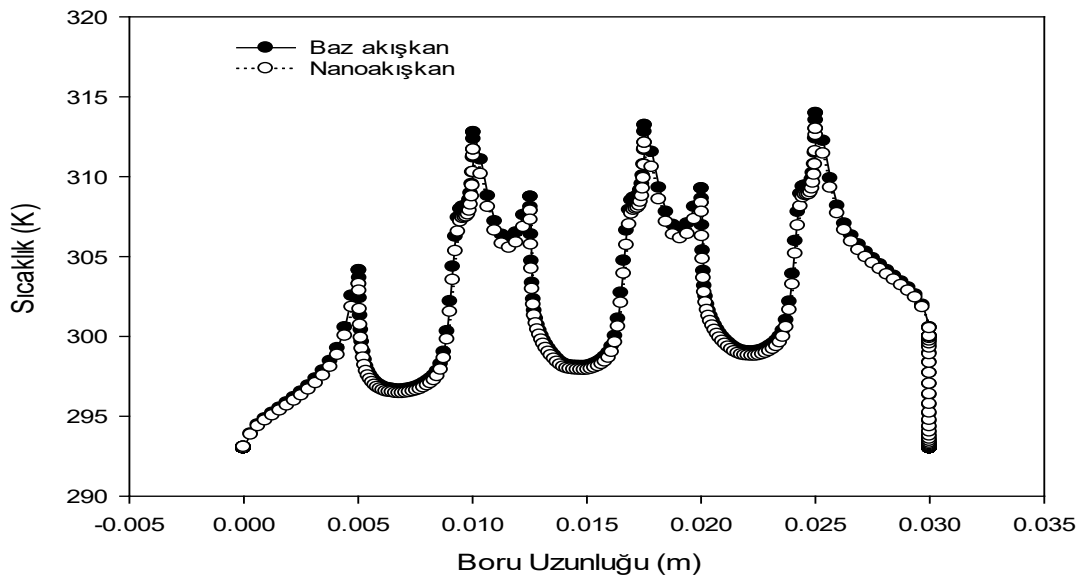
Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293.00021
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	296.44379
Sol çukur	301.25
Boru sol üst duvarı	307.29722
Boru küçük sol duvar	296.84686
Orta çukur	302.82683
Boru çıkışı	297.031
Sağ çukur	303.70736
Boru sağ üst duvar	307.81249
Boru küçük sağ duvar	305.31382



Şekil 151. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)

Şekil 152'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafik incelendiği zaman boru girişinden borunun üst duvarına doğru akışkanın sıcaklığında artış gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulanması olarak açıklanabilir. Aynı zamanda boru üst duvarı boyunca çukura kadar hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın sıcaklık değerlerinde artma

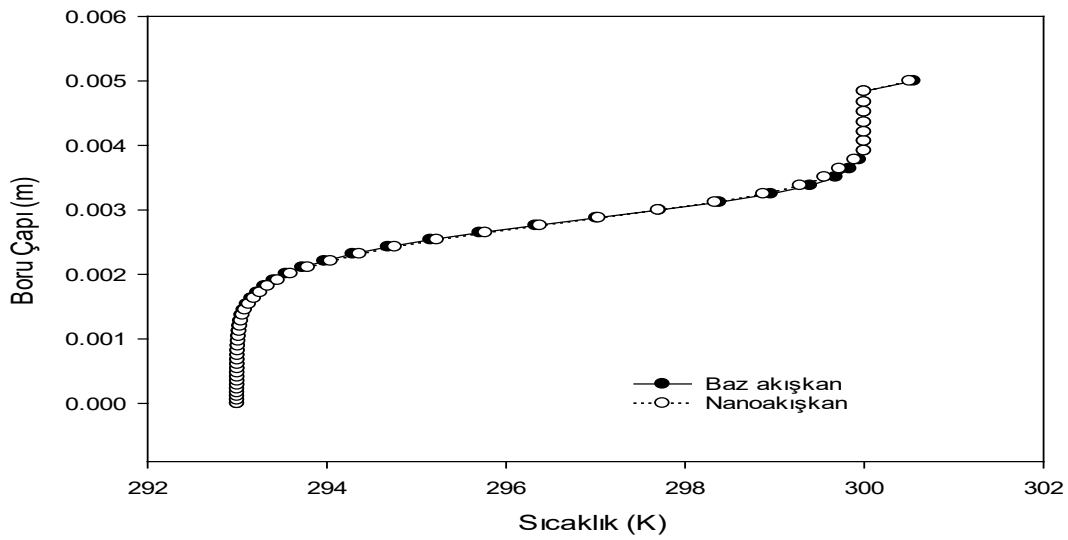
gözlemlenmiştir. Ancak akışkanlar çukura girdiklerinde hızlarında artış gözlemlendiği için akışkanların basınçlarında azalma gözlemlenmiştir. Akışkanların basınçlarında azalma gözlemlendiği için sıcaklıklarında da azalma gözlemlenmiştir. Akışkanlar çukurun bitiş kısmına doğru boru üst duvarına doğru hareket ettikçe hızlarında azalma meydana gelmiştir. Akışkanların hızlarında azalma meydana geldiği için basınçlarında artma meydana geldiği gözlemlenmiştir. Akışkanların basınçlarında artma meydana geldiği için sıcaklıklarında da artma gözlemlenmiştir. Boru üst duvarında boru çıkışından boru alt duvarına doğru gidildikçe akışkanların sıcaklıklarında azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni olarak akışkanların boru üst duvarı ve çukurların üst yüzeyleri boyunca uygulanan ısı akısının etkilerinden uzaklaşmış olması şeklinde açıklanmıştır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 152. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)

Şekil 153'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru üst duvarına doğru gidildikçe hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın sıcaklıklarında artış gözlemlenmiştir. Boru

üst duvarında akışkanların sıcaklıklarının sabit ısı akısı uygulandığı için en yüksek değerlere ulaştıkları gözlemlenmiştir. Aynı zamanda nanoakışkanın sıcaklıklarının baz akışkanın sıcaklıklarına göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanın dinamik viskozite değerinin baz akışkanın dinamik viskozite değerine göre daha fazla olduğu için nanoakışkanın sıcaklığının daha az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 153. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (üç çukur)

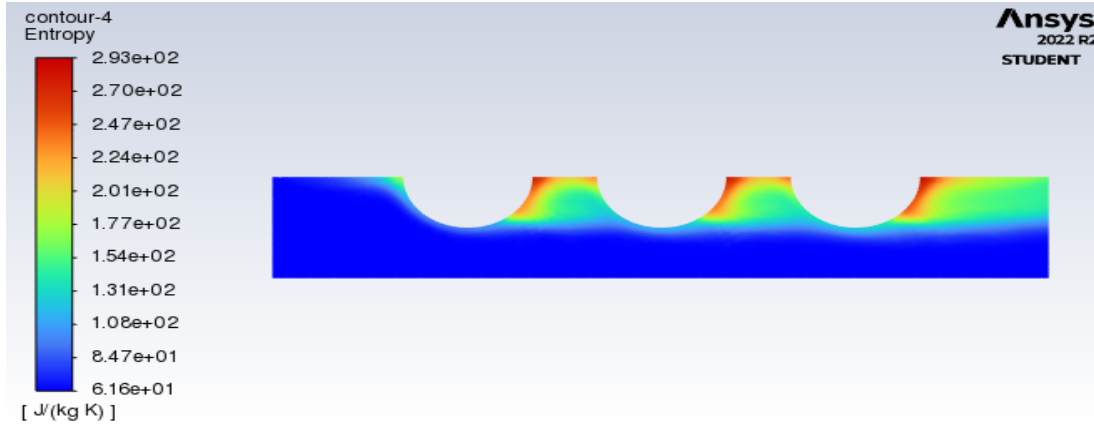
Tablo 125. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (üç çukur)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	69.660108
Boru girişi	69.735243
Boru iç yüzeyi	119.05435
Sol çukur	180.84603
Boru sol üst duvarı	266.6207
Boru küçük sol duvar	112.161
Orta çukur	203.17127
Boru çıkışı	127.4558
Sağ çukur	215.55365
Boru sağ üst duvar	273.88111
Boru küçük sağ duvar	229.52644

Tablo 126. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi

değerleri (üç çukur)

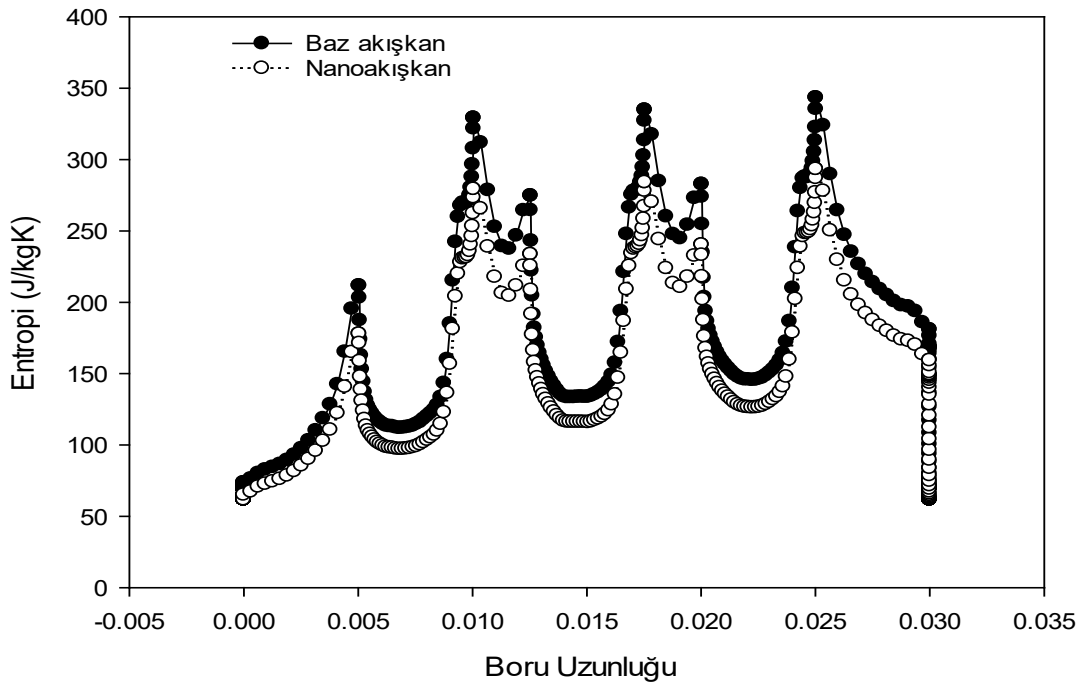
Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	61.570059
Boru girişi	61.634588
Boru iç yüzeyi	104.36642
Sol çukur	154.80793
Boru sol üst duvarı	228.33833
Boru küçük sol duvar	97.127545
Orta çukur	174.57893
Boru çıkışı	112.56303
Sağ çukur	185.62358
Boru sağ üst duvar	234.39136
Boru küçük sağ duvar	200.17238



Şekil 154. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)

Şekil 155'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nano akışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru girişinde hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın belli entropi değerleri vardır. Boru girişinden boru üst duvarına doğru boru çapı boyunca gidildikçe hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın entropi değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Bu durumun esas nedeni olarak boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulanması olarak açıklanmıştır. Bu yüzden akışkanların sıcaklık gradyanları arttığı için entropi değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Akışkanlar çukura girdiğinde akışkanların hızında artış gözlemlenmiştir. Akışkanların hızındaki artma bu gölgede basınçlarında azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Akışkanların basınçlarında azalma meydana geldiğinden dolayı akışkanların sıcaklıklarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Akışkanların sıcaklıklarında azalma meydana geldiği için akışkanların sıcaklık gradyanlerinde azalma meydana gelmiştir. Bu durumda da akışkanların entropi değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. (22) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Aynı zamanda hem baz akışkan hem de nanoakışkan çukuru terkedip boru üst duvarına doğru ilerledikçe hızlarında azalma gözlemlenmiştir. Akışkanların hızları azaldıkça basınçları da artmıştır. Basınçları artan akışkanların da sıcaklıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Akışkanların sıcaklıkları arttığı için sıcaklık gradyanleride artacağı için akışkanların entropi değerlerinde de artış gözlemlenmiştir. Akışkanların boru üst duvarından boru çıkışına oradan da boru alt duvarına doğru hareket etmeleri sonucunda entropi değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkanların boru üst duvarına uygulanan sabit ısı akısından uzaklaşmaları olarak açıklanmıştır.



Şekil 155. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (üç çukur)

Tablo 127. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (üç çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Sol çukur	705.83978
Boru sol üst duvarı	426.20686
Boru küçük sol duvar	1007.4653
Orta çukur	609.74495
Sağ çukur	568.52042
Boru sağ üst duvar	414.34042
Boru küçük sağ duvar	491.96622

Tablo 128. %4 Al₂O₃+H₂O nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (üç çukur)

Bölge	Nusselt Sayısı
Sol çukur	652.11729
Boru sol üst duvarı	394.38444
Boru küçük sol duvar	923.5251
Orta çukur	560.69559
Sağ çukur	522.75575
Boru sağ üst duvar	383.70463
Boru küçük sağ duvar	447.58521

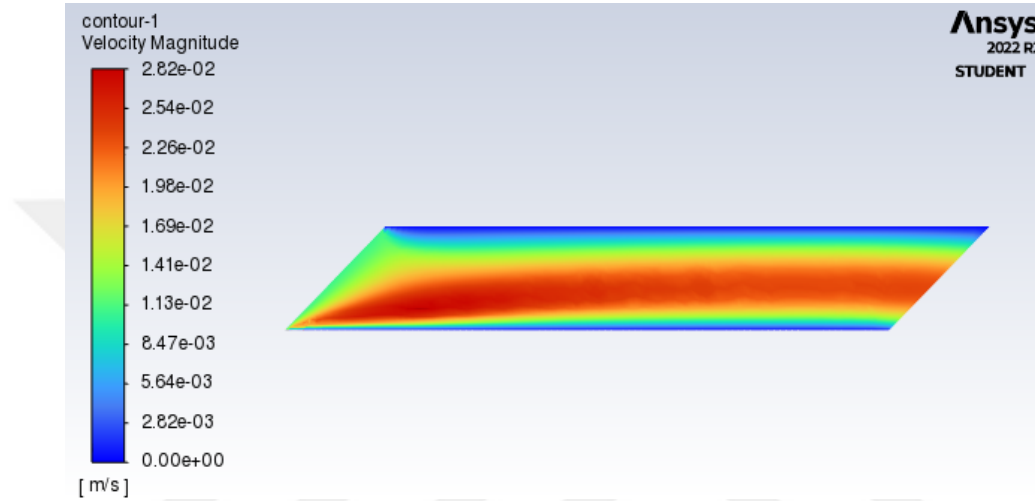
Bir sonraki çalışmada boru giriş ve çıkış kenarları yatay ile 60 °'lik açı yapmıştır.

Tablo 129. H₂O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.015379373
Boru çıkışı	0.014584933
Boru üst duvarı	0

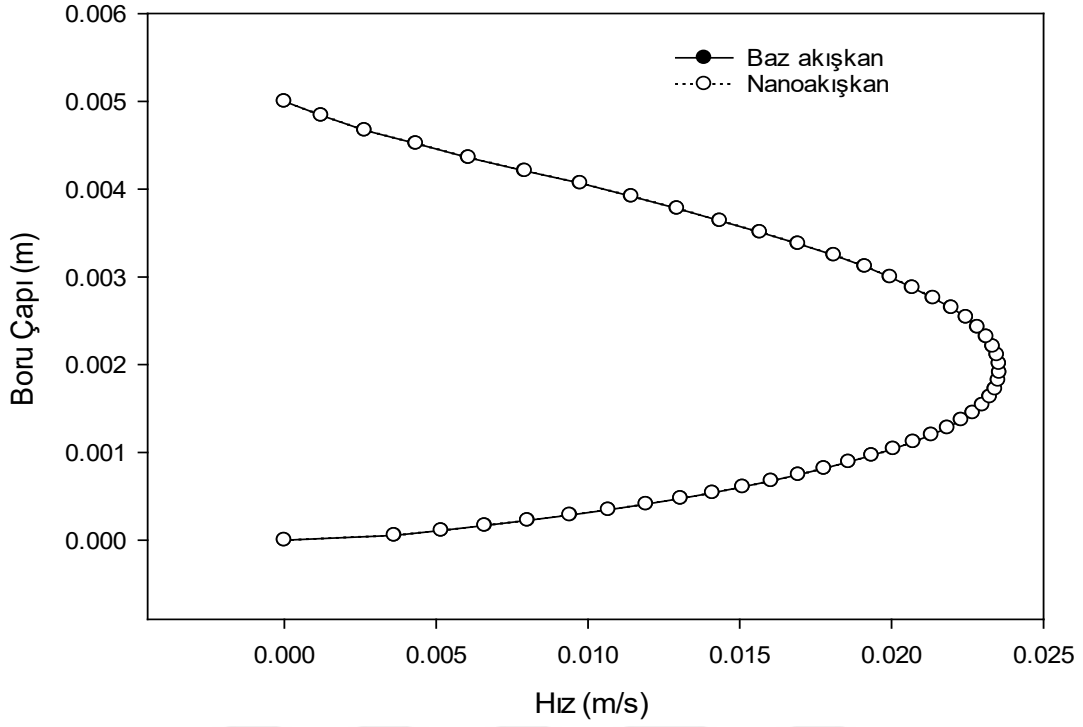
Tablo 130. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan hız değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Hız (m/s)
Boru alt duvarı	0
Boru girişi	0.011
Boru iç yüzeyi	0.015380271
Boru çıkışı	0.014593152
Boru üst duvarı	0



Şekil 156. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının hız değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Şekil 157'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikte hem nanoakışkanın hem de baz akışkanın hızlarının boru üst duvarı ve boru alt duvarı boyunca sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda boru uzunluğu boyunca boru merkezinde akışkanların hızları en yüksek değerleri almıştır.



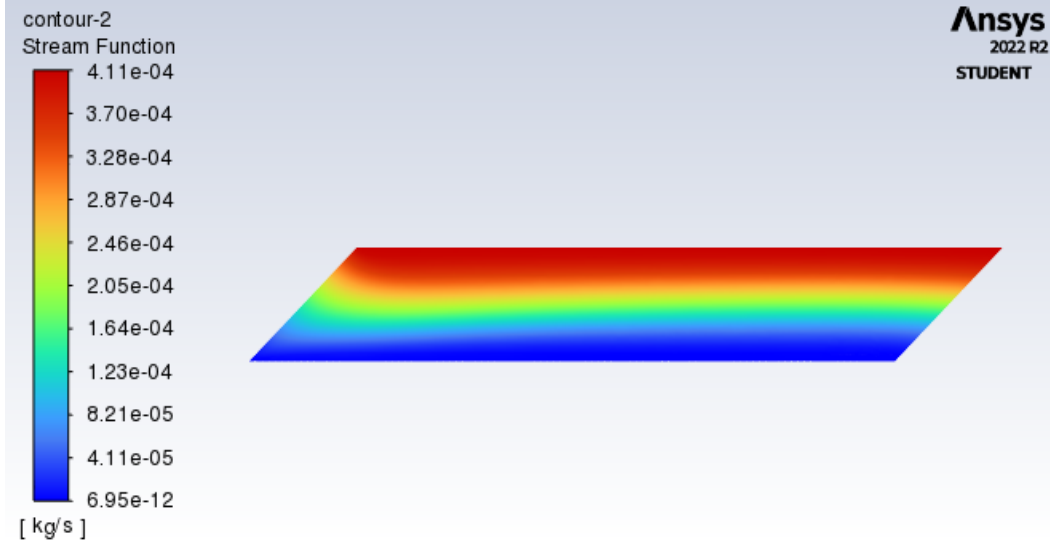
Şekil 157. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre hız değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Tablo 131. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	2.7585215e-06
Boru girişi	0.0001820255
Boru iç yüzeyi	0.00021381459
Boru çıkışı	0.00022592796
Boru üst duvarı	0.00036386965

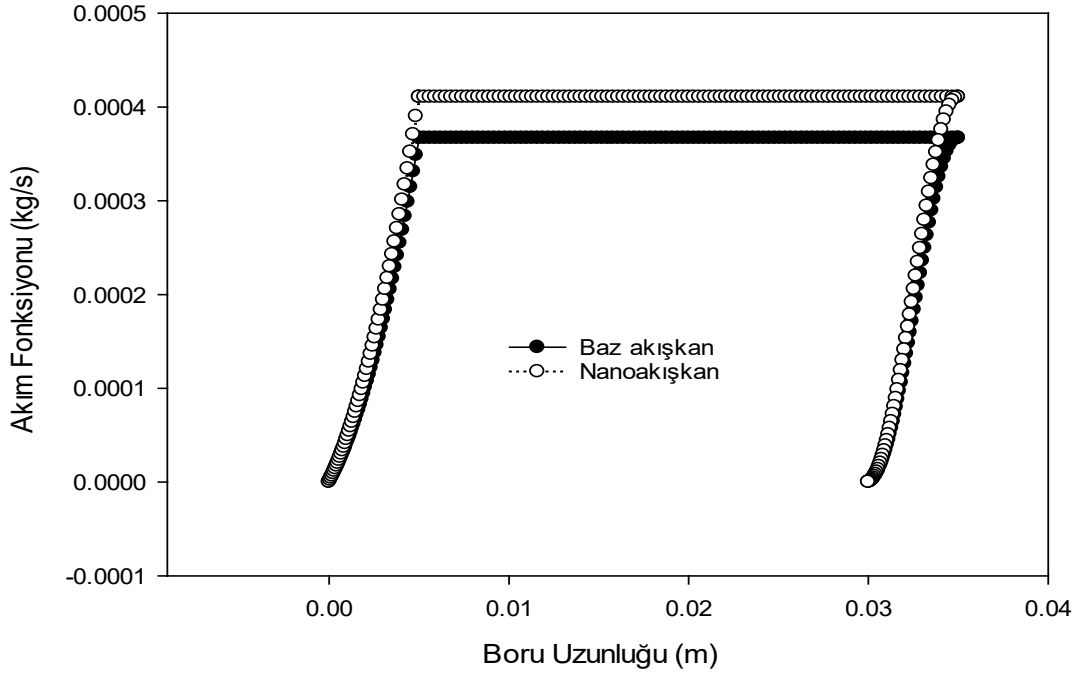
Tablo 132. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan akım fonksiyonu değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Akım Fonksiyonu (kg/s)
Boru alt duvarı	3.0972906e-06
Boru girişi	0.00020370153
Boru iç yüzeyi	0.00023935509
Boru çıkışı	0.00025279071
Boru üst duvarı	0.00040720611



Şekil 158. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Şekil 159'daki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafikte baz akışkanın hem de nanoakışkanın akım fonksiyonu değerlerinin boru girişinden boru üst duvarına doğru arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkanların akım fonksiyonu değerleri akışkanın geçtiği yükseklik arttıkça artmaktadır. (21) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkanın akım fonksiyonu sıfıra doğru yaklaşmaktadır. Boru alt duvarında akışkanın akım fonksiyonu değerinin sıfır olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer önemli nokta ise akışkanın geçtiği borunun giriş ve çıkış kenarları eğimlidir. Bu eğim yüzünden akışkanların giriş ve çıkış kenarlarındaki akım fonksiyonu değerleri de grafikte eğimli olarak gözlemlenmiştir. Yine nanoakışkanın akım fonksiyonu değerleri baz akışkanın akım fonksiyonu değerlerine göre daha fazladır. Çünkü nanoakışkanın hız değerleri baz akışkanın hız değerlerinden daha fazladır.



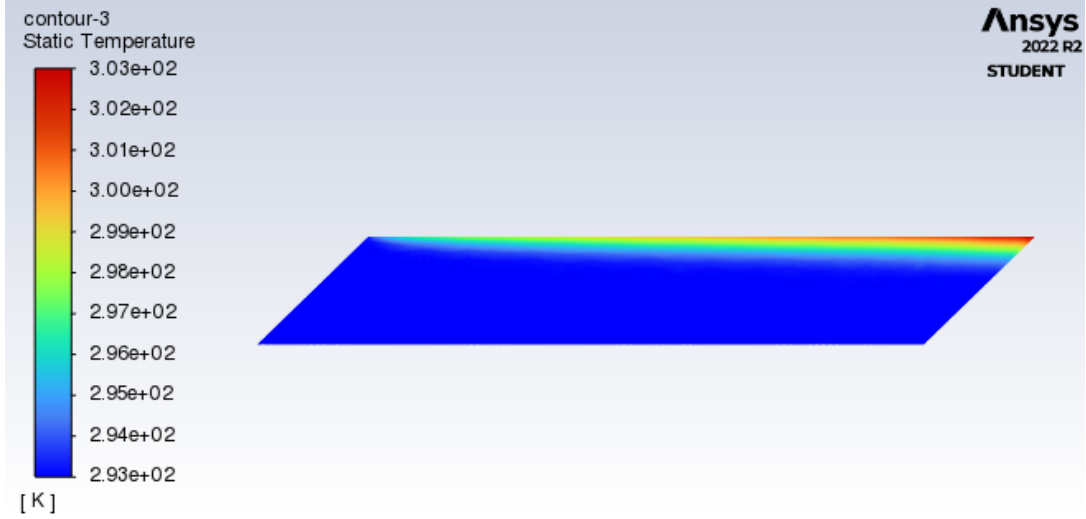
Şekil 159. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre akım fonksiyonu değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Tablo 133. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	293.94735
Boru çıkışı	295.10169
Boru üst duvarı	299.92522

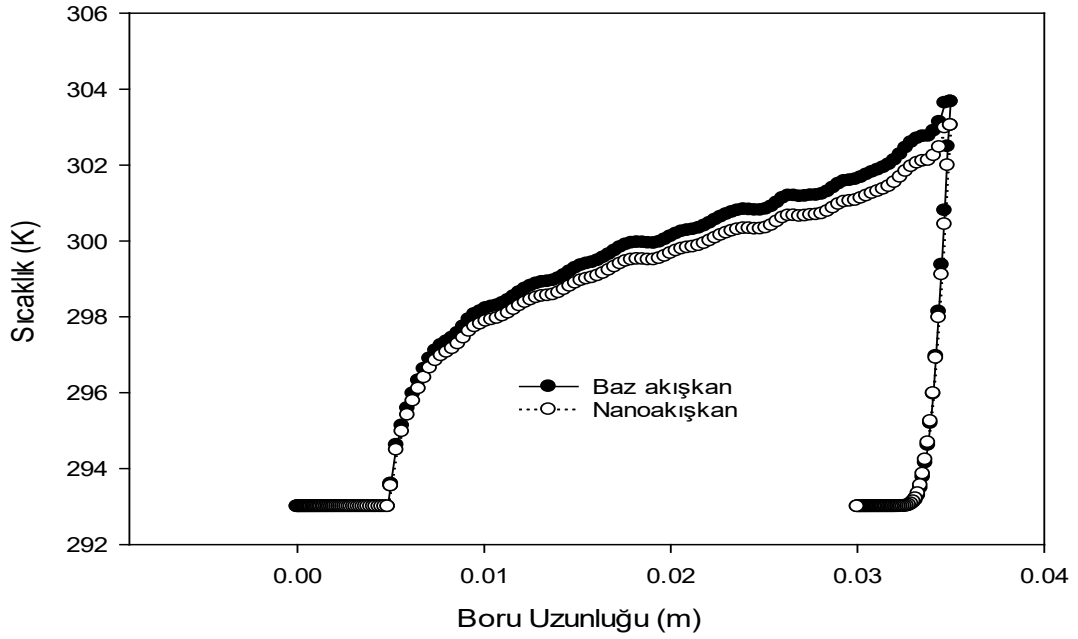
Tablo 134. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan sıcaklık değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Akışkanın Sıcaklığı (K)
Boru alt duvarı	293
Boru girişi	293.00001
Boru iç yüzeyi	293.92896
Boru çıkışı	295.04427
Boru üst duvarı	299.48498



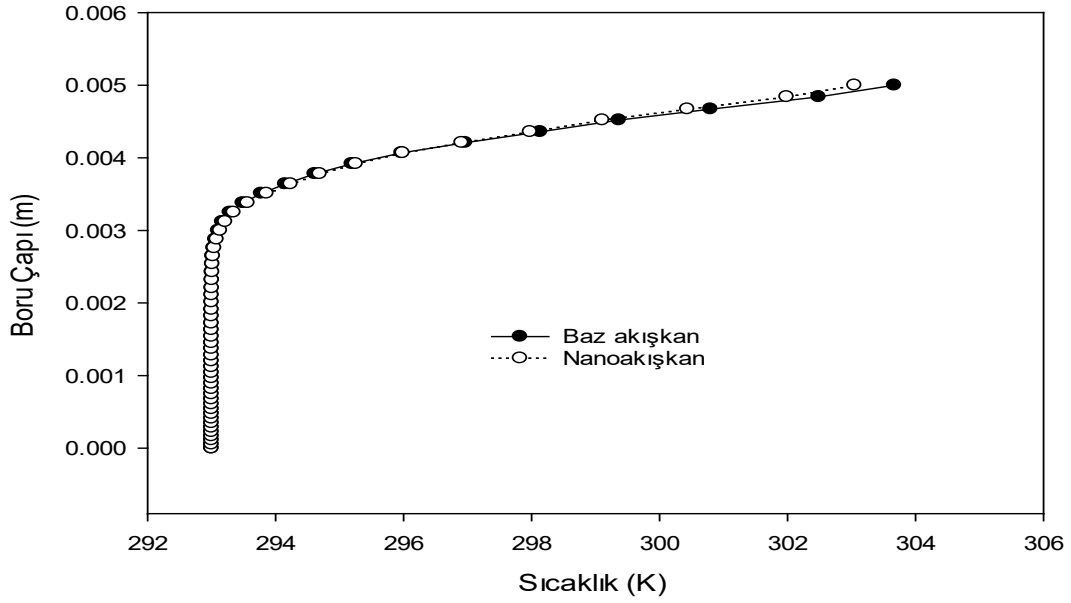
Şekil 160. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Şekil 161'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Boru girişinden itibaren 5 mm boyunca akışkanın hızı sabittir. Bu durumun esas nedeni bu bölgede akışkanın hızında herhangi bir değişim olmamasıdır. Akışkan boru girişinden boru üst duvarına doğru hareketinde eğim boyunca ilerlediği için bu kısımda akışkanın girişindeki koşullar gözlemlenmiştir. Aynı zamanda boru üst duvarı boyunca sabit ısı akısı uygulandığı için akışkanların sıcaklıklarının en yüksek değerlerini boru üst duvarı boyunca aldığı gözlemlenmiştir. Boru üst duvarından boru çıkışı boyunca boru alt duvarına doğru inildikçe de akışkanın sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise akışkanın sabit ısı akısı uygulanan boru üst duvarından uzaklaşmış olmasıdır. Nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin baz akışkanın sıcaklık değerlerinden daha az olmasının nedeni, nanoakışkanın dinamik viskozite değerinin baz akışkanın dinamik viskozite değerine göre daha fazla olması olarak açıklanmıştır. Çünkü sıvıların dinamik viskoziteleri arttıkça sıcaklıkları azalır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan sıcaklığının yine başlangıç sıcaklığına indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 161. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Şekil 162'deki grafikte baz akışkan ile %4 oranlarındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın hız değerlerinin boru çıkışında boru çapı boyunca olan değişimlerini karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Grafik incelendiği zaman nanoakışkanın ve baz akışkanın sıcaklıkları boru üst duvarına doğru yaklaştıkça arttıkları gözlemlenmiştir. Boru üst duvarında en yüksek değerde olduğu gözlemlenmiştir. Nanoakışkanın sıcaklık değerlerinin baz akışkanın sıcaklık değerlerinden daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni ise nanoakışkanların dinamik viskozite değerleri baz akışkanın dinamik viskozite değerlerinden daha fazla olduğu için sıcaklıklarının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



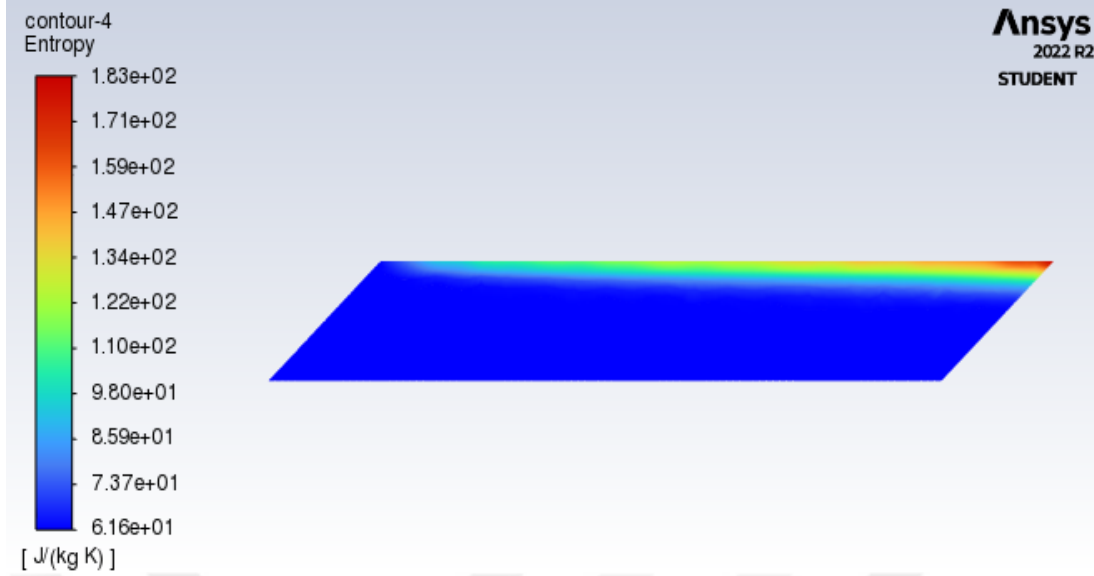
Şekil 162. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının baz akışkana göre sıcaklık değerlerinin borunun çıkış bölgesinde boru çapı boyunca karşılaştırılması (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Tablo 135. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	69.658435
Boru girişi	69.664721
Boru iç yüzeyi	83.0772
Boru çıkışı	99.318983
Boru üst duvarı	146.42479

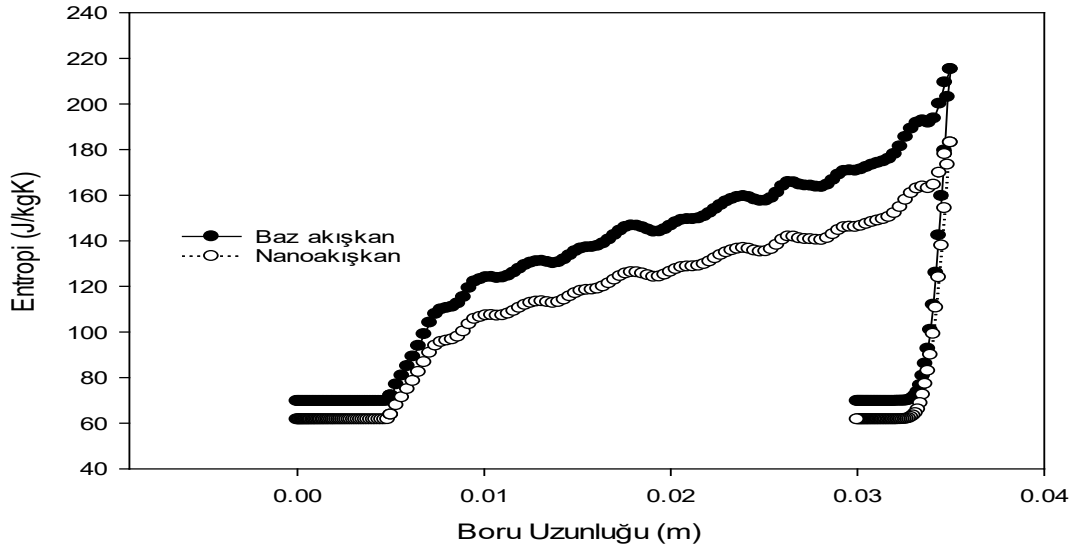
Tablo 136. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan entropi değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Entropi (J/kgK)
Boru alt duvarı	61.567397
Boru girişi	61.573543
Boru iç yüzeyi	73.202477
Boru çıkışı	87.08192
Boru üst duvarı	125.94052



Şekil 163. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Şekil 164'teki grafikte baz akışkan ile %4 oranındaki alüminyum oksit içeren nanoakışkanın entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca olan borunun giriş kısmı üst duvarı ve çıkış kısmı boyunca değişimleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Borunun giriş bölgesinden boru üst duvarına doğru çıkıldıkça akışkanların entropi değerinde artış gözlemlenmiştir. Akışkanların entropi değerlerinin sabit ısı akısı uygulanan boru üst duvarı boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Boru üst duvarından boru çıkışı boyunca boru alt duvarına doğru hem baz akışkanın hem de nanoakışkanın entropi değerlerinde azalış gözlemlenmiştir. Boru üst duvarı boyunca akışkanların sıcaklık gradyanları artar. Bu yüzden (22) numaralı denkleme göre akışkanların sıcaklık gradyanları arttıkça entropi değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Nanoakışkanın entropi değerlerinin baz akışkanın entropi değerlerine göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun esas nedeni olarak nanoakışkanın sıcaklık gradyanları baz akışkanın sıcaklık gradyanlarına göre daha az oluşu olarak açıklanmıştır. Aynı zamanda boru üst duvarından boru çıkışında boru alt duvarına doğru inildikçe akışkan entropisinin yine başlangıç değerine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 164. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının entropi değerlerinin boru uzunluğu boyunca değişimi (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Tablo 137. H_2O baz akışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	734.27491

Tablo 138. %4 $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ nanoakışkanının boru bölgeleri boyunca olan Nusselt sayısı değerleri (eğik giriş ve çıkış kenarlı)

Bölge	Nusselt Sayısı
Boru üst duvarı	680.23778

5. BULGULAR

İlk önce yapılan sayısal çalışmalarda yorumlamalar yapılırken akışkanın geçtiği geometrinin özellikleri verilmelidir. Akışkan 5 mm çapında 30 mm uzunluğunda dairesel kesitli bir borudan akmaktadır. Akış laminar akıştır. Dairesel kesitli bu boruda herhangi bir çukur veya tümsek bulunmamaktadır. Akışın başlangıç ve sınır koşulları verilirse, dairesel kesitli boruya üst duvarı boyunca sabit 5000 W/m^2 büyüklüğünde ısı akısı uygulanmaktadır. Akışkan boruya 0.011 m/s hızla girmektedir ve akışkanın boruya giriş sıcaklığı ise 293 K 'dir.

5.1. Aynı Geometrilere Farklı Nanoparçacıklar Farklı Nanoparçacık Hacimsel Oranları Ve Farklı Baz Akışkan Kullanılmasının Nano Akışkanlara Etkisi

Dairesel kesitli bu boruda herhangi bir çukur veya tümsek bulunmamaktadır. Aşağıdaki tablolarda nanoakışkanların kullanımının maksimum değerlerde hız, akım fonksiyonu, sıcaklık ve entropi ve Nusselt sayısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Tablo 139. Aynı Geometride Farklı Nanoakışkanların Maksimum Hız Analizleri

Nano Akışkan	Boru Çapı Boyunca Nanoakışkanın Maksimum Çıkış Hızı (m/s)	Boru İç Yüzeyinde Nanoakışkanın Maksimum Hızı (m/s)
%4 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0.016635951	0.016633395
%2 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$	0.016636308	0.016633766
%4 $\text{MgO} + \text{H}_2\text{O}$	0.016637513	0.016635016
%4 $\text{TiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0.016634939	0.01663235
%4 $\text{CuO} + \text{H}_2\text{O}$	0.01662541	0.016622547
%4 $\text{Al}_2\text{O}_3 + (\text{EG} + \text{H}_2\text{O})$ (1/1))	0.01668255	0.016685884

Tablo 140. Aynı Geometride Farklı Nanoakışkanların Maksimum Akım Fonksiyonu Analizleri

Nano Akışkan	Boru İç Yüzeyinde Nanoakışkanın Maksimum Akım Fonksiyonu Değeri
%4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	0.0002922838
%2 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	0.00027673229
%4 MgO+ H ₂ O	0.00028799273
%4 TiO ₂ + H ₂ O	0.00029500498
%4 CuO+ H ₂ O	0.00031876279
%4 Al ₂ O ₃ + (EG+ H ₂ O (1/1))	0.00031106794

Tablo 141. Aynı Geometride Farklı Nanoakışkanların Maksimum Sıcaklık Analizleri

Nano Akışkan	Boru Çapı Boyunca Nanoakışkanın Maksimum Çıkış Sıcaklığı (K)	Boru İç Yüzeyinde Nanoakışkanın Maksimum Sıcaklığı (K)
%4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	302.22211	302.19601
%2 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	302.52548	302.49881
%4 MgO+ H ₂ O	302.20279	302.17676
%4 TiO ₂ + H ₂ O	302.32095	302.29459
%4 CuO+ H ₂ O	302.22937	302.20291
%4 Al ₂ O ₃ + (EG+ H ₂ O (1/1))	305.9855	305.95392

Tablo 142. Aynı Geometride Farklı Nanoakışkanların Maksimum Entropi Analizleri

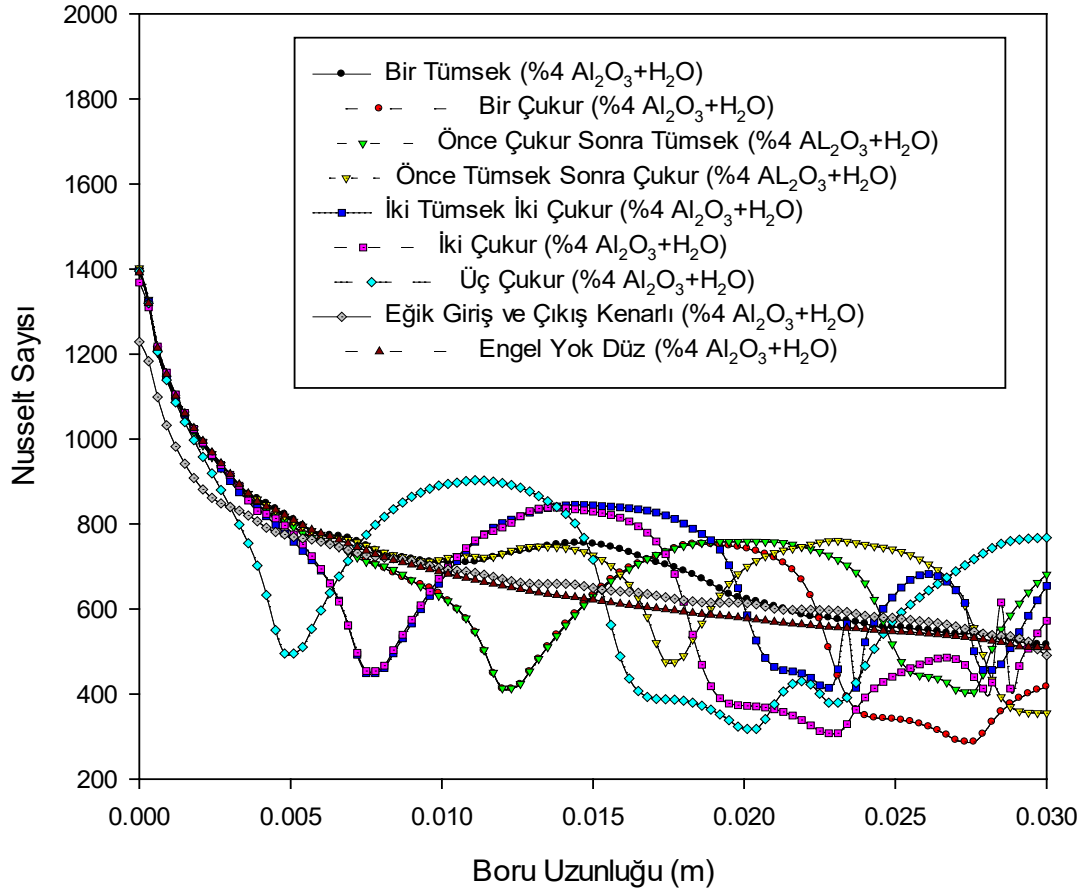
Nano Akışkan	Boru İç Yüzeyinde Nanoakışkanın Maksimum Entropisi (J/kgK)
%4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	175.79332
%2 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	190.62671
%4 MgO+ H ₂ O	178.8
%4 TiO ₂ + H ₂ O	175.17957
%4 CuO+ H ₂ O	161.96205
%4 Al ₂ O ₃ + (EG+ H ₂ O (1/1))	176.40453

Tablo 143. Aynı Geometride Farklı Nano Akışkanların Ortalama Nusselt Sayısı Analizleri

Nano Akışkan	Boru Üst Duvarında Nanoakışkanın Ortalama Nusselt Sayısı Değeri
%4 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	679.90027
%2 Al ₂ O ₃ +H ₂ O	706.44258
%4 MgO+ H ₂ O	679.55566
%4 TiO ₂ + H ₂ O	687.52625
%4 CuO+ H ₂ O	683.95697
%4 Al ₂ O ₃ + (EG+ H ₂ O (1/1))	861.3112

5.2. Aynı Geometriye Engeller Eklemenin Nano Akışkana Etkisi

Her bir geometride nanoparçacık olarak %4 hacimsel oranda alüminyum oksit kullanılmış ve baz akışkan olarak su kullanılmıştır. Akışkan aynı çap ve uzunluktaki borudan akmaktadır. Ancak boruya çeşitli engeller eklenmiştir. Örnek olarak; çukur eklenir, tümsek eklenir, çukur ve tümseklerin sayıları artırılır ve borudaki dik kenarlar eğimli hale getirilir. Bu durumlarda bu çalışmada akış analizi yapılmıştır. Aynı geometriye engellerin eklenmesi durumunda bu durumun nanoakışkanların davranışlarına nasıl etki ettiğinin araştırılmasında nanoakışkanın başlangıç ve sınır koşulları aynı geometrilerin kullanılması durumunda açıklanan nanoakışkanın başlangıç ve sınır koşulları ile aynı olduğu belirtilmiştir. Şekil 165'te Nusselt sayısının boru üst duvarında boru uzunluğu boyunca nasıl değiştiği gösterilmektedir. Grafikte nanoakışkanlara ait Nusselt sayısı değerleri boru girişinde en yüksek değerlerde seyrederken en yüksek Nusselt sayısı boruda bir tümsek bulunması durumunda gerçekleşmiştir. Ancak taşınım ile en kötü ısı transferi boruda üç çukur kullanılması durumunda gerçekleşmiştir. Çıkarılabilecek en önemli sonuç boruya engel eklemek taşınım ile ısı transferini kötüleştirmektedir. Bir diğer husus ise nusselt sayısı değerleri boru üst duvar uzunluğu boyunca boru girişinden boru çıkışına doğru azalma göstermiştir. Bu azalmanın temel nedeni ise borunun girişinde ($x=0$) boru üst yüzeyindeki akışkanın sıcaklık değeri en az değerdedir. Bu sıcaklık değerinin az olması sabit ısı akısı ve sabit ortam sıcaklığı şartlarında akışkana ait ısı taşınım katsayısı değerlerinin artmasına sebep olacaktır.



Şekil 165. Boruya engeller eklenmesi durumunda boru uzunluğu boyunca nanoakışkanın Nusselt sayısının değişimi

Tablo 144. Engel Eklenmesinde Aynı Nanoakışkanın Maksimum Hız Analizi

Geometri	Boru Çapı Boyunca Nanoakışkanın Maksimum Çıkış Hızı (m/s)	Boru İç Yüzeyinde Nanoakışkanın Maksimum Hızı
Bir Tümsek	0.016865831	0.024653753
Bir Çukur	0.021308729	0.039144695
Önce Çukur Sonra Tümsek	0.017937601	0.041509978
Önce Tümsek Sonra Çukur	0.029796312	0.04174304
İki Tümsek İki Çukur	0.023482606	0.043915667
İki Çukur	0.027651345	0.039822139
Üç Çukur	0.031040505	0.040473066
Eğik Giriş ve Çıkış Kenarlı	0.023566682	0.028590119

Tablo 145. Engel Eklenmesinde Aynı Nanoakışkanın Maksimum Akım Fonksiyonu Analizi

Geometri	Boru İç Yüzeyinde Nanoakışkanın Maksimum Akım Fonksiyonu Değeri
Bir Tümsek	0.00029468478
Bir Çukur	0.00030678936
Önce Çukur Sonra Tümsek	0.00032086449
Önce Tümsek Sonra Çukur	0.00031133278
İki Tümsek İki Çukur	0.00030310755
İki Çukur	0.00030638863
Üç Çukur	0.00030635885
Eğik Giriş ve Çıkış Kenarlı	0.00041013255

Tablo 146. Engel Eklenmesinde Aynı Nanoakışkanın Maksimum Sıcaklık Analizi

Geometri	Boru Çapı Boyunca Nanoakışkanın Maksimum Çıkış Sıcaklığı (K)	Boru İç Yüzeyinde Nanoakışkanın Maksimum Sıcaklığı (K)
Bir Tümsek	302.02664	301.96182
Bir Çukur	301.78195	312.78934
Önce Çukur Sonra Tümsek	301.77173	305.33032
Önce Tümsek Sonra Çukur	300	312.26047
İki Tümsek İki Çukur	300	305.46173
İki Çukur	300	312.6662
Üç Çukur	300	311.43289
Eğik Giriş ve Çıkış Kenarlı	302.78424	302.36905

Tablo 147. Engel Eklenmesinde Aynı Nanoakışkanın Maksimum Entropi Analizi

Geometri	Boru İç Yüzeyinde Nanoakışkanın Maksimum Entropisi (J/kg*K)
Bir Tümsek	172.92789
Bir Çukur	303.1394
Önce Çukur Sonra Tümsek	213.9297
Önce Tümsek Sonra Çukur	296.88409
İki Tümsek İki Çukur	215.51967
İki Çukur	301.6839
Üç Çukur	287.07471
Eğik Giriş ve Çıkış Kenarlı	177.90591

Tablo 148. Engel Eklenmesinde Aynı Nano akışkanın Ortalama Nusselt Sayısı Analizi

Geometri	Boru Üst Duvarı Boyunca Ortalama Aynı Nano Akışkanın Nusset Sayısı
Engel Yok	679.90027
Bir Tümsek	716.89409
Bir Çukur	460.33183
Önce Çukur Sonra Tümsek	621.26797
Önce Tümsek Sonra Çukur	444.82633
İki Tümsek İki Çukur	598.02862
İki Çukur	434.53201
Üç Çukur	383.70463
Eğik Giriş ve Çıkış Kenarlı	680.23778

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Nanoakışkanlarda baz akışkana göre boru uzunluğu boyunca hız değerlerinde önemli bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Ancak yine de boru iç yüzeyi boyunca ortalama bazında nanoakışkanın hızı baz akışkanın hızından çok az da olsa fazla çıkmıştır. Yine bu durum nanoakışkanın dinamik viskozitesinin baz akışkanın dinamik viskozitesinden daha fazla olduğu bilgisinden hareketle nanoakışkanların sıcaklığı baz akışkanların sıcaklığına göre daha azdır şeklinde yorum yapılmıştır. Nanoakışkanların sıcaklığı baz akışkana göre daha az olduğu için nanoakışkanın basıncı baz akışkana göre daha az olduğu ifade edilmiştir. Nanoakışkanın basıncı baz akışkana göre daha az olduğu için nanoakışkanın hızının baz akışkanın hızına göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Hız, akışkanın geçtiği borunun üst ve alt duvarları boyunca sıfır değerini almıştır. Ancak şu şeklide bir durumda söz konusu olmuştur. Akışkanın geçtiği boruya tümsek ve çukur gibi engellerin eklenmesi durumunda tümsek ve çukurların olduğu yerlerde akışkanın hızında artış gözlemlenmiştir. Çünkü akışkanın geçtiği kesitin alanı daraldıkça akışkanın hızı artar. Ancak akışkanın ortalama hızları boru iç yüzeyi boru uzunluğu boyunca önemli bir değişiklik göstermemiştir. Çukurun olduğu yerde hız tümseğin olduğu yere göre daha fazla olmuştur. Çukurların sayılarını artırmak ve borunun giriş ve çıkış kenarlarını eğimli hale getirmek akışkanın borunun çıkış bölgesindeki hızını arttırdığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda borunun giriş ve çıkış kenarlarını eğimli hale getirmek akışkanın ortalama hızında en yüksek artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Akışkanın boru içerisinde hızlı bir biçimde hareketinin önemli olduğu güneş kolektörlerindeki borulara çukur ekleme ve kenarları eğimli hale getirmek önerilmiştir. Ancak burada en iyi iyileşme borunun alt duvarına iki adet tümsek üst duvarına ise iki adet çukur eklemek akışkanın boru iç yüzeyindeki dolaşma hızının artmasına sebep olacaktır.

Akım fonksiyonu analizinin yapılması ile nano akışkanların akım fonksiyonu değerlerinin baz akışkanların akım fonksiyonu değerlerine göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Akım fonksiyonu değerlerinin borunun alt duvarı boyunca ($y=0$) sıfır olduğu gözlenirken boru çapı yönünde borunun üst duvarına doğru artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Aynı zamanda nanoakışkanın dinamik viskozite değerlerinin baz akışkana göre daha fazla olmasının bir diğer nedeni ise nanoakışkanın hızının baz

akışkanın hızından daha fazla olmasıdır. (19) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir.

Sıcaklık analizine gelince baz akışkanın sıcaklığının nano akışkanın sıcaklığına göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun temel nedeni ise nano akışkanın dinamik viskozitesi baz akışkanın dinamik viskozitesine göre daha fazladır. Hatırlandığı üzere sıvıların dinamik viskozitesi arttıkça sıcaklıklarında azalma gözlenir. Dairesel kesitli boruya çukur veya engel eklemek çukur ve engelin olduğu bölgelerde akışkanın sıcaklığının azalmasına neden olmuştur. Çünkü akışkan çukura veya tümseğe girdiği zaman akışkanın hızında artış gözlemlenmiştir. Akışkanın hızı arttığı için akışkanın basıncında azalma meydana gelmiştir. Akışkanın basıncı azaldığı için sıcaklığında da azalma gözlemlenmiştir. Özellikle baz akışkan ve nano akışkanın sıcaklıkları, sabit olarak uygulanan ısı akısının olduğu boru üst duvarı boyunca en yüksek değerleri aldığı gözlemlenmiştir. Boru üst yüzeyine dış ortamdan uygulanan ısı sonucu meydana gelen ısı transferi olayı taşınımıdır. Sabit olarak tanımlanmış ısı akısı ve sabit ortam sıcaklığı için şu durum söz konusu olacaktır. Boru çeperinde akışkandan dolayı meydana gelen sıcaklık değeri arttıkça ısı taşınım katsayısı azalacaktır. Bu durumda boru içerisinden geçen akışkanın nano akışkan olması ve boru üst duvarı uzunluğu boyunca sabit ısı akısı uygulanması durumunda akışkanın ısı taşınım katsayısı artacaktır. Isı taşınım katsayısının artması ısı transferinin iyileştiği anlamına gelmektedir. Boru üst duvarında boru girişinde ($x=0$) sıcaklık en az değerde olduğu için $x=0$ 'daki boru üst duvarında akışkana ait ısı taşınım katsayısı en yüksek değerini almıştır. Bu durum ısı transferinin daha iyi hale gelmesini sağlayacaktır. Ampirik bağıntıda bu durumu doğrular niteliktedir. Oluşturan sıcaklık şekillerine dayanarak akışkanın boru üst duvarında boru girişinden boru çıkışına doğru artış gösterdiği gözlemlenmiştir. En yüksek sıcaklığı akışkan $x=0.030$ m'deki boru üst duvarı noktasında almıştır. $x=0.030$ m'deki boru üst duvarındaki sıcaklık değerinin maksimum oluşu o bölgedeki ısı taşınım katsayısı değerinin azalmasına neden olacaktır.

Entropi analizine gelince entropi aslında birçok değişkene bağlıdır. Bu değişkenler dinamik viskozite, yüzeylerde meydana gelen sürtünme ve sıcaklık gradyeni gibi. Sıcaklık gradyeni değeri sıcaklığın boru uzunluğu (boru boyu) boyunca olan değişimini göstermektedir. Baz akışkanlarda daha yüksek sıcaklıklara

çıkılabildiği için baz akışkanların sıcaklık gradyanları değerlerinin daha fazla olduğu yorumu yapılabilir. Bu durumda nano akışkanların sıcaklık gradyanları daha az değerlerde olması beklenen bir sonuçtur. Çünkü nano akışkanlar daha az sıcaklık değerlerine ulaşabilmişlerdir baz akışkanlara göre. Bu durumun nedeni ise nanoakışkanları dinamik viskozite değerleri baz akışkandan daha fazladır. Bu durum sonucunda sıvı olan akışkanlarda dinamik viskozite arttıkça akışkan sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Nanoakışkan sıcaklığında azalma gözlemlendiğinden dolayı nanoakışkanın sıcaklık gradyanı daha da az olmuştur. Bu yüzden tablolarda da nanoakışkana ait entropinin değerleri daha az olduğu gözlemlenmiştir (22) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Aynı zamanda entropi düzensizliği de ifade etmektedir. Sistemden dışarıya olan ısı geçişi arttıkça sistem içerisinde akışkanın entropisi azalma göstermesi beklenir. Bu durumda nanoakışkanın entropi değerlerinin baz akışkanın entropi değerlerine göre daha az çıkması aynı zamanda boru iç yüzeyinden dış ortama doğru daha çok ısı geçişi olduğunu doğrular niteliktedir. Engeller eklenmesinin entropi değerlerine etkisi iyi olmamıştır. Çünkü engellerin eklenmesi sıcaklık gradyanının artışına bu yüzden de entropi değerinin artışına neden olmuştur. Yalnızca akışın gerçekleştiği geometriye bir tümsek yerleştirmek sistemin entropisinde hiçbir engel olmaması durumuna göre olumlu yönde etki yaparak sistemin entropisinin azalmasına neden olmuştur. Tüm bu bilgiler ışığında yapılabilecek en iyi öneri ise bir borudan gerçekleşen akışta boru içinden boru çeperlerine oradan da dışarıya olan ısı geçişinin artırılması isteniyorsa borunun alt duvarına bir adet tümsek eklenmesi önerilir. Boruya çukur eklemek borunun içerisinden dışarıya doğru olan ısı geçişinin azalmasına neden olacaktır. Sıcaklık gradyanının artmasına neden olacaktır ve boru sistemi içerisinde ve ısı akısı uygulana boru üst duvarı boru uzunluğu boyunca daha çok sıcaklık oluşmasına neden olacaktır. Bu durum ısı transferinin kötüleşmesine neden olacaktır.

Nusselt sayısı analizine gelince Nusselt sayısı taşınım ile gerçekleşen ısı transferinin iletim ile gerçekleşen ısı transferine oranı şeklinde tanımlanmaktadır. Taşınım ile ısı transferinde en önemli nitelik akışkanın ısı transfer katsayısının akışkanın boru girişindeki ısı iletim katsayısına oranıdır. Baz akışkanın kullanıldığı durumda ısı taşınım katsayısının boru üst duvarına ısı akısı uygulandığı için boru üst duvarı uzunluğu boyunca nanoakışkana göre daha az olduğu doğrulanan bir gerçektir.

Yapılan sayısal çalışmalarda nanoakışkanın Nusselt sayısı baz akışkanın Nusselt sayısına göre daha az çıkmıştır. Neden daha az çıkmıştır sorusuna verilebilecek cevap ise baz akışkanın nanoakışkana göre ısı taşınım katsayısının daha az oluşu ve nanoakışkanın ısı iletim katsayısının baz akışkanın ısı iletim katsayısına göre daha fazla oluşu taşınım ile olan ısı transferinin iletimle olan ısı transferine oranının azalmasına neden olmuştur (23) numaralı denklem bu durumu doğrular niteliktedir. Aynı zamanda Nusselt sayısının bir yüzey boyunca sıcaklık gradyeni olduğu açıklanmıştır. Baz akışkanlar nanoakışkanlara göre daha yüksek sıcaklıklara ulaştığından dolayı baz akışkanın sıcaklık gradyeni nano akışkanın sıcaklık gradyeninden daha fazladır. Bu durumda da baz akışkanın Nusselt sayısı nanoakışkanın Nusselt sayısından daha fazla çıkmıştır. Tablolardaki sonuçlar bu durumu doğrular niteliktedir. Bir diğer husus ise Nusselt sayısı değerleri boru üst duvar uzunluğu boyunca boru girişinden boru çıkışına doğru azalma göstermiştir. Bu azalmanın temel nedeni ise borunun girişinde ($x=0$) boru üst yüzeyindeki akışkanın sıcaklık değeri en az değerdedir. Bu sıcaklık değerinin az olması sabit ısı akısı ve sabit ortam sıcaklığı şartlarında akışkana ait ısı taşınım katsayısı değerlerinin artmasına sebep olacaktır. Akışkanın ısı iletim katsayısı da boru girişinde sabittir. Tüm bu bilgilerin ışığında ısı taşınım katsayısının artması ve ısı iletim katsayısının da sabit olması akışkana ait Nusselt sayısı değerinin artmasına sebep olacaktır. Neden Nusselt sayısı boru girişinden boru çıkışına doğru boru üst duvarında boru uzunluğu boyunca azalma gösteriyor sorusuna verilebilecek cevap ise, boru üst duvarında boru çıkışına doğru boru uzunluğu boyunca akışkanın sıcaklık değerleri artış göstermiştir. Boru üst duvarı boyunca sabit olarak uygulanan ısı akısı ve sabit ortam sıcaklığı koşullarında boru girişinden boru çıkışına boru uzunluğu boyunca boru üst duvarında akışkana ait ısı taşınım katsayısı azalır ve ısı iletim katsayısı da boru girişinde sabit olduğundan dolayı Nusselt sayısı azalma göstermektedir. Tablolardaki veriler bu durumu doğrular niteliktedir. Kısacası Nusselt sayısı taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranı olarak tanımlandığını bilinir. Aynı zamanda bu bilginin yanında boruya engeller eklenmesi ve borunun giriş ve çıkış kenarlarının eğimli olduğu tüm durumlarda aynı nanoakışkan baz akışkanı su olan %4 hacimsel oranda alüminyum oksit kullanılarak hazırlanan nanoakışkan olduğu için akışkanın ısı iletim katsayısı değişmediğinden Nusselt sayısının artması demek taşınım ile ısı transferinin artması anlamına gelmiştir.

En yüksek Nusselt sayısı boruda bir tümsek bulunması durumunda gerçekleşmiştir. Ancak taşınım ile en kötü ısı transferi boruda üç çukur kullanılması durumunda gerçekleşmiştir. Çıkarılabilecek en önemli sonuç boruya engel eklemek taşınım ile ısı transferini kötüleştirmektedir. İstisna olarak bir tümsek eklemek taşınım ile ısı transferini daha da iyi duruma getirdiği gözlemlenmiştir. Çukur sayısını arttırmak da ısı transferini kötüleştirmektedir. Şimdi aynı geometride herhangi bir engel olmaması durumunda Nusselt sayılarının değişimlerinin incelenmesi yapılmalıdır. Taşınım ile en iyi ısı transferi baz akışkan olarak eşit oranlarda etilen glikol ve su kullanılan nano parçacık olarak da alüminyum oksit kullanılarak hazırlanan nano akışkan meydana gelmiştir. Nano akışkan içerisindeki nano parçacık hacimsel oranını arttırmak da nano akışkanın taşınım ile ısı transferini kötüleştirmiştir. Aynı zamanda taşınım ile en iyi ısı transferi eşit hacimsel oranlarda farklı nano parçacıklar arasında ve aynı baz kullanımı ile nano parçacık olarak alüminyum oksit kullanılması meydana gelmiştir. Yapılabilecek en iyi öneri bu durumda boruya herhangi bir engel eklemekten sadece baz akışkan su değilde eşit oranlarda etilen glikol-su kullanmak ve nano parçacık olarak da alüminyum oksit kullanılarak hazırlanmış olan nano akışkan kullanılması durumunda sistemde taşınım ile ısı transferi en iyi durumda olmuştur.

KAYNAKÇA

- Akilu, S., Baheta, A. T., Sharma, K. V., & Said, M. A. (2017, September). Experimental determination of nanofluid specific heat with SiO₂ nanoparticles in different base fluids. In *AIP conference proceedings* (Vol. 1877, No. 1). AIP Publishing.
- Alawi, O. A., Mallah, A. R., Kazi, S. N., Zubir, M. N. M., & Oon, C. S. (2020, May). Thermal Transport Feasibility of (Water+ Ethylene Glycol)-Based Nanofluids Containing Metallic Oxides: Mathematical Approach. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 854, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.
- Al Kalbani, K. S., Alam, M. S., & Rahman, M. M. (2016). Finite element analysis of unsteady natural convective heat transfer and fluid flow of nanofluids inside a tilted square enclosure in the presence of oriented magnetic field. *Am. J. Heat Mass Transf*, 3(3), 186-224.
- Asleshirin, S., Mazaheri, H., Omidkhah, M. R., & Hassani Joshaghani, A. (2022). Investigation of thermophysical properties of io nanofluids containing multi-walled carbon nanotubes and graphene. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 41(2), 380-391.
- Ateş, M. (2018). Nanoparçacıkların ölçme ve inceleme teknikleri. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 11(1), 63-69.
- Atmaca, İ., Koçak Soylu, S., Özdemir, O. S., & Asiltürk, M. (2019). Nanoakışkanlar ve güneş enerjili sıcak su sistemlerinde kullanımı.
- Aybar, H. Ş., Sharifpur, M., Azizian, M. R., Mehrabi, M., & Meyer, J. P. (2015). A review of thermal conductivity models for nanofluids. *Heat Transfer Engineering*, 36(13), 1085-1110.
- Aytaç, İ. (2020). Hibrit Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Isıl Davranışları. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 8(4), 810-829.
- Bellos, E., Said, Z., & Tzivanidis, C. (2018). The use of nanofluids in solar concentrating technologies: a comprehensive review. *Journal of Cleaner Production*, 196, 84-99.
- Elsaid, K., Abdelkareem, M. A., Maghrabie, H. M., Sayed, E. T., Wilberforce, T., Baroutaji, A., & Olabi, A. G. (2021). Thermophysical properties of graphene-based nanofluids. *International Journal of Thermofluids*, 10, 100073.
- Demirpolat, A. B., & Mehmet, D. A. S. (2020). CuO ve ZnO İçeren Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 225-238.

- Doma, S. B., El-Sirafy, I. H., & El-Sharif, A. H. (2010). Two-Dimensional Fluid Flow Past a Rectangular Plate with Variable Initial Velocity. *Alexandria Journal of Mathematics*, 1(2), 36-57.
- Farbod, M., & Ahangarpour, A. (2022). A New Modified Hamilton-Crosser and Nan Models for Thermal Conductivity of Different Lengths Carbon Nanotubes Water- based Nanofluids. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 8(3), 831-837.
- Karakaya, U., Gürü, M., Sözen, A., Aydın, D. Y., & Bilici, İ. (2019). Nano mineralojik akışkanların termofiziksel özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 22(3), 619-626.
- Khalili Najafabadi, M., Vadászne Bognár, G., & Hriczó, K. (2022). The effects of water-CuO nanofluid flow on heat transfer inside a heated 2D channel. *Design of Machines and Structures*, 12(1), 47-62.
- Kotia, A., Srivastava, P., & Ghosh, S. K. (2016). Experimental Investigation of Aluminum Oxide and Cerium Oxide (Ce (IV)) Nanoparticle as Additives of HEMM Gear Oil. *Journal of Material Science and Mechanical Engineering*, 3(3), 203-206.
- Lafdaili, Z., El-Hamdani, S., Bendou, A., Limam, K., & El-Hafad, B. (2021). Numerical study of the turbulent natural convection of nanofluids in a partially heated cubic cavity. *Thermal Science*, 25(4 Part A), 2741-2754.
- Li, S., Yang, Q., Ye, L., Du, H., Zhang, Z., Huang, X., & Xu, J. (2022). Effect of nanoparticle concentration on physical and heat-transfer properties and evaporation characteristics of graphite/n-decane nanofluid fuels. *ACS omega*, 7(4), 3284-3292.
- Markal, B., & Aksoy, K. (2018). Yenilikçi Soğutma Teknolojileri: Isı Boruları.
- Marzougui, S., Mebarek-Oudina, F., Magherbi, M., & Mchirgui, A. (2021). Entropy generation and heat transport of Cu–water nanoliquid in porous lid-driven cavity through magnetic field. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 32(6), 2047-2069.
- Perumal, S., Venkatraman, V., Sivanraju, R., Mekonnen, A., Thanikodi, S., & Chinnappan, R. (2022). Effects of nanofluids on heat transfer characteristics in shell and tube heat exchanger. *Thermal Science*, 26(2 Part A), 835-841.
- Pil Jang, S., & Choi, S. U. (2007). Effects of various parameters on nanofluid thermal conductivity.
- Sekrani, G., & Poncet, S. (2016). Further investigation on laminar forced convection of nanofluid flows in a uniformly heated pipe using direct numerical simulations. *Applied Sciences*, 6(11), 332.

- Simpson, S., Schelfhout, A., Golden, C., & Vafaei, S. (2018). Nanofluid thermal conductivity and effective parameters. *Applied Sciences*, 9(1), 87.
- Şahin, F., & Namlı, L. (2018). NANOAKIŞKANLARDA KARARLILIĞIN ISI TRANSFERİNİ İYİLEŞTİRME AÇISINDAN ÖNEMİ. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 880-898.
- Şirin, Ş. (2022). Investigation of the performance of cermet tools in the turning of Haynes 25 superalloy under gaseous N₂ and hybrid nanofluid cutting environments. *Journal of Manufacturing Processes*, 76, 428-443.
- Vajjha, R. S., Das, D. K., & Mahagaonkar, B. M. (2009). Density measurement of different nanofluids and their comparison with theory. *Petroleum Science and Technology*, 27(6), 612-624.
- Yu, K., Park, C., Kim, S., Song, H., & Jeong, H. (2017, August). CFD analysis of nanofluid forced convection heat transport in laminar flow through a compact pipe. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 885, No. 1, p. 012021). IOP Publishing.
- Zhou, L. P., Wang, B. X., Peng, X. F., Du, X. Z., & Yang, Y. P. (2010). On the specific heat capacity of CuO nanofluid. *Advances in mechanical engineering*, 2, 172085.
- URL-1, (2021). <https://www.bezelyedergi.net/post/nano-par%C3%A7ac%C4%B1klar-ve-kullan%C4%B1m-alanlar%C4%B1> (27 Ocak 2021)
- URL-2 (t.y.), atomikateknik.com/uploads/belgeler/zetasizer-zeta-potansiyel-analizi-11982.pdf
- URL-3, (2016). <https://www.enerjiportali.com/gunes-kollektoru-nedir/> (25 Aralık)
- URL-4, (2010)
https://tr.wikipedia.org/wiki/D%C3%BCzlemsel_g%C3%BCne%C5%9F_kollekt%C3%B6r%C3%BC (28 Mart 2010)
- URL-5,(2016).<https://www.thesisat.org/vakum-tuplu-gunes-enerjisi-kollektorleri.html> (28 Nisan 2016)
- URL-6, (t.y.) <https://tr.aliexpress.com/i/4000750705470.html?spm=a2g0n.seo-amp-search.searchResult.4000750705470&gatewayAdapt=Msite2Pc>
- URL-7, (t.y.), <https://avys.omu.edu.tr/storage/app/public/mozbey/126308/entropi.pdf>