

S. ÖCAL, 2019

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ISI TRANSFERİ UYGULAMALARI İÇİN ÇEŞİTLİ HİBRİT
NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

SULTAN ÖCAL

Mayıs 2019

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ISI TRANSFERİ UYGULAMALARI İÇİN ÇEŞİTLİ HİBRİT
NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

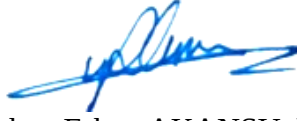
SULTAN ÖCAL

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

Mayıs 2019

Sultan ÖCAL tarafından **Prof. Dr. Murat GÖKÇEK** danışmanlığında hazırlanan “**Isı Transferi Uygulamaları için Çeşitli Hibrit Nanoakışkanların Termofiziksel Özelliklerinin İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Prof. Dr. Yahya Erkan AKANSU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Prof. Dr. Murat GÖKÇEK, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Mustafa KILIÇ, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT

MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Sultan ÖCAL



ÖZET

ISI TRANSFERİ UYGULAMALARI İÇİN ÇEŞİTLİ HİBRİT NANOAKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

ÖCAL, Sultan

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

:Prof. Dr. Murat GÖKÇEK

Mayıs 2019, 166 sayfa

Bu çalışmada, Al_2O_3 , TiO_2 ve $CaCO_3$ nanopartiküllerinin baz akışkan olarak seçilmiş saf su ile mono ve hibrit nanoakışkanlarının sentezlenmesi ve hazırlanan numunelerin termal iletkenlik, viskozite, özgül ısı ve yoğunluk gibi termofiziksel özelliklerinin deneysel incelemeleri amaçlanmıştır. Mono ve hibrit nanoakışkanlar literatürde en sık tercih edilen iki adım metodu ile %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlerde hazırlanmış ve çökelmelerin önlenmesi için yüzey aktif madde olarak Arabic gum yüzey aktif maddesi kullanılmıştır. Nanoakışkanların termal iletkenlik özelliklerini belirlemek için KD2 Pro cihazı kullanılmıştır. Termal iletkenlik açısından hibrit nanoakışkanlar mono nanoakışkanlardan yüksek termofiziksel özellik göstermiştir. Viskozite ölçümü kapiler viskozimetre ile 10-35°C sıcaklık aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Mono ve hibrit nanoakışkanların viskozite özelliği sıcaklık artışı ile azalma göstermiştir. Özgül ısı ölçümü, özgül ısı değerleri bilinen referans sıvının enerjisini özgül ısısı bilinmeyen akışkanın enerjisine eşitlemeye dayanan deney düzeneği ile ölçülmüştür. Yakın zamanda uygulama alanlarında kullanılabilecek mono ve hibrit nanoakışkanların yüksek termofiziksel özellikleri umut vericidir.

Anahtar Sözcükler: Hibrit nanoakışkan, nanoakışkan, özgül ısı, termal iletkenlik, viskozite

SUMMARY

INVESTIGATION OF THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS OF VARIOUS HYBRID NANOFLUIDS FOR HEAT TRANSFER APPLICATIONS

ÖCAL, Sultan

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Professor Dr. Murat GÖKÇEK

May 2019, 166 pages

In this study, it is aimed to synthesize the mono and hybrid nanofluids of Al_2O_3 , TiO_2 and CaCO_3 nanoparticles as the base fluid and to examine the thermophysical properties of the prepared samples such as thermal conductivity, viscosity, specific heat and density. Mono and hybrid nanofluids were prepared in volumetric concentrations of 0.05%, 0.1%, 0.15%, 0.2% and 0.25% by the two step method in the literature and Gum Arabic was used as a surfactant to prevent precipitation. The KD2 Pro device was used to determine the thermal conductivity properties of nanofluids. In terms of thermal conductivity, hybrid nanofluids showed higher thermophysical properties than mono nanofluids. Viscosity measurement was performed with capillary viscometer at temperatures between 10°C and 35°C. The viscosity characteristics of mono and hybrid nanofluids decreased with temperature increase. The specific temperature measurement was measured by the test setup based on equalization of the energy of the known reference fluid with the specific heat values to the energy of the fluid whose specific temperature was unknown. Recently, high thermophysical properties of mono and hybrid nanofluids that can be used in application areas are promising.

Keywords: Hybrid nanofluid, nanofluid, specific heat, thermal conductivity, viscosity

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, son zamanların en çok çalışma konusu olan hibrit nanoakışkanların üretimi ve termofiziksel özelliklerinin deneysel belirlenmesi amaçlanmıştır. Deneyler sonucunda mono ve hibrit nanoakışkanların klasik akışkanlara kıyasla yüksek termofiziksel özelliklere sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Öncelikle tez çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışmanım, Sayın Prof. Dr. Murat GÖKÇEK' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, FEB2016/22 BAGEP numaralı “Isı transferi uygulamaları için nanoakışkan olarak Kalsit (CaCO_3)-Su/ Kalsit (CaCO_3)- Al_2O_3 -Su ve Kalsit (CaCO_3)- TiO_2 -Su karışımlarının termofiziksel özelliklerinin araştırılması” isimli BAGEP projesinden üretilmiş olup, projeye destek sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tezi, sadece bu çalışmam boyunca değil, tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi koruyuculuğumu üstlenen annem ve babam Fatma ÖCAL'a, Mehmet ÖCAL'a, kardeşlerim Serkan ÖCAL ve Ecem ÖCAL'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xxiii
SİMGE VE KISALTMALAR	xxiv
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Giriş	1
BÖLÜM II NANOAKIŞKAN VE HİBRİT NANOAKIŞKAN.....	3
2.1 Nanoakışkanlar	3
2.2 Hibrit Nanoakışkanlar.....	4
2.3 Nanoakışkanlarda Kullanılan Nanopartikül Tipleri.....	5
2.4 Nanoakışkan ve Hibrit Nanoakışkanların Hazırlanması.....	6
2.4.1 Tek aşamalı yöntem	6
2.4.2 İki aşamalı yöntem	6
2.5 Nanoakışkan Kararlılığı ve Kararlılık Artırma Yöntemleri.....	7
2.5.1 Nanoakışkan pH değerinin değiştirilmesi	7
2.5.2 Nanoakışkan içerisine yüzey katkı madde (surfaktant) eklenmesi	8
2.5.3 Ultrasonikasyon süresi	9
2.6 Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri.....	10
2.6.1 Termal iletkenlik	11
2.6.2 Yoğunluk.....	13

2.6.3 Viskozite.....	14
2.6.4 Özgöl ısı	14
BÖLÜM III LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI	16
3.1 Nanoakışkanlar için Literatür Araştırması.....	16
3.2 Hibrit Nanoakışkanlar için Literatür Araştırması	20
BÖLÜM IV DENEYSEL ÇALIŞMALAR	23
4.1 Nanopartiküllerin Morfolojisi.....	23
4.1.1 Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ve CaCO ₃ nanopartiküllerinin SEM görüntüleri	23
4.1.2 Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ve CaCO ₃ nanopartiküllerinin analizi ve XRD görüntüleri	26
4.2 Nanoakışkanların Hazırlanması.....	28
4.3 Termal İletkenlik Deneysel Ölçümü.....	30
4.4 Viskozite Deneysel Ölçümü	33
4.5 Özgöl Isı Deneysel Ölçümü.....	34
4.6 Deneysel Yoğunluk Ölçümü.....	36
4.7 Nanoakışkan ve Hibrit Nanoakışkanların Çökelme Süreleri.....	37
BÖLÜM V NANOAKIŞKANLAR İÇİN DENEYSEL SONUÇLAR	41
5.1 Al ₂ O ₃ -su Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	41
5.1.1 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları.....	41
5.1.2 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları.....	45
5.1.3 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları	49
5.2 TiO ₂ -su Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar.....	57
5.2.1 TiO ₂ -su nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları.....	57
5.2.2 TiO ₂ -su nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları	60
5.2.3 TiO ₂ -su nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları	64
5.3 CaCO ₃ -su Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	71
5.3.1 CaCO ₃ -su nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları	71
5.3.2 CaCO ₃ -su nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları.....	74

5.3.3 CaCO ₃ -su nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları.....	78
BÖLÜM VI HİBRİT NANOAKIŞKANLAR İÇİN DENEYSEL SONUÇLAR	85
6.1 Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su Hibrit Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	85
6.1.1 Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları	85
6.1.2 Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları	88
6.1.3 Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları.....	92
6.2 Al ₂ O ₃ -CaCO ₃ /su Hibrit Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar	100
6.2.1 Al ₂ O ₃ -CaCO ₃ /su hibrit nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları	100
6.2.2 Al ₂ O ₃ -CaCO ₃ /su hibrit nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları.....	103
6.2.3 Al ₂ O ₃ -CaCO ₃ /su hibrit nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları	107
6.3 TiO ₂ -CaCO ₃ /su Hibrit Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar.....	114
6.3.1 TiO ₂ -CaCO ₃ /su hibrit nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları .	114
6.3.2 TiO ₂ -CaCO ₃ /su hibrit nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları	117
6.3.3 TiO ₂ -CaCO ₃ /su hibrit nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları	121
BÖLÜM VII NANOAKIŞKAN VE HİBRİT NANOAKIŞKANLARIN	
DENEYSEL SONUÇ KARŞILAŞTIRMALARI	128
7.1 Nanoakışkanlar için Termal İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırılması.....	128
7.2 Nanoakışkanlar için Viskozite Değerlerinin Karşılaştırılması	130
7.3 Nanoakışkanlar için Özgül Isı Değerlerinin Karşılaştırılması.....	132
7.4 Nanoakışkanlar için Yoğunluk Değerlerinin Karşılaştırılması.....	135
7.5 Hibrit Nanoakışkanlar için Termal İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırılması	136
7.6 Hibrit Nanoakışkanlar için Viskozite Değerlerinin Karşılaştırılması.....	138
7.7 Hibrit Nanoakışkanlar için Özgül Isı Değerlerinin Karşılaştırılması	140
7.8 Hibrit Nanoakışkanlar için Yoğunluk Değerlerinin Karşılaştırılması	143
7.9 Termal İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırılması	144
7.10 Viskozite Değerlerinin Karşılaştırılması	147
7.11 Özgül Isı Değerlerinin Karşılaştırılması	149

BÖLÜM VIII SONUÇ.....	152
KAYNAKLAR	154
ÖZ GEÇMİŞ	166



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatürde yer alan su bazlı nanoakışkanların pH değerleri ve stabilitesi..	8
Çizelge 2.2. Literatürde yer alan bazı nanoakışkanlar ve surfaktantlar	9
Çizelge 2.3. Literatürde yer alan nanoakışkanların sonikasyon ve stabilizasyon süresi.	10
Çizelge 2.4. Nanoakışkanlar için termal iletkenlik modelleri	12
Çizelge 2.5. Hibrit nanoakışkanlar için termal iletkenlik modelleri.....	13
Çizelge 2.6. Nanoakışkanlar için yoğunluk modelleri.....	13
Çizelge 2.7. Nanoakışkanlar için viskozite modelleri	14
Çizelge 2.8. Nanoakışkanlar için özgül ısı modelleri	15
Çizelge 2.9. Hibrit nanoakışkanlar için özgül ısı modelleri	15
Çizelge 4.1. Nanopartiküllerin analizi	27
Çizelge 4.2. Nanopartikül özellikleri.....	30

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Yaygın olarak kullanılan nanopartiküller ve baz sıvı ile nanoakışkanlar ve hibrit nanoakışkanlar eldesi.....	4
Şekil 2.2. Literatürde yer alan hibrit kompozitler.....	5
Şekil 2.3. Prob ve banyo tip ultrasonikatörler	9
Şekil 2.4. Nanoakışkanlar için farklı termal iletkenlik ölçüm teknikleri.....	11
Şekil 2.5. Literatürde yer alan nanoakışkanların özgül ısı değişiminin hacimsel değişim ile karşılaştırılması	15
Şekil 4.1. Nano-TiO ₂ tozunun SEM ve FESEM görüntüleri.....	24
Şekil 4.2. Nano-Al ₂ O ₃ tozunun SEM ve FESEM görüntüleri	25
Şekil 4.3. a) Nano-TiO ₂ tozunun NanoSizer cihazı ile tespit edilmiş tane boyut dağılımı (Ortalama tane boyutu: 69 nm) b) Nano-Al ₂ O ₃ tozunun NanoSizer cihazı ile tespit edilmiş tane boyut dağılımı (Ortalama tane boyutu: 46 nm)	25
Şekil 4.4. SEM görüntüleri sırası ile nano-Al ₂ O ₃ , nano-TiO ₂ ve nano-CaCO ₃	26
Şekil 4.5. Nanopartiküllerin kırınım desenleri.....	28
Şekil 4.6. Termal iletkenlik deney düzeneği şematik gösterimi	31
Şekil 4.7. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanın çökelme süresi (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra	38
Şekil 4.8. Farklı hacimsel derişimlere sahip TiO ₂ -su nanoakışkanın çökelme süresi (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) iki hafta sonra	38
Şekil 4.9. Farklı hacimsel derişimlere sahip CaCO ₃ -su nanoakışkanın çökelme süresi (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra	39
Şekil 4.10. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra	39
Şekil 4.11. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al ₂ O ₃ -CaCO ₃ /su hibrit nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra	40
Şekil 4.12. Farklı hacimsel derişimlere sahip TiO ₂ -CaCO ₃ /su hibrit nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra	40

Şekil 5.1. KD2 Pro ile termal iletkenliği ölçülen saf suyun deneysel ve referans değerlerinin karşılaştırılması.....	41
Şekil 5.2. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin modeller ile karşılaştırılması.....	42
Şekil 5.3. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi	42
Şekil 5.4. Farklı sıcaklık değerlerinde Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değişimi	43
Şekil 5.5. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değişimi	43
Şekil 5.6. Farklı sıcaklıklarda Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değişimi.....	44
Şekil 5.7. Saf suyun referans viskozite değerleri ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması	45
Şekil 5.8. %0.05 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	46
Şekil 5.9. %0.1 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	46
Şekil 5.10. %0.15 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	47
Şekil 5.11. %0.2 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	47
Şekil 5.12. %0.25 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	48
Şekil 5.13. Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanının viskozite oranı	48
Şekil 5.14. Farklı derişimlere sahip Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değişimi	49
Şekil 5.15. Saf suyun referans özgül ısı değerleri ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması	50
Şekil 5.16. %0.05 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması ..	50
Şekil 5.17. %0.1 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	51
Şekil 5.18. %0.15 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması ..	51
Şekil 5.19. %0.2 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	52
Şekil 5.20. %0.25 Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması ..	52

Şekil 5.21. 10°C’de Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi.....	53
Şekil 5.22. 15°C’de Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi	53
Şekil 5.23. 20°C’de Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi	54
Şekil 5.24. 25°C’de Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi	54
Şekil 5.25. 30°C’de Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi	55
Şekil 5.26. 35°C’de Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi	55
Şekil 5.27. Al ₂ O ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi	56
Şekil 5.28. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	57
Şekil 5.29. Farklı hacimsel derişimlere sahip TiO ₂ -su nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi	58
Şekil 5.30. Farklı sıcaklık değerlerinde TiO ₂ -su nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değişimi.....	58
Şekil 5.31. Farklı hacimsel derişimlere sahip TiO ₂ -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değişimi	59
Şekil 5.32. Farklı sıcaklıklarda TiO ₂ -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değişimi	59
Şekil 5.33. %0.05 TiO ₂ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.34. %0.1 TiO ₂ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	61
Şekil 5.35. %0.15 TiO ₂ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	61
Şekil 5.36. %0.2 TiO ₂ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	62
Şekil 5.37. %0.25 TiO ₂ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	62
Şekil 5.38. TiO ₂ -su nanoakışkanının viskozite oranı.....	63
Şekil 5.39. Farklı derişimlere sahip TiO ₂ -su nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değişimi	63
Şekil 5.40. %0.05 TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	64
Şekil 5.41. %0.1 TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	65
Şekil 5.42. %0.15 TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	65

Şekil 5.43. %0.2 TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	66
Şekil 5.44. %0.25 TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	66
Şekil 5.45. 10°C’de TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi.....	67
Şekil 5.46. 15°C’de TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi.....	67
Şekil 5.47. 20°C’de TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi.....	68
Şekil 5.48. 25°C’de TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi.....	68
Şekil 5.49. 30°C’de TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi.....	69
Şekil 5.50. 35°C’de TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi.....	69
Şekil 5.51. TiO ₂ -su nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi	70
Şekil 5.52. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	71
Şekil 5.53. Farklı hacimsel derişimlere sahip CaCO ₃ -su nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi	72
Şekil 5.54. Farklı sıcaklık değerlerinde CaCO ₃ -su nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değişimi	72
Şekil 5.55. Farklı hacimsel derişimlere sahip CaCO ₃ -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değişimi	73
Şekil 5.56. Farklı sıcaklıklarda CaCO ₃ -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değişimi	73
Şekil 5.57. %0.05 CaCO ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	74
Şekil 5.58. %0.1 CaCO ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	75
Şekil 5.59. %0.15 CaCO ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	75
Şekil 5.60. %0.2 CaCO ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	76

Şekil 5.61. %0.25 CaCO ₃ -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	76
Şekil 5.62. CaCO ₃ -su nanoakışkanının viskozite oranı	77
Şekil 5.63. Farklı derişimlere sahip CaCO ₃ -su nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değişimi	77
Şekil 5.64. %0.05 CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	78
Şekil 5.65. %0.1 CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması ..	79
Şekil 5.66. %0.15 CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	79
Şekil 5.67. %0.2 CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	80
Şekil 5.68. %0.25 CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	80
Şekil 5.69. 10°C’de CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi.....	81
Şekil 5.70. 15°C’de CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi.....	81
Şekil 5.71. 20°C’de CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi.....	82
Şekil 5.72. 25°C’de CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi.....	82
Şekil 5.73. 30°C’de CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi.....	83
Şekil 5.74. 35°C’de CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının değişimi.....	83
Şekil 5.75. CaCO ₃ -su nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi	84
Şekil 6.1. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin modeller ile karşılaştırılması	86
Şekil 6.2. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi.....	86
Şekil 6.3. Farklı sıcaklık değerlerinde Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değişimi.....	87
Şekil 6.4. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değişimi	87
Şekil 6.5. Farklı sıcaklıklarda Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değişimi.....	88
Şekil 6.6. %0.05 Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	89
Şekil 6.7. %0.1 Al ₂ O ₃ -TiO ₂ /su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	89

Şekil 6.8. %0.15 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	90
Şekil 6.9. %0.2 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	90
Şekil 6.10. %0.25 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	91
Şekil 6.11. Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkanının viskozite oranı	91
Şekil 6.12. Farklı derişimlere sahip Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değişimi	92
Şekil 6.13. %0.05 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	93
Şekil 6.14. %0.1 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	93
Şekil 6.15. %0.15 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	94
Şekil 6.16. %0.2 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	94
Şekil 6.17. %0.25 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	95
Şekil 6.18. 10°C’de Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	95
Şekil 6.19. 15°C’de Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	96
Şekil 6.20. 20°C’de Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	96
Şekil 6.21. 25°C’de Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	97
Şekil 6.22. 30°C’de Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	97
Şekil 6.23. 35°C’de Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	98
Şekil 6.24. Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi	98
Şekil 6.25. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	100

Şekil 6.26. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değışimi.....	101
Şekil 6.27. Farklı sıcaklık değerlerinde $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değışimi	101
Şekil 6.28. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değışimi.....	102
Şekil 6.29. Farklı sıcaklıklarda $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değışimi	102
Şekil 6.30. %0.05 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	103
Şekil 6.31. %0.1 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	104
Şekil 6.32. %0.15 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	104
Şekil 6.33. %0.2 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	105
Şekil 6.34. %0.25 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerin literatür modelleri ile karşılaştırılması.....	105
Şekil 6.35. $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının viskozite oranı.....	106
Şekil 6.36. Farklı derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değışimi	106
Şekil 6.37. %0.05 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	107
Şekil 6.38. %0.1 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	108
Şekil 6.39. %0.15 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	108
Şekil 6.40. %0.2 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması.....	109
Şekil 6.41. %0.25 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	109
Şekil 6.42. 10°C’de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının değışimi	110
Şekil 6.43. 15°C’de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının değışimi	110
Şekil 6.44. 20°C’de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının değışimi	111

Şekil 6.45. 25°C’de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının değişimi	111
Şekil 6.46. 30°C’de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının değişimi	112
Şekil 6.47. 35°C’de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının değişimi	112
Şekil 6.48. $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi ...	113
Şekil 6.49. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	114
Şekil 6.50. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi	115
Şekil 6.51. Farklı sıcaklık değerlerinde $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değişimi	115
Şekil 6.52. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değişimi	116
Şekil 6.53. Farklı sıcaklıklarda $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değişimi	116
Şekil 6.54. %0.05 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	117
Şekil 6.55. %0.1 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	118
Şekil 6.56. %0.15 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	118
Şekil 6.57. %0.2 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	119
Şekil 6.58. %0.25 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması	119
Şekil 6.59. $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının viskozite oranı	120
Şekil 6.60. Farklı derişimlere sahip $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değişimi	120
Şekil 6.61. %0.05 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	121
Şekil 6.62. %0.1 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	122
Şekil 6.63. %0.15 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	122

Şekil 6.64. %0.2 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	123
Şekil 6.65. %0.25 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması	123
Şekil 6.66. 10°C 'de $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	124
Şekil 6.67. 15°C 'de $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	124
Şekil 6.68. 20°C 'de $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	125
Şekil 6.69. 25°C 'de $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	125
Şekil 6.70. 30°C 'de $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	126
Şekil 6.71. 35°C 'de $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi	126
Şekil 6.72. $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3$ /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi	127
Şekil 7.1. 10°C 'de nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması ...	128
Şekil 7.2. 20°C 'de nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması ...	129
Şekil 7.3. 30°C 'de nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması ...	129
Şekil 7.4. 10°C 'de nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması	130
Şekil 7.5. 20°C 'de nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması	131
Şekil 7.6. 30°C 'de nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması	131
Şekil 7.7. %0.05 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması	132
Şekil 7.8. %0.1 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması	133
Şekil 7.9. %0.15 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması	133
Şekil 7.10. %0.2 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması	134
Şekil 7.11. %0.25 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması	134

Şekil 7.12. 25°C’de farklı hacimsel derişimlerde nanoakışkanların yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması.....	135
Şekil 7.13. 10°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	136
Şekil 7.14. 20°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	137
Şekil 7.15. 30°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	137
Şekil 7.16. 10°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması.....	138
Şekil 7.17. 20°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması.....	139
Şekil 7.18. 30°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması.....	139
Şekil 7.19. %0.05 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması.....	140
Şekil 7.20. %0.1 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması.....	141
Şekil 7.21. %0.15 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması.....	141
Şekil 7.22. %0.2 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması.....	142
Şekil 7.23. %0.25 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması.....	142
Şekil 7.24. 25°C’de farklı hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması.....	143
Şekil 7.25. 15°C’de Al ₂ O ₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	144
Şekil 7.26. 15°C’de CaCO ₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	145
Şekil 7.27. 15°C’de TiO ₂ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	145
Şekil 7.28. 25°C’de Al ₂ O ₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	146

Şekil 7.29. 25°C’de CaCO ₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması	146
Şekil 7.30. 25°C’de TiO ₂ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması.....	147
Şekil 7.31. 25°C’de Al ₂ O ₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının viskozite değerlerinin karşılaştırılması	148
Şekil 7.32. 25°C’de TiO ₂ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının viskozite değerlerinin karşılaştırılması	148
Şekil 7.33. 25°C’de CaCO ₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının viskozite değerlerinin karşılaştırılması	149
Şekil 7.34. 25°C’de Al ₂ O ₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması	150
Şekil 7.35. 25°C’de CaCO ₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması	150
Şekil 7.36. 25°C’de TiO ₂ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması	151

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 4.1. Hassas terazi.....	29
Fotoğraf 4.2. Nanoakışkan hazırlanması	29
Fotoğraf 4.3. Manyetik karıştırıcı	30
Fotoğraf 4.4. Prob tip ultrasonikatör.....	30
Fotoğraf 4.5. KD2-pro cihazı.....	31
Fotoğraf 4.6. Termal iletkenlik deney düzeneği	32
Fotoğraf 4.7. Viskozimetre	33
Fotoğraf 4.8. Viskozite deney düzeneği	34
Fotoğraf 4.9. Özgül ısı deney düzeneği	35
Fotoğraf 4.10. Özgül ısı deney düzeneği	36
Fotoğraf 4.11. Termocouple ekran çıktısı.....	36
Fotoğraf 4.12. Yoğunluk ölçümü.....	37

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3

Q

CaCO_3

m

ϕ

cp

J/gK

ΔT

k

W/mK

TiO_2

μ

cP

ρ

Açıklama

Alüminyum oksit

Enerji

Kalsiyum karbonat-kalsit

Kütle

Nanoakışkanın hacimsel derişimi

Özgöl ısı

Özgöl ısı birimi

Sıcaklık farkı

Termal iletkenlik

Termal iletkenlik birimi

Titanyum dioksit

Viskozite

Viskozite birimi

Yoğunluk

Kısaltmalar

b

e

hn

n

np

SEM

FESEM

Açıklama

Baz Akışkan

Efektif

Hibrit Nanoakışkan

Nanoakışkan

Nanopartikül

Taramalı Elektron Mikroskobu

Transmisyon Elektron Mikroskobu

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Giriş

Son zamanlarda endüstride ve diğer birçok alanda yaygın bir şekilde kullanılan ısı sistemlerinde etkinliklerin artırılması amacıyla çeşitli ısı transferi iyileştirme yöntemleri önerilmektedir. Bu yöntemlere, pürüzlü yüzeylerin kullanılması, ısı transferinin gerçekleştiği yüzeylere kanatçıkların eklenmesi, akışkan titreşimi, yüzey titreşimi kullanılması örnek olarak verilebilir (Şahin vd., 2016; Wang vd., 2015). Kullanılan tekniklerden bazıları ısı sistemlerinin boyutlarının büyümesine ve dolayısıyla sistem maliyetinin artmasına sebep olmakta, bazıları ise özel uygulamalar olduklarından belirli koşullarda kullanılmaları mümkün olmaktadır. Ayrıca ısı transferi işlemlerinde kullanılan geleneksel akışkanların (su, antifriz, motor yağı vs.) yetersiz termofiziksel özellikleri de bazı durumlarda ısı transferi etkinliğinin istenilen düzeylerde olmamasında etkili olmaktadır (Choi ve Eastman, 1995; Elçioğlu vd., 2014; Şahin vd., 2016). Kullanılan akışkanın ısı iletkenliği ısı transferinde en önemli parametrelerden biridir. Isı transferi uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılan su, motor yağı ve etilen glikol gibi akışkanlar, katılara ve özellikle metallere göre düşük ısı iletkenliklerine sahiptirler. Bu noktadan hareketle, ısı transferinin daha etkin gerçekleştirilebilmesi amacıyla ısı transferi sistemlerinde sıklıkla kullanılan saf akışkanlara, termofiziksel özellikler bakımından daha üstün özelliklere sahip metal ya da metal olmayan parçacıkların eklenmesi düşünülmüştür. Isı transferi akışkanlarına katı parçacıkların eklenmesi aslında 100 yıldan daha fazla geçmişe sahip olan bir yöntemdir. Bu amaçla yapılan çalışmalarda mikrometre ya da daha büyük boyutta parçacıkların saf akışkanlara eklenmesi yöntemi denenmiş, ancak eklenen mikro parçacıkların zayıf stabilitesi ve tortulaşması, akışın gerçekleştiği kanalların aşınması, tıkanması ve ayrıca ısı transfer sistemlerinde artan pompalama gücü bu mikro sıvıların uygulanmasını engellemiştir (Sezer vd., 2019). Nanoteknoloji alanında ortaya çıkan gelişmeler, katı parçacıkların 100 nm'den daha küçük boyutlarda üretilibilmelerini mümkün kılmıştır. Buradan hareketle yukarıda ifade edilen problemlerin daha aza indirilmesi amacıyla nanoakışkan kavramı ortaya çıkarak nanoparçacıkların baz akışkanlara (su gibi) eklenmesi gündeme gelmiş ve bu konuda birçok çalışma

yapılmıştır (Elçioğlu vd., 2014). Nanoakışkan kavramı, ilk kez Stephen Choi ve arkadaşları tarafından tanımlanmıştır (Xuan ve Li, 2003). Nanoakışkanlar, nano boyutlu parçacıkların su, etilen glikol ya da motor yağı gibi geleneksel ısı transferi akışkanları içerisinde eklenmesiyle oluşturulmuş, yaklaşık 100 nm'den daha küçük boyutlarda metalik parçacıklar içeren, yüksek ısıl iletkenliğe sahip yeni tür akışkanlar olarak tanımlanmıştır (Özerinç vd., 2010). Nanoakışkanların oluşturulmasında genel olarak yüksek ısıl iletkenliğe sahip Cu, Fe, Al, Ag gibi elementler ya da CuO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂ gibi oksit bileşikler, baz akışkan olarak ise su, etilen glikol, motor yağı vb. akışkanlar kullanılmaktadır (Haddad vd., 2014). Günümüzde yeni nano malzemelerin ısı transferi sistemlerinde nanoakışkan olarak kullanılması aktif bir araştırma alanı durumundadır. Nanoakışkanların ısı transferi uygulamalarında ortaya koyduğu pozitif katkılar göz önünde bulundurularak, son zamanlarda temel ısı transferi akışkanı içerisine iki ya da daha fazla, nanometre boyutta, farklı partiküllerin eklenmesi ile hibrit nanoakışkan kavramı tanımlanmış ve böylece bu yeni nesil ısı transferi akışkanları ile sinerjetik etki ortaya çıkarak mono nanoakışkanlara kıyasla, termofiziksel, hidrodinamik ve ısı transfer özelliklerinde iyileştirmeler sağlanması amaçlanmıştır (Moldoveanu vd., 2018). Hibrit nanoakışkan uygulamalarında uygun farklı nanopartiküller kombinasyonu hibritlenerek, düşük partikül konsantrasyonlarında bile istenilen ısı transfer etkisini elde edebilmesi hedeflenmektedir. Hibrit nanoakışkanlar yeni jenerasyon sıvılar olduğundan, sentez ve iyileştirmeler üzerinde çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, Al₂O₃, TiO₂, CaCO₃ nanopartiküllerini baz akışkan olarak seçilmiş saf su içerisine dağıtarak %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişime sahip mono ve hibrit nanoakışkanlar elde edilmiştir. Nanoakışkanların kararlılığını artırmak için yüzey aktif madde olarak Arabic gum katkı maddesi kullanılmıştır. Hazırlanan mono ve hibrit nanoakışkanların termal iletkenlik, viskozite ve özgül ısı gibi termofiziksel özellikleri deneysel olarak incelenmiştir. Elde edilen deneysel veriler literatürde yer alan termofiziksel özelliklerin modellemeleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar yardımı ile ısı transferi için en uygun termofiziksel özellikler gösteren nanoakışkanlar belirlenmiştir. Çalışma ışığında incelenen nanoakışkanların ve hibrit nanoakışkanların pek çok ısı transferi uygulamalarında kullanılması durumunda yüksek ısıl performans edilebileceği sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM II

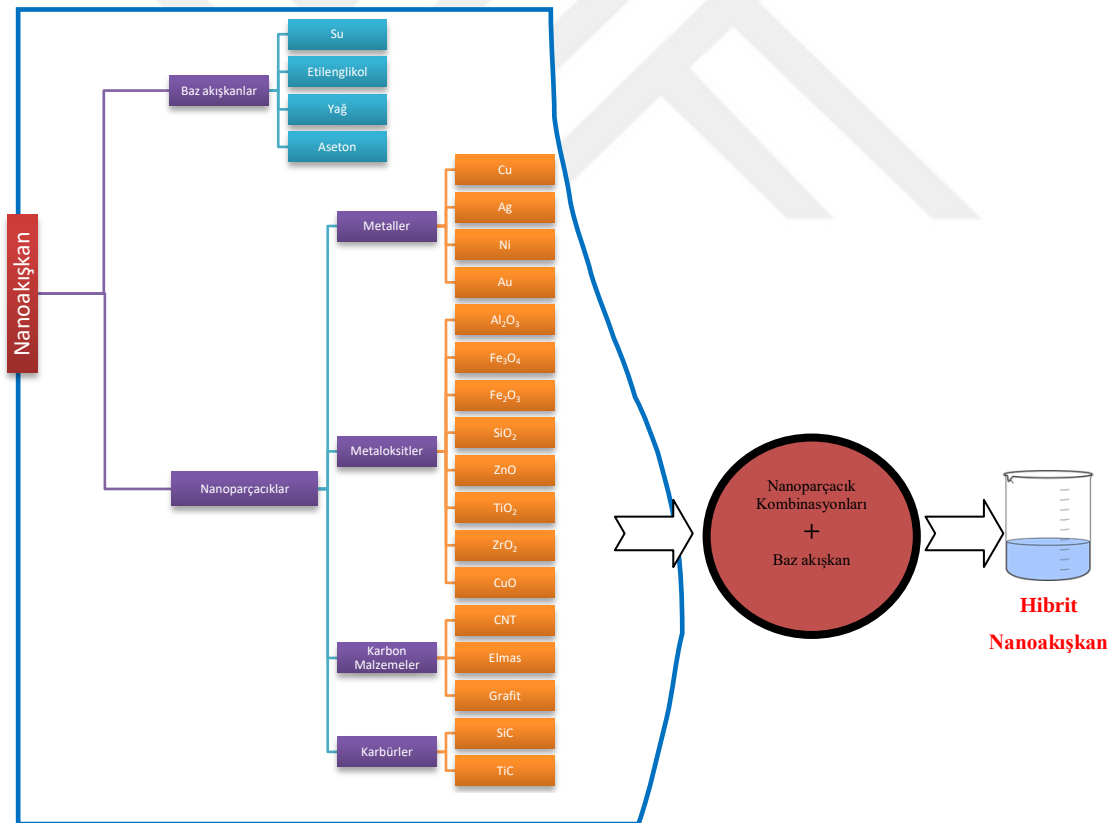
NANOAKIŞKAN VE HİBRİT NANOAKIŞKAN

2.1 Nanoakışkanlar

Teknolojik gelişmeler, imalat, mikroelektronik, taşıma ve termik santraller gibi ısı üretimi oluşturan ve oluşan bu ısıyı etkili soğutucularla uzaklaştırmayı gerektiren birçok uygulama alanı ortaya çıkarmıştır. Isıl sistemlerde oluşan ısının çekilmesi için aktif ve pasif metotlar olarak isimlendirilen teknikler kullanılmaktadır. Su, etilen glikol, propilen glikol ve yağlar gibi konvansiyonel soğutucular ısıl sistemlerin verimlerine etki eden düşük ısıl iletkenliğe sahiptirler. Bu durum yüksek ısıl iletkenliğe sahip yeni soğutucuların geliştirilmesini ortaya çıkarmıştır. Konvansiyonel soğutucuların ısı iletkenliğini artırmak için düşünülen olası yollardan biri, içlerine nano boyutlu parçacıkların eklenmesidir. Nano boyutlu parçacıkların (yaklaşık 100 nm'den daha küçük boyutlarda ısıl iletkenliği yüksek metal ya da metal olmayan parçacıklar) ve soğutucu akışkanların bu karışımı, ısı transferi akışkanı kullanan sistemlerin ısıl performansının artmasına neden olan daha yüksek ısı iletkenliği nedeniyle daha fazla ısı yayan nanoakışkan olarak tanımlanmaktadır (Özerinç vd., 2010; Sajid ve Ali, 2018). Nanoakışkan terimi ilk olarak 1995'te Amerika Argonne National Laboratuvarı'nda Choi tarafından kullanılmıştır (Xuan ve Li, 2003). Milimetre veya mikrometre boyutundaki partiküllerle oluşturulan süspansiyonlara kıyasla nanoakışkanlar, daha iyi stabilite, reolojik özellikler ve çok daha yüksek termal iletkenlikler gösterirler (Soltani ve Akbari, 2016). Nanoakışkanların ısı transferi sistemlerin uygulanmasında karşılaşılan problemler, nanoparçacıkların üretilmesindeki zorluklar nedeniyle yüksek maliyet, stabilite ve topaklaşma, baz akışkana kıyasla daha yüksek viskoziteye sahip bir nanoakışkanın kullanılması nedeniyle basınç düşüşünün artması ve sonuç olarak pompalama için gerekli gücün artışı, nanoakışkan içinde nanoparçacıkların bulunması, ısıl cihazların uzun sürelerde korozyona ve aşınmaya maruz kalması şeklinde sıralanabilir (Khanfer ve Vafai, 2018). Nanoakışkan hazırlamada sıklıkla kullanılan nanopartiküller, metaller (Cu, Ag, Ni, Au), metal oksitler (Al_2O_3 , CuO, MgO, ZnO, SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2), metal karbür (SiC), metal nitrür (AlN) ve karbon malzemeler (CNT, MWCNT'ler, elmas, grafit) olarak gruplandırılabilirler (Sajid ve Ali, 2018).

2.2 Hibrit Nanoakışkanlar

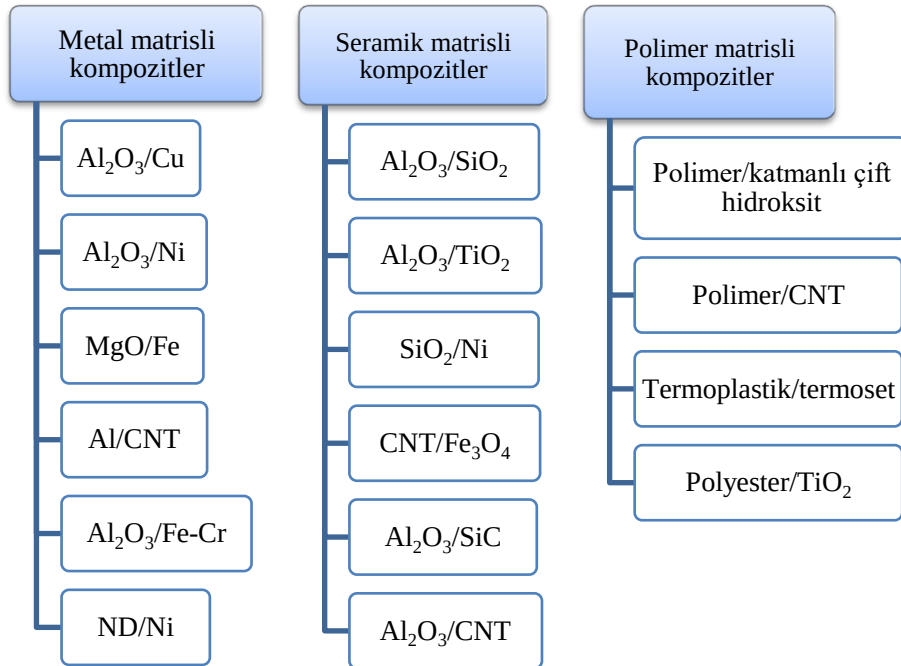
Isı transferi uygulamalarında nanoakışkan kullanılmasının sistem performansı üzerine olumlu etkileri nedeniyle araştırmacılar, baz akışkan içerisine farklı nanopartikül kombinasyonlarını kullanmayı denemişlerdir (Babar ve Ali, 2019). Mono nanoparçacıkların termal iletkenliğinde daha fazla iyileştirme, iki veya daha fazla farklı nanopartikülün hibridizasyonu ile elde edilebilmekte ve hazırlanan bu yeni bileşik nanopartiküller, hibrit nanopartiküller olarak bilinmektedir. Hibrit nanoparçacıkların sentezlenmesi için çeşitli mekanik ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Hibrit nanoakışkanlar, mono nano-akışkanların bir uzantısıdır ve hibrit nanoparçacıkların baz sıvı içinde dağılmasıyla elde edilir (Sajid ve Ali, 2018). Şekil 2.1’de yaygın olarak kullanılan nanopartiküller ve baz sıvı ile nanoakışkanlar ve hibrit nanoakışkanlar arasındaki farklılaşma verilmiştir (Chamsa-ard vd., 2017).



Şekil 2.1. Yaygın olarak kullanılan nanopartiküller ve baz sıvı ile nanoakışkanlar ve hibrit nanoakışkanlar eldesi

2.3 Nanoakışkanlarda Kullanılan Nanopartikül Tipleri

Nanopartikül türlerine göre farklı kombinasyonlar ile farklı nanoakışkanlar üretilmektedir. Nanopartiküller seramik, metalik, metalik olmayan, karbon tabanlı özelliklerde olabilir. Üretimi kolay ve maliyet açısından uygun olan partiküller seramik nanopartiküllerdir. Oksitli ve oksitsiz partikül olarak ikiye ayrılan seramik nanopartiküller çalışmalarda yaygın kullanılmaktadır. Seramik tip nanopartiküllere örnek olarak Al_2O_3 , TiO_2 , CuO , Fe_2O_3 gibi oksitler örnek olarak verilebilir (Das vd., 2017, Chougule ve Sahu, 2015; Charab vd., 2017; Das vd., 2018; Akilu vd., 2017; Ebrahimi ve Saghravani, 2017; Wongcharee vd., 2017; Khedkar vd., 2013). Metal nanopartiküller, seramik tip nanopartiküllerden daha iyi termal iletkenlik özelliklerine sahiptirler. Çalışmalarda genellikle bakır (Wang vd., 2014; Moghadassi vd., 2015), gümüş (Koca vd., 2017; Esfahani vd., 2018) gibi metalik nanopartiküller kullanılmıştır. Nanopartikül tipleri içerisinde en iyi termofiziksel özelliklere sahip olan karbon tabanlı nanopartiküller çalışmalarda yüksek verim elde etmiştir. Tek duvarlı (SWCNT) ve çok duvarlı karbon nanotüpler (MWCNT) mevcuttur. Örneğin, SWCNT (Esfe vd., 2019; Rostamian vd., 2017), MWCNT (Esfe vd., 2018; Qu vd., 2019) çalışmalarda kullanılmıştır.



Şekil 2.2. Literatürde yer alan hibrit kompozitler (Babar ve Ali, 2019)

2.4 Nanoakışkan ve Hibrit Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanları elde etmek için 2 temel yöntem vardır. Bunlar tek aşamalı yöntem (single step method) ve iki aşamalı yöntem (two step method) olarak sınıflandırılmaktadır (Ho vd., 2019)

2.4.1 Tek aşamalı yöntem

Tek aşamalı yöntem, nanoakışkanların sentezlenmesi ile fiziksel buhar biriktirme veya sıvı kimyasal yöntem ile nanoparçacıkların hazırlanması işlemini birleştiren bir süreçte gerçekleşir. Tek aşamalı yöntem parçacıkların elde edilmesi ve baz akışkana katılmasından meydana gelmektedir. Bu yöntemin avantajı kurutma, depolama, taşıma işlemleri bulunmadığından nanopartiküllerin bir araya gelerek topaklaşması önlenmekte ve buda akışkan kararlılığını artırmaktadır. Diğer taraftan, tek aşamalı yöntemin maliyeti oldukça yüksek olup, bu yöntemde stabilite problemleri nedeniyle çökeltiler meydana gelmektedir (Li vd., 2009).

2.4.2 İki aşamalı yöntem

İki aşamalı yöntemde, kullanılan nanopartiküller, nano lifler veya nanotüpler, ilk olarak inert gaz yoğunlaşması, kimyasal buhar biriktirme, mekanik alaşımlama veya diğer uygun tekniklerle kuru bir toz halinde üretilir ve daha sonra ikinci işlem aşamasında elde edilen nanopartiküller bir akışkan içine dağıtılır. Genellikle ultrasonik titreşim veya yüksek hızlı karıştırma cihazı, baz akışkanıyla nanopartikülleri karıştırmak için kullanılır. Ultrasonikasyon karıştırma cihazının kullanılması parçacıkların topaklaşmasını azaltmak için gereklidir (Hamid vd., 2015; Keyvani vd., 2018; Samylingam vd., 2018; Li vd., 2009).

2.5 Nanoakışkan Kararlılığı ve Kararlılık Artırma Yöntemleri

Nanoakışkanların kararlılığı, nanoakışkan içerisindeki katı partiküllerin çökelmeden veya topaklanma olmadan en uzun süre dayanabilme kabiliyetine bağlıdır. Katı partiküllerin çökmesi veya topaklanması ısı sistemlerinde kullanılan ısı değiştiricilerde kanalları tıkamaktadır. Bu dezavantajın önüne geçilebilmesi için nanoakışkan kararlılığını artırmaya yönelik çalışmalar önem kazanmış olup kararlılığı etkileyen faktörler üzerinde analizler yapılmalıdır. Nanoakışkan göreceli kararlılığını kontrol etmek için kullanılan tipik yöntemler sedimantasyon fotoğrafları, zeta potansiyeli, santrifüj, UV-Vis spektrofotometre, SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu), TEM (Transmisyon Elektron Mikroskobu) şeklindedir. Literatür araştırmasından, topaklanmayı en aza indirmek için geliştirilmiş farklı etkili stratejiler olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışmalar arasında kullanılan en yaygın yöntemler elektrostatik stabilizasyonun pH değeri ile kontrol edilmesi, ultrasonik titreşim ve yüzey aktif madde eklenmesi şeklindedir (Leong vd., 2017).

2.5.1 Nanoakışkan pH değerinin değiştirilmesi

Nanoakışkanların pH değerinin değiştirilmesi ile nanopartiküllerin yüzeyini değiştir ve dağılık nanopartiküllerin stabilitesi iyileşebilir (Choudhary vd., 2017). Nanoakışkanın daha asidik ya da daha bazik bir hale getirilmesi ile nanoakışkan kararlılığında kayda değer iyileştirmeler elde edilebildiği görülmüştür. Örneğin, Anoop vd. çalışmalarında %0.2, %0.5 ve %1 hacimsel derişimlerde SiO₂-su nanoakışkanını mikrokannallarda kullanmak üzere hazırlamışlardır. Numunelere ekledikleri nitrik asit ile pH değerini 4.5 seviyesinde tutmuşlar ve zaman içerisinde nanoakışkanların stabilitesinde iyileşme olduğunu gözlemlemişlerdir (Anoop vd., 2012). Abareshi vd. çalışmalarında su bazlı Fe₃O₄ nanoakışkanlarını %0.025-3 hacimsel derişim aralığında hazırlamışlar ve dağıtıcı madde olarak tetrametil amonyum hidroksit kullanmışlardır. Numunelerin pH değerleri başlangıçta ± 1.5 iken, pH derişiminden sonra 9.5 olmuştur. Zeta potansiyel ölçümü sonucunda nanopartiküllerin su akışkanı içerisinde iyi dağılıma sahip olduğu ve sonucuna varmışlardır (Abareshi vd., 2010). Nanoakışkanların pH değerlerindeki derişim ile nanoakışkanların stabilitesinde kayda değer iyileştirmeler sağlanmaktadır. Çizelge 2.1’de su bazlı nanoakışkanlar için pH değerinin derişimi ve stabilite süreleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Literatürde yer alan su bazlı nanoakışkanların pH değerleri ve stabilitesi

Kaynak	Nanopartikül	Surfaktant	pH	Metot	Stabil süre
(Qu vd., 2010)	Al ₂ O ₃	-	4.9	SEM	3 gün
(Anoop vd., 2009)	Al ₂ O ₃	-	5, 5.5, 6, 6.5	TEM	Birkaç hafta
(Yousefi vd., 2012)	MWCNTs	Triton X-100	7.4	TEM	10 gün
(Ding vd., 2006)	MWCNTs	Gum Arabic	2,6,10,5,11	SEM	1 ay
(Qu ve Wu, 2011)	SiO ₂ , Al ₂ O ₃	-	SiO ₂ ; 9.7 Al ₂ O ₃ ; 4.9	TEM	Birkaç gün

2.5.2 Nanoakışkan içerisine yüzey katkı madde (surfaktant) eklenmesi

Yüzey aktif madde, nanopartiküller ve baz akışkanlar arasında bir boşluk yaratan maddedir. Yüzey katkı maddeleri dağıtıcı olarak bilinmektedir ve nanopartiküllerin dağılıbilirliğini artırmaktadır. Yüzey katkı maddelerinin eklenmesi ile nanoakışkan topaklanmasının önüne geçilebilir ve dolaylı olarak nanoakışkan kararlılığını artırılabilir (Ali vd., 2018). Çalışmalarda en çok kullanılan yüzey aktif maddeler Sodyum Dodesil Benzen Sülfonat (SDBS) Sodyum Dodesil Sülfat (SDS), Setil Trimetil Amonyum Bromür (CTAB), Dodecyle Trimetil Amonyum Bromür (DTAB), Hexa Decetyl Trimetil Amonyumromromit (HCTAB), Salt ve OlicAcid, Sodyum Oktonat (SOCT), Poly Vinyl Pyrolidone (PVP), Gum Arabic ve Octylsilane'dir. Nanoakışkanların kararlılığını artırmak için, nanopartiküller ve baz akışkan kombinasyonu ile birlikte uygun yüzey aktif madde seçimi yapılmalıdır. Çizelge 2.2'de bazı nanoakışkanlar ve kullanılan surfaktantlar verilmiştir.

Çizelge 2.2. Literatürde yer alan bazı nanoakışkanlar ve surfaktantlar

Araştırmacı	Baz akışkan	Nanopartikül	Surfaktant
(Shanker vd., 2012)	Gliserol-su (70:30)	Al ₂ O ₃	SDBS
(Agarwal vd., 2015)	Gaz yağı	Al ₂ O ₃	Oleik asit
(Senthilraja vd., 2015)	Su	Al ₂ O ₃ , CuO	SDBS
(Abbasi vd., 2013)	Su	MWCNTs, Al ₂ O ₃	Gum Arabic

2.5.3 Ultrasonikasyon süresi

Birçok araştırmacı nanoakışkanların hazırlanmasında ve stabilizasyonunun sağlanmasında ultrasonikasyon yöntemini kullanmıştır. Yapılan çalışmalarda nanopartiküllerin baz akışkan içerisinde homojen dağılımı ve stabilizasyonu bakımından prob tipi sonikatör banyo tip sonikatörden daha iyi sonuç vermiştir (Dey vd., 2017). Optimize edilmiş sonikasyon süresi, nanopartiküllerin büyüklüğüne, tipine ve hacimsel derişimine bağlıdır. Çizelge 2.3'te literatür çalışmalarında nanoakışkanların tabi olduğu ultrasonikasyon süreleri verilmiştir.



Şekil 2.3. Prob ve banyo tip ultrasonikatörler (Ali vd., 2018)

Çizelge 2.3. Literatürde yer alan nanoakışkanların sonikasyon ve stabilizasyon süresi
(Sajid ve Ali, 2018)

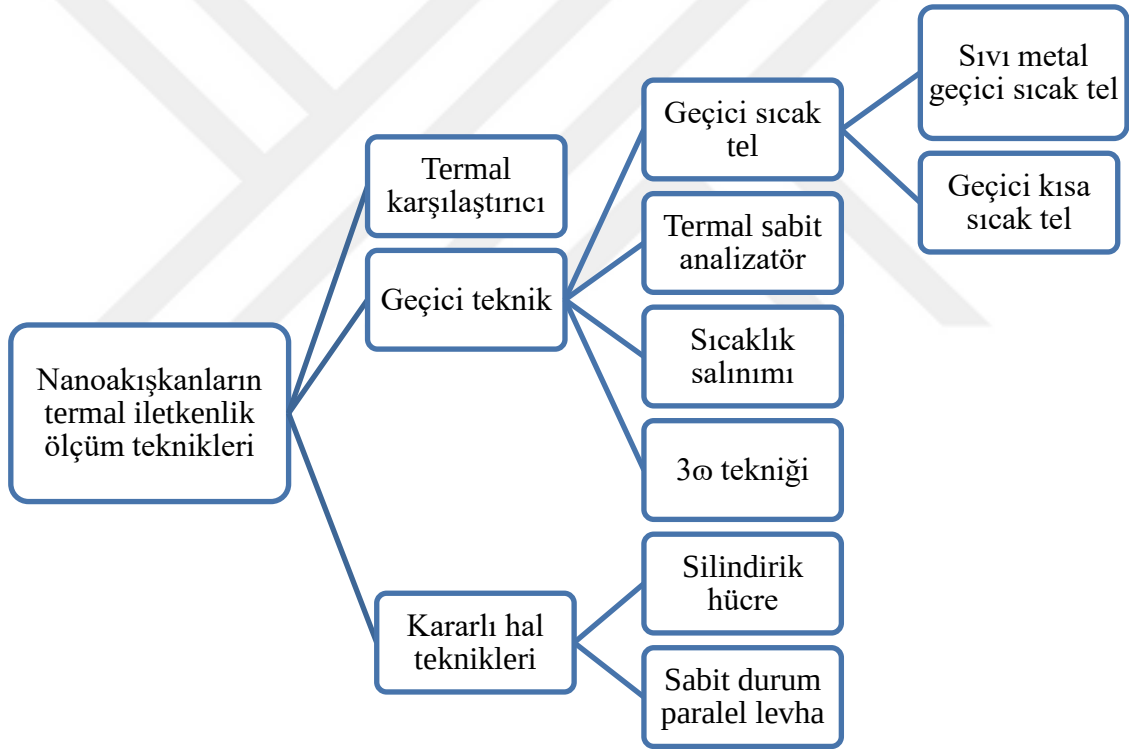
Araştırmacı	Nanoakışkan	Nanopartikül boyutu	Sonikasyon süresi	Stabilizasyon süresi
(Nine vd., 2018)	TiO ₂ -SiO ₂ /su-EG(6:4)	TiO ₂ : 50nm SiO ₂ : 22 nm	2 saat	1 ay
(Esfahani vd., 2018)	ZnO-TiO ₂ /EG	ZnO: 35 nm TiO ₂ : 30 nm	6-7 saat	-
(Sundar vd., 2014)	MWCNTs-Fe ₃ O ₄ /su	MWCNTs: 10 nm Fe ₃ O ₄ : 13 nm	2 saat	2 ay
(Parsian ve Akbari, 2018)	Al ₂ O ₃ -Cu/EG	Al ₂ O ₃ : 5 nm Cu: 70 nm	7 saat	3 gün
(Nine vd., 2012)	Al ₂ O ₃ -MWCNTs/su	MWCNTs: 20 nm Al ₂ O ₃ : 30 nm	1 saat	5 gün
(Asadi vd., 2018)	Al ₂ O ₃ -MWCNTs/termal yağ	Al ₂ O ₃ : 20 nm MWCNTs: 20 nm	1 saat	7 gün
(Yarmand vd., 2015)	Ag-grafen/su	Graphene: 2µm	-	2 ay

2.6 Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Nanoakışkanlar ısı sistemlerinde kullanıldıklarında genel nanoakışkanlardan farklı termofiziksel özellikler göstermektedir. Nanoakışkanlar için en önemli termofiziksel özellikler ısı iletkenlik, yoğunluk, viskozite ve özgül ısıdır. Hazırlanan nanoakışkanların ısı sistem için uygun olabilmesi için sistemde kullanılmadan önce termofiziksel özellikleri belirlenmesi gerekmektedir.

2.6.1 Termal iletkenlik

Nanoakışkanlar ve geleneksel akışkanlar ısı transfer özellikleri bakımından kıyaslanıldığında en önemli avantajları termal iletkenlik değerlerinin yüksek olmasıdır. Şekil 2.4'te nanoakışkanlar için literatürde yer alan farklı termal iletkenlik ölçüm teknikleri verilmiştir. Nanoakışkanların termal iletkenlik özelliğini inceleyen araştırmacılar doğru sonuçlar almak için çoğunlukla geçici sıcak tel yöntemini kullanmışlardır. Geçici sıcak tel yöntemi, ilk 1931 yılında Horrocks ve McLaughlin tarafından kullanılmıştır (Paul vd., 2010). Bu çalışmada nanoakışkanların termal iletkenlik özelliğini belirlemek için geçici sıcak tel yöntemine dayanan KD2 Pro cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.4. Nanoakışkanlar için farklı termal iletkenlik ölçüm teknikleri (Paul vd., 2010)

Literatürde araştırmacılar nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerini tahmin etmek için birçok korelasyon üretmiştir. Maxwell modeli termal iletkenlik tahmini için öncü bir metottur. Çizelge 2.4-2.5'te nanoakışkanlar ve hibrit nanoakışkanlar için literatürde yer alan termal iletkenlik modelleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Nanoakışkanlar için termal iletkenlik modelleri (Kumar vd., 2015)

Model	Formülasyon	Açıklama
Maxwell	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{k_{np} + 2k_b + 2\phi(k_{np} - k_b)}{k_{np} + 2k_b - \phi(k_{np} - k_b)}$	Homojen dağılımlı küresel partiküller
Hamilton-Crosser	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{k_{np} + (n-1)k_b - (n-1)\phi(k_b - k_{np})}{k_{np} + (n-1)k_b + \phi(k_b - k_{np})}$	Küresel ve silindirik partiküller, n=3 alınır.
Yu-Choi	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{k_{np} + 2k_b + 2(k_{np} - k_b)(1+\beta)^3\phi}{k_{np} + 2k_b - (k_{np} - k_b)(1+\beta)^3\phi}$	β , katman kalınlığını n partikül radiusuna oranıdır ve 0.1 alınır.
Bruggeman	$k_e = \frac{1}{4} \left[(3\phi - 1)k_{np} + (2 - 3\phi)k_b \right] + \frac{k_b}{4} \sqrt{\Delta}$ $\Delta = \left[(3\phi - 1)^2 \left(k_{np}/k_b \right)^2 + (2 - 3\phi)^2 + 2(2 + 9\phi - 9\phi^2) \left(k_{np}/k_b \right) \right]$	Homojen küresel partiküller
Wasp	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{k_{np} + 2k_b - 2(k_b - k_{np})\phi}{k_{np} + 2k_b + (k_b - k_{np})\phi}$	Katı-sıvı karışımlar

Çizelge 2.5. Hibrit nanoakışkanlar için termal iletkenlik modelleri (Babu vd., 2017)

Model	Formülasyon
Maxwell	$k_{hn} = k_b \left[\frac{\left(\frac{\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}}{\phi_{hnf}} + 2k_b + 2(\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}) - 2\phi k_b \right)}{\left(\frac{\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}}{\phi_{hn}} + 2k_b - 2(\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}) + \phi k_b \right)} \right]$
Hamilton-Crosser	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{\left(\frac{\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}}{\phi_{hn}} + 2k_b - 2(\phi_{np1}k_{np1} - \phi_{np2}k_{np2}) \phi_{hn} \right)}{\left(\frac{\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}}{\phi_{hn}} + 2k_b + 2(\phi_{np1}k_{np1} - \phi_{np2}k_{np2}) \phi_{hn} \right)}$
Yu-Choi	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{\left(\frac{\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}}{\phi_{hn}} + 2k_b + 2(\phi_{np1}k_{np1} - \phi_{np2}k_{np2})(1+\beta)^3 \phi_{hn} \right)}{\left(\frac{\phi_{np1}k_{np1} + \phi_{np2}k_{np2}}{\phi_{hn}} + 2k_b - 2(\phi_{np1}k_{np1} - \phi_{np2}k_{np2})(1+\beta)^3 \phi_{hn} \right)}$

2.6.2 Yoğunluk

Yoğunluk, birim hacimdeki madde miktarıdır ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Nanoakışkanlar ve hibrit nanoakışkanlar için yoğunluk modelleri Çizelge 2.6’da verilmiştir. Burada, ρ_n nanoakışkanın yoğunluğu (kg/m^3), ρ_b baz akışkanın yoğunluğu (kg/m^3), ϕ nanoakışkanların hacimsel derişimi (%), w_{np} nanopartiküllerin kütlesi (g) ve h_n ve b ise sırasıyla hibrit ve baz akışkanın yoğunluk değerleridir.

Çizelge 2.6. Nanoakışkanlar için yoğunluk modelleri (Sundar vd., 2017)

Formülasyon
$\rho_n = \phi \rho_{np} + (1 - \phi) \rho_b$
$\rho_{hn} = \phi_{np1} \rho_{np1} + \phi_{np2} \rho_{np2} + (1 - \phi_{np1} - \phi_{np2}) \rho_b$
$\rho_{np1+np2} = \frac{(\rho_{np1} \times w_{np1}) + (\rho_{np2} \times w_{np2})}{w_{np1} + w_{np2}}$ $\rho_{hn} = (1 - \phi) \rho_b + (\phi \times \rho_{np1+np2})$

2.6.3 Viskozite

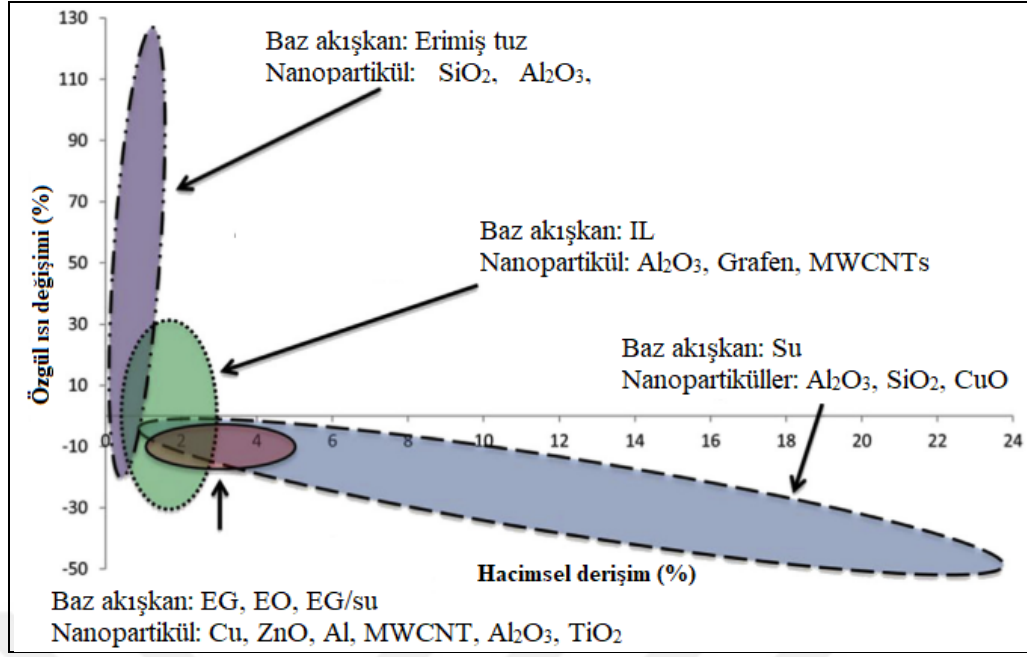
Nanoakışkan viskozitesi, süspansiyonun akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Ayrıca kayma gerilmesinin kayma oranına oranı olarak da tanımlanabilir. Viskozitedeki artış yüksek basınç kayıplarına neden olur ve dolayısıyla pompalama gücünü yükseltir. Etkili viskoziteyi etkileyen ana parametreler baz akışkan viskozitesi, nanopartiküllerin konsantrasyonu, partikül şekli, partikül çapı, partikül tipi, sıcaklık, basınç, pH değeri ve kesme hızıdır (Ali vd., 2018; Turgut vd., 2016). Literatürde yer alan nanoakışkan viskozite modelleri Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Nanoakışkanlar için viskozite modelleri (Senthilkumar, 2012)

Model	Formülasyon
Einstein	$\frac{\mu_{\text{nanoakışkan}}}{\mu_{\text{bazakışkan}}} = 1 + 2.5\phi$
Maiga	$\mu_{\text{nanoakışkan}} = \mu_{\text{bazakışkan}}(1 + 7.3\phi + 123\phi^2)$
Buongiorno	$\mu_{\text{nanoakışkan}} = \mu_{\text{bazakışkan}}(1 + 39.11\phi + 5333.9\phi^2)$

2.6.4 Özgül ısı

Özgül ısı, saf bir maddenin birim kütlesinin sıcaklığını 1°C artırmak için gerekli ısı miktarıdır ve bir nanoakışkanın ısı transfer hızını etkileyen çok önemli bir özelliktir. Özgül ısı, enerji sistemlerindeki kilit bir termofiziksel özelliktir ve doğrudan ısı depolama ve transfer ile bağlantılıdır (Hentschke, 2016). Şekil 2.5’te literatürde yer alan nanoakışkanların hacimsel derişime bağlı özgül ısı değişimi verilmiştir. Örneğin, su bazlı Al₂O₃, SiO₂, CuO nanoakışkanlarının hacimsel derişimi arttıkça özgül ısıdaki değişim -%50’e kadar düşmektedir. Diğer yandan, erimiş tuz bazlı Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, MWCNTs nanoakışkanları düşük hacimsel derişimlerde minimum -%20 maksimum %130 özgül ısı değişimi gerçekleşmektedir. Nanopartikül türü ve hacimsel derişime göre özgül ısıda değişim olmaktadır. Nanoakışkan ve hibrit nanoakışkanlar için özgül ısı modelleri Çizelge 2.8 ve Çizelge 2.9’da verilmiştir.



Şekil 2.5. Literatürde yer alan nanoakışkanların özgül ısı değışiminin hacimsel derişim ile karşılaştırılması (Riazi vd., 2016)

Çizelge 2.8. Nanoakışkanlar için özgül ısı modelleri (Gupta, vd., 2017)

Model	Formülasyon
Xuan and Roetzel	$c_{pnanoakışkan} = \frac{(1-\phi)(\rho c_p)_{bazakışkan} + \phi(\rho c_p)_{nanopartikül}}{(1-\phi)\rho_{bazakışkan} + \phi\rho_{nanopartikül}}$
Pak and Cho	$c_{pnanoakışkan} = \phi(c_p)_{partikül} + (1-\phi)(c_p)_{bazakışkan}$

Çizelge 2.9. Hibrit nanoakışkanlar için özgül ısı modelleri (Huminic, 2018)

Model	Formülasyon
Xuan and Roetzel	$c_{phn} = (1-\phi)c_{pbaz} + \left(\frac{\phi_{np1}}{2} \times c_{pnp1} + \frac{\phi_{np2}}{2} \times c_{pnp2}\right)$
Pak and Cho	$c_{phn} = \phi_{np1}c_{p,np1} + \phi_{np2}c_{p,np2} + (1-\phi_{np1}-\phi_{np2})c_{baz} / \rho_{hn}$

BÖLÜM III

LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

3.1 Nanoakışkanlar için Literatür Araştırması

Literatürde, nanoakışkan çalışmalarına bakıldığında nanoakışkan eldesinin ilk Argonne National Laboratory’de 1995 yılında Choi tarafından gerçekleştiği görülmektedir (Xuan ve Li, 2003). Süspansiyon hazırlanmasına yönelik çalışmalar ise 2000 yılında Xuan ve Li tarafından önerilmiştir (Şahin vd., 2016).

Wang ve Mujumdar çalışmalarında grafen nano plateleri üç farklı baz akışkan (etilen glikol, deiyonize su ve etilen glikol/deiyonize) içerisinde dağıtarak nanoakışkanlar hazırlamışlardır. Hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerini -20°C ve 50°C sıcaklık aralığında ölçmüşlerdir. Maksimum ve minimum termal iletkenlik artışı sırası ile grafen nanoplate/etilen glikol-deiyonize su nanoakışkanında %18 ve grafen nanoplate/etilen glikol nanoakışkanında %4.6’dır (Gao vd., 2018).

Bellos ve Tzivanidis araştırmalarında çeşitli çalışma koşulları ve karışım oranları için $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Syltherm800}$ ve $\text{CuO}/\text{Syltherm800}$ nanoakışkanlarının parabolik oluk kolektöründe kullanımını incelemişlerdir. EES’de geliştirdikleri termal modeli deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır. $\text{CuO}/\text{Syltherm800}$ nanoakışkanı kullanımının %1.26 ısı verimlilik artışına ve $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Syltherm800}$ nanoakışkanı kullanımının ise %1.13 ısı verimlilik artışına neden olduğunu kanıtlamışlardır (Bellos ve Tzivanidis, 2017).

Agarwal vd. Al_2O_3 nanopartikülünü ve baz akışkan olarak saf su ve etilen glikol kullanarak iki adımlı metot ile nanoakışkanlar hazırlamışlardır. Deneysel çalışmalarında, sıcaklık aralığını $10-70^{\circ}\text{C}$ ve hacimsel derişim aralığını %0-%2 aralığında seçerek termal iletkenlik ölçümü yapmışlar ve etilen glikol bazlı nanoakışkanlar için %31, saf su bazlı nanoakışkanlar için %30 termal iletkenlik artışı elde etmişlerdir (Agarwal vd., 2017).

Das vd. TiO_2 -su nanoakışkanını $20-60^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında ve %0.1-1 hacimsel derişim aralığında termal iletkenlik, viskozite ve yüzey gerilim özelliklerini incelemişlerdir.

Nanoakışkan kararlılığını artırmak amacı ile CTAB, SDS, SDBS ve asetik asit gibi çeşitli yüzey aktif maddelerini kullanmışlar ve CTAB ve SDS yüzey aktif maddelerinin nanoakışkanı daha kararlı hale getirdiği sonucuna varmışlardır. Termal iletkenlik deneyleri sonucunda termal iletkenlik özelliğinin yüzdesel hacim ve sıcaklık artışı ile arttığını gözlemlemişlerdir. 60°C’ de %1 hacimsel derişime sahip nanoakışkanın maksimum termal iletkenlik iyileştirmesi %5’dir (Das vd., 2018).

Turgut vd. 10 nm ve 30 nm tanecik boyutuna sahip iki farklı Al₂O₃-su nanoakışkanlarını %1, %2 ve %6,33 hacimsel derişimlerde ısı iletkenlik ve viskozite değerlerini deneysel incelemişlerdir. Nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerindeki artış %2-17 aralığında değişmektedir. Maxwell modelinin deneysel sonuçlara daha yakın olduğunu gözlemlenmiştir. Nanopartikül boyutlarının termal iletkenlik değerlerinde %1’den düşük fark olduğundan dolayı nanopartikül boyutlarının termal iletkenlik için bir parametre olmadığı sonucuna varmışlardır. Nanoakışkanın viskozite değerleri nanopartikül boyutlarında ve hacimsel derişimdeki artış ile artmıştır. Sıcaklık artışına bağlı olarak viskozite değerlerinin baz akışkana benzer biçimde azaldığı gözlemlenmişlerdir (Turgut vd., 2016).

Godson vd. çalışmalarında 50-90°C sıcaklık aralığında %0.3, %0.6 ve %0.9 hacimsel derişimlerde Ag-deiyonize su nanoakışkanının termal iletkenlik ve viskozite özelliklerini deneysel incelemişlerdir. Termal iletkenlik, sıcaklık ve hacimsel derişimlerdeki artış ile artış göstermektedir. Ortalama 70°C sıcaklıkta minimum %0.3-27 maksimum %0.9-80 aralığında termal iletkenlik artışı gözlemlenmiştir. Viskozite değerlerinin sıcaklık artışı ile azaldığı, hacimsel derişim artışı ile arttığı sonucuna varılmıştır. Brownian hareketinin termofiziksel özellikler üzerideki etkisi tartışılmıştır. Termal iletkenlik ve viskozite için deneysel korelasyon geliştirilmiş ve korelasyonun deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu bulunmuştur (Godson vd., 2010).

Musina vd. çalışmalarında Al₂O₃ ve TiO₂ nanopartikülleri içeren propilen glikoz bazlı nanoakışkanları iki metod yöntemi ile hazırlamışlardır. %1, %6 ve %9 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanlar 20-80°C sıcaklık aralığında termal iletkenlik özelliğini deneysel incelemişlerdir (Palabıyık vd., 2011).

Ghozatloo vd. çalışmalarında klasik nanoakışkan hazırlama yönteminden farklı olarak grafen nanopartiküllerinin suda homojen dağılımını sağlamak için alkali metot kullanmışlardır. 25°C ve 50°C’de %0.05 hacimsel derişime sahip alkali grafen-su nanoakışkanının termal iletkenliği baz akışkan suya kıyasla sırası ile %14.1 ve %17 oranında arttığını gözlemlemişlerdir. Elde edilen nanoakışkanın iyi ısı transfer özelliklerine, maliyet avantajlarına sahip olduğu ve soğutma uygulamaları için uygun olabileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca düşük hacimsel derişimlere sahip alkali grafen-su nanoakışkanlarında daha iyi homojen dağılım ve daha az çökelme gözlemlenmiştir (Ghozatloo vd., 2013).

Islam ve Sabani çalışmalarında PEM yakıt hücrelerini soğutmak için TiO₂-etilen glikol nanoakışkanlarını hazırlamışlardır. %0.05-0.5 hacimsel derişim aralığında hazırlanan TiO₂-etilen glikol nanoakışkanının elektriksel iletkenlik deneyi PEM yakıt hücrelerinin çalışma koşulu olan 20-70°C aralığında incelemişlerdir. TiO₂-etilen glikol nanoakışkanının hacimsel derişimi arttığında nanoakışkanın elektriksel iletkenliğinin, 60°C’de %0.5 derişimde baz akışkana kıyasla 9 kat daha fazla olduğu sonucuna varmışlardır (Islam ve Shabani, 2019).

Das vd. çalışmalarında %0.02-%0.1 ve 20-50°C aralığında grafen-deiyonize su nanoakışkanının farklı güç girişlerinde, sıcaklıklarda ve eğim açılarında gösterdiği termofiziksel özellikleri incelemişlerdir. Grafen-deiyonize su nanoakışkanının termal iletkenliğinin 45°C’de deiyonize suya göre %29 daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır. Termosifonun ısıl direncinin eğim açılarından bağımsız olarak hemen hemen aynı olduğu gözlemlemişlerdir (Das vd., 2019).

Ilyas vd. MWCNT-termal yağ nanoakışkanlarını %0.1-%1 hacimsel derişimlerde hazırlamışlar ve termal iletkenlik, yoğunluk, viskozite, spesifik ısı kapasitesi özelliklerini deneysel olarak incelemişlerdir. Ultrasonik işlemin yağ bazlı nanoakışkanların kararlılığı için çok önemli olduğunu vurgulamışlardır (Ilyas vd., 2017).

Gomez vd. çalışmalarında diğer çalışmalardan farklı yol izleyerek hazırlayacakları nanoakışkan için bor nitrür nanopartikülleri ve baz akışkan olarak ise yüzey aktif madde olarak kullanılan sulu Triton X-100 çözeltisi kullanmışlardır. Nanoakışkanın reolojik

özellikleri, izobarik spesifik ısı ve termal iletkenlik özellikleri deneysel olarak incelendi. Viskozite değerleri Newton davranışı göstererek önemli artış göstermedi. İzobarik özgül ısı baz akışkana kıyasla %8 ve termal iletkenlik %10 artış gösterdi. Elde edilen sonuçlara göre hazırlanan nanoakışkanlar için basınç düşüşü ve pompalama gücü önemli oranda artmayacağı bu yönüyle termal sistem uygulamaları için iyi bir seçenek olabileceğini vurgulamışlardır (Gómez-villarejo vd., 2019).

Omrani vd. çalışmalarında farklı geometrik özelliklere sahip MWCNT-su nanoakışkanlarını hazırlamışlar ve termofiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Karbon nanotüplerin geometrik özelliklerinin termofiziksel özelliklerde etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Nanoakışkanın stabilizasyonunu artırmak amacı ile yapılan çalışmaların sonucunda nötr duruma yakın pH değeri elde edildiğinde ısı transferi ve akış özelliklerinde iyileşmeler elde edilebilecektir (Omrani vd., 2019).

Kılıç vd. çalışmalarında TiO_2 -su nanoakışkanının düz plaka güneş kolektörü (FPSC) için etkisini deneysel incelemişlerdir. %2 hacimsel derişime sahip nanoakışkanının kararlılığını korumak ve zamanla sistemde oluşacak çökelmelere engel olmak için nanoakışkan içerisine %0.2 Triton X-100 yüzey aktif maddesi kullanılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, kolektör ani verimindeki performans artışı saf suya kıyasla güneş kolektörlerinde kullanılan TiO_2 -su nanoakışkanı %1.68-34.48 daha iyi ısı performans göstermiştir (Kılıç vd., 2018).

Bellos ve Tzivanidis çalışmalarında %5 hacimsel derişime sahip CuO/Syltherm nanoakışkanının termal fotovoltaiik konsantre toplayıcısında termofiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Sistemde nanoakışkan kullanımı baz akışkan kullanıma kıyasla her debi hızları ve giriş sıcaklıklarında hem termal hem de elektriksel performansta artış sağladığı sonucuna varmışlardır. Örneğin, 100°C 'de giriş sıcaklığı ve nanoakışkanın 540L/s debisi olan sistemde termal verim %46.84 elektriksel verim %6 daha iyi elde edilmiştir (Bellos ve Tzivanidis, 2019).

Natividade vd. çalışmalarında parabolik yoğunlaştırıcı ile donatılmış boşaltılmış bir tüp güneş kolektöründe düşük hacimsel derişimlere sahip MLG-su nanoakışkanını kullanmışlar ve nanoakışkan kullanılan sistem ile baz akışkan kullanılan sistemdeki termofiziksel özelliklerini kıyaslamışlardır. Deney sonucunda parabolik yoğunlaştırıcı

kullanımı yoğunlaştırıcı olmayana kıyasla termal verim yaklaşık %298 artırmıştır. Burada parabolik yoğunlaştırıcı kullanımının önemi anlaşılmıştır. %0.00045 ve %0.00068 hacimsel derişimlere sahip MLG-su nanoakışkanı, güneş enerjisi kolektörünün ısı verimini baz akışkana kıyasla sırayla %31 ve %76 artmıştır (Natividade vd., 2019).

3.2 Hibrit Nanoakışkanlar için Literatür Araştırması

Aberoumand ve Jafarimoghaddam açılışmalarında %1, %2 ve %4 hacimsel derişimlerde Ag-Tungsten oksit/transformatör yağı hibrit nanoakışkanını Telin Elektriksel Patlaması (E.E.W) olarak bilinen tek adım yöntemi ile hazırlamışlardır. Hibrit nanoakışkanın termal iletkenlik değerlerini 40-100°C sıcaklık aralığında KD2 Pro cihazı ile ölçmüşlerdir. 100°C sıcaklıkta %4 hacimsel derişime sahip hibrit nanoakışkanın termal iletkenliği %41 oranında arttığını gözlemlemişlerdir (Aberoumand vd., 2018).

Esfe vd. çalışmalarında %0.1-2 hacimsel derişimlerde Cu(%60)-TiO₂(%40)/su hibrit nanoakışkanlarını iki adım yöntemi ile hazırlamışlar ve 30-60°C sıcaklık aralığında termal iletkenlik değerlerini ölçmüşlerdir. Hibrit nanoakışkanın termal iletkenliğini tahmin etmek için deneysel sonuçlar ile yapay sinir ağı geliştirmişlerdir. Geliştirilen yapay sinir ağı modeli ile deneysel sonuçların %99.9 doğruluk payı ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşmışlardır (Esfe vd., 2015).

Aparna vd. çalışmalarında %0.005-1 hacimsel derişimlerde hazırladıkları Al₂O₃(%50)-Ag(%50)/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik özelliğini geçici sıcak tel yöntemi ile deneysel incelemişlerdir. Hibrit nanoakışkanının kararlılığını artırmak amacı ile PVP (polivinilpirrolidon) yüzey aktif maddesi kullanmışlardır. Hibrit nanoakışkanın termal iletkenliğini tahmin etmek için korelasyon geliştirmişler, korelasyon ve deneysel sonuçların yüksek uyumda olduğunu gözlemlemişlerdir (Aparna vd., 2019).

Alirezaie vd. çalışmalarında MWCNT-MgO/motor yağı hibrit nanoakışkanının termofiziksel özelliklerini deneysel olarak incelemişler ve elde edilen deneysel sonuçlar yardımı ile dinamik viskozite için model geliştirmişlerdir. Maliyet ve termofiziksel özellikleri uygun olduğundan dolayı motor yağı 50SAE seçilmiştir. %0.0625-1 hacimsel derişimlerde hazırlanan hibrit nanoakışkanlarda ise 6 gün boyunca çökme

gözlenmemiştir. Kayma oranının viskozite üzerinde bir etkiye sahip olduğunu ve daha yüksek hacimli derişimlerde daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca 25°C'den 50°C'ye yükselme viskozitede %75 düşüşe neden olmuştur (Alirezaie vd., 2017).

Afrand vd. çalışmalarında SiO₂-MWCNT/motor yağı (SAE40) hibrit nanoakışkanını hazırlamışlar, sıcaklık ve nanopartikül derişiminin hibrit nanoakışkanının dinamik viskozitesi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Hibrit nanoakışkanların hacimsel derişimleri %0-1, sıcaklık ise 25-60°C aralığında değişmektedir. Hibrit nanoakışkanın tüm hacimsel derişim ve sıcaklıklarda Newtonyen bir sıvı olarak davrandığı sonucuna varmışlardır. Deneysel sonuçlarda hibrit nanoakışkanın dinamik viskozitesi maksimum %37.4 artmıştır (Afrand vd., 2016).

Mousavi vd. çalışmalarında farklı oranlarda hazırladıkları MgO-TiO₂/distile su hibrit nanoakışkanlarının termofiziksel özelliklerini ve reolojik davranışlarını incelemişlerdir. Hibrit nanoakışkanın kararlılığını artırmak için SDS (sodyum dodesil sülfat) yüzey aktif maddesi eklemişlerdir. Hacimsel derişim aralığını %0.1-0.5 sıcaklık aralığını ise 15-60°C aralığında seçmişlerdir. MgO-TiO₂/distile su hibrit nanoakışkanlarında 3 gün çökelme gözlenmemiştir. Hibrit nanoakışkanların dinamik viskozitesi sıcaklığın ve hacimsel derişimin artması ile azalmıştır. Ayrıca elde edilen deneysel veriler yardımı ile MgO/TiO₂-distile su hibrit nanoakışkanı için geçerli korelasyon geliştirmişlerdir (Mousavi vd., 2019).

Akilu vd. çalışmalarında farklı olarak TiO₂-CuO nanokompozitini ıslak karıştırma protokolü ile hazırlamışlar daha sonra TiO₂-CuO nanokompozitini etilen glikol içerisinde dağıtarak hibrit nanoakışkan elde etmişlerdir. %0.5-2 hacimsel derişim aralığında incelenen hibrit nanoakışkanların etilen glikol baz akışkanı ile kıyaslandığında ısı iletkenlikte maksimum artış %16.7 elde etmişlerdir (Akilu vd., 2017).

Yarmand vd. çalışmalarında grafen nanoplatelet(GNP)/platin(Pt) hibrit nanoakışkanını dört taraflı mikrokana1 kullanarak zorlanmış taşınım ısı transferini deneysel incelemişlerdir. %0.02-0.1 hacimsel derişim aralığında hazırlanan hibrit nanoakışkanlar mikrokana1lara verildiğinde elde edilen sonuçlara göre Reynolds sayısında %30 daha iyileşme görülmüştür. Çalışmalar sonucunda kullanılan GNP-Pt hibrit nanoakışkanı

radıatörler ve nükleer reaktörlerde dahil her türlü termal uygulamalarda kullanılabileceğini açıklamışlardır (Yarmand vd., 2017).

Akhgar vd. çalışmalarında TiO_2 -MWCNT(50:50)/su-etilen glikol(50:50) hibrit nanoakışkanı $20\text{-}50^\circ\text{C}$ aralığında termal iletkenliğini incelemişlerdir. Hibrit nanoakışkanın stabilitesini sağlamak amacı ile CTAB yüzey aktif maddesi kullanmışlardır. %0.05-1 hacimsel derişim aralığında incelenen hibrit nanoakışkanların çökmesini engellemek için pH değerlerini değiştirmişlerdir. Hibrit nanoakışkanı baz akışkana kıyasla maksimum %38.7 oranında termal iletkenliğinin arttığı gözlemlenmiştir (Akhgar ve Toghraie, 2018).

Verma vd. çalışmalarında %0.25-2 hacimsel derişim aralığında MWCNT-su, CuO-su, MgO-su nanoakışkanları ile MWCNT/MgO-su MWCNT/CuO-su hibrit nanoakışkanlarını hazırlamışlar ve düz plaka güneş kolektöründe nanoakışkanların özelliklerini deneysel incelemişlerdir. Sistem için optimum çalışma koşullarını %0.75-1 hacimsel derişim aralığı sağlamıştır. Sonuç olarak MWCNT/MgO-su hibrit nanoakışkanı, MWCNT/CuO-su hibrit nanoakışkanından daha iyi performans göstermiştir (Agarwal vd., 2017).

Minea ve Maghlany çalışmalarında %0.05-0.15 hacimsel derişimlerde Ag, MgO, Al_2O_3 , Cu nanopartiküllerinin su bazlı hibrit nanoakışkanlarını hazırlamış ve parabolik oluk güneş kolektöründe termofiziksel özelliklerini deneysel incelemişlerdir. Tüm hibrit nanoakışkanların her hacimsel derişimlerinde Nusselt sayısında artış olduğunu gözlemlenmiştir. Nusselt sayısındaki en yüksek artış %2 hacimsel derişime sahip Cu/MgO-su hibrit nanoakışkanında elde edilmiştir. Güneş kolektöründeki maksimum verim %2 hacimsel derişimlik Ag/MgO-su hibrit nanoakışkanında elde edilmiştir (Minea ve El-Maghlany, 2018).

BÖLÜM IV

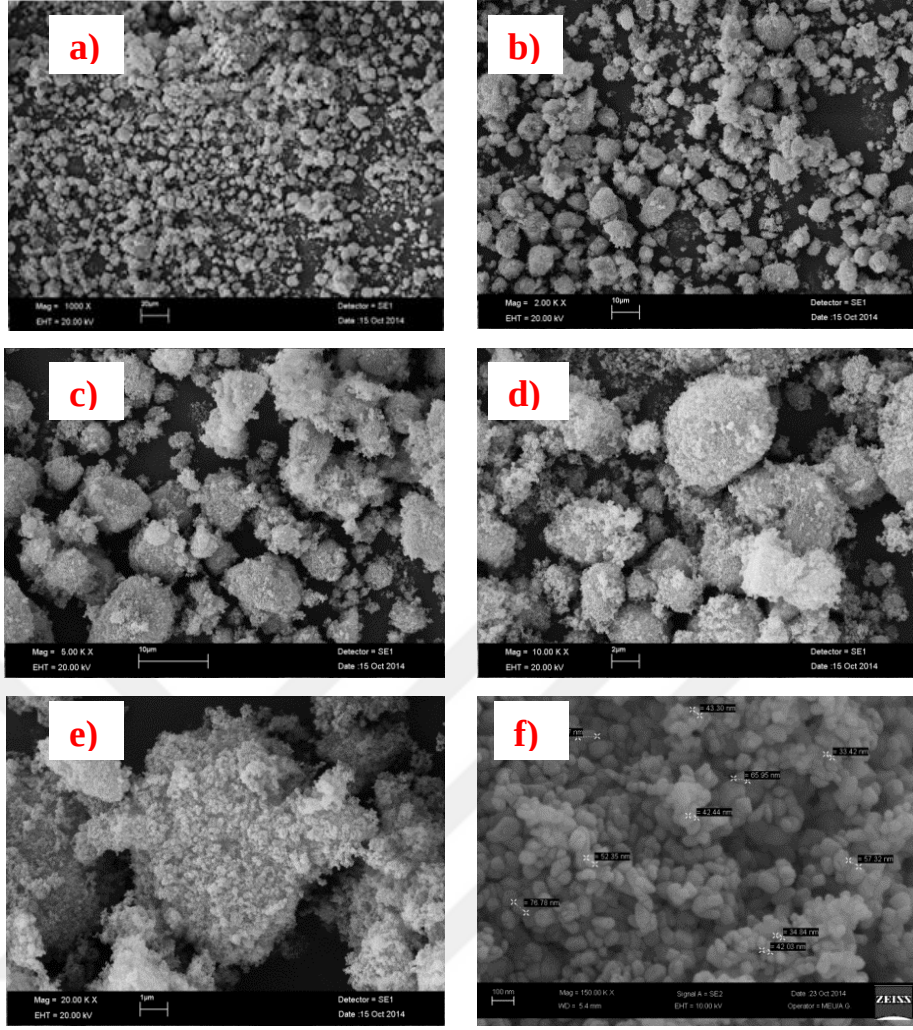
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1 Nanopartiküllerin Morfolojisi

4.1.1 Al₂O₃, TiO₂ ve CaCO₃ nanopartiküllerinin SEM görüntüleri

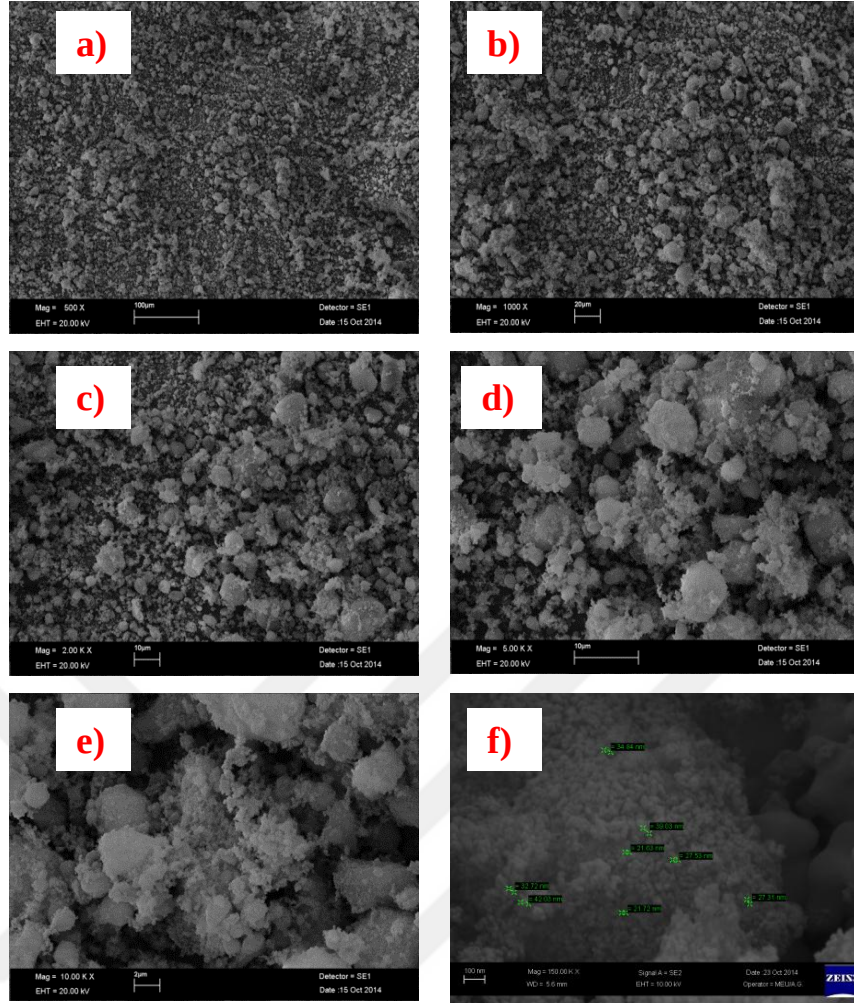
Nanopartiküllerin morfolojik yapılarını gözlemlemek amacıyla nanopartikül tozlar elektron mikroskopunda (SEM ve FESEM) farklı büyütme oranlarında görüntülenmiş ve elde edilen görüntüler nano-TiO₂ ve nano-Al₂O₃ için sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi nano-TiO₂ taneciklerinin normal toz halinde toplanıp aglomeralar oluşturması nedeniyle SEM (Scanning Elektron Microscopy) görüntüleme aşamasında boyutlarının seçilmesi mümkün olamamıştır. Bundan dolayı çok daha yüksek büyütme oranlarında görüntülemeyi mümkün kılan FESEM (Field Emission- Scanning Elektron Microscopy) cihazında görüntüleme yoluna gidilmiş ve bu şekilde nanopartiküllerin ortalama 40-50 nm boyutlarında oldukları ve tamamen küresel bir morfolojiye sahip oldukları görüntülenebilmiştir (Şekil 4.1.f).

Şekil 4.2’de ise nano-Al₂O₃ tozunun SEM görüntüleri verilmiştir. Nano-TiO₂ taneciklerinin SEM’de görüntülenmelerinde oluşan duruma benzer şekilde nano-Al₂O₃ tozunun da aglomerasyondan dolayı tanecik boyutlarının gözlenebilmesinin SEM tekniği ile mümkün olmadığı ve FESEM tekniğinin kullanılması gerektiği görülmektedir. Nanopartiküllerin tane boyut dağılımı öncelikle ölçüm sırasında aglomerasyonu önleyici herhangi bir dispersant kimyasal kullanmaksızın NanoSizer cihazında tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu noktada nanopartiküllerin normal su ortamında oluşturduğu aglomeraların boyutlarını ölçmek hedeflenmiştir. Bu ölçümler sırasında öncelikle ultrasonik etki uygulanmadan ölçüm yapılmış sonrasında 3 ve 6 dakika süreyle ultrasonik titreşim uygulanarak, aglomeralar dağıtılmaya çalışılmıştır. Boyut ölçümlerinin sonuçları nano-TiO₂ ve nano-Al₂O₃ için sırasıyla Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Nano-TiO₂ ve nano-Al₂O₃ tozunun NanoSizer cihazı ile tespit edilmiş ortalama tane boyutu sırasıyla 69 nm ve 46 nm’dir.

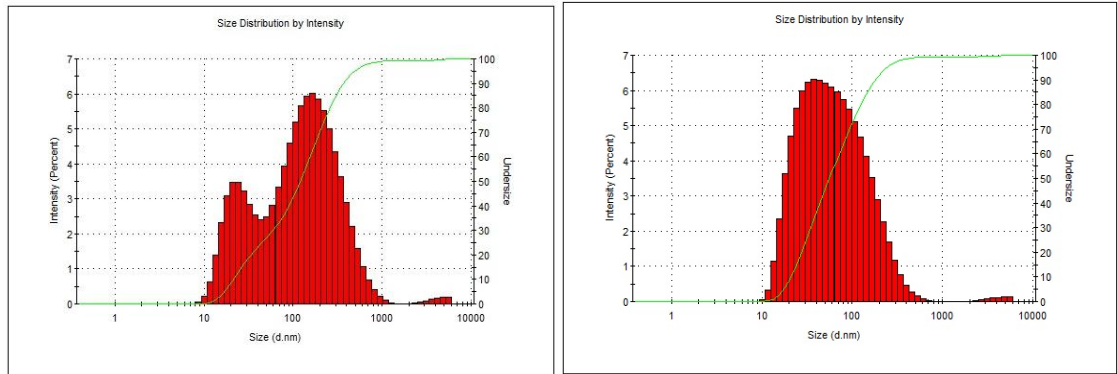


Şekil 4.1. Nano-TiO₂ tozunun SEM ve FESEM görüntüleri, a) SEM x1.000 büyütme, b) SEM x2.000 büyütme, c)SEM x5.000 büyütme, d)SEM x10.000 büyütme, e)SEM x20.000 büyütme, f) FESEM x150.000 büyütme

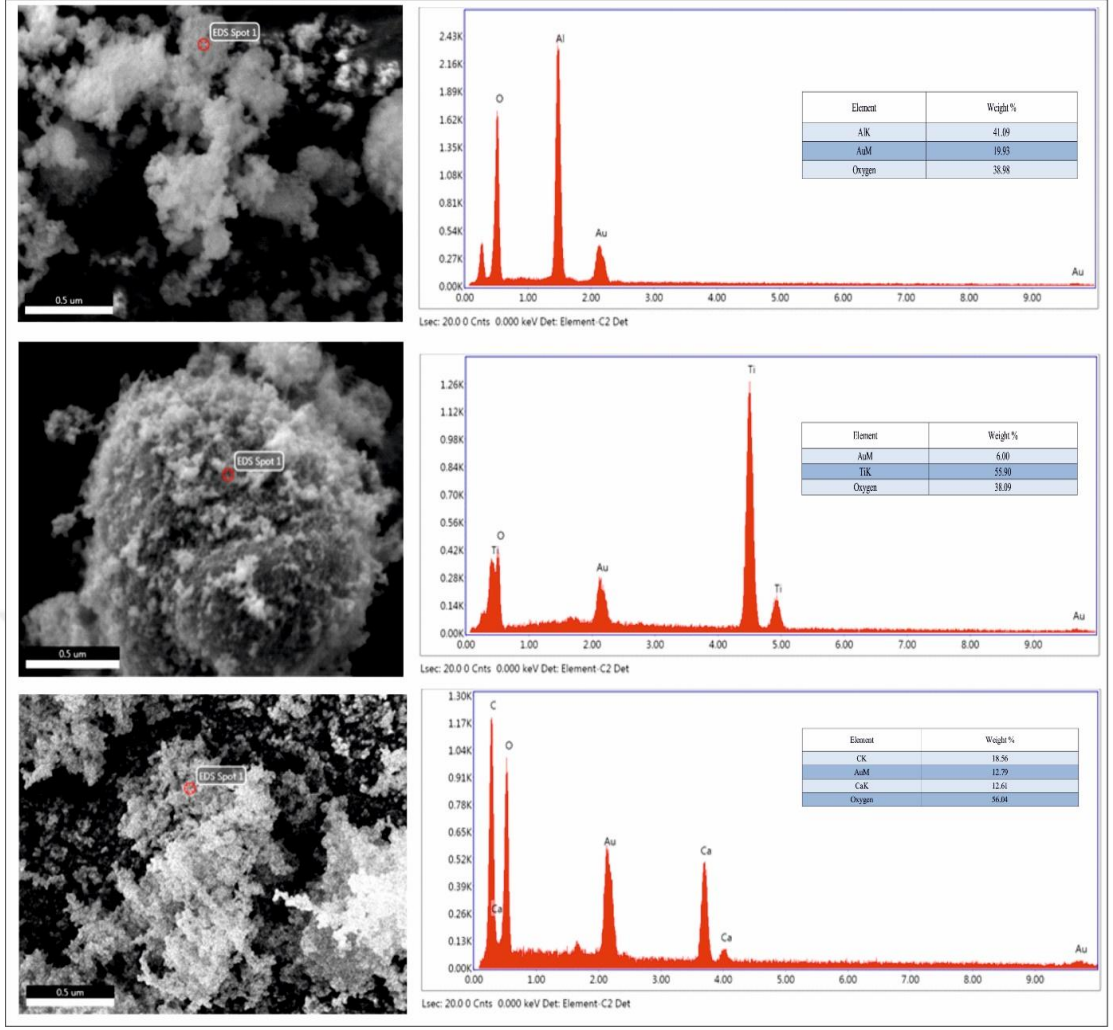
Şekil 4.4’te nano-Al₂O₃, nano-TiO₂ ve nano-CaCO₃ nanopartiküllerinin SEM görüntüleri verilmiştir. Nano- Al₂O₃ tozu %41.09 oranında alüminyum %38.98 oranında oksijen içermektedir. Nano-TiO₂ tozu %55.9 oranında titanyum %38.09 oranında oksijen içermektedir. Nano-CaCO₃ ise %12.61 oranında kalsiyum, %18.56 oranında karbon ve %56.04 oranında oksijen içermektedir.



Şekil 4.2. Nano- Al_2O_3 tozunun SEM ve FESEM görüntüleri, a) x5000 büyütme, b) x1.000 büyütme, c) x2.000 büyütme, d) x5.000 büyütme, e) x10.000 büyütme, f) FESEM x150.000 büyütme



Şekil 4.3. a) Nano- TiO_2 tozunun NanoSizer cihazı ile tespit edilmiş tane boyut dağılımı (Ortalama tane boyutu: 69 nm) b) Nano- Al_2O_3 tozunun NanoSizer cihazı ile tespit edilmiş tane boyut dağılımı (Ortalama tane boyutu: 46 nm)



Şekil 4.4. SEM görüntüleri sırası ile nano-Al₂O₃, nano-TiO₂ ve nano-CaCO₃

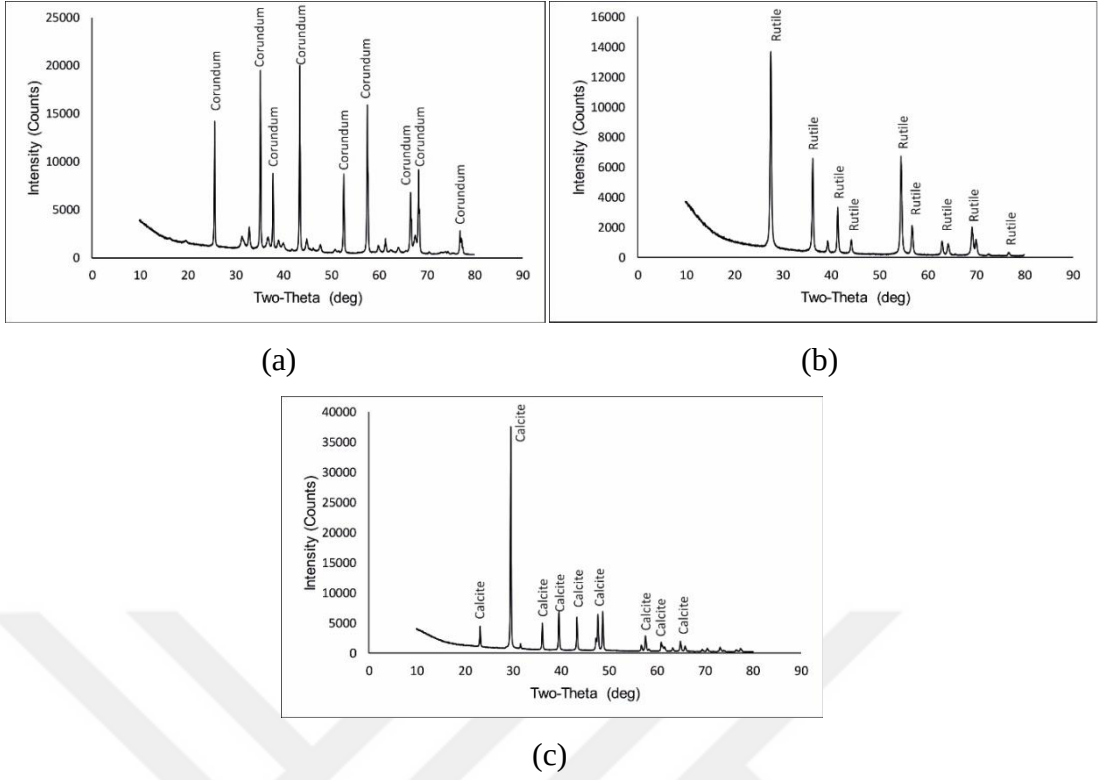
4.1.2 Al₂O₃, TiO₂ ve CaCO₃ nanopartiküllerinin analizi ve XRD görüntüleri

Nanopartiküllerin kimyasal kompozisyonlarını ve varsa safsızlık durumlarını tespit etmek amacıyla, nano-TiO₂, nano-Al₂O₃ ve nano-CaCO₃ ICP-AES (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy) yöntemi ile analize tabi tutulmuştur. Bu analizlerden nanopartiküllere ait analiz sonucu Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Çizelge 4.1’de yer alan verilerden nano-Al₂O₃’ün, nano-TiO₂ ve nano-CaCO₃’in çok yüksek saflıkta (%99.15) alüminyum dioksitten, titanyum dioksitten (%97.50) ve kalsitten (%100) oluştuğu, eser miktarlarda silisyum, magnezyum, sodyum ve demir içerdiği ve yüksek saflıklarından dolayı projenin ileriki aşamalarında kullanıma uygun oldukları belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Nanopartiküllerin analizi

Bileşen	Oksit Kompozisyonu, %		
	nano-Al ₂ O ₃	nano-TiO ₂	nano-CaCO ₃
SiO ₂	0.01	-	0.083
Al ₂ O ₃	99.15	0.01	0.751
ΣFe ₂ O ₃	0.03	-	0.010
MgO	-	0.03	0.185
CaO	-	-	55.146
Na ₂ O	-	0.67	<0.001
K ₂ O	-	-	<0.001
TiO ₂	-	97.50	<0.001
P ₂ O ₅	-	-	0.010
MnO	-	-	0.006
Cr ₂ O ₃	-	-	<0.001
K,K* (1000°C)	0.9	1.7	-
L.O.I	-	-	44.110

Nanopartiküllerin mineralojik yapısını gözlemek amacıyla doğal mineral malzemelere benzer şartlarda XRD analizine tabi tutulmuş ve elde edilen kırınım desenleri nano-TiO₂ ve nano-Al₂O₃, nano- TiO₂ ve nano-CaCO₃ için sırasıyla Şekil 4.5'te gösterilmiştir. İncelenen nanopartiküllerin SEM görüntülerini elde etmek için Au kaplama işlemi gerçekleştirildi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda Zeiss Evo 40 SEM cihazında 20000 büyütme oranı ile SEM görüntüleri alındı. Şekillerden görüldüğü üzere nanopartikül toz malzemenin de tamamen kristal yapıda olduğu ve amorf bir faz içermediği tespit edilmiştir. Hem kimyasal kompozisyon hem de mineralojik yapı açısından yüksek saflıkta oldukları görülmüştür. Şekil 4.5.a'da numunesinin işaretli alanda %41.09 Al ve %38.98 oksijen atomundan oluştuğu görülmüştür. Şekil 4.5.b'de %55.90 Ti ve %38.09 oksijen atomu, Şekil 4.5.c'de %56.04 oksijen, %18.56 karbon ve %12.61 kalsiyum atomundan oluşuyordu. Au atomunun EDX analizinde gözlemlenmesi, numunelere Au kaplama uygulamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.5. Nanopartiküllerin kırınım desenleri a) nano- Al_2O_3 b) nano- TiO_2 c) nano- CaCO_3

4.2 Nanoakışkanların Hazırlanması

%0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların hazırlanmasında iki aşamalı yöntem izlendi. Nanopartiküller önceden hassas terazi ile tartıldı (Fotoğraf 4.1). Al_2O_3 , TiO_2 ve CaCO_3 nanopartikülleri 200 ml lik saf su içerisine dağıtıldı. Al_2O_3 -su, TiO_2 ve CaCO_3 -su nanoakışkanları için nanopartiküllerin miktarı Denklem 4.1 yardımı ile hesaplandı. Al_2O_3 - TiO_2 /su, Al_2O_3 - CaCO_3 /su ve TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanları için nanopartikül kütlesi Denklem 4.2 yardımı ile hesaplandı (Soltani ve Akbari, 2016). Mono ve hibrit nanoakışkanların stabilitesini sağlamak için yüzey aktif madde olarak 1:1 oranında Gum Arabic katkı maddesi kullanıldı. Nanopartiküllerin özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

$$\varphi\% = \frac{\left(\frac{w}{\rho}\right)_{\text{nanopartikül}}}{\left(\frac{w}{\rho}\right)_{\text{nanopartikül}} + \left(\frac{w}{\rho}\right)_{\text{safsu}}} \quad (4.1)$$

$$\varphi\% = \frac{\left(\frac{w_{np1}}{\rho_{np1}}\right) + \left(\frac{w_{np2}}{\rho_{np2}}\right)}{\left(\frac{w_{np1}}{\rho_{np1}}\right) + \left(\frac{w_{np2}}{\rho_{np2}}\right) + \left(\frac{w_{safsu}}{\rho_{safsu}}\right)} \quad (4.2)$$

Burada w ve ρ sırasıyla nanopartikül ağırlığı (g) ve yoğunluğu (g/cm^3)'tür.



Fotoğraf 4.1. Hassas terazi

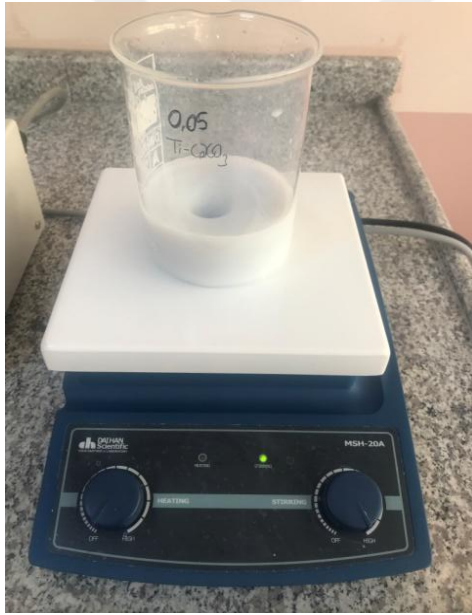


Fotoğraf 4.2. Nanoakışkan hazırlanması

Çizelge 4.2. Nanopartikül özellikleri

Nanopartikül adı	Kimyasal gösterimi	Partikül şekli	Partikül boyutu	Isıl iletkenlik [W/mK](Sugiantoro vd., 2018)	Safılık
Alüminyum oksit	Al ₂ O ₃	Küresel	46 nm	36.15	%99,15
Titanyum oksit	TiO ₂	Küresel	69 nm	8,47	%97,5
Kalsit	CaCO ₃	Küresel	40 nm	5,5	%100

Nanoakışkanların homojen dağılımını sağlamak için 4 saat manyetik karıştırıcıda 4 saat prob tip ultrasonikatörde karıştırıldı.



Fotoğraf 4.3. Manyetik karıştırıcı



Fotoğraf 4.4. Prob tip ultrasonikatör

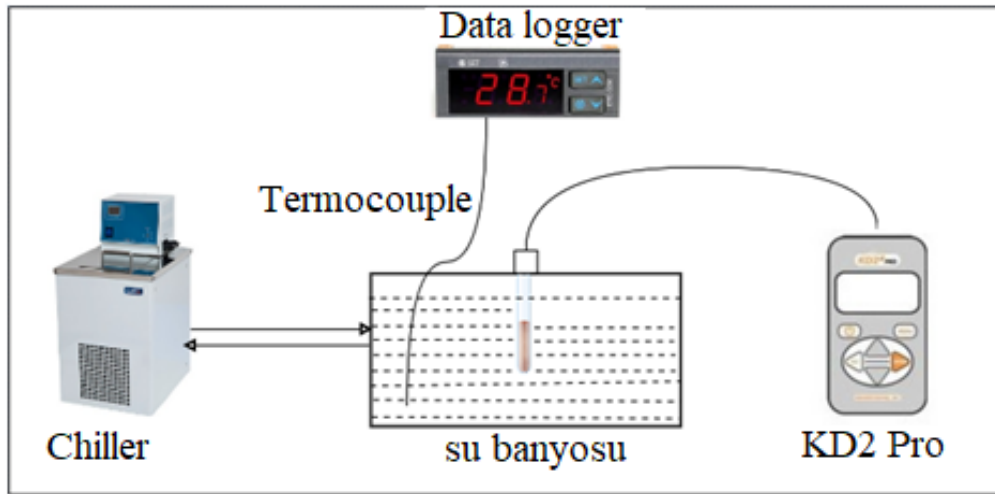
4.3 Termal İletkenlik Deneysel Ölçümü

Nanoakışkanların termal iletkenlik değerleri %5'ten düşük hassasiyete sahip DECAGON KD2-pro model ölçüm cihazı ile ölçülmüştür (Fotoğraf 4.5). KD2-pro cihazının çalışma prensibi geçici sıcak tel yöntemine dayanmaktadır (Abbasi vd., 2013; Khedkar vd., 2013). Geçici sıcak tel yöntemi, numune içerisine daldırılmış prob ucunun ısı yayması ve belirli bir mesafe sıcaklık artışının ölçülmesi sonucunda termal iletkenlik

değerinin belirlenmesidir. Isı kaynağı numune boyunca sabit çıkışa sahip olduğu varsayılır ve geçen süre boyunca sıcaklıkta meydana gelen değişim ile termal iletkenlik hesaplanabilir.



Fotoğraf 4.5. KD2-pro cihazı



Şekil 4.6. Termal iletkenlik deney düzeneği şematik gösterimi

Termal iletkenlik ölçümünde izlenen yol;

1. 20 mL’lik cam deney tüp içerisine konulan saf su için termal iletkenlik ölçümü yapılmış ve literatürdeki değerler ile karşılaştırarak cihazın doğruluğu her ölçümde karşılaştırılmıştır.
2. Cam deney tüplerine konulan farklı derişimlerdeki nanoakışkanların sabit sıcaklıkta kalmalarını sağlamak için ısı banyosuna daldırılmıştır.
3. Isı banyosunun sıcaklığını değiştirmek için düzenek chillere bağlantı yapılmıştır.
4. Isı banyosuna daldırılan nanoakışkanlar bir süre sonra kararlı hale geldikten sonra KD2-pro cihazının probu numune içerisine daldırılmıştır. Bu aşamada numunede titreme olmamasına dikkat edilmesi gerekmektedir.
5. Bir ölçüm 90 sn sürmektedir. 30 sn ortam ısına dengeye gelmek, 30 sn ısıtma, 30 sn soğutma. Ölçümler 5 defa tekrarlanmış ve ortalama değer alınmıştır.
6. Her farklı derişim ve sıcaklık için adımlar tekrar edilmiştir.



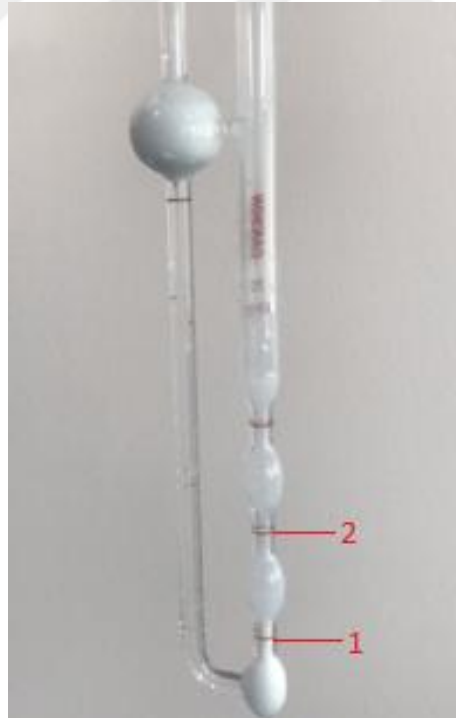
Fotoğraf 4.6. Termal iletkenlik deney düzeneği

4.4 Viskozite Deneysel Ölçümü

Nanoakışkanların viskozite ölçümü Cannon marka viskozite ölçüm tüpü kullanılarak yapılmıştır. Kapiler akma yöntemine dayanan viskozimetrenin çalışma prensibi ise akışkanın kapiler içerisinde akarken geçen sürenin belirlenmesidir.

Viskozite ölçümünde izlenen yol;

1. Viskozimetrenin tamamen kuru ve temiz olması sağlanmıştır.
2. Viskozimetre içerisine hazırlanan nanoakışkan enjekte edilmiştir.
3. Nanoakışkanın sabit sıcaklıkta kalması için viskozimetre ısı banyosuna daldırılmıştır. Isı banyosunun sıcaklığı chiller yardımı ile değiştirilmektedir.
4. Nanoakışkan sıcaklığının kararlı hale gelmesinden sonra Fotoğraf 4.7’de görüldüğü üzere 1 numaralı çizgiden 2 numaralı çizgiye akarken geçen süre kaydedilmiştir.
5. Her farklı derişim ve sıcaklık için adımlar tekrar edilmiştir.



Fotoğraf 4.7. Viskozimetre



Fotoğraf 4.8. Viskozite deney düzeneği

4.5 Özgöl Isı Deneyisel Ölçümü

Nanoakışkanların özgül ısısını hesaplamak için diferansiyel termal analiz tekniğine dayalı deney düzeneği geliştirilmiştir (Kulkarni vd., 2008; Yiamsawasd vd., 2012). Deney düzeneği, özgül ısısı bilinen referans sıvı (saf su) ile özgül ısısı bilinmeyen nanoakışkanların karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Isı banyosu olarak kullanılabilecek hazne içerisine aynı boyut ve özellikte iki paslanmaz çelikten imal edilmiş iki kap sızdırmazlık sağlanacak biçimde monte edilmiştir. Kapların altına aynı özelliklere sahip iki ısıtıcı monte edilmiştir. Isıtıcılar varyak bağlantısı yapılarak istenilen güçte beslenebilmektedir. Nanoakışkanların ısınma süresince tortulaşma ve çökmesini engellemek için iki pervane kapağa monte edilmiştir. Nanoakışkan ve saf su ısınırken sıcaklıkta değişikliklerini bilgisayarda gözlemlemek için her kaba ikişer olarak toplamda dört termocouple kapak kısmına yerleştirilmiştir. Data logger'a bağlı termocoupleların verileri bilgisayara kaydedilmiştir.



Fotoğraf 4.9. Özgöl ısı deney düzeneği

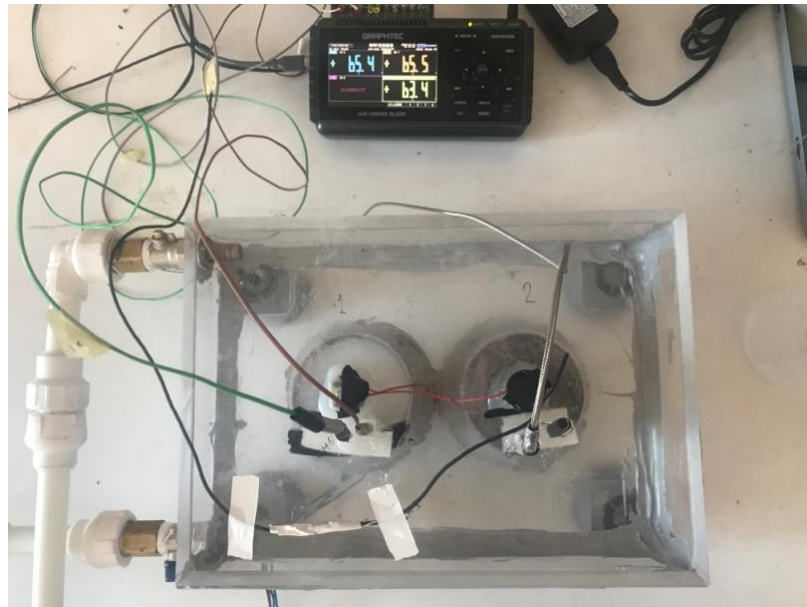
Diferansiyel termal analiz saf su ve nanoakışkanlar için aşağıdaki denklem ile açıklanır;

$$Q_{\text{nanoakışkan}} = Q_{\text{safsu}}$$

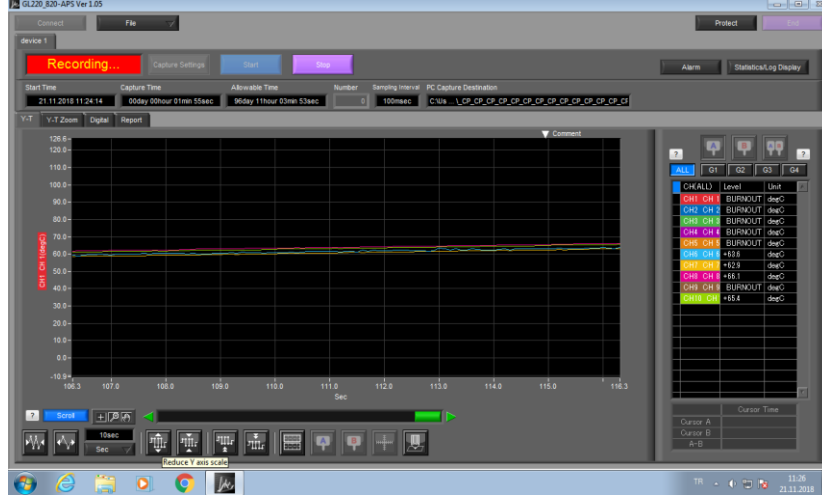
$$m_{\text{nanoakışkan}} \cdot c_{p,\text{nanoakışkan}} \cdot \Delta T_{\text{nanoakışkan}} = m_{\text{safsu}} \cdot c_{p,\text{safsu}} \cdot \Delta T_{\text{safsu}}$$

$$c_{p,\text{nanoakışkan}} = \frac{m_{\text{safsu}} \cdot c_{p,\text{safsu}} \cdot \Delta T_{\text{safsu}}}{m_{\text{nanoakışkan}} \cdot \Delta T_{\text{nanoakışkan}}}$$

(4.3)



Fotoğraf 4.10. Özgül ısı deney düzeneği



Fotoğraf 4.11. Termocouple ekran çıktısı

Özgül ısı ölçümünde izlenen yol;

1. Saf su ve nanoakışkanların konulacağı her iki kabın temiz ve kuru olduğuna emin olmalıyız.
2. Aynı hacme sahip saf su ve nanoakışkan kaplara dikkatlice dökülmüştür.
3. Hazne kapağı kapatılmış, karışımı sağlayacak pervaneler çalıştırılmış ve termocouplelar kontrol edilmiştir.
4. Varyaktan ısıtıcılara güç verilmiş, aynı anda sıcaklık değişiminin kaydı bilgisayarda başlatılmıştır.
5. Saf su ve nanoakışkan belirli sıcaklığa geldikten sonra sıcaklık kaydı durdurulmuş ve varyak kapatılmıştır.
6. Her derişim ve sıcaklık için işlemler tekrar edilmiştir.

4.6 Deneyisel Yoğunluk Ölçümü

Hazırlanan nanoakışkanların yoğunluk ölçümü basit yoğunluk denklemi esas alınarak yapılmıştır. Her bir derişim için hacmi bilinen nanoakışkanlar hassas terazide tartılmıştır. Her tartım 5 defa tekrarlanmış ve ortalaması alınmıştır. Hacmi ve kütlesi bilinen nanoakışkanların yoğunluğu, kütlelerinin hacimlerine oranı ile hesaplandı. Ölçüm sırasında dikkat edilmesi gereken husus ise nanoakışkanların hacimlerinin doğru belirlenmesidir. Sommers ve Yerkes çalışmalarında %0-4 hacimsel derişim aralığında hazırladıkları Al_2O_3 -su nanoakışkanının deneyisel yoğunluk ölçümünü iki metot ile ölçmüşler ve sonuçlarını karşılaştırmışlardır (Sommers ve Yerkes, 2010). Birinci

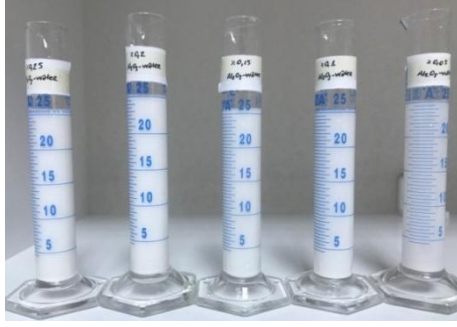
metotta deneysel ölçüm için hidrometre cihazı kullanılmış, ikinci metotta ise hacimleri bilinen numuneleri ± 0.001 g hassasiyete sahip hassas terazide tartılmıştır. İki metodun ölçüm sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçlar %98.2 uygunluk göstermiştir. Hacimsel derişimi %4'ten düşük nanoakışkan numuneleri için iki metotta güvenilir iken, yüksek hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların yoğunluk ölçümünde hidrometre cihazının kullanıldığı deneylerde sonuçların doğruluk payının azaldığı notu düşülmüştür. Bu tez çalışmasında Sommers ve Yerkes'in çalışmalarında kullandıkları ikinci metot güvenilir bulunmuş ve yoğunluk ölçümleri için hacimleri bilinen nanoakışkanlar 0.1 mg hassasiyete ve ± 0.2 mg doğrusalığa sahip hassas terazide tartılmıştır (Fotoğraf 4.12).



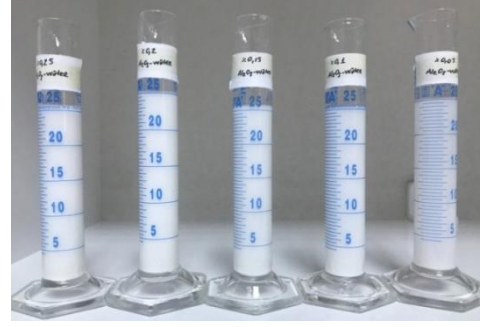
Fotoğraf 4.12. Yoğunluk ölçümü

4.7 Nanoakışkan ve Hibrit Nanoakışkanların Çökelme Süreleri

Nanoakışkanların kararlılığını artırmak ve çökelme sürelerini uzatmak için karışımlara arabic gum yüzey aktif maddesi eklendi. %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlerde hazırlanan Al_2O_3 , TiO_2 ve $CaCO_3$ nanopartiküllerin nanoakışkan ve hibrit nanoakışkanları bir ay süre ile çökelme süreleri gözlemlendi. Nanoakışkanlar içerisinde en az çökelme Al_2O_3 -su nanoakışkanında gözlemlenirken en fazla çökelme $CaCO_3$ -su nanoakışkanında gözlemlendi. Hibrit nanoakışkanlar içerisinde ise en az çökelme Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkanında gözlemlenirken en fazla çökelme Al_2O_3 - $CaCO_3$ hibrit nanoakışkanında gözlemlenmiştir.



(a)

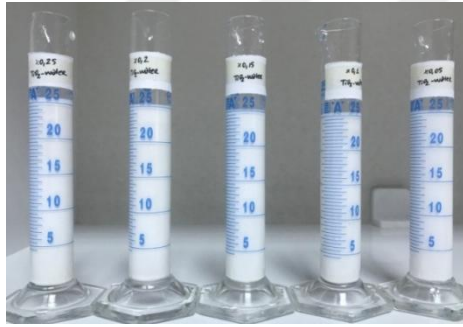


(b)

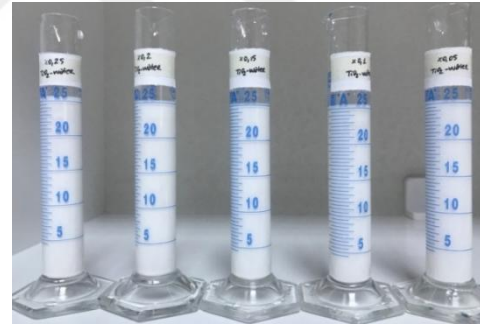


(c)

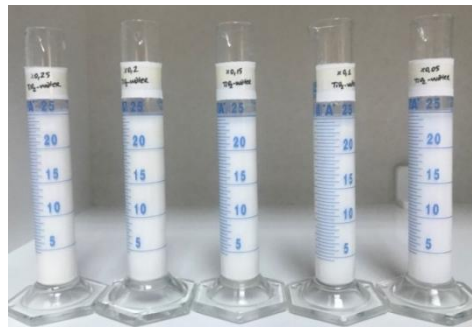
Şekil 4.7. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al_2O_3 -su nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra



(a)

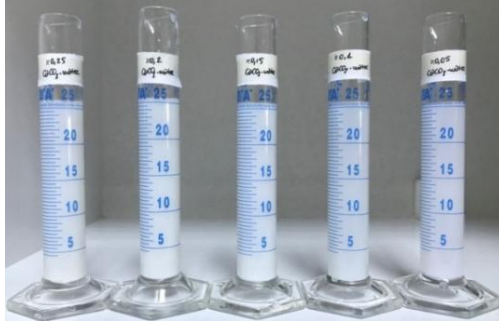


(b)

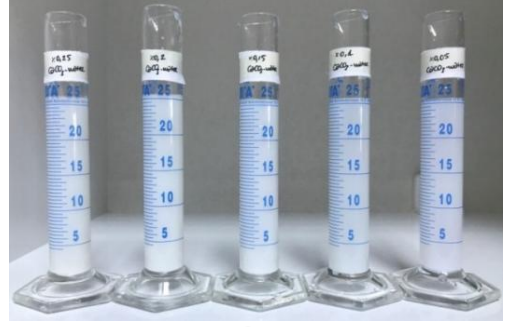


(c)

Şekil 4.8. Farklı hacimsel derişimlere sahip TiO_2 -su nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) iki hafta sonra



(a)

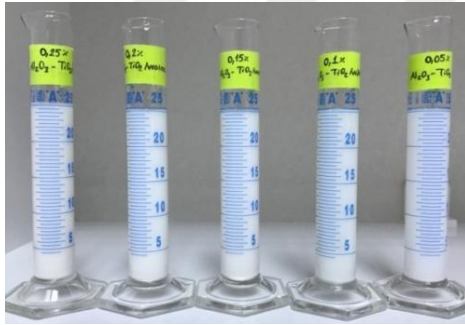


(b)

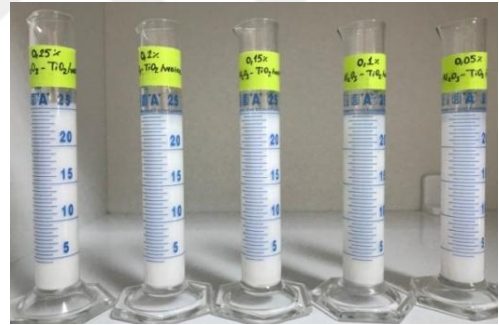


(c)

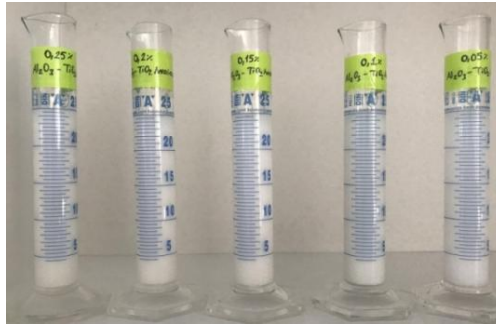
Şekil 4.9. Farklı hacimsel derişimlere sahip CaCO_3 -su nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra



(a)



(b)

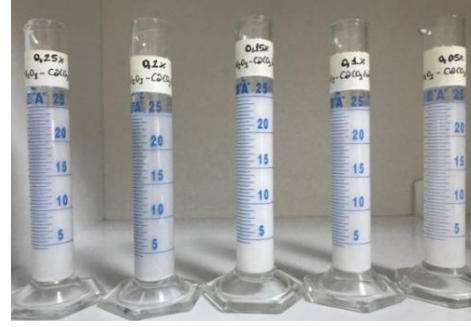


(c)

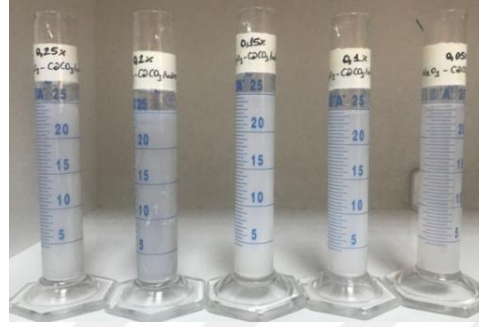
Şekil 4.10. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra



(a)

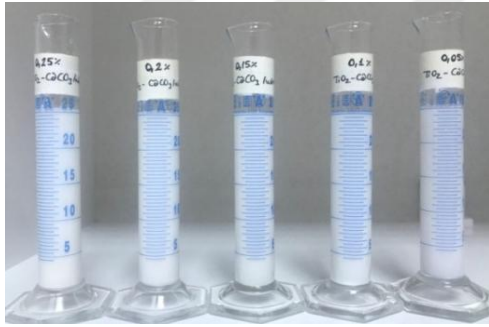


(b)

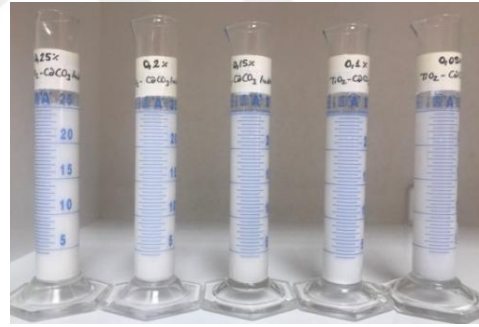


(c)

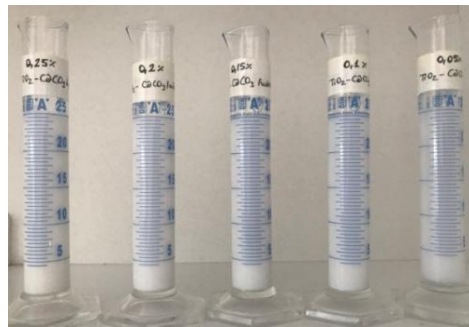
Şekil 4.11. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.12. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanın çökelme süresi. (a) ilk gün (b) bir hafta sonra (c) bir ay sonra

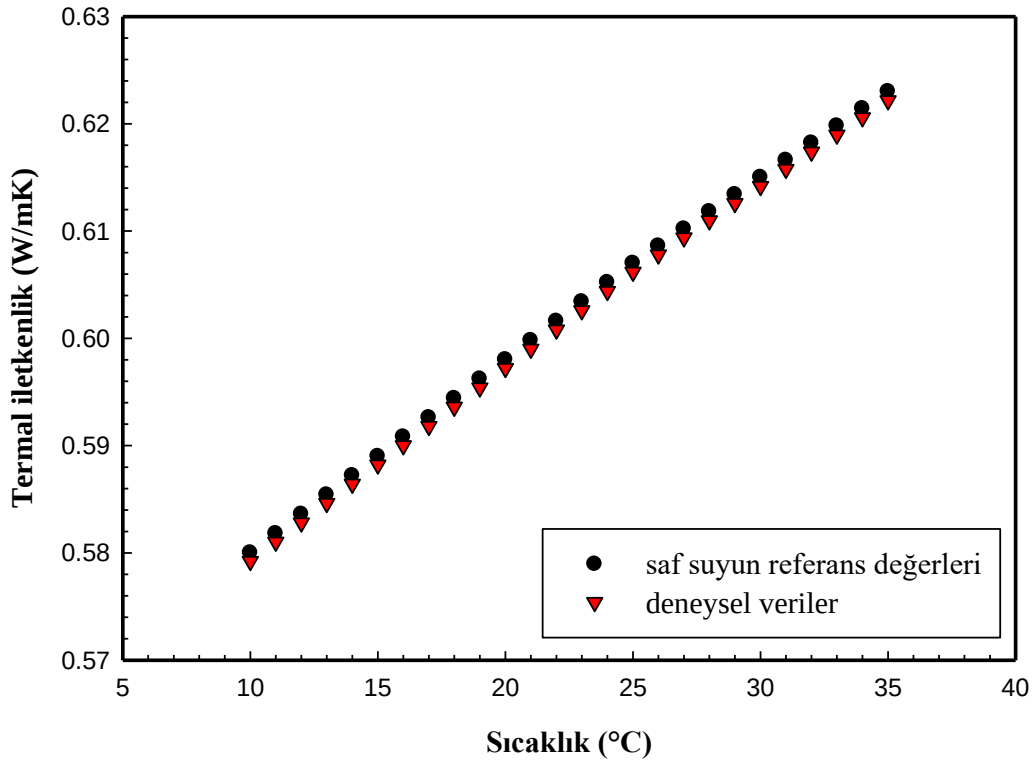
BÖLÜM V

NANOAKIŞKANLAR İÇİN DENEYSEL SONUÇLAR

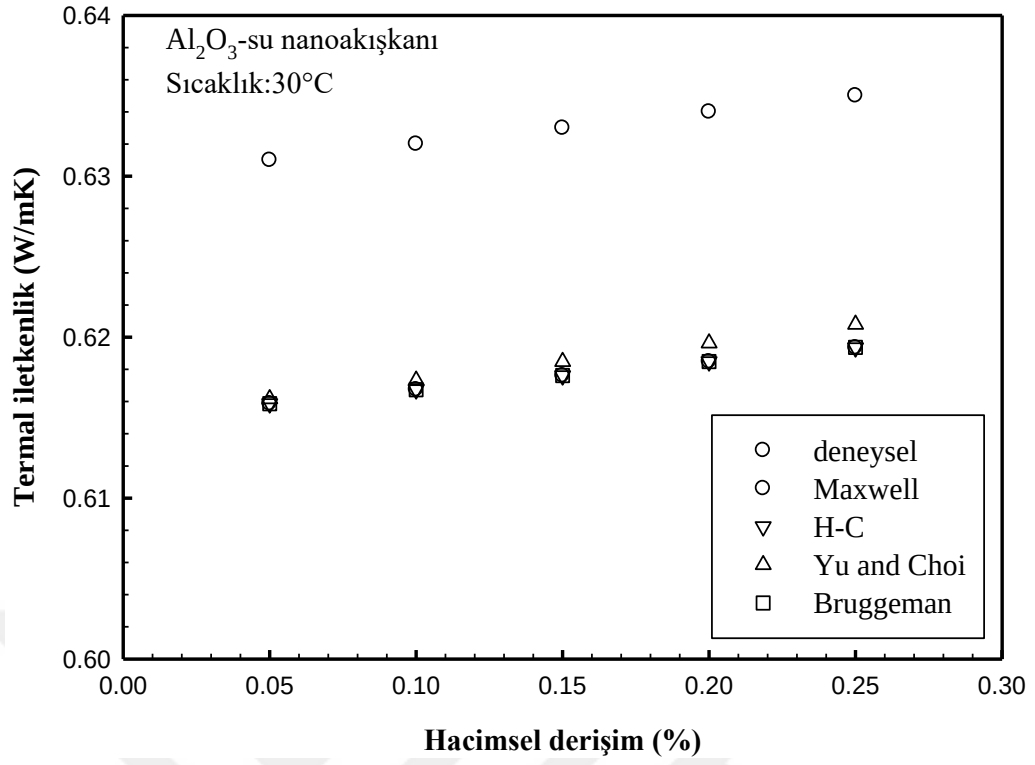
5.1 Al₂O₃-su Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

5.1.1 Al₂O₃-su nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları

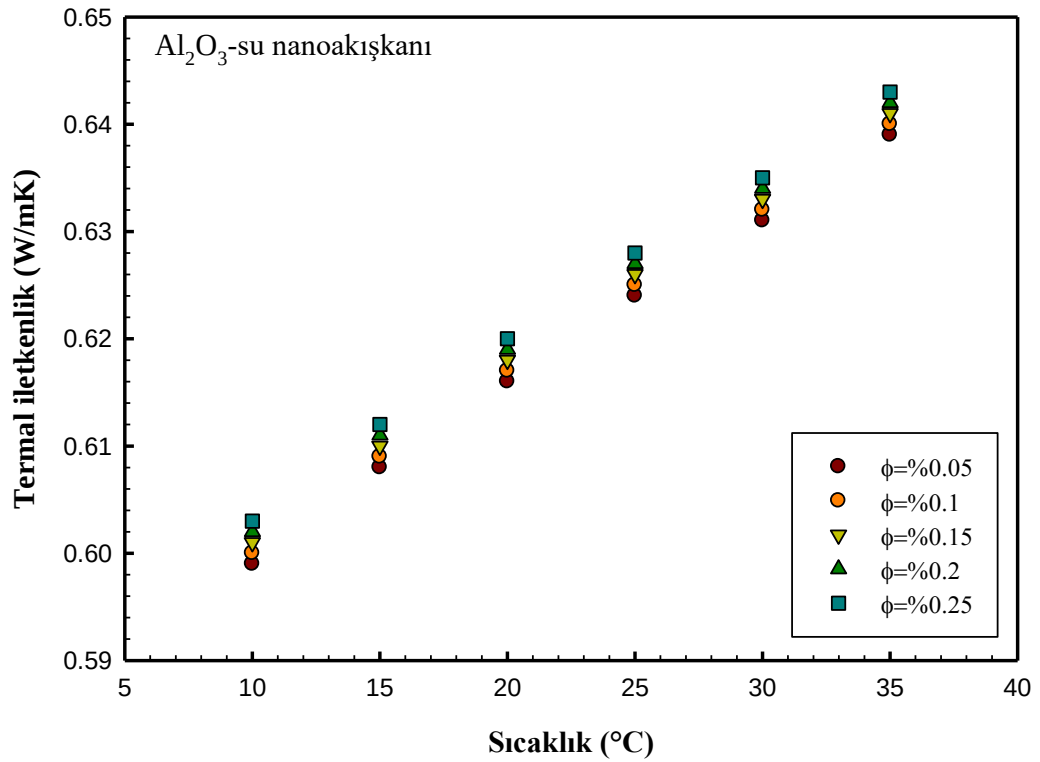
şekil 5.1’de KD2 Pro cihazı ile termal iletkenlik özelliği ölçülen saf suya ait değerlerin literatürde yer alan referans değerleri ile karşılaştırılması verilmiştir (Wylen ve Sonntag, 1986). Buna göre KD2 Pro %2’den daha az hata ile ölçüm yapmaktadır, böylece deneysel sonuçlar hassas ve güvenilirdir. şekil 5.2-5.4’te Al₂O₃-su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatürde yer alan modeller ile hacimsel derişime ve sıcaklığa bağlı değişimi verilmiştir. Hacimsel derişim ve sıcaklık artışı ile termal iletkenlik değerleri artmaktadır. Örneğin, 30°C’de %0.05 ve %0.25 hacimsel derişime sahip Al₂O₃-su nanoakışkanının termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.631 ve 0.638 W/mK’dır.



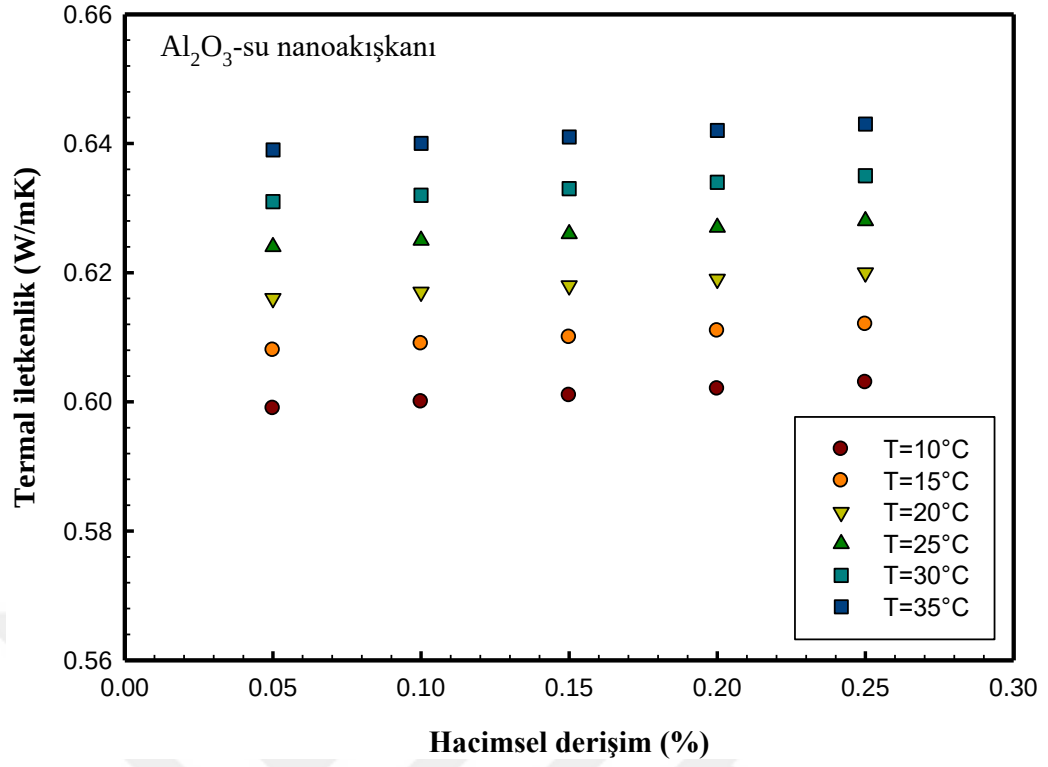
şekil 5.1. KD2 Pro ile termal iletkenliği ölçülen saf suyun deneysel ve referans değerlerinin karşılaştırılması



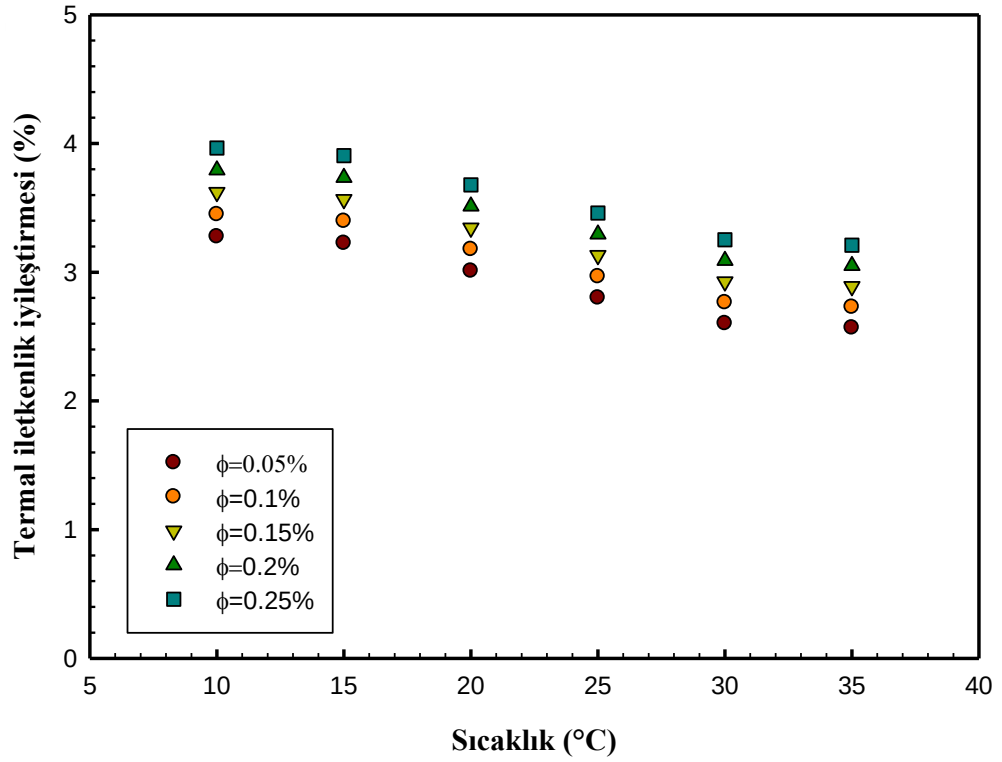
Şekil 5.2. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



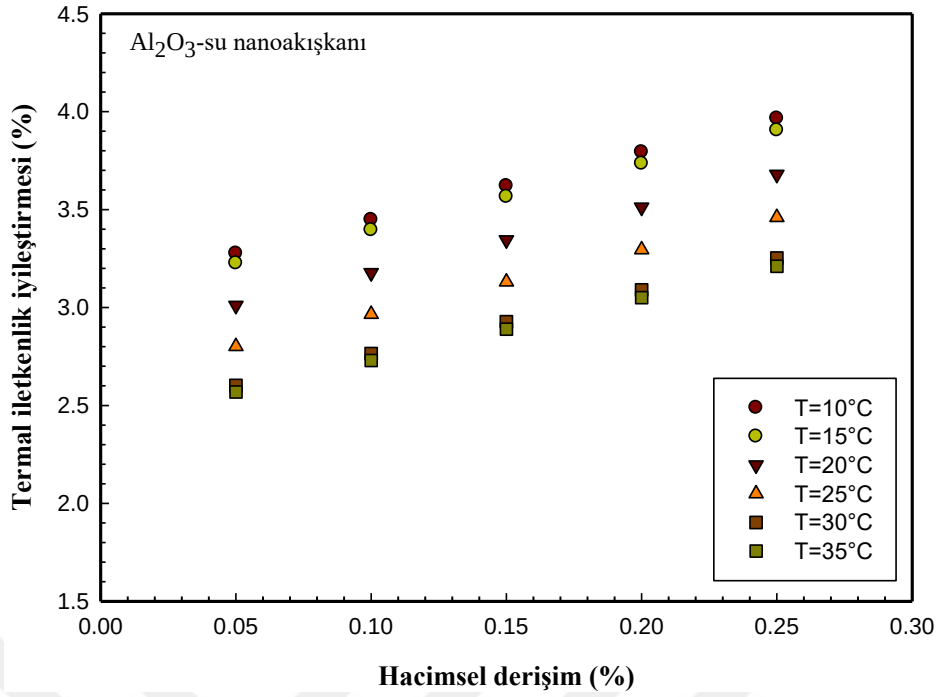
Şekil 5.3. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-su nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi



Şekil 5.4. Farklı sıcaklık değerlerinde Al₂O₃-su nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.5. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değişimi



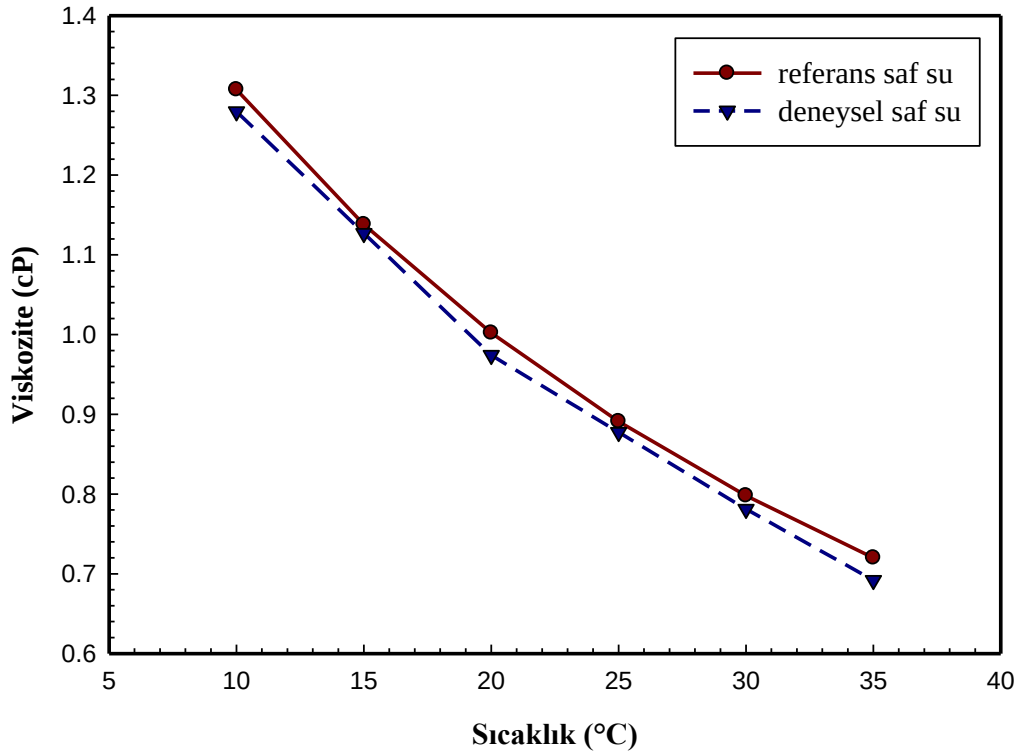
Şekil 5.6. Farklı sıcaklıklarda Al₂O₃-su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değişimi

Şekil 5.5-5.6’da Al₂O₃-su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerlerinin baz akışkan olan saf suya kıyasla iyileşmesi sıcaklık ve hacimsel derişime bağlı değişimi verilmiştir. Hacimsel derişim artarken termal iletkenlikte iyileşme artmaktadır. Örneğin, 25°C’de %0.1 ve %0.2 hacimsel derişime sahip Al₂O₃-su nanoakışkanında elde edilen termal iletkenlik iyileşmesi %2.96 ve %3.29’dur. Sıcaklık artarken ise termal iletkenlik iyileşmesinde azalma olmaktadır. Örneğin, %0.25 hacimsel derişime sahip Al₂O₃-su nanoakışkanı 10°C ve 30°C sıcaklıklarındaki termal iletkenlik iyileşmesi sırası ile %3.96 ve %3.25’dir.

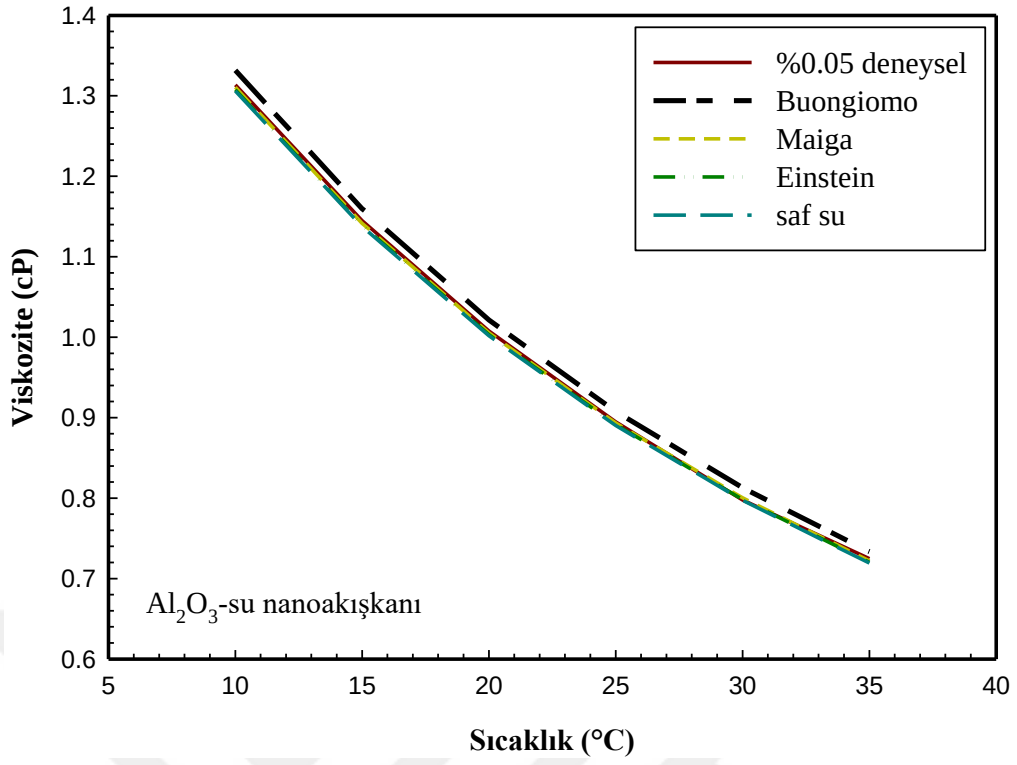
5.1.2 Al₂O₃-su nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları

Şekil 5.7’de saf suyun referans ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir (Wylen ve Sonntag, 1986). Buna göre viskozite özelliği için deneysel sonuçların hata payı azdır. Şekil 5.8-5.14’te %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve literatürde yer alan Buongiorno, Maiga, Einstein modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Deneysel viskozite değerlerine en yakın model ise Buongiorno ve Maiga viskozite modelleridir. Al₂O₃-su nanoakışkanının viskozite değerleri sıcaklık arttığında azalırken hacimsel derişim arttığında viskozite değerleri artmaktadır.

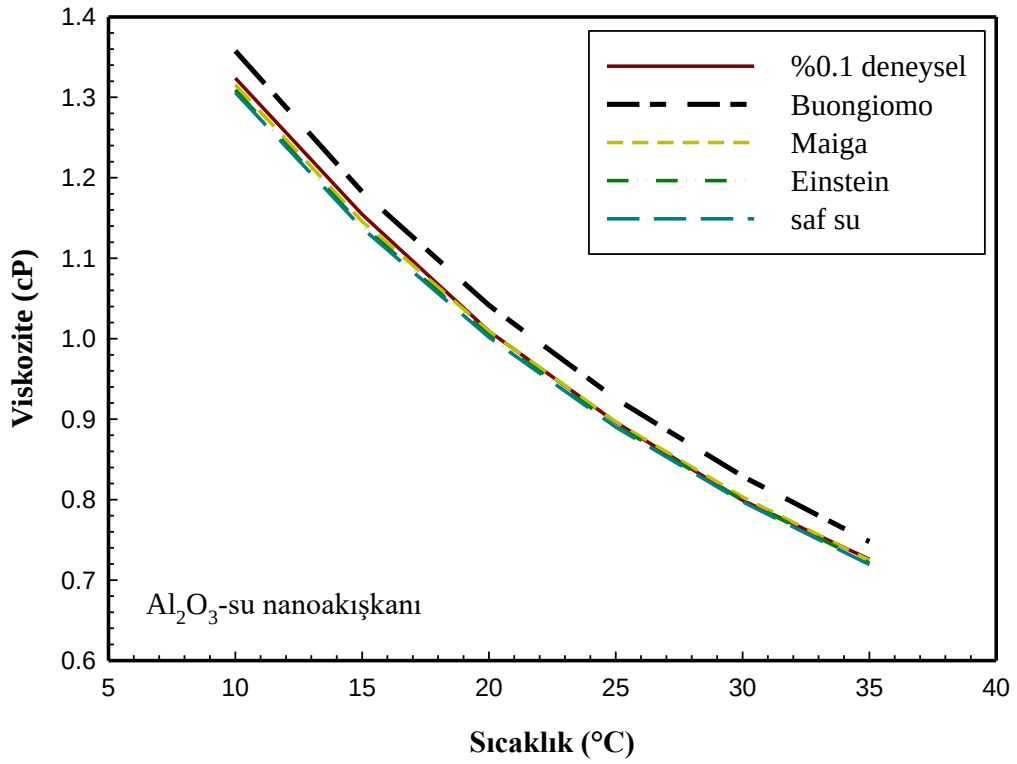
Örneğin, %0.15 hacimsel derişime sahip Al₂O₃-su nanoakışkanı 10°C, 20°C ve 30°C sıcaklıklarında viskozite değerleri sırası ile 1.334, 1.027 ve 0.832 cP’dir. Aynı şekilde %0.25 hacimsel derişime sahip Al₂O₃-su nanoakışkanı 10°C, 20°C ve 30°C sıcaklıklarında viskozite değerleri ise sırası ile 1.431, 1.111 ve 0.883 cP’dir.



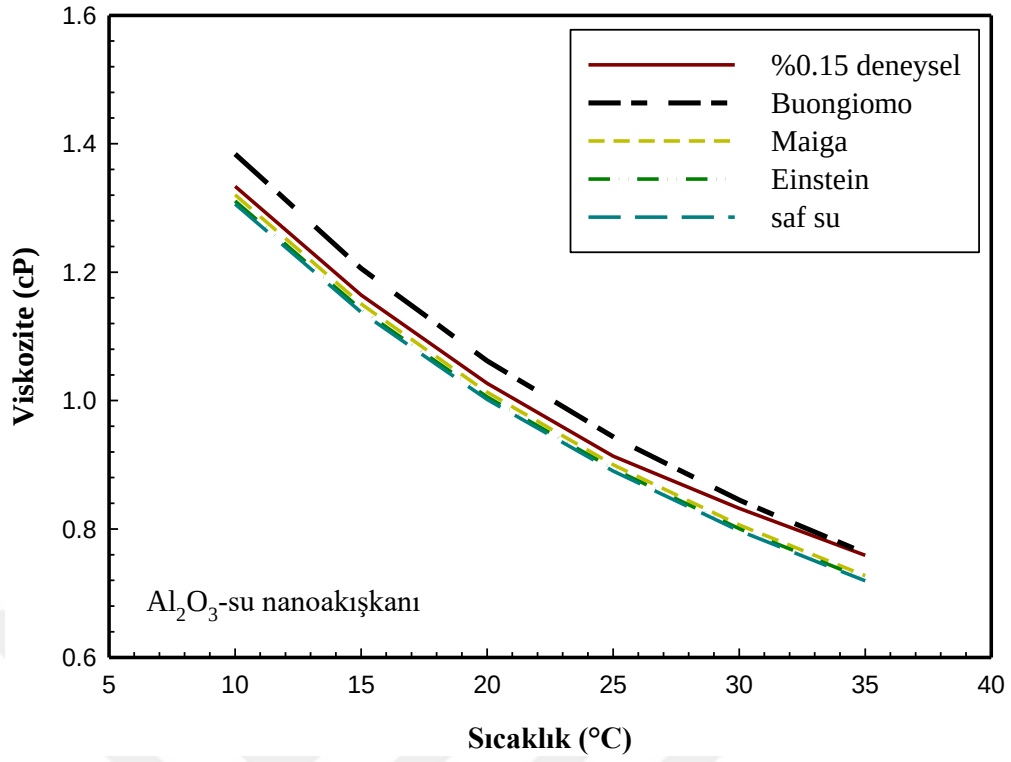
Şekil 5.7. Saf suyun referans viskozite değerleri ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması



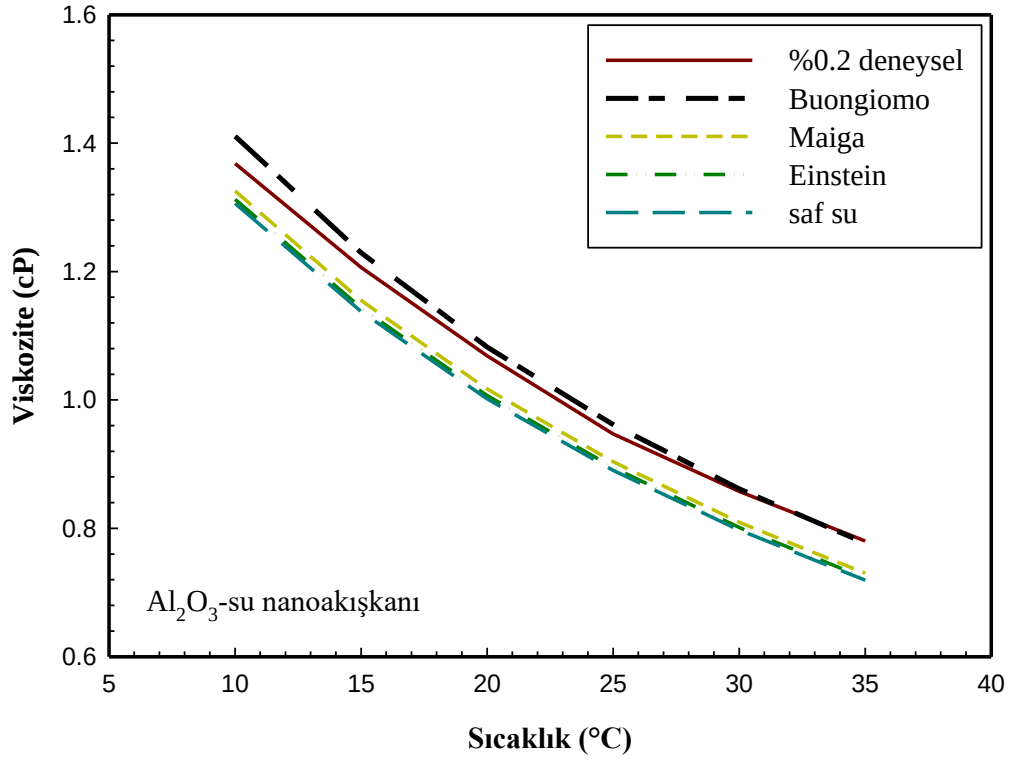
Şekil 5.8. %0.05 Al_2O_3 -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



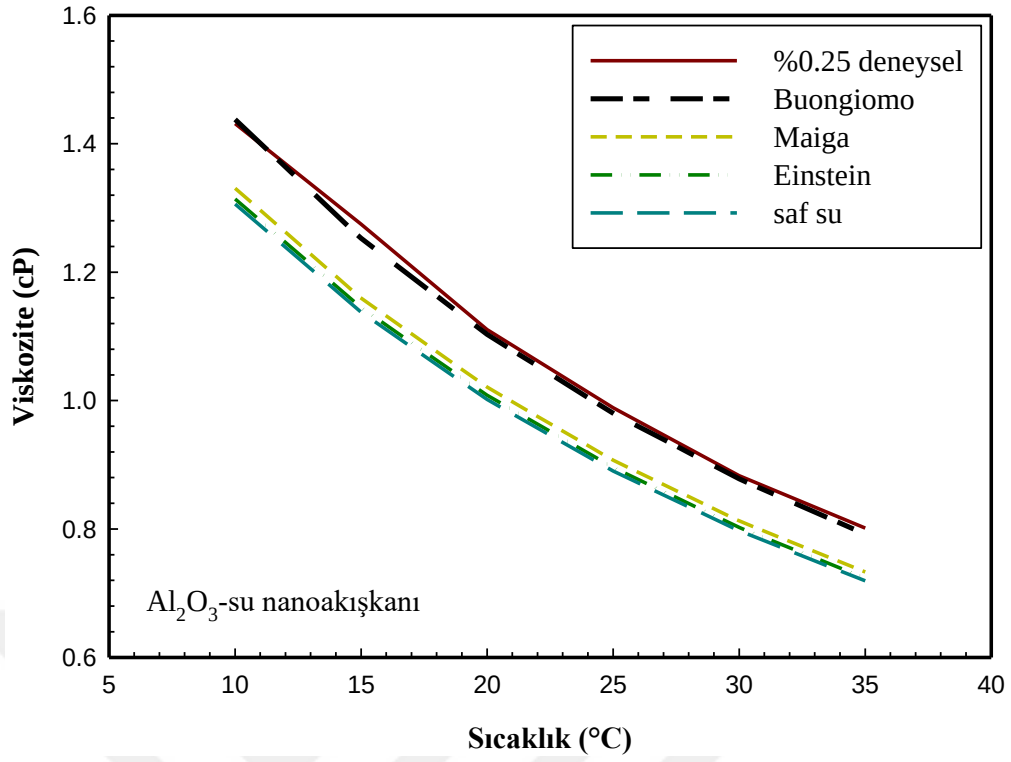
Şekil 5.9. %0.1 Al_2O_3 -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



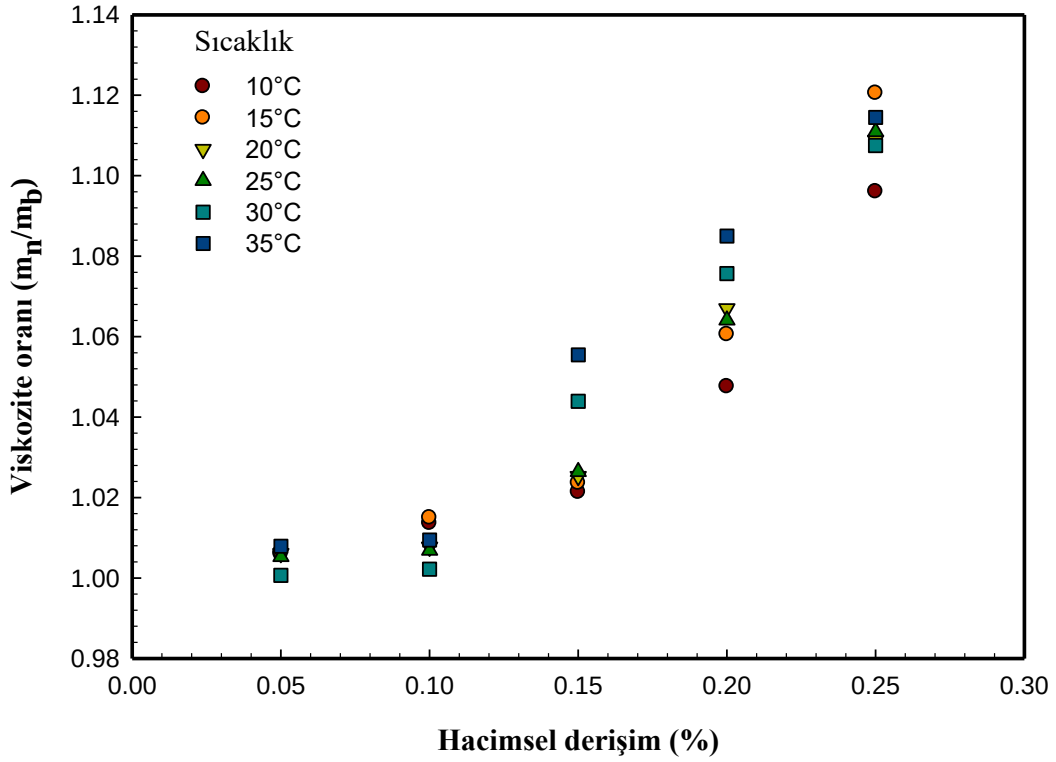
Şekil 5.10. %0.15 Al₂O₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



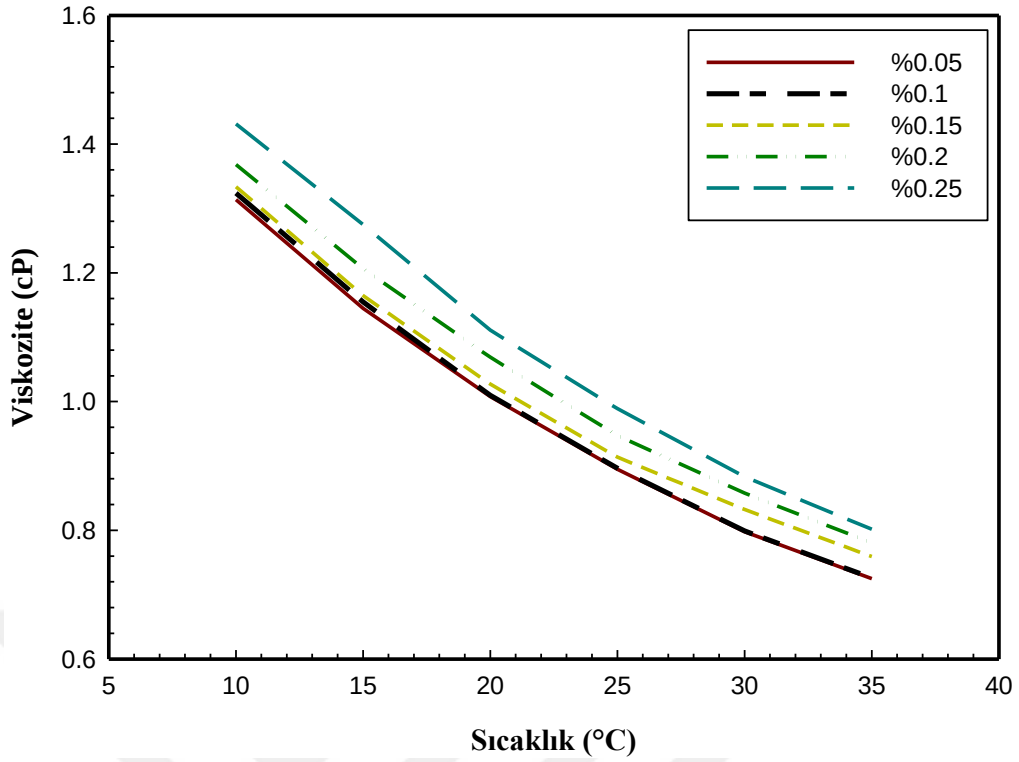
Şekil 5.11. %0.2 Al₂O₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 5.12. %0.25 Al_2O_3 -su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 5.13. Al_2O_3 -su nanoakışkanının viskozite oranı

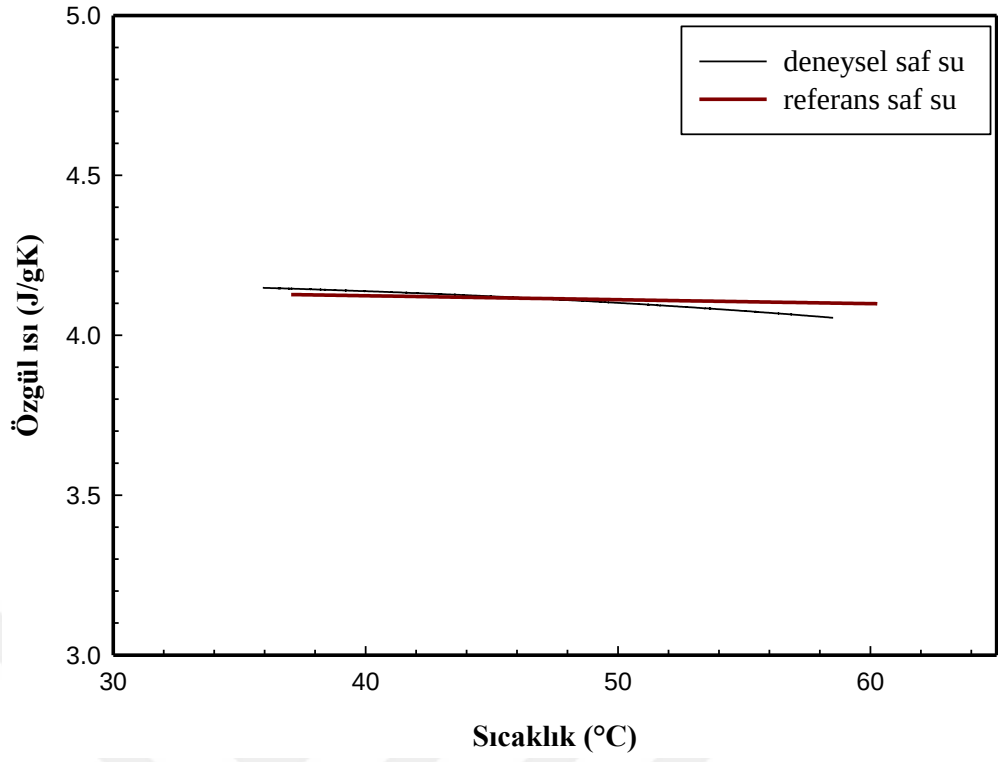


Şekil 5.14. Farklı derişimlere sahip Al_2O_3 -su nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değışimi

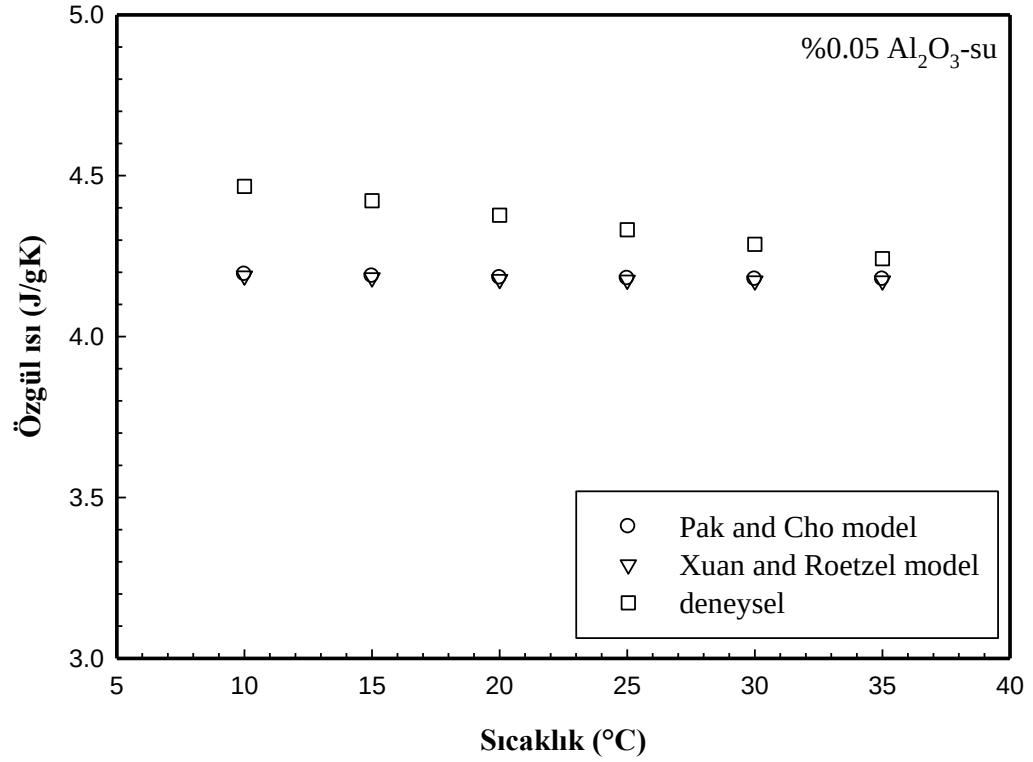
5.1.3 Al_2O_3 -su nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları

Şekil 5.15'te saf suyun referans özgül ısı değeri ve deneysel sonuçları verilmiştir (Wylen ve Sonntag, 1986). Buna göre özgül ısı deneylerinin hata yüzdesi düşüktür. Şekil 5.16-5.26'da %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip Al_2O_3 -su nanoakışkanının deneysel özgül ısı değeri sıcaklığa bağlı değışimi ve literatürde yer alan Pak and Cho ve Xuan and Roetzel viskozite modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Deneysel viskozite değeri literatür modellerine yakınlık göstermektedir. Al_2O_3 -su nanoakışkanının özgül ısı değeri sıcaklık artışı ile azalmaktadır.

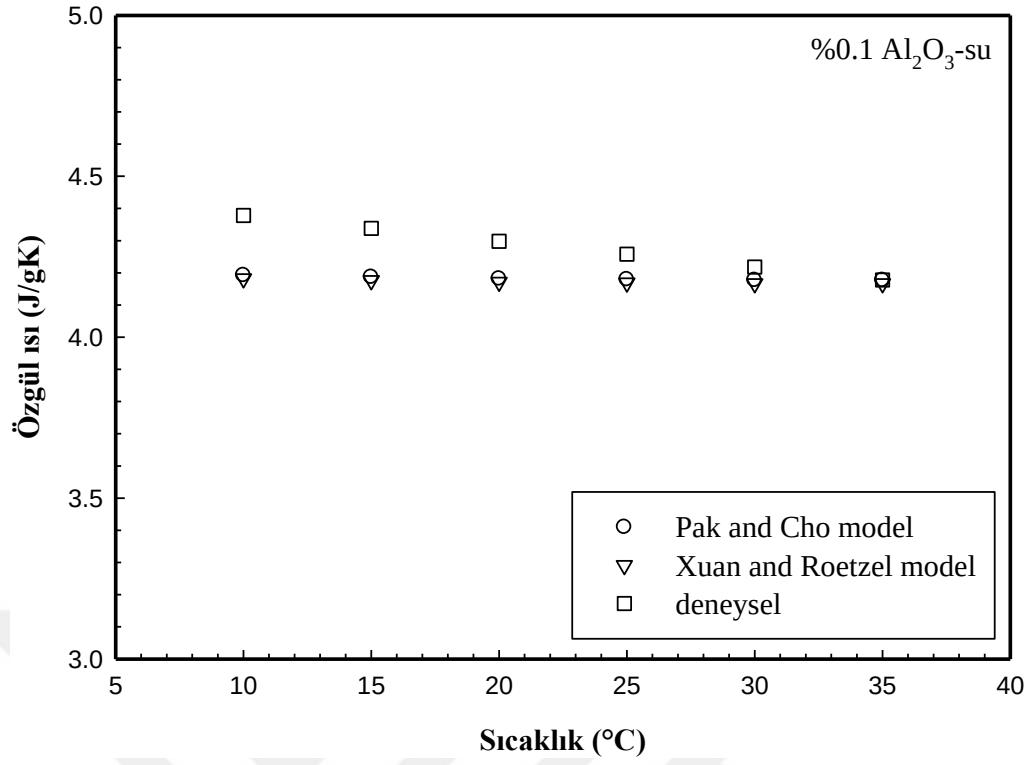
Örneğin, %0.05 hacimsel derişime sahip Al_2O_3 -su nanoakışkanının 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklarında özgül ısı değeri sırası ile 4.422, 4.332 ve 4.242 J/gK'dir. Aynı şekilde %0.15 hacimsel derişime sahip Al_2O_3 -su nanoakışkanının 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklarında özgül ısı değeri sırası ile 4.289, 4.209 ve 4.129 J/gK'dir.



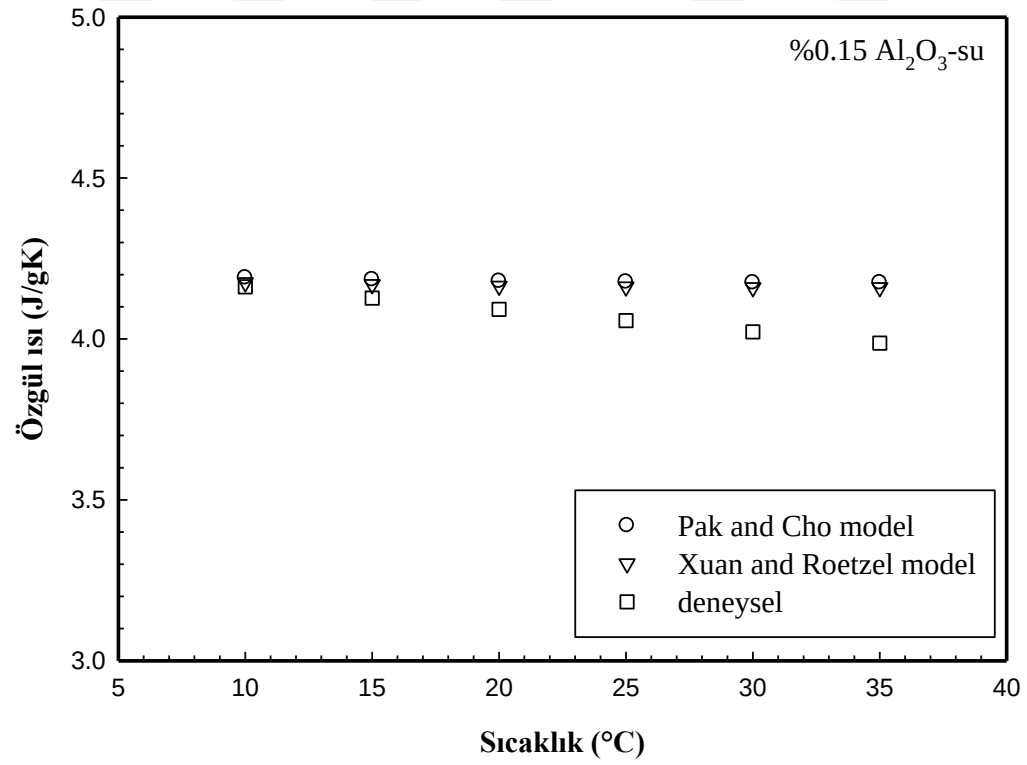
Şekil 5.15. Saf suyun referans özgül ısı değerleri ve deneysel sonuçlarının karşılaştırılması



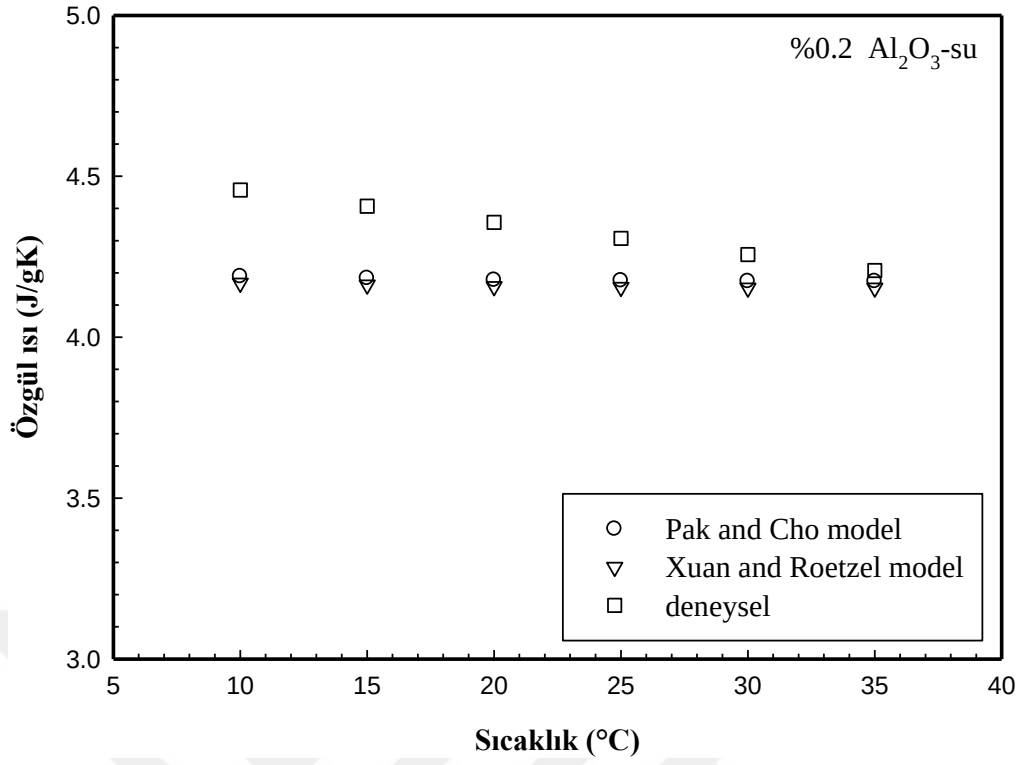
Şekil 5.16. %0.05 Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



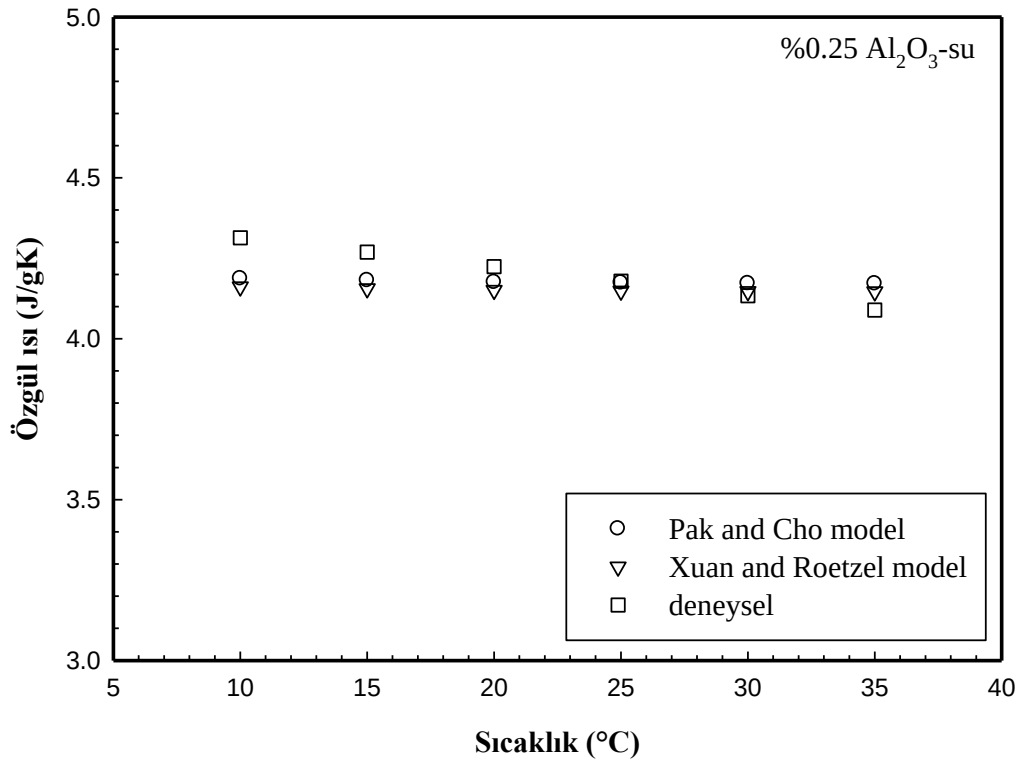
Şekil 5.17. %0.1 Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



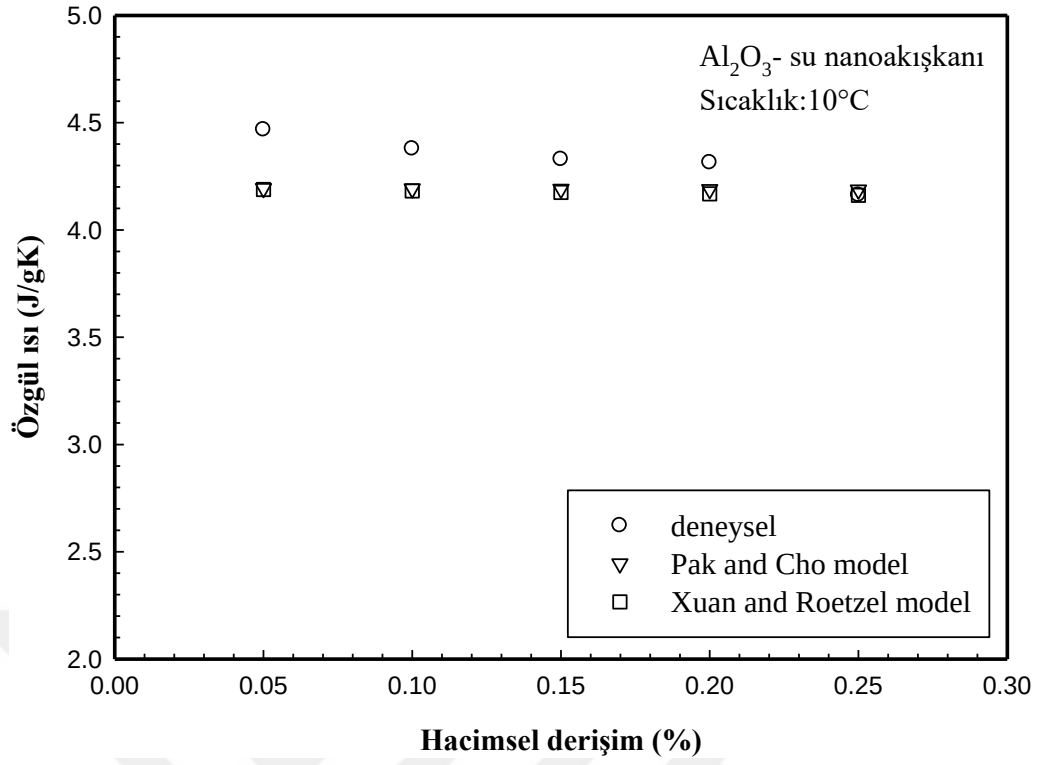
Şekil 5.18. %0.15 Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



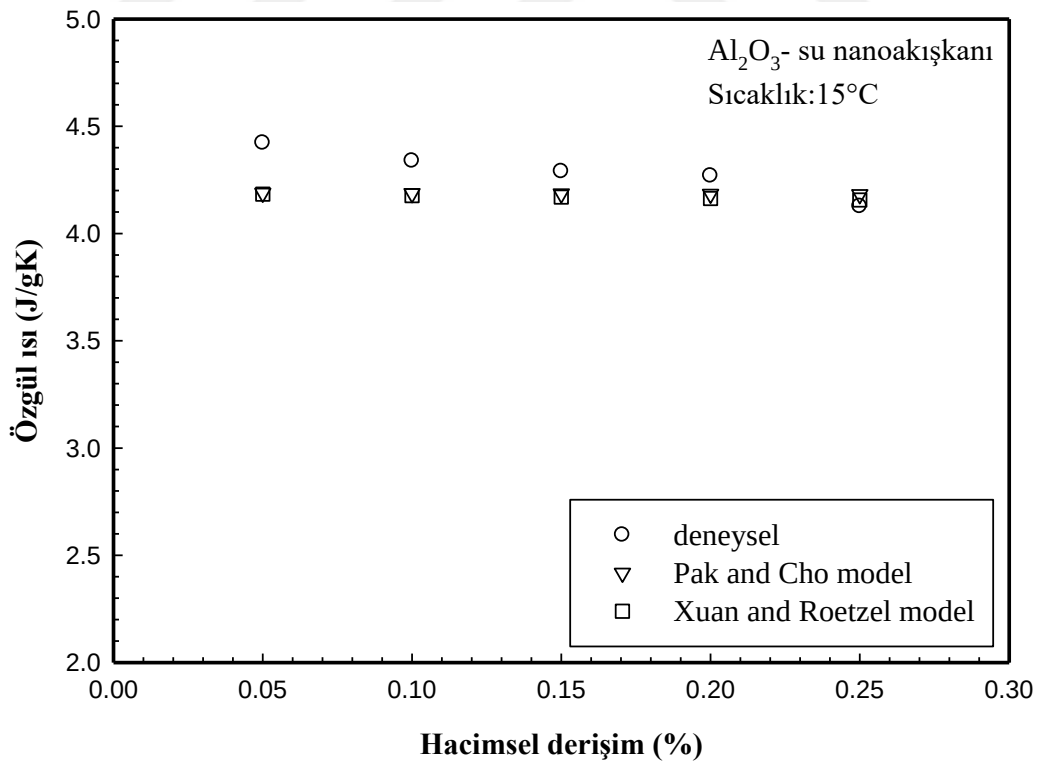
Şekil 5.19. %0.2 Al_2O_3 -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



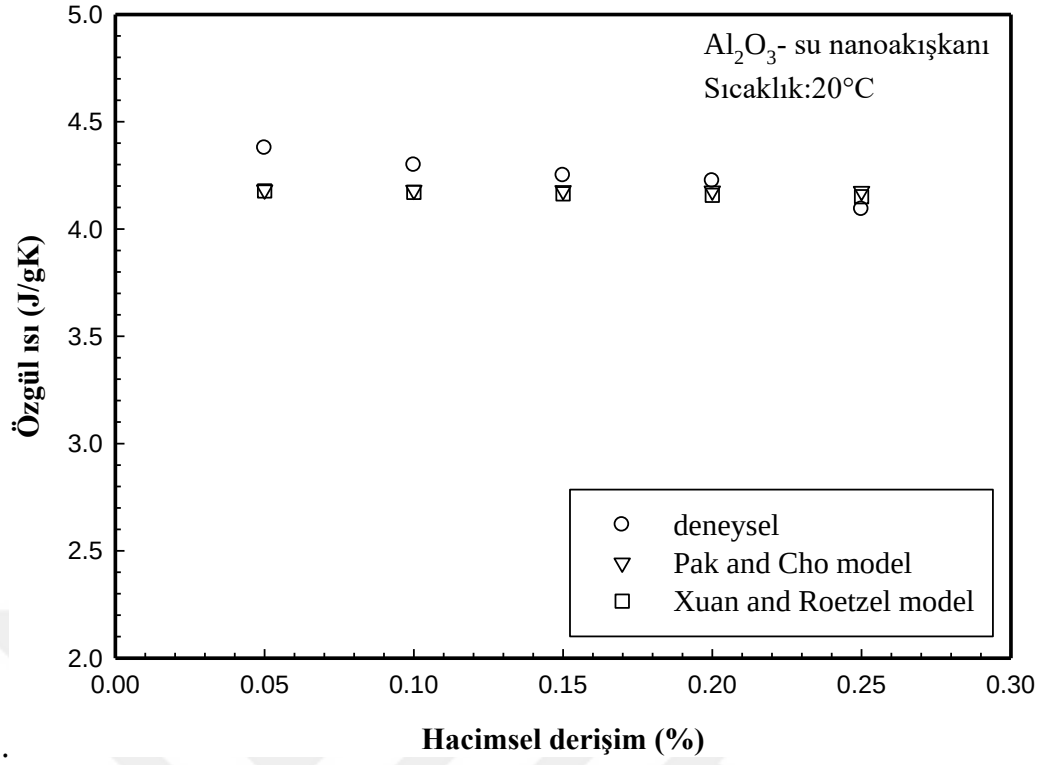
Şekil 5.20. %0.25 Al_2O_3 -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



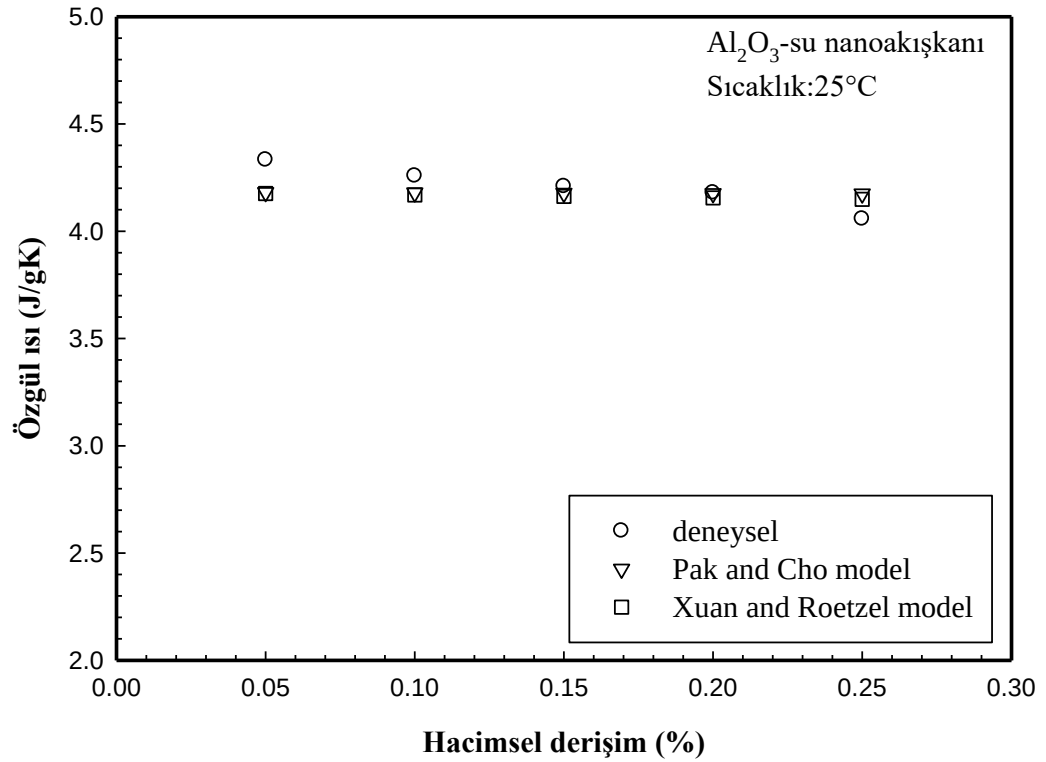
Şekil 5.21. 10°C’de Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



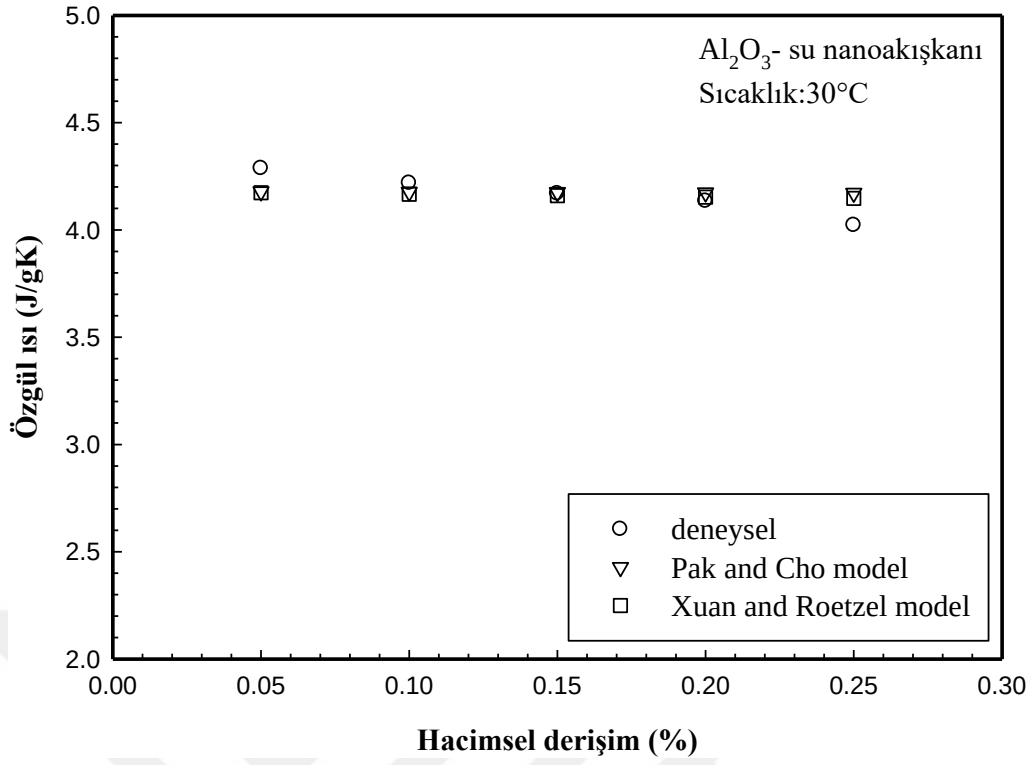
Şekil 5.22. 15°C’de Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



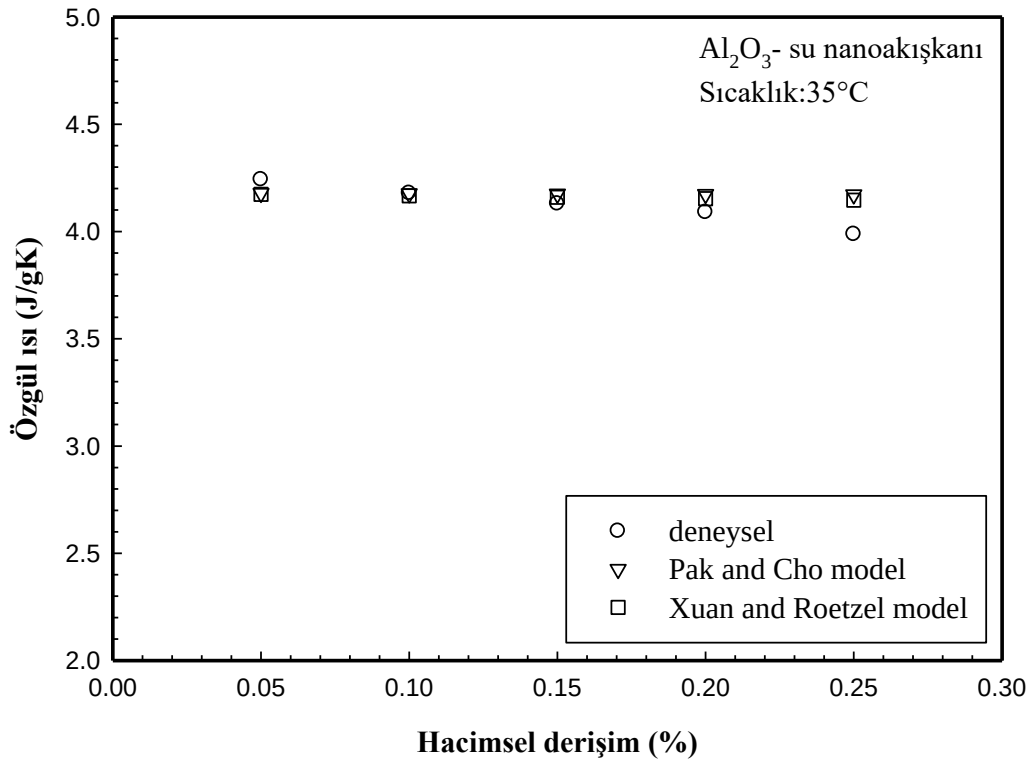
Şekil 5.23. 20°C’de Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



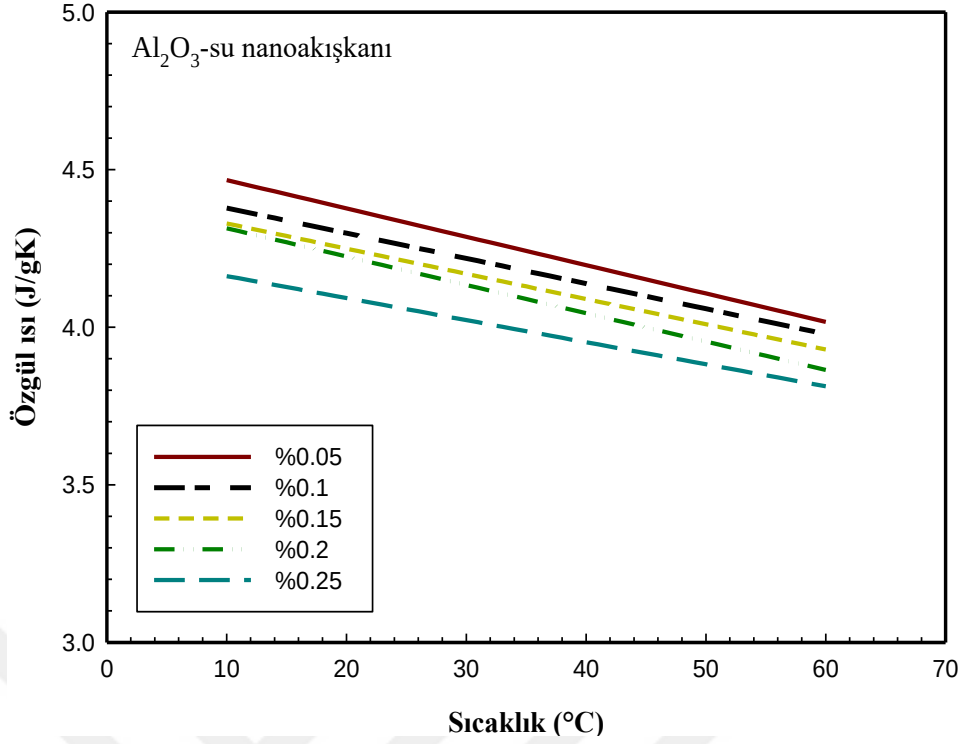
Şekil 5.24. 25°C’de Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.25. 30°C’de Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.26. 35°C’de Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



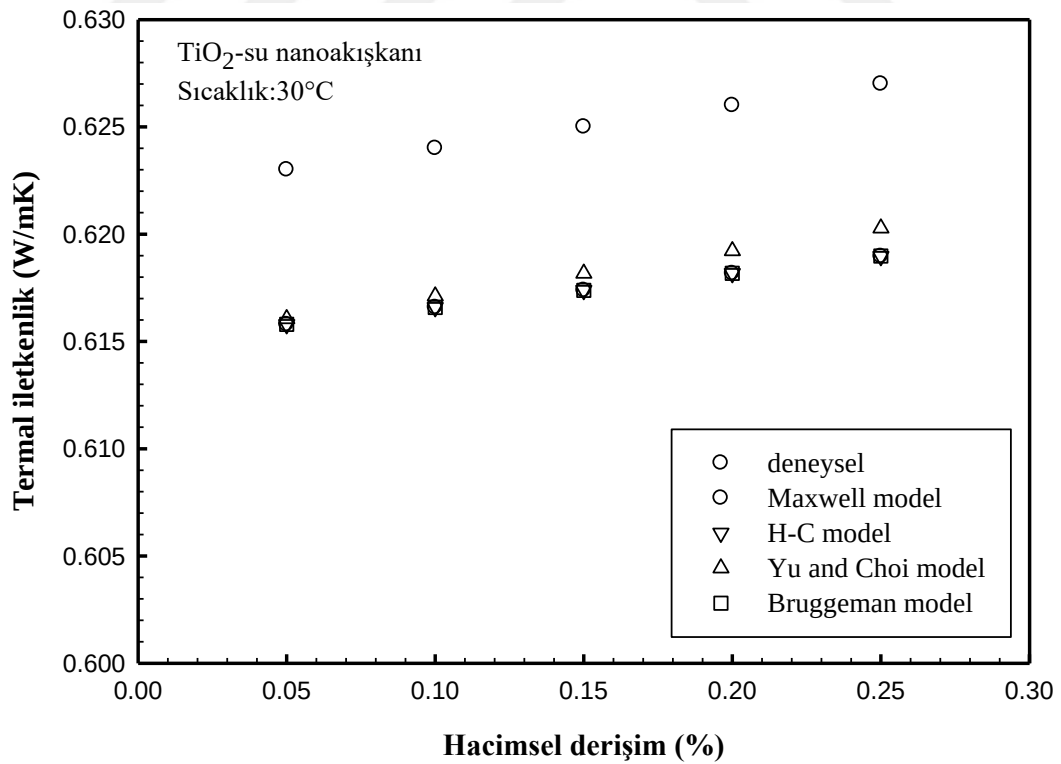
Şekil 5.27. Al₂O₃-su nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi

Şekil 5.21-5.26'da 10-35°C sıcaklık aralığında Al₂O₃-su nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerlerinin hacimsel derişime bağılı değişimi verilmiştir. Şekil 5.27'de Al₂O₃-su nanoakışkanının %0.05-0.25 hacimsel derişim aralığında özgül ısı değerlerinin sıcaklığa göre değişimi verilmiştir. Özgül ısı değerleri hacimsel derişim arttığında azalma göstermektedir. Örneğin, 30°C'de %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-su nanoakışkanının özgül ısı değerleri sırası ile 4.287, 4.169 ve 4.022 J/gK'dir. Aynı şekilde 50°C'de %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-su nanoakışkanının özgül ısı değerleri sırası ile 4.107, 4.099 ve 3.882 J/gK'dir.

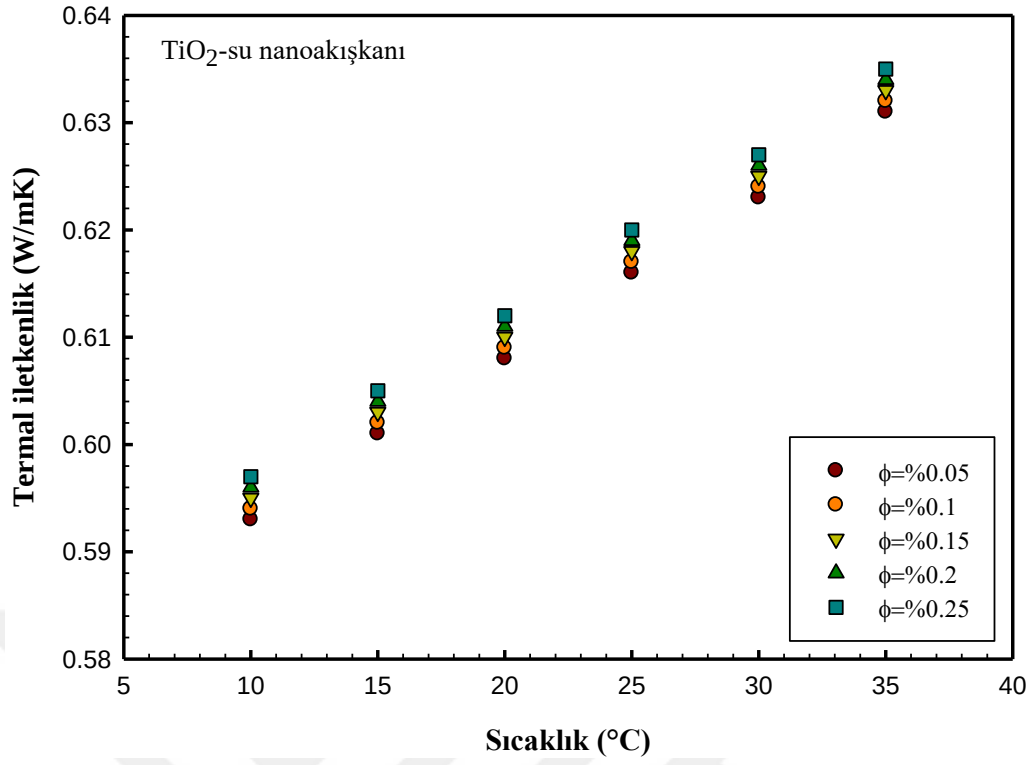
5.2 TiO₂-su Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

5.2.1 TiO₂-su nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları

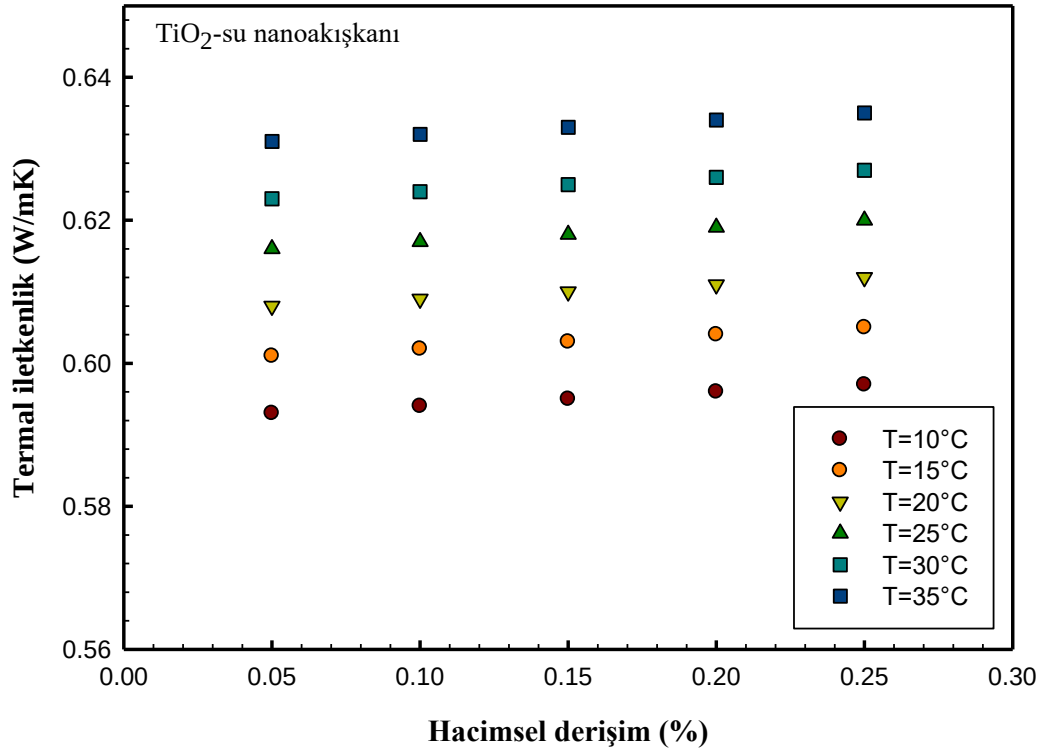
şekil 5.28’de TiO₂-su nanoakışkanının 30°C’de deneysel termal iletkenlik değerlerinin hacimsel derişime bağlı literatürde yer alan Maxwell, Hamilton-Crosser, Yu and Choi ve Bruggeman termal iletkenlik modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Termal iletkenlik modelleri arasında Yu and Choi modeli deneysel verilere uyum sağlamaktadır. şekil 5.29 ve şekil 5.30’da %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip TiO₂-su nanoakışkanının 10-35°C sıcaklık aralığında deneysel termal iletkenlik değerlerinin sıcaklığa ve hacimsel derişime bağlı değişimi verilmiştir. Nanoakışkanın termal iletkenlik sıcaklık ve hacimsel derişimdeki artış ile artmaktadır. Örneğin, 25°C’de %0.1 ve %0.2 hacimsel derişime sahip TiO₂-su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.617 ve 0.619 W/mK’dır. Aynı şekilde %0.25 hacimsel derişime sahip TiO₂-su nanoakışkanı 20°C ve 30°C sıcaklıklarda termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.612 ve 0.627 W/mK’dır.



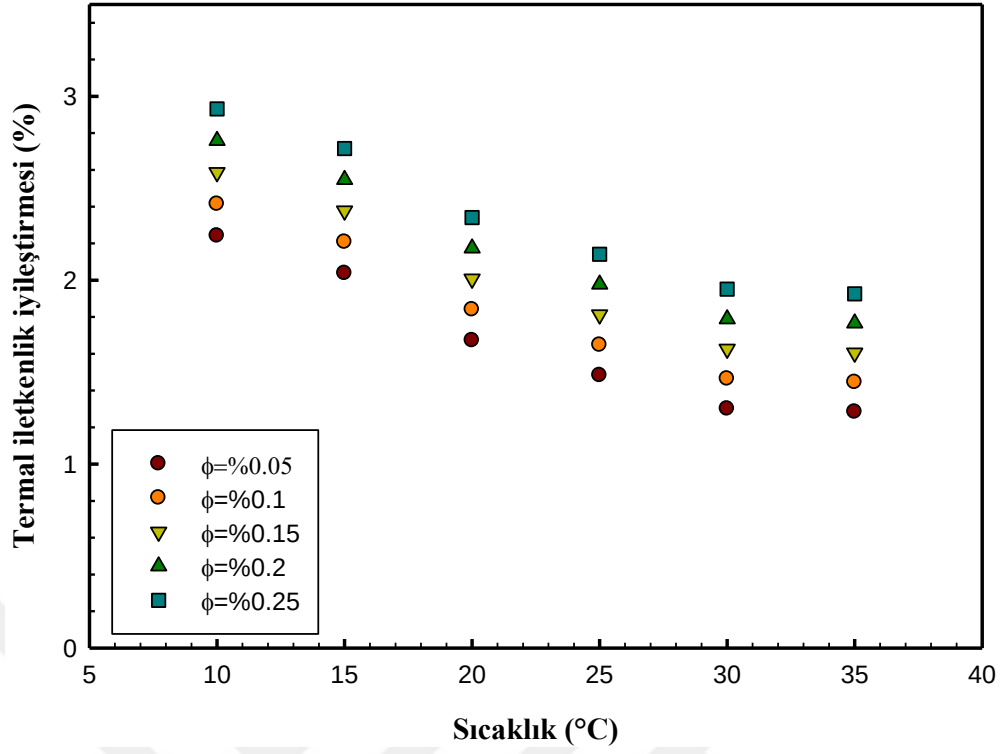
şekil 5.28. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



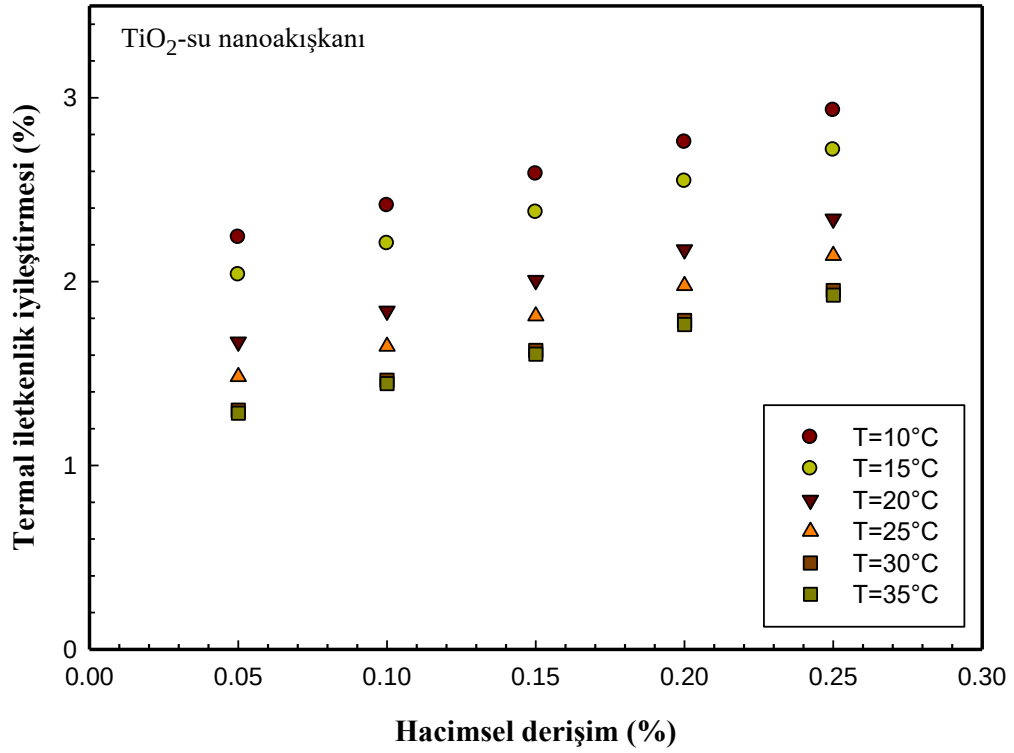
Şekil 5.29. Farklı hacimsel derişimlere sahip TiO₂-su nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değışimi



Şekil 5.30. Farklı sıcaklık değeriinde TiO₂-su nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değışimi



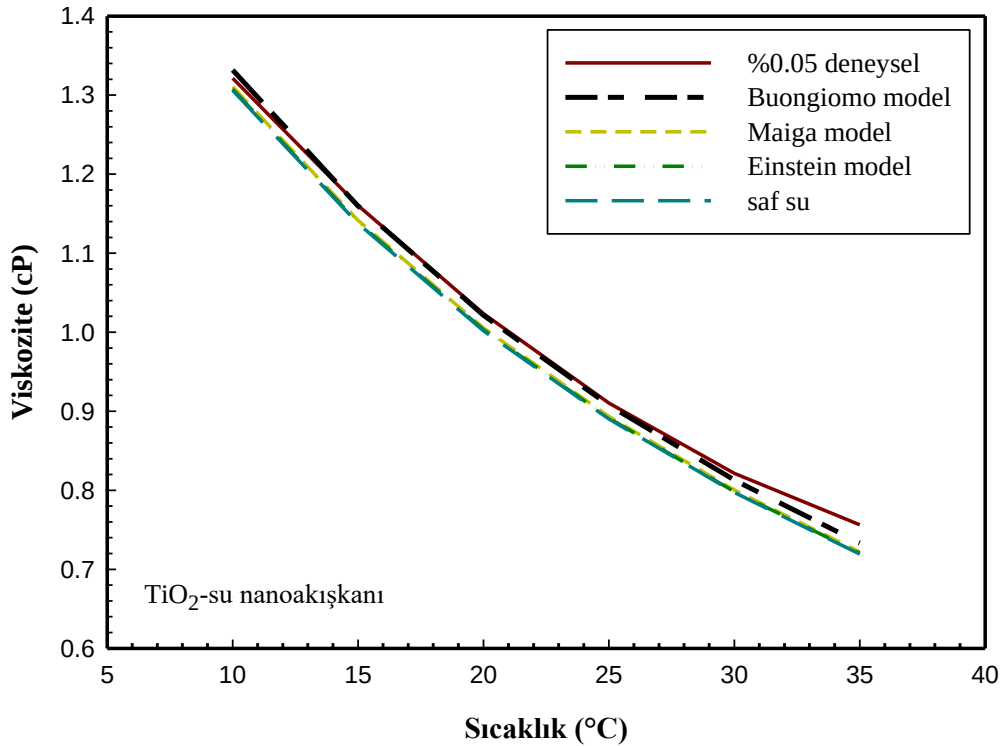
Şekil 5.31. Farklı hacimsel derişimlere sahip TiO_2 -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değişimi



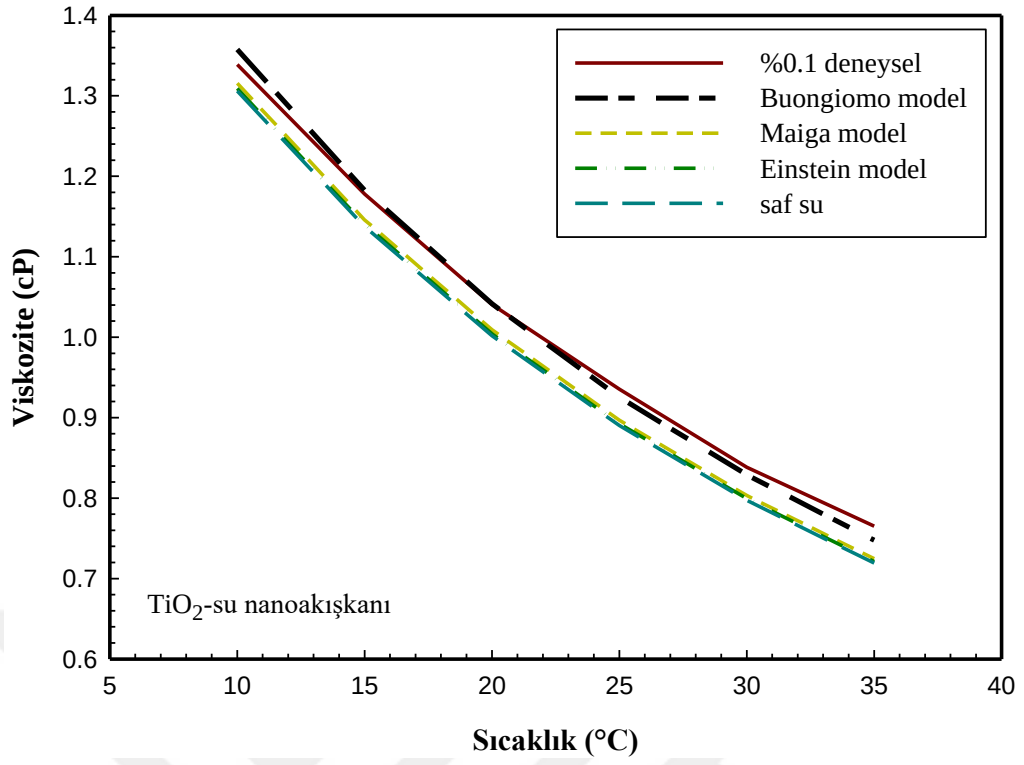
Şekil 5.32. Farklı sıcaklıklarda TiO_2 -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değişimi

5.2.2 TiO₂-su nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları

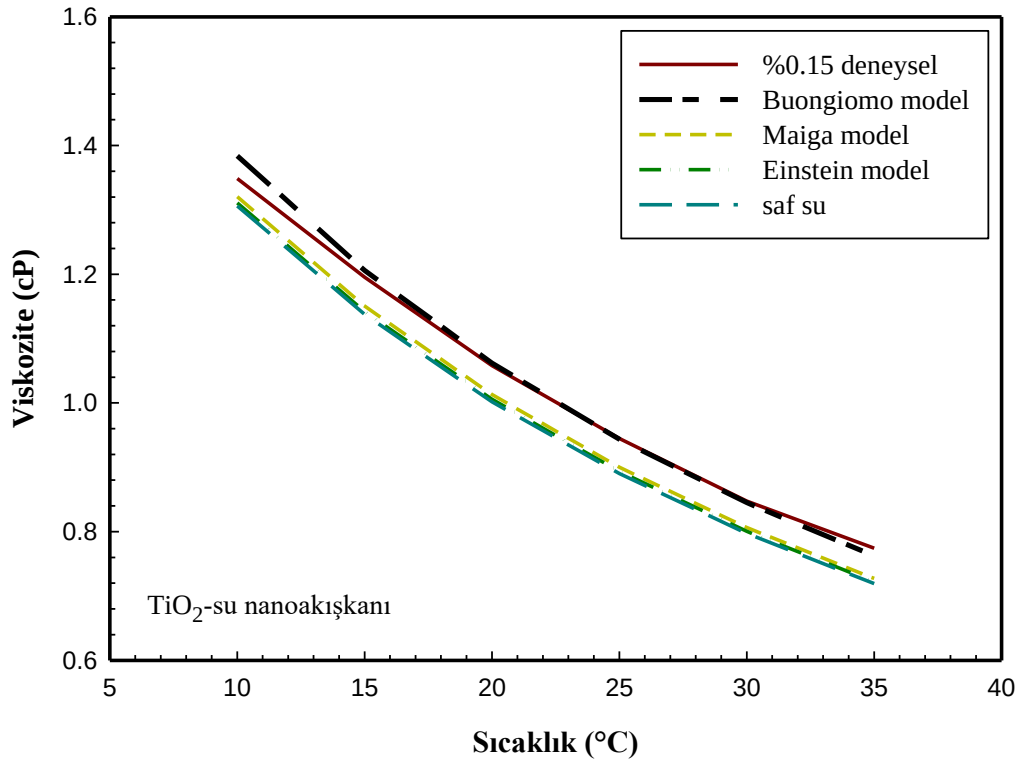
Şekil 5.33-5.37’de %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlerde TiO₂-su nanoakışkanının deneysel viskozite değeri sıcaklığa bağı olarak literatürde yer alan Buongiorno, Einstein ve Maiga viskozite modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. TiO₂-su nanoakışkanına ait viskozite değeri Buongiorno modeli ile uyum sağlamıştır. Ayrıca sıcaklık artarken viskozite değeri düşüş gerçekleşirken hacimsel derişim arttığında viskozite değeri artış gerçekleşmiştir. Şekil 5.38’de TiO₂-su nanoakışkanının baz akışkan olan saf suya kıyasla viskozite oranının hacimsel derişime bağı değişimi verilmiştir. Sıcaklık ve hacimsel derişimdeki artış ile viskozite oranı artmaktadır. Şekil 5.39’da TiO₂-su nanoakışkanın %0.05-%0.25 hacimsel derişim aralığında deneysel viskozite aralığının sıcaklığa bağı değişimi karşılaştırılmıştır. Örneğin, 20°C’de %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip TiO₂-su nanoakışkanının deneysel viskozite değeri sırası ile 1.023, 1.058 ve 1.099 cP’dir. %0.2 hacimsel derişime sahip TiO₂-su nanoakışkanının 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklarda deneysel viskozite değeri sırası ile 1.214, 0.971 ve 0.784 cP’dir.



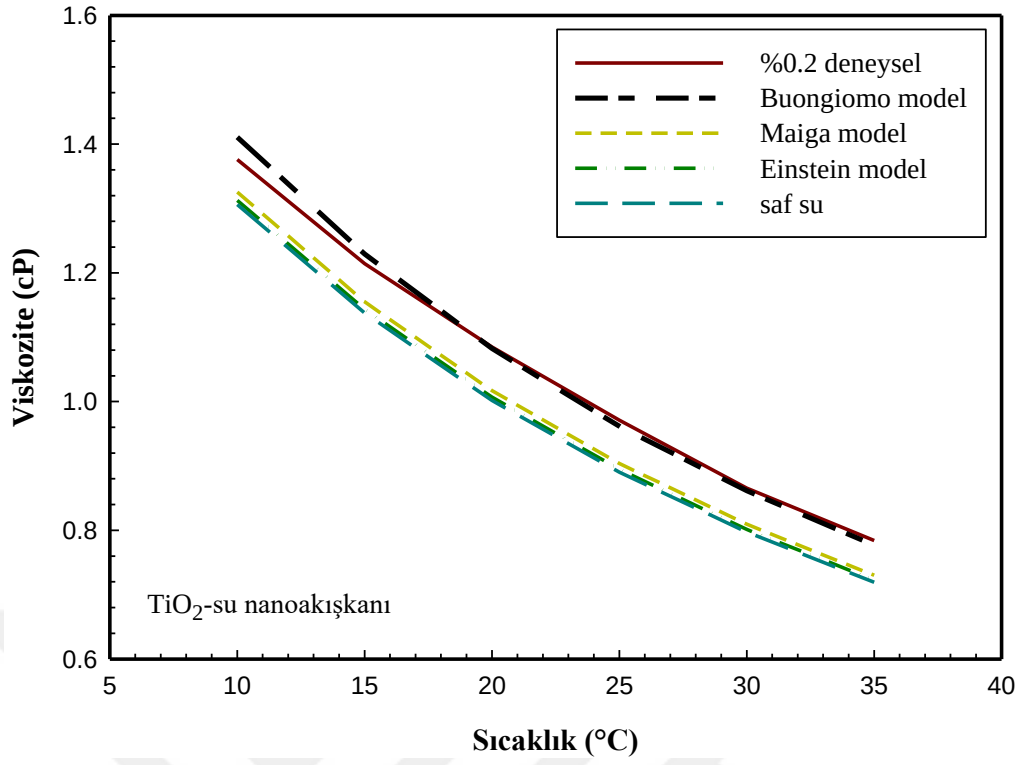
Şekil 5.33. %0.05 TiO₂-su nanoakışkanının deneysel viskozite değeri literatür modelleri ile karşılaştırılması



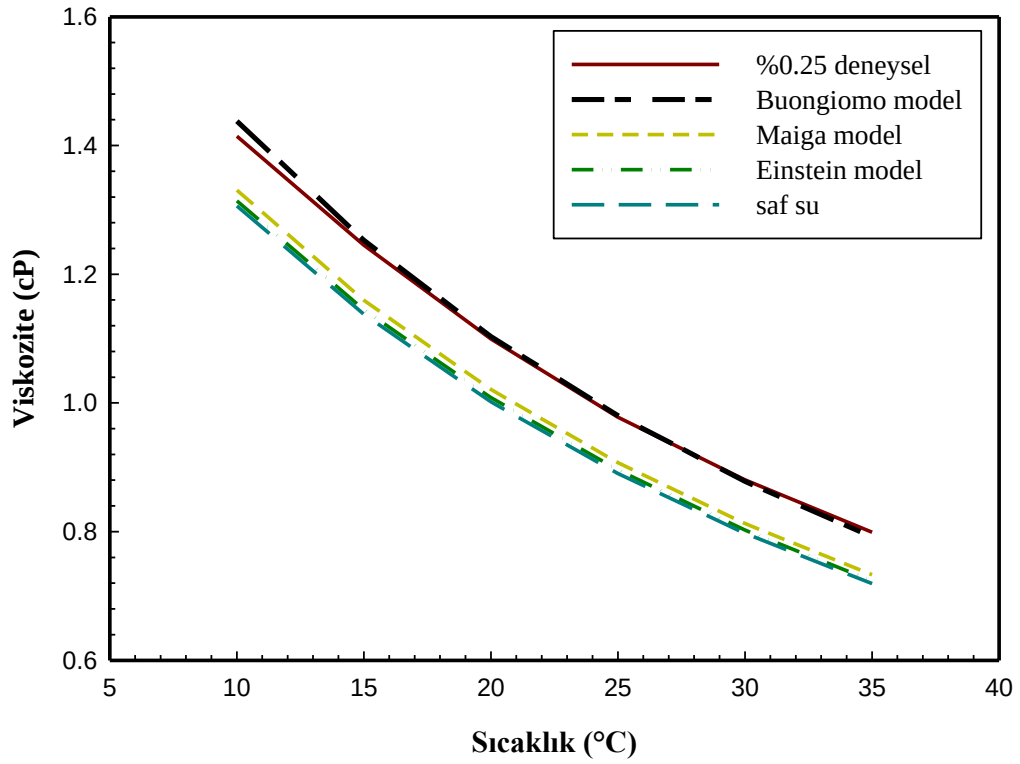
Şekil 5.34. %0.1 TiO₂-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



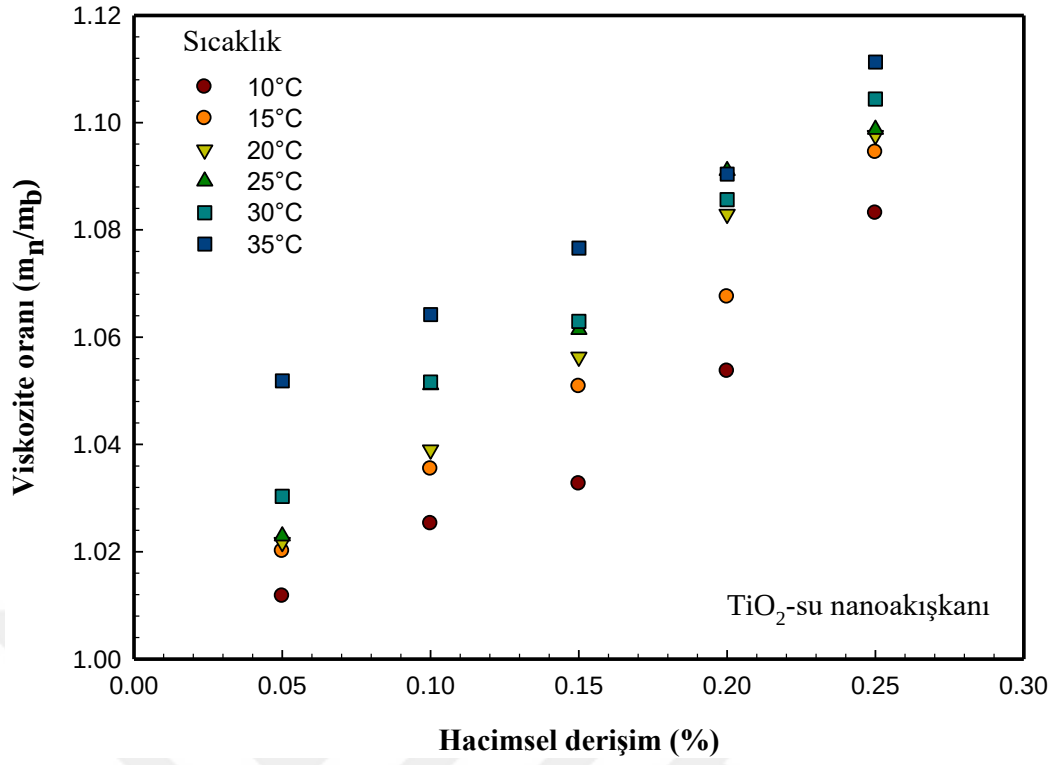
Şekil 5.35. %0.15 TiO₂-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



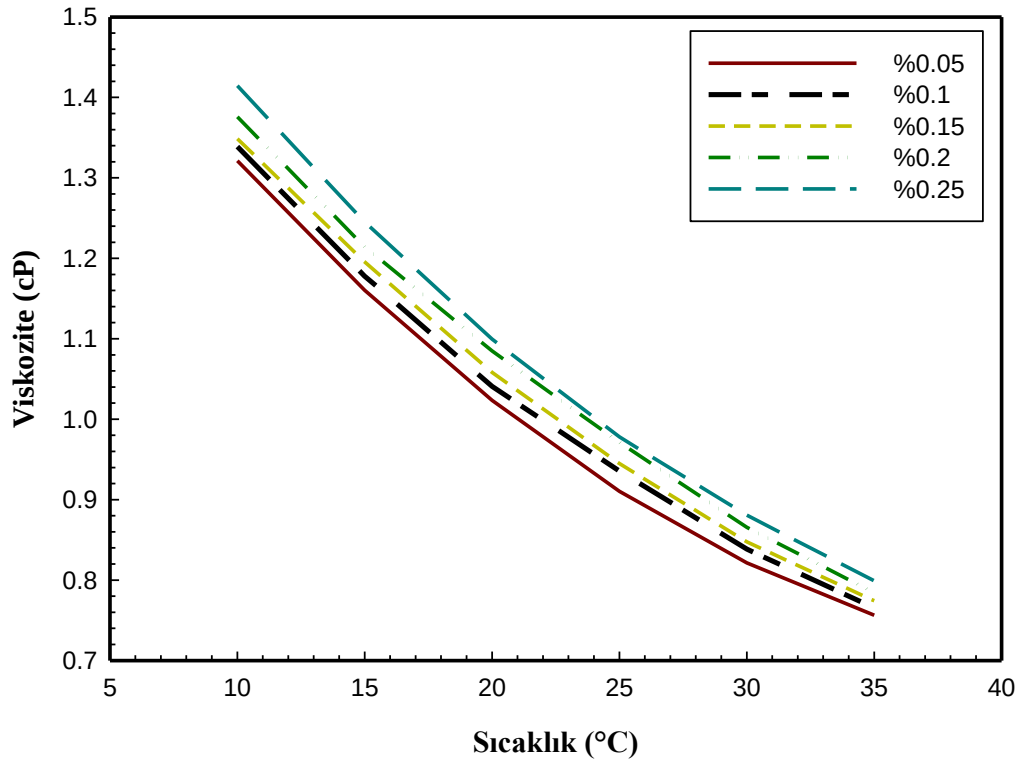
Şekil 5.36. %0.2 TiO₂-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 5.37. %0.25 TiO₂-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 5.38. TiO₂-su nanoakışkanının viskozite oranı

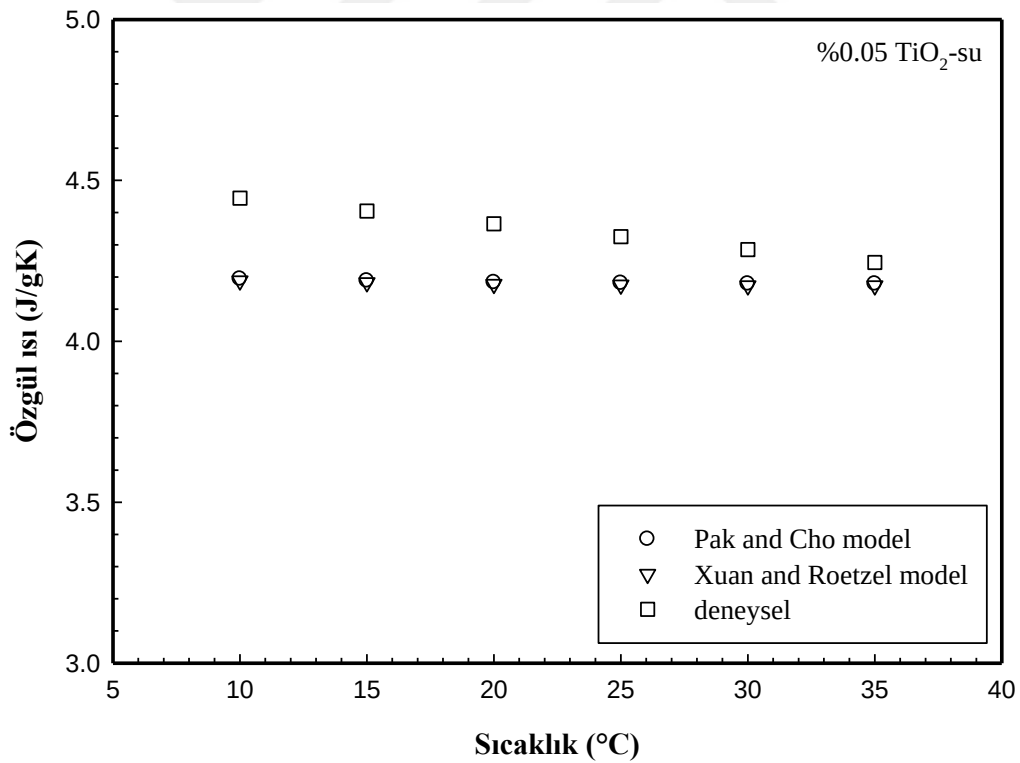


Şekil 5.39. Farklı derişimlere sahip TiO₂-su nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değışimi

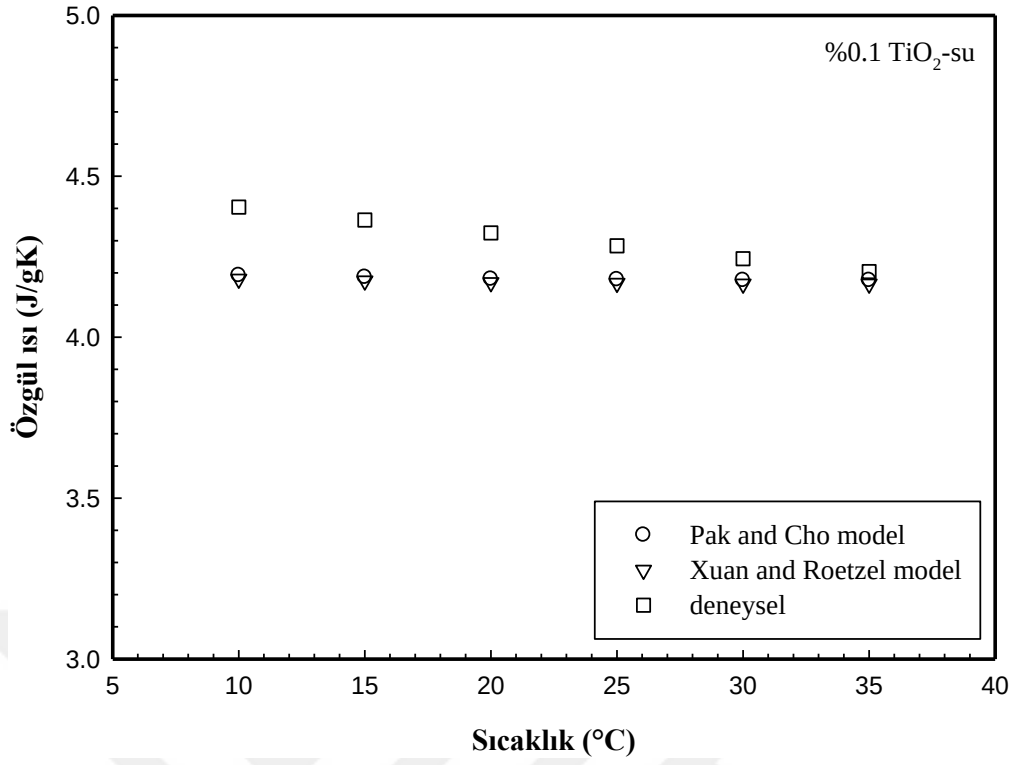
5.2.3 TiO₂-su nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları

Şekil 5.40-5.44'te %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip TiO₂-su nanoakışkanına ait deneysel özgül ısı değeri sıcaklığa bağılı değışimi literatürde yer alan Pak and Cho ve Xuan and Roetzel özgül ısı modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 5.45-5.50'de 10°C-35°C sıcaklık aralıklarında TiO₂-su nanoakışkanının deneysel özgül ısı değeri hacimsel derişime bağılı değışimi verilmiştir. Sıcaklık ve hacimsel derişimdeki artış ile nanoakışkanın özgül ısı değeri azalmaktadır.

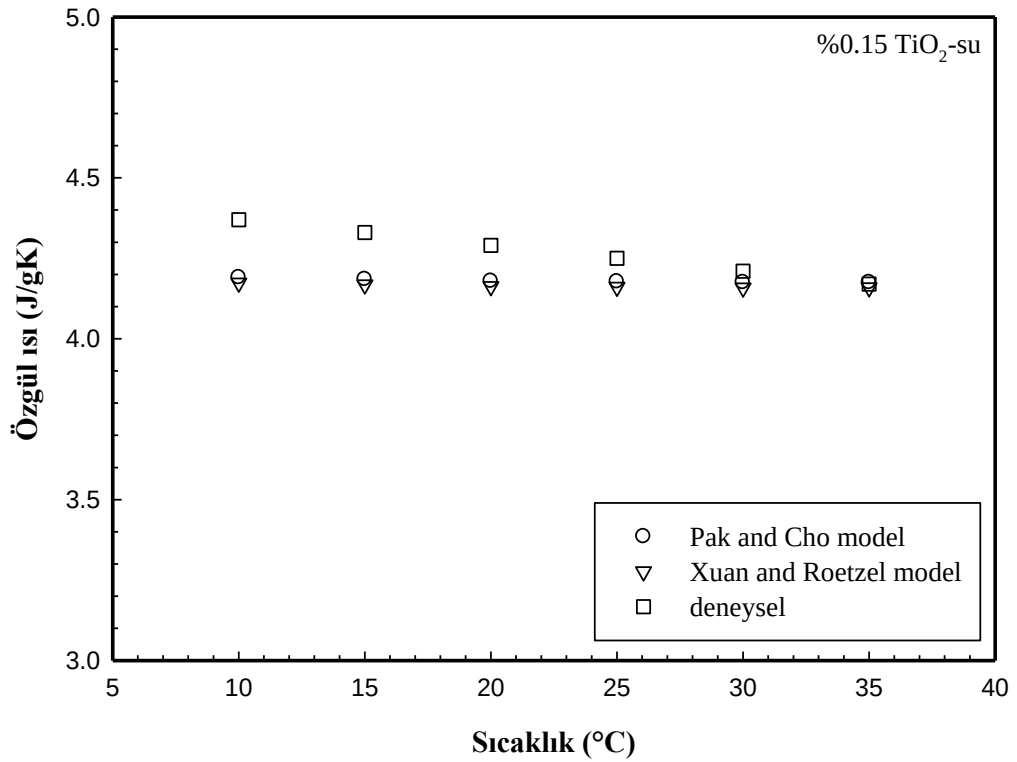
Örneğin, %0.2 hacimsel derişime sahip TiO₂-su nanoakışkanının 10°C, 20°C ve 30°C sıcaklıklarında deneysel özgül ısı değeri sırası ile 4.291, 4.191 ve 4.091 J/gK'dir. 25°C'de %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlerdeki TiO₂-su nanoakışkanının deneysel özgül ısı değeri sırası ile 4.325, 4.25 ve 3.958 J/gK'dir.



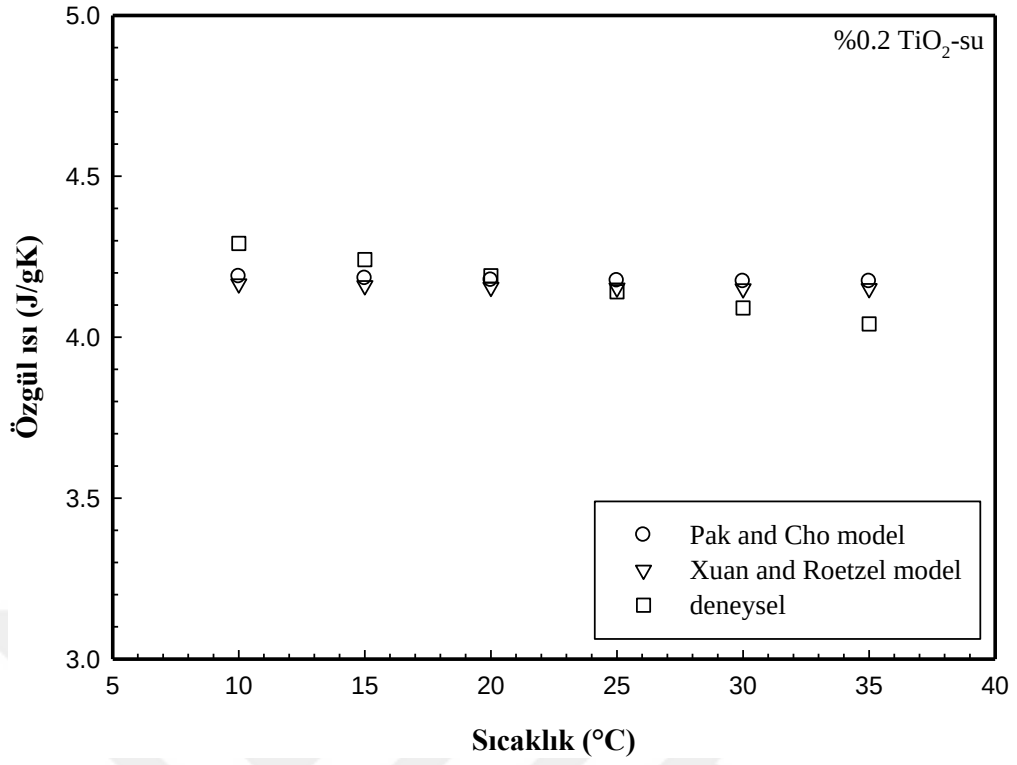
Şekil 5.40. %0.05 TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



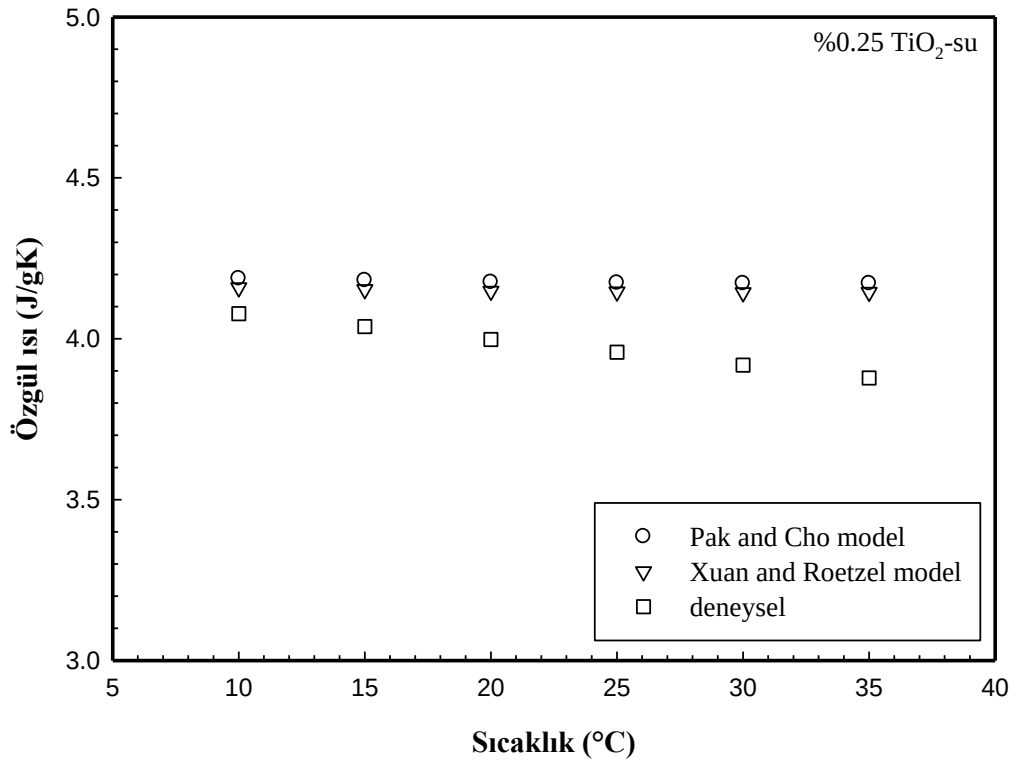
Şekil 5.41. %0.1 TiO_2 -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



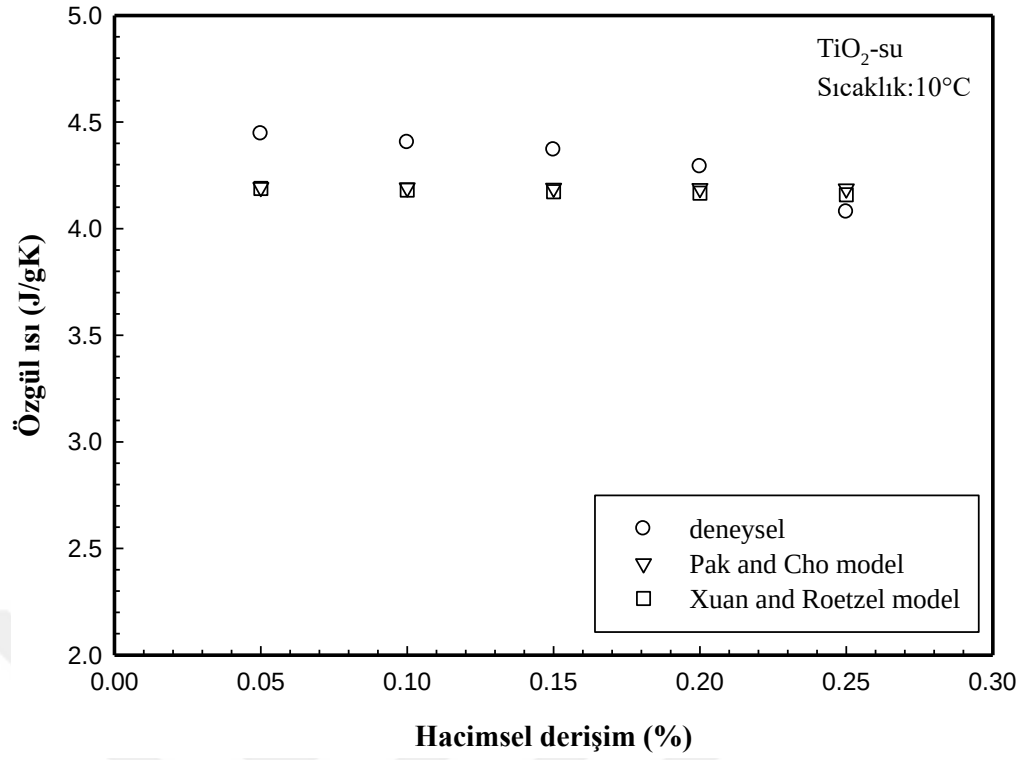
Şekil 5.42. %0.15 TiO_2 -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



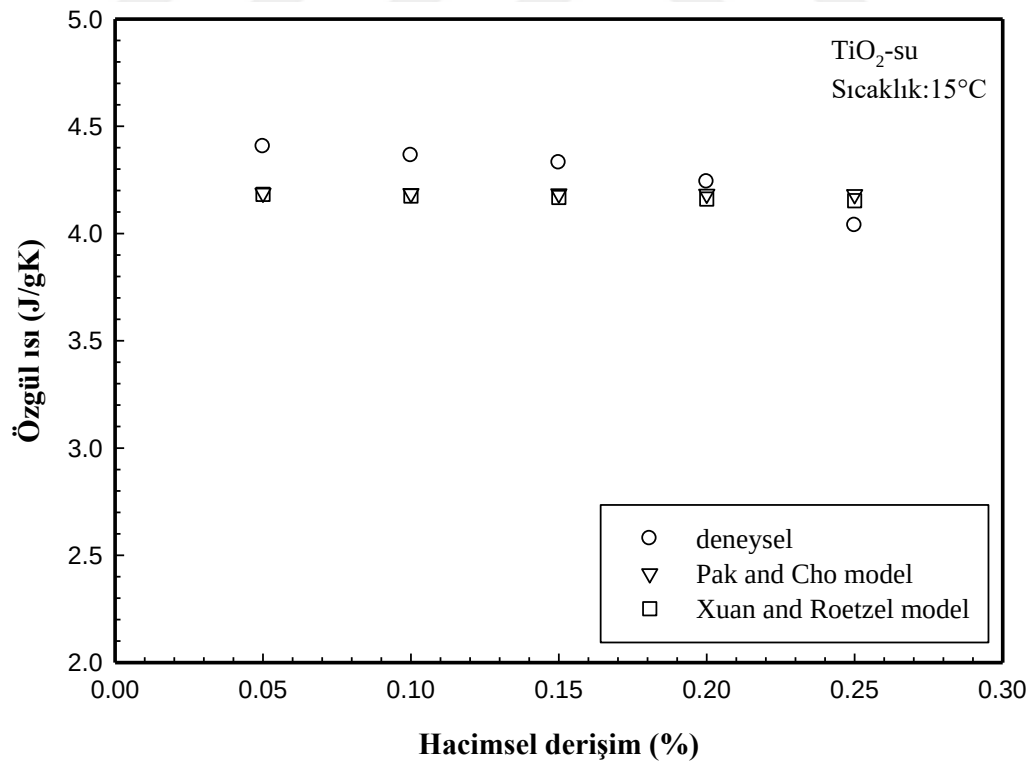
Şekil 5.43. %0.2 TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



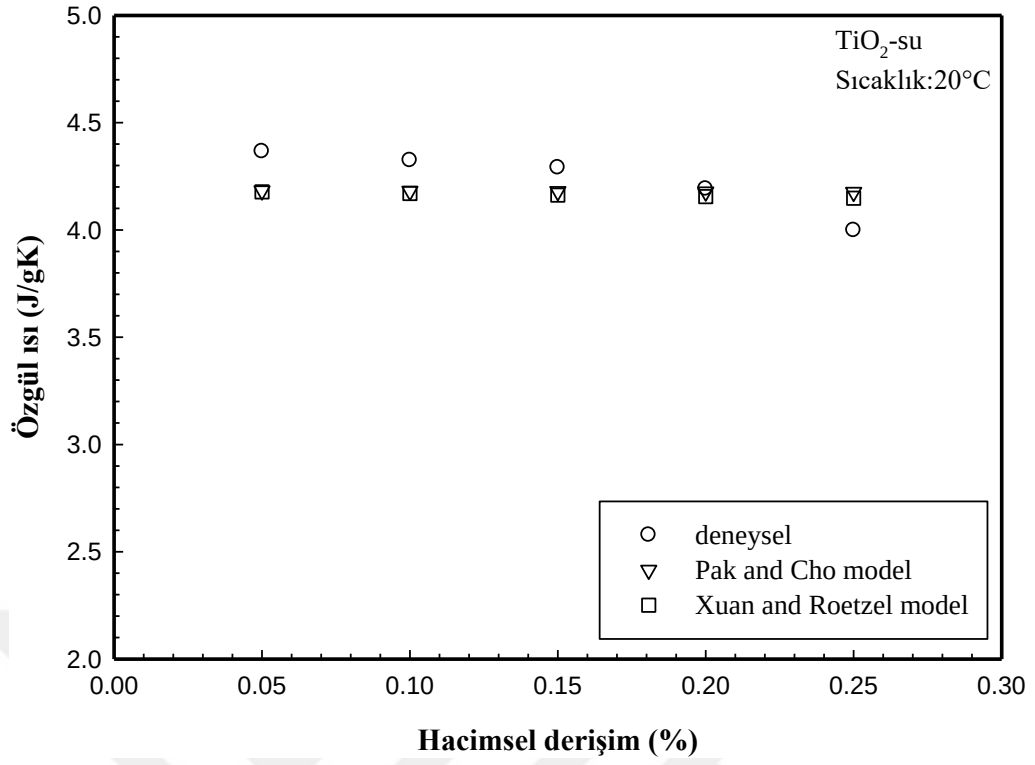
Şekil 5.44. %0.25 TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



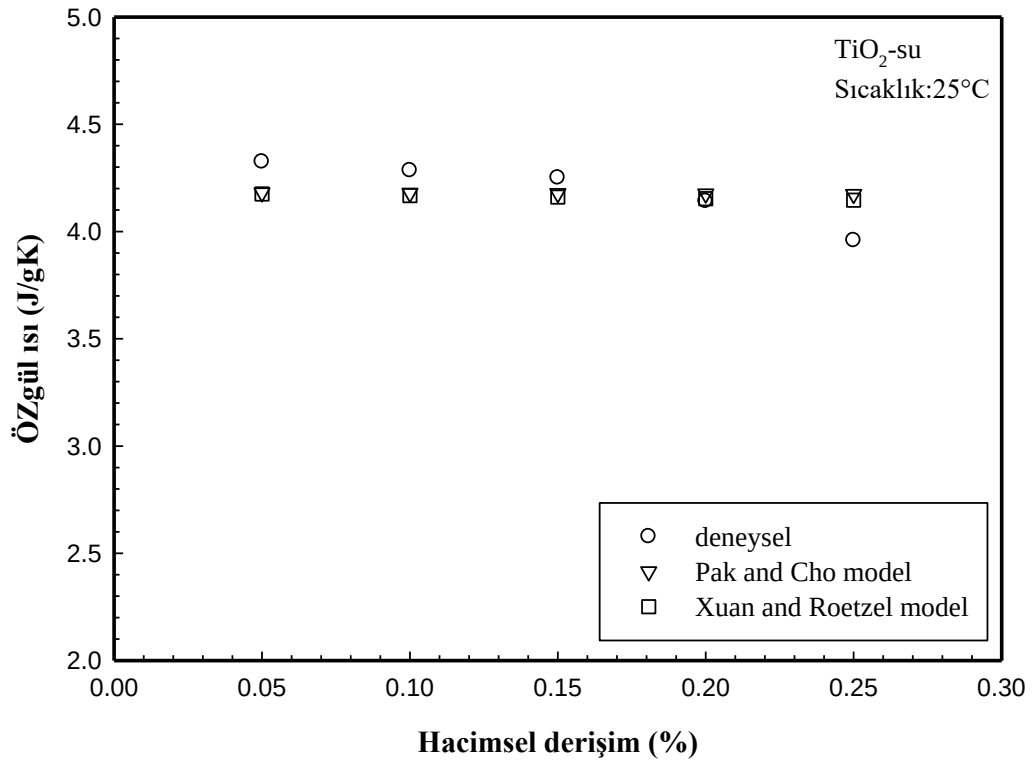
Şekil 5.45. 10°C’de TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



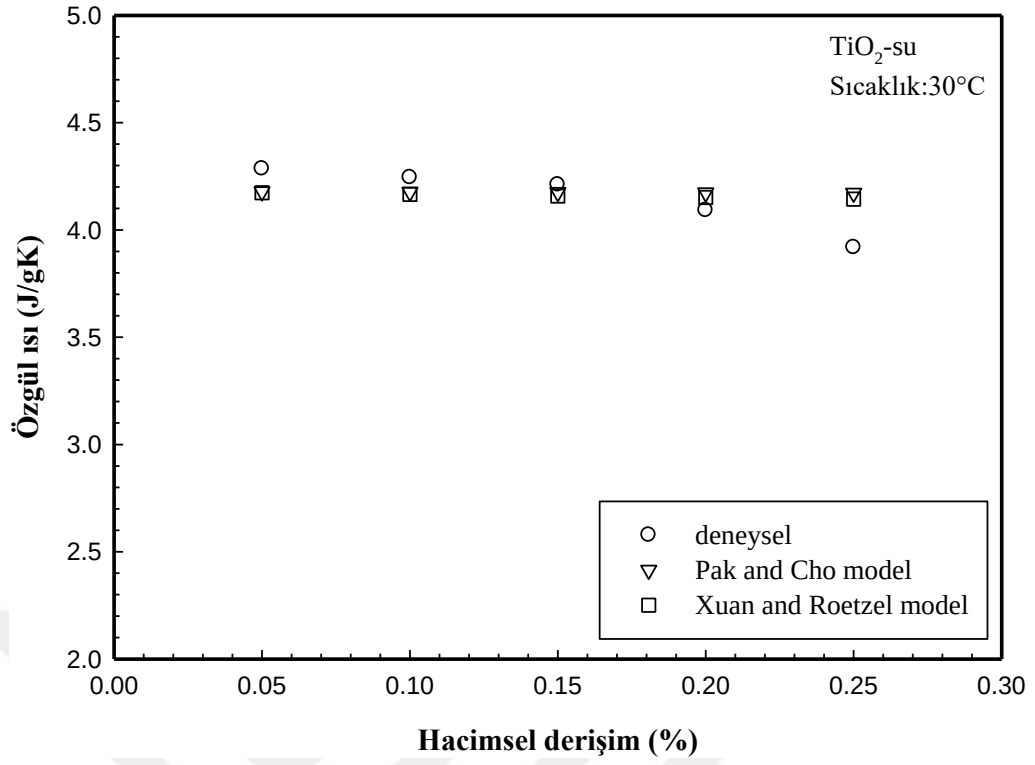
Şekil 5.46. 15°C’de TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



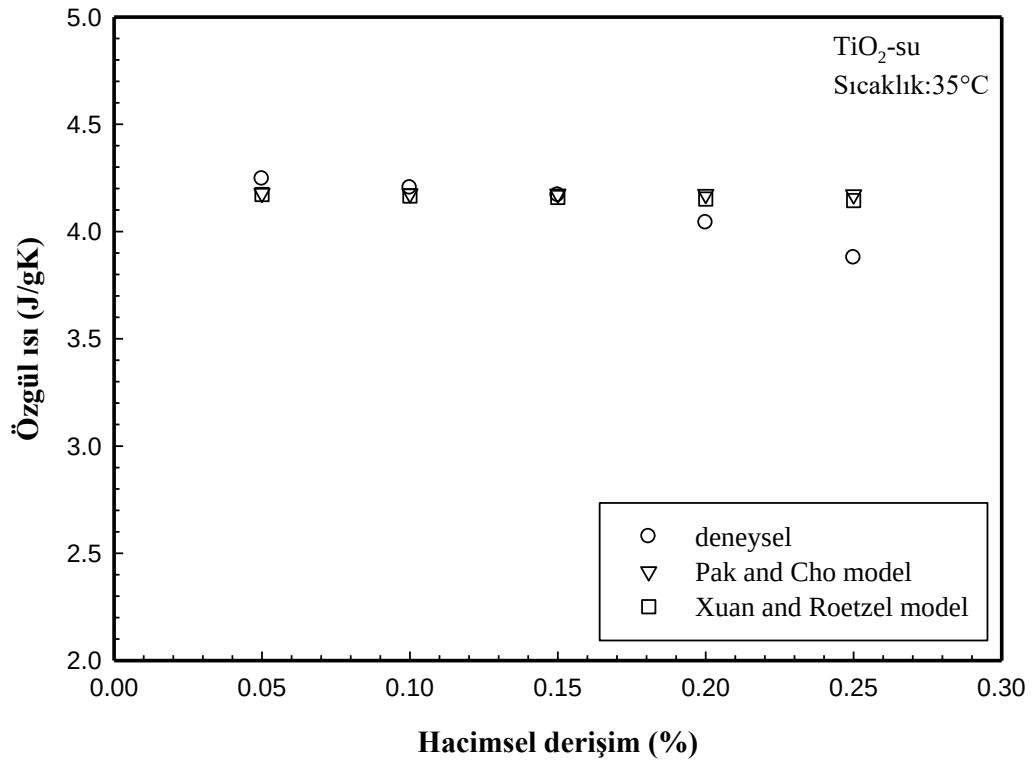
Şekil 5.47. 20°C’de TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



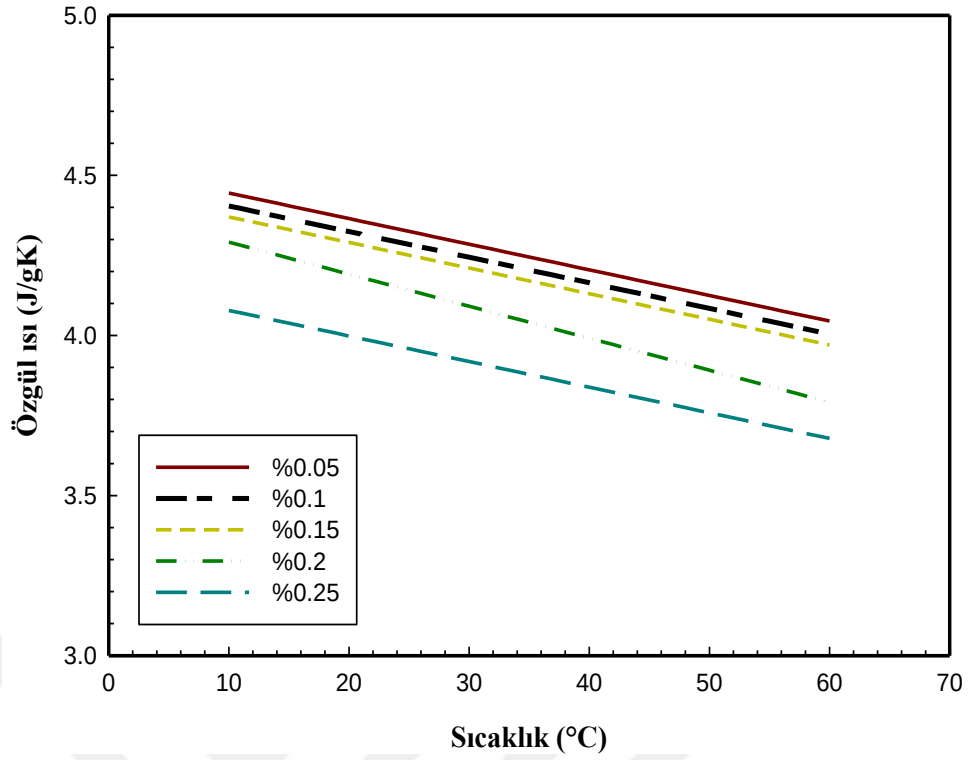
Şekil 5.48. 25°C’de TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.49. 30°C’de TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.50. 35°C’de TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.51. TiO₂-su nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi

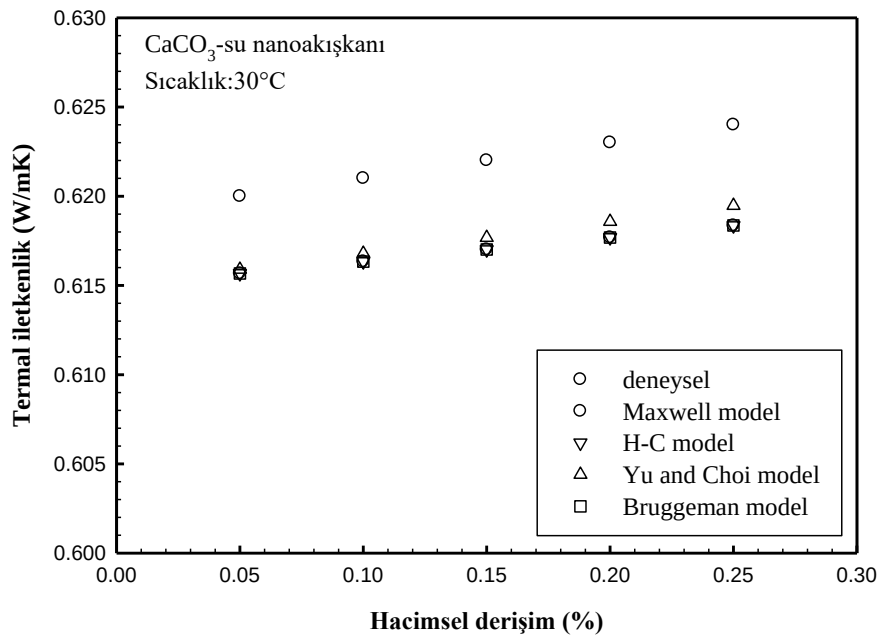
Şekil 5.51’de %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip TiO₂-su nanoakışkanın deneysel özgül ısı değeri 10°C-60°C sıcaklık aralığında değişimi verilmiştir. Hacimsel derişim ve sıcaklık değeri azalma ile TiO₂-su nanoakışkanının özgül ısı değeri azalma görülmektedir. Birim nanoakışkanın 1K sıcaklığını artırmak için gereken enerji yüksek hacimsel derişimlerde ve sıcaklıklarda daha az olmaktadır.

Örneğin, %0.15 hacimsel derişime sahip TiO₂-su nanoakışkanının 20°C ve 60°C sıcaklıklarda 1 gram kütesinin 1K artırmak istenildiğinde sırası ile verilmesi gereken enerji miktarı 4.29 ve 3.97 J/gK’dir.

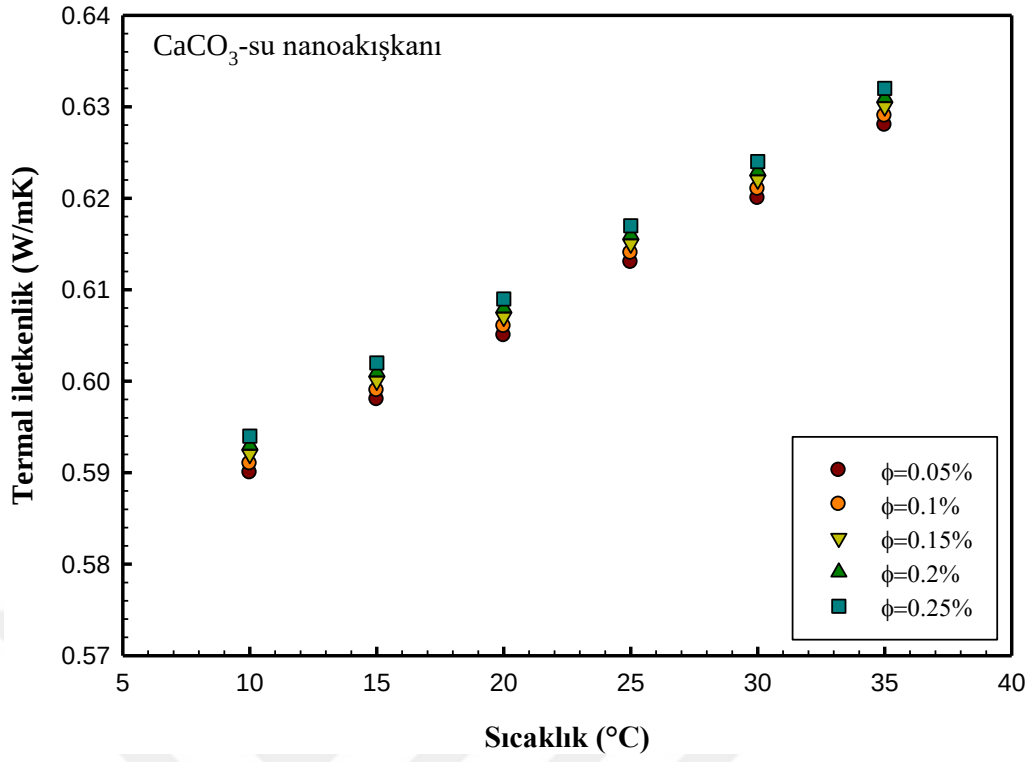
5.3 CaCO₃-su Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

5.3.1 CaCO₃-su nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları

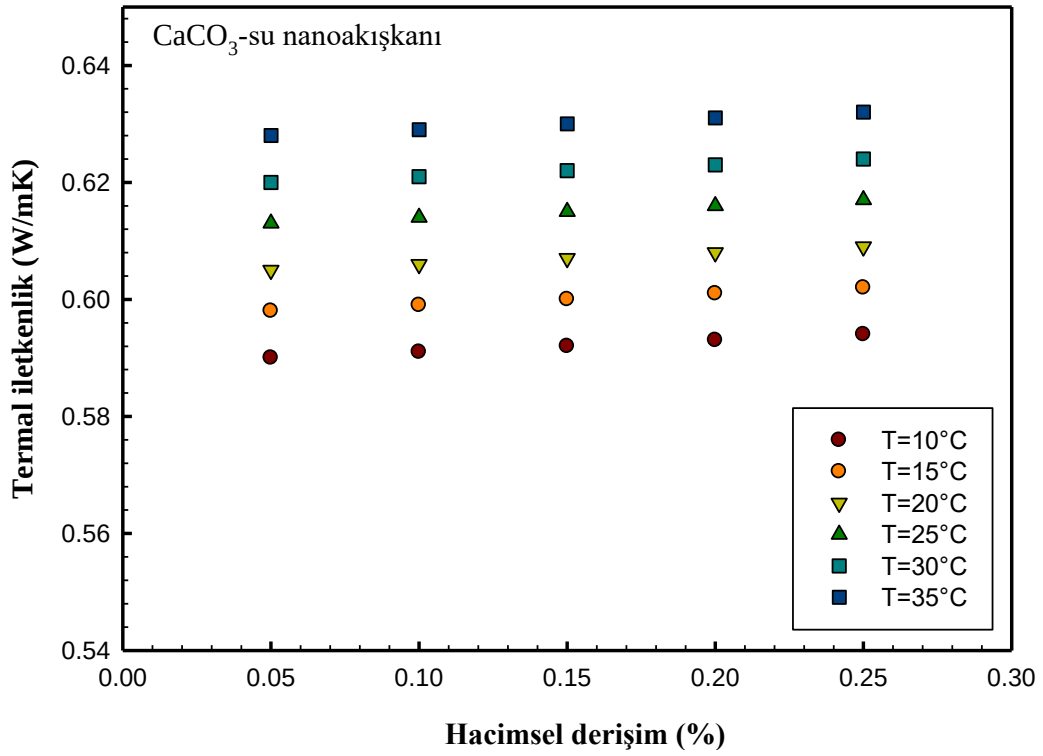
Şekil 5.52’de 30°C sıcaklıkta CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerlerinin hacimsel derişime bağı literatürde yer alan Maxwell, Hamilton-Crosser, Yu and Choi ve Bruggeman termal iletkenlik modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerleri Bruggeman modeline daha uyumludur. Şekil 5.53 ve Şekil 5.54’te %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip CaCO₃-su nanoakışkanına ait termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık ve hacimsel derişime bağı değışimi verilmiştir. Nanoakışkanına ait termal iletkenlik değerleri sıcaklık ve hacimsel derişimdeki artış ile artmaktadır. Şekil 5.55 ve Şekil 5.56’da CaCO₃-su nanoakışkanının termal iletkenlik değerlerinin saf suyun termal iletkenlik değerlerine oranı hacimsel derişim ve sıcaklığa bağı değışimi verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış ve sıcaklıktaki azalma ile termal iletkenlikte iyileşme artmaktadır. Örneğin, 25°C’de %0.05 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.613 ve 0.617 W/mK’dir. %0.2 hacimsel derişime sahip CaCO₃-su nanoakışkanının 15°C, 25°C ve 35°C deneysel termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.601, 0.616 ve 0.631 W/mK’dir.



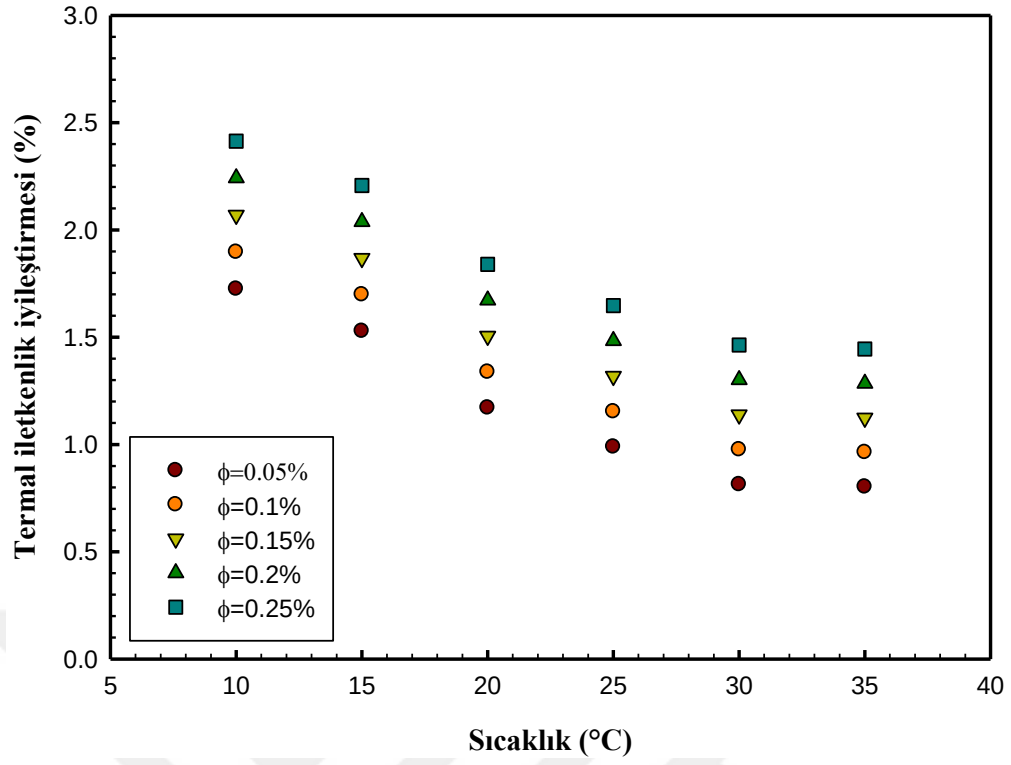
Şekil 5.52. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



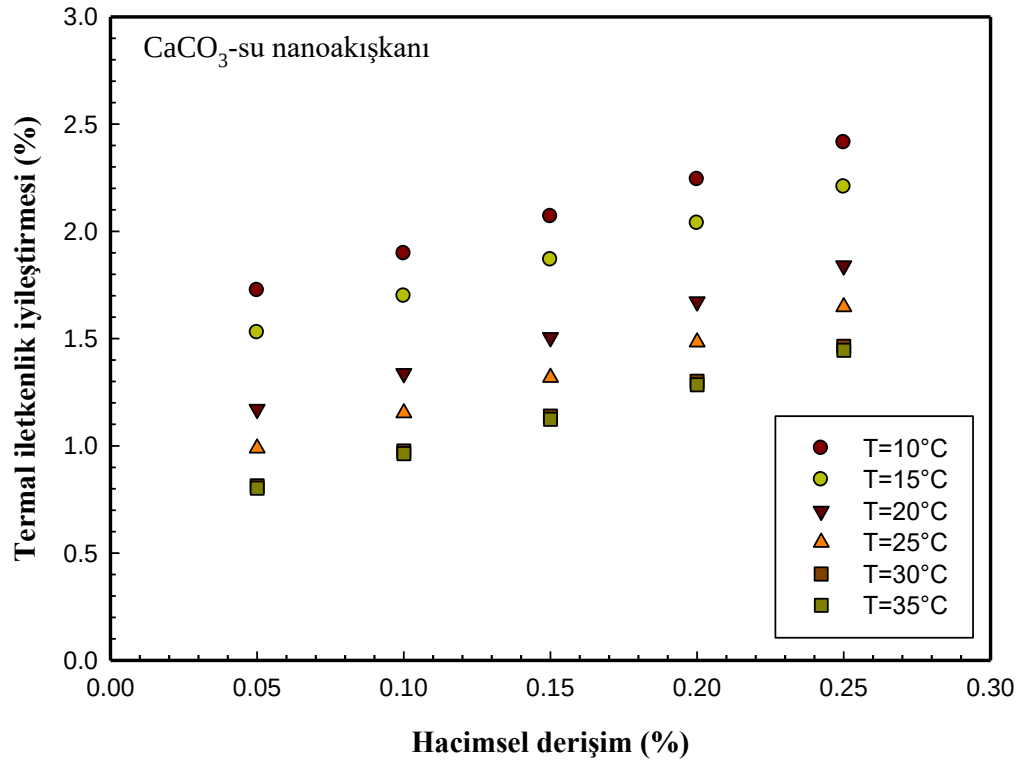
Şekil 5.53. Farklı hacimsel derişimlere sahip CaCO₃-su nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değışimi



Şekil 5.54. Farklı sıcaklık değeriinde CaCO₃-su nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değışimi



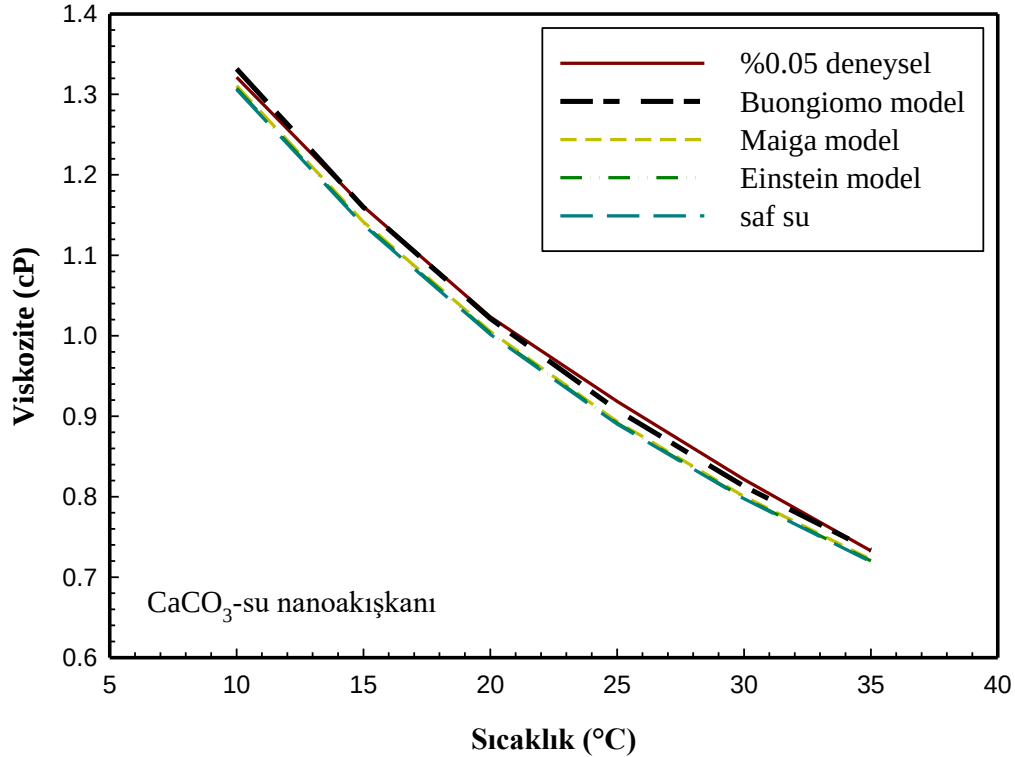
Şekil 5.55. Farklı hacimsel derişimlere sahip CaCO_3 -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değışimi



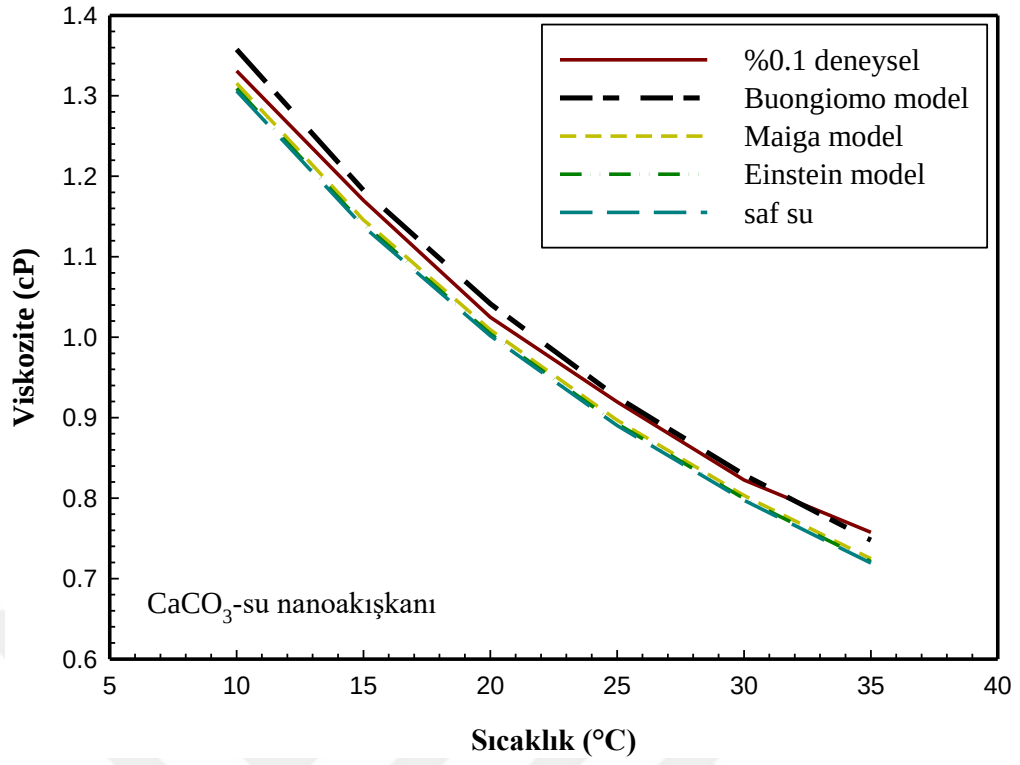
Şekil 5.56. Farklı sıcaklıklarda CaCO_3 -su nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değışimi

5.3.2 CaCO₃-su nanoakışkanı için viskozite deney sonuçları

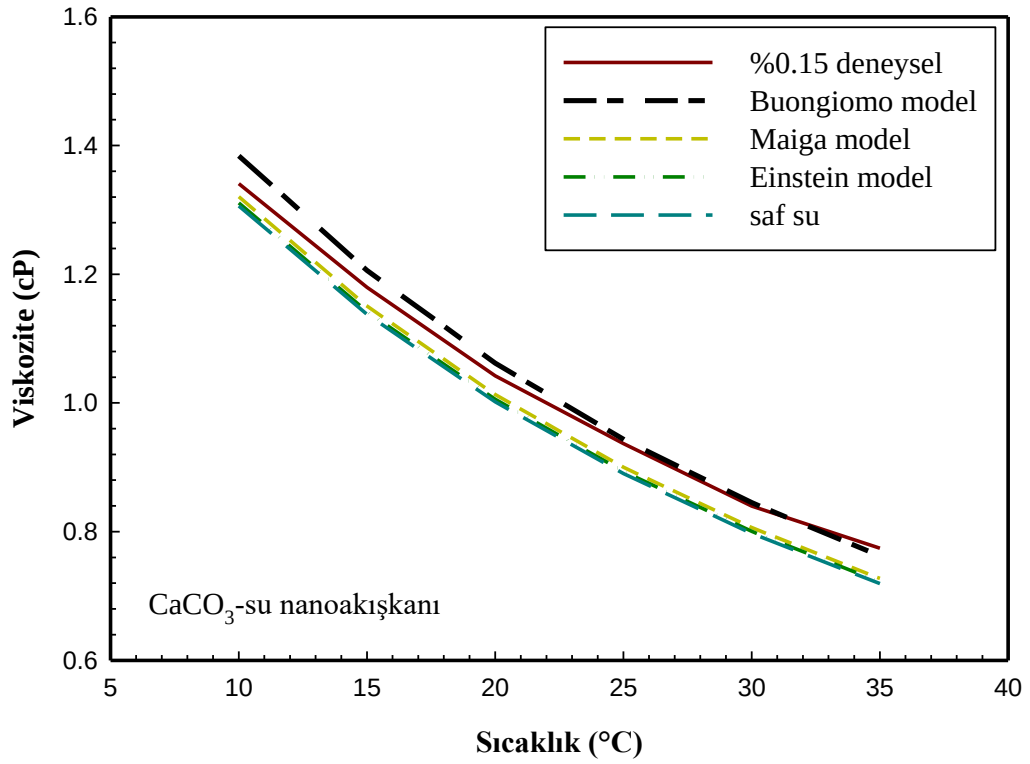
Şekil 5.57-5.61’de CaCO₃-su nanoakışkanının %0.05-0.25 hacimsel derişim aralığında ölçülmüş deneysel viskozite değerlerinin sıcaklığa bağılı değışimi ve literatürde yer alan Buongiorno, Einstein ve Maiga viskozite modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Sıcaklık artışı ile CaCO₃-su nanoakışkanının viskozite değerleri azalmaktadır. Şekil 5.62’de CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerlerinin baz akışkan saf suyun viskozite değerlerine oranının hacimsel derişime bağılı değışimi verilmiştir. Sıcaklık ve hacimsel derişimdeki artış viskozite oranını artırmaktadır. Şekil 5.63’te CaCO₃-su nanoakışkanının farklı hacimsel derişimlerinde elde edilen deneysel viskozite değerlerinin sıcaklığa bağılı değışimi verilmiştir. Nanoakışkanın deneysel viskozite değerleri hacimsel derişimdeki artış ile artmaktadır. Örneğin, 25°C’de %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerleri sırası ile 0.918, 0.937 ve 0.971 cP’dir. %0.2 hacimsel derişime sahip CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerleri 10°C, 20°C ve 30°C sıcaklıklarında sırası ile 1.351, 1.059 ve 0.857 cP’dir.



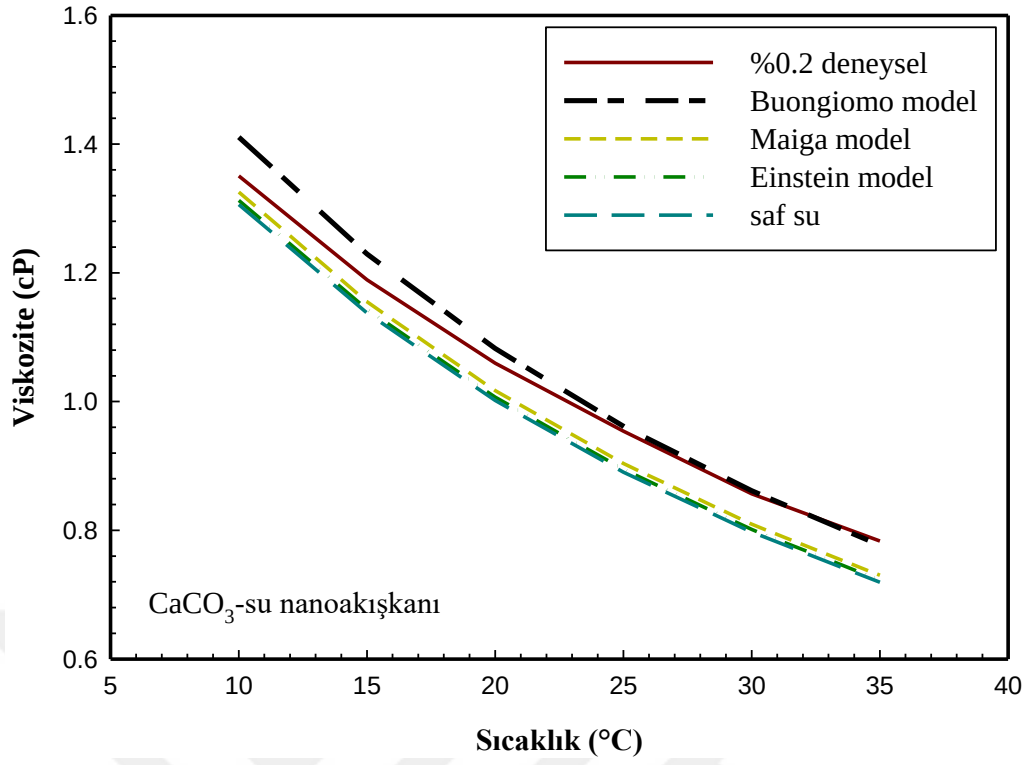
Şekil 5.57. %0.05 CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



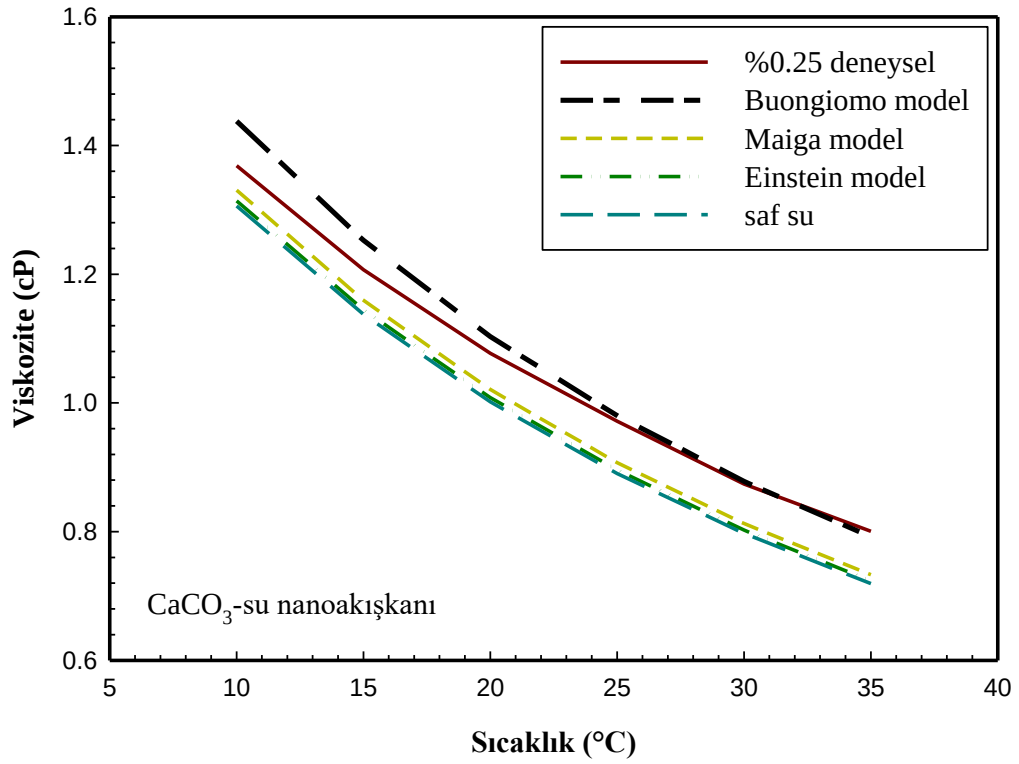
Şekil 5.58. %0.1 CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



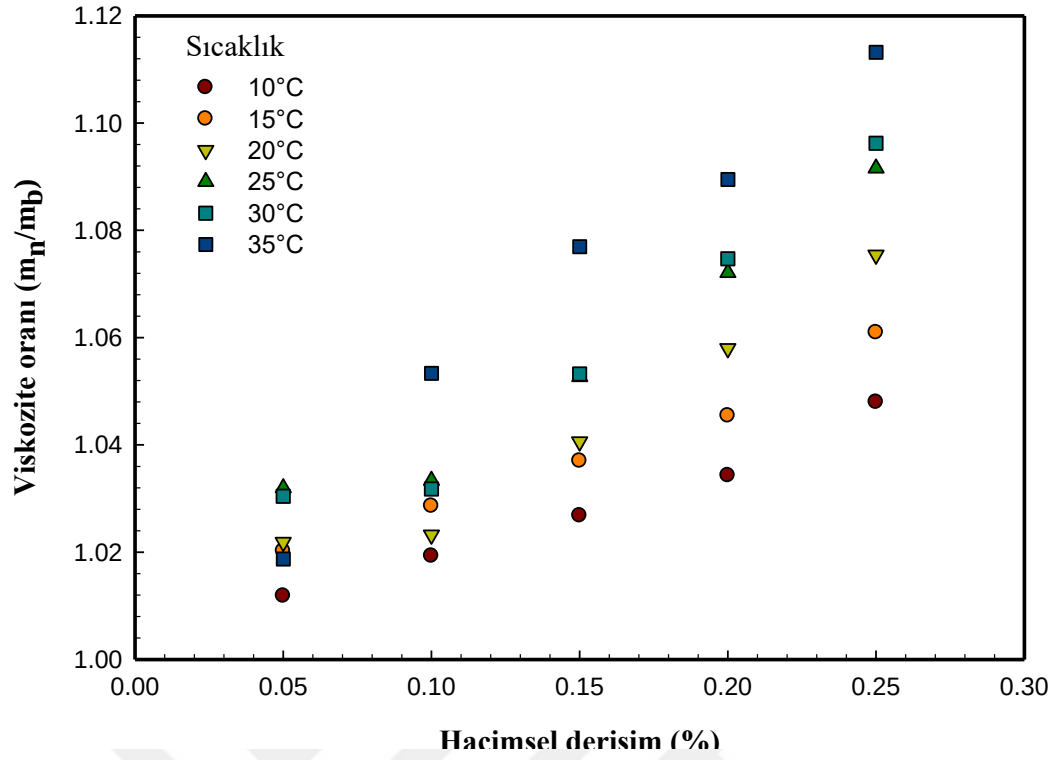
Şekil 5.59. %0.15 CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



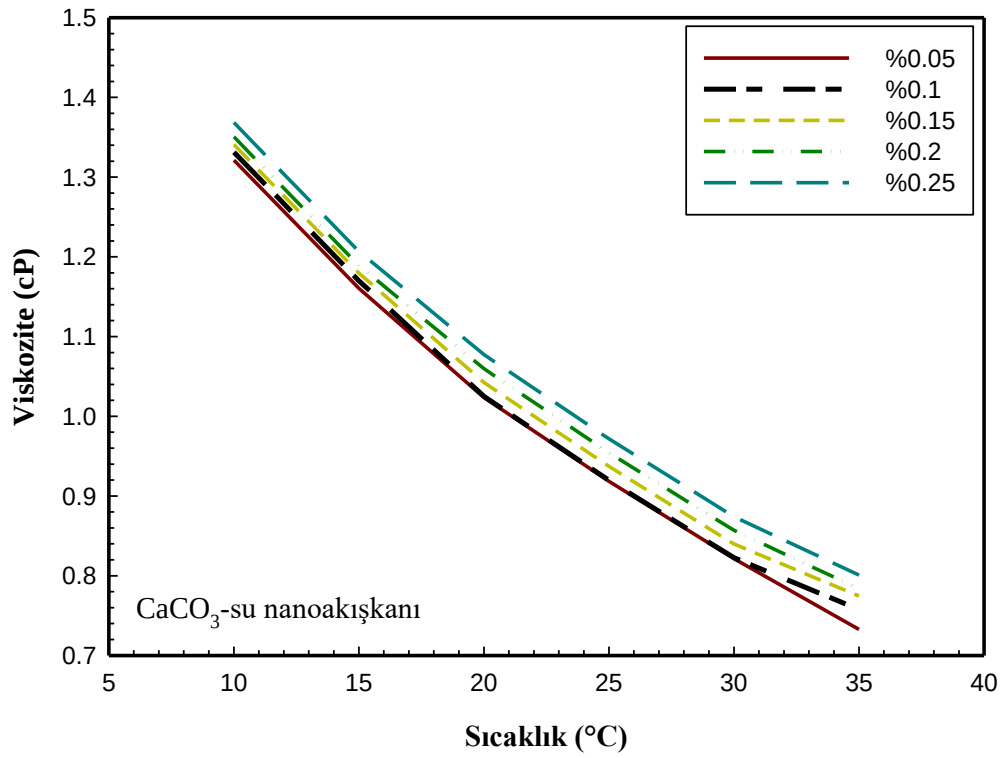
Şekil 5.60. %0.2 CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 5.61. %0.25 CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 5.62. CaCO_3 -su nanoakışkanının viskozite oranı

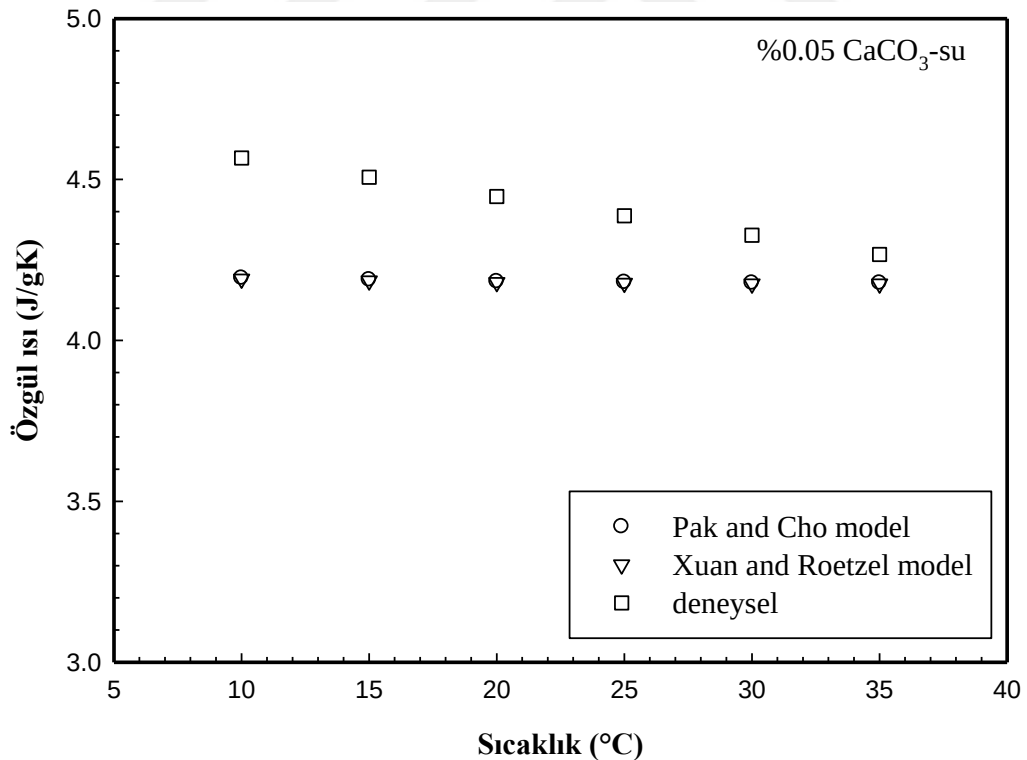


Şekil 5.63. Farklı derişimlere sahip CaCO_3 -su nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değişimi

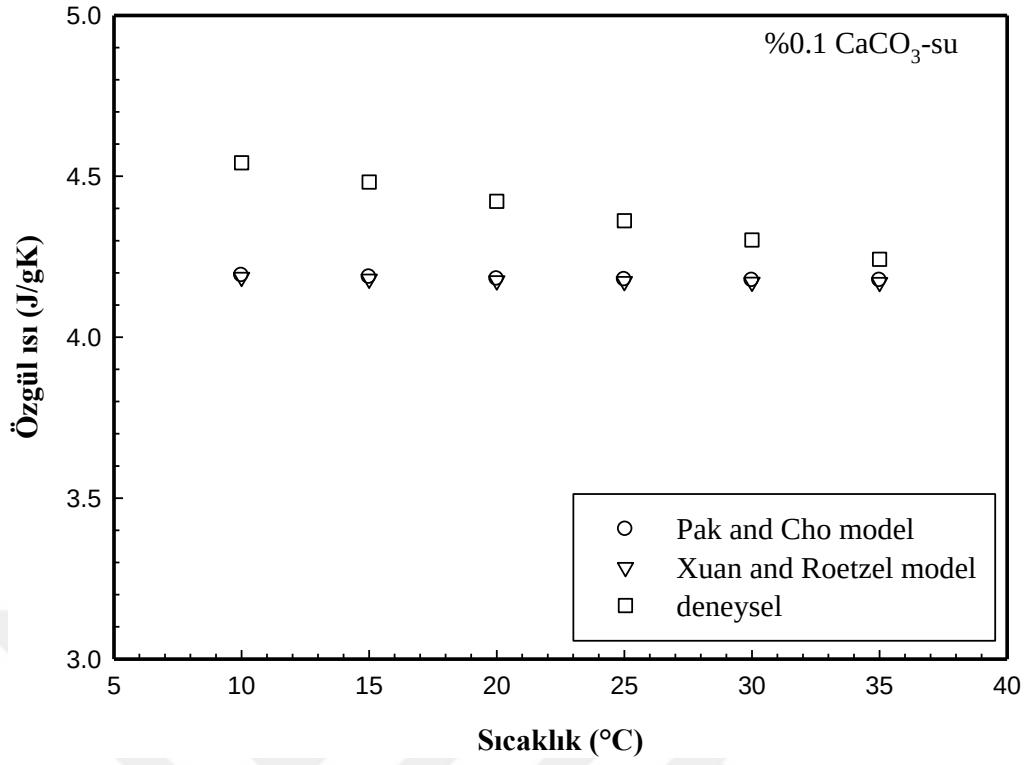
5.3.3 CaCO₃-su nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları

Şekil 5.64-5.68’de %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel özgül ısı değęerlerinin sıcaklığa bağlı değışimi ve literatürde yer alan Pak and Cho ve Xuan and Roetzel özgül ısı modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Nanoakışkanın deneysel özgül ısı değęerleri sıcaklık artışı ile azalmaktadır. Şekil 5.69-5.74’te 10°C-35°C sıcaklık aralığında CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel özgül ısı değęerlerinin hacimsel derişime bağlı değışimi verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış ile beraber CaCO₃-su nanoakışkanının özgül ısı değęerlerinde azalma görölmektedir.

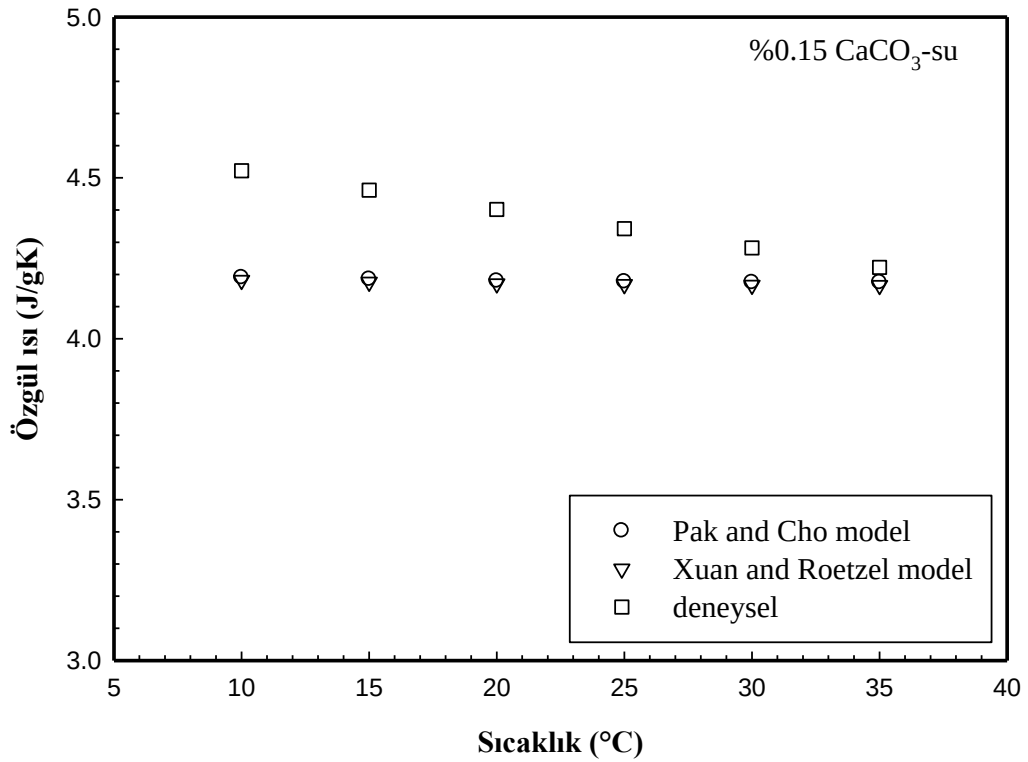
Örneğin, 30°C’de %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel özgül ısı değęerleri sırası ile 4.327, 4.282 ve 4.078 J/gK’dır. %0.2 hacimsel derişime sahip CaCO₃-su nanoakışkanının 15°C, 20°C ve 25°C sıcaklıklarında deneysel özgül ısı değęerleri sırası ile 4.307, 4.252 ve 4.197 J/gK’dır.



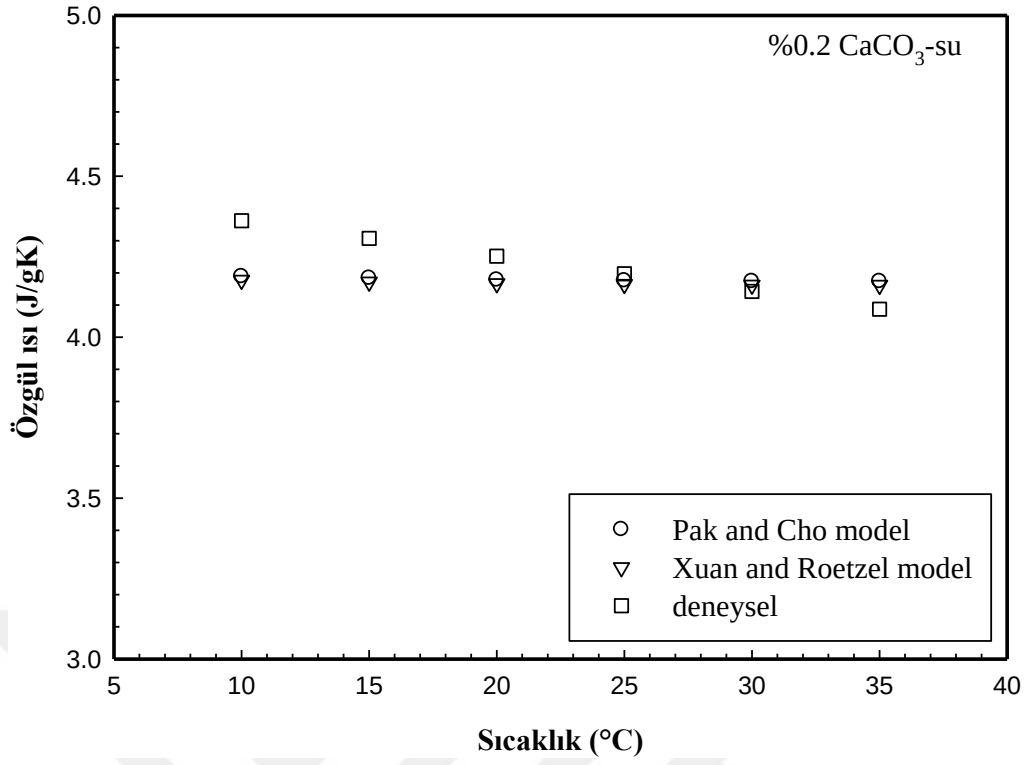
Şekil 5.64. %0.05 CaCO₃-su nanoakışkan özgül ısılarının modeller ile karşılaştırılması



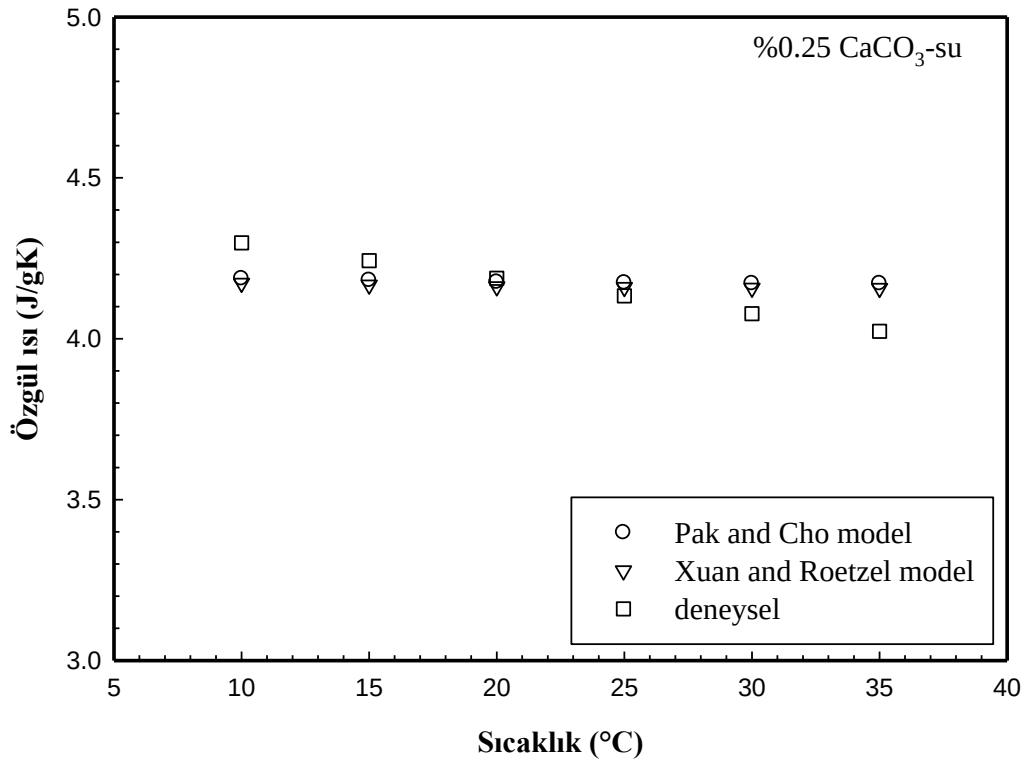
Şekil 5.65. %0.1 CaCO_3 -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



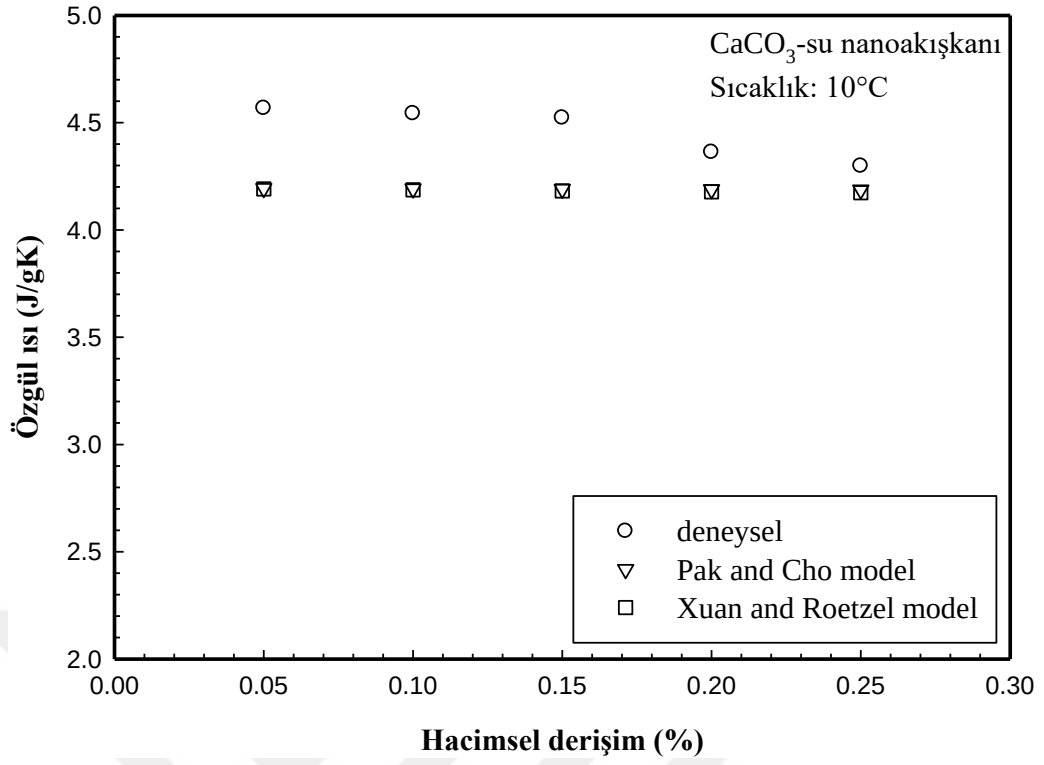
Şekil 5.66. %0.15 CaCO_3 -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



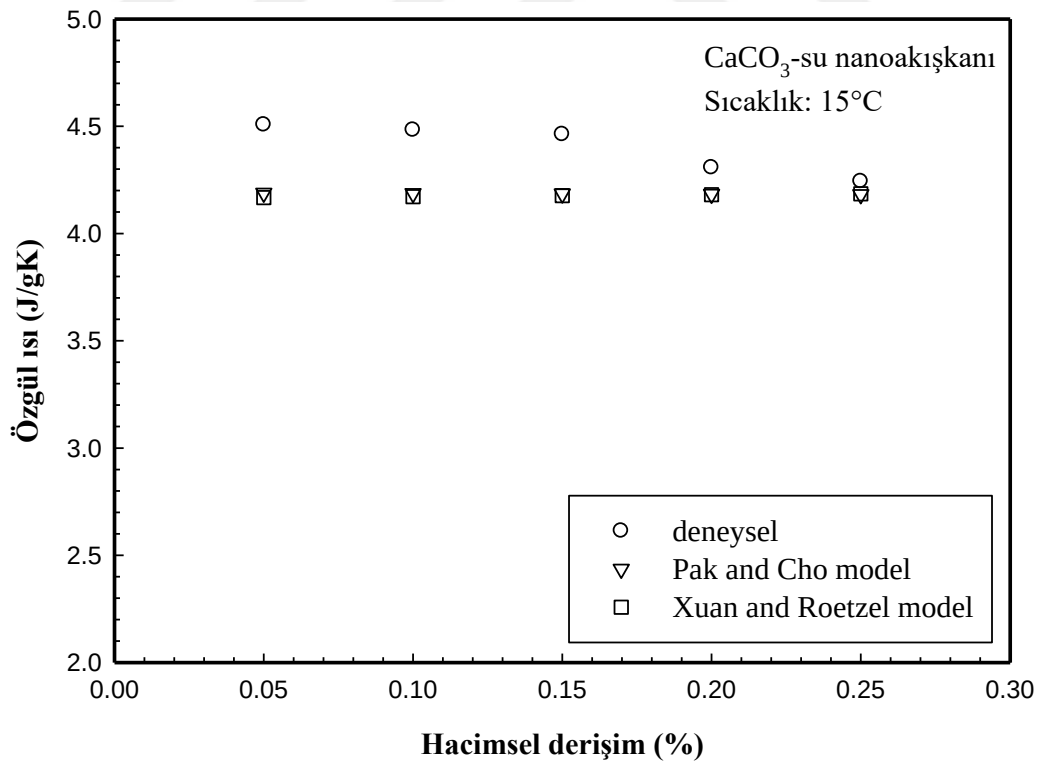
Şekil 5.67. %0.2 CaCO_3 -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



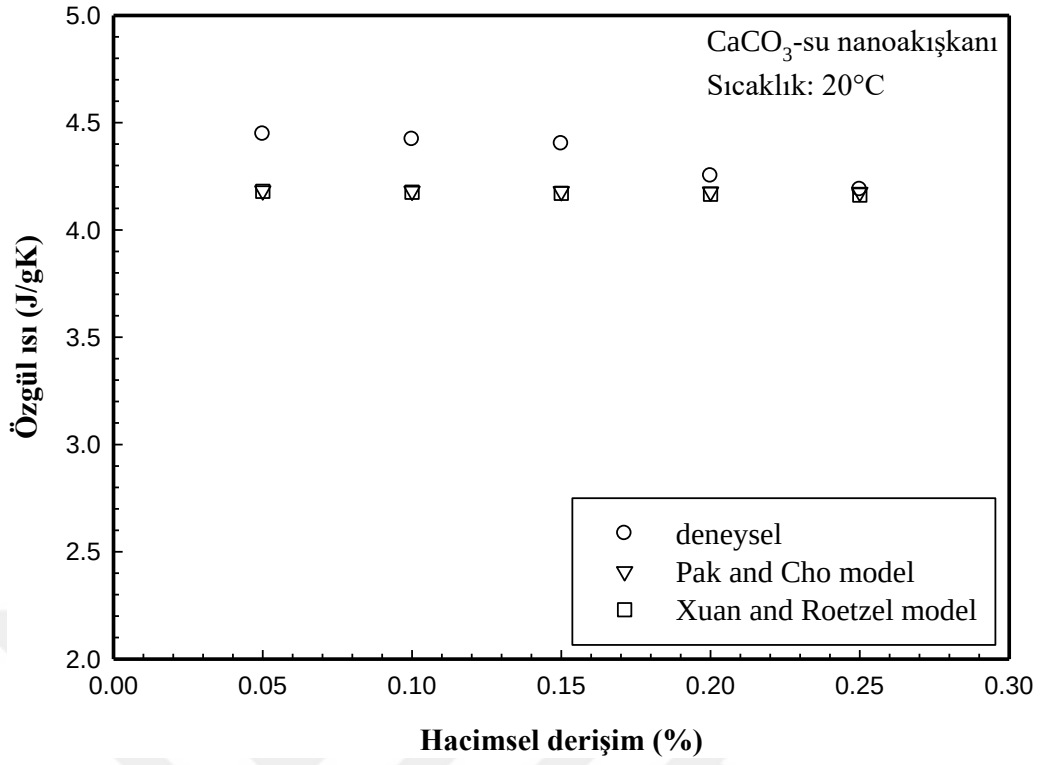
Şekil 5.68. %0.25 CaCO_3 -su nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



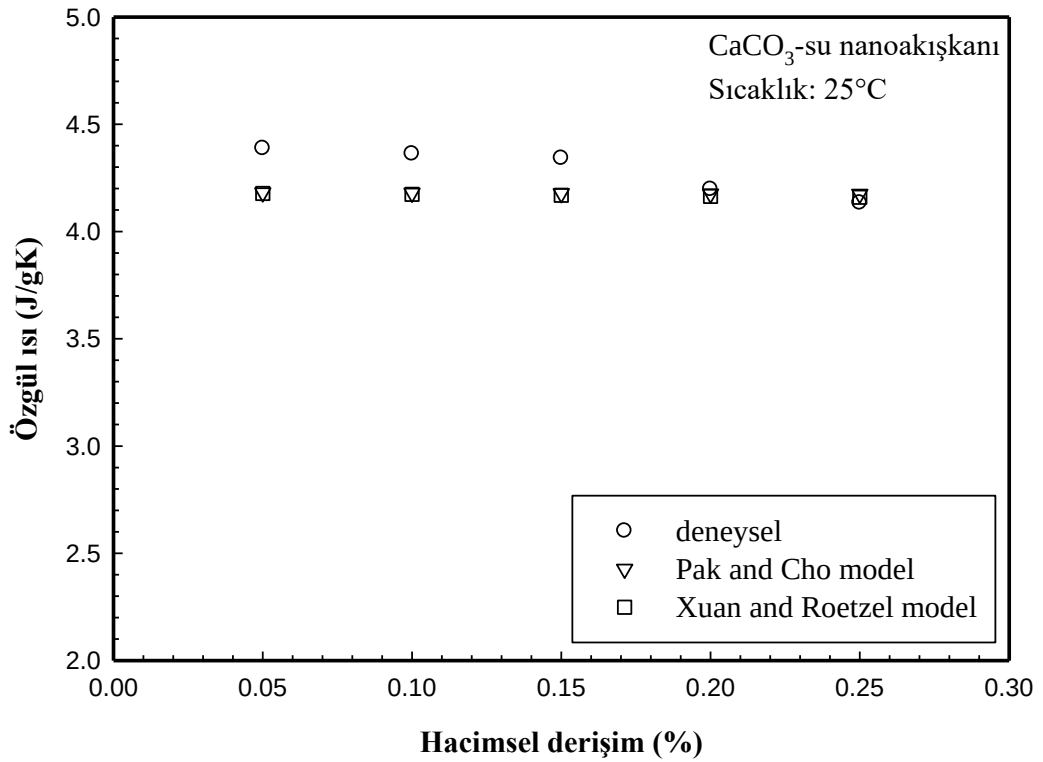
Şekil 5.69. 10°C’de CaCO₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



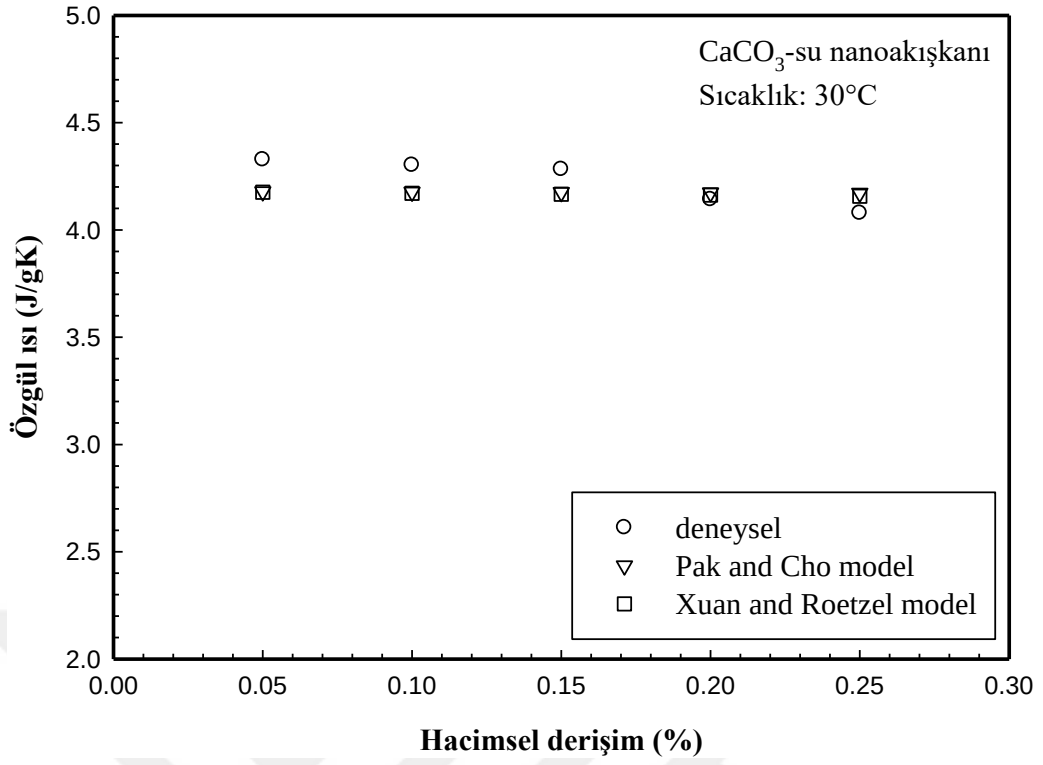
Şekil 5.70. 15°C’de CaCO₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



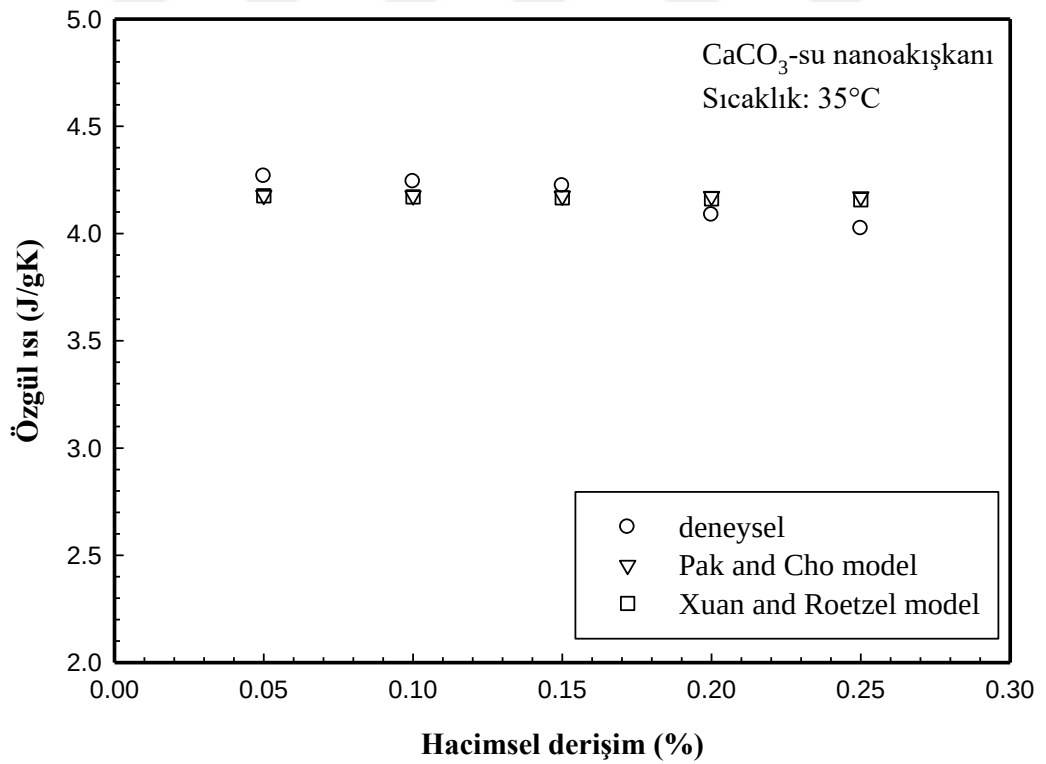
Şekil 5.71. 20°C’de CaCO₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



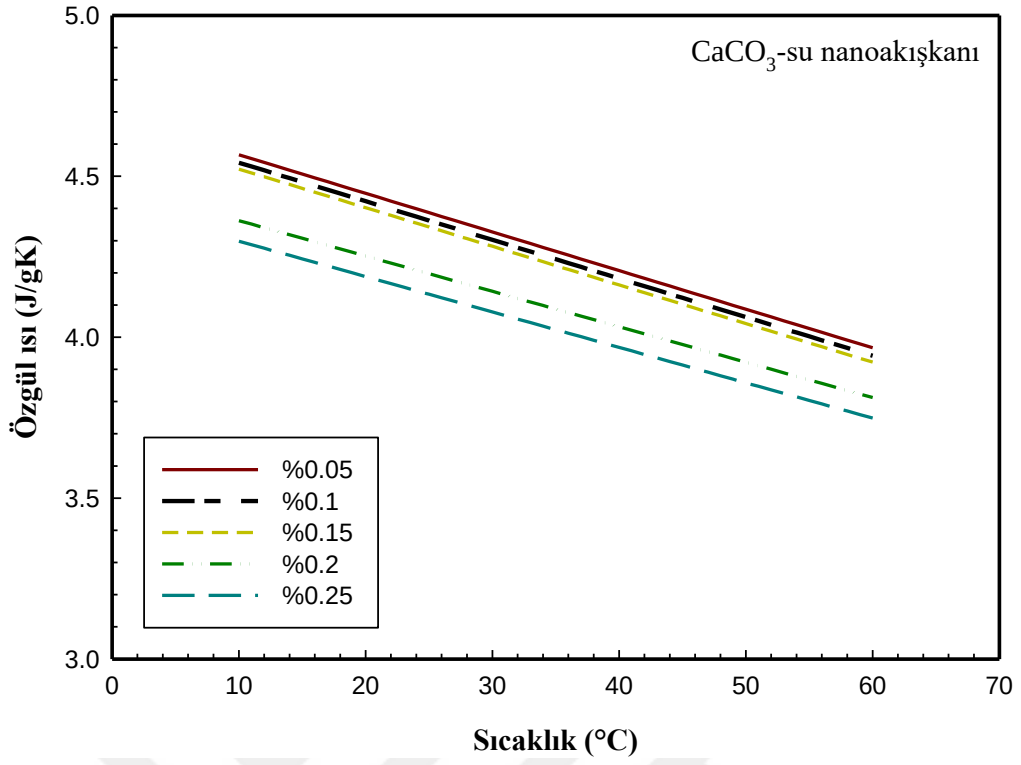
Şekil 5.72. 25°C’de CaCO₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.73. 30°C’de CaCO₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.74. 35°C’de CaCO₃-su nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 5.75. CaCO₃-su nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi

Şekil 5.75'te %0.05-0.25 hacimsel derişimlere sahip CaCO₃-su nanoakışkanının 10-60°C sıcaklık aralığında deneysel özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Hacimsel derişimde ve sıcaklıktaki artış ile nanoakışkanın özgül ısı değerleri azalmaktadır. Örneğin, 10°C'de %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip CaCO₃-su nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerleri sırası ile 4.567, 4.522 ve 4.298 J/gK'dir. %0.2 hacimsel derişimdeki CaCO₃-su nanoakışkanının 10°C, 30°C ve 60°C sıcaklıklarında deneysel özgül ısı değerleri sırası ile 4.362, 4.142 ve 3.812 J/gK'dir.

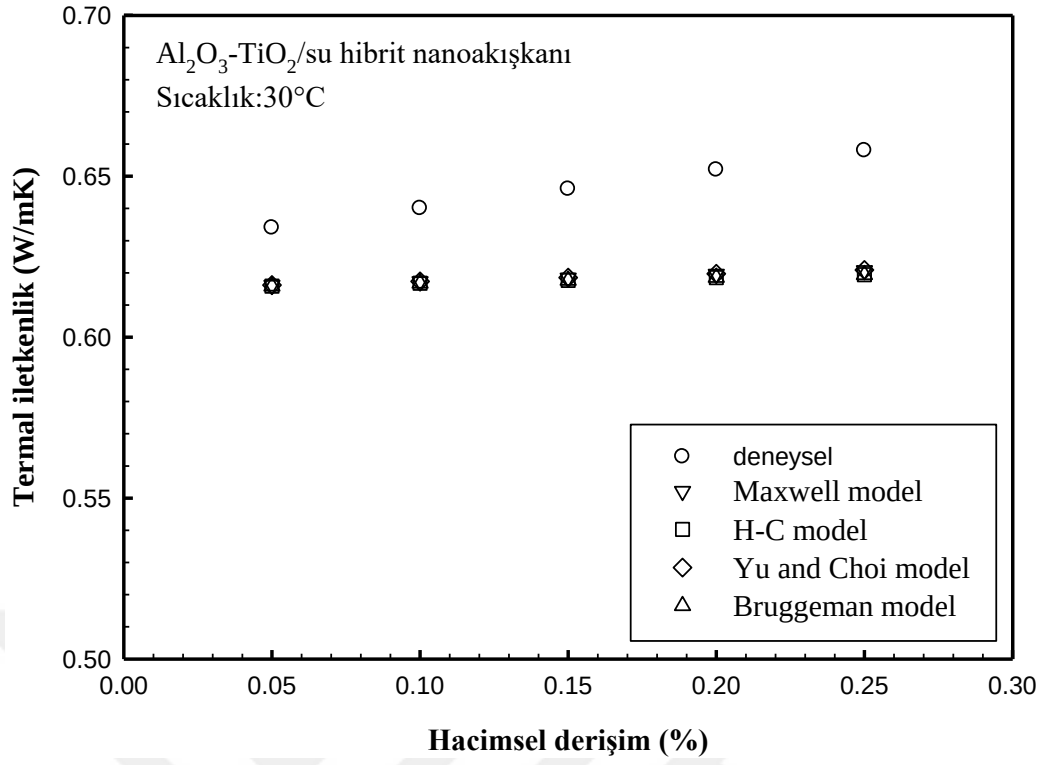
BÖLÜM VI

HİBRİT NANOAKIŞKANLAR İÇİN DENEYSEL SONUÇLAR

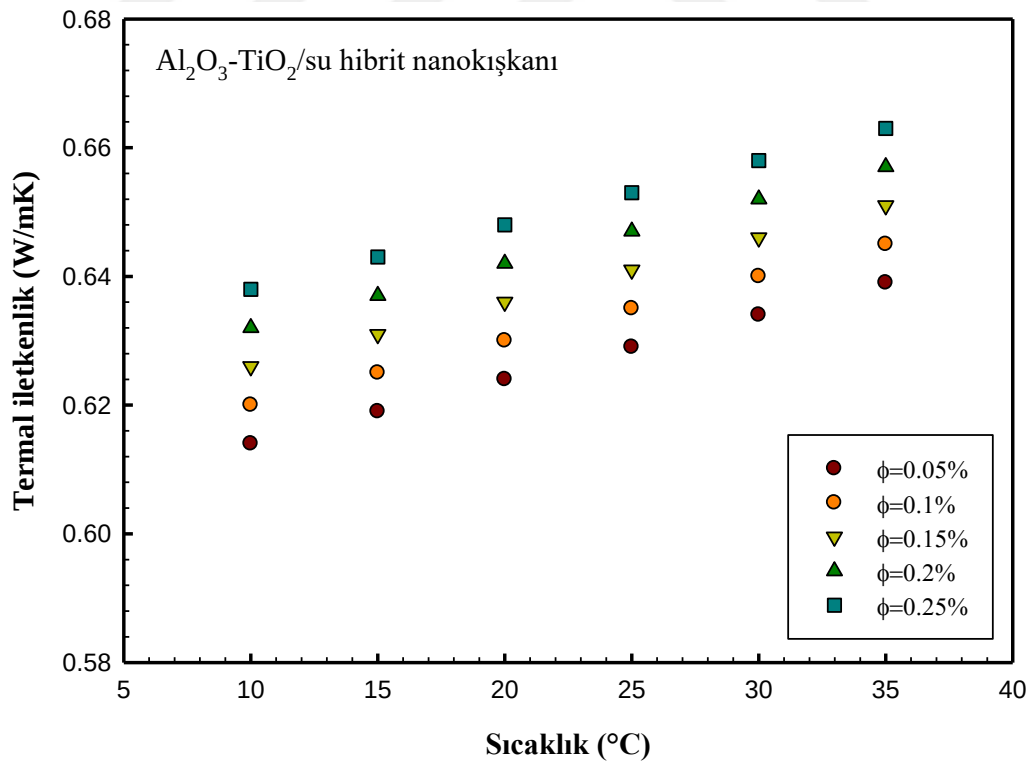
6.1 Al₂O₃-TiO₂/su Hibrit Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

6.1.1 Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları

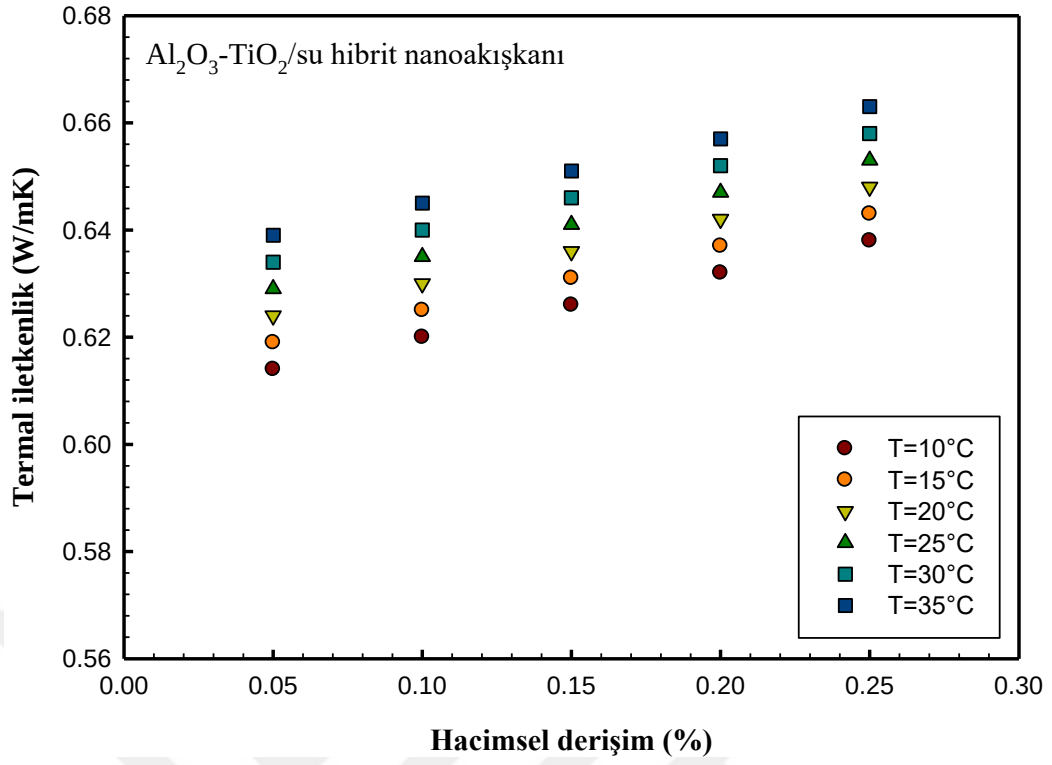
Şekil 6.1’de 30°C sıcaklıkta Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değeri hacimsel derişime bağıl değışimi ve Maxwell, Hamilton-Crosser, Yu and Choi, Bruggeman termal iletkenlik modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değeri sıcaklık ve hacimsel derişime bağıl değışimi verilmiştir. Sıcaklık ve hacimsel derişim artması sonucunda hibrit nanoakışkanın termal iletkenlik değeri artmaktadır. Şekil 6.4 ve Şekil 6.5’te Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değeri baz akışkan saf suya oranı hacimsel derişim ve sıcaklığa bağıl değışimi verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış ile termal iletkenlikte iyileştirme artmaktadır. Örneğin, 20°C’de %0.05 ve %0.25 hacimsel derişimdeki Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değeri sırası ile 0.624 ve 0.648 W/mK’dir. %0.2 hacimsel derişime sahip hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değeri 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklarında sırası ile 0.637, 0.647 ve 0.657 W/mK’dir. 35°C’de %0.05 ve %0.25 hacimsel derişimlerde termal iletkenlik iyileştirmesi sırası ile %2.568 ve %6.421’dir.



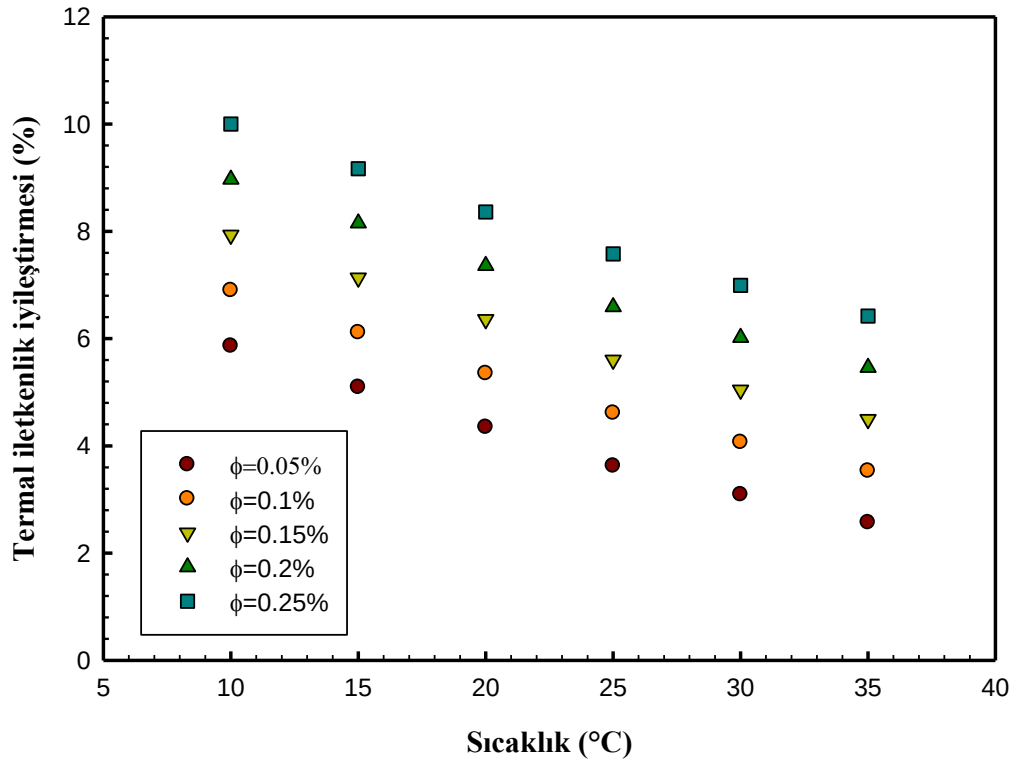
Şekil 6.1. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



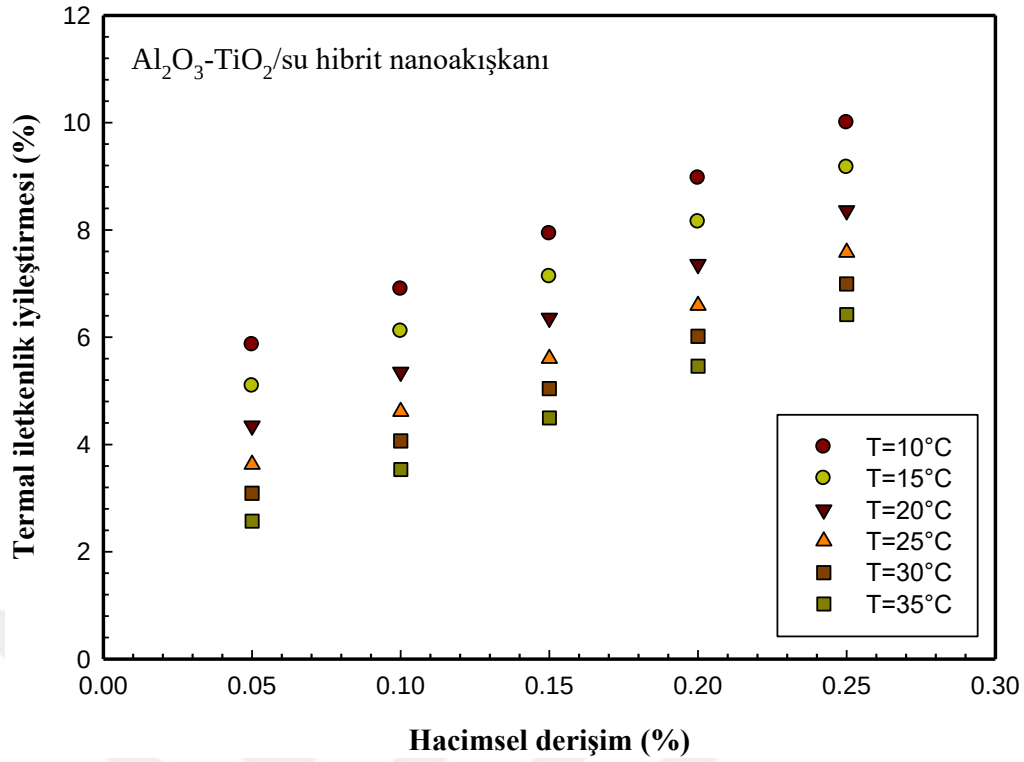
Şekil 6.2. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi



Şekil 6.3. Farklı sıcaklık değerlerinde Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değişimi



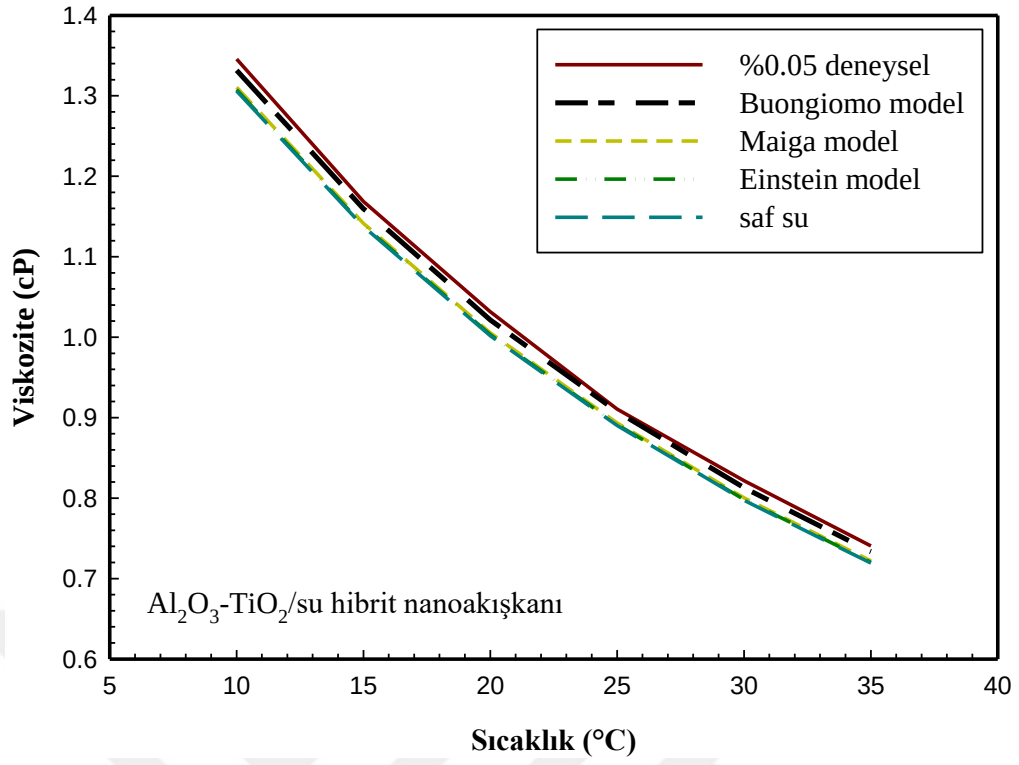
Şekil 6.4. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değişimi



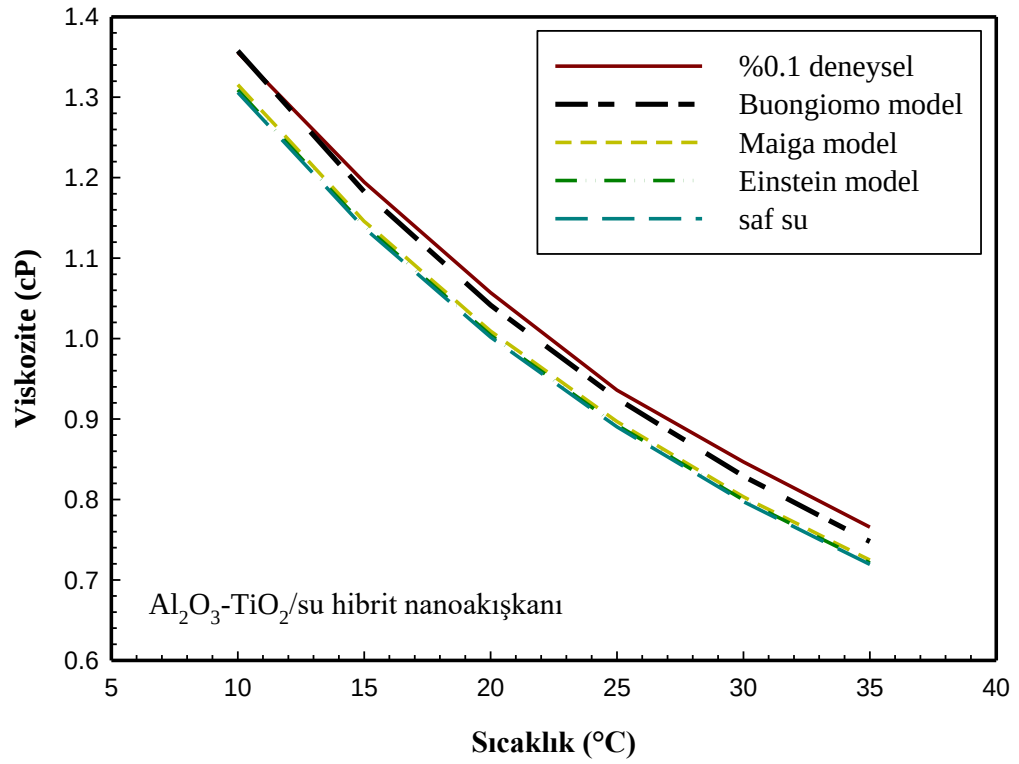
Şekil 6.5. Farklı sıcaklıklarda Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değişimi

6.1.2 Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan için viskozite deney sonuçları

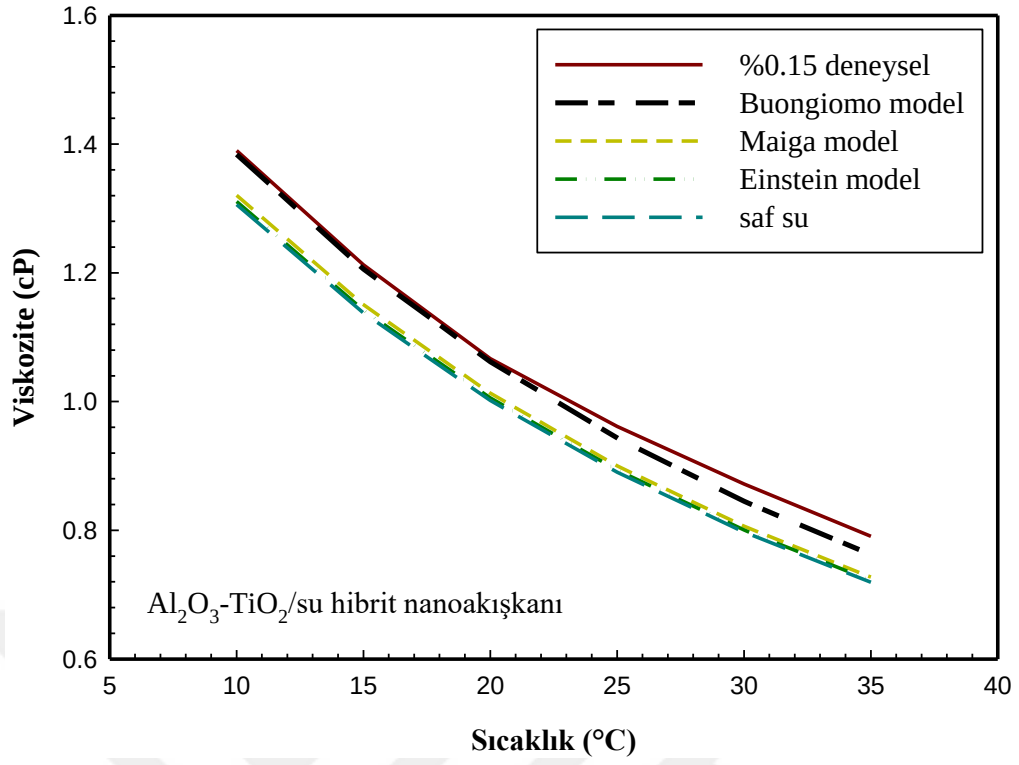
Şekil 6.6-6.10'da %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi ve Buongiorno, Maiga ve Einstein viskozite modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Hibrit nanoakışkanın viskozite değerleri sıcaklık artarken azalmaktadır. Şekil 6.11'de Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının viskozite değerlerinin saf suyun viskozite değerlerine oranı verilmiştir. Hacimsel derişim ve sıcaklıkta artış ile hibrit nanoakışkanın viskozite oranı artmaktadır. Şekil 6.12'de %0.05-0.25 hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış hibrit nanoakışkanın deneysel viskozite değerlerinde artışa neden olmaktadır. Örneğin, 30°C sıcaklıkta %0.1, %0.15, %0.2 hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanına ait deneysel viskozite değerleri sırası ile 0.838, 0.847 ve 0.865 cP'dir. %0.25 hacimsel derişimdeki Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerleri 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklarda sırası ile 1.245, 0.978 ve 0.799 cP'dir.



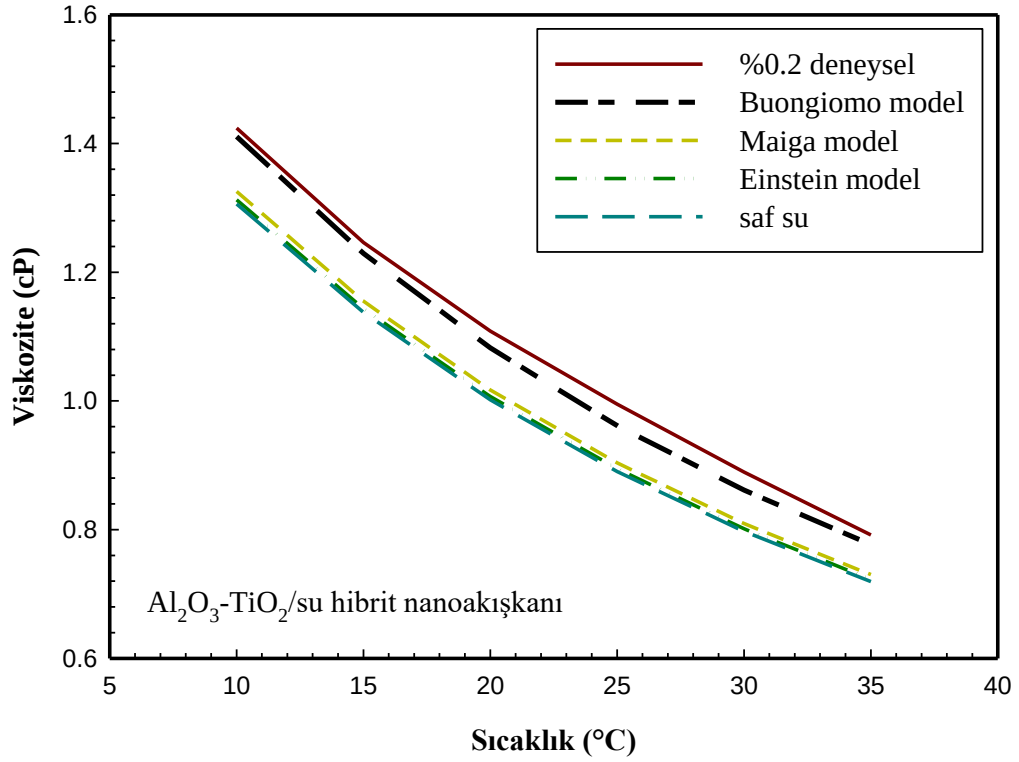
Şekil 6.6. %0.05 Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



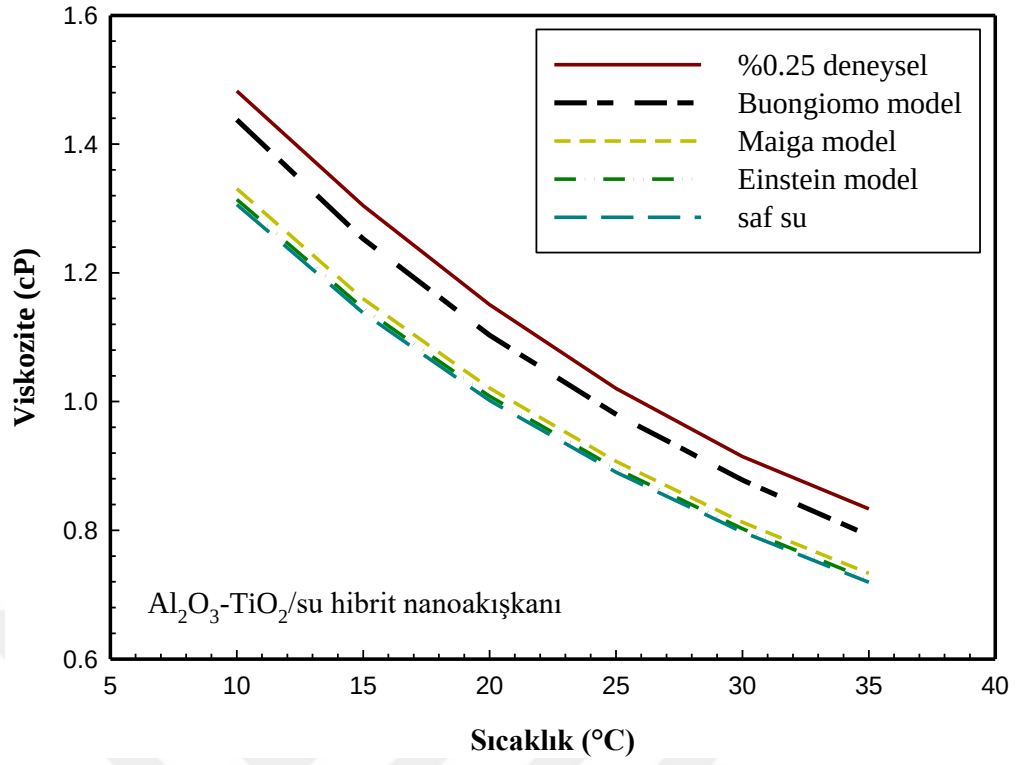
Şekil 6.7. %0.1 Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



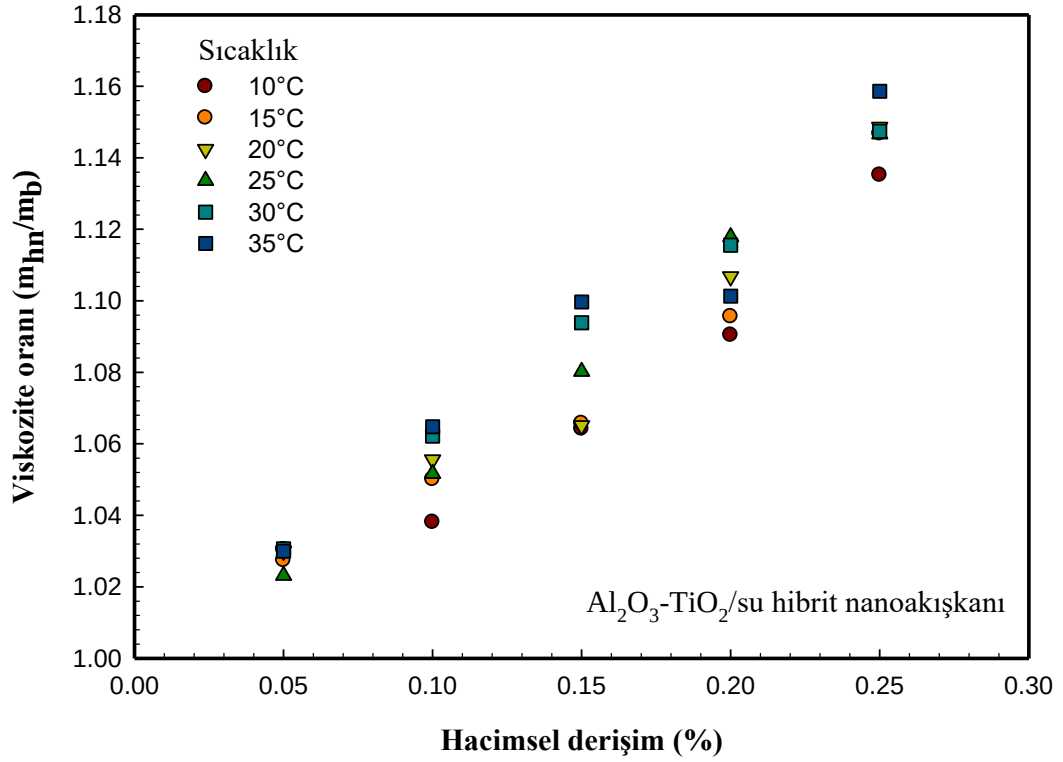
Şekil 6.8. %0.15 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



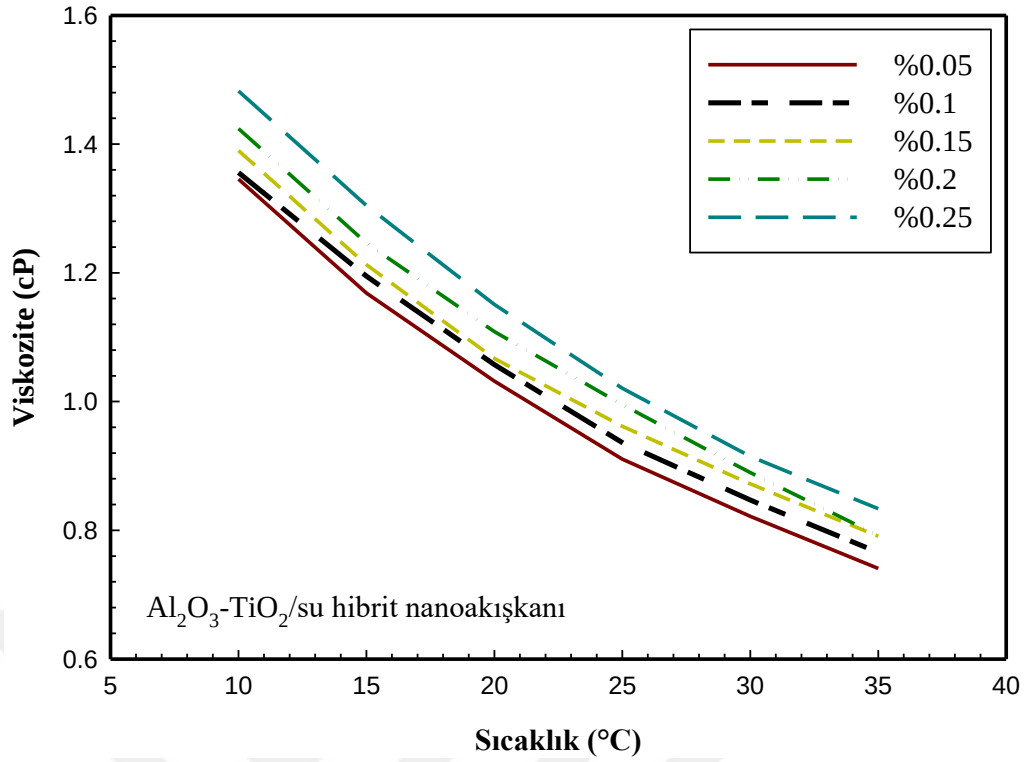
Şekil 6.9. %0.2 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.10. %0.25 Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.11. Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanının viskozite oranı

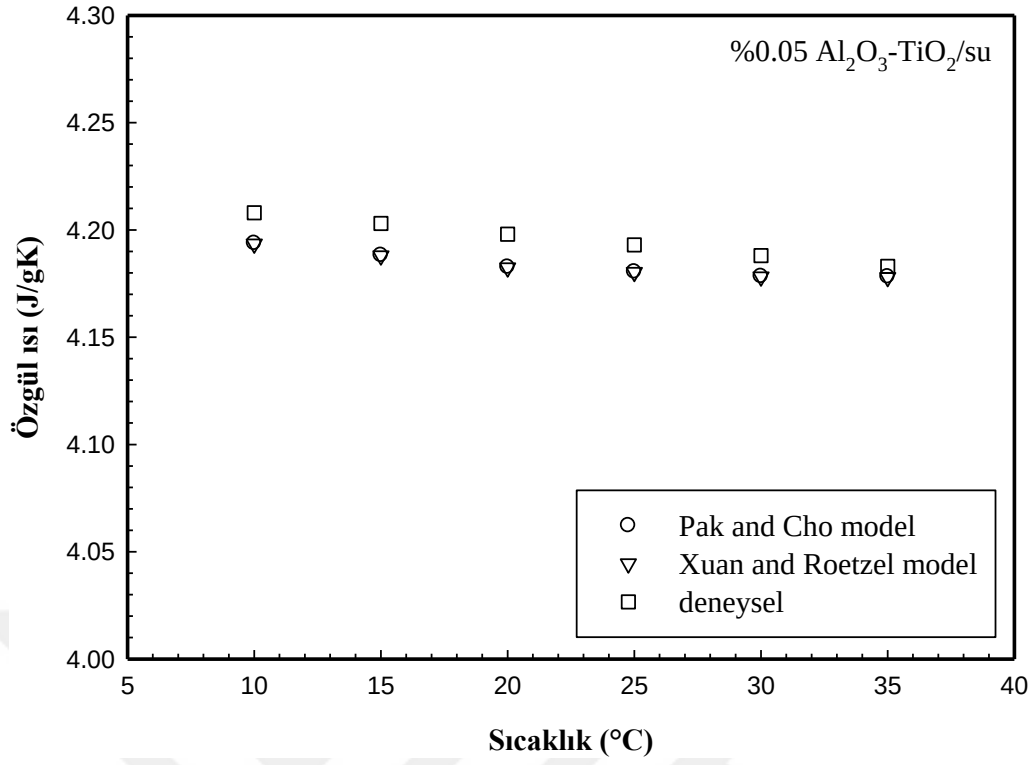


Şekil 6.12. Farklı derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değışimi

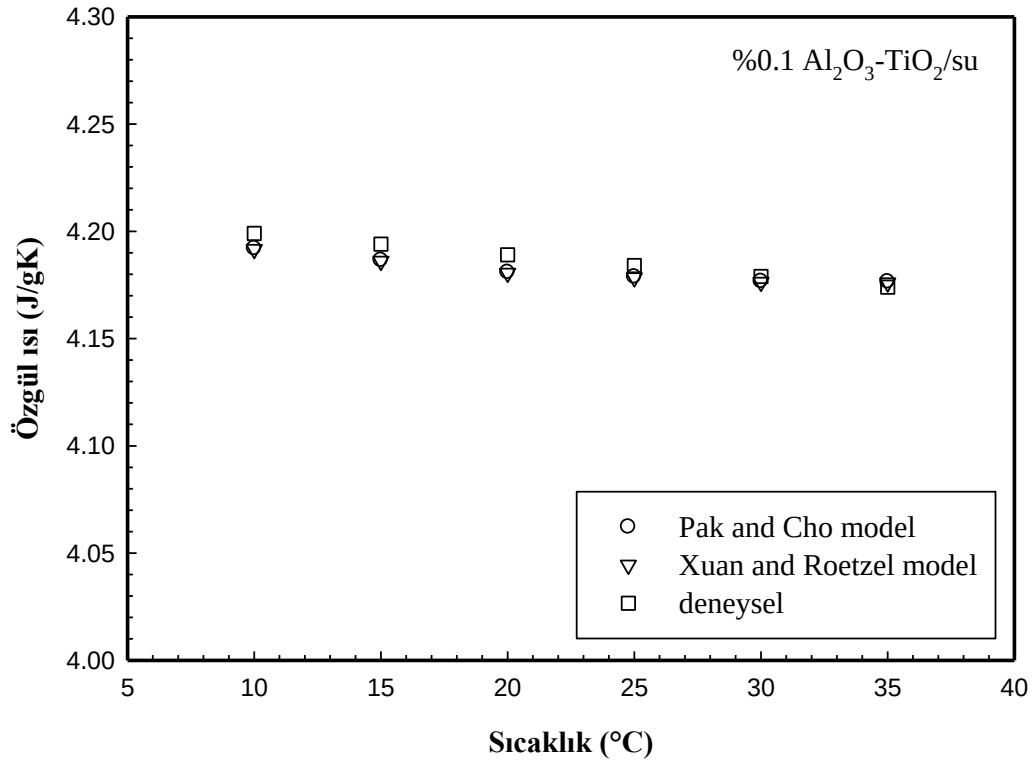
6.1.3 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkan için özgül ısı deney sonuçları

Şekil 6.13-17’de %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkanına ait deneysel özgül ısı değęrlerinin sıcaklığa bağlı değışimi ve literatürde yer alan Pak and Cho ve Xuan and Roetzel özgül ısı modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Sıcaklık artışı ile $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değęrleri azalmaktadır. Şekil 6.18-6.23’te 10-35°C sıcaklık aralıklarında $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değęrlerinin hacimsel derişime bağlı değışimi verilmiştir. Hibrit nanoakışkanının özgül ısı değęrleri hacimsel derişimdeki artış ile azalma göstermektedir.

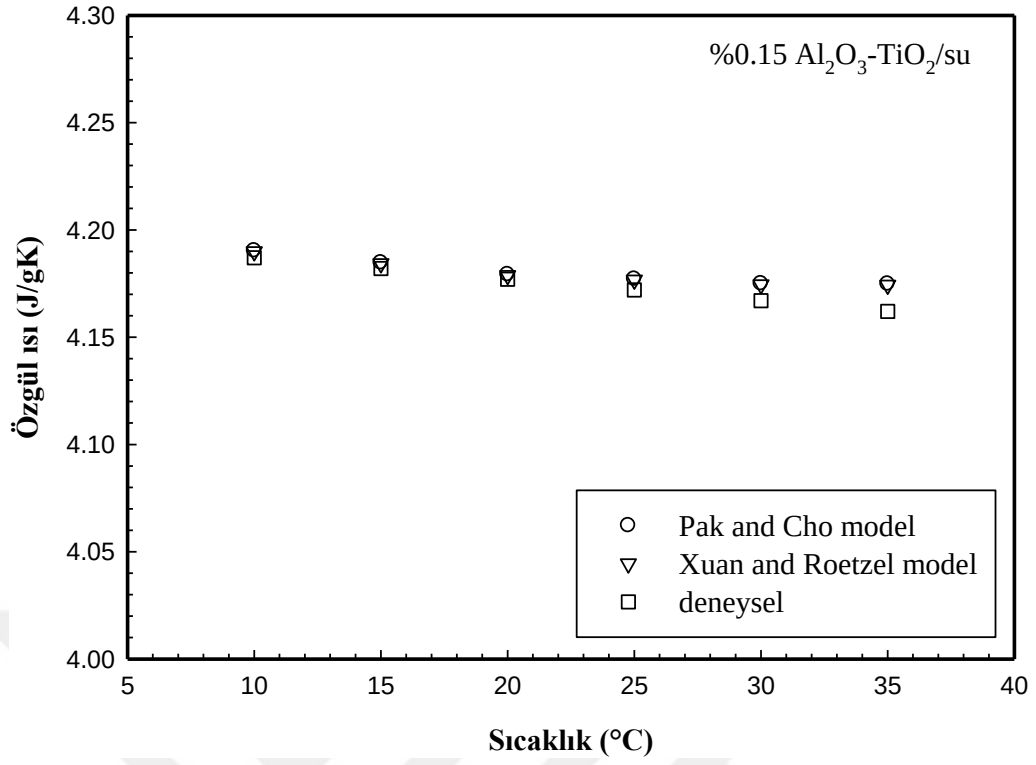
Örneğin, 30°C sıcaklıkta %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlerdeki $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkanına ait özgül ısı değęrleri sırası ile 4.188, 4.167 ve 4.125 J/gK’dir. %0.1 hacimsel derişime sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkan 10°C, 15°C ve 20°C sıcaklıklarda sırası ile 4.199, 4.194 ve 4.189 J/gK’dir.



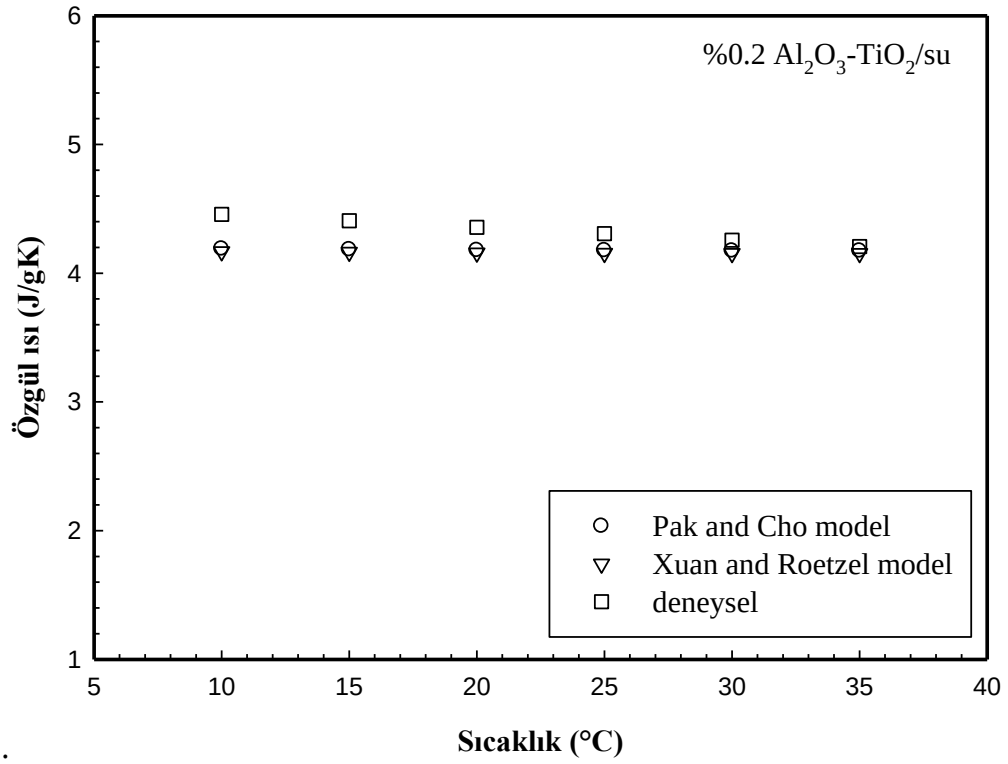
Şekil 6.13. %0.05 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



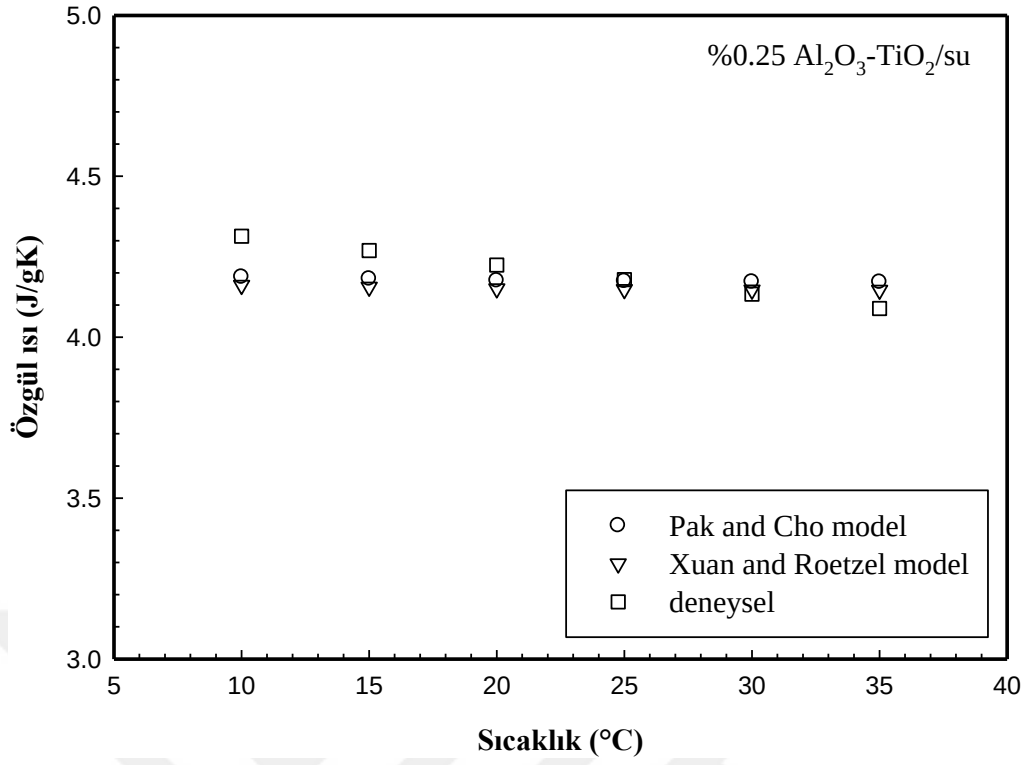
Şekil 6.14. %0.1 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



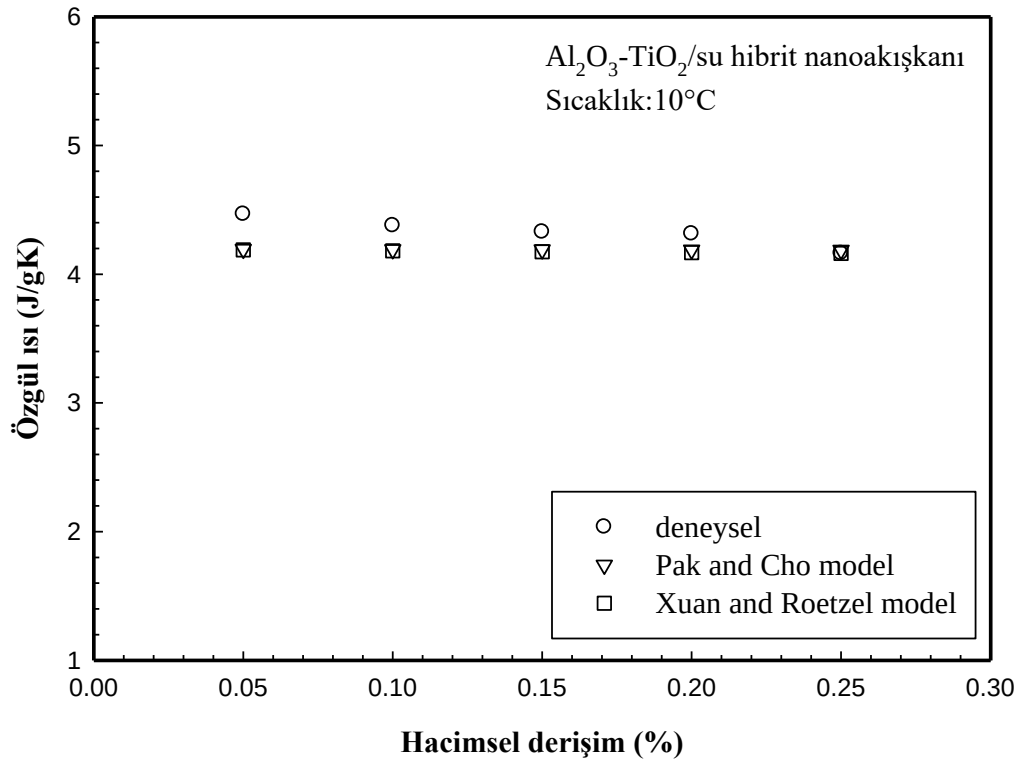
Şekil 6.15. %0.15 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



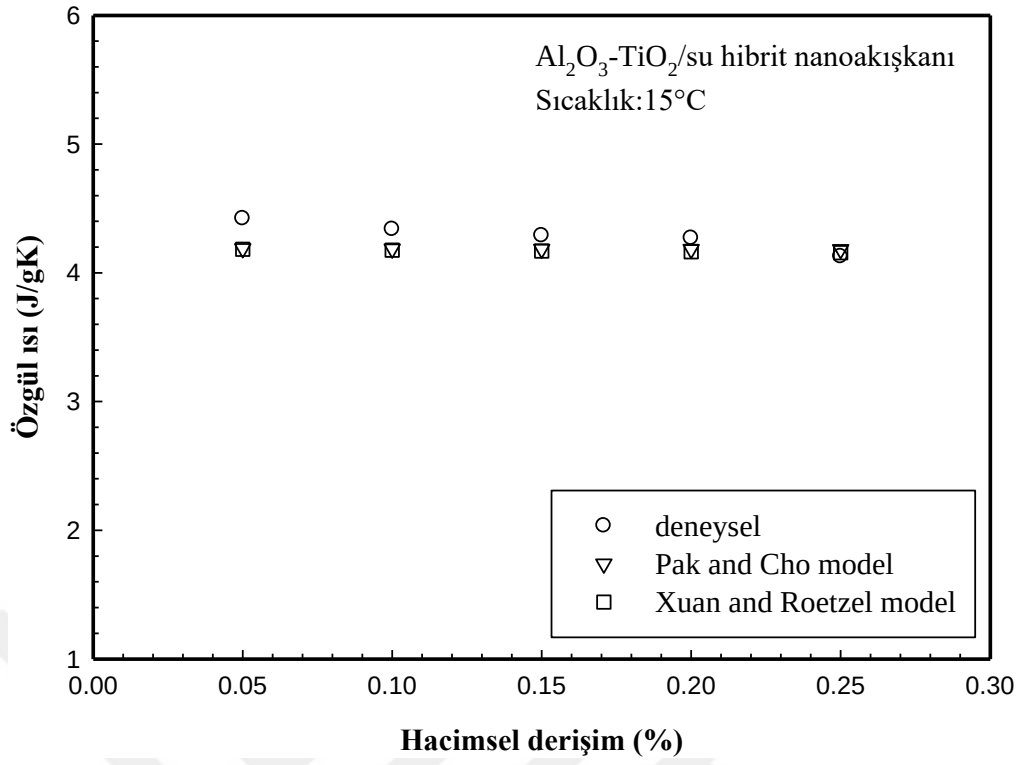
Şekil 6.16. %0.2 Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



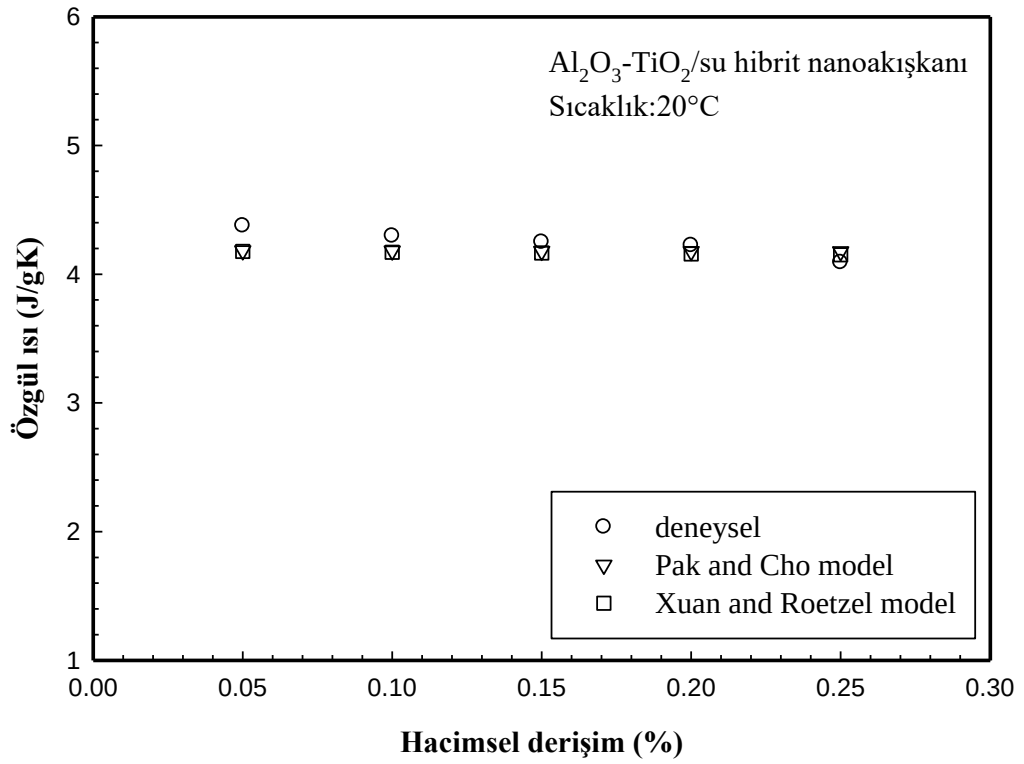
Şekil 6.17. %0.25 Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



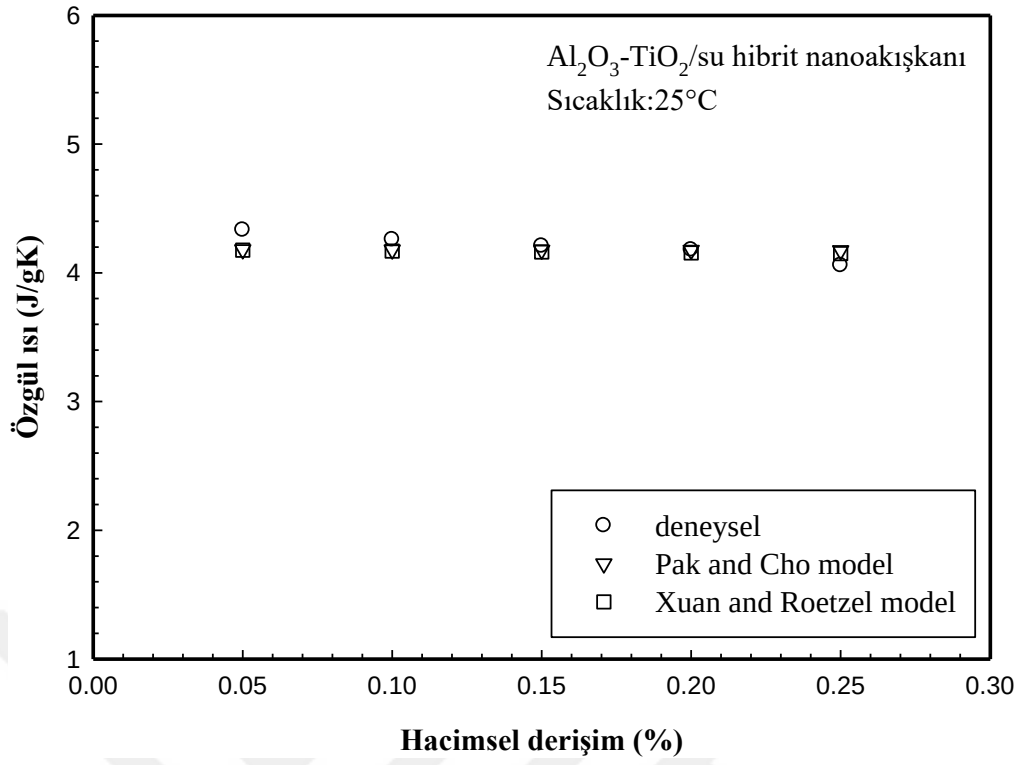
Şekil 6.18. 10°C’de Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



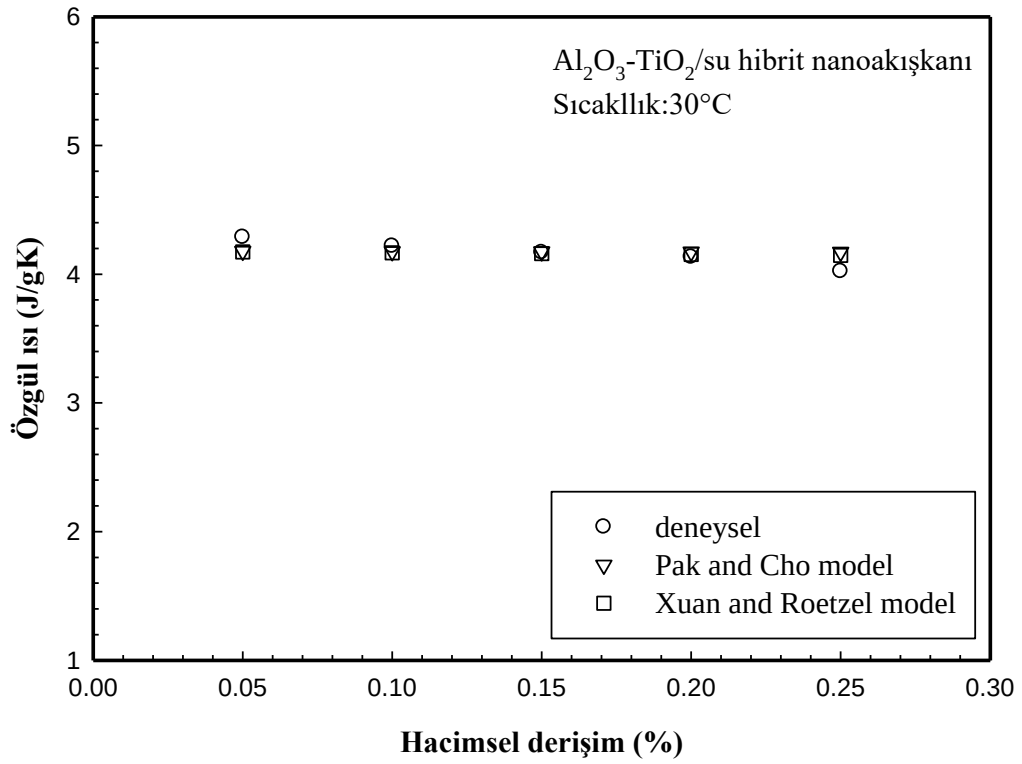
Şekil 6.19. 15°C’de Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



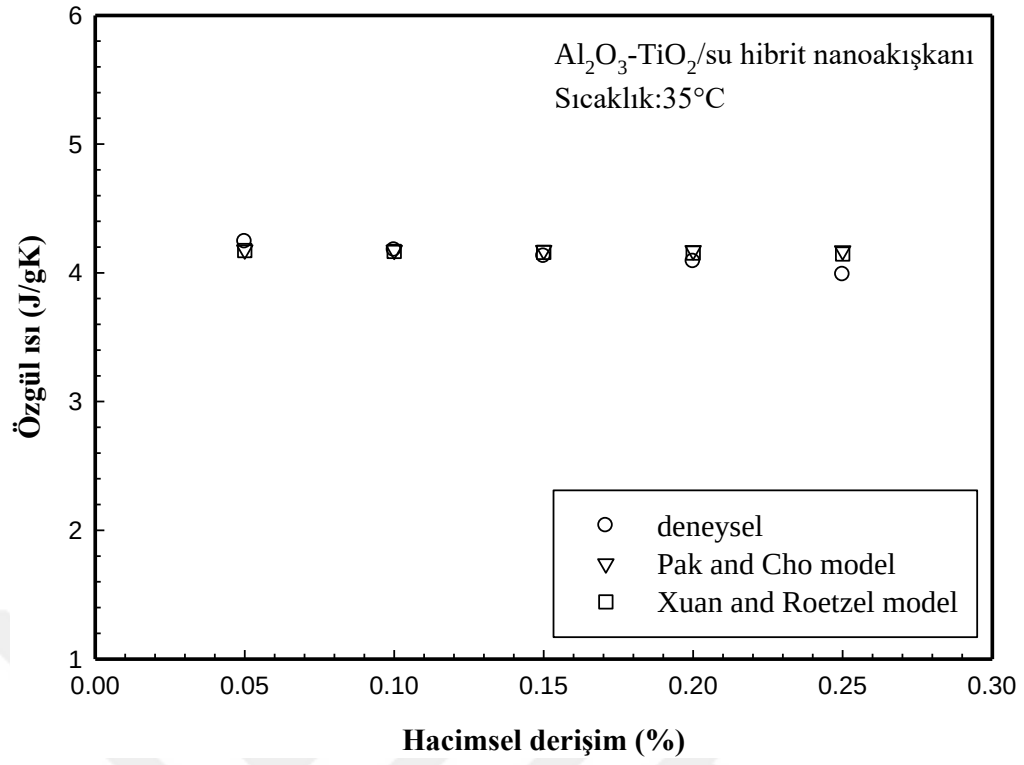
Şekil 6.20. 20°C’de Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



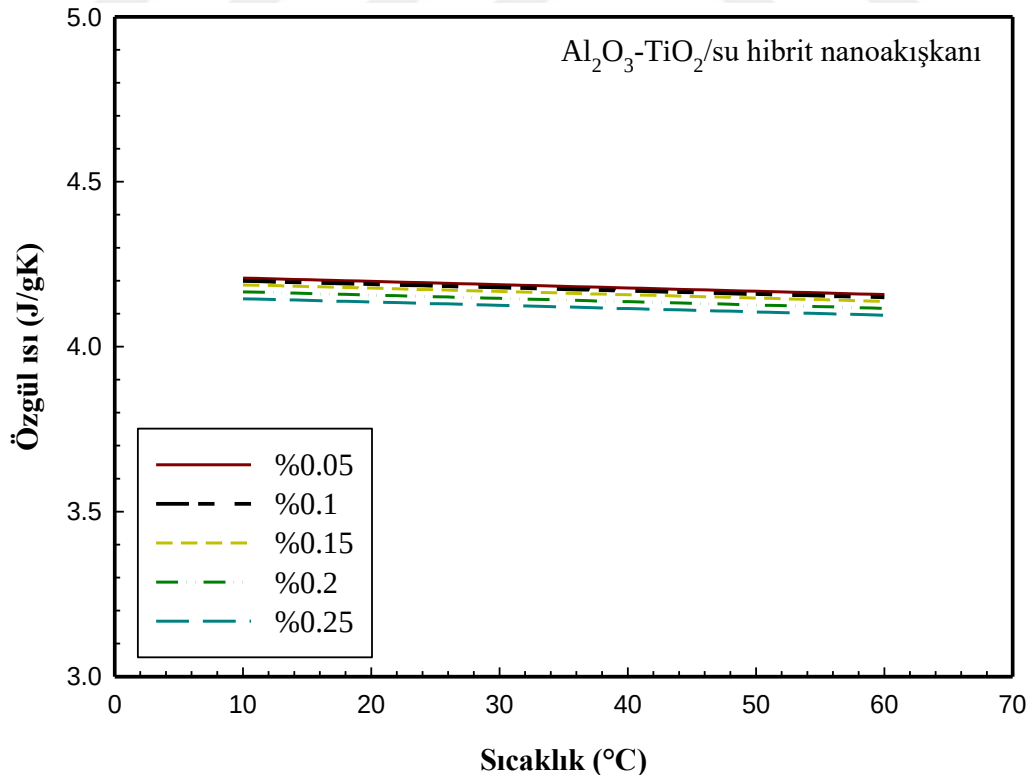
Şekil 6.21. 25°C’de Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.22. 30°C’de Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.23. 35°C’de Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.24. Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi

Şekil 6.24'te 10-60°C sıcaklık aralıklarında %0.05-0.25 hacimsel derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerinin sıcaklığa bağılı değışimi verilmiştir. Hibrit nanoakışkanına ait deneysel özgül ısı değeri sıcaklık ve hacimsel derişimdeki azalma ile azalma göstermektedir.

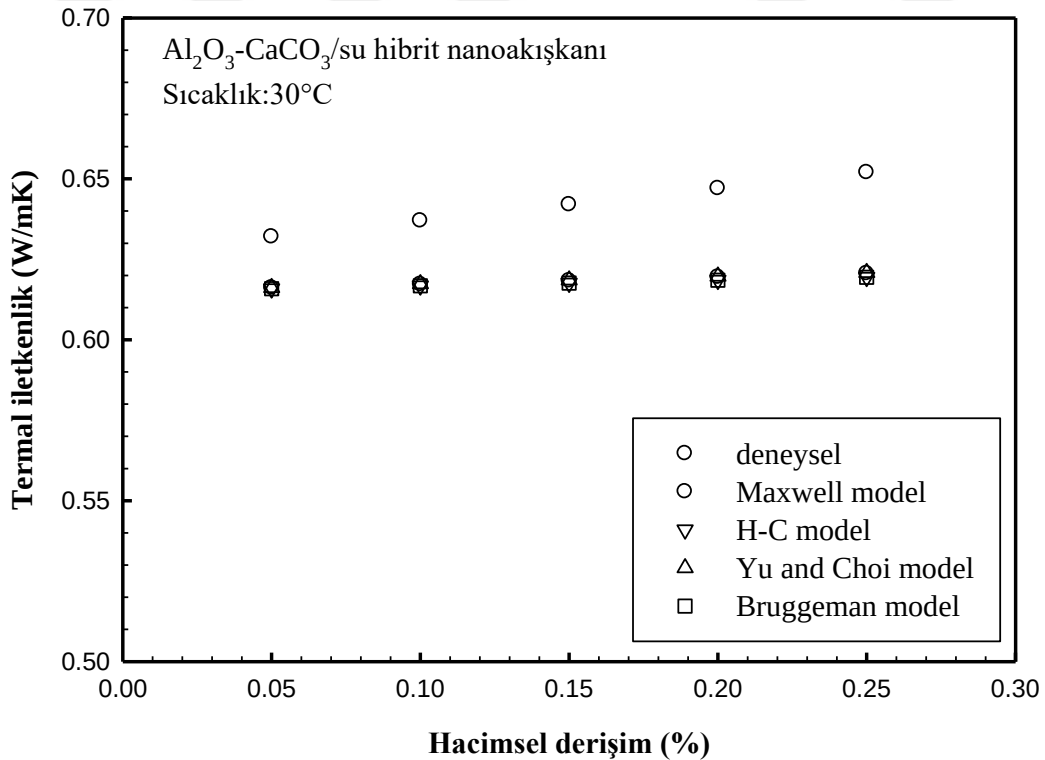
Örneğın, %0.1 hacimsel derişime sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ hibrit nanoakışkanın deneysel özgül ısı değeri 10°C ve 60°C sıcaklıklarında sırası ile 4.199 ve 4.149 J/gK'dir.



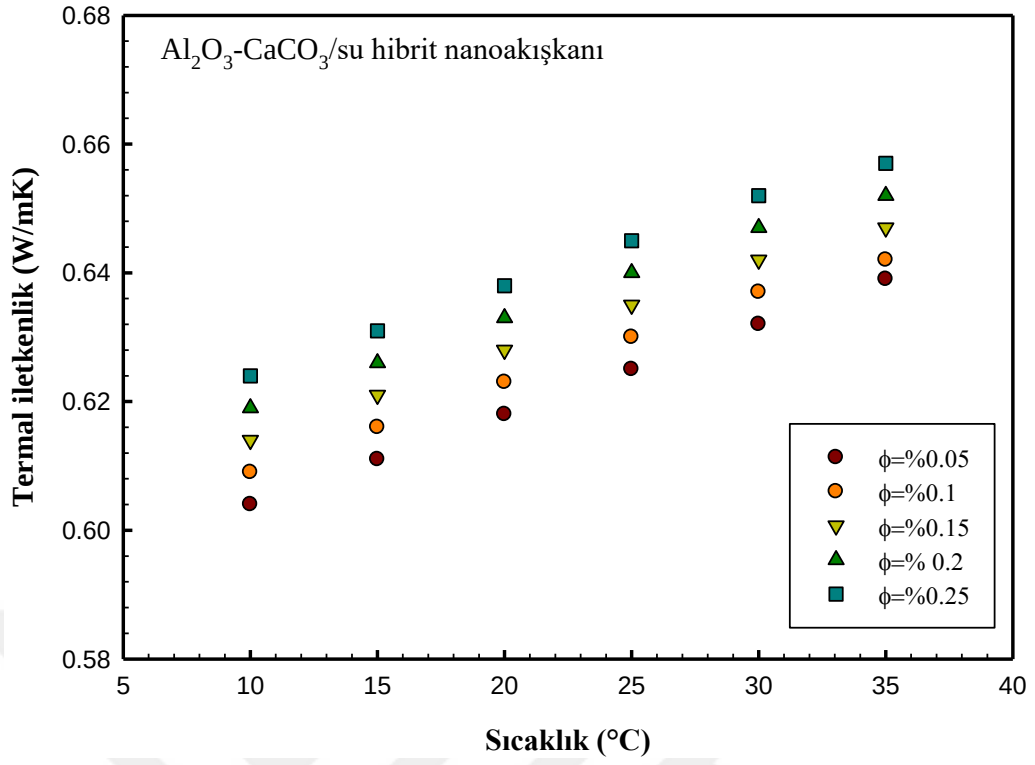
6.2 Al₂O₃-CaCO₃/su Hibrit Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

6.2.1 Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları

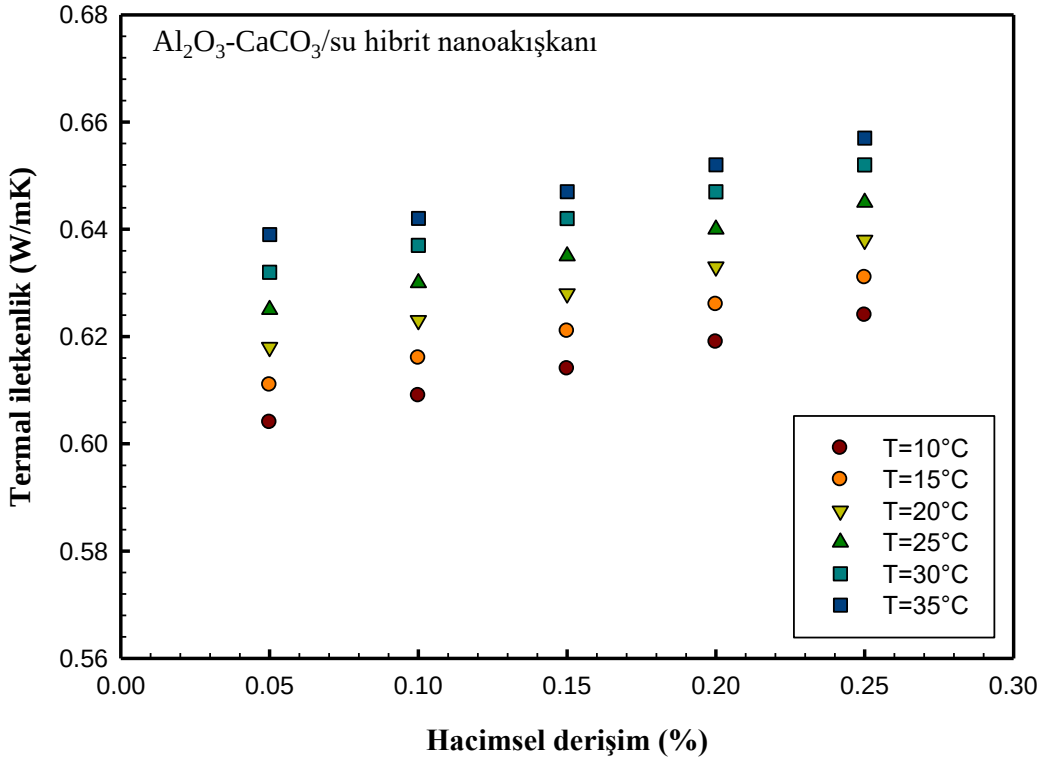
Şekil 6.25'te 30°C sıcaklıkta Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerlerinin hacimsel derişime bağılı değişimi ve literatürde yer alan termal iletkenlik modelleri ile değişimi verilmiştir. Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik değerleri hacimsel derişimdeki artış ile artmaktadır. Şekil 6.26 ve Şekil 6.27'de Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık ve hacimsel derişime bağılı değişimi verilmiştir. Sıcaklık artışı hibrit nanoakışkanın termal iletkenlik özelliğini iyileştirmektedir. Şekil 6.28 ve Şekil 6.29'da Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerlerinin baz akışkana göre termal iletkenlik özelliğindeki iyileştirilmesi sıcaklık ve hacimsel derişime bağılı değişimi verilmiştir. Örneğin, 25°C'de %0.1 ve %0.25 hacimsel derişime sahip Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.630 ve 0.645 W/mK'dir. %0.15 hacimsel derişime sahip hibrit nanoakışkanın termal iletkenlik iyileştirmesi 10°C ve 35°C sıcaklıklarda sırası ile %5.862 ve %3.852'dir.



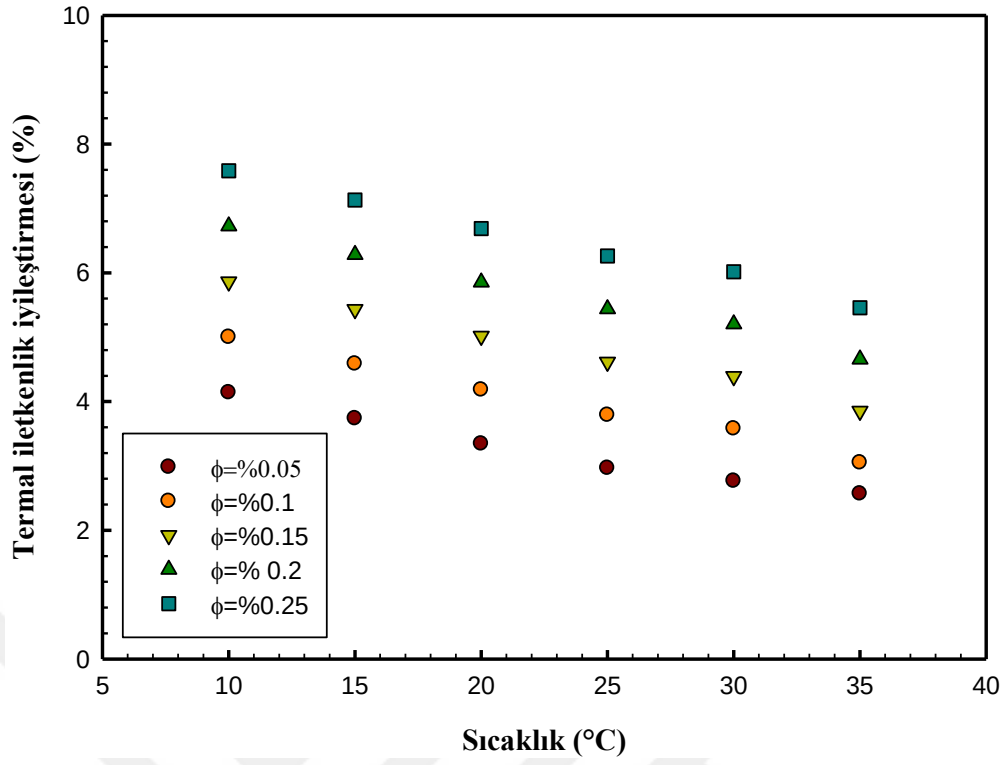
Şekil 6.25. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



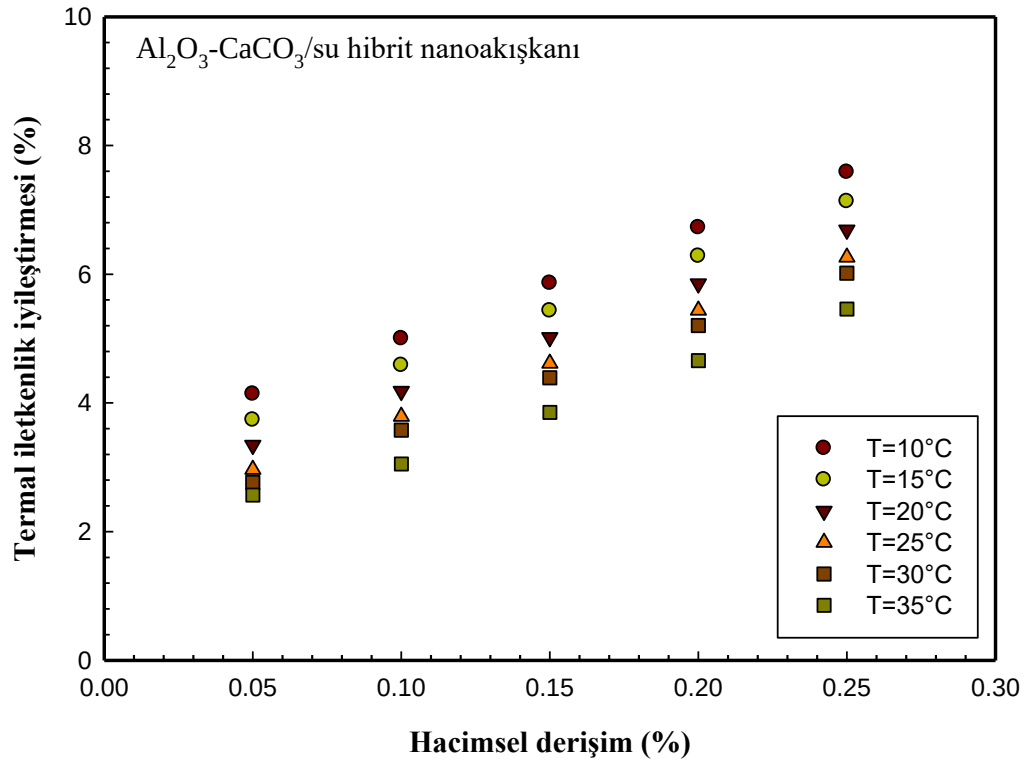
Şekil 6.26. Farklı hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değışimi



Şekil 6.27. Farklı sıcaklık değeriinde Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değışimi



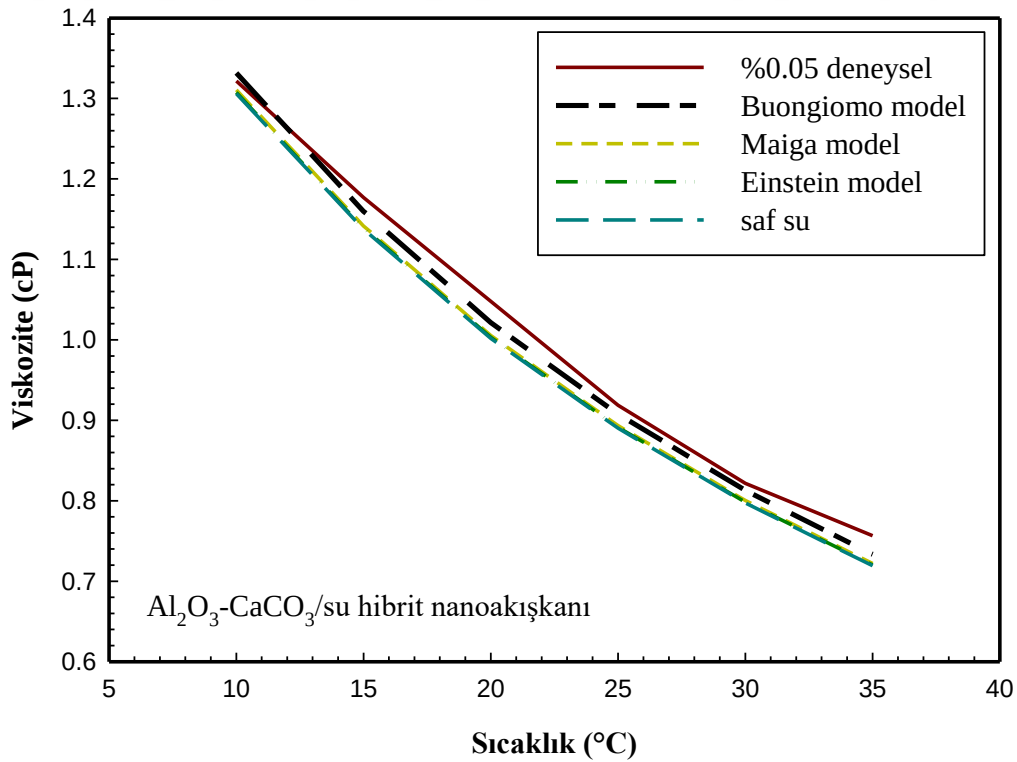
Şekil 6.28. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değışimi



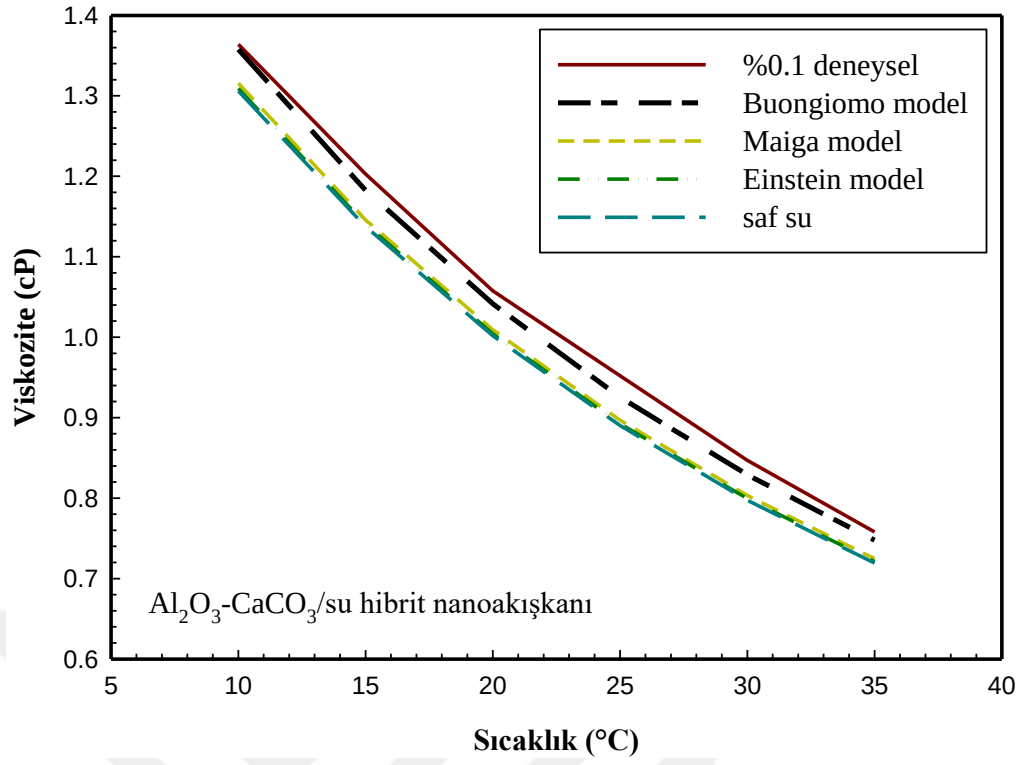
Şekil 6.29. Farklı sıcaklıklarda $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değışimi

6.2.2 Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan için viskozite deney sonuçları

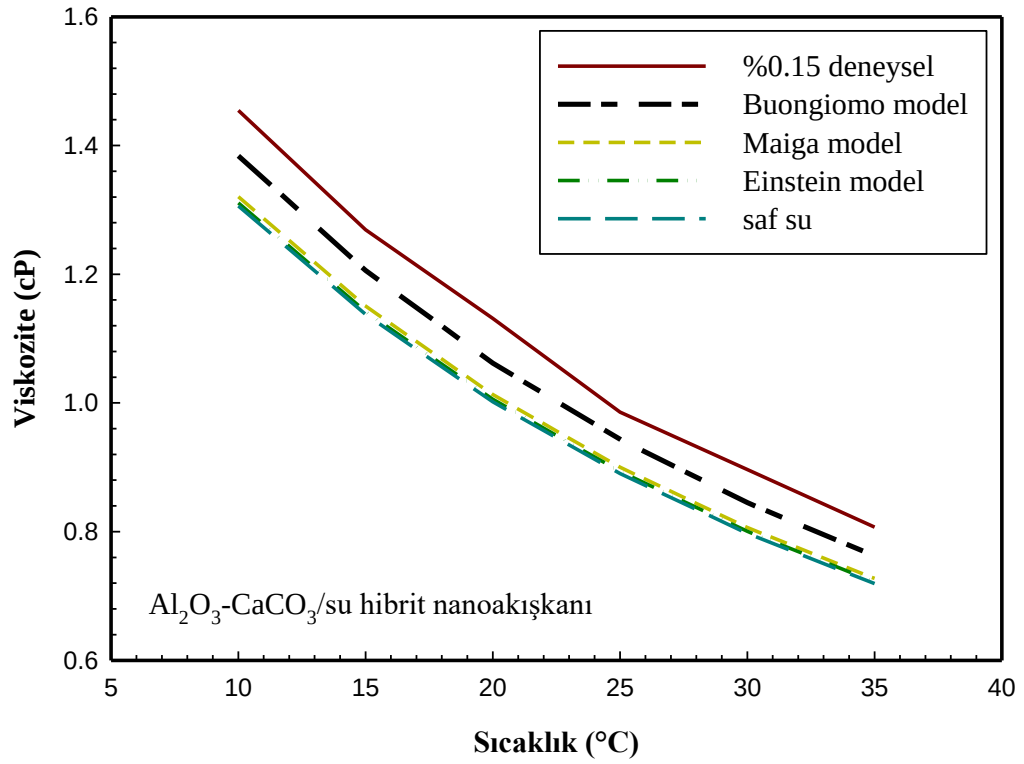
Şekil 6.30-6.34'te %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlerdeki Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęerlerinin sıcaklığa bağlı değışimi ve Buongiorno, Maiga ve Einstein viskozite modelleri ile karşılaştıırılması verilmiştir. Buongiorno viskozite modeli Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının viskozite değęerleri ile uyum göstermektedir. Şekil 6.35'te Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının viskozite değęerlerinin baz akışkan viskozitesine oranının hacimsel derişim ile değışimi verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış ile Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının viskozite oranı artmaktadır. Şekil 6.36'da 10-35°C sıcaklık aralığında %0.05-0.25 hacimsel derişimlerdeki Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının viskozite değęerleri verilmiştir. Hacimsel derişimi arttığında hibrit nanoakışkanın viskozite özelliği artış gösterirken sıcaklık artışı ile azalma göstermektedir. Örneğin, 20°C'de %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlerdeki Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęerleri sırası ile 1.023, 1.058 ve 1.099 cP'dir. %0.1 hacimsel derişime sahip hibrit nanoakışkan 10°C ve 35°C sıcaklıklarında deneysel viskozite değęerleri sırası ile 1.339 ve 0.765 cP'dir.



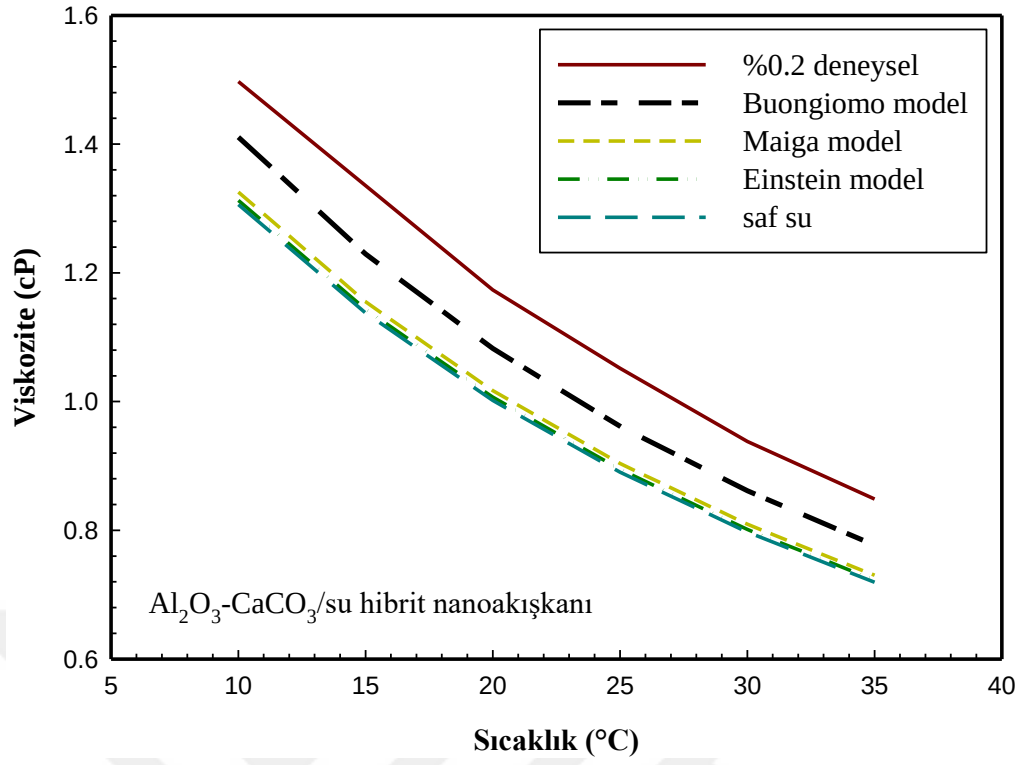
Şekil 6.30. %0.05 Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęerinin literatür modelleri ile karşılaştıırılması



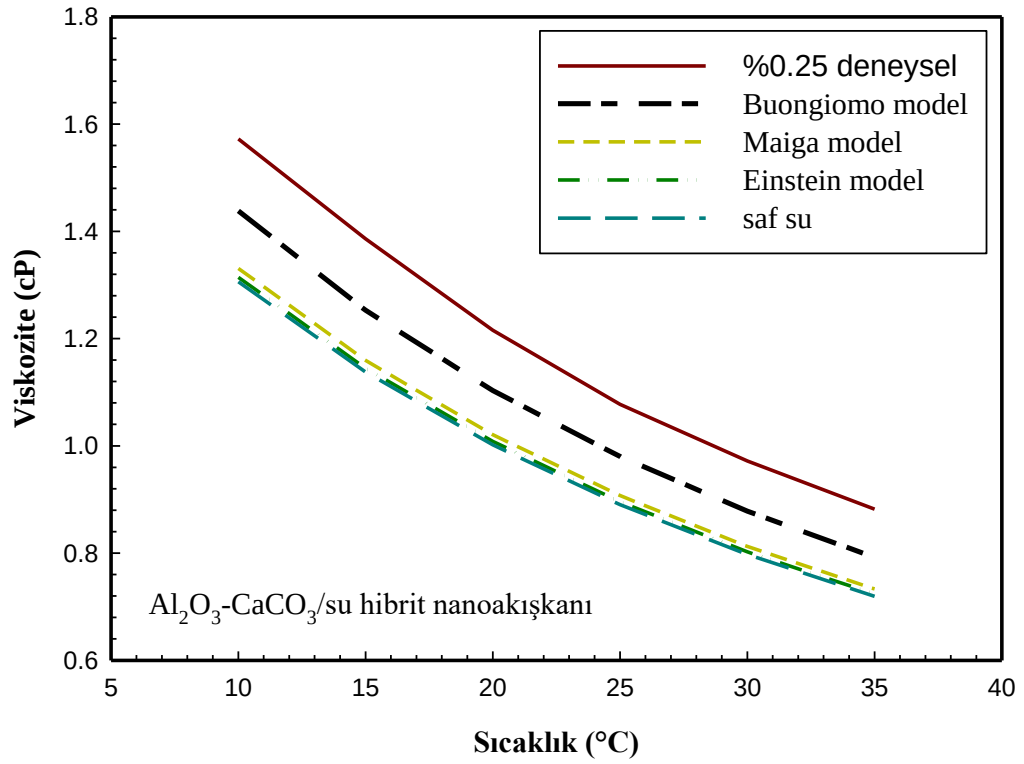
Şekil 6.31. %0.1 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



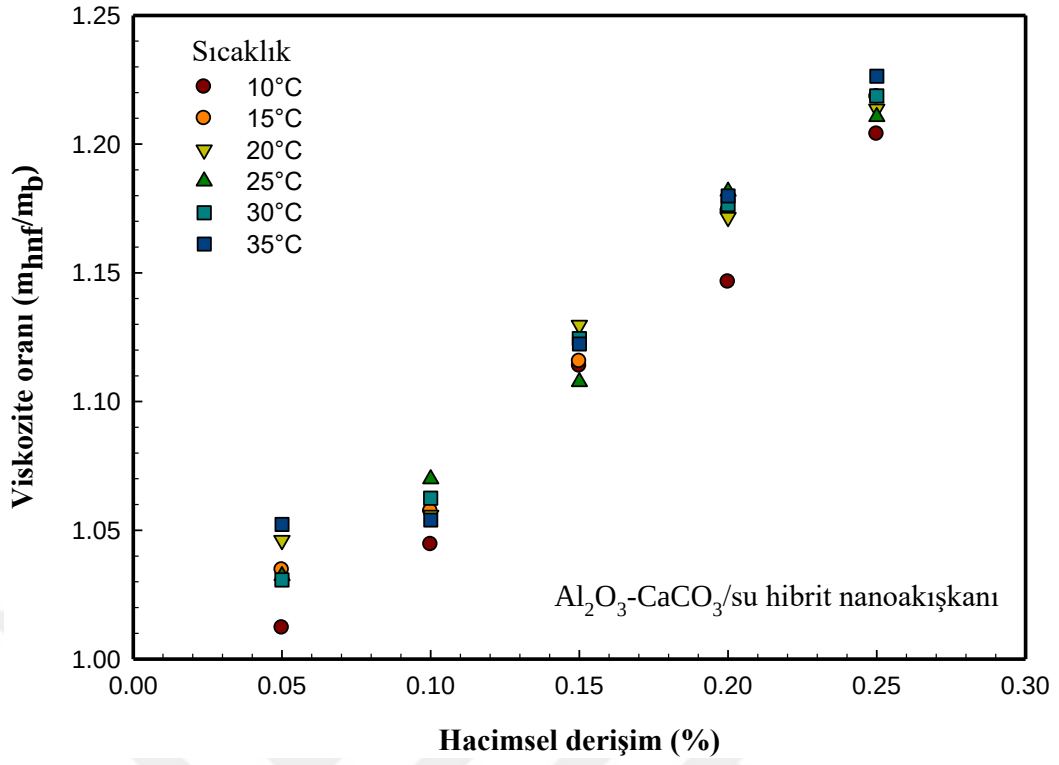
Şekil 6.32. %0.15 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



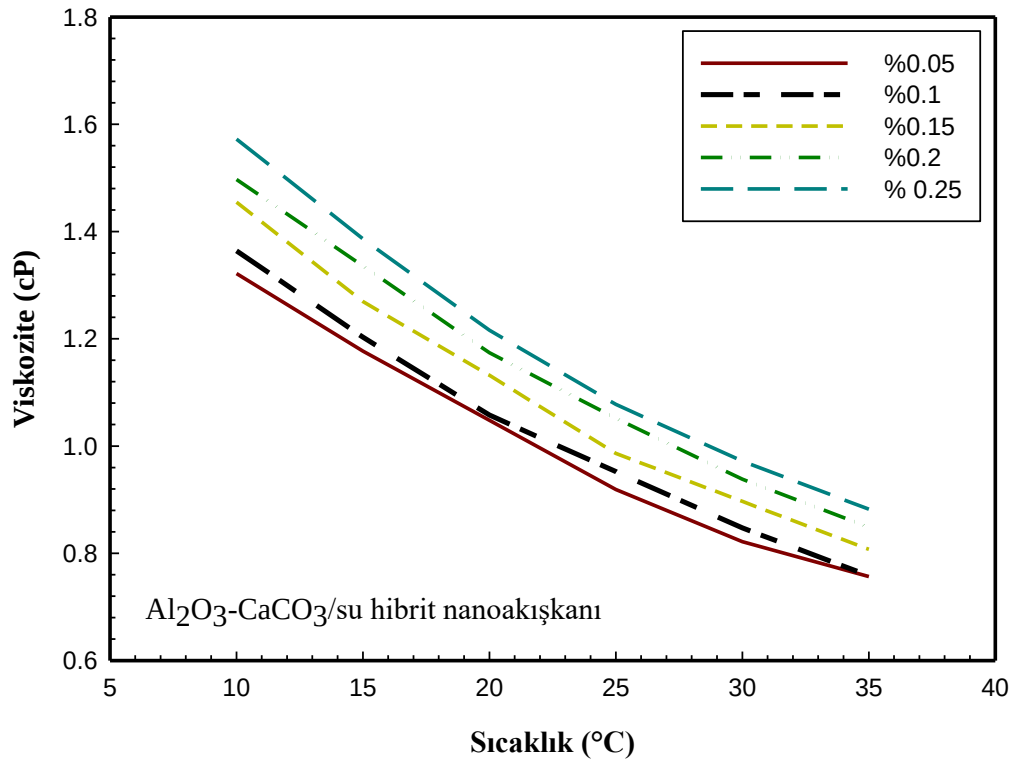
Şekil 6.33. %0.2 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.34. %0.25 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.35. Al_2O_3 - $CaCO_3$ /su hibrit nanoakışkanının viskozite oranı

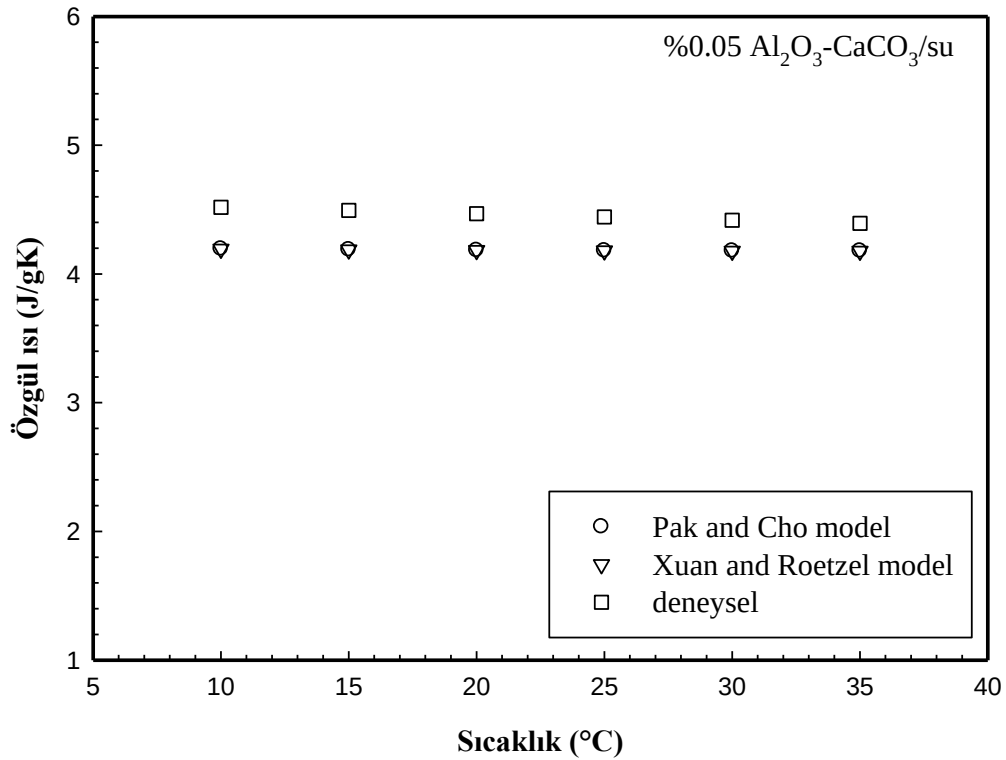


Şekil 6.36. Farklı derişimlere sahip Al_2O_3 - $CaCO_3$ /su hibrit nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değişimi

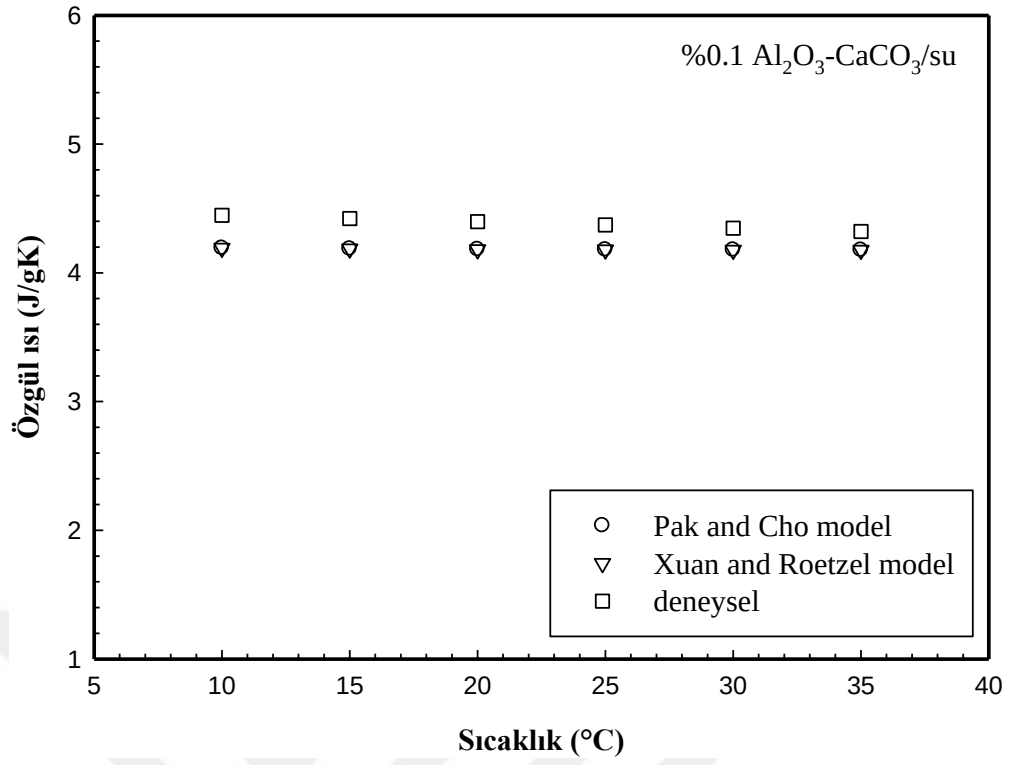
6.2.3 Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanı için özgül ısı deney sonuçları

Şekil 6.37-6.41’de %0.05-0.25 hacimsel derişim aralığındaki Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerlerinin sıcaklığa bağılı değışimi ve Pak and Cho ve Xuan and Roetzel özgül ısı modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 6.42-6.47’de 10-35°C sıcaklık aralığında Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerlerinin hacimsel derişime bağılı değışimi verilmiştir. Sıcaklık ve hacimsel derişimdeki artış hibrit nanoakışkanın özgül ısı değıerlerini azaltmaktadır.

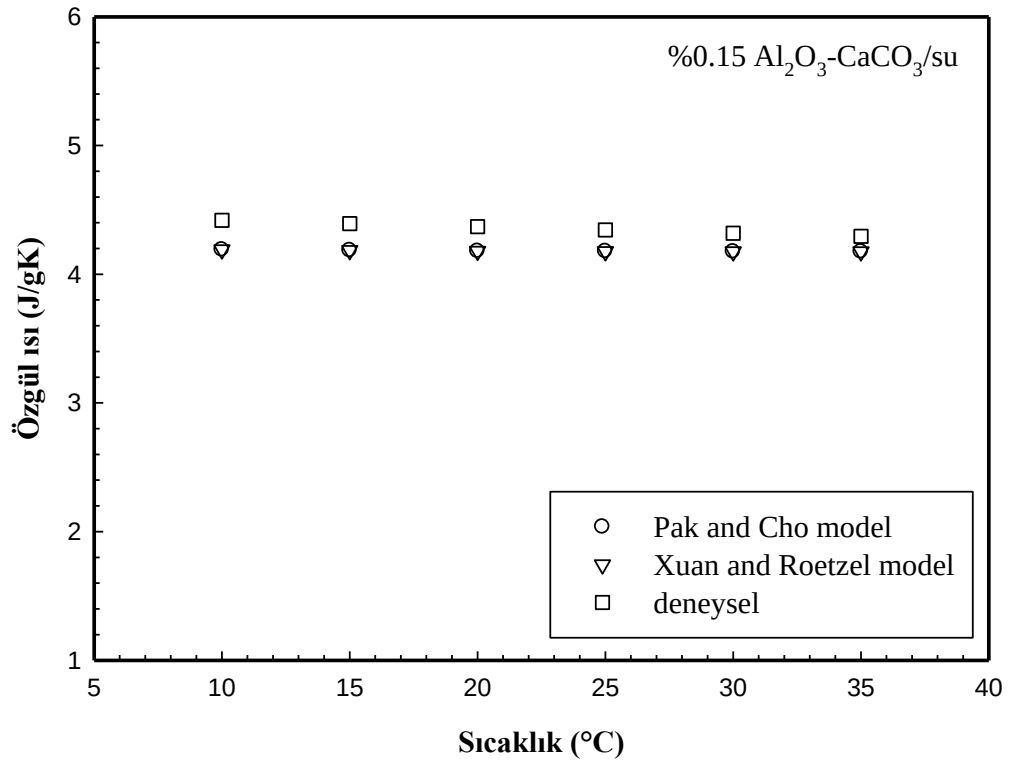
Örneğın, 25°C sıcaklıkta %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimdeki Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanın deneysel özgül ısı değıerleri sırası ile 4.443, 4.344 ve 4.264 J/gK’dır. %0.2 hacimsel derişime sahip Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının 10°C, 20°C ve 30°C sıcaklıklarında deneysel özgül ısı değıerleri sırası ile 4.409, 4.349 ve 4.289 J/gK’dır.



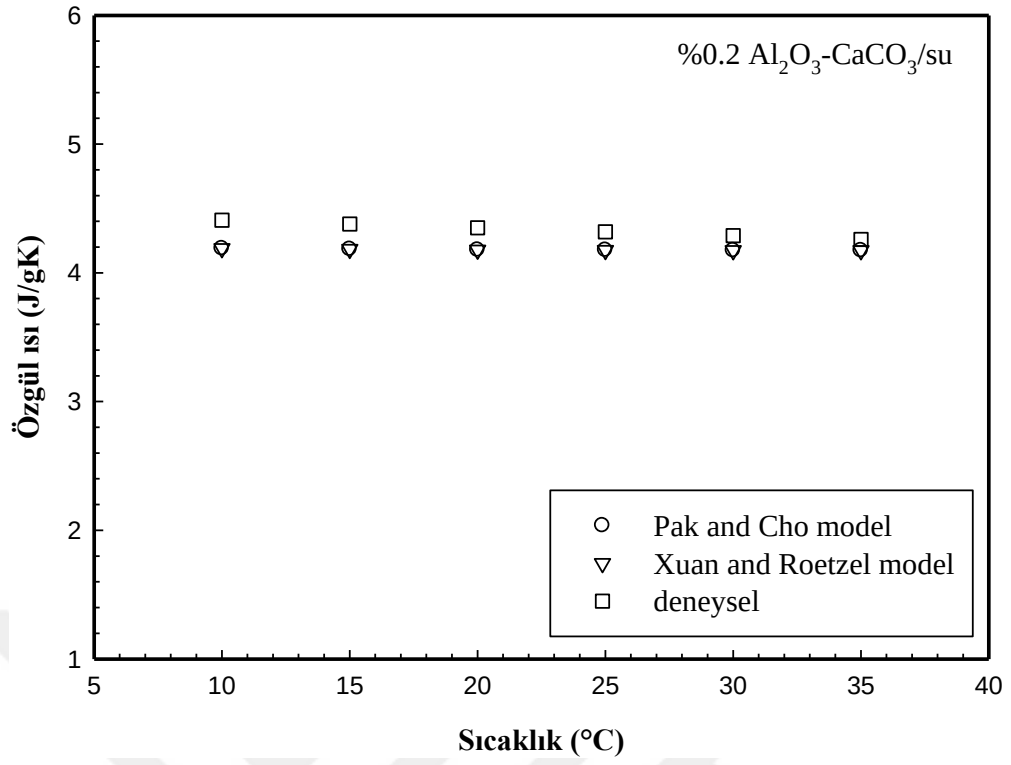
Şekil 6.37. %0.05 Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısılarının modeller ile karşılaştırılması



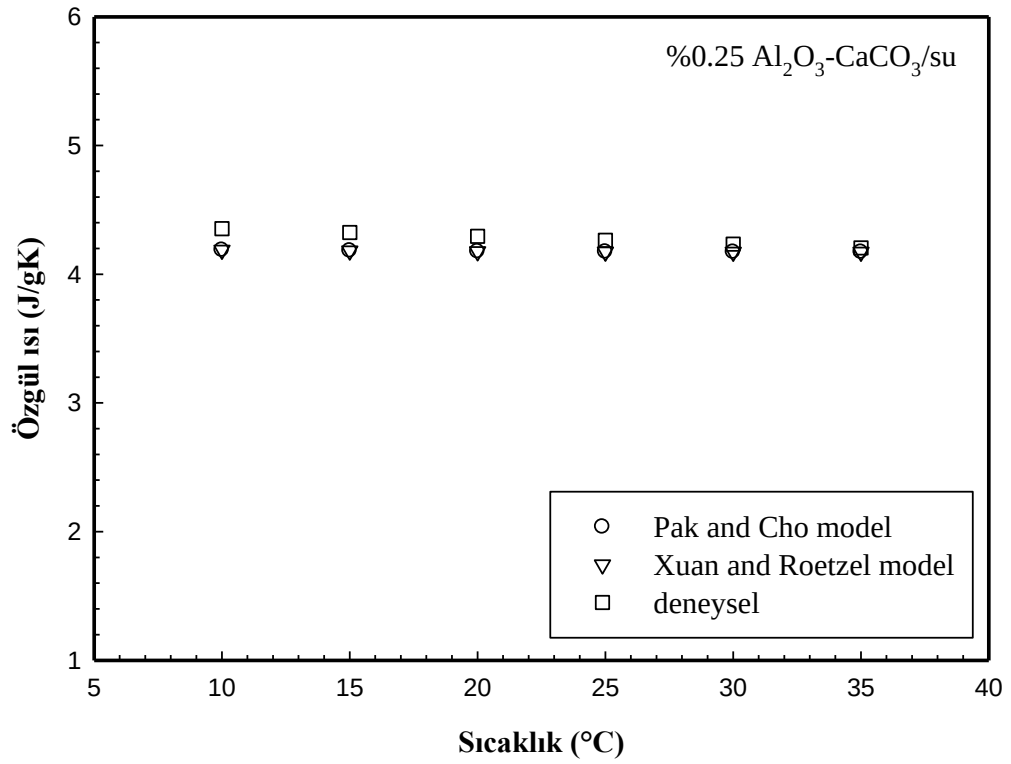
Şekil 6.38. %0.1 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



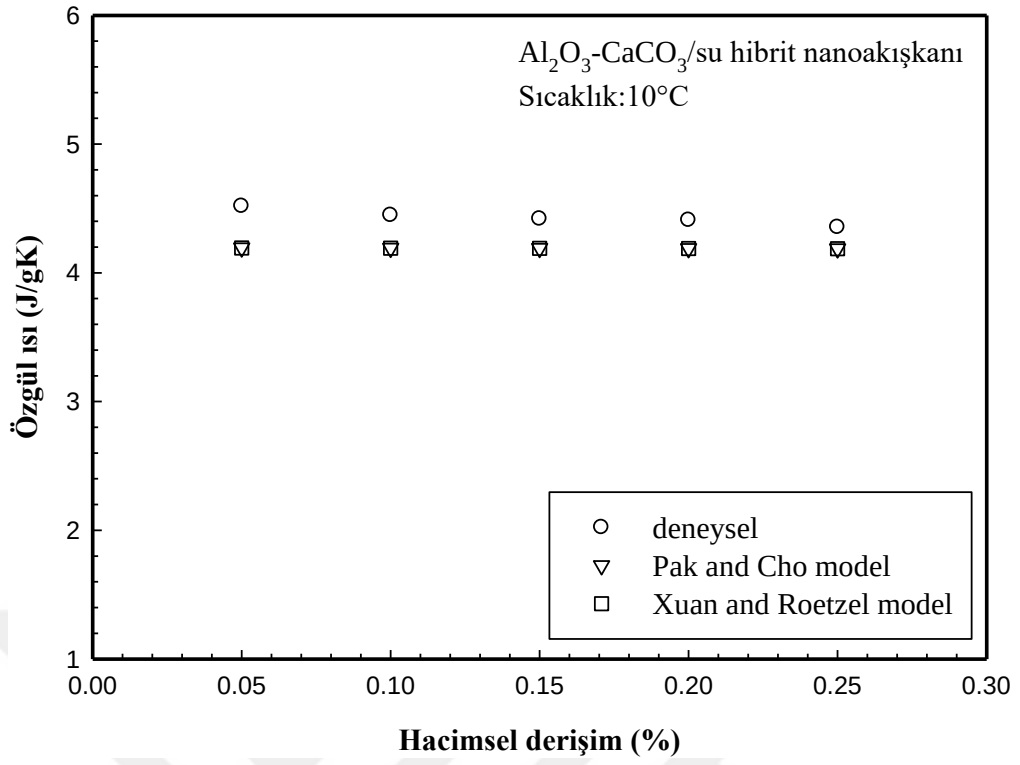
Şekil 6.39. %0.15 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



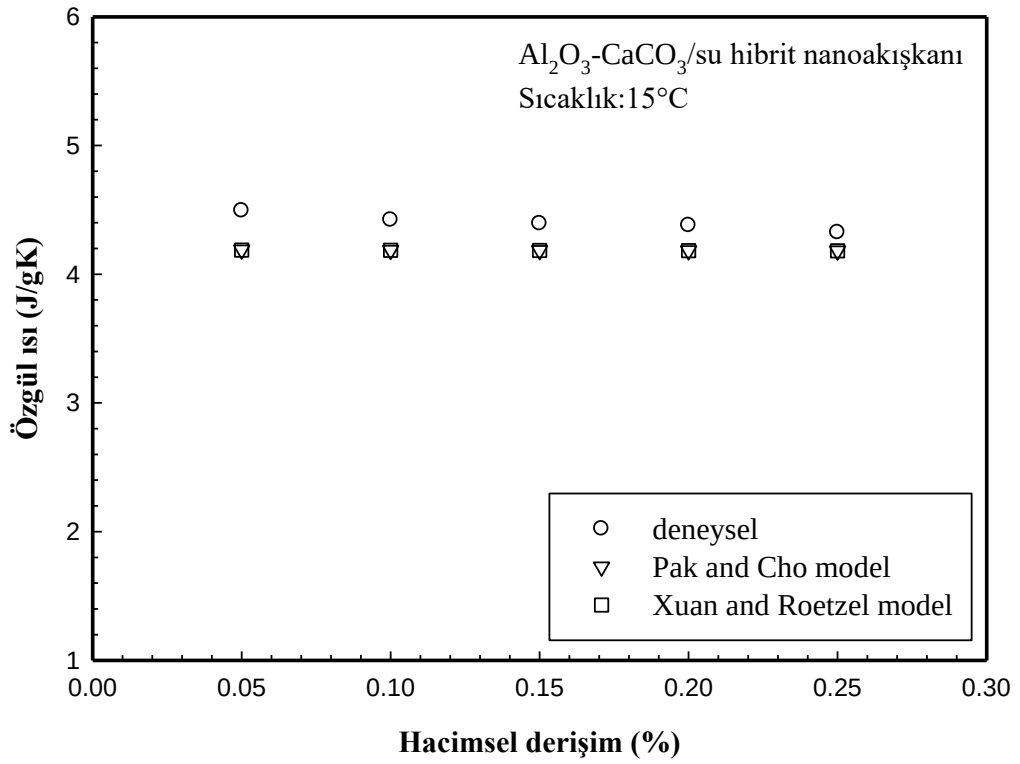
Şekil 6.40. %0.2 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



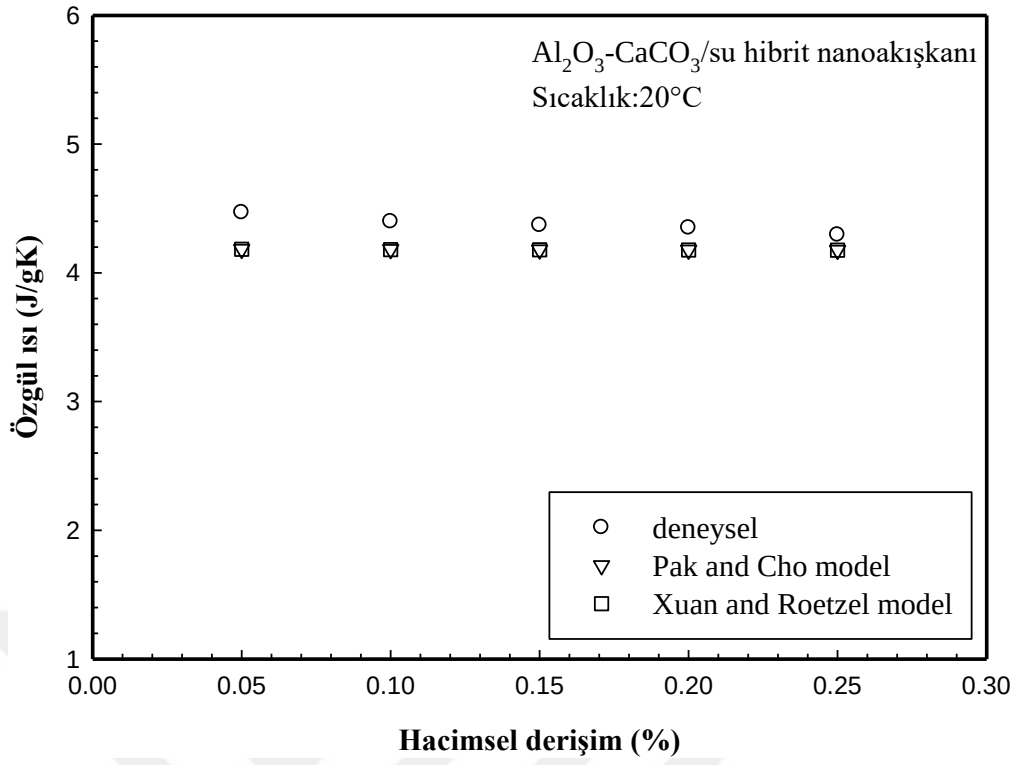
Şekil 6.41. %0.25 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



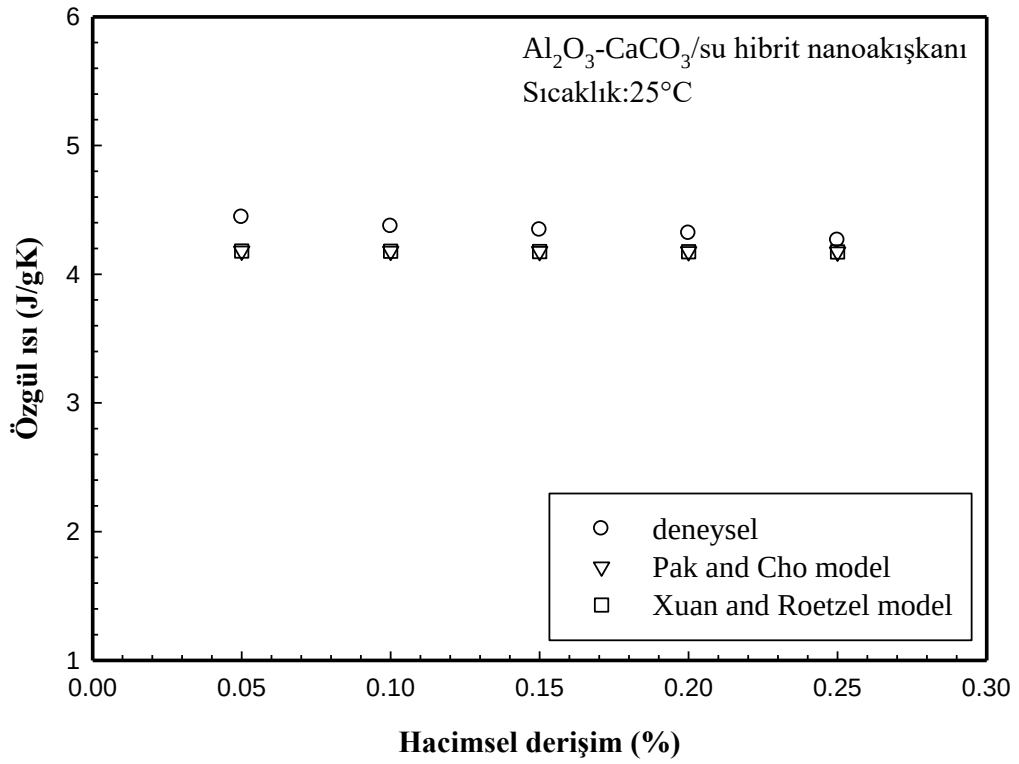
Şekil 6.42. 10°C’de Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



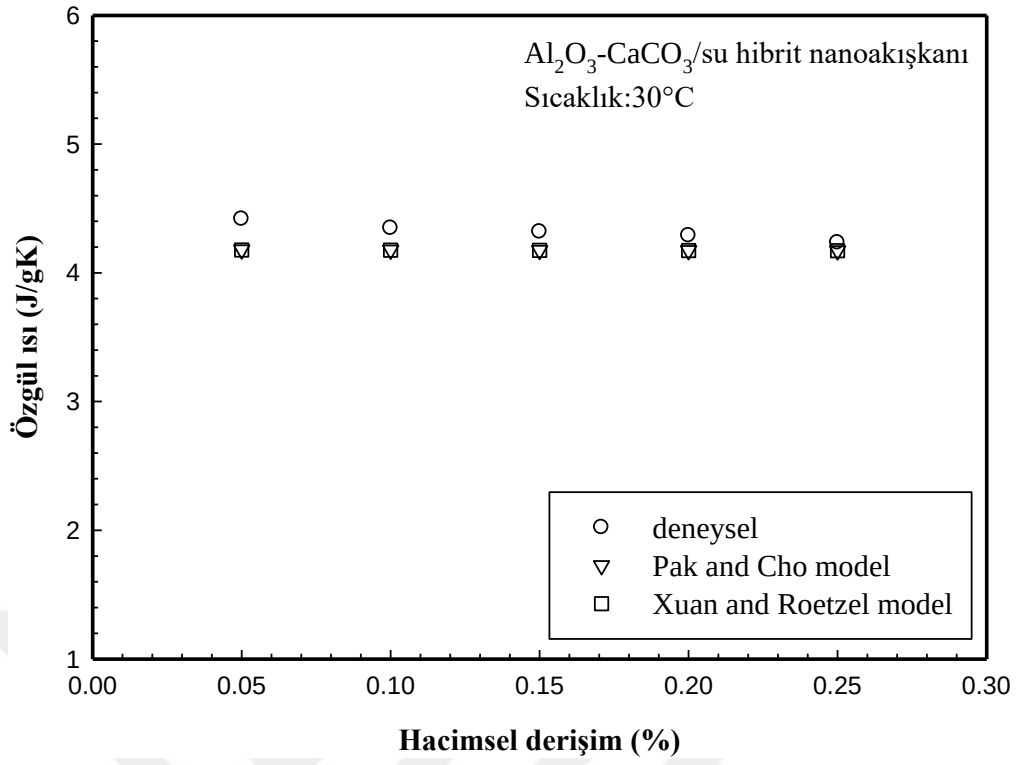
Şekil 6.43. 15°C’de Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



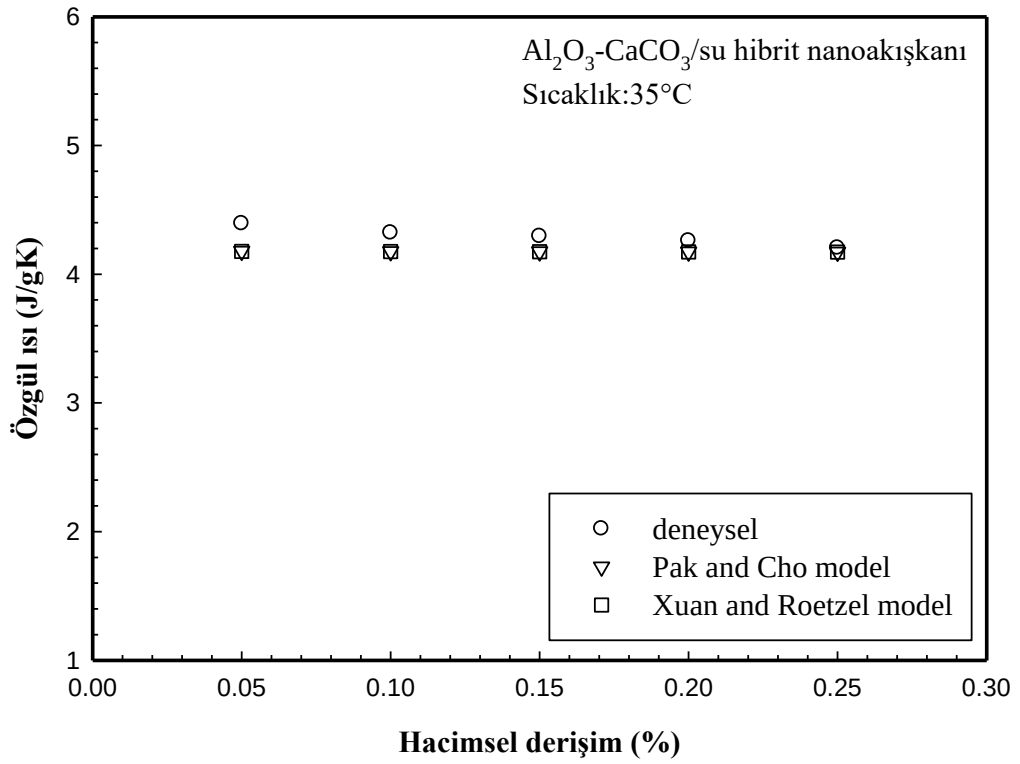
Şekil 6.44. 20°C’de Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



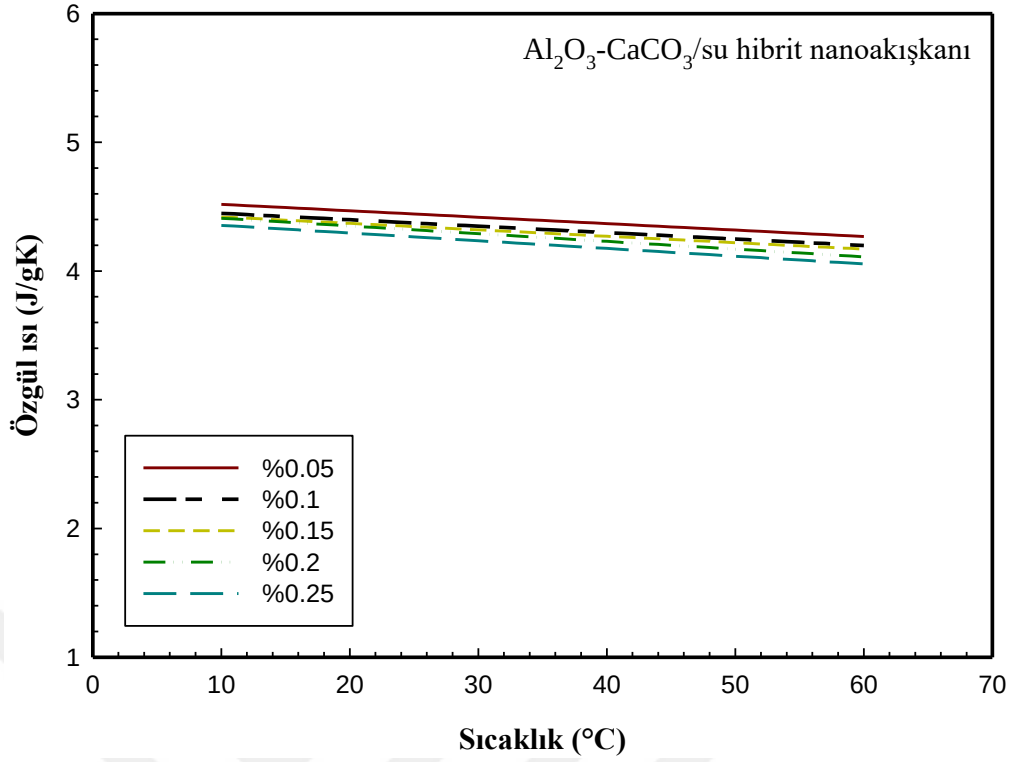
Şekil 6.45. 25°C’de Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.46. 30°C’de Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.47. 35°C’de Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.48. $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi

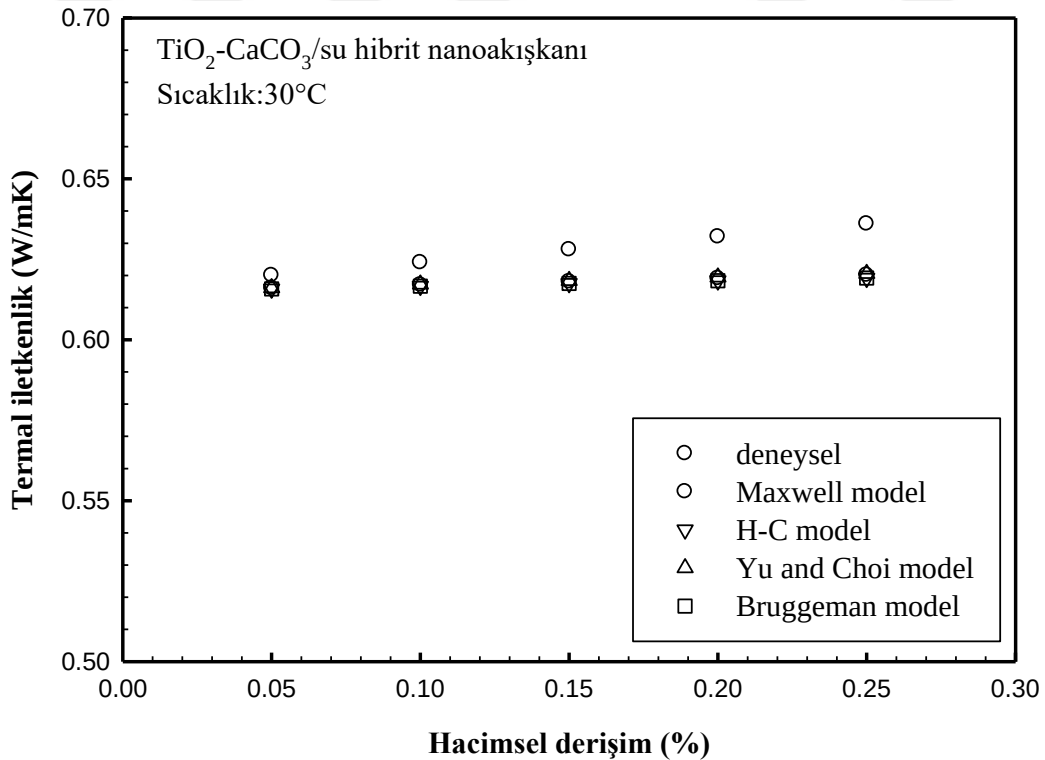
Şekil 6.48’de %0.05-0.25 hacimsel derişimlerdeki $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının 10-60°C sıcaklık aralıklarında deneysel özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre sıcaklıkta ve hacimsel derişimdeki artış hibrit nanoakışkanın özgül ısı değerlerini azaltmaktadır.

Örneğin, %0.1 hacimsel derişimdeki $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanın 10°C ve 50°C sıcaklıklarda deneysel özgül ısı değerleri sırası ile 4.447 ve 4.247 J/gK’dir. 60°C’de %0.1, %0.15 ve %0.2 hacimsel derişime sahip hibrit nanoakışkanın deneysel özgül ısı değerleri sırası ile 4.197, 4.169 ve 4.109 J/gK’dir.

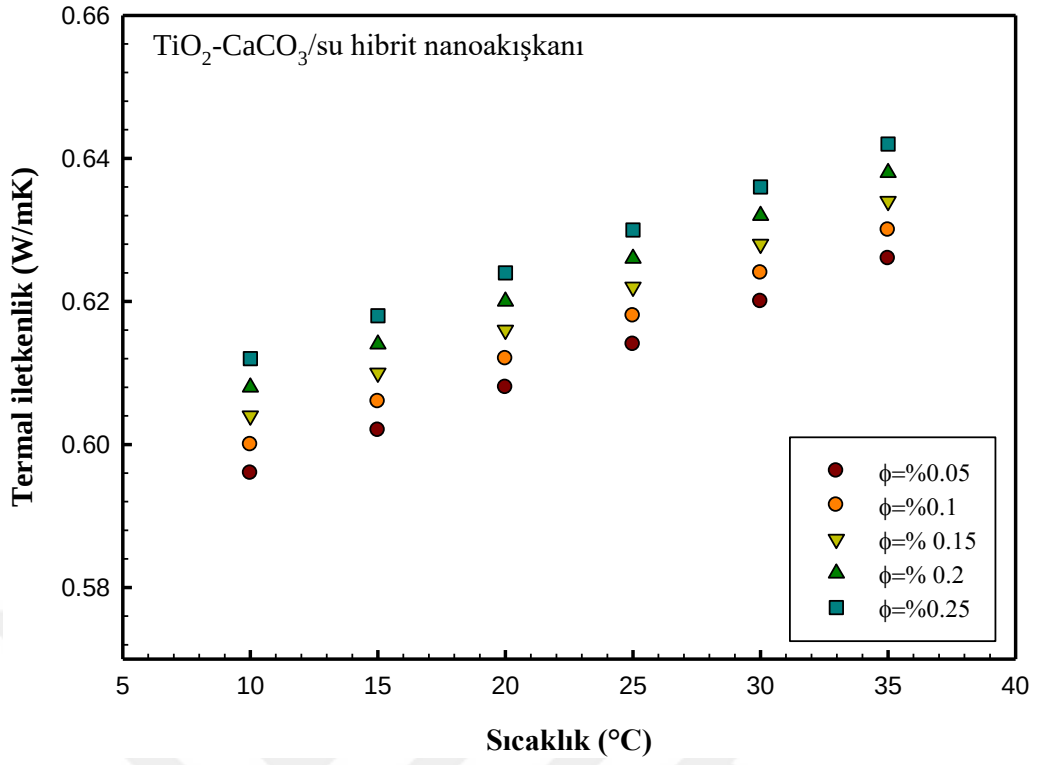
6.3 TiO₂-CaCO₃/su Hibrit Nanokışkanı için Elde Edilen Deneysel Sonuçlar

6.3.1 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanı için termal iletkenlik deney sonuçları

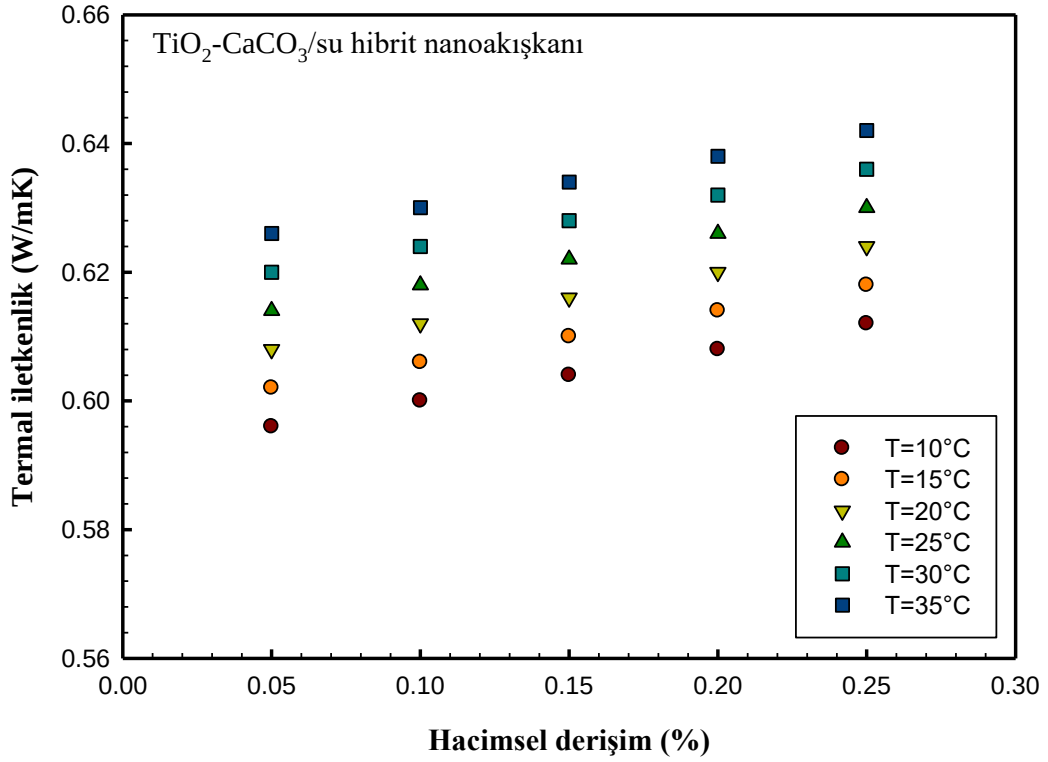
Şekil 6.49’da 30°C sıcaklıkta TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerlerinin hacimsel derişime bağlı değişimi ve literatürde yer alan termal iletkenlik modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Hibrit nanoakışkanın termal iletkenlik değeri hacimsel derişim artışı ile artmaktadır. Şekil 6.50 ve Şekil 6.51’de TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerlerinin sıcaklık ve hacimsel derişime bağlı değişimi verilmiştir. Şekil 6.52 ve Şekil 6.53’te TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının baz akışkan olan saf suya kıyasla termal iletkenlikteki iyileştirmesi verilmiştir. Buna göre, sıcaklıkta azalma ve hacimsel derişimde artma durumunda hibrit nanoakışkanın termal iletkenlik özelliği iyileşebilir. Örneğin, 30°C’de %0.05 ve %0.25 hacimsel derişimlerde TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.62 ve 0.636 W/mK’dir. %0.2 hacimsel derişimdeki TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklarında termal iletkenlik iyileşmesi sırası ile %4.244, %3.13 ve %2.407’dir.



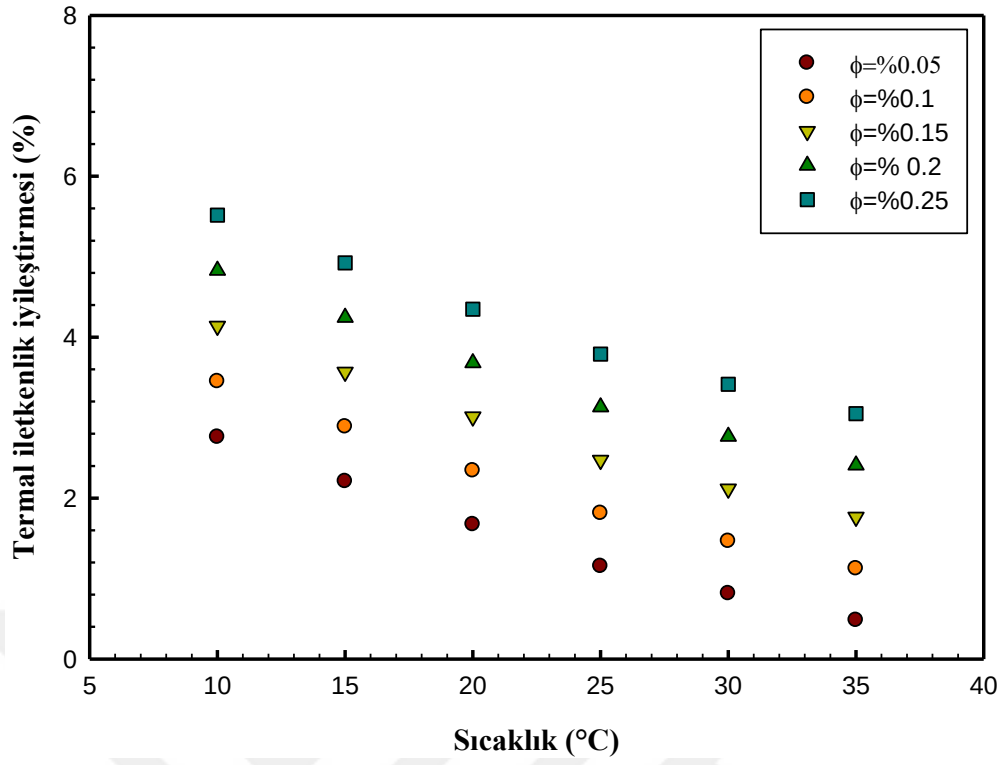
Şekil 6.49. Deneysel termal iletkenlik değerlerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



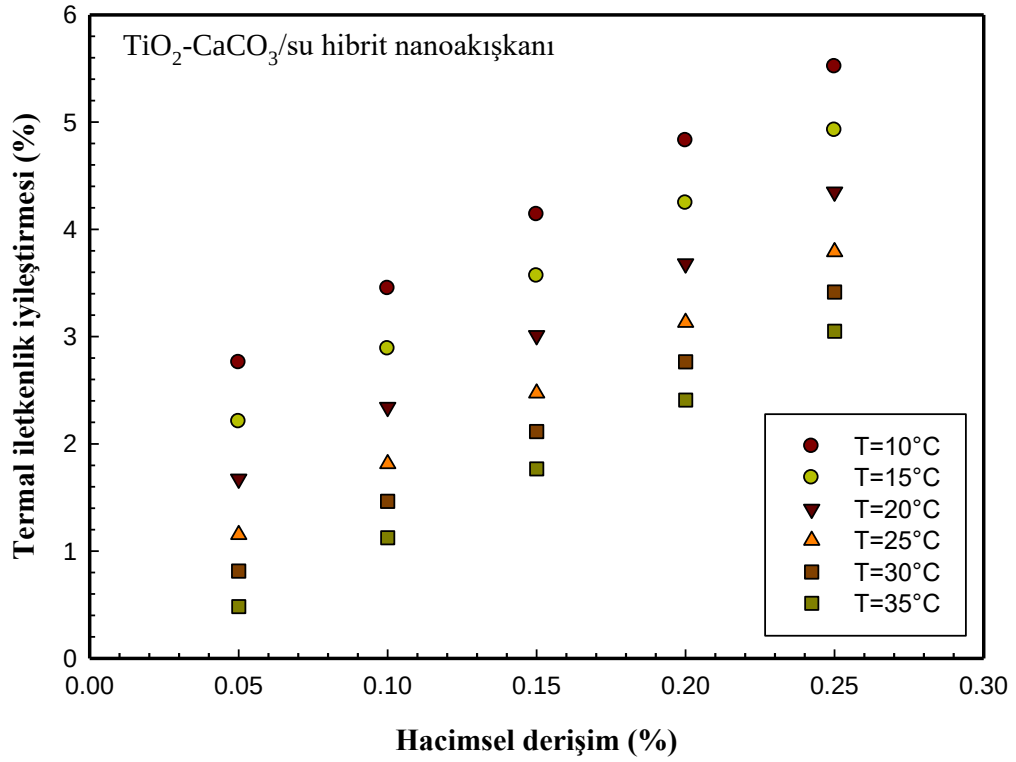
Şekil 6.50. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değışimi



Şekil 6.51. Farklı sıcaklık değeriğinde $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenliğinin hacimsel derişim ile değışimi



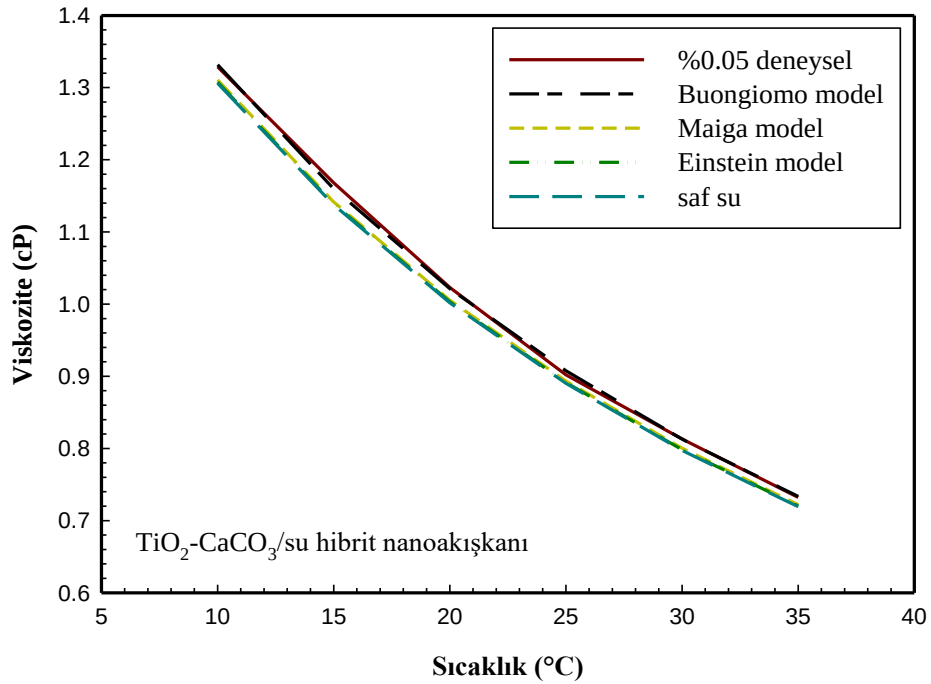
Şekil 6.52. Farklı hacimsel derişimlere sahip $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin sıcaklık ile değışimi



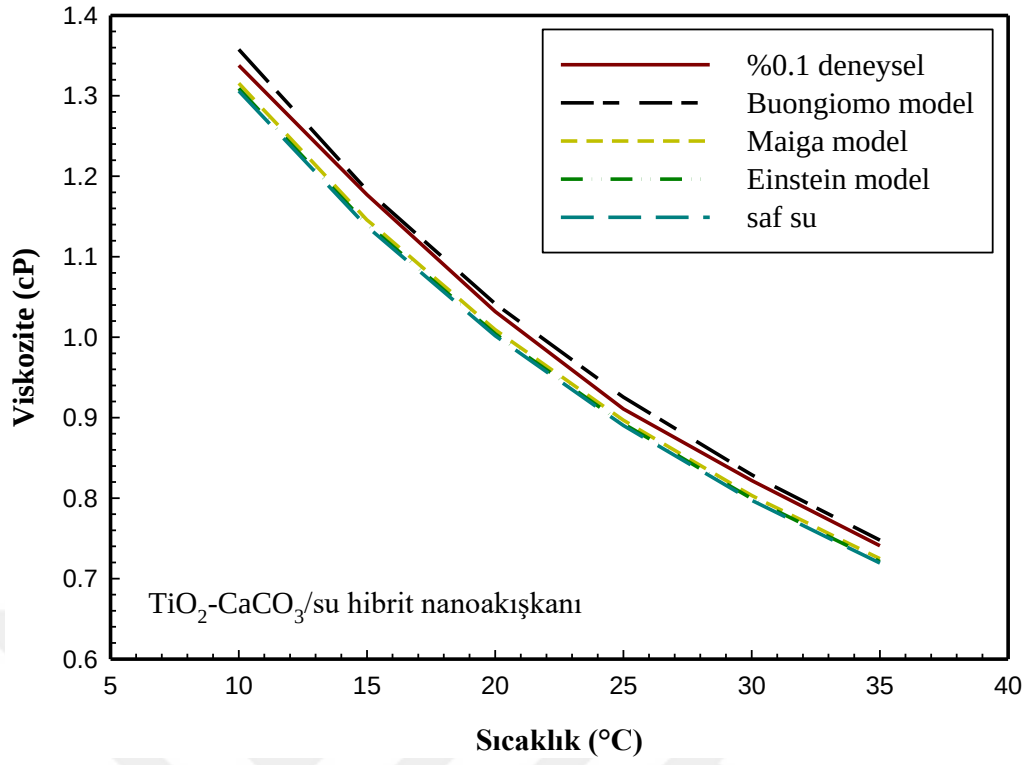
Şekil 6.53. Farklı sıcaklıklarda $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının termal iletkenlik iyileşmesinin hacimsel derişim ile değışimi

6.3.2 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan için viskozite deney sonuçları

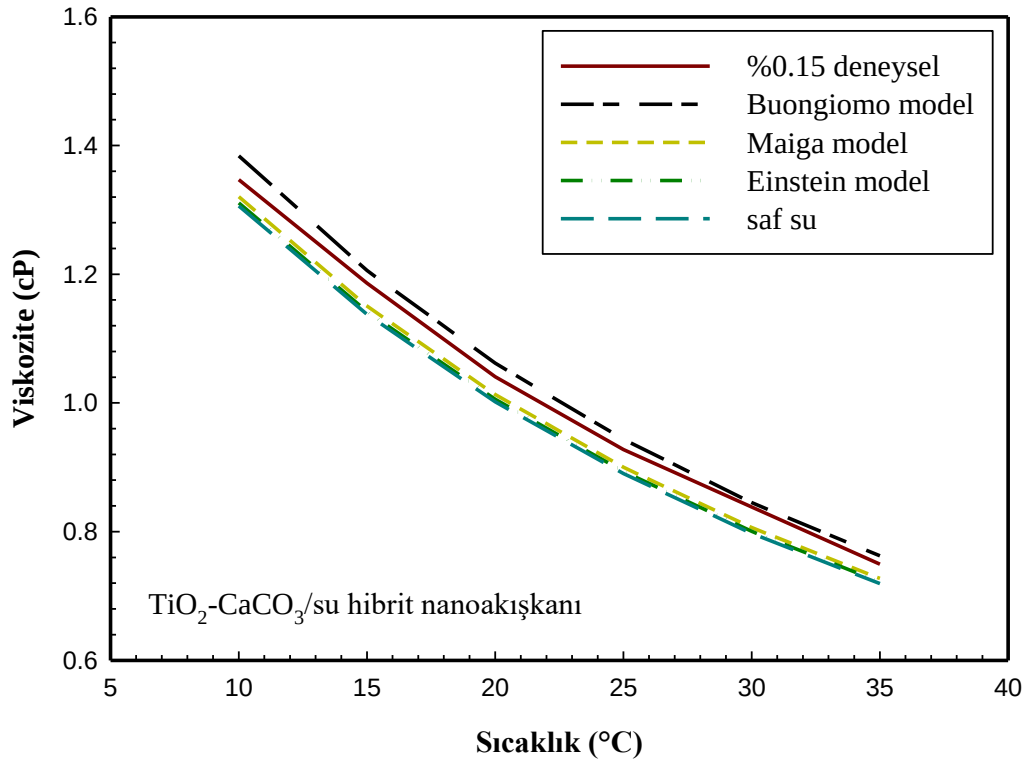
Şekil 6.54-6.58’de %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęlerinin sıcaklığa bağlı değışimi ve literatürde yer alan viskozite modelleri ile karşılaştırılmıştır. Sıcaklıktaki artış ile hibrit nanoakışkanın viskozite değęleri azalmaktadır. Viskozite modelleri arasında TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęlerine en yakın model Buongiorno modelidir. Şekil 6.59’da TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęlerinin baz akışkan saf suyun viskozite değęlerine oranı verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış ile TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının viskozite oranı artmaktadır. Şekil 6.60’da 10-35°C sıcaklık aralıklarında %0.05-0.25 hacimsel derişimlerdeki TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış hibrit nanoakışkanın viskozite değęlerinde artışa neden olmuştur. Örneğin, 35°C’de %0.05, %0.1 ve %0.15 hacimsel derişimlerdeki TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęleri sırası ile 0.732, 0.741 ve 0.749 cP’dir. %0.25 hacimsel derişime sahip TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęleri 10°C, 20°C ve 30°C sıcaklıklarda sırası ile 1.438, 1.115 ve 0.895 cP’dir.



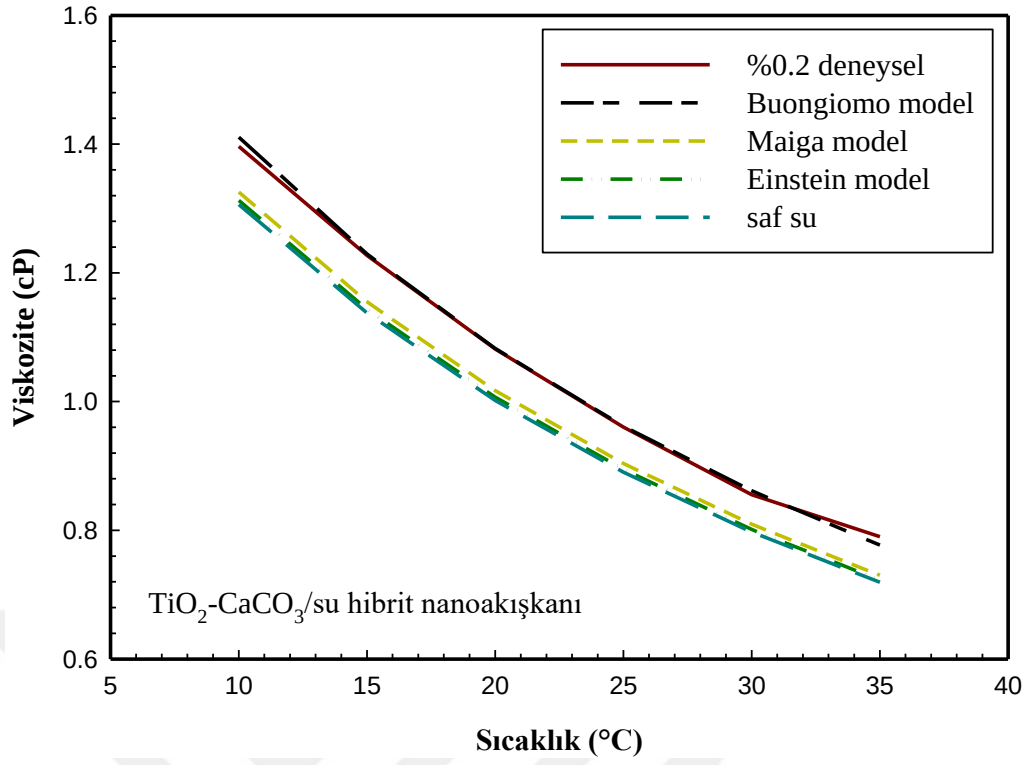
Şekil 6.54. %0.05 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değęinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



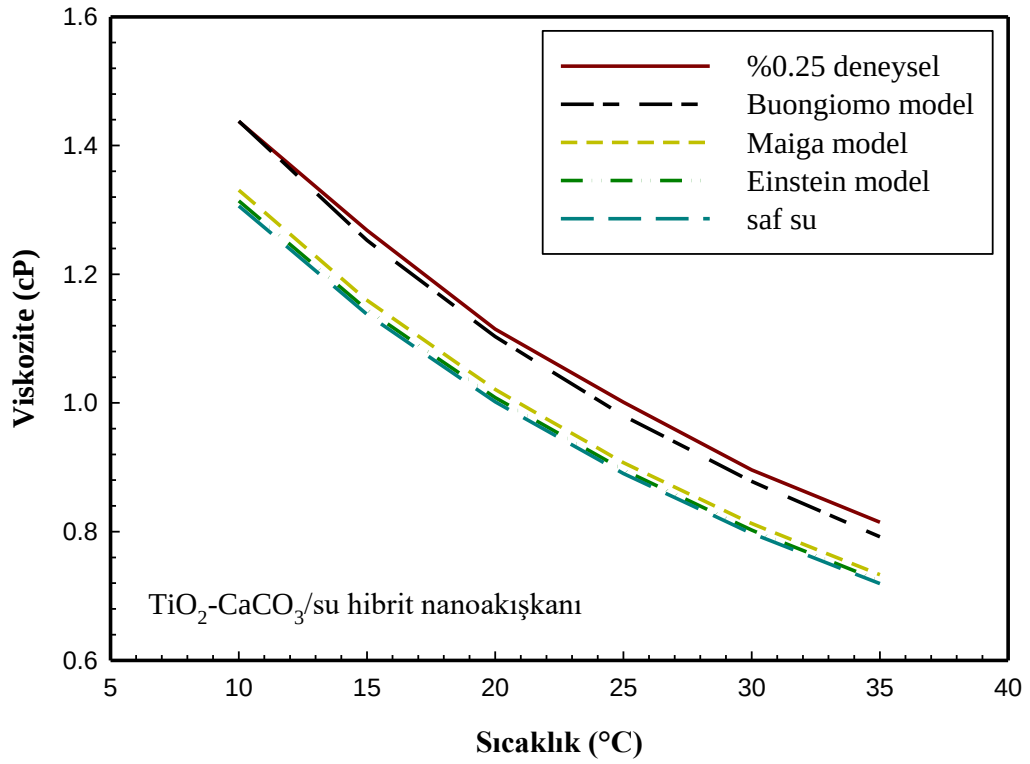
Şekil 6.55. %0.1 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



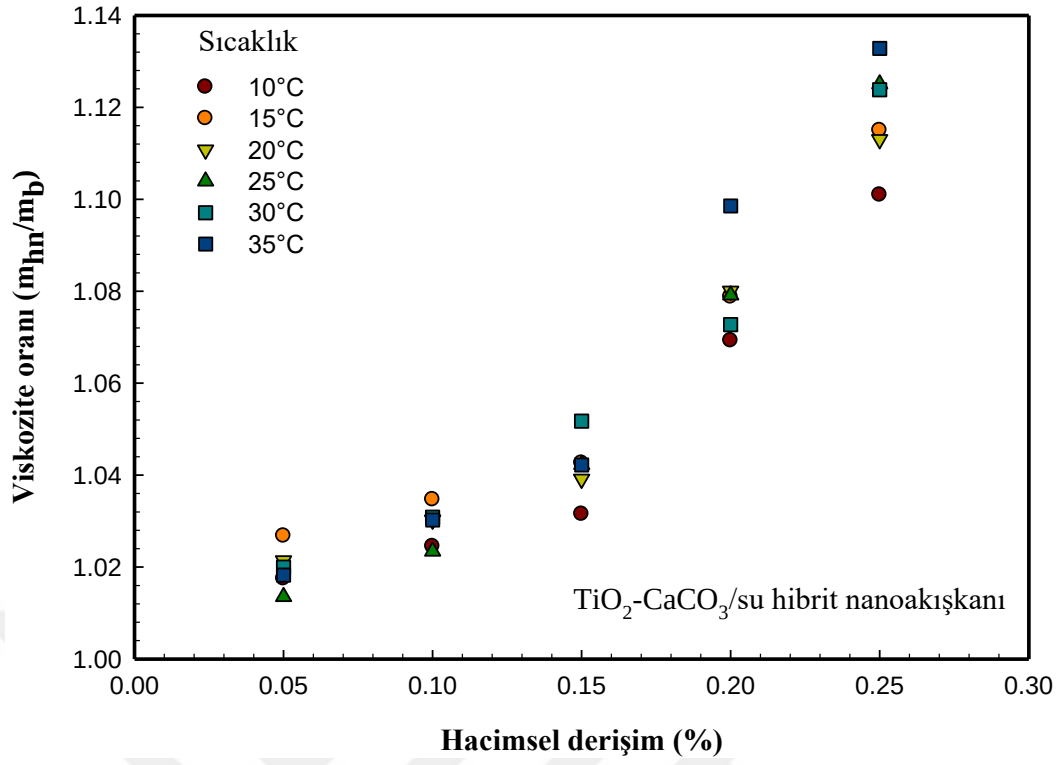
Şekil 6.56. %0.15 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



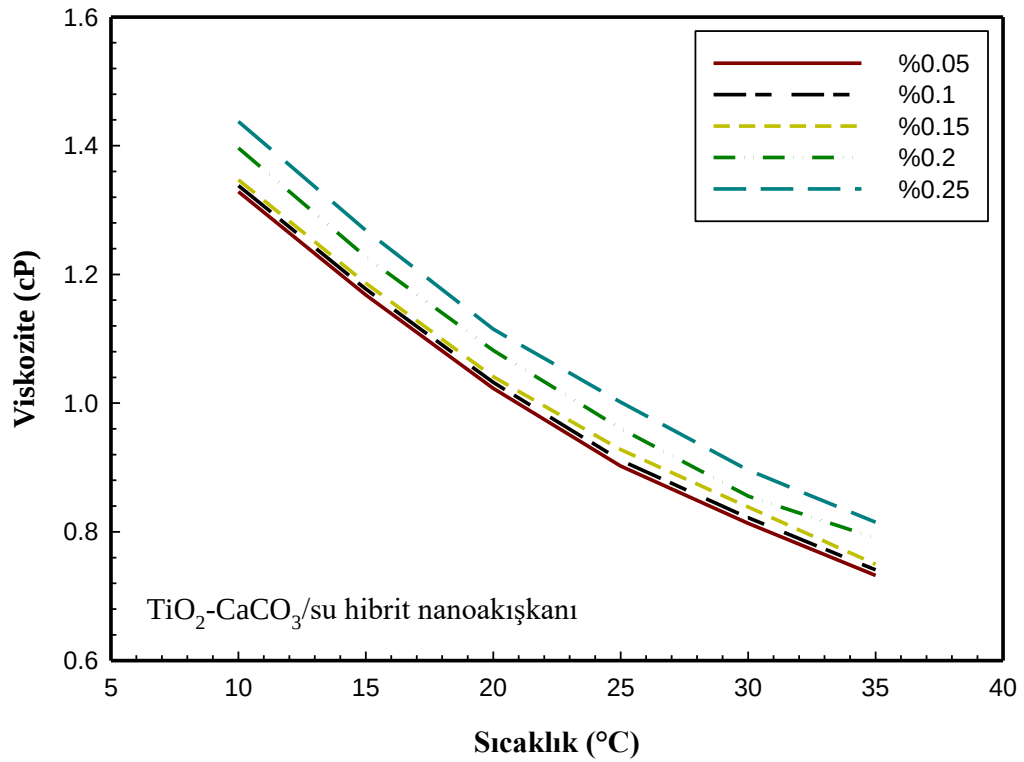
Şekil 6.57. %0.2 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.58. %0.25 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel viskozite değerinin literatür modelleri ile karşılaştırılması



Şekil 6.59. TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının viskozite oranı

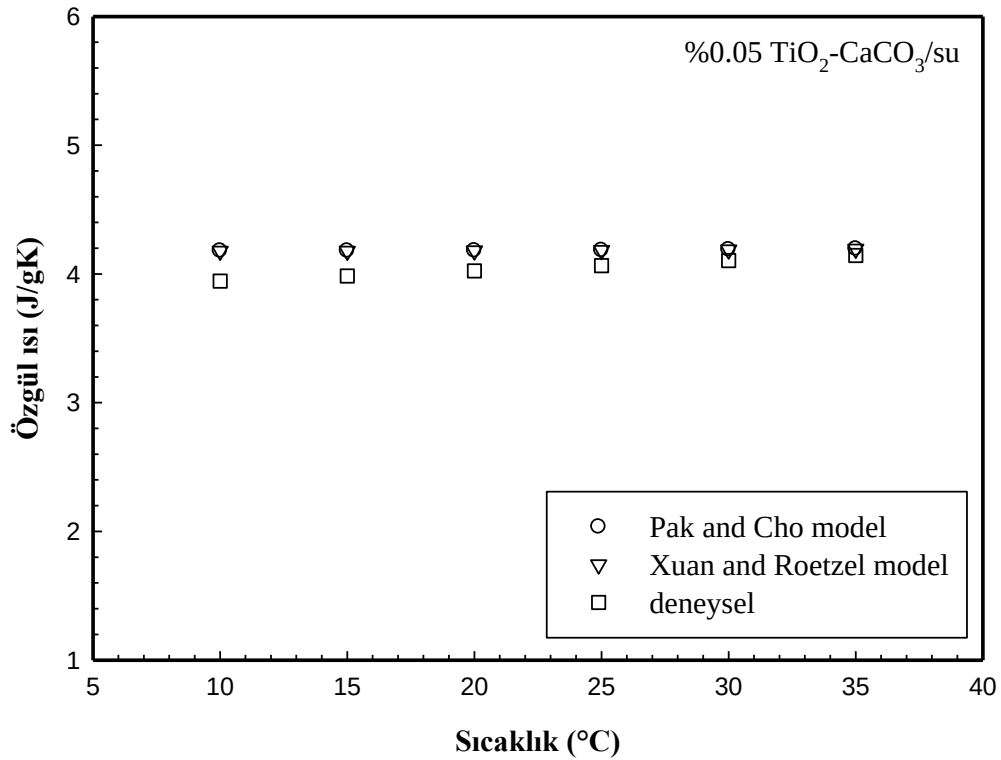


Şekil 6.60. Farklı derişimlere sahip TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan deneysel viskozitesinin sıcaklık ile değişimi

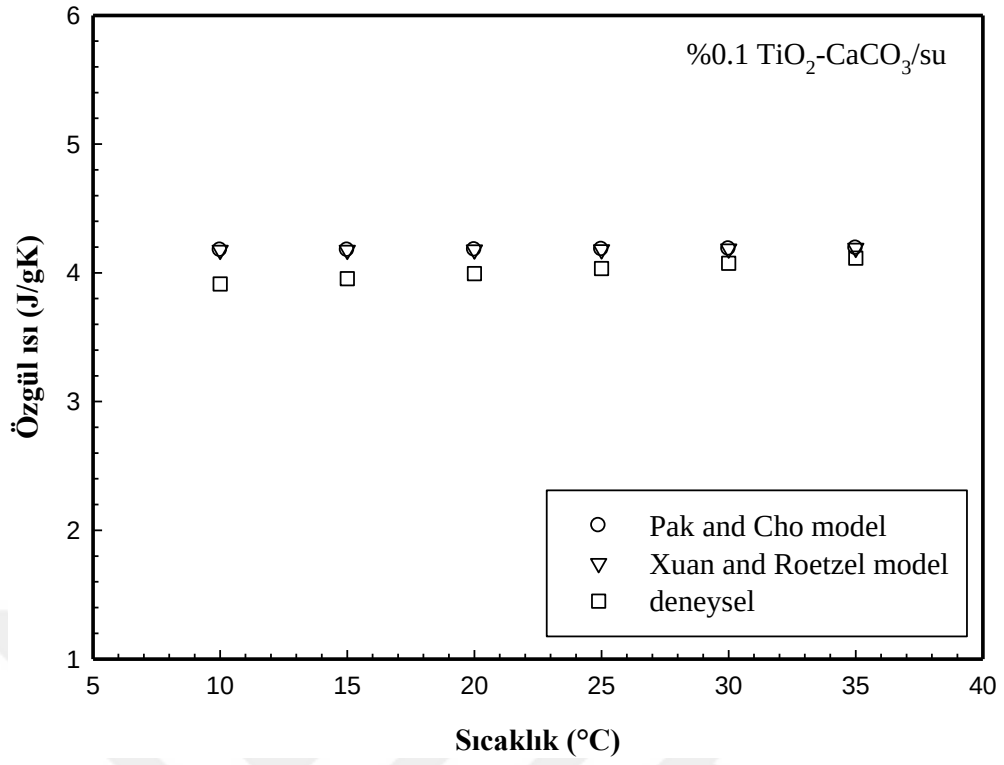
6.3.3 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan için özgül ısı deney sonuçları

Şekil 6.61-6.71’de 10-35°C sıcaklık aralıklarında %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerlerinin sıcaklık ve hacimsel derişime bağılı değışimi ve literatür modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Sıcaklık artışı ile TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerlerinde artış gözlemlenirken hacimsel derişimdeki artış ile özgül ısı değerleri azalma göstermektedir.

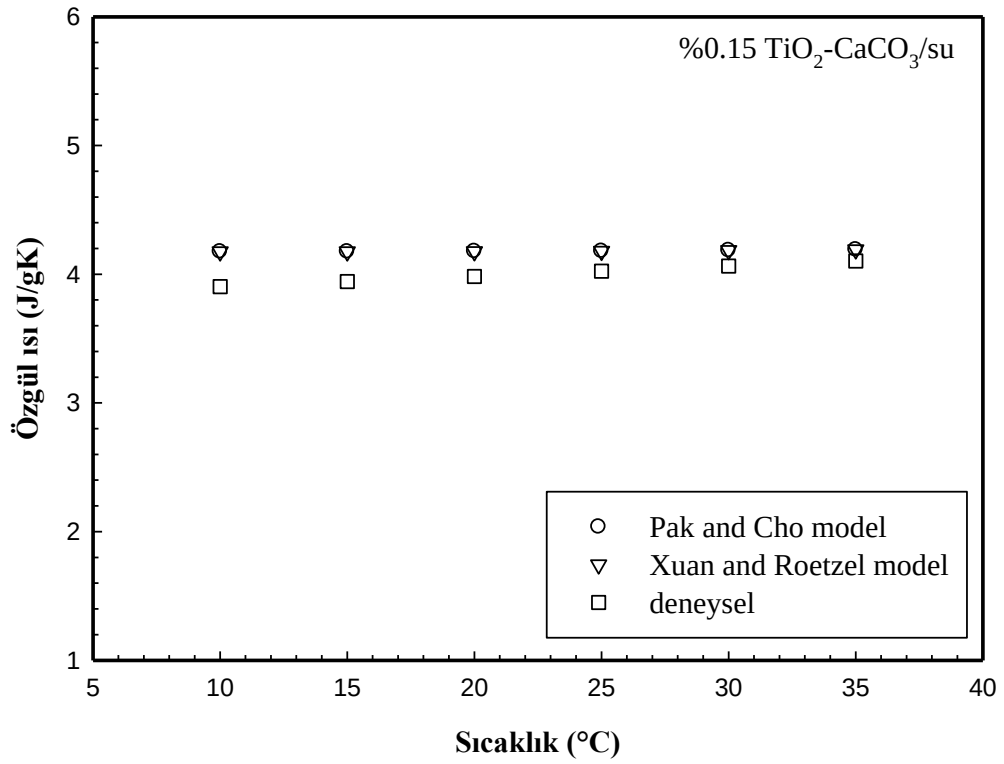
Örneğin, 30°C’de %0.1, %0.15 ve %0.2 hacimsel derişimlere sahip TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerleri sırası ile 4.074, 4.063 ve 4.022 J/gK’dır. %0.25 hacimsel derişimdeki TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerleri 10°C, 15°C ve 20°C sıcaklıklarında sırası ile 3.83, 3.87 ve 3.91 J/gK’dır.



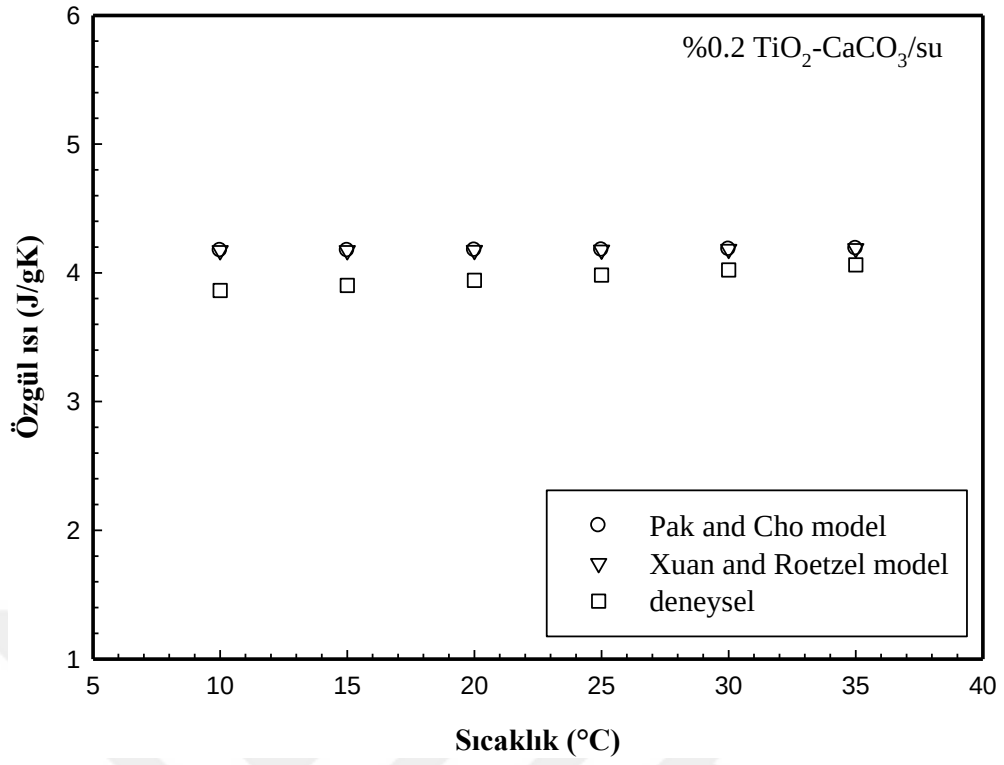
Şekil 6.61. %0.05 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısılarının modeller ile karşılaştırılması



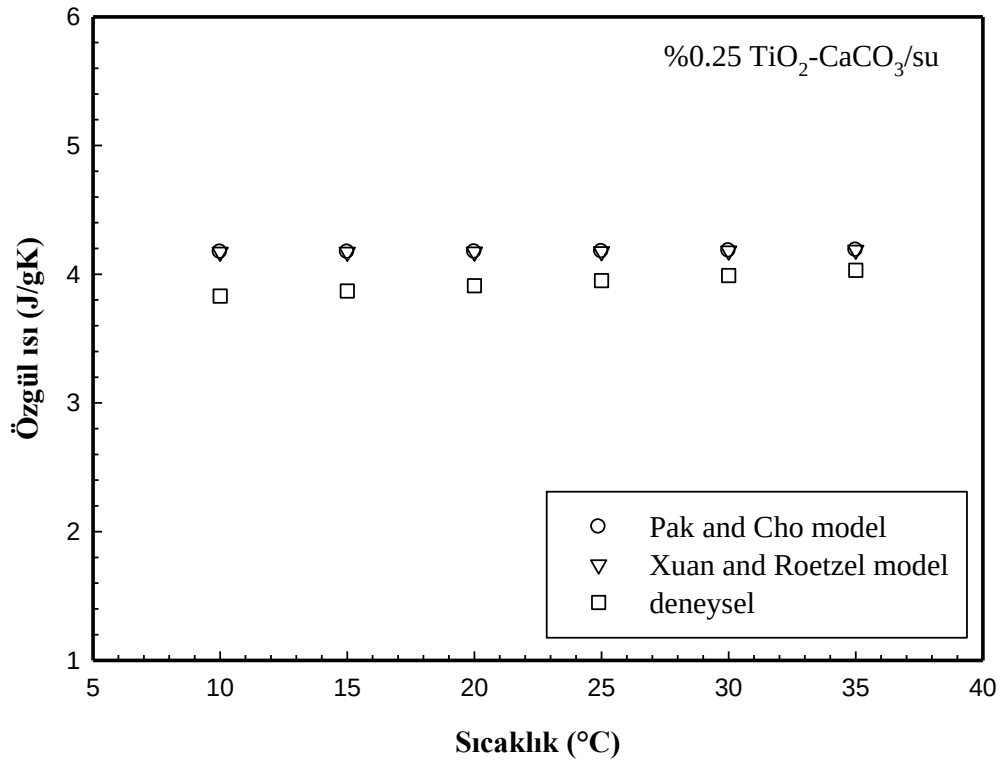
Şekil 6.62. %0.1 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



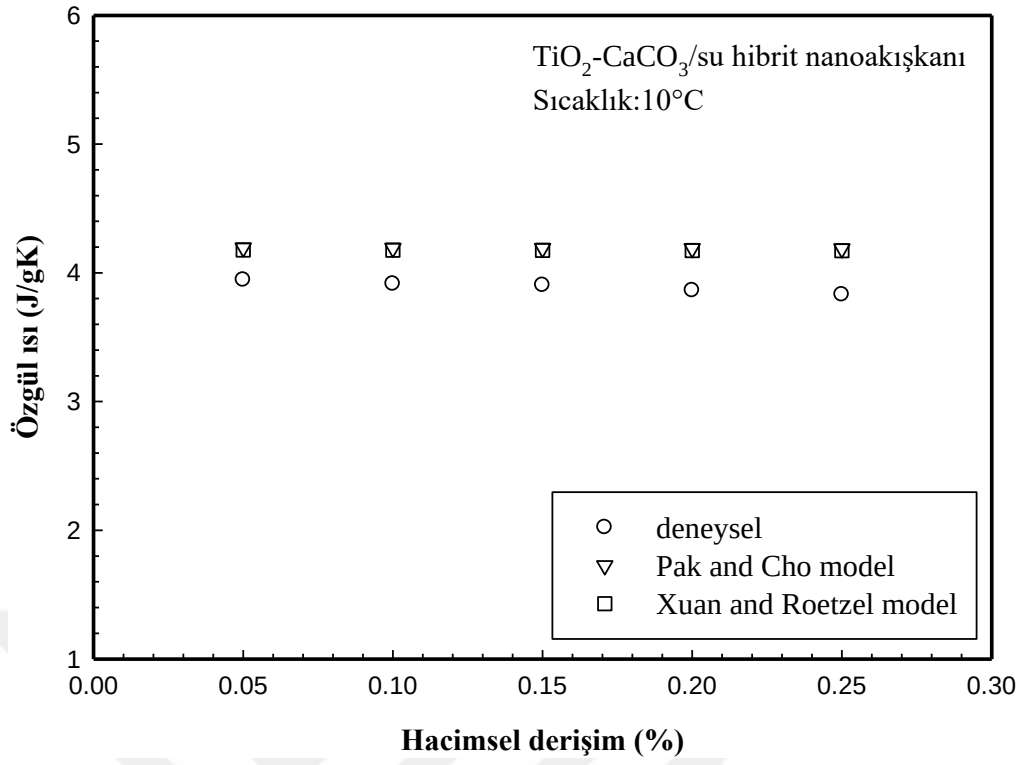
Şekil 6.63. %0.15 $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



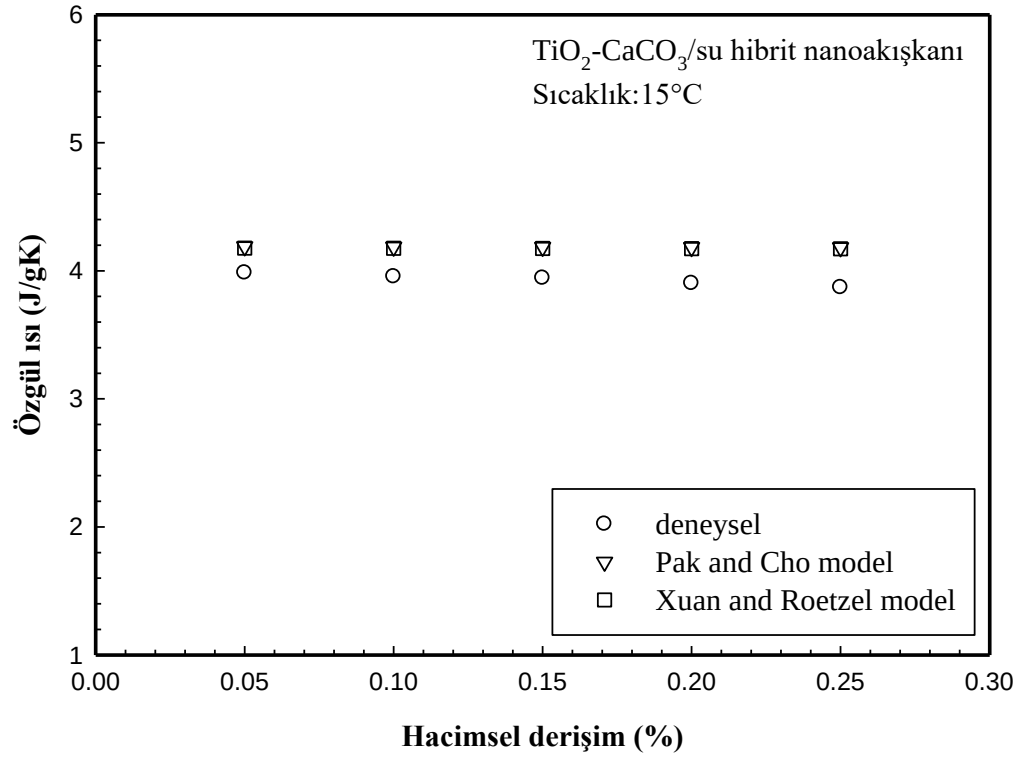
Şekil 6.64. %0.2 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



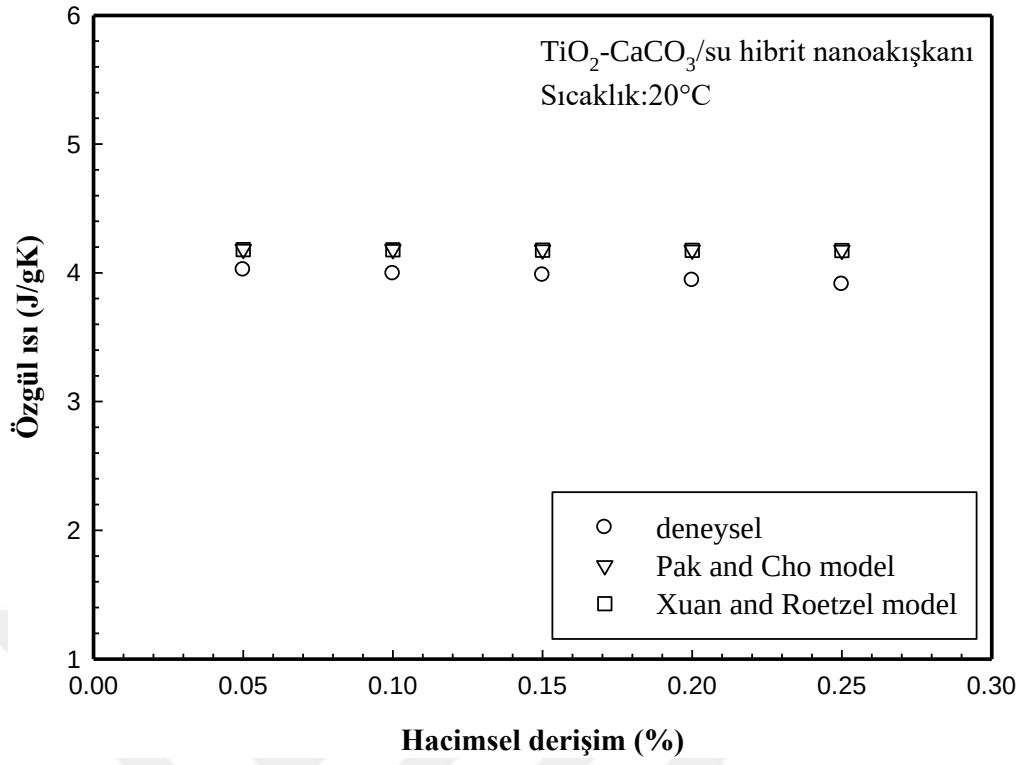
Şekil 6.65. %0.25 TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının modeller ile karşılaştırılması



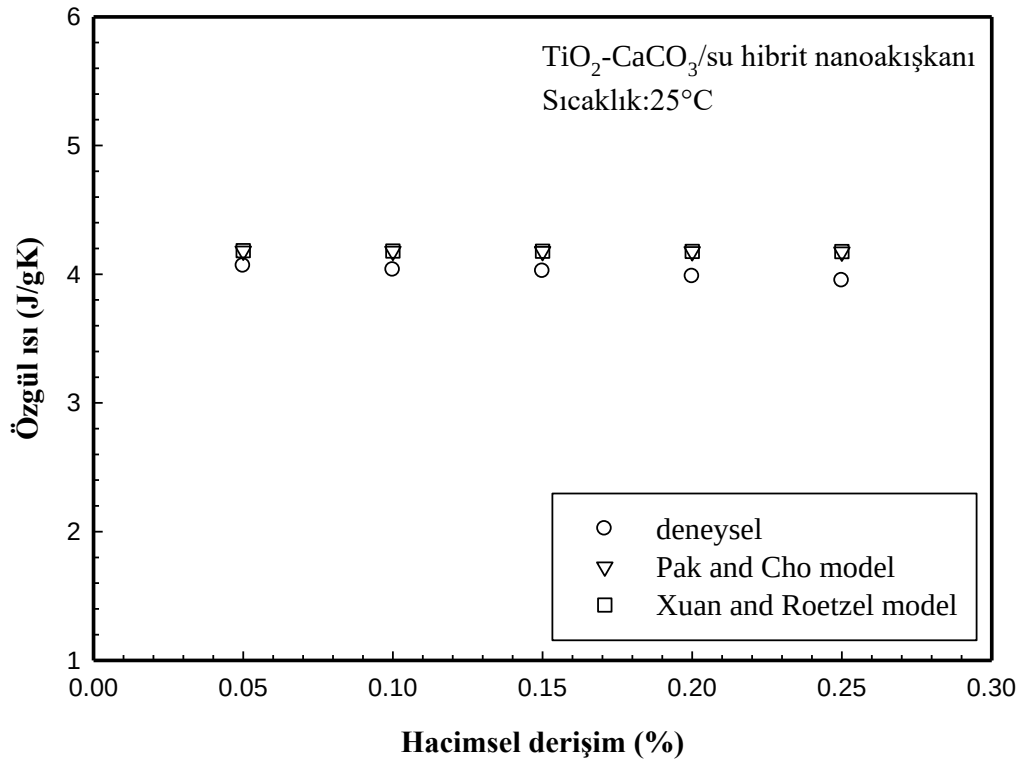
Şekil 6.66. 10°C 'de $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



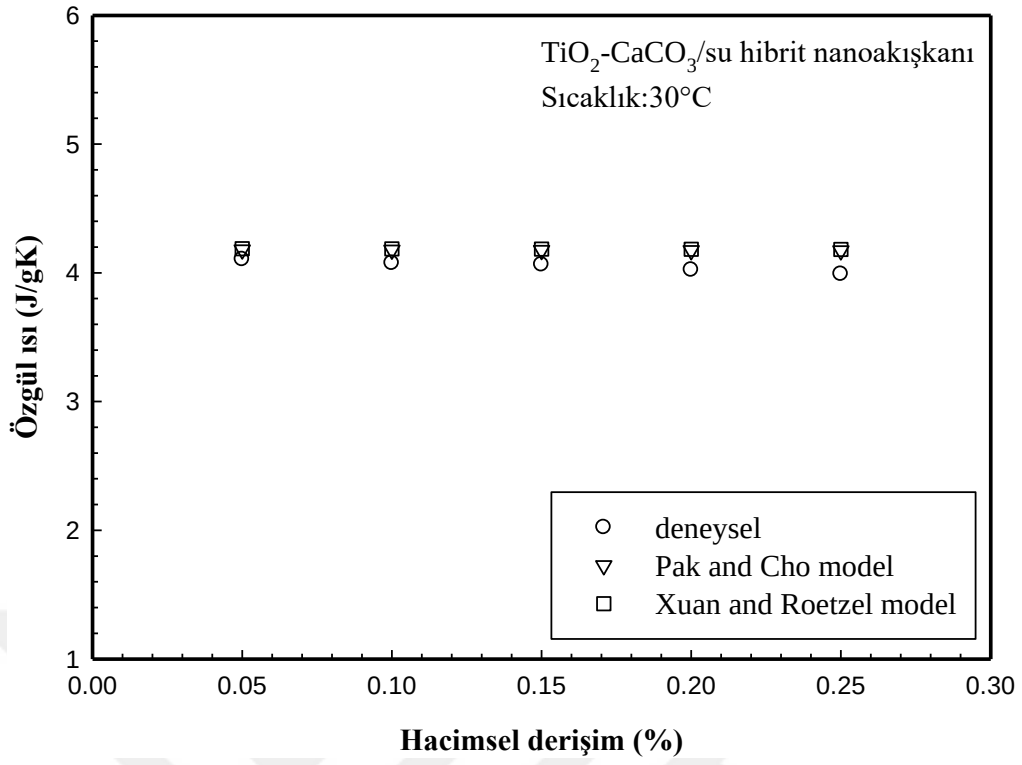
Şekil 6.67. 15°C 'de $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



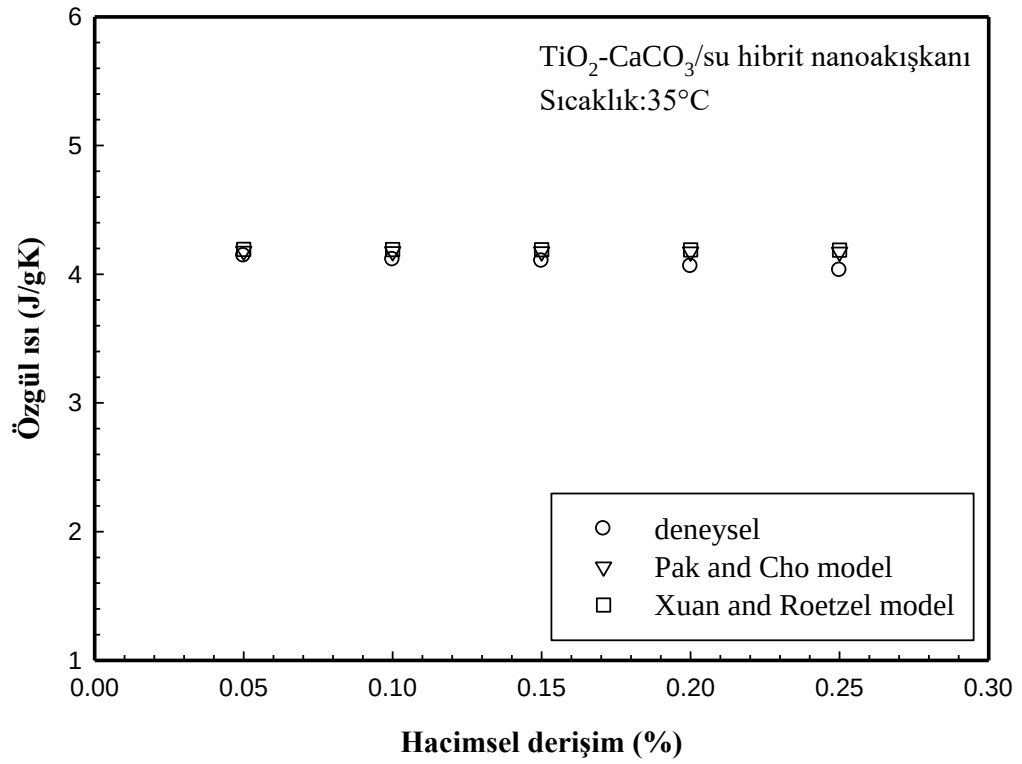
Şekil 6.68. 20°C’de TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



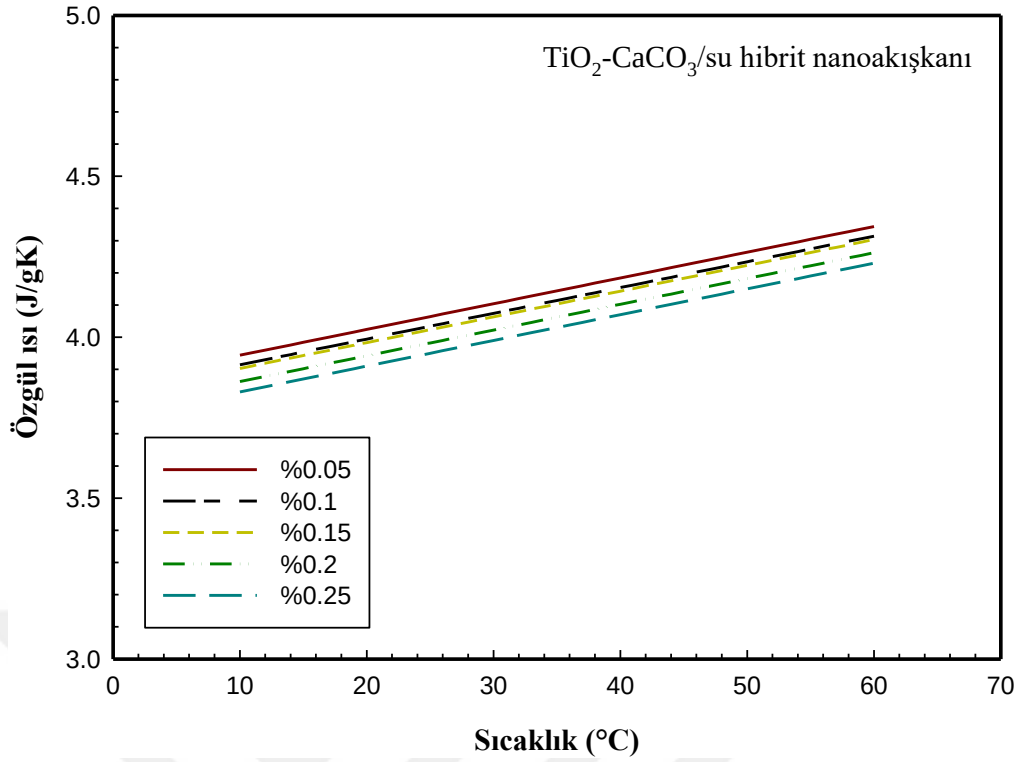
Şekil 6.69. 25°C’de TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.70. 30°C’de TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.71. 35°C’de TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkan özgül ısısının hacimsel derişim ile değişimi



Şekil 6.72. $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkan özgül ısısının sıcaklık ile değişimi

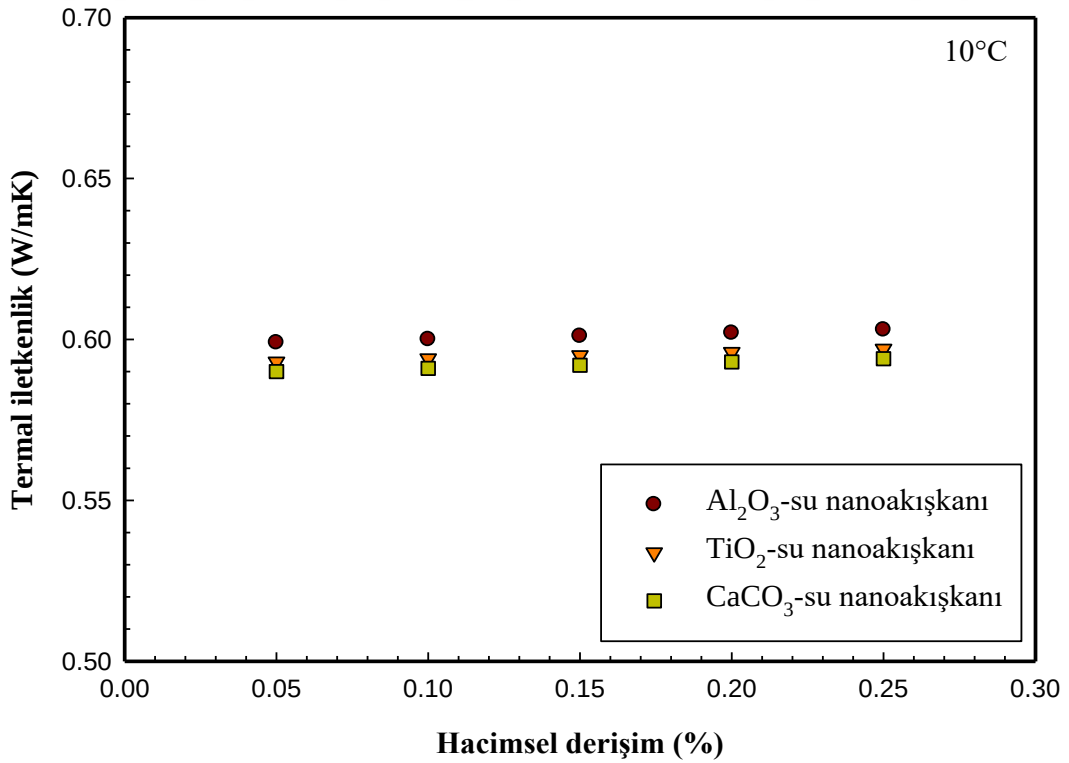
Şekil 6.72’de 10-60°C sıcaklık aralıklarında %0.05-0.25 hacimsel derişimlerdeki $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimi verilmiştir. Örneğin, %0.05 hacimsel derişimdeki $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerleri 10°C, 40°C ve 60°C sıcaklıklarında sırası ile 3.944, 4.184 ve 4.344 J/gK’dir. 50°C sıcaklıkta %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlerdeki $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanının deneysel özgül ısı değerleri sırası ile 4.223, 4.182 ve 4.15 J/gK’dir.

BÖLÜM VII

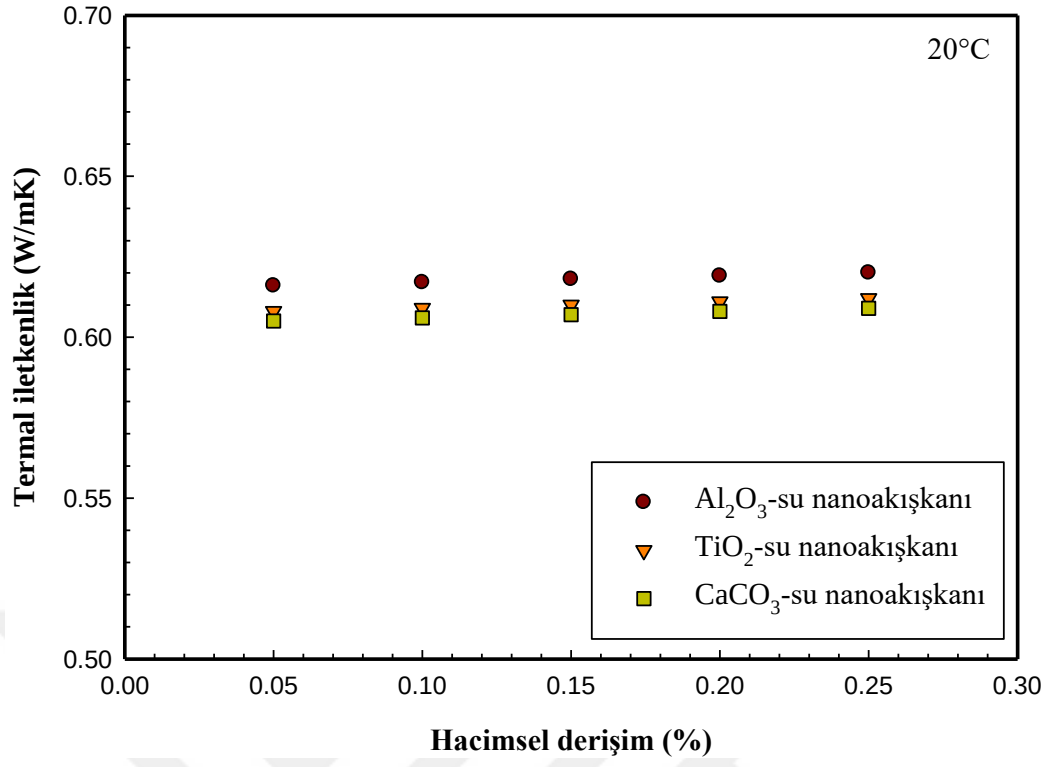
NANOAKIŞKAN VE HİBRİT NANOAKIŞKANLARIN DENEYSEL SONUÇ KARŞILAŞTIRMALARI

7.1 Nanoakışkanlar için Termal İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırılması

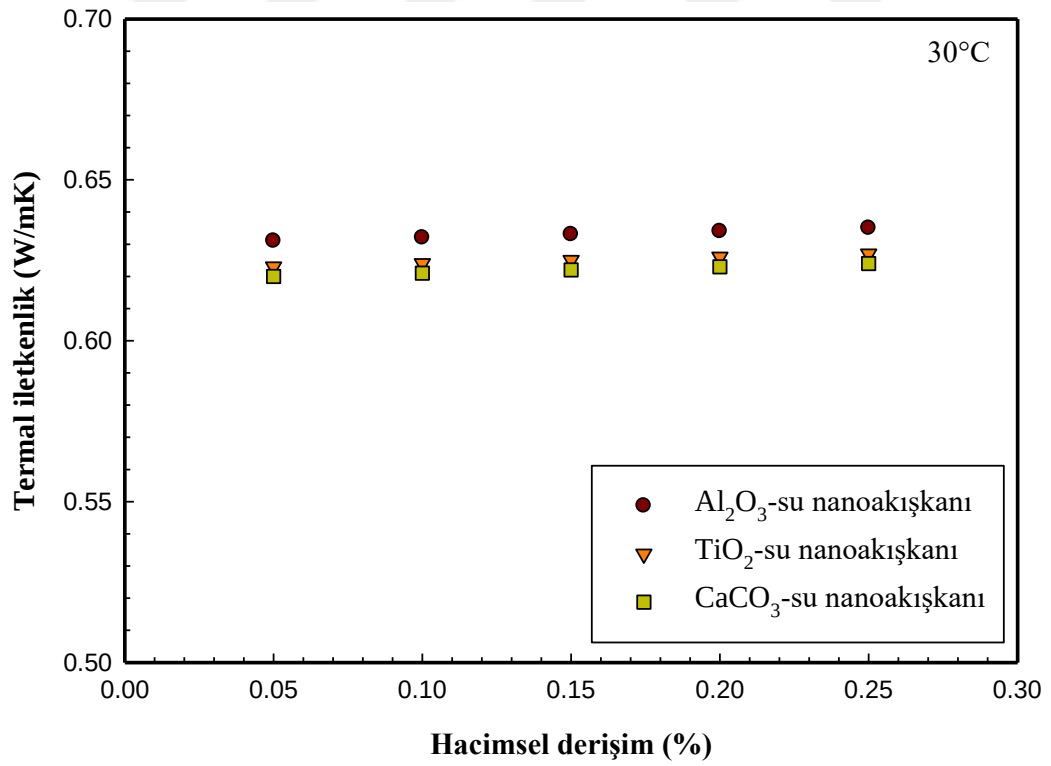
Şekil 7.1, 7.2 ve 7.3'te %0.05-0.25 hacimsel derişimlere sahip Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CaCO_3 -su nanoakışkanlarının 10°C , 20°C ve 30°C sıcaklıklardaki termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. En yüksek termal iletkenlik Al_2O_3 -su nanoakışkanına aitken en düşük termal iletkenlik CaCO_3 -su nanoakışkanına aittir. Hacimsel derişim ve sıcaklıktaki artış ile termal iletkenlik değerleri artış göstermektedir. Örneğin, 10°C 'de nanoakışkanların arasında en yüksek termal iletkenlik %0.25 hacimsel derişimde Al_2O_3 -su nanoakışkanı 0.603 W/mK 'dir. Aynı şekilde 20°C ve 30°C 'de sırasıyla 0.620 ve 0.635 W/mK 'dir. En düşük termal iletkenlik %0.05 hacimsel derişimde CaCO_3 -su nanoakışkanı 10°C , 20°C ve 30°C 'de sırasıyla 0.590 , 0.605 ve 0.620 W/mK 'dir.



Şekil 7.1. 10°C 'de nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.2. 20°C’de nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması

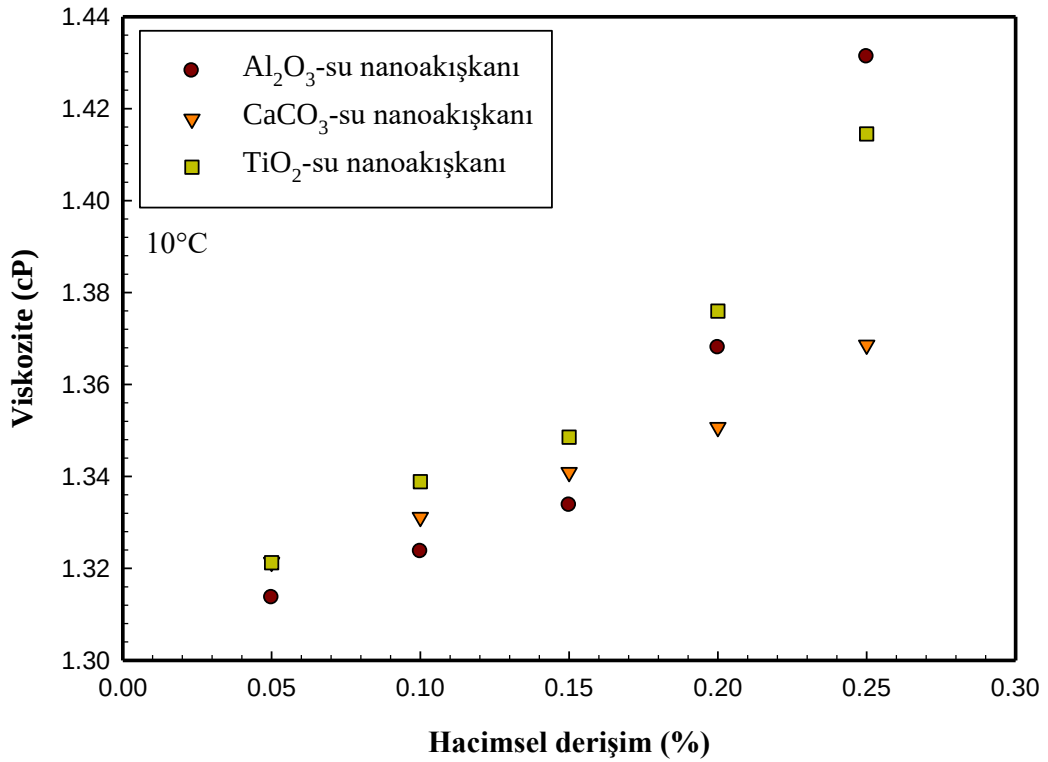


Şekil 7.3. 30°C’de nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması

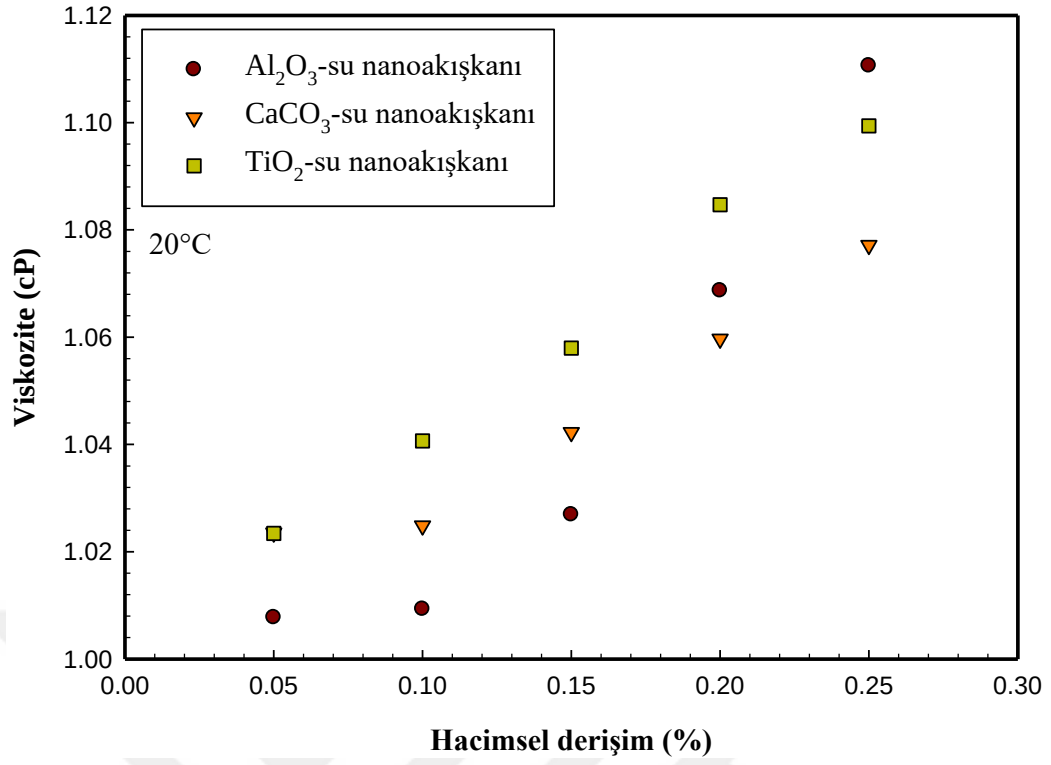
7.2 Nanoakışkanlar için Viskozite Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.4,7.5 ve 7.6’da %0.05-0.25 hacimsel derişimlere sahip Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CaCO_3 -su nanoakışkanlarının 10°C , 20°C ve 30°C sıcaklıklardaki viskozite değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış ile viskozite değerleri artarken sıcaklıktaki artış ile azalma göstermektedir.

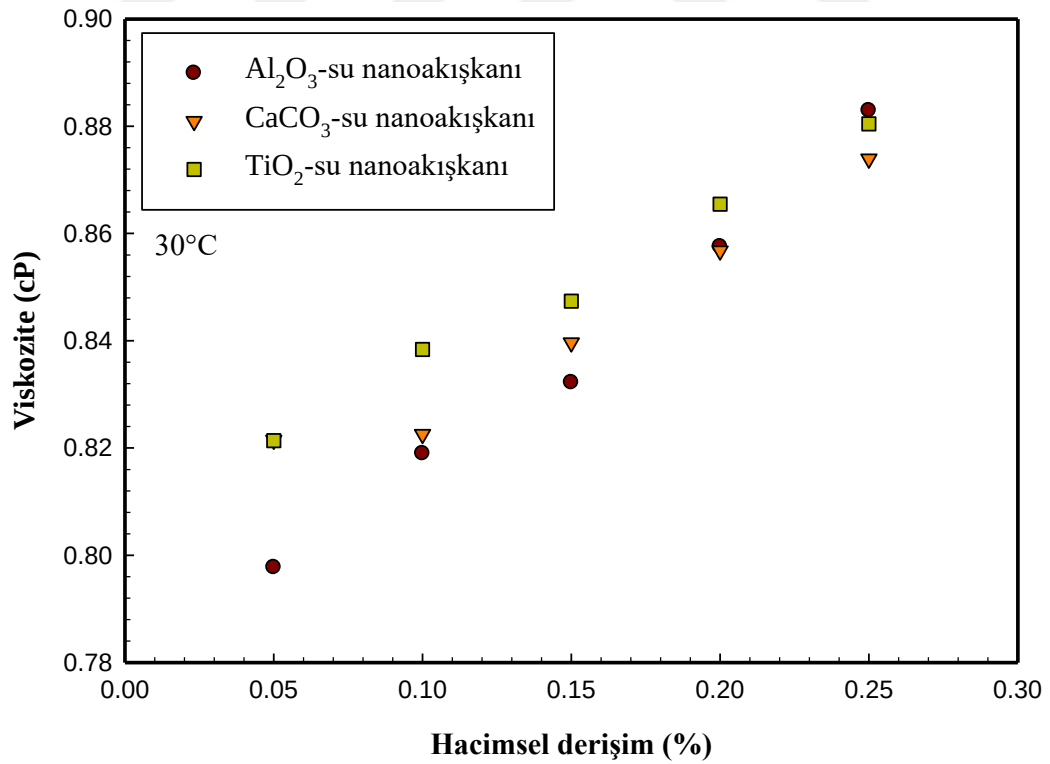
Örneğin, 10°C ’de nanoakışkanların arasında en yüksek viskozite %0.25 hacimsel derişimde Al_2O_3 -su nanoakışkanı 1.431 cP’dir. Aynı şekilde 20°C ve 30°C ’de sırasıyla 1.110 ve 0.883 cP’dir. %0.25 TiO_2 -su nanoakışkanı için 10°C , 20°C ve 30°C ’de viskozite değerleri sırasıyla 1.414, 1.099 ve 0.880 cP’dir.



Şekil 7.4. 10°C ’de nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.5. 20°C’de nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması

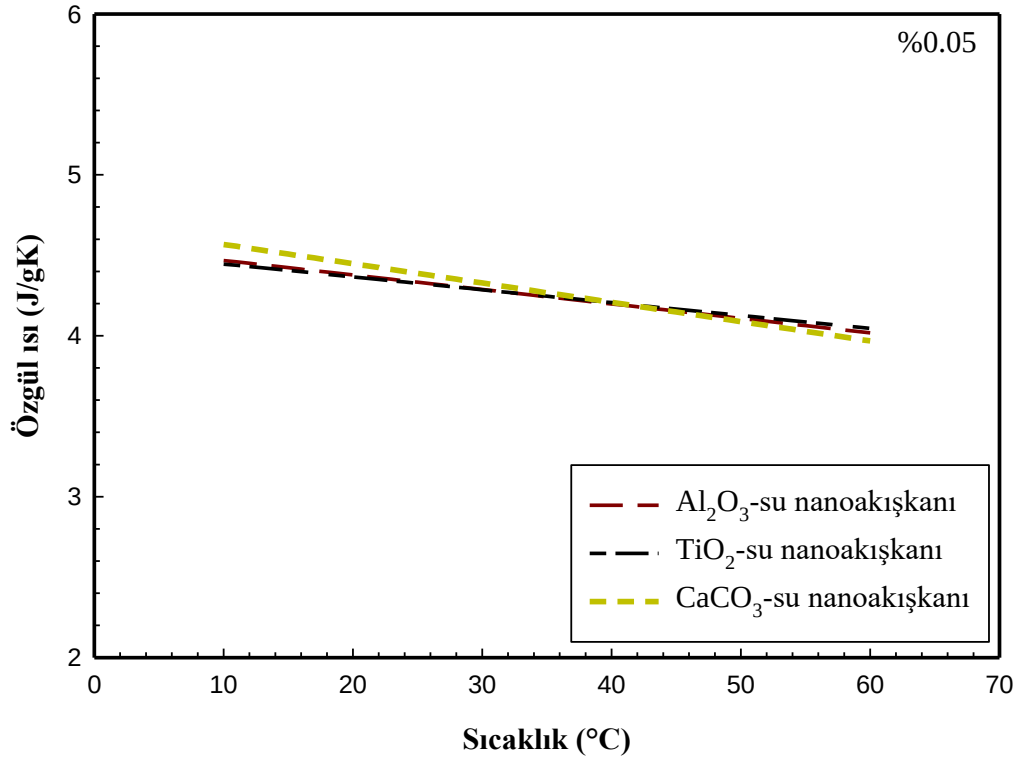


Şekil 7.6. 30°C’de nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması

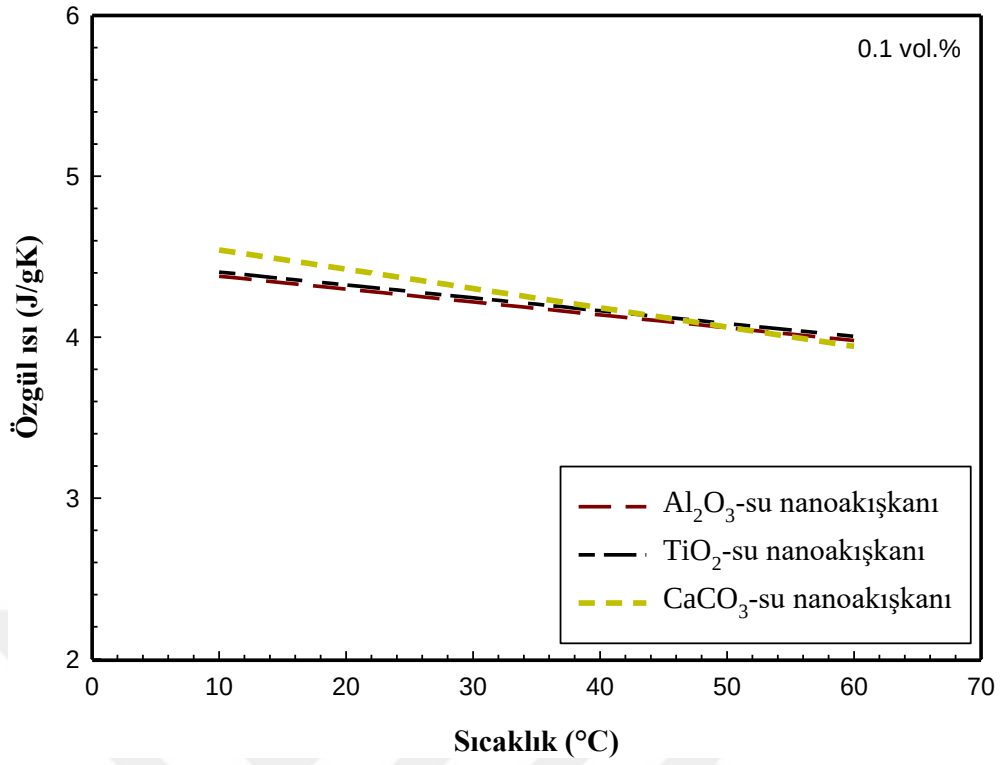
7.3 Nanoakışkanlar için Özgül Isı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.7-7.11’de Al_2O_3 -su, TiO_2 -su ve CaCO_3 -su nanoakışkanlarının özgül ısı değerlerinin sıcaklığa bağlı değişimleri karşılaştırılmıştır. Deneysel verilere göre en yüksekten en düşük özgül ısı değerleri sırasıyla CaCO_3 -su, TiO_2 -su ve Al_2O_3 -su nanoakışkanlarıdır. Hacimsel derişim ve sıcaklıkta azalma ile birlikte özgül ısı değerlerinde azalma görülmektedir.

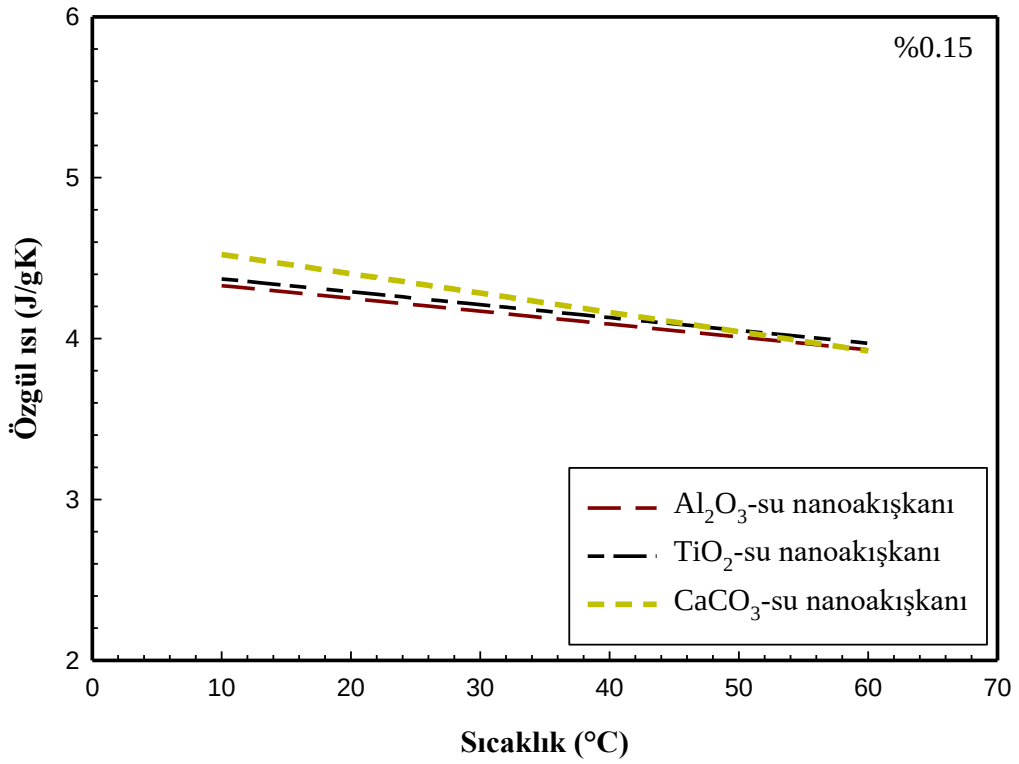
Örneğin, 10°C ’de %0.05 ve %0.25 hacimsel derişime sahip Al_2O_3 -su nanoakışkan sırası ile 4.467 J/gK ve özgül ısıya 4.162 J/gK özgül ısıya sahiptir. Buradan görüleceği üzere hacimsel derişimdeki artış ile nanoakışkanların özgül ısılarında azalma görülmektedir. Aynı şekilde %0.25 hacimsel derişime sahip CaCO_3 -su nanoakışkanı 10°C ve 30°C sıcaklıklarda sırası ile 4.298 J/gK ve 4.078 J/gK özgül ısılarına sahiptir. Sıcaklık artışı ile nanoakışkanların özgül ısı değerlerinde azalma gözlemlenmektedir. Aynı örneği TiO_2 -su nanoakışkanı için verdiğimizde %0.25 hacimsel derişimde 10°C ve 30°C sıcaklıklarda sırasıyla 4.078 J/gK ve 3.918 J/gK’dir.



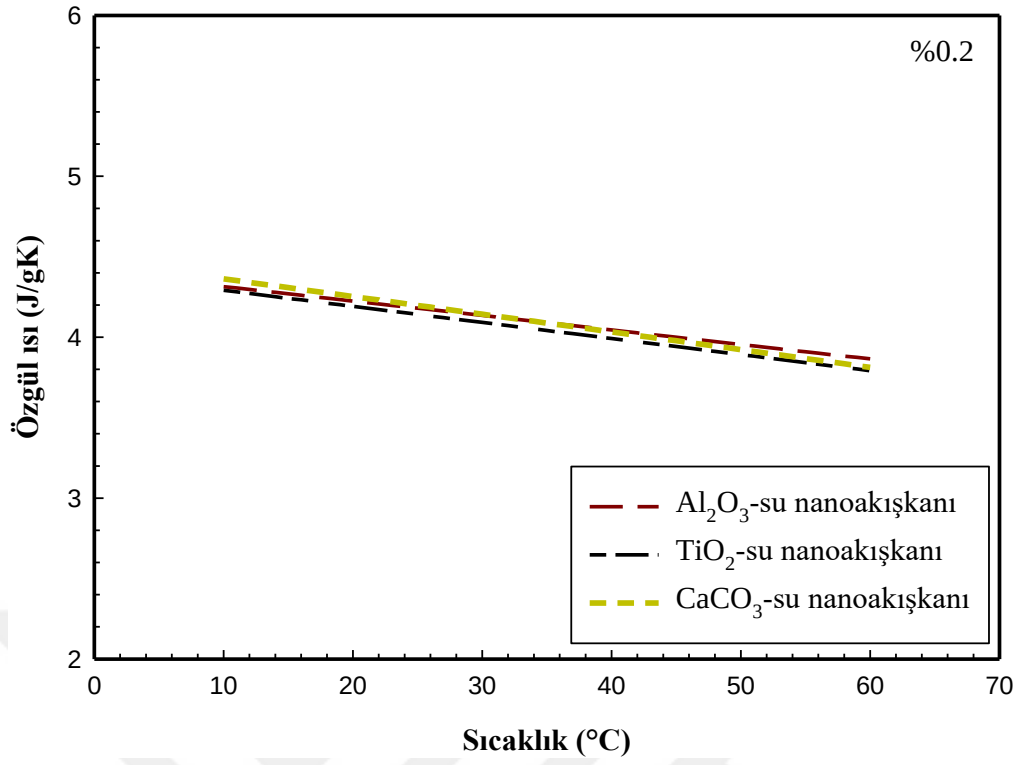
Şekil 7.7. %0.05 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması



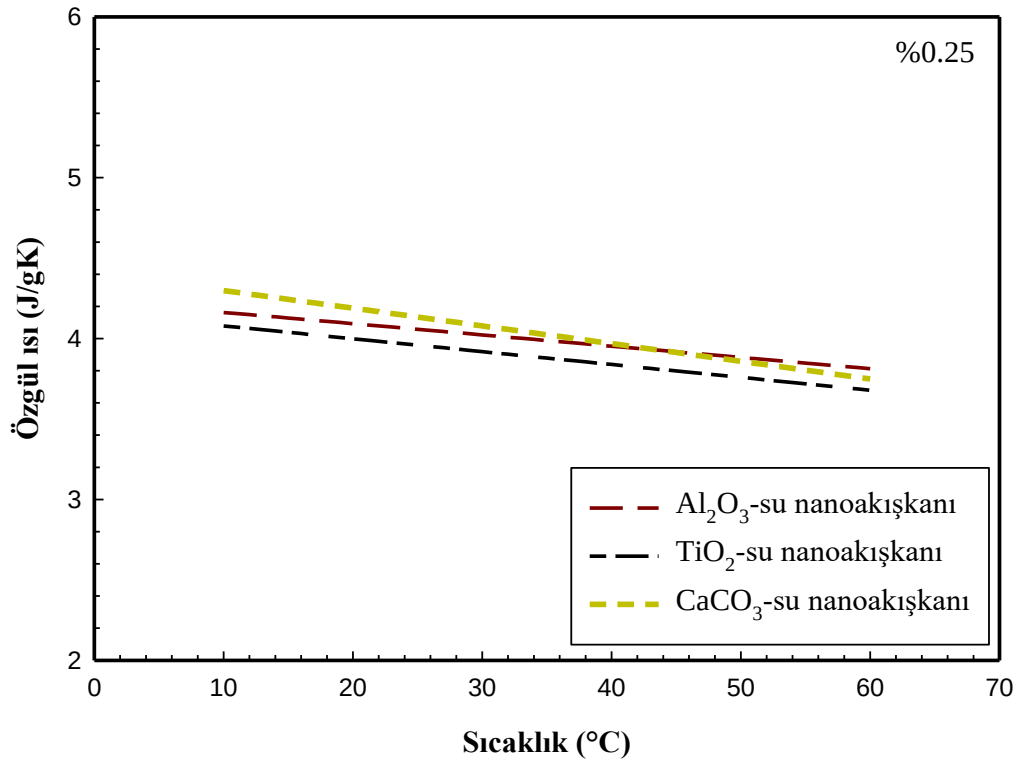
Şekil 7.8. %0.1 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.9. %0.15 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması

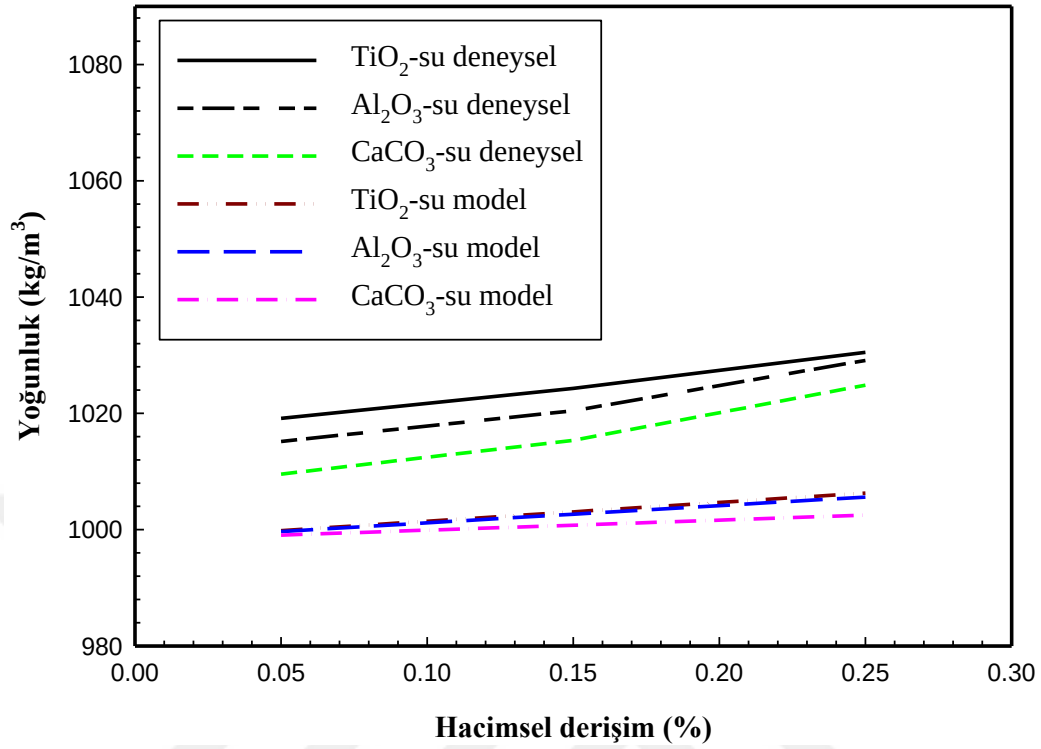


Şekil 7.10. %0.2 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.11. %0.25 hacimsel derişimlere sahip nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması

7.4 Nanoakışkanlar için Yoğunluk Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 7.12. 25°C’de farklı hacimsel derişimlerde nanoakışkanların yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

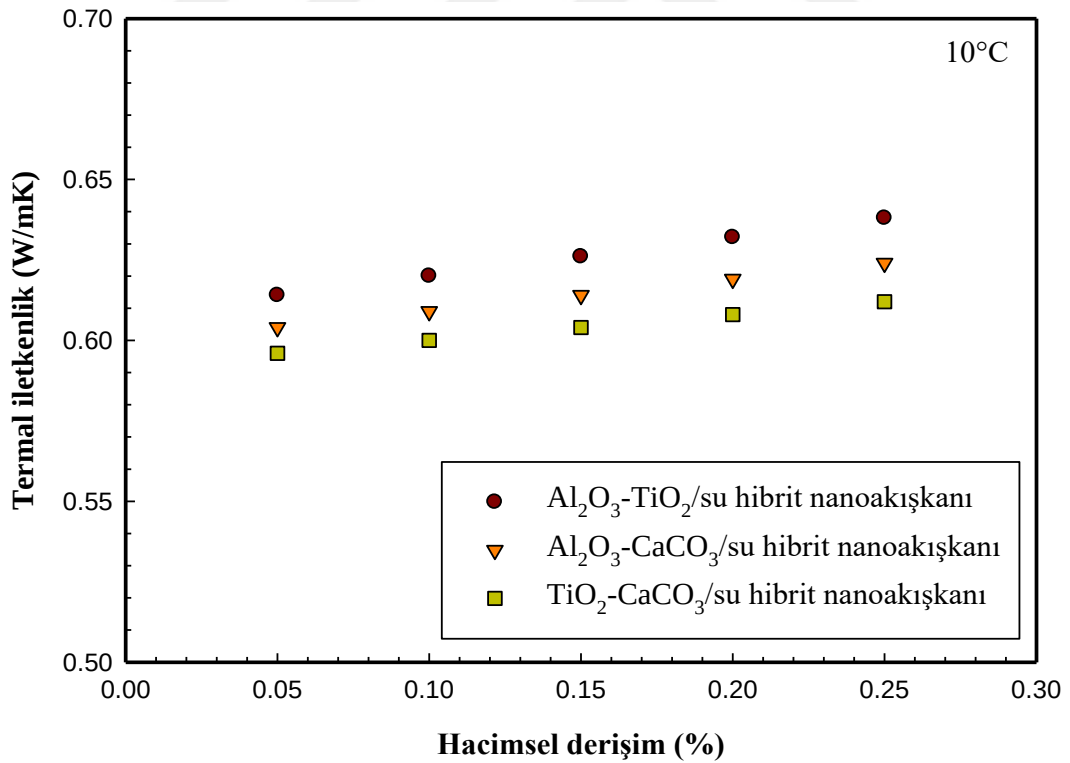
Şekil 7.12’de 25°C’de Al₂O₃-su, TiO₂-su ve CaCO₃-su nanoakışkanlarının deneysel yoğunluk değerlerinin hacimsel derişime bağılı değışimi literatürde bulunan model karşılaştırması ile birlikte verilmiştir. Çalışma sonucunda en yüksekten en düşüğe yoğunluk değerleri sırası ile TiO₂-su, Al₂O₃-su ve CaCO₃-su nanoakışkanlarıdır. Nanoakışkanların yoğunluk değerleri hacimsel derişim artışı ile birlikte artış göstermektedir.

Örneğin, %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlerdeki Al₂O₃-su nanoakışkanına ait deneysel yoğunluk sırası ile 1015.15, 1020.45 ve 1029.1 kg/m³’tür. Aynı şekilde, 0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlerdeki TiO₂-su nanoakışkanına ait yoğunluk sırası ile 1019.15, 1024.3 ve 1030.5 kg/m³’tür. CaCO₃-su nanoakışkanı için ise yoğunluk değerleri sırası ile 1009.55, 1015.35 ve 1024.85 kg/m³’tür.

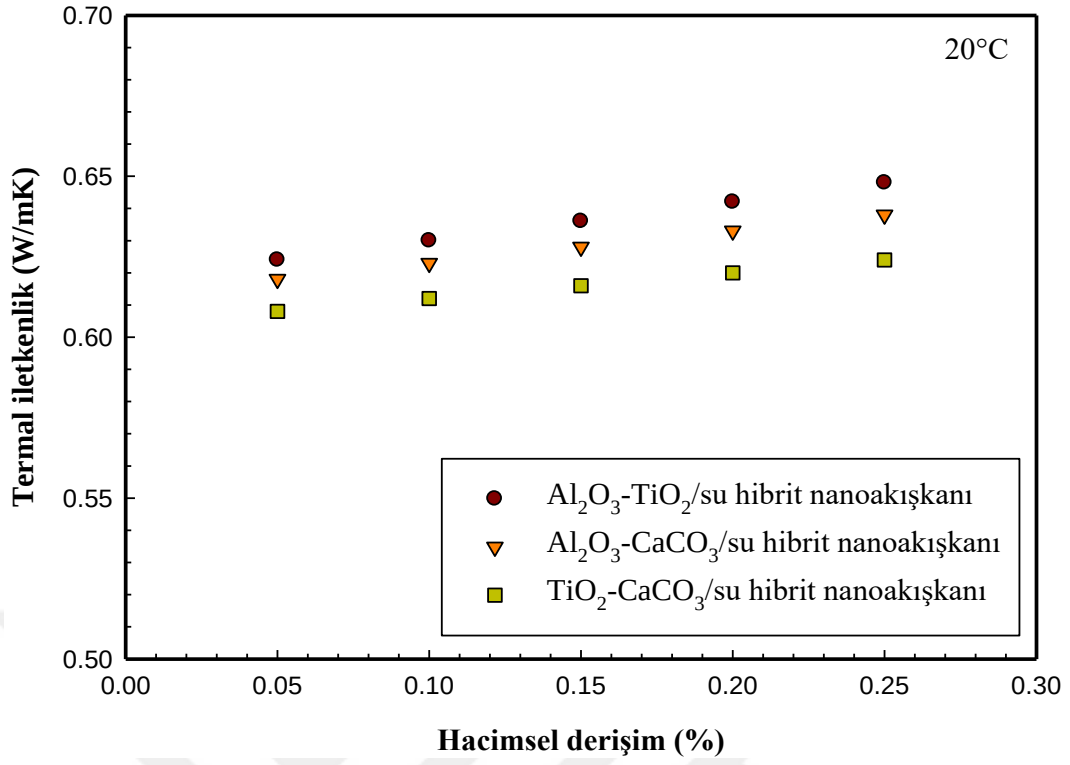
7.5 Hibrit Nanoakışkanlar için Termal İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.13-7.15'te 10°C, 20°C ve 30°C'de Al_2O_3 - TiO_2 /su, Al_2O_3 - CaCO_3 /su ve TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanlarının hacimsel derişime bağılı termal iletkenlik değerlerindeki değışim gösterilmiştir. Hacimsel derişim ve sıcaklıktaki artış ile birlikte termal iletkenlik değerlerinde artış gözlemlenmektedir. Hibrit nanoakışkanlar arasında en yüksek termal iletkenlik özelliğı gösteren hibrit nanoakışkan Al_2O_3 - TiO_2 /su hibrit nanoakışkanı iken, en düşük termal iletkenlik değerine sahip hibrit nanoakışkan ise TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanıdır.

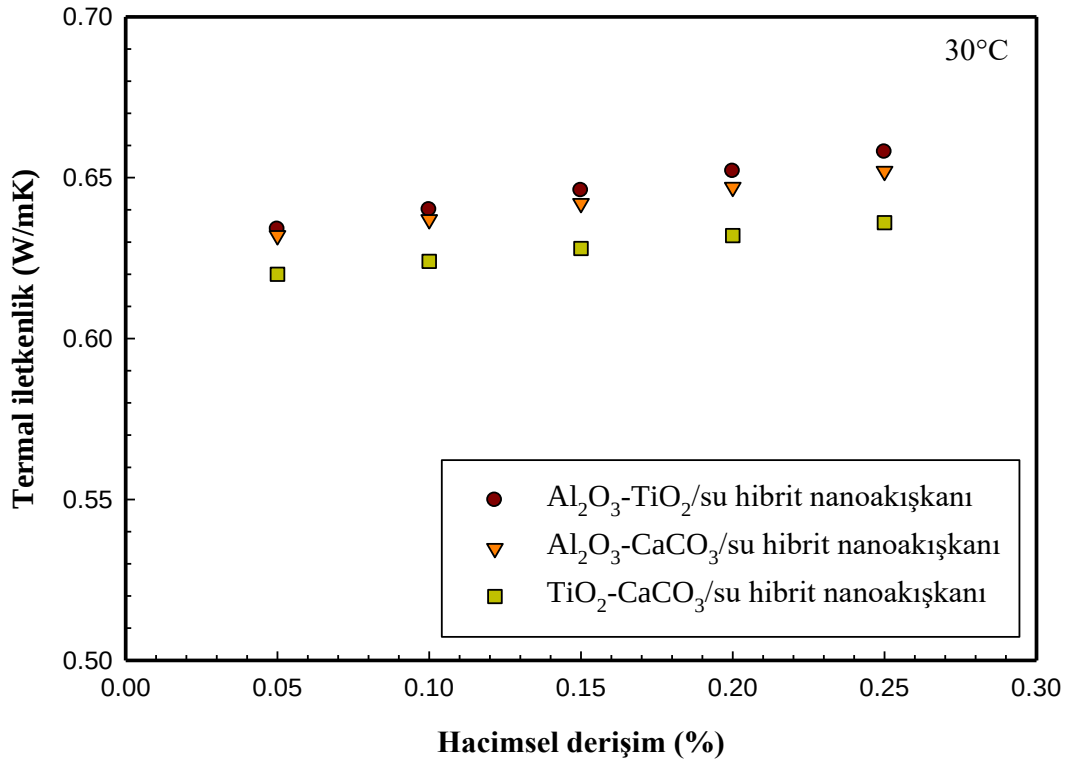
Örneğın, 30°C'de %0.2 hacimsel derişime sahip Al_2O_3 - TiO_2 /su, Al_2O_3 - CaCO_3 /su ve TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanlarının deneysel termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.652, 0.647 ve 0.632 W/mK'dir. 10°C'de %0.2 hacimsel derişime sahip Al_2O_3 - TiO_2 /su, Al_2O_3 - CaCO_3 /su ve TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanlarının deneysel termal iletkenlik değerleri ise sırası ile 0.632, 0.619 ve 0.608 W/mK'dir.



Şekil 7.13. 10°C'de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.14. 20°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların termal iletkenlik değeriinin karşılaştırılması

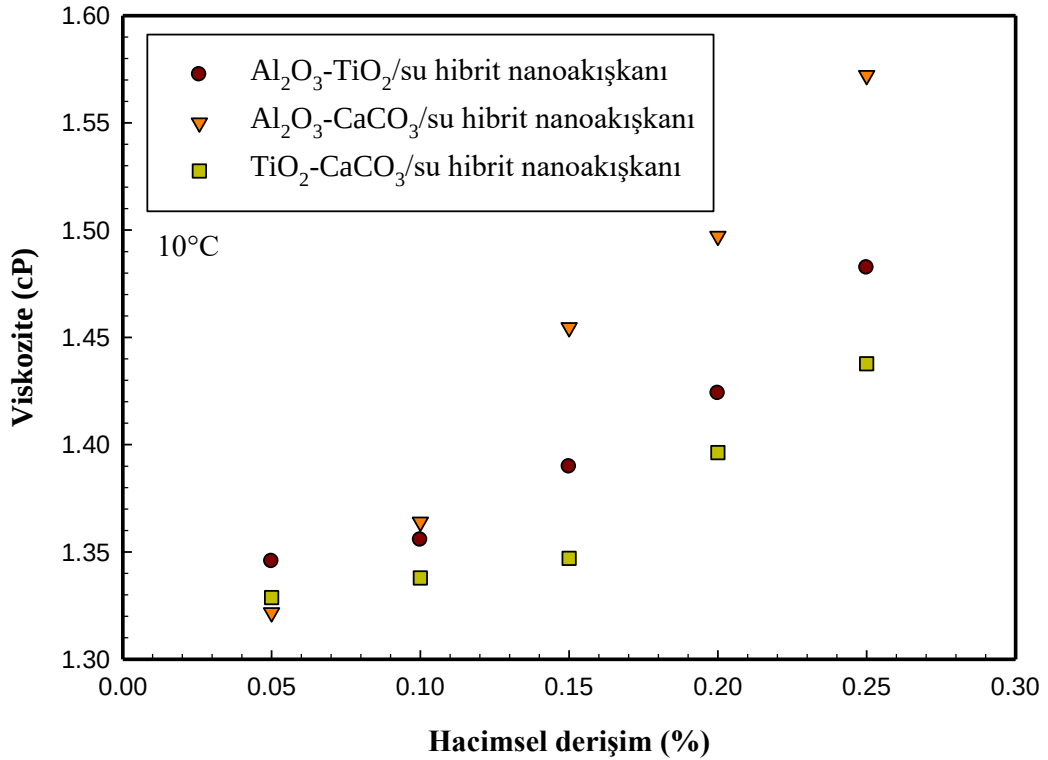


Şekil 7.15. 30°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların termal iletkenlik değeriinin karşılaştırılması

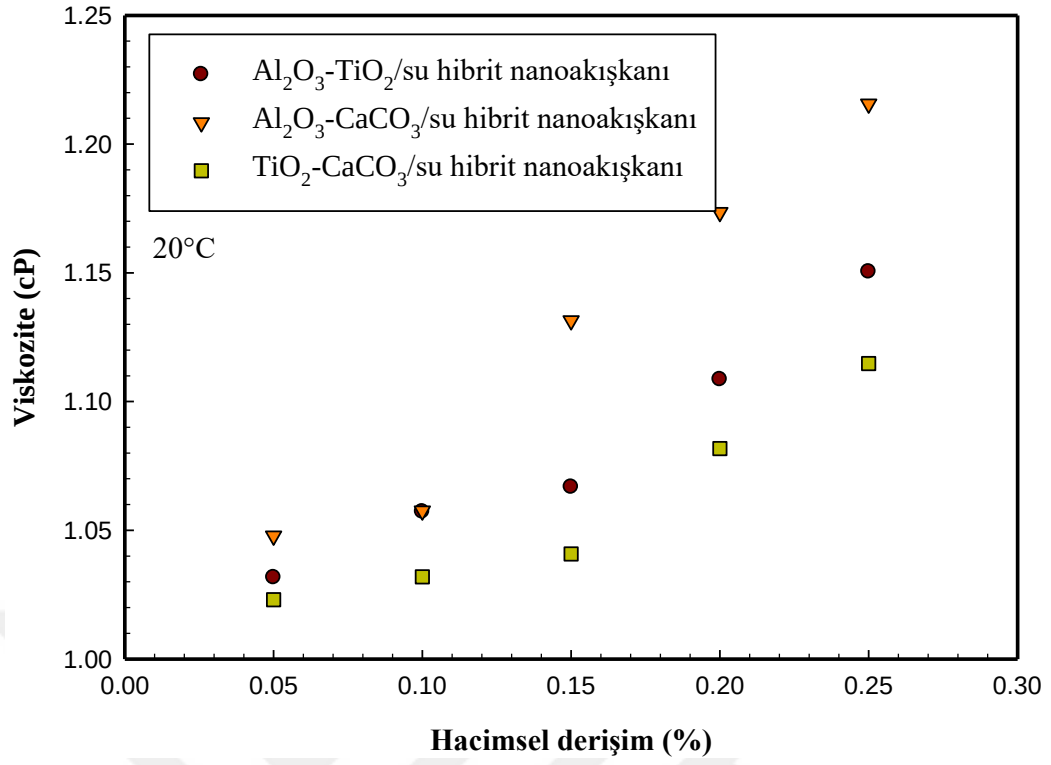
7.6 Hibrit Nanoakışkanlar için Viskozite Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.16-7.17 ve 7.18’de $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$ ve $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanlarının 10°C , 20°C ve 30°C sıcaklıklarında deneysel viskozite değerlerinin hacimsel derişime bağılı değişimi verilmiştir. Deneysel sonuçlara göre sıcaklık artışı ile viskozite değerlerinde düşüş gözlemlenirken hacimsel derişimdeki artış ile viskozite değerlerinde artış meydana gelmiştir. Hibrit nanoakışkanlar arasında en yüksekten en düşüğe viskozite değerlerinde sıralama $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ ve $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanları şeklindedir.

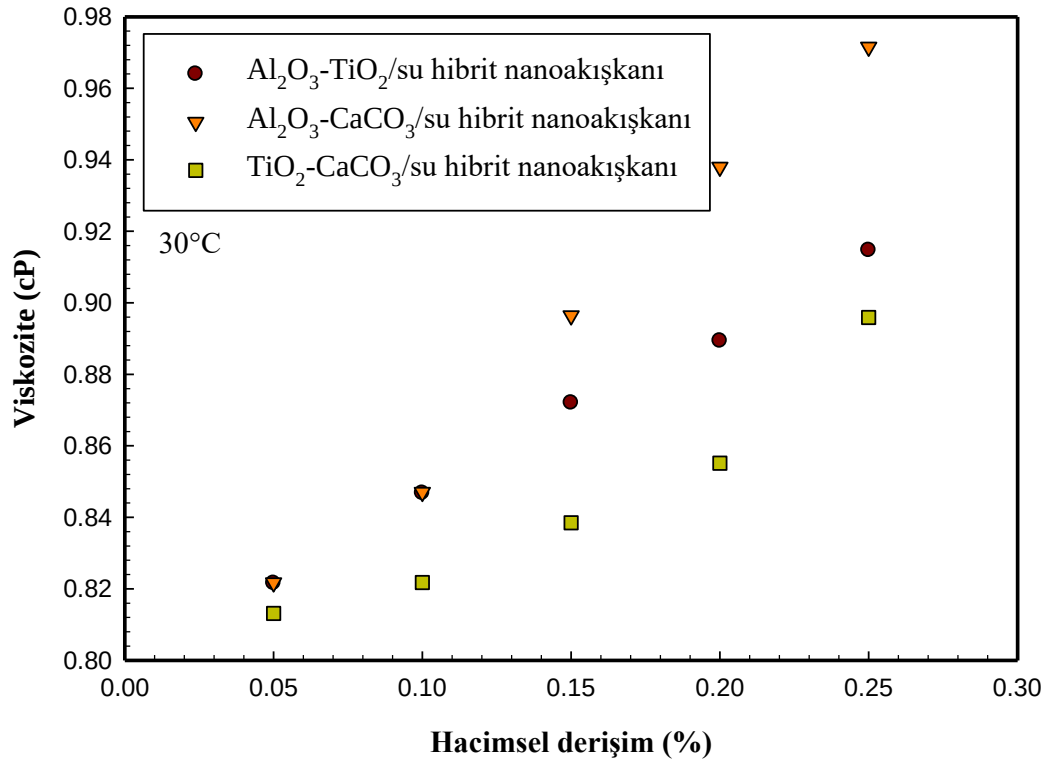
Örneğin, 10°C ’de %0.25 hacimsel derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ ve $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanlarına ait deneysel viskozite değerleri sırası ile 1.572, 1.482 ve 1.437 cP’dir. Aynı şekilde 20°C ’de %0.25 hacimsel derişimlere sahip $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ ve $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$ hibrit nanoakışkanlarına ait deneysel viskozite değerleri sırası ile 1.215, 1.151 ve 1.115 cP’dir.



Şekil 7.16. 10°C ’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.17. 20°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması

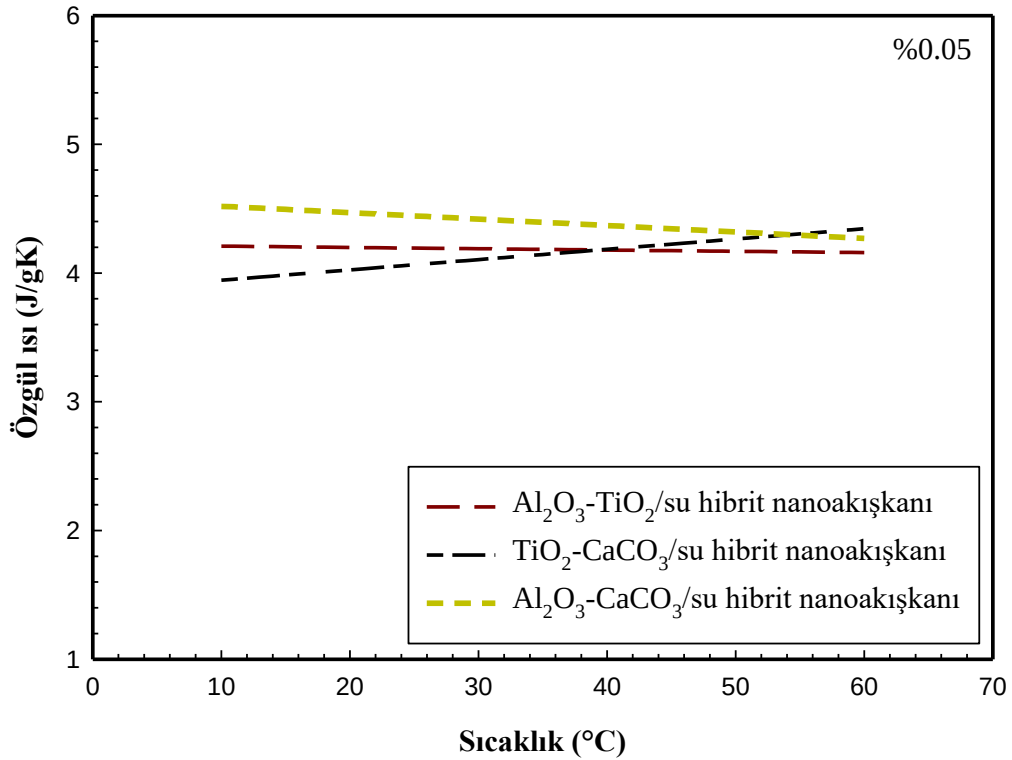


Şekil 7.18. 30°C’de farklı hacimsel derişimlerde hibrit nanoakışkanların viskozite değerlerinin karşılaştırılması

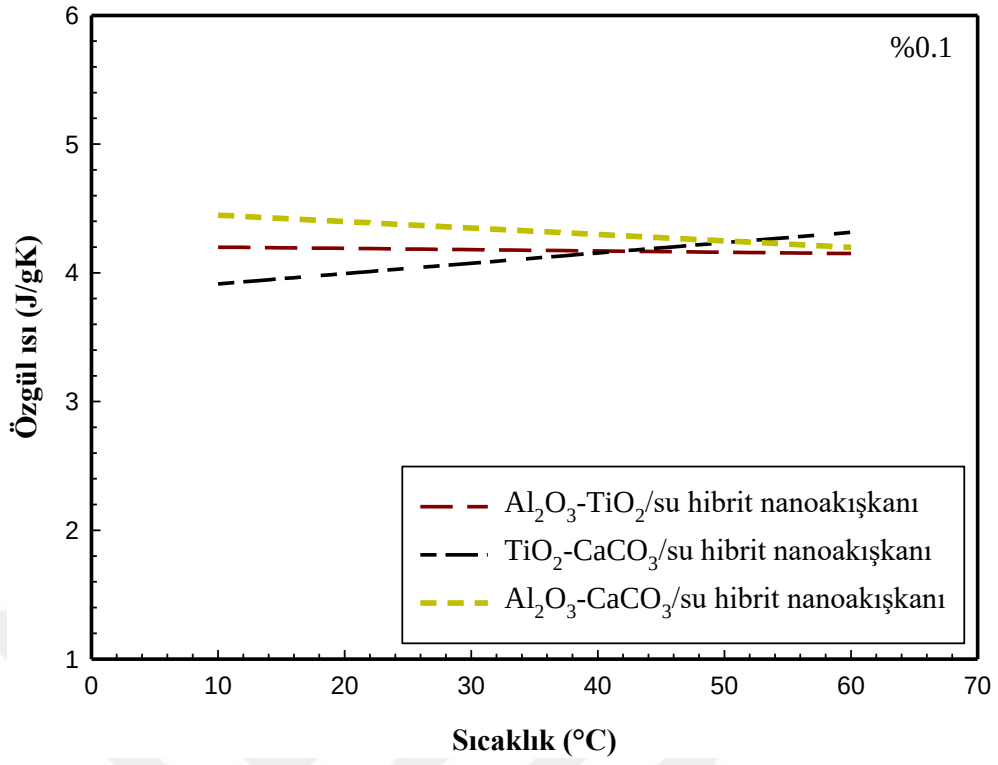
7.7 Hibrit Nanoakışkanlar için Özgül Isı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.19-7.23'te %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip Al_2O_3 - TiO_2 /su, Al_2O_3 - CaCO_3 /su ve TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanlarının deneysel özgöl ısı değerlerinin sıcaklığa bağılı değışimi verilmiştir. Deneysel sonuçlara göre hibrit nanoakışkanlarına ait özgöl ısı değıerleri hacimsel derişim artarken azalmaktadır. Ayrıca, Al_2O_3 - TiO_2 /su ve Al_2O_3 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanlarına ait özgöl ısı değıerleri sıcaklık artışı ile birlikte azalmakta iken TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanına ait özgöl ısı değıerleri sıcaklık artışı ile artmaktadır.

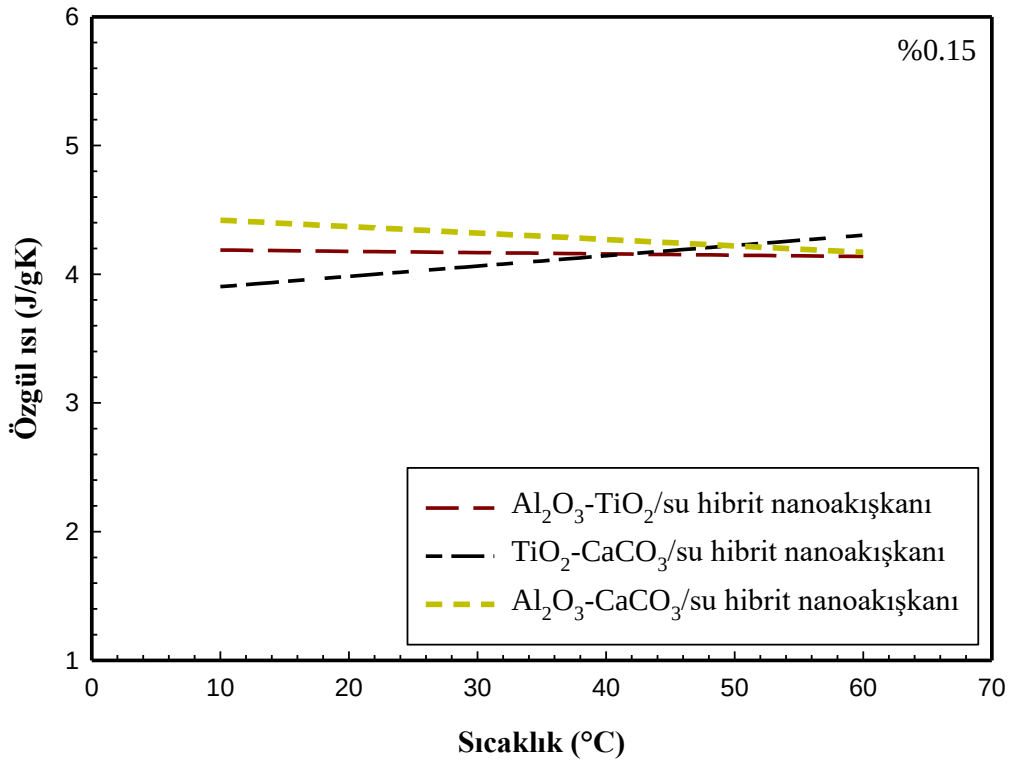
Örneğın, 20°C'de %0.1 hacimsel derişime sahip Al_2O_3 - CaCO_3 /su, Al_2O_3 - TiO_2 /su ve TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanlarının özgöl ısı değıerleri sırası ile 4.397, 4.189 ve 3.994 J/gK'dır. 40°C'de %0.1 hacimsel derişime sahip Al_2O_3 - CaCO_3 /su, Al_2O_3 - TiO_2 /su ve TiO_2 - CaCO_3 /su hibrit nanoakışkanlarının özgöl ısı değıerleri ise sırası ile 4.297, 4.169 ve 4.154 J/gK'dır.



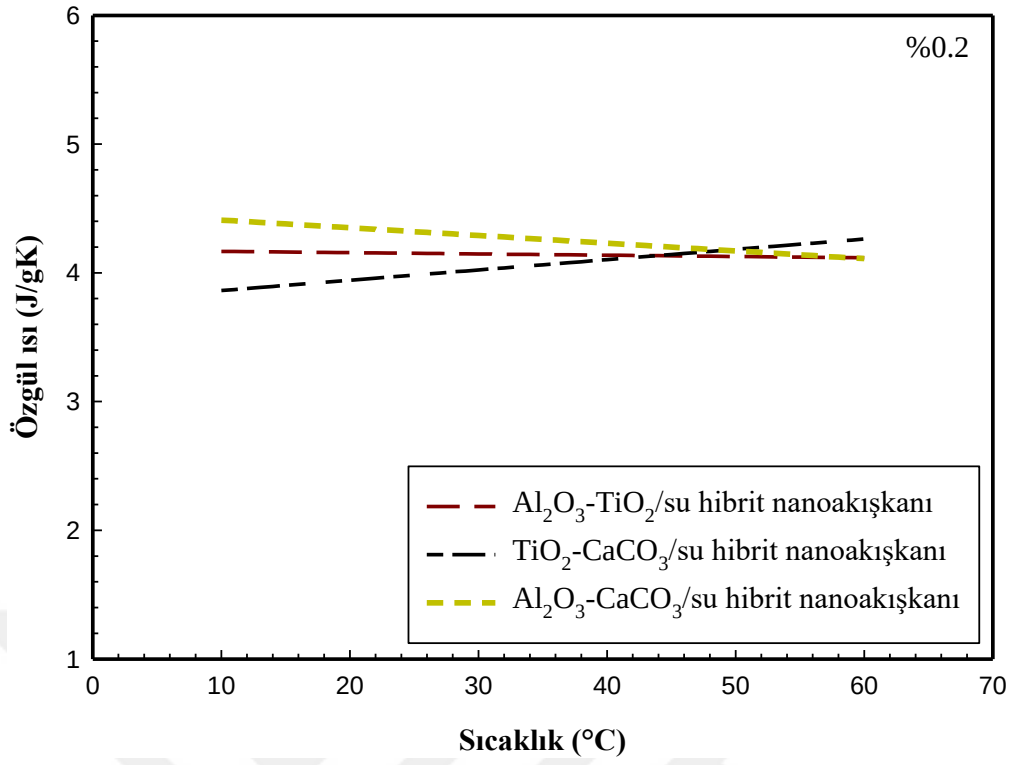
Şekil 7.19. %0.05 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgöl ısı değıerlerinin karşılaştırılması



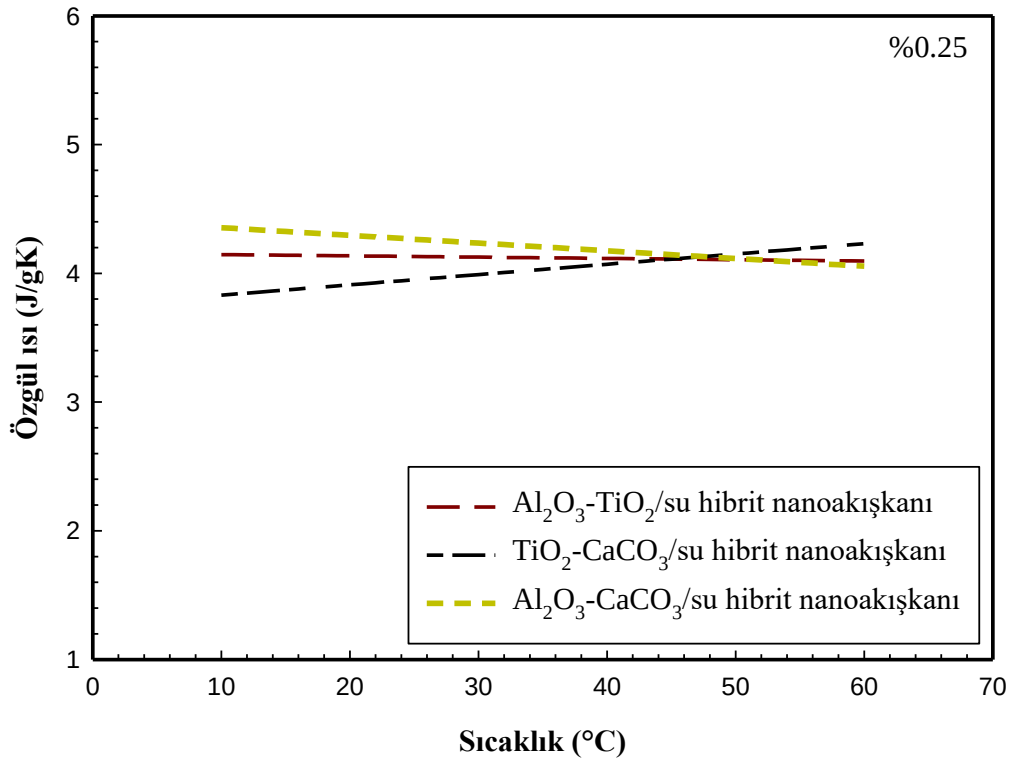
Şekil 7.20. %0.1 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.21. %0.15 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması

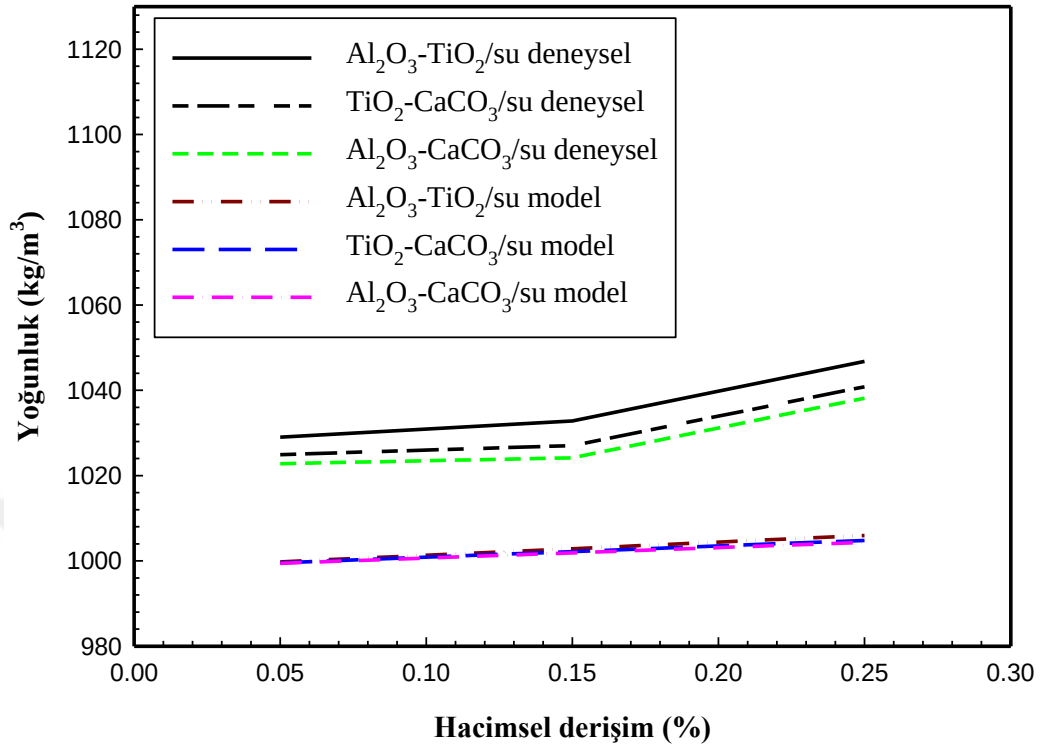


Şekil 7.22. %0.2 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.23. %0.25 hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması

7.8 Hibrit Nanoakışkanlar için Yoğunluk Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 7.24. 25°C’de farklı hacimsel derişimlere sahip hibrit nanoakışkanların yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

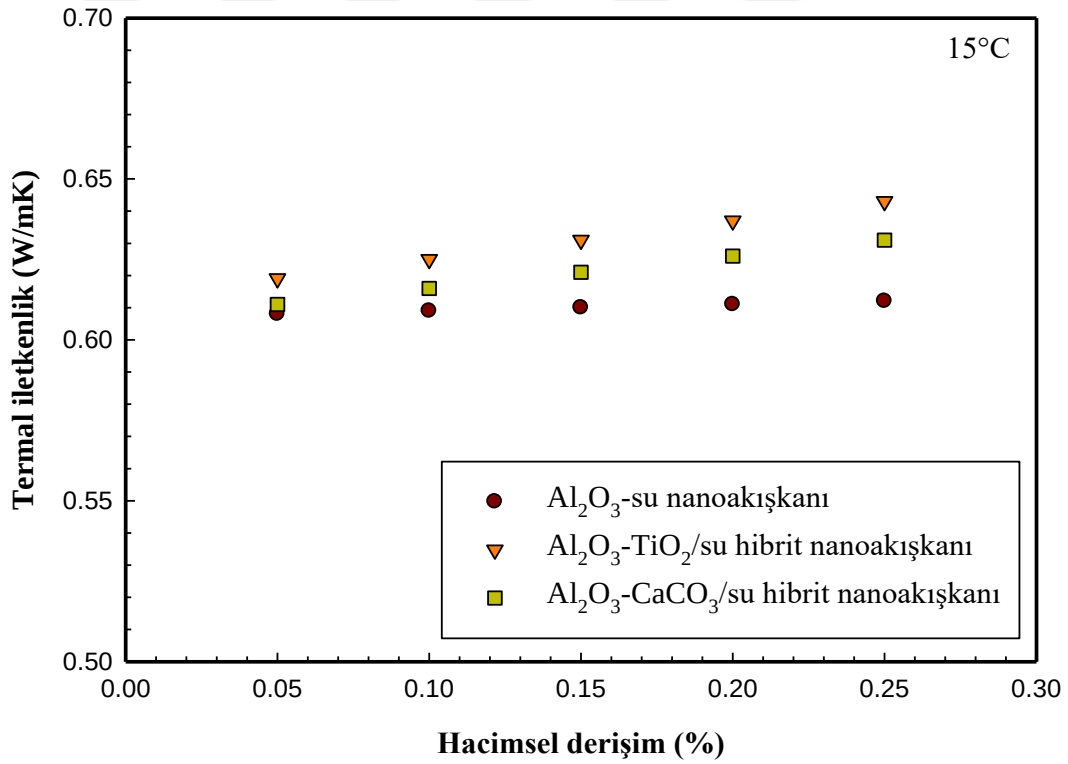
Şekil 7.24’te Al₂O₃-TiO₂/su, Al₂O₃-CaCO₃/su ve TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanlarının deneysel yoğunluk değerlerinin hacimsel derişime bağılı değışimi verilmiştir. Hacimsel derişimdeki artış ile yoğunluk değerlerinin arttığı gözlenmektedir. Hibrit nanoakışkanlar arasında en yüksek yoğunluktan en düşük yoğunluk değerine sahip hibrit nanoakışkanlar sırası ile Al₂O₃-TiO₂/su, TiO₂-CaCO₃/su ve Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanıdır.

Örneğin, %0.05, %0.15 ve %0.25 hacimsel derişimlere sahip Al₂O₃-TiO₂/su hibrit nanoakışkanına ait deneysel yoğunluk sırası ile 1029, 1032.8 ve 1046.8 kg/m³’tür. Aynı şekilde TiO₂-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanı için yoğunluk değerleri sırası ile 1024.9, 1027 ve 1040.8 kg/m³, Al₂O₃-CaCO₃/su hibrit nanoakışkanı için yoğunluk değerleri sırası ile 1022.8, 1024.15 ve 1038.15 kg/m³’tür.

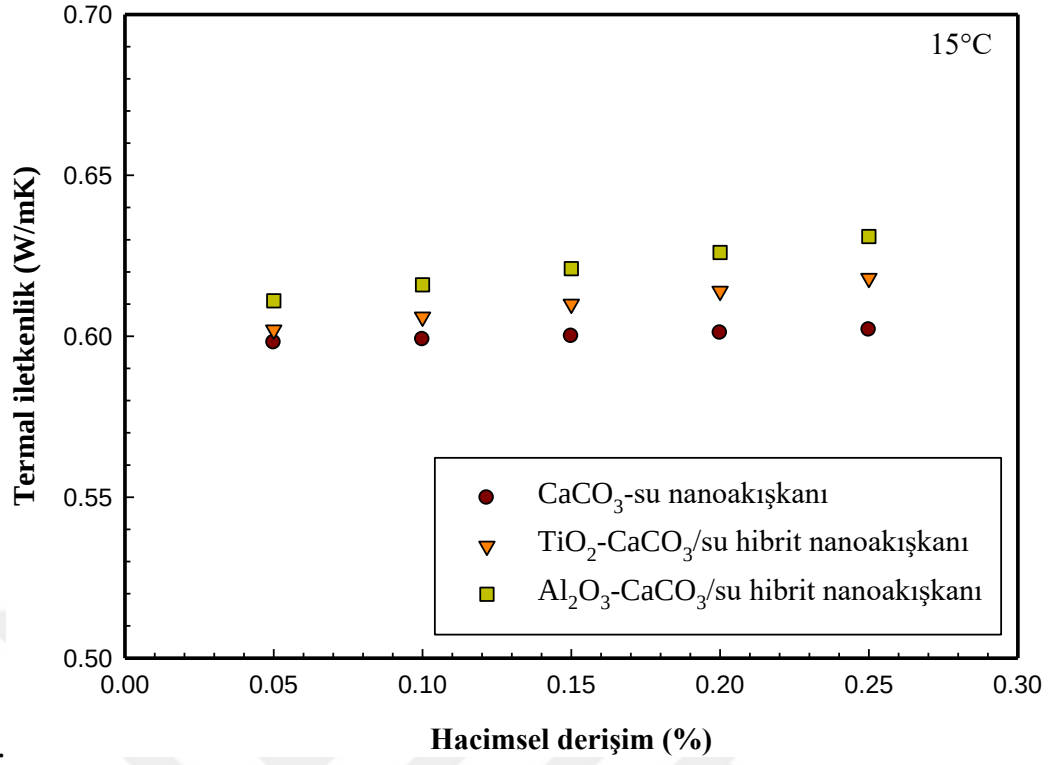
7.9 Termal İletkenlik Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.25-7.30’da Al_2O_3 , TiO_2 ve CaCO_3 nanopartiküllerinin mono ve hibrit nanoakışkanlarının deneysel termal iletkenlik değerlerinin hacimsel derişime bağılı değişimi verilmiştir. Termal iletkenlik değerleri hacimsel derişim ve sıcaklık artışı ile artmaktadır. Mono ve hibrit nanoakışkanlar termal iletkenlik açısından karşılaştırıldığında hibrit nanoakışkanların mono nanoakışkanlara kıyasla daha iyi termal iletkenlik özelliğine sahip olduğu görülmektedir.

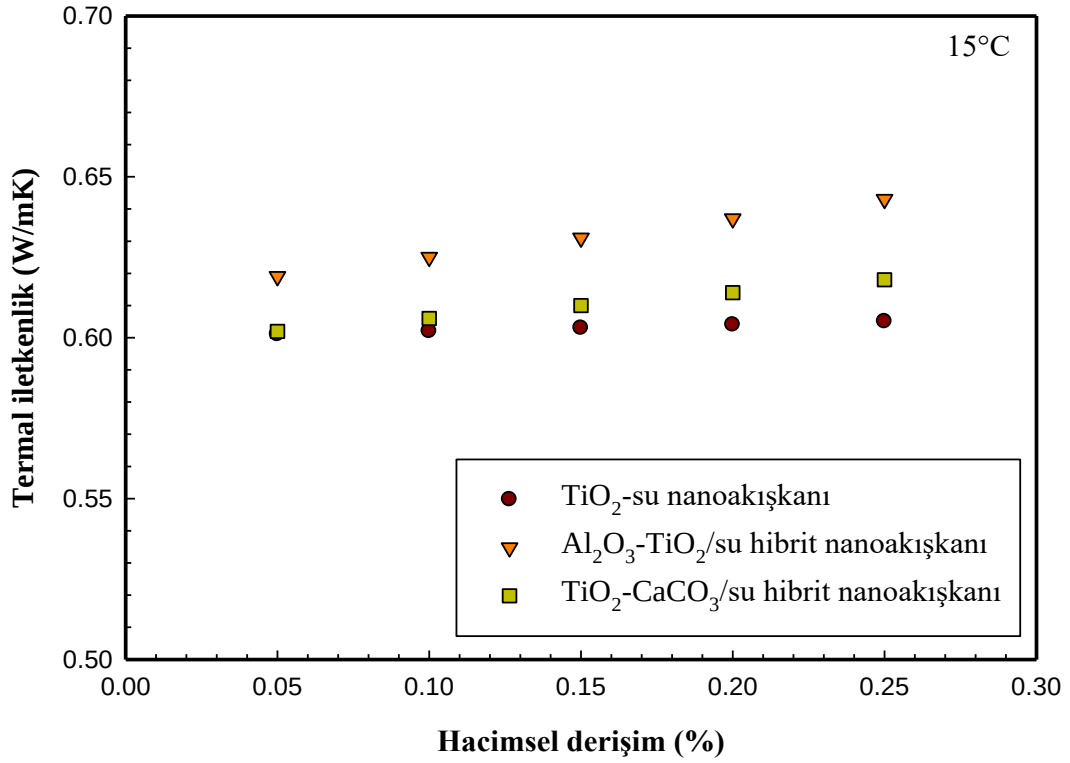
Örneğin 25°C ’de %0.15 hacimsel derişime sahip Al_2O_3 -su, Al_2O_3 - CaCO_3 /su ve Al_2O_3 - TiO_2 /su nanoakışkanlarına ait deneysel termal iletkenlik değerleri sırası ile 0.626, 0.635 ve 0.641 W/mK’dir.



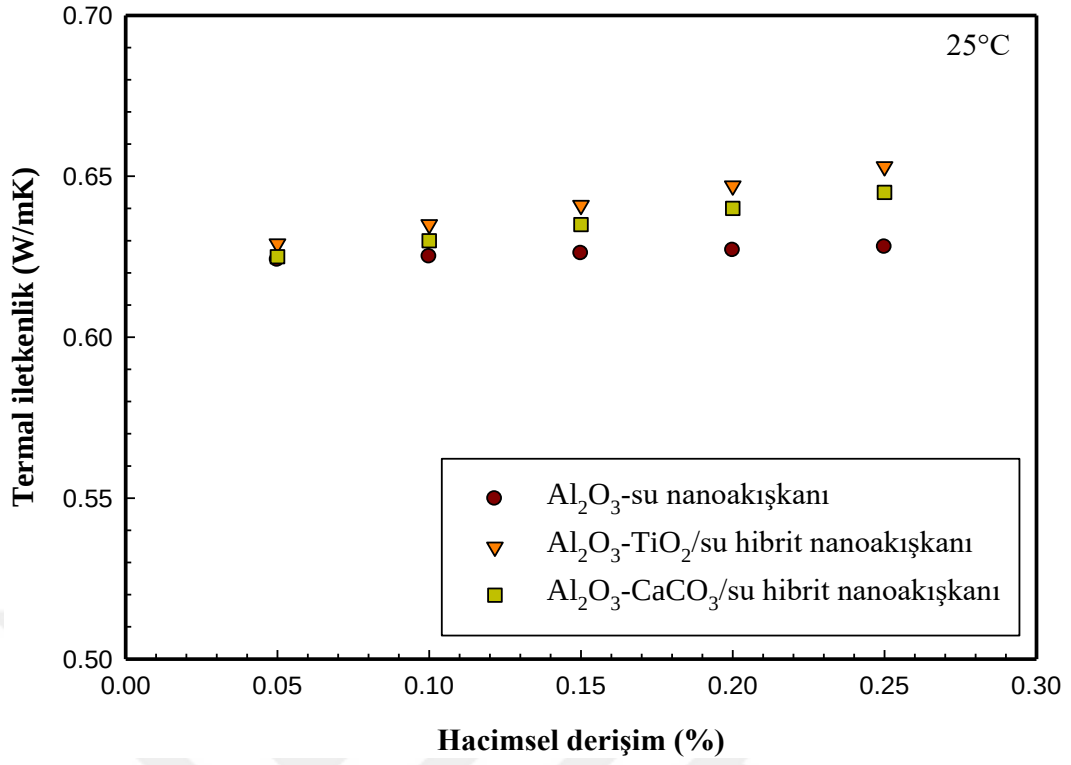
Şekil 7.25. 15°C ’de Al_2O_3 nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



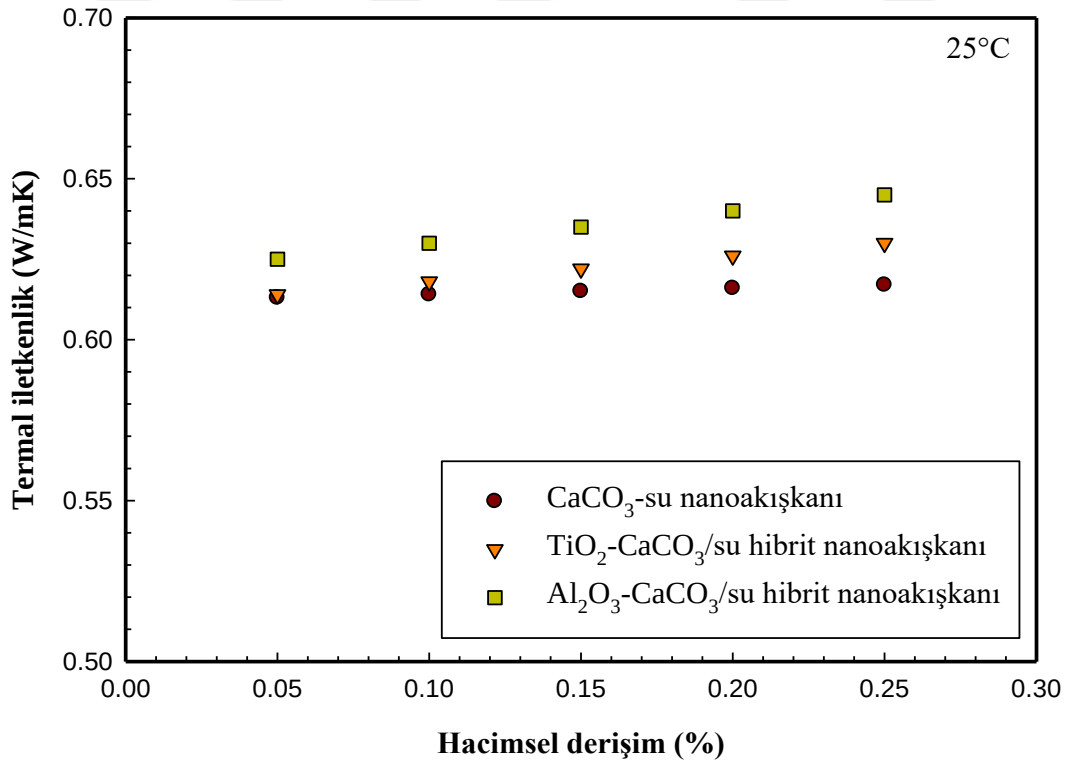
Şekil 7.26. 15°C’de CaCO₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



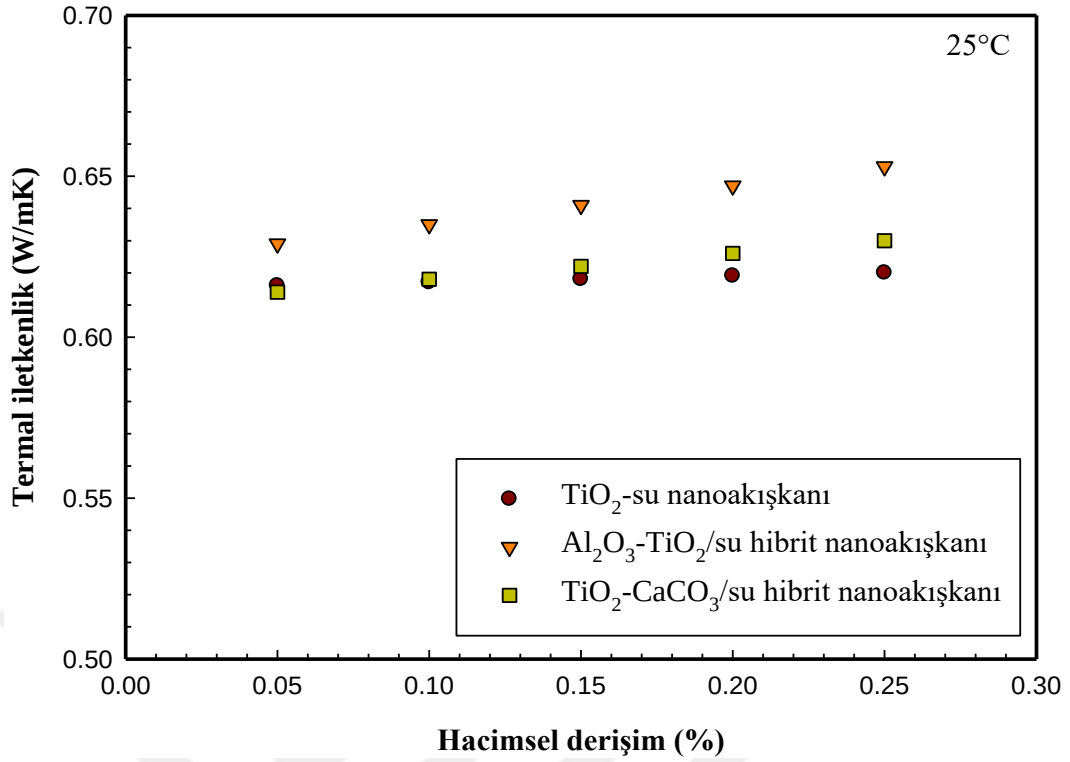
Şekil 7.27. 15°C’de TiO₂ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.28. 25°C’de Al₂O₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.29. 25°C’de CaCO₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması

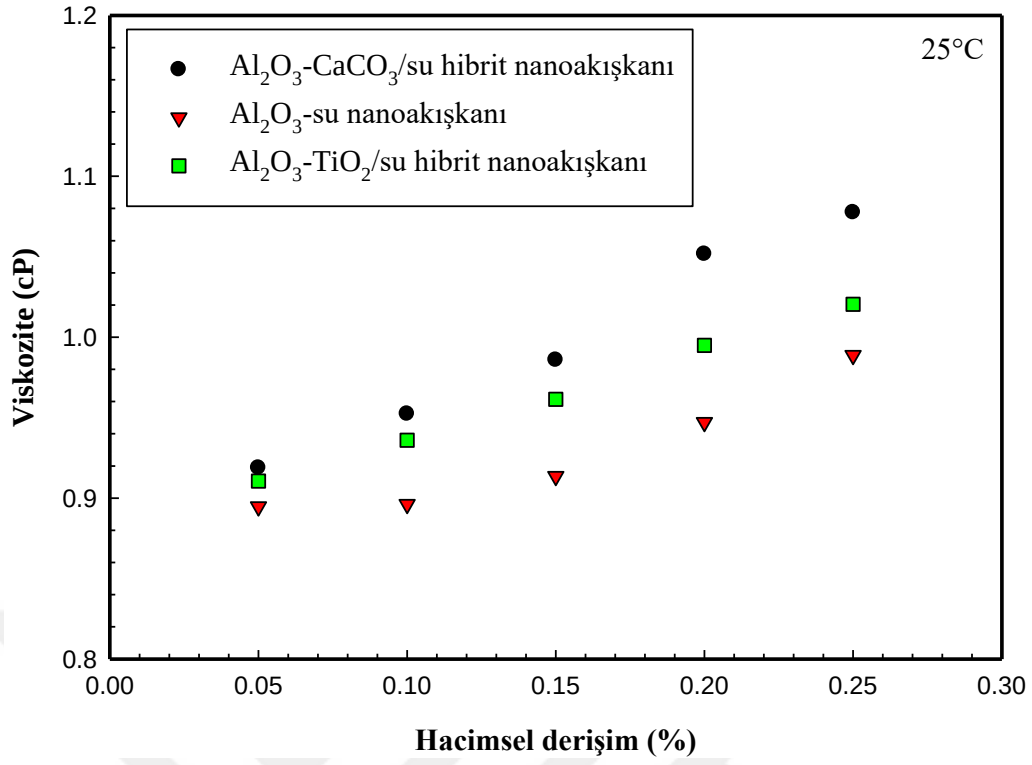


Şekil 7.30. 25°C’de TiO₂ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının termal iletkenlik değerlerinin karşılaştırılması

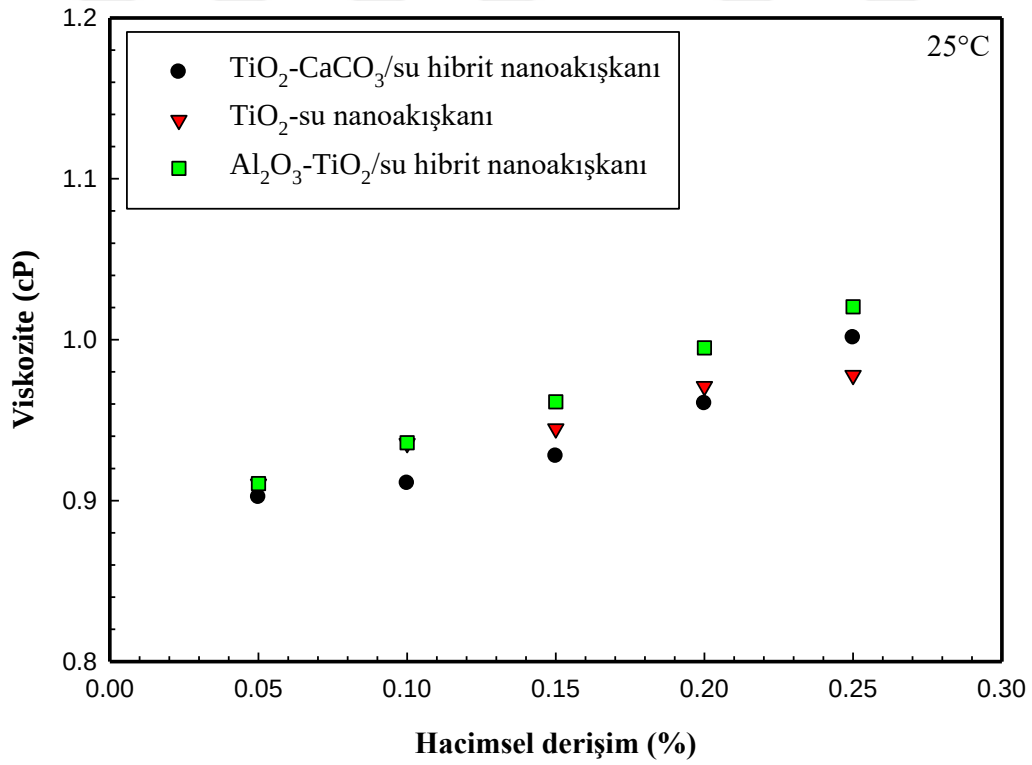
7.10 Viskozite Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.31-7.33’te 25°C’de Al₂O₃, TiO₂ ve CaCO₃ nanopartiküllerinin mono ve hibrit nanoakışkanlarının deneysel viskozite değerlerinin hacimsel derişime bağılı değişimi verilmiştir. Deneysel viskozite değerleri hacimsel derişimdeki artış ile artarken, sıcaklık arttığında azalmaktadır. Mono ve hibrit nanoakışkanlar viskozite özelliği bakımından karşılaştırıldığında mono nanoakışkanların viskozite değerleri hibrit nanoakışkanlara kıyasla daha azdır.

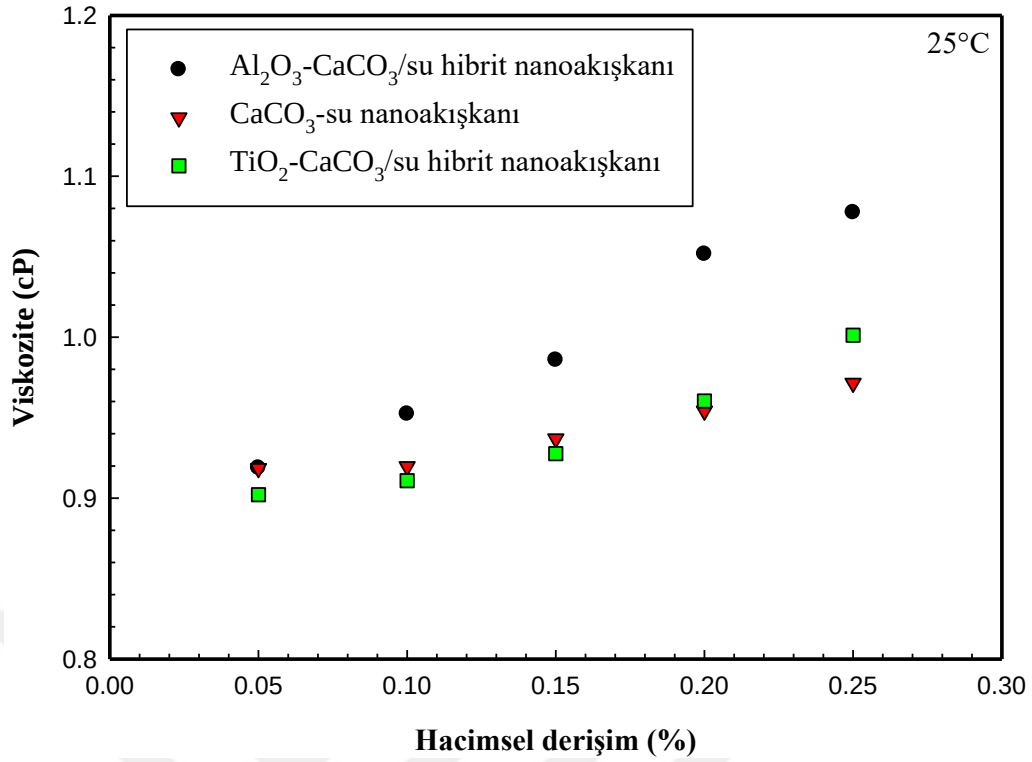
Örneğin, %0.2 hacimsel derişime sahip Al₂O₃-su, Al₂O₃-TiO₂/su ve Al₂O₃-CaCO₃/su nanoakışkanlarının deneysel viskozite değerleri sırası ile 0.947, 0.994 ve 1.052 cP’dir. Aynı şekilde %0.2 hacimsel derişime sahip TiO₂-su, Al₂O₃-TiO₂/su ve TiO₂-CaCO₃/su nanoakışkanlarının deneysel viskozite değerleri sırası ile 0.971, 0.994 ve 0.960 cP’dir.



Şekil 7.31. 25°C’de Al_2O_3 nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının viskozite değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.32. 25°C’de TiO_2 nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının viskozite değerlerinin karşılaştırılması

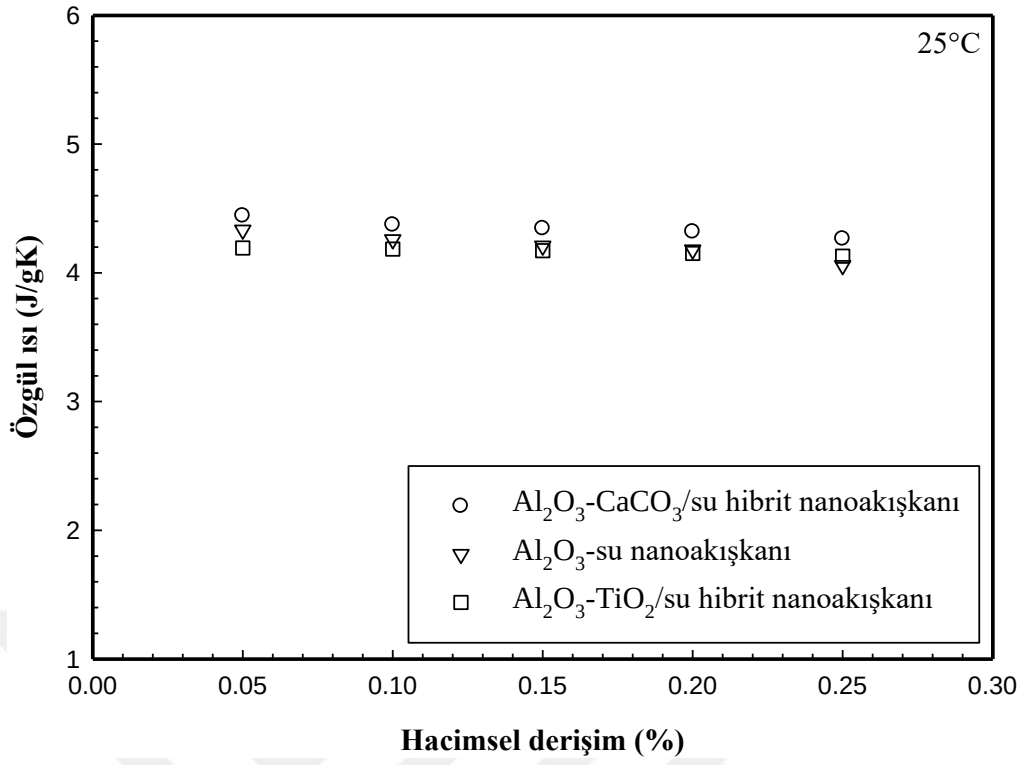


Şekil 7.33. 25°C’de CaCO₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının viskozite değerlerinin karşılaştırılması

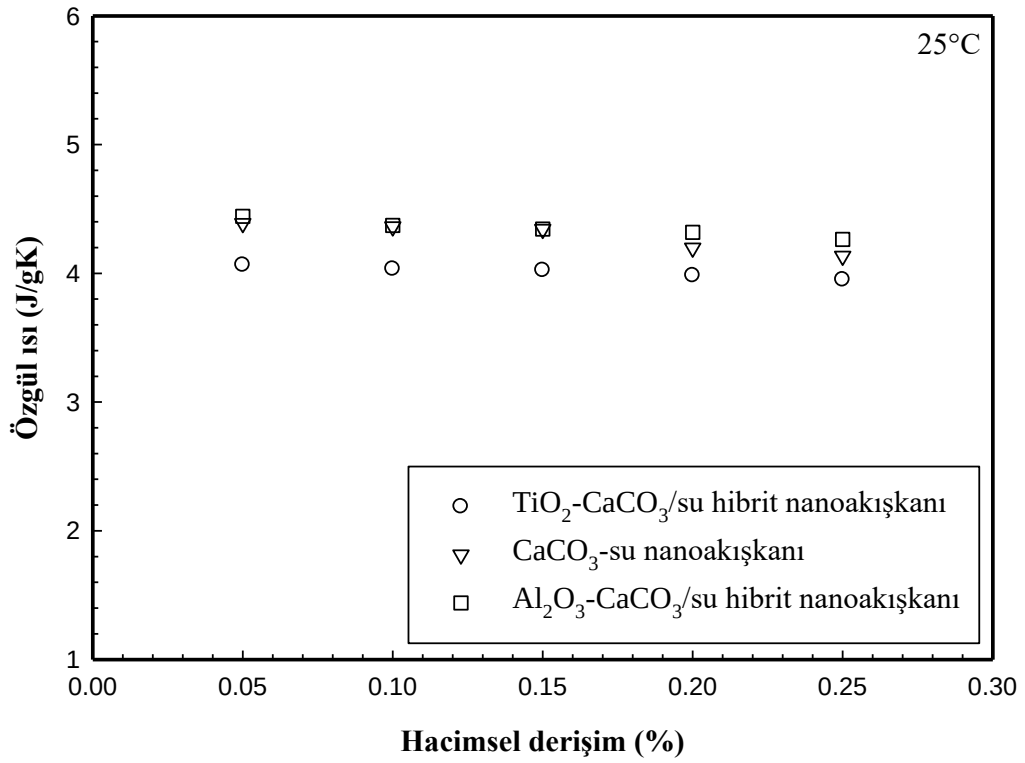
7.11 Özgöl Isı Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 7.34-7.36’da 25°C’de Al₂O₃, TiO₂ ve CaCO₃ nanopartiküllerinin mono ve hibrit nanoakışkanlarının deneysel özgül ısı değerlerinin hacimsel derişime bağılı değişimi verilmiştir. Deney sonuçlarına göre nanoakışkanların hacimsel derişimi arttığında özgül ısı değerleri azalmaktadır.

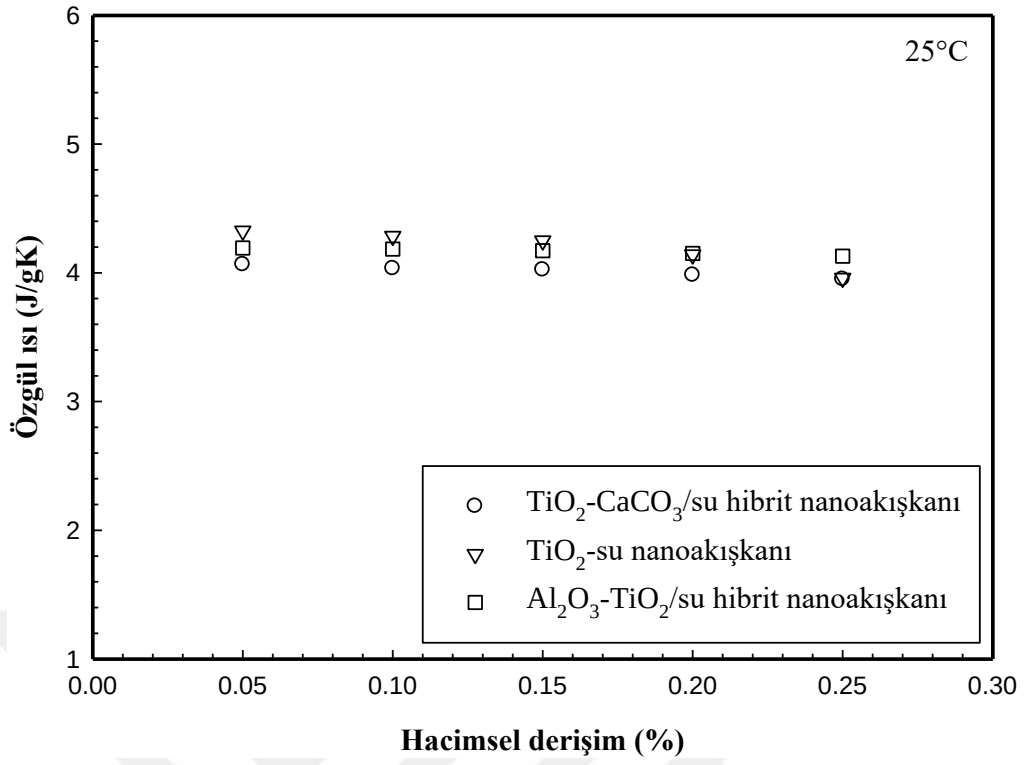
Örneğin, 25°C’de %0.1 hacimsel derişime sahip CaCO₃/su, Al₂O₃-CaCO₃/su ve TiO₂-CaCO₃ nanoakışkanlarına ait özgül ısı değerleri sırası ile 4.362, 4.372 ve 4.034 J/gK’dir.



Şekil 7.34. 25°C’de Al₂O₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.35. 25°C’de CaCO₃ nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 7.36. 25°C’de TiO_2 nanopartikülünün nano ve hibrit nanoakışkanlarının özgül ısı değerlerinin karşılaştırılması

BÖLÜM VIII

SONUÇ

Bu çalışmada baz akışkanı saf su seçilen Al_2O_3 , TiO_2 ve CaCO_3 nanopartiküllerinin %0.05, %0.1, %0.15, %0.2 ve %0.25 hacimsel derişimlerde mono ve hibrit nanoakışkanları (Al_2O_3 -su, TiO_2 -su, CaCO_3 -su, Al_2O_3 - TiO_2 /su, Al_2O_3 - CaCO_3 /su, TiO_2 - CaCO_3 /su) iki adım metodu ile hazırlanmıştır. Çalışmanın amacı, mono ve hibrit nanoakışkanların ileride uygulama alanlarında kullanılması durumunda termofiziksel özellikleri hakkında tatmin edici sonuçlar elde edilip edilemeyeceği sorusuna yanıt bulmaktır. Farklı hacimsel derişimlerde hazırlanan mono ve hibrit nanoakışkanların çökelme sorununu önlemek için yüzey aktif madde olarak Arabic gum sürfaktantı kullanılmıştır. Her bir numunenin termal iletkenlik özelliğini ölçmek için KD2 Pro cihazı kullanılmıştır. Nanoakışkanların termal iletkenlik değerleri 10-35°C sıcaklık aralığında ölçülmüş ve hibrit nanoakışkanların mono nanoakışkanlardan daha iyi termal iletkenliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Sıcaklık ve hacimsel derişimdeki artış ile nanoakışkanların termal iletkenliklerinde artış meydana gelmiştir. Viskozite ölçümü kapiler viskozimetre ile 10-35°C sıcaklık aralığında ölçülmüştür. Nanoakışkanların viskozite değerleri sıcaklık artarken azalmakta iken hacimsel derişimdeki artış ile artmakta olduğu gözlemlenmiştir. Özgöl ısı ölçümü için kurulan deney düzeneği ise özgöl ısısı bilinen referans akışkan yardımı ile özgöl ısısı ölçülmek istenen nanoakışkanların özgöl ısı değerlerinin enerji denklemi($Q=m.c.\Delta T$) yardımı ile belirlenmesine dayanmaktadır. Nanoakışkanların özgöl ısı değerleri hacimsel derişim artışı ile azalma göstermiştir. Buna göre yüksek hacimsel derişime sahip nanoakışkanların birim kütesinin sıcaklığını 1K artırmak için gereken enerji azalmaktadır. Nanoakışkanların yoğunluk özelliği nanoakışkanların kütlelerinin hacimlerine oranı ile elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular şu şekilde sıralanabilir;

1. Hibrit nanoakışkanların termal iletkenlik özellikleri mono nanoakışkanlara kıyasla daha iyidir.
2. Sıcaklık ve hacimsel derişimdeki artış termal iletkenlik değerlerinde artışa neden olmuştur.

3. Aynı şartlarda en yüksek termal iletkenlik değerine sahip nanoakışkandan en düşük termal iletkenlik değerine sahip nanoakışkan sıralaması ise şu şekildedir; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-su}$, $\text{TiO}_2\text{-su}$ ve $\text{CaCO}_3\text{-su}$.
4. Nanoakışkanların viskozite değerleri sıcaklık artışı ile azalırken, hacimsel derişimdeki artış ile artmaktadır.
5. Aynı şartlarda en yüksek viskozite değerine sahip nanoakışkandan en düşük viskozite değerine sahip nanoakışkan sıralaması ise şu şekildedir; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$, $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{TiO}_2\text{-su}$, $\text{CaCO}_3\text{-su}$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-su}$.
6. Nanoakışkanların özgül ısı değerleri hacimsel derişim artışı ile azalmaktadır.
7. Aynı şartlarda en yüksek özgül ısı değerine sahip nanoakışkandan en düşük özgül ısı değerine sahip nanoakışkan sıralaması ise şu şekildedir; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{CaCO}_3\text{-su}$, $\text{TiO}_2\text{-su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$ ve $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$.
8. Aynı şartlarda en yüksek yoğunluk değerine sahip nanoakışkandan en düşük yoğunluk değerine sahip nanoakışkan sıralaması ise şu şekildedir; $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2/\text{su}$, $\text{TiO}_2\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-CaCO}_3/\text{su}$, $\text{TiO}_2\text{-su}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-su}$ ve $\text{CaCO}_3\text{-su}$.

KAYNAKLAR

Abareshi, M., Goharshadi, E. K., Mojtaba Zebarjad, S., Khandan Fadafan, H. and Youssefi, A., "Fabrication, characterization and measurement of thermal conductivity of Fe_3O_4 nanofluids", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 322(24), 3895–3901, 2010.

Abbasi, S. M., Rashidi, A., Nemati, A. and Arzani, K., "The effect of functionalisation method on the stability and the thermal conductivity of nanofluid hybrids of carbon nanotubes/gamma alumina", *Ceramics International*, 39(4), 3885–3891, 2013.

Aberoumand, S. and Jafarimoghaddam, A., "Tungsten(III) oxide(WO_3)–Silver/transformer oil hybrid nanofluid: Preparation, stability, thermal conductivity and dielectric strength", *Alexandria Engineering Journal*, 57(1), 169–174, 2018.

Afrand, M., Nazari Najafabadi, K. and Akbari, M., "Effects of temperature and solid volume fraction on viscosity of SiO_2 -MWCNTs/SAE40 hybrid nanofluid as a coolant and lubricant in heat engines", *Applied Thermal Engineering*, 102, 45–54, 2016.

Agarwal, D. K., Vaidyanathan, A. and Sunil Kumar, S., "Investigation on convective heat transfer behaviour of kerosene- Al_2O_3 nanofluid", *Applied Thermal Engineering*, 84, 64–73, 2015.

Agarwal, R., Verma, K., Agrawal, N. K. and Singh, R., "Sensitivity of thermal conductivity for Al_2O_3 nanofluids", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 80, 19–26, 2017.

Akhgar, A. and Toghraie, D., "An experimental study on the stability and thermal conductivity of water-ethylene glycol/ TiO_2 -MWCNTs hybrid nanofluid: Developing a new correlation", *Powder Technology*, 338, 806–818, 2018.

Akilu, S., Baheta, A. T. and Sharma, K. V., "Experimental measurements of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol-based hybrid nanofluid with TiO₂-CuO/C inclusions", *Journal of Molecular Liquids*, 246, 396–405, 2017.

Ali, N., Teixeira, J. A. and Addali, A., "A Review on Nanofluids: Fabrication, Stability, and Thermophysical Properties", *Journal of Nanomaterials*, 2018, 1–33, 2018.

Alirezaie, A., Saedodin, S., Esfe, M. H. and Rostamian, S. H., "Investigation of rheological behavior of MWCNT (COOH-functionalized)/MgO - Engine oil hybrid nanofluids and modelling the results with artificial neural networks", *Journal of Molecular Liquids*, 241, 173–181, 2017.

Anoop, K. B., Sundararajan, T. and Das, S. K., "Effect of particle size on the convective heat transfer in nanofluid in the developing region", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52(9–10), 2189–2195, 2009.

Anoop, K., Sadr, R., Yu, J., Kang, S., Jeon, S. and Banerjee, D., "Experimental study of forced convective heat transfer of nanofluids in a microchannel", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(9), 1325–1330, 2012.

Aparna, Z., Michael, M., Pabi, S. K. and Ghosh, S., "Thermal conductivity of aqueous Al₂O₃/Ag hybrid nanofluid at different temperatures and volume concentrations: An experimental investigation and development of new correlation function", *Powder Technology*, 343, 714–722, 2019.

Asadi, A., Asadi, M., Rezaniakolaei, A., Rosendahl, L. A., Afrand, M. and Wongwises, S., "Heat transfer efficiency of Al₂O₃-MWCNT/thermal oil hybrid nanofluid as a cooling fluid in thermal and energy management applications: An experimental and theoretical investigation", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 117, 474–486, 2018.

Babar, H. and Ali, H. M., "Towards hybrid nanofluids: Preparation, thermophysical properties, applications, and challenges", *Journal of Molecular Liquids*, 281, 598–633, 2019.

Bellos, E. and Tzivanidis, C., "Parametric investigation of nanofluids utilization in parabolic trough collectors", *Thermal Science and Engineering Progress*, 2, 71–79, 2017.

Bellos, E. and Tzivanidis, C., "Investigation of a nanofluid-based concentrating thermal photovoltaic with a parabolic reflector", *Energy Conversion and Management*, 180, 171–182, 2019.

Chamsa-ard, W., Brundavanam, S., Fung, C., Fawcett, D. and Poinern, G., "Nanofluid Types, Their Synthesis, Properties and Incorporation in Direct Solar Thermal Collectors: A Review", *Nanomaterials*, (C. 7), 2017.

Charab, A.A., Movahedirad, S. and Norouzbeigi, R., "Thermal conductivity of $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiO}_2/\text{water}$ nanofluid: Model development and experimental validation", *Applied Thermal Engineering*, 119, 42-51, 2017.

Choi, S. U. S. and Eastman, J. A., "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", *ASME Int. Mech. Eng. Congr. Expo.*, 99–105, 1995.

Choudhary, R., Khurana, D., Kumar, A. and Subudhi, S., "Stability analysis of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{water}$ nanofluids", *Journal of Experimental Nanoscience*, 8080, 1–12, 2017.

Chougule, S. and Sahu, S. K., "Heat Transfer and Friction Characteristics of Al_2O_3 -water and CNT/water Nanofluids in Transition flow using Helical Screw Tape Inserts-A Comparative Study", *Chemical Engineering and Processing*, 88, 78-88, 2015.

Das, P. K., Islam, N., Santra, A. K. and Ganguly, R., "Experimental investigation of thermophysical properties of Al_2O_3 -water nanofluid: Role of surfactants", *Journal of Molecular Liquids*, 237, 304–312, 2017.

Das, P. K., Mallik, A. K., Ganguly, R. and Santra, A. K., "Stability and thermophysical measurements of TiO_2 (anatase) nanofluids with different surfactants", *Journal of Molecular Liquids*, 254, 98–107, 2018.

Das, S., Giri, A., Samanta, S. and Kanagaraj, S., "Role of graphene nanofluids on heat transfer enhancement in thermosyphon", ***Journal of Science: Advanced Materials and Devices***, 4(1), 163–169, 2019.

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

Ding, Y., Alias, H., Wen, D. and Williams, R. A., "Heat transfer of aqueous suspensions of carbon nanotubes (CNT nanofluids)", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 49(1–2), 240–250, 2006.

Ebrahimi, S. and Saghravani, S. F., "Influence of magnetic field on the thermal conductivity of the water based mixed $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ nanofluid", ***Journal of Magnetism and Magnetic Materials***, 441, 366–373, 2017.

Elçioğlu, E. B., Güvenç Yazıcıoğlu, A. ve Kakaç, S., "Nanoakışkan viskozitesini n karşılaştırmalı değerlendirmesi", ***Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi***, 34(1), 137–151, 2014.

Esfahani, N. N., Toghraie, D. and Afrand, M., "A new correlation for predicting the thermal conductivity of ZnO-Ag (50%–50%)/water hybrid nanofluid: An experimental study", ***Powder Technology***, 323, 367–373, 2018.

Esfe, M. H., Saedodin, S., Mahian, O. and Wongwises, S., "Thermal conductivity of Al_2O_3 /water nanofluids: Measurement, correlation, sensitivity analysis, and comparisons with literature reports", ***Journal of Thermal Analysis and Calorimetry***, 117(2), 675–681, 2014.

Esfe, M. H., Wongwises, S., Naderi, A., Asadi, A., Safaei, M. R., Rostamian, H., Dahari, M. and Karimipour, A., "Thermal conductivity of Cu/TiO_2 -water/EG hybrid nanofluid: Experimental data and modeling using artificial neural network and correlation", ***International Communications in Heat and Mass Transfer***, 66, 100–104, 2015.

Esfe, M. H., Reiszadeh, M., Esfandeh, S. and Afrand, M., "Optimization of MWCNTs(10%)-Al₂O₃(90%)/5W50 nanofluid viscosity using experimental data and artificial neural network", *Physica A: Statistical Mechanics and Applications*, 512, 731-744, 2018.

Esfe, M. H., Esfandeh, S., Amiri, M. K. and Afrand, M., "A novel applicable experimental study on the thermal behavior of SWCNTs(60%)-MgO(40%)/EG hybrid nanofluid by focusing on the thermal conductivity", *Powder Technology*, 342, 998–1007, 2019.

Gao, Y., Wang, H., Sasmito, A. P. and Mujumdar, A. S., "Measurement and modeling of thermal conductivity of graphene nanoplatelet water and ethylene glycol base nanofluids", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 123, 97–109, 2018.

Ghozatloo, A., Shariaty-Niasar, M. and Rashidi, A. M., "Preparation of nanofluids from functionalized Graphene by new alkaline method and study on the thermal conductivity and stability", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 42, 89–94, 2013.

Godson, L., Raja, B., Lal, D. M. and Wongwises, S., "Experimental investigation on the thermal conductivity and viscosity of silver-deionized water nanofluid", *Experimental Heat Transfer*, 23(4), 317–332, 2010.

Gómez-Villarejo, R., Aguilar, T., Hamze, S., Estellé, P. and Navas, J., "Experimental analysis of water-based nanofluids using boron nitride nanotubes with improved thermal properties", *Journal of Molecular Liquids*, 277, 93–103, 2019.

Gordon J. Van Wylen and Richard E. Sonntag, Fundamentals of Thermodynamics, 3rd ed., *Wiley*, New York, s. 635-651, 1986.

Gupta, M., Singh, V., Kumar, R. and Said, Z., "A review on thermophysical properties of nanofluids and heat transfer applications", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74(December 2015), 638–670, 2017.

Haddad, Z., Abid, C., Oztop, H. F. and Mataoui, A., "A review on how the researchers prepare their nanofluids", *International Journal of Thermal Sciences*, 76, 168–189, 2014.

Hamid, K. A., Azmi, W. H., Mamat, R., Usri, N. A. and Najafi, G., "Investigation of Al_2O_3 Nanofluid Viscosity for Different Water/EG Mixture Based", *Energy Procedia* (C. 79), Elsevier B.V, 2015.

Hemmat Esfe, Mohammad, Reiszadeh, M., Esfandeh, S. and Afrand, M., "Optimization of MWCNTs(10%)– Al_2O_3 (90%)/5W50 nanofluid viscosity using experimental data and artificial neural network", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 512, 731–744, 2018.

Hemmat Esfe, Mohammd, Wongwises, S., Naderi, A., Asadi, A., Safaei, M. R., Rostamian, H., Karimipour, A., "Thermal conductivity of Cu/ TiO_2 -water/EG hybrid nanofluid: Experimental data and modeling using artificial neural network and correlation", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 66, 100–104, 2015.

Hentschke, R., "On the specific heat capacity enhancement in nanofluids", *Nanoscale Research Letters*, 11(1), 1–11, 2016.

Ho, C. J., Liao, J. C., Li, C. H., Yan, W. M. and Amani, M., "Experimental study of cooling characteristics of water-based alumina nanofluid in a minichannel heat sink", *Case Studies in Thermal Engineering*, 14(February), 1–9, 2019.

Huminic, G. and Huminic, A., "Hybrid nanofluids for heat transfer applications–A state-of the art review", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 125, 82–103, 2018.

Ilyas, S. U., Pendyala, R. and Narahari, M., "Stability and thermal analysis of MWCNT-thermal oil-based nanofluids", *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 527, 11–22, 2017.

Islam, R. and Shabani, B., "Prediction of electrical conductivity of TiO₂ water and ethylene glycol-based nanofluids for cooling application in low temperature PEM fuel cells", ***Energy Procedia***, 160(2018), 550–557, 2019.

Keyvani, M., Afrand, M., Toghraie, D. and Reiszadeh, M., "An experimental study on the thermal conductivity of cerium oxide/ethylene glycol nanofluid: developing a new correlation", ***Journal of Molecular Liquids***, 266, 211–217, 2018.

Khanafer, K. and Vafai, K., "A review on the applications of nanofluids in solar energy field", ***Renewable Energy***, 123(2), 398–406, 2018.

Khedkar, R. S., Sai, K. A., Sonawane, S. S., Wasewar, K. and Umre, S. S., "Thermo physical characterization of paraffin based Fe₃O₄ nanofluids", ***Procedia Engineering***, 51(NUiCONE 2012), 342–346, 2013.

Kılıç, F., Menlik, T. and Sözen, A., "Effect of titanium dioxide/water nanofluid use on thermal performance of the flat plate solar collector", ***Solar Energy***, 164(April 2017), 101–108, 2018.

Koca, H. D., Doganay, S. and Turgut, A., "Thermal characteristics and performance of Ag-water nanofluid: Application to natural circulation loops", ***Energy Conversion and Management***, 135, 9–20, 2017.

Kulkarni, D. P., Vajjha, R. S., Das, D. K. and Oliva, D., " Application of aluminum oxide nanofluids in diesel electric generator as jacket water coolant", ***Applied Thermal Engineering***, 28(14–15), 1774–1781, 2008.

Kumar, P. M., Kumar, J., Tamilarasan, R., Sendhilnathan, S. and Suresh, S., "Review on nanofluids theoretical thermal conductivity models", ***Engineering Journal***, 19(1), 67–83, 2015.

Leong, K. Y., Ku Ahmad, K. Z., Ong, H. C., Ghazali, M. J. and Baharum, A., "Synthesis and thermal conductivity characteristic of hybrid nanofluids–A review", ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 75(May), 868–878, 2017.

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

Minea, A. A. and El-Maghlany, W. M., "Influence of hybrid nanofluids on the performance of parabolic trough collectors in solar thermal systems: Recent findings and numerical comparison", ***Renewable Energy***, 120, 350–364, 2018.

Moghadassi, A., Ghomi, E. and Parvizian, F., "A numerical study of water based Al_2O_3 and Al_2O_3 -Cu hybrid nanofluid effect on forced convective heat transfer", ***International Journal of Thermal Sciences***, 92, 50-57, 2015.

Moldoveanu, G. M., Huminic, G., Minea, A. A. and Huminic, A., "Experimental study on thermal conductivity of stabilized Al_2O_3 and SiO_2 nanofluids and their hybrid", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 127, 450–457, 2018.

Mousavi, S. M., Esmaeilzadeh, F. and Wang, X. P., "A detailed investigation on the thermo-physical and rheological behavior of MgO/TiO_2 aqueous dual hybrid nanofluid", ***Journal of Molecular Liquids***, 282, 323–339, 2019.

Natividade, P. S. G., de Moraes Moura, G., Avallone, E., Bandarra Filho, E. P., Gelamo, R. V. and Gonçalves, J. C. de S. I., "Experimental analysis applied to an evacuated tube solar collector equipped with parabolic concentrator using multilayer graphene-based nanofluids", ***Renewable Energy***, 152–160, 2019.

Nine, M. J., Batmunkh, M., Kim, J.-H., Chung, H.-S. and Jeong, H.-M., "Investigation of Al_2O_3 /MWCNTs Hybrid Dispersion in Water and Their Thermal Characterization", ***Journal of Nanoscience and Nanotechnology***, 12(6), 4553–4559, 2012.

Omrani, A. N., Esmaeilzadeh, E., Jafari, M. and Behzadmehr, A., "Effects of multi walled carbon nanotubes shape and size on thermal conductivity and viscosity of nanofluids", ***Diamond and Related Materials***, 93, 96–104, 2019.

Özerinç, S., Kakaç, S. and Yazıcıoğlu, A. G., "Enhanced thermal conductivity of nanofluids: A state-of-the-art review", *Microfluidics and Nanofluidics*, 8(2), 145–170, 2010.

Palabıyık, I., Musina, Z., Witharana, S. and Ding, Y., "Dispersion stability and thermal conductivity of propylene glycol-based nanofluids", *Journal of Nanoparticle Research*, 13(10), 5049–5055, 2011.

Parsian, A. and Akbari, M., "New experimental correlation for the thermal conductivity of ethylene glycol containing Al_2O_3 -Cu hybrid nanoparticles", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 131(2), 1605–1613, 2018.

Paul, G., Chopkar, M., Manna, I. and Das, P. K., "Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1913–1924, 2010.

Qu, J. and Wu, H., "Thermal performance comparison of oscillating heat pipes with SiO_2 /water and Al_2O_3 /water nanofluids", *International Journal of Thermal Sciences*, 50(10), 1954–1962, 2011.

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

Qu, J., Zhang, R., Wang, Z. and Wang, Q., "Photo-thermal conversion properties of hybrid CuO-MWCNT/ H_2O nanofluids for direct solar thermal energy harvest", *Applied Thermal Engineering*, 147, 390–398, 2019.

Ranga Babu, J. A., Kumar, K. K. and Srinivasa Rao, S., "State-of-art review on hybrid nanofluids", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77(September 2016), 551–565, 2017.

Riazi, H., Murphy, T., Webber, G. B., Atkin, R., Tehrani, S. S. M. and Taylor, R. A., "Specific heat control of nanofluids: A critical review", *International Journal of Thermal Sciences*, 107, 25–38, 2016.

Rostamian, S. H., Biglari, M., Saedodin, S. and Hemmat Esfe, M., "An inspection of thermal conductivity of CuO-SWCNTs hybrid nanofluid versus temperature and concentration using experimental data, ANN modeling and new correlation", *Journal of Molecular Liquids*, 231, 364–369, 2017.

Sajid, M. U. and Ali, H. M., "Thermal conductivity of hybrid nanofluids: A critical review", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126, 211–234, 2018.

Samylingam, L., Anamalai, K., Kadirgama, K., Samykano, M., Ramasamy, D., Noor, M. and Che Sidik, N., "Thermal analysis of cellulose nanocrystal-ethylene glycol nanofluid coolant", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 127, 173–181, 2018.

Senthilkumar, A. P., "Effectiveness study on Al₂O₃-TiO₂ Nanofluid Heat Exchanger", *International Journal of Engineering and Robot Technology*, 3(2), 8613, 2012.

Sezer, N., Atieh, M. A. and Koç, M., "A comprehensive review on synthesis, stability, thermophysical properties, and characterization of nanofluids", *Powder Technology*, 344, 404–431, 2019.

Shanker, N., Reddy, M. and Rao, V., "On prediction of viscosity of nanofluids for low volume fractions of nanoparticles", *International Journal of Engineering*, 1(8), 1–10, 2012.

Soltani, O. and Akbari, M., "Effects of temperature and particles concentration on the dynamic viscosity of MgO-MWCNT/ethylene glycol hybrid nanofluid: Experimental stud", *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures*, 84, 564–570, 2016.

Sommers, A. D. and Yerkes, K. L., "Experimental investigation into the convective heat transfer and system-level effects of Al_2O_3 -propanol nanofluid", ***Journal of Nanoparticle Research***, 12(3), 1003–1014, 2010.

Sugiantoro, B., Sakuri and Sutarno., "Performance evaluation of using water and bio oil-based nanocutting fluids under minimum quantity lubrication with compressed cold air during milling operations of steel", ***IOP Conference Series: Materials Science and Engineering***, 403(1), 2018.

Sundar, L. S., Sharma, K. V., Singh, M. K. and Sousa, A. C. M., "Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor – A review", ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 68(August 2016), 185–198, 2017.

Sundar, L. S., Singh, M. K. and Sousa, A. C. M., "Enhanced heat transfer and friction factor of MWCNT- Fe_3O_4 /water hybrid nanofluids", ***International Communications in Heat and Mass Transfer***, 52, 73–83, 2014.

Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö. ve Yılmaz M., "Nanoakışkanlar ile Isı Transferinin İyileştirilmesi", ***Mühendis ve Makina***, 47, 29–34, 2016.

Turgut, A., Sağlanmak, Ş. ve Doğanay, S., "Nanoakışkanların Isıl İletkenlik ve Viskozitesinin Deneysel İncelenmesi: Tanecik Boyutu Etkisi", ***Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University***, 31(1), 95–103, 2016.

Wang, X. J., Li, X. F., Xu, Y. H. and Zhu, D. S., "Thermal energy storage characteristics of Cu- H_2O nanofluids", ***Energy***, 78, 212–217, 2014.

Wang, Y., He, Y. L., Yang, W. W. and Cheng, Z. D., "Numerical analysis of flow resistance and heat transfer in a channel with delta winglets under laminar pulsating flow", ***International Journal of Heat and Mass Transfer***, 82, 51–65, 2015.

Wong, K., Chuwattanakul, V. and Eiamsa-ard, S., "Influence of CuO/water nanofluid concentration and swirling flow on jet impingement cooling", ***International Communications in Heat and Mass Transfer***, 88, 277-283, 2017.

Xuan, Y. and Li, Q., "Investigation on Convective Heat Transfer and Flow Features of Nanofluids", *Journal of Heat Transfer*, 125(1), 151, 2003.

Yarmand, H., Gharehkhani, S., Ahmadi, G., Shirazi, S. F. S., Baradaran, S., Montazer, E. and Dahari, M., "Graphene nanoplatelets-silver hybrid nanofluids for enhanced heat transfer", *Energy Conversion and Management*, 100, 419–428, 2015.

Yarmand, H., Zulkifli, N. W. B. M., Gharehkhani, S., Shirazi, S. F. S., Alrashed, A., Ali, M. and Bin, S., "Convective heat transfer enhancement with graphene nanoplatelet/platinum hybrid nanofluid", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 88, 120–125, 2017.

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

Yousefi, T., Veysi, F., Shojaeizadeh, E. and Zinadini, S., "An experimental investigation on the effect of $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--H}_2\text{O}$ nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors", *Renewable Energy*, 39(1), 293–298, 2012.

ÖZ GEÇMİŞ

Sultan ÖCAL 28.02.1994 tarihinde Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2012 yılında girdiği Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden Haziran 2017’de mezun oldu. Aynı yılda Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

