



**ÇOK BİLEŞENLİ NANOAKIŞKANLARIN
ÜRETİLMESİ VE TERMOFİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Ayşe KARAKAŞ

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP
KASIM -2019**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOK BİLEŞENLİ NANOAKIŞKANLARIN ÜRETİLMESİ VE
TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ayşe KARAKAŞ

(162143106)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği Teknolojileri

Programı: Termodinamik ve Isı Tekniği

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22.10.2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 27.11.2019

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP (F.Ü.)



Diğer Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Ahmet KOCA (F.Ü)



Dr. Öğr. Üyesi Fatih BAYRAK (SİÜ)



KASIM - 2019

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; üçlü hibrit nanoparçacık hazırlanmış termal özellikleri araştırılmış daha sonra iki tip baz akışkanı kullanılarak hibrit nanoakışkan hazırlanmış ve termofiziksel özellikleri incelenmiştir.

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamın birçok aşamasında yardımını esirgemeyen Prof. Dr. Fahrettin YAKUPHANOĞLU'na teşekkür ederim.

Tez çalışmasında elde edilen veriler, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi tarafından TEKF 18.04 numaralı proje kapsamında finanse edilerek gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP birimine teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını ve desteklerini bir an olsun esirgemeyen laboratuvar arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan her koşulda yanımda olan aileme özellikle bir ömür boyunca arkamda dağ gibi duran şükürlerimin en büyüğü olan çiçeğim anneme sonsuz teşekkürler ederim.

Ayşe KARAKAŞ

2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Çalışması	2
1.2. Nanoakışkanların Tarihi.....	5
1.3. Nanoakışkan Çeşitleri	6
1.3.1 Seramik Nanoakışkanlar	7
1.3.2. Saf Metalik Nanoakışkanlar.....	7
1.3.3. Alaşım Nanoakışkanlar	7
1.3.4. Karbon Bazlı Nanoakışkanlar	7
1.4. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri.....	7
1.4.1. Tek Aşamalı Yöntem	8
1.4.2. İki Aşamalı Yöntem.....	8
1.5. Nanoakışkanların Kararlılığı.....	9
1.5.1. Nanoakışkanların Kararlılık Ölçüm Yöntemleri.....	9
1.5.2. Nanoakışkanların Kararlılığını Artırma Yolları	10
1.5.2.1. Yüzey Aktif Madde İlavesi	10
1.5.2.2. Nanoakışkanların pH Kontrolü	10
1.5.2.3. Ultrasonik Titreşim	10
1.6. Hibrit Nanoparçacık ve Hibrit Nanoakışkan Kavramı.....	11
1.6.1. Hibrit Nanoakışkanların Hazırlanması	12
1.7. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri.....	14
1.7.1. Isıl İletkenlik	14
1.7.1. 1. Nanoakışkanların Isıl İletkenliğinin Ölçülmesi	17
1.7.1.2. Nanoakışkanın Isıl İletkenliğini Belirlemek Amacıyla Geliştirilen Modeller	17
1.7.2. Viskozite	18
1.7.2. 1. Nanoakışkanın Viskozitesini Belirlemek Amacıyla Geliştirilen Modeller	18
1.7.3. Nanoakışkanların Özgül Isı Kapasitesi	21
1.7.4. Nanoakışkanların Yoğunluğu	21
2. MATERYAL VE METOT.....	25

2.1. Hibrit Nanoparçacık ve Hibrit Nanoakışkan Üretiminde Kullanılan Malzeme ve Cihazlar	25
2.1.1. Hibrit Nanoparçacık ve Hibrit Nanoakışkan Üretiminde Kullanılan Kimyasallar	25
2.1.2. Elektronik Hassas Terazı	26
2.1.3. Manyetik Karıştırıcı	26
2.1.4. Hidrotermal Cihazı	27
2.1.5. Santrifüj cihazı	27
2.1.6. Ultrasonik Banyo	28
2.1.7. Yüksek Sıcaklık Ayarlı Fırın	28
2.1.8. Hidrolik Pellet Presi	29
2.1.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	29
2.1.10. X-Işını Kırınım Cihazı (XRD)	30
2.1.11. Termogravimetri (TGA)	31
2.1.12. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)	31
2.1.13. Isıl iletkenlik Ölçüm cihazı	32
2.1.14. Viskozimetre	33
2.2. Deneyin Yapılışı	33
2.2.1. Hibrit Nanoparçacık ve Hibrit Nanoakışkan Üretimi	33
2.2.2. Hibrit Nanoparçacıkların DSC ile Termal İletkenlik Ölçümü	37
2.2.3. Hibrit Nanoparçacıkların DSC ile Sabit Basıncıta Özgöl Isı Kapasitesi Ölçümü	38
2.2.4. Hibrit Nanoakışkanların Isıl İletkenlik Ölçümü	38
2.2.5. Hibrit Nanoakışkanların Viskozite Ölçümü	39
3. BULGULAR	40
3.1. Hibrit Nanoparçacıkların Termal Analizleri	40
3.1.1. Termal İletkenlik	40
3.1.2. Sabit Basıncıta Özgöl Isı Kapasitesi	40
3.1.3. TGA Analizi	42
3.1.4. SEM Analizi	44
3.1.5. EDS Analizleri	45
3.1.6. XRD Analizleri	47
3.1.7. Hibrit Nanoakışkanların Isıl İletkenlik Ölçüm Sonuçları	48
3.1.8. Hibrit Nanoakışkanların Viskozite Ölçüm Sonuçları	51
3.1.9. Hibrit Nanoakışkanların Yoğunluk Ölçüm Sonuçları	53
4. SONUÇLAR	56
5. ÖNERİLER	58
KAYNAKLAR	59
EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÖZET

Yapılan tez çalışmasında hibrit, yani ikiden fazla nano boyutlu parçacık içeren ve yine iki farklı baz akışkan içeren yeni bir nanoakışkan üretilmiştir.

Hibrit nanoakışkan hazırlamak için öncelikle Al_2O_3 , ZnO ve TiO_2 , ve metal oksitlerini içeren üçlü hibrit nanoparçacık üretilmiş daha sonra üretimi gerçekleştirilen hibrit nanoparçacıkların, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDX), X-ışını toz kırınımı (XRD), Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Termogravimetrik Analiz (TGA) analizleri üç farklı numune için ayrı ayrı yapılmıştır. Hibrit nanoparçacık üretiminden sonra üretilen nanoparçacık malzeme ile su-antifiriz bazlı yeni çok bileşenli nanoakışkan üretilmiş hibrit nanoakışkanlar için termofiziksel özellikleri (ısıl iletkenlik, viskozite, yoğunluk, özgül ısı kapasitesi) ölçülmüştür. Elde edilen ölçümler sonucu en yüksek ısıl iletkenliğin ($50\text{ }^{\circ}C$ 'de $0,721\text{ W/mK}$) $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoakışkanında olduğu gözlemlenmiştir. Hesaplanan değerlerin regrasyon analizi yapılarak, ısı iletim katsayıları sıcaklığın, yoğunluğu, taban akışkanının hacimsel oranının fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Üç farklı numune için hibrit nanoakışkanların yoğunluk değerlerinin baz akışkanına göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Teorik Modeller, Termofiziksel Özellikler

SUMMARY

Production of Multi-Component Nanofluids and Determination of Thermophysical Properties

In this thesis, a new nanofluids, which contains more than two nano-sized particles and two different base fluids, is produced.

In order to prepare hybrid nanofluids, triple hybrid nanoparticles containing metal oxide and Al_2O_3 , ZnO and TiO_2 is produced. Subsequently, scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX), X-ray powder diffraction (XRD), Differential Scanning Calorimetry (DSC), Thermogravimetric Analysis (TGA) analysis techniques were used to measure properties of hybrid nanoparticles. Thus, water-antifreeze based new multicomponent nanofluid is generated by produced the nanoparticle materials. The thermophysical properties (thermal conductivity, viscosity, density, specific heat capacity) are measured for hybrid nano-fluids. As a result of the measurements, the highest thermal conductivity ($0,721 \text{ W / mK}$ at 50°C) is observed for $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2)$ hybrid nanofluid. Thermal conductivity value is expressed by regression analysis of calculated values as a function of temperature, density and based fluid volume construction. It is found that the density values for hybrid nanofluids are higher than that of their base fluid for three specimen.

Keywords: Nanofluid, Theoretical Models, Thermophysical Properties

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. 1. Çeşitli parçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri.	6
Şekil 1. 2. Nanoakışkanların Tek Aşamalı Hazırlanma Süreci	8
Şekil 1. 3. Nanoakışkanların İki Aşamalı Hazırlanma Süreci	9
Şekil 1.4. Bazı katı ve sıvıların ısı iletkenlik değerleri	14
Şekil 2.1. Elektronik Hassas Terazî.....	26
Şekil 2.2. Manyetik Karıştırıcı	27
Şekil 2.3. Hidrotermal Cihazı.....	27
Şekil 2.4. Santifrj Cihazı.....	28
Şekil 2.5. Ultrasonik Banyo.....	28
Şekil 2.6. Yüksek sıcaklık ayarlı fırın	29
Şekil 2.7. Hidrolik Pellet Presi	29
Şekil 2.8. SEM Cihazı	30
Şekil 2.9. XRD Cihazı	31
Şekil 2.10. TGA.....	31
Şekil 2.11. DSC	32
Şekil 2.12. KD2 Pro Isıl Özellik Ölçer	32
Şekil 2.13. Viskozimetre	33
Şekil 2.14. Hibrit nanoparçacık üretmek için kullanılan kimyasallar sırasıyla (a) Titanyum İzopropoksit, (b) Alüminyum Nitrat, (c) Çinko Nitrat Hekzahidrat	34
Şekil 2. 15. Hibrit nanoparçacık hazırlanmasının şematik diyagramı	35
Şekil 2.16. Hibrit nanoakışkanın hazırlama aşamaları	36
Şekil 2.17. Farklı oranlarda (Al ₂ O ₃)+(ZnO)+(TiO ₂) ve su ile hazırlanmış hibrit nanoakışkanların a) nanoakışkanlar hazırlandıktan sonra, b) üç gün sonra ve c) bir hafta sonra çekilmiş fotoğrafları.....	37
Şekil 2.18. Isıl iletkenlik ölçümü için kurulan deney düzeneği.....	39
Şekil 2.19. Viskozite ölçümü için kurulan deney düzeneği	39
Şekil 3.1. (Al ₂ O ₃)+(ZnO)+(TiO ₂)’nin ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişim grafiği	41
Şekil 3.2. (Al ₂ O ₃)+(ZnO) ₂ +(TiO ₂)’nin ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	42
Şekil 3.3. (Al ₂ O ₃)+(ZnO)+(TiO ₂) ₂ ’nin ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	42

Şekil 3.4. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için TGA eğrisi.....	43
Şekil 3.5. $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için TGA eğrisi	43
Şekil 3.6. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için TGA eğrisi	43
Şekil 3.7. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığının SEM görüntüsü	44
Şekil 3.8. $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığının SEM görüntüsü	44
Şekil 3.9. $(Al_2O_3)+(ZnO) + (TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığının SEM görüntüsü	44
Şekil 3.10. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığının (a) SEM (b) EDS sonucu	46
Şekil 3.11. $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığının (a) SEM (b) EDS sonucu ...	46
Şekil 3.12. $(Al_2O_3)+(ZnO) + (TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığının(a)SEM (b) EDS sonucu ...	46
Şekil 3.13. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için XRD analiz sonucu	47
Şekil 3.14. $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için XRD analiz sonucu	47
Şekil 3.15. $(Al_2O_3)+(ZnO) + (TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için XRD analiz sonucu	47
Şekil 3.16. Saf su ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi	48
Şekil 3.17. Saf antifrizin ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi	48
Şekil 3.18. Saf su-antifriz karışımının ısı iletim katsayılarının sıcaklık ile değişimi	49
Şekil 3.19. Isıl iletkenliğin $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi.....	50
Şekil 3.20. Isıl iletkenliğin $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için farklı bazakışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi	50
Şekil 3.21. Isıl iletkenliğin $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi.....	50
Şekil 3.22. Viskozitenin $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi.....	52
Şekil 3.23. Viskozitenin $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi.....	52
Şekil 3.24. Viskozitenin $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi.....	53

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Deneylerde kullanılan bazı hibrit nanoparçacıklar	11
Tablo 1.2. Hibrit nanoakışkanların hazırlanması üzerine yapılmış çalışmalar	13
Tablo 1.3. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen önemli parametrelerde yapılan çalışmalar	16
Tablo 1.4. Nanoakışkanların viskozitesini etkileyen önemli parametrelerde yapılan çalışmalar	20
Tablo 1.5. Hibrit Nanoakışkanlarda Termofiziksel Özellikler Üzerine Yapılan Çalışmalar	22
Tablo 2.1. Hibrit nanoparçacık hazırlamada kullanılan kimyasallar	26
Tablo 2.2. Hibrit nanoparçacık ve hibritnanoakışkan hazırlamada kullanılan kimyasallar	33
Tablo 2.3. Oda Sıcaklığında Bazı Sıvıların Isıl İletkenliklerinin Deneysel ve Literatür Değerleri	39
Tablo 3.1. Hibrit Nanoparçacıkların Termal İletkenlik Sonuçları	40
Tablo 3.2. Deneylerde kullanılan antifrizin fiziksel özellikleri	48
Tablo 3.3. Hibrit Nanoakışkanların 100 ml suda 20 °C’ de Termofiziksel Özellikleri	53
Tablo 3.4. (Al ₂ O ₃)+(ZnO)+(TiO ₂) hibrit nanoparçacığının farklı baz akışkanları için yoğunluk değerleri	54
Tablo 3.5. (Al ₂ O ₃)+(ZnO)+(TiO ₂) hibrit nanoparçacığının farklı baz akışkanları için yoğunluk değerleri	54
Tablo 3.6. (Al ₂ O ₃)+(ZnO)+(TiO ₂) hibrit nanoparçacığının farklı baz akışkanları için yoğunluk değerleri	55

EKLER

EK- 1.	% 100 saf su ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi	67
EK- 2.	% 33,3 antifriz – % 66,7 saf su ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi.....	68
EK- 3.	% 50 antifriz – % 50 saf su ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi.....	69
EK- 4.	% 60 antifriz – % 40 saf su ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi.....	70



:

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

k	: Isıl İletkenlik (W/mK)
T	: Sıcaklık (°C)
μ	: Viskozite (cP)
ρ	: Yoğunluk (g/cm ³)
c_p	: Özgül Isı (J/kgK)
Φ	: Nanoparçacık Hacimsel Konsantrasyonu
X	: Taban Akışkanın Hacimsel Oranı
k_1	: Akışkanın Isıl İletkenliği
k_2	: Parçacığın Isıl İletkenliği
k_{eff}	: Efektif Isıl İletkenlik
b_f	: Baz Akışkanı
n_f	: Nanoakışkan
μ_{nf}	: Nanoakışkanın Viskozitesi
μ_{bf}	: Baz Akışkanın Viskozitesi
w_p	: Nanoparçacık Ağırlığı
w_{bf}	: Baz Akışkan Ağırlığı
ρ_p	: Nanoparçacık Yoğunluğu
ρ_{bf}	: Baz Akışkan Yoğunluğu

Kısaltmalar

DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EDS	: Enerji Enerji Dispersiv Spektrum
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
TGA	: Termogravimetrik Analiz
XRD	: X-Işını Kırınım Analizi

1. GİRİŞ

Hızla artan nüfus ve sanayileşmeye paralel olarak enerji kullanma ihtiyacı her geçen gün artmakta ve mevcut kaynaklar yeterli olmayıp yeni alternatifler aranmaktadır. Enerjiyi üretmek ve insanlığın kullanımına sunmak en temel ihtiyaçtır. Günümüz dünyasında enerji ihtiyacı her yıl yaklaşık % 4-5 oranında artmakta, buna karşılık bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamak için fosil yakıtlar kullanılmakta olup fosil yakıt rezervi ise giderek azalmaktadır. Bu sorunu çözebilmek ve en önemlisi enerji temininde kullanılan mevcut kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılabilmesini sağlamak amacıyla, teknolojik yenilikler ve gelişmeler araştırılmaktadır. Bu konuda, endüstrinin her alanında kullanılan enerji teknolojilerinde enerji verimliliğini iyileştirmeye yönelik çalışmalar büyük ölçüde artmış ve bu konuda dikkate değer bir literatür oluşmuştur.

Isı transferini iyileştirme düşüncesi hem endüstriyel alanda hem de enerji verimliliği açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Endüstriyel, kimyasal, ısıtma ve soğutma gibi işlemlerde su, madeni yağ ve etilen glikol gibi ısı transferi akışkanları tercih edilmektedir, çünkü bu maddeler iyi bir ısı taşıyıcısıdır. Fakat bu sistemlerde kullanılan geleneksel akışkanların ısı transfer verimleri düşüktür yani bu akışkanların, ısı iletkenliği düşük performansa sahip olduğu için ısı transferi hızını kısıtlamakta ve enerji verimini düşürmektedir. Bu bağlamda araştırmacılar ısı transferi daha yüksek yeni akışkanlar arama yoluna gitmişlerdir ve son yıllarda nanoteknolojideki gelişmeler sonucunda ortaya çıkan nanoakışkanlar devreye girmiş ısı transfer hızı ve enerji verimini arttırma konusunda önemli bir role sahip olmuşlardır. Nanoakışkanlar, nano boyutlarındaki katı parçacıkların su, yağ ve antifriz gibi ısı transfer akışkanlarına belirli oranlarda ilave edilmesi ile elde edilen ve gelecek vadeden yeni nesil akışkanlarıdır. Düşük parçacık boyutu nedeniyle artan ısı transfer yüzey alanı, yüksek ısı iletkenlik, daha kararlı ve durağan süspansiyon, gibi özellikleri ile nanoakışkanlar tıp, üretim ve otomotiv sektöründe, mikro-elektronik sistemlerin soğutulması, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemleri (HVAC) gibi birçok alanda araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bir başka deyişle nanoakışkanlar bu tip sistemlerde ısı transferi kontrol parametresi olarak kullanılabilirler. Bu alanda gerek akademik gerekse de endüstriyel çalışmalar devam etmektedir.

1.1. Literatür Çalışması

Nanoakışkanların ısı transferine etkilerini daha iyi anlamak için nanoakışkanların termofiziksel özellikleri, nanoparçacıkların çeşitleri, şekilleri ve boyutları üzerine yapılmış teorik ve deneysel çalışmalar açıklanmıştır.

Turgut vd. [1] yaptıkları çalışmada 10 nm ve 30 nm tanecik boyutuna sahip Al_2O_3 ve baz akışkanı olarak sudan oluşmuş, farklı hacim konsantrasyonuna sahip nanoakışkanların ısı iletkenlik, viskozite özelliklerini deneysel olarak incelemişler ve sonuçları diğer çalışmalarla kıyaslamışlardır. Buna göre ısı iletkenliğinin, tanecik boyutuna bağlı olmadığını Maxwell modelinin ise elde edilen verilerle en iyi şekilde uyum sağladığını görmüşlerdir. Aynı zamanda nanoakışkanların Newton tipi davranış sergiledikleri görülmüştür.

Sharifpur vd. [2] $\alpha-Al_2O_3$ -gliserol nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerinde nanoparçacık hacim konsantrasyonunun, nanopartikül büyüklüğünün ve sıcaklığın etkisini incelemek için bir takım deneyler yapmışlardır ve sonuçlar göstermiştir ki, $\alpha-Al_2O_3$ -gliserol nanoakışkanı baz akışkanına göre önemli derecede daha yüksek ısı iletkenliğe sahiptir ve sıcaklık bu çalışmada önemli bir etki yaratmamıştır.

Lee vd. [3] yaptıkları çalışmada % 0,01- % 0,3 hacimsel konsantrasyon aralığında Al_2O_3 -su nanoakışkanının önce termal özelliklerine bakmış daha sonra salınım tipli viskozimetre kullanıp sıcaklıktaki artışın viskozite düşüşüne, artan yüzde konsantrasyonunsa viskozite artışına neden olduğunu görmüşlerdir. Bununla birlikte ısı iletkenliğinin ise artan eğilim gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Wen vd. [4] 27–56 nm boyutuna sahip Al_2O_3 nanoparçacığı ve saf su ile hazırladıkları nanoakışkanın bakır boru içerisinde ısı transfer özelliğini incelemişler ve sonuç olarak, Al_2O_3 parçacığının su içinde dağıldığında artan Re sayısında ve konsantrasyonda ısı transferinin iyileştiğini göstermişlerdir.

Zhou vd. [5] DSC ile Al_2O_3 - su nanoakışkanı için özgül ısı kapasitesini incelemek için çalışmalar yapmışlardır. Nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu % 0'dan % 21,7'ye arttırıldığında, nanoakışkanların özgül ısısının azaldığını saptamışlardır.

Öğüt vd. [6] bakır-su bazlı nanoakışkanların viskozitesinin belirlenmesinde çeşitli modellerden yararlanmışlar ve sonuçlar ısı transferindeki iyileşmenin parçacık hacimsel konsantrasyonu ve Grashof sayısının artmasıyla lineer olarak arttığını ortaya çıkarmıştır.

Heris vd. [7] yaptıkları çalışmada CuO-su nanoakışkanında Al_2O_3 -su nanoakışkanına kıyasla artan hacim konsantrasyonunda nanoakışkanların ısı transfer katsayılarının yakın olduğu ancak artan hacimsel konsantrasyonla Al_2O_3 -su nanoakışkanı için yüksek ısı transfer artışının olduğunu gözlemlemişlerdir.

Sarıca vd. [8] Cu-su nanoakışkanın sıcaklığındaki iyileşme üzerine çalışma yapmışlardır. 250 mm boyutundaki mini kanallarda Cu-su nanoakışkanı kullanıp debi artış ve azalışını 35 °C – 40 °C sıcaklıklarında karşılaştırmışlardır. Cu-su nanoakışkanı ile yapılmış deneysel çalışmalarda suya kıyasla soğutma veriminin daha iyi olduğu belirlenmiştir.

Sekhar vd. [9] düşük hacim konsantrasyonlarında Al_2O_3 nanoparçacıklarını içeren su bazlı nanoakışkanların termofiziksel özelliklerini incelemişlerdir. Viskozite ölçümü için % 0,01- % 1 hacimsel konsantrasyon aralığında nanoparçacıklar hazırlanıp sıcaklığın nanoakışkan viskozitesine etkisi 25 °C – 45 °C aralığında yapılan deneyler sonucu belirlenmiştir. Viskozitedeki artışın parçacıkların topaklanmasından dolayı olabileceği düşünülmüş, özgül ısı kapasitesinin ise hacimsel konsantrasyonun artması nedeniyle azalan bir eğilim gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Tavman vd. [10] saf su içeren TiO_2 , SiO_2 ve Al_2O_3 nanoakışkanları için ısı iletkenlik ve viskoziteyi farklı hacimsel konsantrasyonlarında ve farklı sıcaklık değerlerinde araştırmışlardır. Isıl iletkenlik ölçümü için öncelikle referans malzeme olarak saf su seçilip sistem kalibre edilmiş daha sonra deneyler yapılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki, hacimsel konsantrasyon arttıkça ısı iletkenlik literatürdeki değerlere yakın bir artış göstermiştir. Ayrıca nanoakışkanların viskoziteleri, parçacık hacimsel konsantrasyonundaki artışla doğru oranda artmış, sıcaklık artışıyla ise azalmıştır.

Bajestan vd. [11] güneş enerjili ısı değiştiricileri üzerine yaptıkları çalışmada ısıtılmış boruda nanoakışkan olarak TiO_2 -su kullanıp teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır ve nanoakışkan ısı transfer katsayısının baz akışkanınkinden yüksek olduğunu, nanoakışkanın parçacık konsantrasyonun ve ısı iletkenliğinin ısı transferini olumlu, parçacık çapının ise ısı transferini olumsuz etkilediği sonucuna varmışlardır.

Turgut vd. [12] çalışmasında saf su içindeki TiO_2 nanoparçacıklarının ısı iletkenliği ve viskozitesini % 3'lük parçacık hacim konsantrasyonunda incelemişlerdir. Isıl iletkenliği ölçmek için geçici sıcak tel yöntemi kullanılmış ve parçacık hacim konsantrasyonundaki artışın ısı iletkenliği iyileştirdiğini, viskozitedeki artışınsa Einstein modeli tarafından tahmin edilenden daha fazla olduğunu görmüşlerdir. Bu

çalışmada viskozitedeki artışın, ısıl iletkenlikteki artıştan daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Esfahani vd. [13] ZnO-Ag- su nanoakışkanının üretilmesi için iki adım yöntemini kullanmışlardır. ZnO-Ag'nin ısıl iletkenliği üzerinde yapılan çalışmalar sonucu ısıl iletkenlik hesaplamaları için bir model sunulmuştur. Sonuç olarak düşük hacim konsantrasyonunun ısıl iletkenlik üzerinde olumsuz, sıcaklığın olumlu bir etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. En yüksek ısıl iletkenliğine 50°C'de % 2 hacim konsantrasyonunda olduğu görülmüştür.

Akılı vd. [14] TiO₂-CuO-C nanokompozitlerini karıştırarak yeni bir hibrit nanoakışkan elde etmişlerdir. Çalışmada kullanılan nanokompozitin analizlerini yapmak için taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji yayımlı X-ray spektroskopi (EDX) ve X-Işını Kırınım yöntemi (XRD) kullanmışlardır. Farklı karışım oranları ve farklı sıcaklık değerleri için ısıl iletkenlik ve viskozitenin artan eğilim gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Cabaleiro vd. [15] ısı kapasitesi üzerine bazı çalışmalar yapmışlardır. Saf etilen glikolde ve etilen glikol-su karışımlarında MgO, ZnO ve ZrO₂ ile farklı nanoakışkanlar hazırlayıp ısı kapasitesini ölçmüşlerdir. Ölçümler sonucu, MgO ile hazırlanan nanoakışkanlarda ısı kapasitesinin iki kat yüksek olduğu, hacim konsantrasyonundaki artışın ısı kapasitesini düşürdüğünü görmüşlerdir.

Baratpour vd. [16] farklı hacimsel konsantrasyonundaki karışımlar için 30 °C- 60 °C arasında etilen glikol (EG) içindeki tek duvarlı karbon nanotüplerinin (SWCNT) dinamik viskozitesini belirlemek için deneyler yapmışlardır ve sonuçlar göstermiştir ki nanoakışkan % 0,1'lik katı hacim konsantrasyonunda ve tüm sıcaklık değerlerinde Newton akışkanı olarak davranmıştır. Bununla birlikte parçacık hacim konsantrasyonundaki artışla dinamik viskozitenin arttığı ve artan sıcaklık ile azaldığı sonucuna varılmıştır.

Yarmand vd. [17] yaptıkları çalışmada, grafen nanoplatelet (GNP) - Platin (Pt) hibrit nanoakışkanlarının sürtünme kaybını ve ısı transferi performansını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlar baz sıvıyla karşılaştırıldığında tüm nanoakışkanların daha yüksek ısı aktarım özelliklerine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Menlik vd. [18] çalışmalarında belirli oranlarda MgAl₂O₄-su nanoakışkanı hazırlamışlar ve termofiziksel özelliklerini deneysel olarak belirlemişlerdir. Metal oksitlere oranla içinde farklı metaller bulunduran sistemlerin ısıl sistemlerin

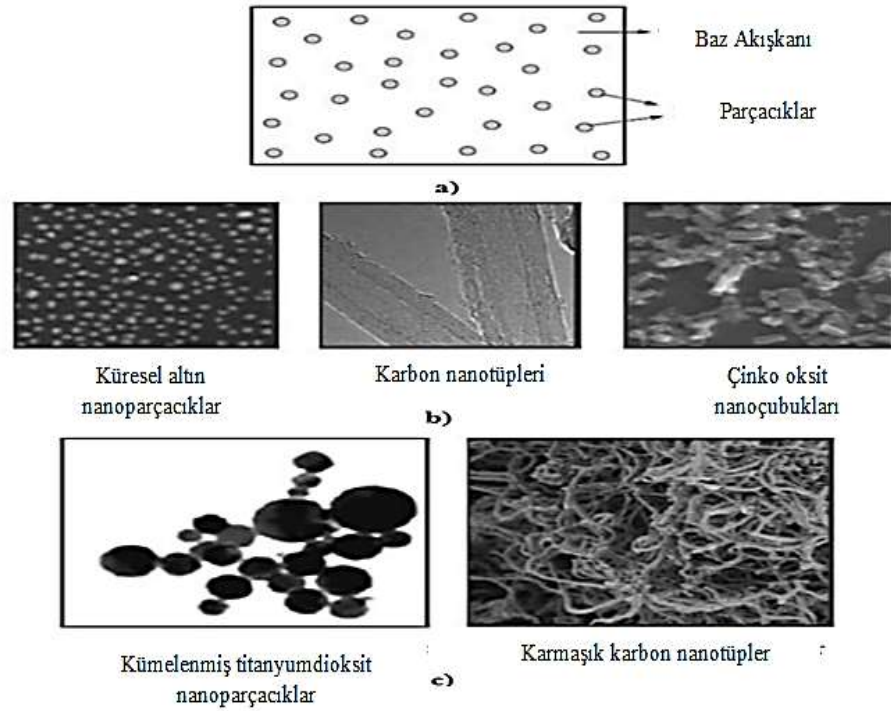
performansının daha iyi olabileceği, nanoakışkanların baz akışkanına kıyasla ısı iletkenlik bakımından daha yüksek performans gösterdiği, viskoziteninse saf suya kıyasla yüksek olduğunu göstermişlerdir.

1.2. Nanoakışkanların Tarihi

Kütleler arasındaki ısı transferini en iyi şekilde sağlayabilmek araştırmacıların üzerinde titizlikle çalıştığı bir konudur. Bu bağlamda ısı transfer yüzey alanını arttırmak, ısı transferinin gerçekleştiği yüzeyde kanatçıklar kullanmak, ısı transfer yüzeyinin üzerine yapay pürüzler eklemek ve mikrokanallar kullanmak bu amaca uygun yapılmış çalışmalardır. Fakat yapılan bu çalışmalarda birçok sorun ortaya çıkmıştır. Örneğin; herhangi bir sistemde yüzey alanının artırılması boyut olarak büyüme demektir ki bu durum sistemin maliyetinin artması anlamına gelir. Isı transferi uygulamalarında kullanılan akışkanların termofiziksel özelliklerinin zayıf olması çalışmalarda karşılaşılan bir diğer sorundur. Isı transferini daha verimli hale getirmek amacıyla endüstride sıklıkla kullanılan baz akışkanlara, termofiziksel özellikleri daha iyi olan metal ya da metal olmayan parçacıkların eklenmesi ile üstün özelliklere sahip bir karışım elde edilmesi düşünülmüştür. Bu amaçla, daha önceki çalışmalarda mikrometre ($1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$) ya da daha büyük boyutta parçacıkları baz akışkanlara eklenme fikri denenmiş ancak istenen sonuçlar elde edilememiştir. Örneğin; baz akışkana eklenen mikro parçacıklar, akışın gerçekleştiği kanallarda tıkanma ve aşınma (erozyon) gibi istenmeyen durumlara neden olmuştur. Mikro parçacıkları kullanma fikri ısı transferi uygulamalarında başarı sağlamayınca gözler nano boyuttaki parçacıklara çevrilmiş ve nanometre boyutundaki parçacıkların (nanoparçacıklar) baz akışkanlara ilave edilmesi fikri ortaya çıkmıştır.

İlk kez Stephen U.S. Choi ve arkadaşları tarafından Argonne Ulusal Laboratuvarında yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkan nanoakışkan kavramı heyecan verici bir potansiyele sahiptir. Choi ve Eastman'ın yaptıkları çalışmayla nanoakışkanlar; “nano boyutta parçacıkların baz akışkanı olan su, etilen glikol (EG) veya motor yağı (EO) gibi endüstriyel ısı transferi akışkanları içerisinde dağıtılmasıyla oluşturulmuş, yaklaşık 10 nm büyüklüğünde parçacıklar içeren ve günümüzde kullanılan nano boyut teknolojisi ile üretililebilecek, yüksek ısı iletkenliğine sahip yeni tür akışkanlar” olarak tanımlanmıştır. Isı transferi uygulamalarında kullanılan baz akışkanlara eklenen nanoparçacıklar ile, ilgili akışkanın termofiziksel özelliklerinde artış ve sonuç olarak ısı

transferinde önemli miktarlarda iyileşme elde edilebilmektedir. Nanoakışkan kullanımı ile elde edilen ısı transferi artışı nedeniyle, çalışmaların büyük bir çoğunluğu nanoakışkanların ısıl iletkenlikliğı ve ısı transferi iyileşmesi üzerinedir. Nanoakışkanların akış özellikleri ve viskozitesi, ısıl iletkenliğe göre daha az incelenmiştir. Fakat nanoakışkanların viskozitesi de, nanoakışkanların potansiyel uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır. Baz akışkan içerisine eklenen nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça, karışımın ısıl iletkenlikliğinde ve viskozitesinde artış gözlenmektedir [19]. Fakat viskozite artışı demek akışın olduğu kanalda basıncın düşmesi ve akış için gerekli pompa gücünün artması demektir ki bu istenmeyen bir durumdur. Bir nanoakışkanın kullanabilirliği (baz akışkana göre avantajlı olup olmadığı) ısıl iletkenliğinin ve viskozitesinin eş zamanlı olarak ölçülmesi ile mümkündür [19]. Farklı nanoparçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 1. Çeşitli parçacıklara ait elektron mikroskobu görüntüleri [20].

1.3. Nanoakışkan Çeşitleri

Nanoakışkanlar parçacıkların tipine bağlı olarak kapsamlı bir şekilde dört gruba ayrılabilir;

1.3.1 Seramik Nanoakışkanlar

Seramik parçacıklar kararlılığı yüksek olduğundan ve daha kolay üretilmelerinden dolayı araştırmacılar tarafından genellikle ilk sırada tercih edilen parçacıklardır. Seramikler üç farklı kategoriye ayrılır: Bunlar alümina ve zirkonya gibi oksitler, karbürler, nitrürler ve silikatlar, oksitlenen ve oksitlenmeyenlerin birleşimi gibi kompozitlerdir. Farklı seramik türleri arasında oksit nanoakışkanlar üzerinde çok fazla ilgi gösterilmiştir [21].

1.3.2. Saf Metalik Nanoakışkanlar

Oksit nanoparçacıkların olduğu nanoakışkan çalışmalarına göre, metal nanoparçacıkları içeren daha az çalışma olmasına rağmen sonuçlar umut vericidir. Genellikle, aynı hacimsel konsantrasyonda metal parçacık içeren nanoakışkanların metal oksit nanoparçacıklı nanoakışkanlardan daha fazla ısı iletkenlik değerine sahip olduğu yapılan çalışmalarla görülmüştür [21].

1.3.3. Alaşım Nanoakışkanlar

Metallerin farklı metallerle alaşımlanması, ana metallerine kıyasla daha iyi teknolojik kullanılabilirliğe sahiptir. Alaşım nanoparçacıklar üzerindeki çalışmalar, fiziksel özelliklerinin, toplu numunelerde gözlemlenenlerden farklı olduğunu ortaya çıkardı [21].

1.3.4. Karbon Bazlı Nanoakışkanlar

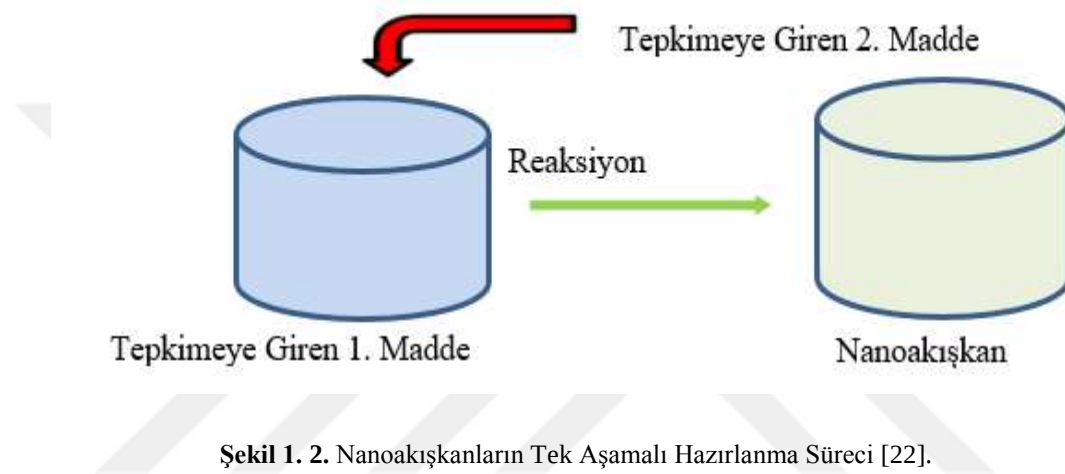
Metallerle karşılaştırıldığında bazı karbon bazlı nanoakışkanların yüksek ısı iletkenliği aynı zamanda yoğunluklarının düşük olması da göz önüne alındığında onları nanoakışkan hazırlamada kullanmak için daha kullanılabilir hale getirmektedir [21].

1.4. Nanoakışkan Hazırlama Yöntemleri

Bir nanoakışkan yalnızca sıvı-katı parçacık karışımı değildir. Nanoakışkanın tam, kararlı ve uzun ömürlü bir süspansiyon olması için parçacıkların en az derecede toplanması ve akışkanın kimyasal özelliklerinin değişmemesi gerekmektedir. Bu özelliklere sahip bir sabit nanoakışkan üretebilmek için özel teknikler geliştirilmiştir. Nanoakışkan elde etmek için iki temel yöntem vardır. Bunlar tek aşamalı yöntem ve iki aşamalı yöntemdir.

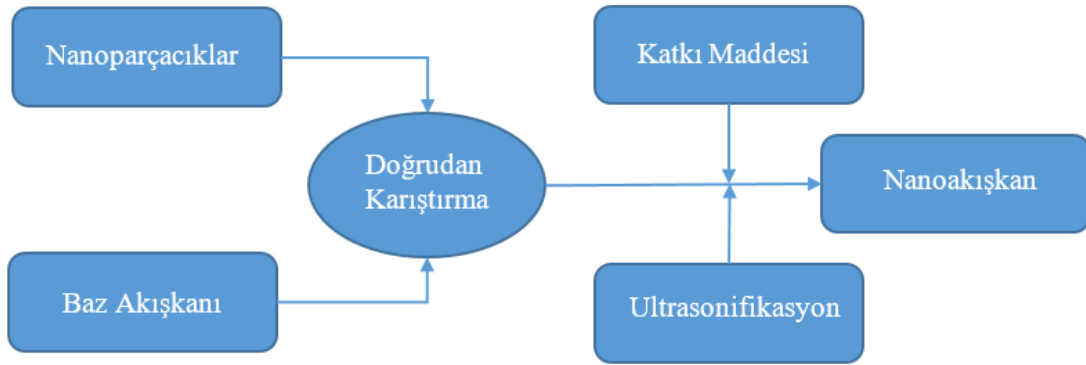
1.4.1. Tek Aşamalı Yöntem

Tek aşamalı hazırlama yönteminde nanoakışkanlar ve nanoparçacıklar aynı zamanda hazırlanıp baz akışkanına ilave elde edilir. Kullanılan malzemeler genel olarak ısı iletim katsayısı yüksek ve hızlı oksitlenme yeteneğine sahip bakır, gümüş ve altın gibi metal malzemelerdir. Bu nedenle, tek aşamalı yöntem metal nanoparçacık içeren nanoakışkanları üretebilmek için daha uygun bir yöntemdir [22]. Şekil 1.2’de nanoakışkanların tek aşamalı hazırlanma süreci gösterilmiştir.



1.4.2. İki Aşamalı Yöntem

İki aşamalı yöntem en yaygın kullanılan nanoakışkan hazırlama yöntemidir ve literatürde bu metotla ilgili birçok çalışma vardır. İlk olarak nanoparçacıklar fiziksel veya kimyasal yollarla kuru toz halinde üretilir daha sonra nanoparçacıklar baz akışkana ilave edilir. İki aşamalı yöntem, tek aşamalı yöntemle göre parçacıkların akışkan içerisindeki kararlılığı bakımından daha zayıf bir yöntem olmasına karşın tek adım yöntemine göre çok daha ekonomiktir. Ayrıca bu yöntemde çok daha büyük miktarlarda nanoakışkan üretilebilmek mümkündür [23]. Nanoakışkanların iki aşamalı hazırlanma süreci Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 3. Nanoakışkanların İki Aşamalı Hazırlanma Süreci [23].

Son yıllarda yapılan çalışmalar nanoakışkanın baz akışkanına kıyasla daha verimli olduğunu ortaya koymuş, termal ve enerji uygulamaları için daha etkili ısıtma yada soğutmada kullanılabileceği düşüncesi kabul görmüştür [24].

1.5. Nanoakışkanların Kararlılığı

Bir nanoakışkanın kararlılığı, baz akışkan içerisine eklenen nanoparçacıkların dengeli bir şekilde kalarak oluşan yeni akışkanın viskozitesi, ısı iletkenliği, parçacıkların ortalama çapı ve parçacığın baz akışkan içerisindeki hacimsel oranı gibi özelliklerini zamanla değişmeden koruması olarak ifade edilebilir. Nanoakışkanın kararlılığı, parçacık madde ve baz akışkanın karakteristik özelliklerine bağlıdır. Nanoakışkanların kabul gören genel bir tanımına göre kullanılacak nanoparçacık boyutlarının yaklaşık 100 nm'den küçük olması ve bu taneciklerin baz akışkan içerisinde asılı halde kalması istenilmektedir. Fakat baz akışkanı içerisine dağıtılan parçacıklar birbirleri ile etkileşim haline girerek yapışma ve topaklaşma isteğinde bulunurlar ve bu topaklaşmanın artmasıyla yerçekimi kuvveti etkili olur ve çöküntüler meydana gelmeye başlar, homojenlik bozulur, bu durum nanoakışkanlar için istenmeyen bir durumdur.

1.5.1. Nanoakışkanların Kararlılık Ölçüm Yöntemleri

Nanoakışkanların kararlılığını değerlendirmek için literatürde birçok yöntem vardır. Bunlar; [25]

- UV Spektral emicilik analizi

- Elektron mikroskobu ve ışık saçılması yöntemleri
- Dinamik ışık saçılım spektrometresi yöntemi
- Zeta Potansiyel Analizi
- Sedimentasyon yöntemi.

1.5.2. Nanoakışkanların Kararlılığını Artırma Yolları

Nanoakışkanın kararlılığı, bir termal sistemin tasarlanan kapasitede tutarlı çalışması için en önemli parametredir. Bu nedenle, değişken nanoakışkanın hazırlanması, nanopartiküller arasındaki güçlü Vander Waals ve yapışma kuvvetleri nedeniyle araştırmacılar için teknik bir zorluktur. Topaklaştırılmış nanoakışkan partiküllerin Brownian hareketini azaltarak ısı transfer etme potansiyelini kaybeder. Ayrıca, sürtünme direncini artırarak akış davranışını kötüleştirir ve sonuç olarak basınç düşüşünü artırır. Bu nedenle nanoparçacıkların kararlı süspansiyonu istenen özellikleri elde etmek için esastır.

1.5.2.1.Yüzey Aktif Madde İlavesi

Nanoakışkanlar hazırlanırken karışımın daha kararlı olmasını sağlamak için karışıma sürfaktan adı verilen yüzey aktif madde ilavesi yapılır ve yüzey aktif madde molekülleri katı parçacığa yapışıp parçacık ile etrafındaki sıvı moleküller arasında bir tabaka oluşturur. Bu katmanlar parçacıklar arasındaki potansiyelini artırır ve aralarında itici bir kuvvet uygular.

1.5.2.2.Nanoakışkanların pH Kontrolü

Nanoakışkan karışımlarının kararlılığı doğrudan nanoparçacıkların elektro kinetik özelliklerine bağlıdır. pH kontrolü, güçlü itici kuvvetler oluşturarak kararlılığı artırabilir.

1.5.2.3. Ultrasonik Titreşim

Kolaylığı nedeniyle birçok araştırmacı bu tekniği kullanır bu tekniğin temel prensibi, yüksek frekanslı titreşimlerin etkisi altında baz sıvıda dağılmış nanopartikülleri eşit şekilde dağıtmaktır [26].

1.6. Hibrit Nanoparçacık ve Hibrit Nanoakışkan Kavramı

Tek tip nanoparçacıkların ısı iletkenliğinde iyileşmeyi artırmak için iki ya da daha fazla farklı nanoparçacık kullanılır hazırlanan bu yeni parçacıklar hibrit nanoparçacık olarak bilinir. Hibrit nanoparçacık sentezlemek için birçok teknik geliştirilmiştir.

Hibrit nanoakışkanlar ise ya ayrı bileşen olarak farklı tipte nanoparçacıkların dağıtılmasıyla ya da baz akışkanında nanokompozit parçacıkların dağıtılması ile hazırlanır. Başka bir deyişle hibrit nanoakışkan, yeni fiziksel ve kimyasal bağlarla iki veya daha fazla nanoparçacığın homojen karışımıdır. Hibrit nanoakışkanlar tek tip nanoakışkanın yaptığı etkiden daha iyi etki sağladıkları için daha iyi termal ve reolojik özelliklere sahip olabilirler. Uygun nanoparçacık kombinasyonunu hibritleyerek, düşük nanoparçacık konsantrasyonlarında bile istenilen ısı transferi elde edilebilir. Araştırmacılar tarafından çalışmalara konu olmuş çeşitli hibrit nanoparçacıklar ve baz akışkanları Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Deneylerde kullanılan bazı hibrit nanoparçacıklar

Hibrit nanoparçacık	Baz Akışkanı
Ag/MgO	Su
TiO ₂ /SiO ₂	Su
SWCNTs/ZnO	Su-EG
Al ₂ O ₃ /MWCNTs	Termal Yağ
SiC-TiO ₂	Diyatermik yağ
Al ₂ O ₃ /Cu	EG
FMWCNTs/Fe ₃ O ₄	EG
MWCNTs/Al ₂ O ₃	Termal yağ
TiO ₂ /Ag	Su
MWCNTs/Fe ₂ O ₃	Su
MWCNTs/Ag	Su
Cu/TiO ₂	Su- EG

Hibrit nanoparçacıkların sentezi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlar; kimyasal buhar biriktirme, mekanik alaşımlama, bilyalı öğütme, katalitik kimyasal buhar biriktirme, ıslak bilyalı öğütme, yerinde ve kimyasal birlikte çökeltme, kimyasal redüksiyon gibi yöntemlerdir [27].

1.6.1. Hibrit Nanoakışkanların Hazırlanması

Hibrit nanoakışkanların hazırlanmasında diğer nanoakışkan hazırlama yöntemlerinden farklı işlemler bulunmayıp daha önceki kısımlarda anlatıldığı gibi tek adım ve iki adım yöntemi kullanılmaktadır, fakat daha öncede bahsedildiği gibi iki adım yöntemi literatürde en çok kullanılan yöntem olmuştur.

Nanopartiküllerin (ϕ) hacim oranı Deklem 1.1 değeri kullanılarak belirlendi.

$$\phi = \frac{\frac{w_p}{\rho_p}}{\frac{w_p}{\rho_p} + \frac{w_{bf}}{\rho_{bf}}} \times 100 \quad (1.1)$$

Burada sırasıyla w_p , w_{bf} , ρ_p ve ρ_{bf} w_p nanopartiküllerinin ağırlığı, baz akışkanın ağırlığı, nanopartiküllerinin yoğunluğu ve baz akışkanının yoğunluğudur.

Hibrit nanoakışkanların hazırlanma aşamaları ile ilgili literatürde yapılmış çalışmalar Tablo 1.2’de gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Hibrit nanoakışkanların hazırlanması üzerine yapılmış çalışmalar

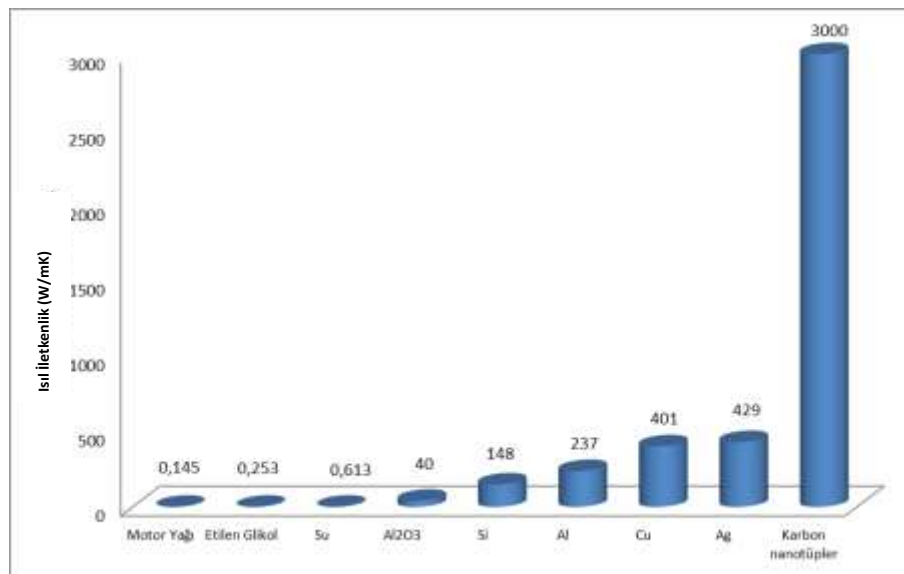
Ref	Nanoparçacıklar	Baz Akışkanı	Hazırlama Yöntemi	Sonuçlar
[28]	Al ₂ O ₃ /MWCNTs	Termal yağ	İki Aşamalı	Farklı sıcaklık ve farklı hacim konsantrasyonlarında termofiziksel özellikler araştırılmış sıcaklık ve katı konsantrasyonu arttıkça ısı iletkenliğinin artan bir eğilim gösterdiği gözlenmiştir.
[29]	Al ₂ O ₃ /Cu	EG	İki Aşamalı	Nanoakışkanın ısı iletkenliğinin kullanılan baz akışkanın ısı iletkenliğinden fazla olduğu ısı iletkenliğinin parçacığın hacim konsantrasyonuna ve sıcaklığına bağlı olduğu görülmüştür.
[30]	SiC/TiO ₂	Diyatermik yağ	İki Aşamalı	Isıl iletkenlik ve viskozite aynı koşullar altında ölçülmüş, ısı iletkenliğinin hacim konsantrasyonu ve sıcaklık artışı ile arttığı viskozitenin ise sıcaklığa bağlı olarak azaldığı görülmüştür.
[31]	SiO ₂ /TiO ₂	Su/EG	İki Aşamalı	Konsantrasyon ve sıcaklığın artırılması, incelenen konsantrasyon aralığında ısı iletkenlikte artışa neden olmuştur.
[32]	FMWCNTs/Fe ₃ O ₄	EG	İki Aşamalı	Farklı sıcaklık ve hacim konsantrasyonu aralığı için bir dizi deney gerçekleştirilmiş. Isıl iletkenlik oranının, nanoparçacık hacim konsantrasyonu ve sıcaklığın artırılması ile arttığı görülmüştür.
[33]	Al ₂ O ₃ / CuO	Su/EG	İki Aşamalı	Hibrit nanoakışkanının termofiziksel özelliklerinin düz plaka güneş kolektörünün ısı verimine etkisi araştırılmış. Sonuçlar ısı iletkenlik, viskozite ve yoğunluğun nanoparçacık konsantrasyonu ile arttığını göstermiştir.
[34]	Ag/MWNTs Au/MWNTs Pd/MWNT'	Deiyonize su ve EG	İki Aşamalı	Nanoakışkanların metal nanoparçacıklar ile aynı ısı iletkenlik dizisini koruduğu gözlenmiştir.
[35]	WO ₃ /Ag	Trafo yağı	Tek Aşamalı	Nanoakışkanların ısı iletkenliği 40 °C–100 °C sıcaklık aralığında ölçülmüştür. Hibrit nanoakışkanların termal iletkenliği 100 °C'de % 41 oranında artmıştır.
[36]	Al ₂ Cu/Ag ₂ Al	EG/Deiyonize Su	İki Aşamalı	Nanoakışkanların ısı iletkenliğinde % 50 oranında iyileşme kaydettiği görülmüştür.

1.7. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Nanoparçacıkların uygun baz akışkanına eklenmesi işlemiyle nanoakışkanlar elde edilir. Akışkanlara ait en önemli termofiziksel özellikler arasında, viskozite ve ısı iletkenlik başta gelmektedir. Nanoparçacıkların baz akışkanına eklenmesi ısı iletkenlikte ve viskozitede önemli paya sahiptir. Artan viskozite ısı transferini kötüleştirirken ısı iletkenlikteki artış ise ısı transferi üzerinde olumlu rol oynamaktadır. Ayrıca nanoakışkanların termofiziksel özellikleri arasında literatürde az çalışmalar yapılmış olsa da yoğunluk, özgül ısı kapasitesi de yer almaktadır.

1.7.1. Isıl İletkenlik

Verimli ısı transfer sistemleri oluşturmak için yüksek ısı iletkenliğe sahip yeni nesil akışkanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Araştırmacılar geleneksel baz akışkanına ekledikleri nanoparçacıklarla ısı iletkenliği artırma düşüncesine gitmişlerdir. Nitekim yapılan çalışmalar umut vericidir. Baz akışkan içerisine nanoparçacık ilavesi ile oluşan yeni nanoakışkanın ısı iletkenliğinin artmasının nedenleri nanoparçacıkların ısı davranışını kontrol eden mekanizma olan Brownian hareketi ve katı parçacık yüzeyine yakın sıvı moleküller katmanlı yapılar oluşturarak, katı sıvı arasında ısı bir köprü oluştururlar ve bu da nanoakışkanın ısı iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır [37]. Nanoakışkan çalışmalarına konu olmuş bazı katı ya da sıvıların ısı iletkenlikleri Şekil 1.4'te gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Bazı katı ve sıvıların ısı iletkenlik değerleri [38].

Nanoparçacıkların sentezi ve nanoakışkanların hazırlanma yöntemi kararlılık ve nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda nanoakışkanın ısı iletkenliğinin baz akışkanının ısı iletkenliğine, nanoparçacıkların ısı iletkenliğine, parçacık şekline, hacimsel konsantrasyona, nanoparçacığın boyutuna, sıcaklığa vb. bağlı olduğu görülmüştür [39].

Tablo 1.3'te nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen parametreler üzerine literatürde yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.



Tablo 1.3. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen önemli parametrelerde yapılan çalışmalar

Ref.	Parametre Adı	Yapılan Çalışmalar	Sonuçlar
[40]	Baz akışkanının ısı iletkenliği	Etilen glikol ve gliseroldeki ZnO nanoparçacıklarının ısı iletkenlik özellikleri ölçülmüştür.	Baz akışkanının ısı iletkenliği arttıkça ısı iletkenlik oranı artan bir eğilim göstermiştir.
[41]	Nanoparçacık ısı iletkenliği	Metal-metal oksit nanoparçacık içeren nanoakışkanın ısı iletkenliği kıyaslanmıştır.	Metal nanoparçacık içeren nanoakışkanın iletkenliği metal oksit içerenden nanoakışkanın ısı iletkenliğinden daha yüksektir.
[42]	Hacimsel Konsantrasyon	Saf suyla oluşturulmuş elmas nanoakışkanlarının farklı % 0,3- % 3 hacimsel konsantrasyonlardaki ısı iletkenlikleri ölçülmüştür.	Isı iletkenlik değerindeki en yüksek artışın %3'lük hacimsel konsantrasyonda % 7,2 ile olduğunu gözlemlenmiştir.
[43]	Nanoparçacık Boyutu	Alüminyum/su nanoakışkanının ısı iletkenlik artışı üzerinde parçacık boyutunun etkisini araştırmışlardır.	Çalışmaların sonuçları, parçacık boyutunun azalmasının nanoakışkanların ısı iletkenliğini artırdığını göstermiştir.
[44]	Nanoparçacık Şekli	Çubuk şeklinde ve küresel şekilli TiO ₂ nanoparçacıklarıyla saf suda hazırlanmış nanoakışkanların ısı iletkenlik sonuçları karşılaştırılmış, parçacık boyutunun ısı iletkenlik artışını etkilediğini görülmüştür.	Çubuk şeklindeki nanoparçacıklara sahip nanoakışkanın ısı iletkenliğindeki artışın küresel şekilli parçacıklara sahip nanoakışkandan daha fazla olduğu görülmüştür.
[45]	Sıcaklık	% 0,2-2 hacimsel konsantrasyona sahip suda çözünen TiO ₂ nanoparçacıkları kullanılarak ısı iletkenlik ölçülmüştür.	15 °C -35 °C sıcaklık aralığında nanoakışkanların ısı iletkenliği artmıştır.

1.7.1. 1. Nanoakışkanların Isıl İletkenliğinin Ölçülmesi

Nanoakışkanlarda ısı iletkenliğin ölçülmesinde birçok metot bulunmaktadır. Araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda ölçüm tekniği olarak kendilerine en uygun yöntemi belirleyip kullanmışlardır. Ayrıca ısı iletkenlik ölçüm teknikleri üzerine geniş çalışmalar da literatürde mevcuttur.

- Sıcaklık Salınımı Yöntemi
- Geçici Sıcak Tel Yöntemi
- Zamandan bağımsız paralel plaka Yöntemi
- 3 ω Yöntemi
- Paralel Plaka Yöntemi
- Geçici Düzlem Kaynağı Yöntemi

Isıl iletkenliği ölçmek için en sık kullanılan yöntem geçici sıcak tel yöntemidir. Bu ölçüm tekniği, sıvının ısı iletkenliğinin iyi bir doğruluk ve tekrarlanabilirlik derecesi ile anlık olarak ölçülebilmesinden dolayı popülerlik kazanmıştır [46].

1.7.1.2. Nanoakışkanın Isıl İletkenliğini Belirlemek Amacıyla Geliştirilen Modeller

Isıl iletkenliği yüksek nanoparçacıkların ısı iletkenliği daha düşük baz akışkanlarına eklenmesiyle nanoakışkanların ısı iletkenliğinde önemli oranda artış gözlenmiştir. Bu artışın ne kadar olduğunu belirlemek amacıyla farklı modeller geliştirilmiştir.

Isıl iletkenlik artış oranı; nanoakışkanın ısı iletkenliğinin baz akışkanının ısı iletkenliğine oranıdır. Baz akışkanı ve nanoparçacık fazdan oluşan iki fazlı karışım için efektif ısı iletkenlik Maxwell tarafından araştırılmıştır ve buna göre efektif ısı iletkenlik k_{eff} aşağıdaki gibidir,

$$k_{effMaxwell} = \left[\frac{2k_2 + k_1 + \phi(k_2 - k_1)}{2k_2 + k_1 - 2\phi(k_2 - k_1)} \right] \quad (1.2)$$

Maxwell'in bu modeli küresel parçacıklar için daha uygundur.

Hamilton ve Crosser Maxwell modelini küresel olmayan parçacıklar için uyarlamıştır.

$$k_{eff Hamilton-Crosser} = \left[\frac{k_2 + (n-1)k_1 - (n-1)\phi(k_1 - k_2)}{k_2 + (n-1)k_1 + \phi(k_1 - k_2)} \right] \quad (1.3)$$

Buradaki n deneysel şekil faktörüdür.

Yu vd. Maxwell, modelini yeniden düzenlemiş ve efektif ısıl iletkenlik için aşağıdaki modeli türetmişlerdir.

$$k_{Yu-Choi} = \left[\frac{k_2 + 2k_1 + 2\phi(k_2 - k_1)(1 + \beta)^3}{k_2 + 2k_1 - \phi(k_2 - k_1)(1 + \beta)^3} \right] \quad (1.4)$$

Burada $\beta = h/r$ nanotabaka kalınlığı ve orijinal parçacık yarıçapı arasındaki orandır.

1.7.2. Viskozite

Viskozite, akışkanların önemli bir akış özelliğidir. Pompalama gücü, laminar akışta basınç düşüşü ve konvektif ısı transferi doğrudan akışkanların viskozitesiyle ilişkilidir. Tam olarak ısı transfer akışkanlarının termoakışkan davranışını belirlemek için viskozite analizi oldukça önemlidir. Nanoakışkan viskozitesi birçok parametreye bağlıdır. Son çalışmalar, viskozitenin pompalama gücünü artırdığını göstermektedir. Bu nedenle, geleneksel soğutucuların nanoakışkanlarla değiştirilmesi için alternatif bir yöntem gereklidir.

1.7.2. 1. Nanoakışkanın Viskozitesini Belirlemek Amacıyla Geliştirilen Modeller

Nanoakışkanların viskozitesinin belirlenmesi için ilk çalışmalar Einstein tarafından başlatılmıştır. Einstein sıvı ve parçacıklar arası etkileşime dayanarak % 1'den daha düşük hacim konsantrasyonları için nanoakışkan viskozitesini şu şekilde ifade etmiştir.

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} (1 + 2.5\phi) \quad (1.5)$$

Daha sonra birçok araştırmacı bu formülü geliştirmek için katkıda bulunmuşlardır.

Brinkman Einstein'ın denklemini değiştirerek tekrar kullanmıştır [47].

$$\mu_{bf} = \frac{1}{1 - \phi^{2.5}} \quad (1.6)$$

Batchelor sert ve küresel parçacıklıklar için şu modeli geliştirmiştir [47].

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} (1 + 2.5 \phi + 6.5 \phi^2) \quad (1.7)$$

Sonuç olarak, tüm nanoakışkanların parçacık konsantrasyonu, boyut ve sıcaklık etkilerini de içine alacak şekilde viskozitelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan deneysel bir model bulunmamaktadır [47].

Nanoakışkanların viskozitesi için mevcut birçok model ortaya koyulmasına karşın bugün bu modeller belirli uygulama aralığında ve belirli malzemeler için uygulanabilmektedir. Bu nedenle deneysel analizler daha çok kullanılmaktadır [48].

Nanoakışkanların viskozitesinin parçacık şekli, parçacık boyutu, hacim oranı ve sıcaklık, yüzey aktif maddeler, kayma hızı, partikül toplanması gibi birçok parametre etkilemektedir [49].

Tablo 1.4’te nanoakışkanların viskozitesi ile ilgili yapılan son çalışmalara genel bir bakış sunulmaktadır.

Tablo 1.4. Nanoakışkanların viskozitesini etkileyen önemli parametrelerde yapılan çalışmalar

Ref.	Parametre Adı	Yapılan Çalışmalar	Sonuçlar
[50]	Sıcaklık	Farklı sıcaklık ve farklı hacim konsantrasyonlarında EG ve SWCNT kullanılarak dinamik viskozite ölçülmüştür.	Artan konsantrasyonla dinamik viskozite artarken sıcaklıkla azalmıştır.
[51]	Parçacık boyutu	Silikondioksit nanoakışkanının viskozitesi farklı parçacık boyutlarında ve pH değerlerinde araştırılmıştır.	DeneySEL sonuçlar nanoparçacık büyüklüğünün nanoakışkanın viskozitesi için çok önemli olduğunu göstermektedir. Nanoparçacık boyutu azaldıkça, viskozite hacim konsantrasyonuna daha fazla bağımlı hale gelir.
[52]	Kayma Hızının Etkisi	Su ve etilen glikol içindeki CuO nanoparçacıkları incelenmiştir.	Çeşitli parçacık hacim konsantrasyonları için, nanoakışkanlar Newtonian davranış sergilemiştir.
[53]	Parçacık Hacim Konsantrasyonu	Al ₂ O ₃ , TiO ₂ ve CuO nanoparçacık süspansiyonlarının, farklı sıcaklıklarda sulu bir karboksimetil selüloz solüsyonunda davranışları ölçülmüştür.	Al ₂ O ₃ ve TiO ₂ nanoakışkanlarının nispi görünür viskozitesinin artan nanoparçacık konsantrasyonu ile arttığını, CuO nanoakışkanın viskozitesinin neredeyse nanoparçacık konsantrasyonundan bağımsız olduğunu gözlemlediler.
[54]	Taban akışkanının etkisi	Baz akışkanı olarak su ve etilen glikol nanoparçacık olarak Al ₂ O ₃ kullanılarak karışım hazırlanmıştır.	Al ₂ O ₃ -su nanoakışkanında vizkozite artışının Al ₂ O ₃ -etilen glikol karışımına göre yüksek olduğu görülmüştür.

Günümüzde, yapılan çalışmalara bakılınca nanoakışkan viskozitesinin artan hacimsel konsantrasyonla arttığı ortak çalışma noktası olmuştur. Çalışmaların çok az bölümü ise viskozitesi ile nanoakışkan boyutu arasında bağlantı sunmuştur [55].

1.7.3. Nanoakışkanların Özgül Isı Kapasitesi

1998 yılında Pak ve Cho [56] ilk olarak nanoakışkanların özgül ısısını ölçmek için aşağıdaki denklemi kullandılar.

$$c_{nf} = (1 - \phi_p)c_{bf} + \phi_p c_p \quad (1.8)$$

Bu denklem daha sonra başka araştırmacılar tarafından değiştirilerek kullanılmıştır.

1.7.4. Nanoakışkanların Yoğunluğu

Katı nanoparçacıkların baz akışkanına eklenmesi karışımın yoğunluğunu artıracaktır. Bunun nedeni katıların yoğunluğunun sıvılardan daha büyük olmasıdır. Nanoakışkanlarda yoğunluk bileşenlerin malzeme yoğunlukları ve hacim konsantrasyonlarının bilinmesi ile gerçekleşir [56].

$$\rho = (1 - \phi) \rho_{bf} + \rho_p \phi_p \quad (1.9)$$

Tablo 1.5'te hibrit nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ile ilgili yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Tablo 1.5. Hibrit Nanoakışkanlarda Termofiziksel Özellikler Üzerine Yapılan Çalışmalar

Ref	Nanoparçacıklar	Baz Akışkanı	Termofiziksel Özellik	Sonuçlar
[57]	Al ₂ O ₃ /MWCNTs	Termal yağ	Isıl iletkenlik/viskozite	Farklı sıcaklık ve konsantrasyonlara sahip hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozite farklılıkları gözlemlenmiştir. Dinamik viskozite, parçacık hacimkonsantrasyonu arttıkça artan bir eğilim gösterirken, ısı iletkenlikte yaklaşık % 45'lik bir artış gözlemlenmiştir.
[58]	Cu/Zn	Bitkisel yağ, parafin yağı, SAE	Isıl iletkenlik	Baz akışkanının ısı iletkenliğindeki gelişmeyi araştırmak için üç farklı baz akışkanısı (bitkisel yağ, parafin yağı ve SAE yağı) içinde dağıtılmış (Cu-Zn) nanoparçacıklarını incelemiştir. Deney sonuçları (Cu-Zn / bitkisel yağ) hibrit nanoakışkanı için ısı iletkenlikte daha yüksek artış olduğunu göstermiştir.
[59]	Al ₂ O ₃ /CuO/CuO-Al ₂ O ₃	Su	Isıl iletkenlik	Nanoakışkanlarının termal iletkenliği karşılaştırılmış, ısı iletkenlik, sıcaklık ve konsantrasyonun fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Al ₂ O ₃ / su, CuO / su ve CuO-Al ₂ O ₃ / su nanoakışkanları ile % 0,2'lik ve 60 °C'lik sıcaklıkta gösterilen ısı iletkenlikteki maksimum artış sırasıyla % 6,1, % 8 ve %9,8'dir.
[60]	TiO ₂ /CuO/ C	EG	Isıl iletkenlik	Sıcaklık ve konsantrasyonun hibrit nanoakışkanlarının ısı iletkenliğine etkisi araştırılmış % 2'lik nanoparçacık konsantrasyonu ve 333,15 K sıcaklık, ısı iletkenlikte % 16,7'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir.
[61]	Aktif Carbon /Grafen oksit	EG	Isıl iletkenlik	Aktif karbon ve grafenoksit nanoparçacıklarının varlığı, EG'nin termal iletkenliğini arttırmıştır. Ağırlıkça % 0,06 nanoakışkanın ısı iletkenliği % 4,17'den 20 °C'de % 6,47'ye yükseldi.

Tablo 1.5. Hibrit Nanoakışkanlarda Termofiziksel Özellikler Üzerine Yapılan Çalışmalar (devamı)

[62]	Ag/Al ₂ O ₃	Su	Isıl iletkenlik	Hibrit nanoakışkanların otomotiv radyatörlerinin performansına etkisini araştırmak için teorik bir çalışma yapılmıştır. Sonuçlar % 0,5 Ag ve % 0,5 Al ₂ O ₃ hibrit nanoakışkanı için ısı iletkenlikteki en yüksek artışın % 4 olduğunu göstermiştir. Ag/Al ₂ O ₃ nanoakışkanı için ısı iletkenlikteki maksimum artışın, gümüş nanoparçacıklarının daha yüksek termal iletkenliğinden kaynaklı olduğu saptanmıştır.
[63]	Fe ₂ O ₃ /MWCNTs	Su	Isıl iletkenlik	Hibrit nanoakışkanın termal iletkenliği demir oksidin hacim konsantrasyonu değiştirerek değerlendirilmiştir. Isıl iletkenlikteki % 27,7'lik artış, ağırlıkça % 0,02 Fe ₂ O ₃ ve % 0,05 MWCNT ile elde edilmiştir. Bu deneye dayanarak, Fe ₂ O ₃ nanoparçacıkların konsantrasyonu % 0,02'den fazla olduğunda, termal iletkenliğin azaldığı gözlenmiştir.
[64]	SiC/TiO ₂	Diyatermik yağ	Isıl iletkenlik	Isıl iletkenlik, artan hacim konsantrasyonu ile artmıştır. Ayrıca SiC / TiO ₂ hibrit nanoakışkanının termal iletkenliği, ayrı ayrı TiO ₂ veya SiC'den daha büyüktür.
[65]	GO/Co ₃ O ₄	Su/EG	Isıl iletkenlik/viskozite	% 0,2 hacimsel konsantrasyon için su bazlı nanoakışkanın ısı iletkenlik artışı % 19,14 iken etilen glikol bazlı nanoakışkanın ısı iletkenlik artışının % 11,85 olduğu, benzer şekilde su bazlı nanoakışkanın viskozitesinin 1,70 kat ve etilen glikol bazlı nanoakışkan viskozitesinin 1,42 kat arttığı görülmüştür.
[66]	Ag/MgO	Su	Viskozite	% 0,5 ve % 2 hacim konsantrasyonunda artan hacim konsantrasyonu ile dinamik viskozitenin arttığı görülmüştür.

Tablo 1.5. Hibrit Nanoakışkanlarda Termofiziksel Özellikler Üzerine Yapılan Çalışmalar (devamı)

[67]	Fe/CuO	EG/Su	Viskozite	% 0,05,% 0,1,% 0,25 ve % 1,5'lik hacimsel konsantrasyonlarda ve 25 °C–50 °C sıcaklık aralığında hibrit nanoakışkanın viskozitesi, artan nanoparçacık konsantrasyonu ile artarken, artan sıcaklıkla azalmıştır.
[68]	MgO/MWCNT	EG	Viskozite	Hibrit nanoakışkan 30 °C- 60 °C sıcaklık aralığında Newtonian davranış göstermiştir.
[69]	Al ₂ O ₃ /Cu	Su	Isıl iletkenlik/viskozite	% 0,1'den % 2'ye kadar hacim konsantrasyonlarına sahip hibrit nanoakışkanların hem termal iletkenliğinin hem de viskozitesinin, nanoparçacıklar hacim konsantrasyonu ile arttığı görülmüştür. Nanoakışkanların termal iletkenliği ve viskozitesi ölçülmüş ve viskozite artışının ısı iletkenlikteki artıştan önemli ölçüde daha yüksek olduğu bulunmuştur.
[70]	MWCNT/ZnO	Motor Yağı	Viskozite	Dinamik viskozitenin artan hacim konsantrasyonu ile % 45 oranında arttığı gözlemlenmiştir.
[71]	Fe ₃ O ₄	EG/Su	Viskozite	Nanoakışkanların viskozitesinin kesme oranına bağımlılığı incelenmiştir. Sonuçlar, kesme oranının artırılmasının viskozitede bir azalmaya yol açtığını göstermiştir.
[72]	MWCNTs+TiO ₂	SAE50 hibrit nano-yaglayıcı	Viskozite	Farklı kesme hızlarında nano-yaglayıcı numunelerin viskozitesini ölçmek için viskozimetre kullanılmıştır. Sonuçlar, tüm örneklerin dikkate alınan tüm sıcaklıklarda Newtonian davranış gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, mevcut bulgular ve nano-yaglayıcı arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Mevcut nano-yaglayıcının viskozitesinin, MWCNTs-MgO/SAE50'ninkinden daha düşük olduğunu göstermiştir.
[73]	SiO ₂ +MWCNTs	SAE40 motor yağı	Viskozite	Hibrit nanoakışkanların dinamik viskozitesi incelenmiş, deneyler 25 °C ile 60 °C arasında değişen sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Viskozite ölçümleri, SiO ₂ -MWCNTs/SAE40 hibrit nanoakışkanının Newtonian akışkan olarak davrandığını göstermiştir. Ayrıca dinamik viskozitenin artan sıcaklıkla azaldığı görülmüştür.

2. MATERYAL VE METOT

Nano boyuttaki parçacıkların baz akışkana ilave edilmesiyle oluşan yeni nesil akışkanlara nanoakışkan adı verilir. Bununla birlikte, nanoparçacıklar iki ya da daha fazla ise, hibrit nanoakışkan adı verilir. Aynı zamanda, baz akışkanda birden fazla akışkanın karışımı olabilir.

Bu çalışmada, ikiden fazla nano boyutlu bileşen içeren ve yine iki tür baz akışkanı içeren çok bileşenli (hibrit) yeni bir nanoakışkan üretilecek, daha sonra yapısal özellikleri ve termal özellikleri belirlenmeye çalışılacaktır. Çalışmanın temel amacı, hem hibrit nanokompozit hem de hibrit baz akışkanı olan yeni nesil hibrit nanoakışkan üretimi ve malzeme karakterizasyonunun yapılarak, termal özelliklerinin tespit edilmesidir. Nanoparçacık olarak TiO_2 , Al_2O_3 , ZnO nanoparçacıklarının karışımı kullanılmış ve belirli oranlarda su-antifiriz baz akışkana katılarak yeni bir çok bileşenli nanoakışkan üretilmiştir.

Bu amaçlar doğrultusunda, deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneyler de kullanılan ekipman ve malzemelere ait bilgiler ise aşağıda detaylı bir şekilde verilmektedir.

2.1. Hibrit Nanoparçacık ve Hibrit Nanoakışkan  retiminde Kullanılan Malzeme ve Cihazlar

2.1.1. Hibrit Nanoparçacık ve Hibrit Nanoakışkan  retiminde Kullanılan Kimyasallar

Çalışmada kullanılacak olan hibrit nanoparçacıklar Alüminyum Nitrat Nonahidrat Carlo Erba,  inko Nitrat Hekzahidrat ve Titanyum İzopropoksit Sigma-Aldrich firmalarından temin edilmiş ve bu nanoparçacıkların kimyasal  zellikleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Nanoakışkan hazırlamak içinse baz akışkan olarak saf su ve antifiriz kullanılmıştır.

Tablo 2.1. Hibrit nanoparçacık hazırlamada kullanılan kimyasallar

Kimyasalın Adı	Molekül Ağırlığı
Çinko Nitrat Hekzahidrat	297,49 gr / mol
Alüminyum Nitrat Nonahidrat	375,13 gr/ mol
Titanyum İzopropoksit	284,22 gr/ mol
Potasyum Hidroksit	56,10 gr/mol

2.1.2. Elektronik Hassas Terazi

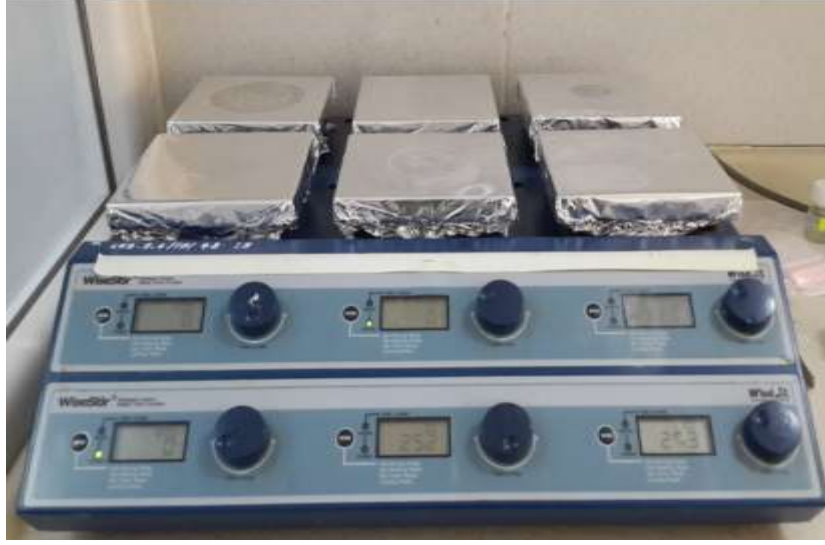
Nanoakışkan hazırlanmasında ilk aşama, nanoparçacıkların kullanılmak istenen oranda tartılmasıdır bu işlem içinse elektronik hassas terazi kullanılır. Kütleli olarak Şekil 2.1.'de fotoğrafı verilen terazi kullanılmıştır.



Şekil 2.1. Elektronik Hassas Terazi

2.1.3. Manyetik Karıştırıcı

Manyetik karıştırıcı, hazırlanan kimyasal çözeltilerin cam beher içerisinde manyetik bir alanda karıştırılmasını sağlar. Hazırlanan kimyasal çözeltinin daha homojen karışması için ise manyetik balıklar kullanılır. Çalışmada kullanılan manyetik karıştırıcı ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Manyetik Karıştırıcı

2.1.4. Hidrotermal Cihazı

Şekil 2.3'te görüntüsü verilen hidrotermal cihazı malzemelerin çözücünde gerekli şartları (sıcaklık, basınç vs.) sağlayarak homojen şekilde çözünmesini sağlar.



Şekil 2.3. Hidrotermal Cihazı

2.1.5. Santrifüj cihazı

Yoğunluğu farklı karışımların tüplere koyularak birbirinden ayrılmasını sağlar. Bu işlemde yoğunluğu daha küçük parçacıklar dibe çöker. Şekil 2.4'te ise çalışmada kullanılan santrifüj cihazının görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 2.4. Santifr j Cihazı

2.1.6. Ultrasonik Banyo

Baz akışkanı ve nanoparçacık karışımını sıcaklık ve zamana bağlı olarak daha homojen bir karışım haline getirmek için kullanılır. Çalışmada kullanılan ultrasonik banyoya ait görüntü ise Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Ultrasonik Banyo

2.1.7. Yüksek Sıcaklık Ayarlı Fırın

Nanoparçacıkların yüksek sıcaklıkta ısıl işlem görerek kurutulması Şekil 2.6’da gösterilen yüksek sıcaklık ayarlı fırınla yapılır. Çalışmada 500  C sıcaklığa kadar çıkılmıştır.



Şekil 2.6. Yüksek sıcaklık ayarlı fırın

2.1.8. Hidrolik Pellet Presi

Nanoparçacıkların termal analizlerinin belirlenmesi için toz numunelerin belirli basınçlara tabii tutularak kalıp haline getirilmesi Şekil 2.7’de görüntüsü verilen hidrolik pellet presi ile yapılır.



Şekil 2.7. Hidrolik Pellet Presi

2.1.9. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM), katı forma sahip numunelerin yüzeylerinde çeşitli sinyaller üretmek için yüksek enerjili elektronlardan oluşan odaklanmış bir kırıış demeti kullanır. Yüzeye gönderilen elektronların numuneyle etkileşimi sonucu elde edilen sinyaller numune hakkında bilgi edinmemizi sağlar. Uygulamada numunenin herhangi bir yüzeyinden veriler toplanır. SEM, aynı zamanda

numune üzerindeki seçilen noktasal yerleri analiz etme yeteneğine sahiptir [74]. Şekil 2.82de Taramalı Elektron Mikroskobuna ait görüntü gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Taramalı Elektron Mikroskobu [75].

Numunelerde malzemelerin elementel olarak bileşimlerini saptamak için SEM cihazında yapılan bir diğer analizse EDS veya EDAX olarak adlandırılan Enerji Dağılımlı X-Ray Analizi (EDX) analizidir [76].

2.1.10. X-Işını Kırınım Cihazı (XRD)

X-Işını Kırınım cihazı (XRD) cihazı numunelerin kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. X-Işını Kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar.

XRD analizleri Bruker D8 Advance marka cihaz ile yapılmıştır. Numuneler fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre hazırlandıktan sonra analiz şartları belirlenir. Numuneleri öncelikle toz haline getirilir daha sonra analiz edilmek üzere plastik kaplara koyulur. Analiz edilecek numuneler özel tutucularına konularak XRD cihazının örnek tutucusuna yerleştirilir ve analiz edilir [77]. Çalışmada kullanılan X-Işını Kırınım cihazı Şekil 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. X-Işını Kırınım cihazı [75].

2.1.11. Termogravimetri (TGA)

Termogravimetri, genel olarak malzemelerde sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak meydana gelen kütle kaybı ve/veya kazanımlarının belirlenmesinde kullanılır.

Deney numunesi, sabit ısıtma hızında ısıtılır ve kütle değişimi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülüp kaydedilir. Alternatif olarak, numunenin, uygun bir sabit sıcaklıkta, belli bir zaman aralığında kütle değişimi zamanın bir fonksiyonu şeklinde ölçülüp kaydedilmesi Şekil 2.10’da gösterilen Termogravimetri cihazı ile sağlanır. [78].



Şekil 2.10. Termogravimetri Cihazı

2.1.12. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC)

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) numune ve referansa ısı akışı arasındaki farkı, kontrollü bir sıcaklık programı uygulayarak sıcaklığın fonksiyonu olarak inceleyen termal yöntemdir. Numune tercih edilebilir belirli bir atmosfer gazı altında ısıtılması ya da soğutulması veya sabit bir sıcaklıkta tutulması sırasında numune

tarafından soğrulan veya salıverilen enerji miktarındaki değişimin, zamanın ve/veya sıcaklığa bağlı fonksiyonu olarak verir [79]. Şekil 2.11’de termal özelliklerin ölçümü için kullanılan Diferansiyel Taramalı Kalorimetriye yer verilmiştir.



Şekil 2.11. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri

2.1.13. Isıl iletkenlik Ölçüm cihazı

Şekil 2.12’de görüntüsü verilen ısıl iletkenlik ölçüm cihazı (KD2 Pro), malzemelerin termal özelliklerini ölçmek için kullanılan el tipi bir cihazdır. Hemen hemen her malzemeye yerleştirilebilen bir el kumandası ve sensörler içerir. Tek iğne sensörü sıvılarda numunenin ısı iletkenliğini ve özdirencini ölçerken çift iğne sensörü ise katılarda ısıl iletkenliği, özdirenci, hacimsel özgül ısı kapasitesini ve yayılımı ölçer [80].



Şekil 2.12. KD2 Pro Isıl Özellik Ölçer

2.1.14. Viskozimetre

Hazırlanan hibrit nanoakışkanın viskozitesini belirli şartları sağlayarak ölçmeye yarar. Kullanılan viskozimetre FUNGILAB smart serisi viskozimetre cihazı olup Şekil 2.13'te gösterilmiştir. Ölçümler kinematik viskozite cinsinden ölçülmüş daha sonra dinamik viskoziteye çevrilmiştir.



Şekil 2.13. Viskozimetre

2.2. Deneyin Yapılışı

2.2.1. Hibrit Nanoparçacık ve Hibrit Nanoakışkan Üretimi

Bu deneysel çalışmada, öncelikle farklı oranlarda $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ içeren üç adet hibrit nanoparçacık üretimi yapıp, daha sonra termal özelliklerine ve yapısal özelliklerine bakılmıştır. Ardından da, hibrit nanoakışkan üretimi yapıp, termofiziksel özellikleri belirlenmiştir. Tablo 2.2'de çalışmada kullanılan hibrit nanoparçacık ve hibrit nanoakışkan hazırlamada kullanılan kimyasalların özelliklerine yer verilmiştir.

Tablo 2.2. Hibrit nanoparçacık ve hibritnanoakışkan hazırlamada kullanılan kimyasallar

Kimyasalın Adı	Molekül Ağırlığı
Çinko Nitrat Hekzahidrat	297,49 gr/mol
Alüminyum Nitrat Nonahidrat	375,13 gr/mol
Titanyum İzopropoksit	284,22 gr/mol
Potasyum Hidroksit	56,10 gr/mol
Etil Alkol	46,07 gr/mol
Metanol	32,04 gr/mol
Saf Su	18 gr/mol

(Al₂O₃)+(ZnO)+(TiO₂) hibrit nanoparçacık üretimi için ;

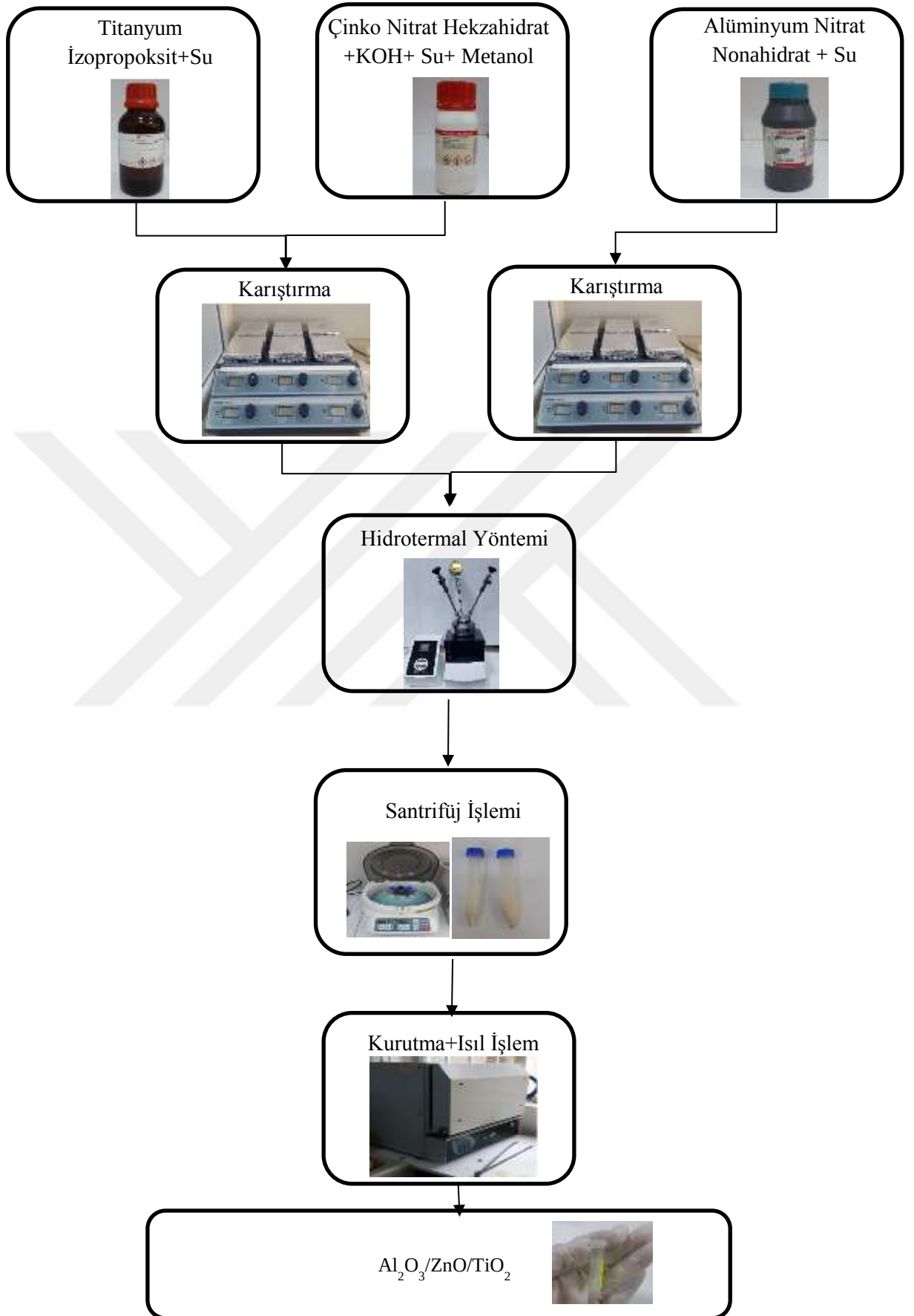
1. Yeteri kadar KOH hassas terazide tartıldıktan sonra 10 ml saf suya eklendi manyetik karıştırıcıya bırakıldı.
2. Daha sonra 50 ml metanol çözeltisi hazırlanıp KOH çözeltisi buna ilave edildi ve manyetik karıştırıcıya bırakıldı.
3. Hesaplamalar sonucu gerekli miktarda alüminyum nitrat nonahidrat 10 ml saf suya eklendi manyetik karıştırıcıya bırakıldı.
4. Hesaplamalar sonucu gerekli miktarda çinko nitrat hekzahidrat 10 ml saf suya eklendi manyetik karıştırıcıya bırakıldı.
5. Hesaplamalar sonucu gerekli miktarda titanyum izopropoksit 10 ml saf suya eklendi manyetik karıştırıcıya bırakıldı.

Son olarak tüm çözeltiler birleştirilip toplamda 90 ml çözelti manyetik karıştırıcıya bırakıldı.

Çözelti karıştırma işlemi bitince hibrit nanoparçacık üretme yöntemlerinden olan hidrotermal yöntemi ile nanoparçacık üretimi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle bu yöntemde hibrit nanoparçacık üretimi için gerekli sıcaklık (150 °C) ve zaman (5 saat) belirlenmiş bu şartlarda çözelti hidrotermal cihazına koyulmuştur. Hidrotermal yönteminden sonra çözelti santifrüj işlemine tabii tutulmuştur. Daha sonra çözelti süzgeç kâğıdına konularak hunilerde filtreleme işlemi yapıldıktan sonra malzeme 50 °C’de kurutmaya bırakılmıştır. Son işlem olarak yüksek ayarlı fırında 500 °C de 2 saat çalıştırılıp ısı işlem gördükten sonra (Al₂O₃)+(ZnO)+(TiO₂) hibrit nanoparçacığı hazır hale gelmiştir. Şekil 2.14’te hibrit nanoparçacık hazırlamada kullanılan kimyasallar, Şekil 2.15’te ise nanoparçacık hazırlama süreci gösterilmektedir.

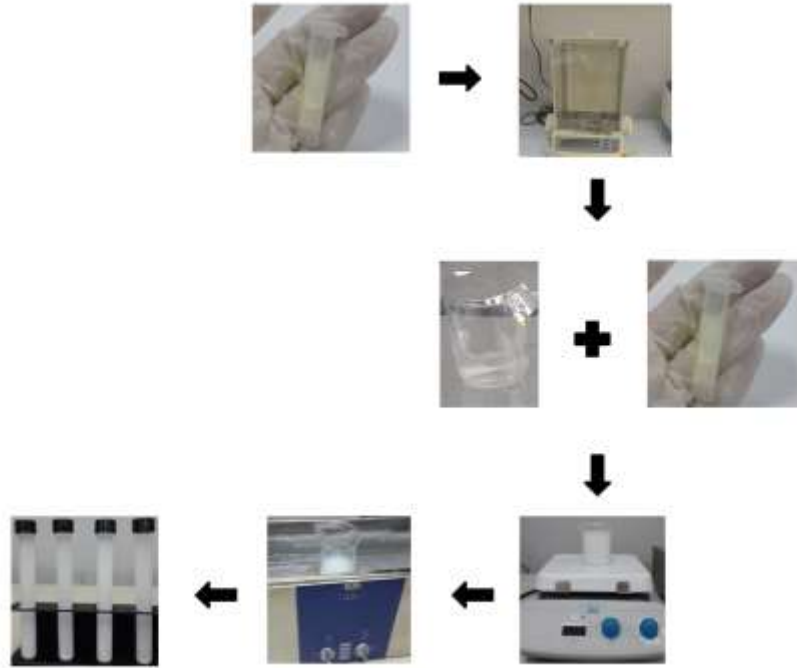


Şekil 2.14. Hibrit nanoparçacık üretmek için kullanılan kimyasallar sırasıyla (a) Titanyum İzopropoksit, (b) Alüminyum Nitrat, (c) Çinko Nitrat Hekzahidrat

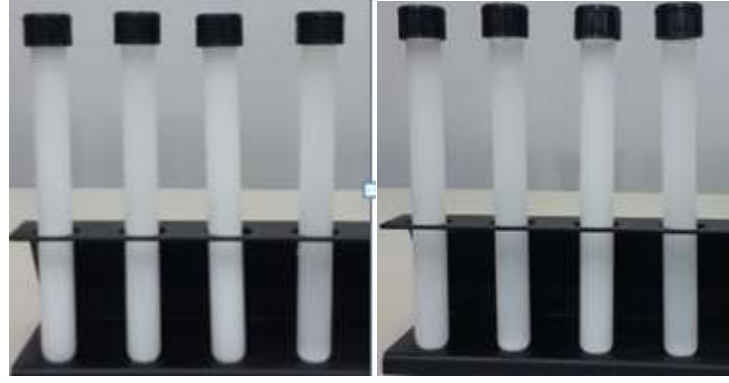


Şekil 2. 15. Hibrit nanoparçacık hazırlanmasının şematik diyagramı

Hibrit nanoakışkan hazırlanırken ise iki adım metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde nanoparçacıklar doğrudan baz akışkanına eklenir. Öncelikle 0,1 gram (Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO₂) hibrit nanoparçacığı hassas terazide tartılmıştır. Hibrit nanoparçacıklar tartım işleminden sonra 100 ml saf suya eklenmiş Denklem 2.1 kullanılarak belirlenen hacimsel konsantrasyonlarda hibrit nanoakışkanlar hazırlanmış, nanoparçacıkların topaklanmasının önüne geçmek ve kararlılığını artırmak amacıyla 5-6 saatlik süreyle ultrasonik karıştırıcıda karıştırılmıştır. İki aşamalı yöntemin en büyük dezavantajının nanoakışkan içerisinde parçacıkların topaklanması ve çökmesi olduğu bilinmektedir. Bu yüzden daha kararlı ve homojen bir nanoakışkan elde etmek için parçacıklara su eklenmesinden sonra oluşan süspansiyonlara manyetik karıştırma işlemi uygulanmıştır. Çökelmeyi önlemek içinse belirli aralıklarla etil alkol ilavesi yapılmış birer saatlik arayla numunelerin çökeltme durumları gözlemlenmiştir. Hibrit nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ise belirli oranda su-antifriz karışımları hazırlanarak ölçülmüştür. Bu işlemler her bir numune için ayrı ayrı tekrarlanarak hibrit nanoakışkanlar elde edilmiştir. Şekil 2.16’da hibrit nanoakışkanın hazırlanma süreci gösterilmektedir. Hibrit nanoakışkanların hazırlandıktan sonra belirli aralıklarla çekilmiş fotoğrafları ise Şekil 2.17’de gösterilmiştir.

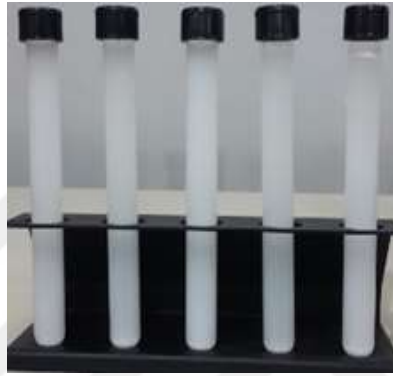


Şekil 2.16. Hibrit nanoakışkanın hazırlanma aşamaları



(a)

(b)



c)

Şekil 2.17. Farklı oranlarda $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ ve su ile hazırlanmış hibrit nanoakışkanların a) nanoakışkanlar hazırlandıktan sonra, b) üç gün sonra ve c) bir hafta sonra çekilmiş fotoğrafları

2.2.2. Hibrit Nanoparçacıkların DSC ile Termal İletkenlik Ölçümü

Isıl iletkenlik ölçümü için HITACHI 7010 marka DSC cihazı kullanılmış olup, ölçümler $10\text{ }^{\circ}\text{C/dak}$ ısıtma hızıyla 50 ml/dak azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Joseph F. Flynn ve David M. Levin'nin metodu kullanılmıştır. Bu metota göre farklı sıcaklıklardaki erime pikine sahip sensör malzemeler seçilip, bu sensör malzemelerin erime sıcaklıklarındaki değerlere göre numunelerin termal iletkenlikleri hesaplanmıştır. Termal iletkenlik hesaplamaları içinse;

$$k = \frac{L}{AR_s} \quad (2.1)$$

eşitliği kullanılmış olup, burada A numune ve sensör malzeme arasındaki temas alanı, L numunenin boyu, R_s pelet halindeki numunenin termal direncidir. Pelet halindeki numunenin termal direnci içinse aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$\text{Burada } R_s = R^1 - R \quad (2.2)$$

R = kalorimetri ve sensör malzeme arası termal direnç

R^1 = kalorimetre ile sensör+numune arasındaki termal dirençtir [81].

2.2.3. Hibrit Nanoparçacıkların DSC ile Sabit Basıncıta Özgül Isı Kapasitesi Ölçümü

Numunelerin azot atmosferinde 10 °C/dak ısıtma hızıyla 20-200 °C sıcaklık değerleri arasında ısı kapasitesi ölçümü yapılmıştır. Bu ölçüm için HITACHI 7010 marka DSC cihazı kullanılmıştır. Numunelerin ısı kapasitesi ölçümü için öncelikle boş kap, standart malzeme ve numunelerin ısı akısı eğrileri gerekmektedir. Her bir eğri için üç sıcaklık basamağı gerekmektedir.

Bu basamaklar;

- 1) 20 °C de 10 dakika izotermal
- 2) 20 °C – 200 °C aralığında 10 °C/dak ısıtma hızıyla
- 3) 200 °C de 10 dakika izotermal

Ölçümler yapılırken ilk olarak boş kap koyularak ölçümler yapılmış daha sonrasında standart malzeme alümina eklenerek, standart malzeme ısı akısı eğrisi elde edilmiştir. Son olarak kaplara numuneler koyularak numunelerin ısı akısı eğrileri elde edilmiştir [81].

2.2.4. Hibrit Nanoakışkanların Isıl İletkenlik Ölçümü

Isıl iletkenlik ölçümleri, KD2 Pro cihazı kullanılmış ve ölçümler için en uygun iğne sensörü KS-1 seçilerek tüm ölçümler bu iğne sensörü ile yapılmıştır. KD2 Pro cihazında ideal ölçüm aralığı $\pm\%$ 0,01 hassasiyetle 0,02-2,00 W/mK'dir. Numunelerin ısı iletkenlikleri ölçülmeye başlanmadan önce oda sıcaklığında gliserin için ısı iletkenlik 0,285 W/mK ölçüm alınmış doğrulanma sağlanmıştır. Ölçüm boyunca numunenin sıcaklığını kontrol etmek için Şekil 2.18'de gösterilen deney düzeneği kurulmuş istenen sıcaklıklarda (20 °C, 30 °C, 40 °C ve 50 °C) en az beş değer okunup ortalaması alınarak ölçümler yapılmıştır. Oda sıcaklığında saf su ve antifrizin ait ısı iletkenlik değerleri ise Tablo 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Isıl iletkenlik ölçümü için kurulan deney düzeneği

Tablo 2.3. Oda Sıcaklığında Bazı Sıvıların Isıl İletkenliklerinin Deneysel ve Literatür Değerleri [82].

Referans	Deneysel	Literatür
Saf Su	0,563 W/mK	0,597 W/mK
Antifriz	0,215 W/mK	0,219 W/mK

2.2.5. Hibrit Nanoakışkanların Viskozite Ölçümü

Viskozite ölçümleri FUNGILAB Smart serisi viskozimetre cihazı ile yapılmıştır. Numunelerin ölçümleri alınmadan önce referans olarak saf su ve antifriz kullanılarak cihaz kalibre edilmiş daha sonra numunelerin sıcaklığını kontrol etmek için Şekil 2.19'daki düzenek kurulmuş istenen sıcaklıklarda (20 °C, 30 °C, 40 °C ve 50 °C) en az beş değer okunup ortalaması alınarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler kinematik viskozite olarak okunmuş daha sonra dinamik viskoziteye çevrilmiştir.



Şekil 2.19. Viskozite ölçümü için kurulan deney düzeni

3. BULGULAR

Yukarıdaki bölümlerde de ifade edildiği gibi, bu çalışmada hibrit nanoparçacık üretilmiş ardından yine iki tür baz akışkanı içeren çok bileşenli (hibrit) yeni bir nanoakışkan üretilmiş olup daha sonra yapısal özellikleri ve termal özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

3.1. Hibrit Nanoparçacıkların Termal Analizleri

Bir numunenin yapısında meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri gözlemlemek için numunelerin sıcaklıklarının kontrol altında tutarak bazı termal analiz yöntemlerinden yararlanılır.

3.1.1. Termal İletkenlik

Hibrit nanoparçacıkların termal iletkenlik ölçümleri hesaplanırken başlangıçta numunelerin stearik asitle DSC sonuçları alınmıştır. DSC sonuçları ekzotermiktir. Elde edilen sonuçların aynı sıcaklık değerinden noktalar seçilerek eğim oluşturulmuştur. Eğim denklemine göre Tablo 3.1’de termal iletkenlik sonuçları hesaplanmıştır.

Tablo 3.1. Hibrit Nanoparçacıkların Termal İletkenlik Sonuçları

Numune	R_s (°C/W)	L (mm)	A (mm ²)	K (W/mK)
(Al ₂ O ₃)+(ZnO)+(TiO ₂)	0,066	0,78	19,625	0,602
(Al ₂ O ₃)+(ZnO) ₂ +(TiO ₂)	0,055	0,75	19,625	0,695
(Al ₂ O ₃)+(ZnO)+(TiO ₂) ₂	0,062	0,76	19,625	0,624

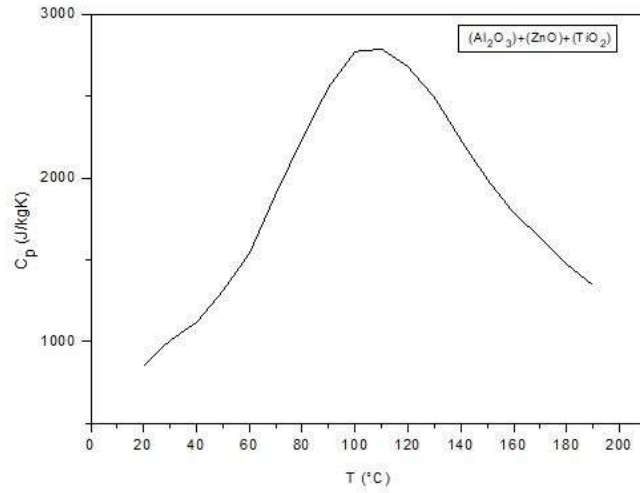
3.1.2. Sabit Basıncıta Özgül Isı Kapasitesi

Hibrit nanoparçacıkların sıcaklıkla ısı kapasitesi değişimleri 10°C/dak ısıtma hızıyla 20 °C-200 °C sıcaklık değerlerinde bulunmuştur. DSC sonuçları endotermiktir. Isı kapasitesinin sıcaklıkla değişim sonuçları Şekil 3.1- 3.3’te gösterilmiştir. Isı kapasitesi değerleri (Al₂O₃)+(ZnO)+(TiO₂) için 854 J/kgK-1344 J/kgK, (Al₂O₃)+(ZnO)₂+(TiO₂)

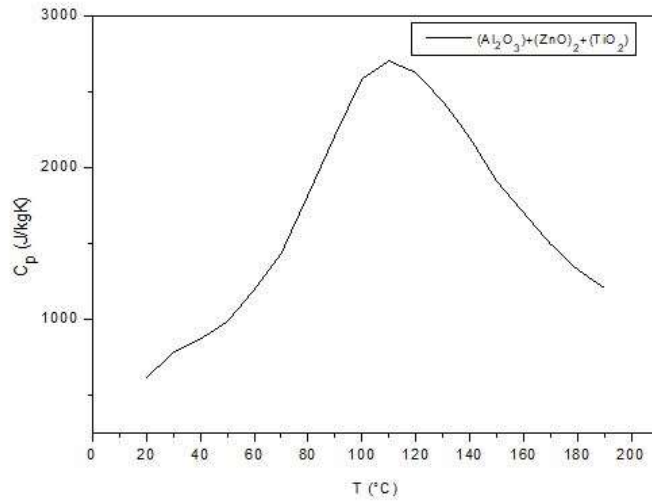
için 611 J/kgK-1203 J/kgK, $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)_2$ için 564 J/kgK-1135 J/kgK aralıklarında bulunmuştur.

Şekil 3.1. Isı kapasitesinin $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığı için sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığı için en yüksek ısı kapasitesi değerinin 110°C 'de 2,787 J/ kgK olduğu görülmüştür. Şekil 3.2. Isı kapasitesinin $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığı için sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığı için en yüksek ısı kapasitesi değerinin 110°C 'de 2,702 J/kgK olduğu görülmüştür. Şekil 3.3. Isı kapasitesinin $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Şekildende görüldüğü gibi en yüksek ısı kapasitesi değerinin 120°C 'de 1,683 J/ kgK olduğu görülmüştür.

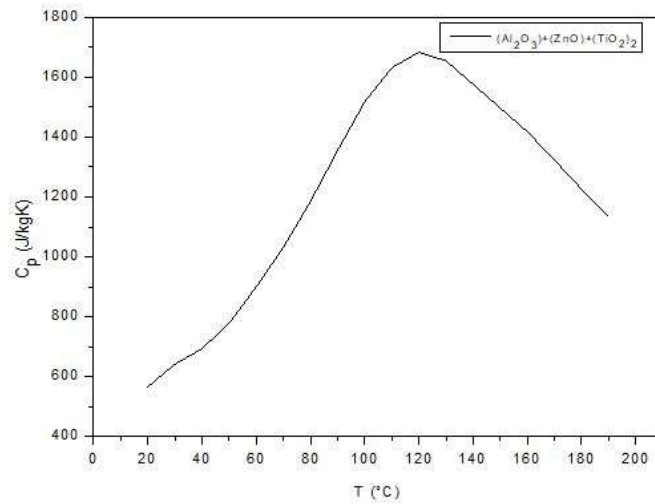
Çalışmada üç malzemeyede bakıldığında özgül ısı kapasitesi sıcaklıkla önce artan daha sonra azalan eğilim göstermiştir.



Şekil 3.1. $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)$ 'nin ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişim grafiği



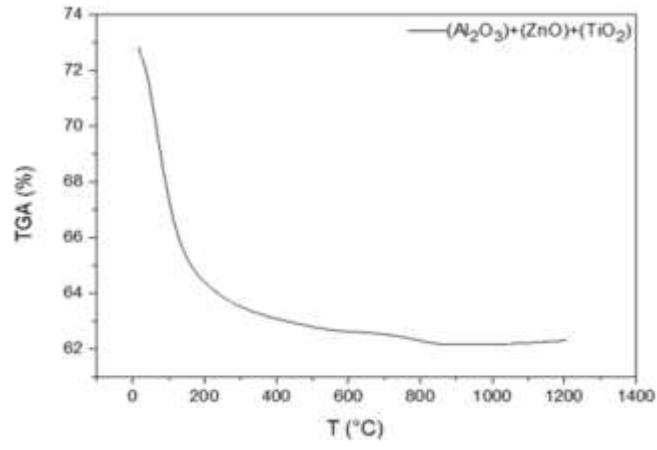
Şekil 3.2. $(Al_2O_3)_2+(ZnO)_2+(TiO_2)_2$ 'nin ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişim grafiği



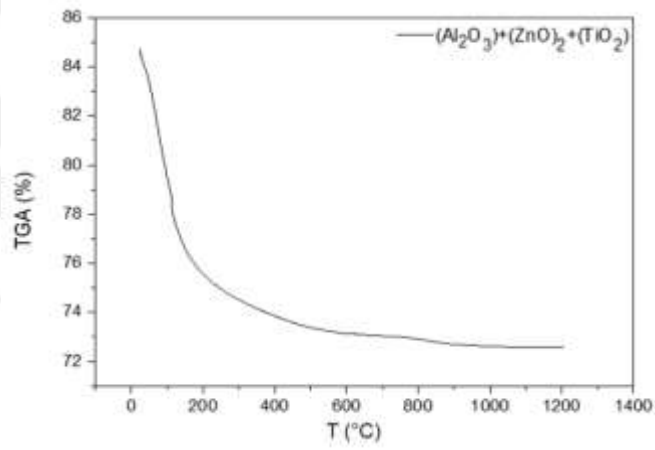
Şekil 3.3. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)_2$ 'nin ısı kapasitesinin sıcaklıkla değişim grafiği

3.1.3. TGA Analizi

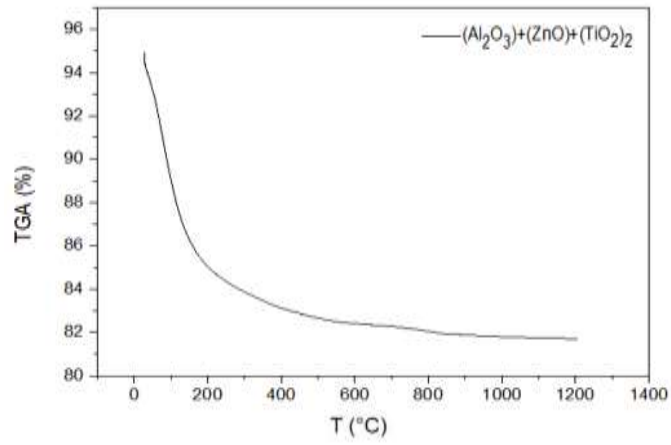
Termogravimetrik analiz, nanoparçacığın termal kararlılığını doğrulamak için gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4-3.6 hibrit nanoparacıkların termogravimetrik analiz görüntülerini göstermektedir. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi malzemenin kütlesinde yaklaşık olarak % 10 oranında bir azalmameydana gelmiştir. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi malzemenin kütlesinde yaklaşık olarak % 10 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi malzemenin kütlesinde yaklaşık olarak % 12 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Üç numunede de sıcaklık 800 °C yi aşıttan sonra kütle değeri sabitlenmiştir.



Şekil 3.4. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için TGA eğrisi



Şekil 3.5. $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için TGA eğrisi



Şekil 3.6. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için TGA eğrisi

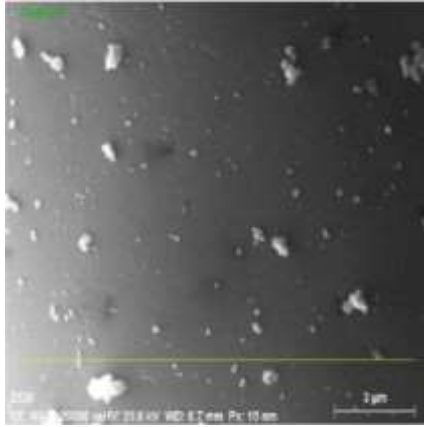
3.1.5. EDS Analizleri

EDS analizi hibrit nanoparçacıkların bileşiminde elementlerin hangi oranda bulunduğunu gösterir.

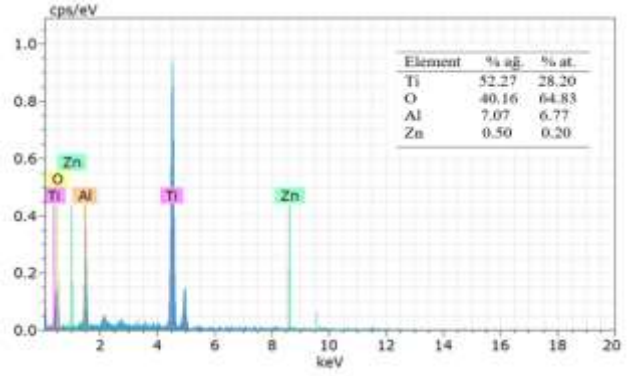
$(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacıklarından alınan SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu Şekil 3.10'da verilmiştir. Şekil 3.10 (a)'da SEM mikroyapısı verilen 1:1:1 ağırlık oranlarında karıştırılan $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ nanotaneceklerin SEM mikroyapısında; hidrotermal yöntemle üretilen tozların, düzensiz şekilli bir görünümle elde edilebileceğini göstermektedir. Şekil 3.10 (b)'de Şekil 3.10 (a)'da SEM mikroyapısı görülen nanotozun EDS grafiği verilmiştir. Şekil 3.10 (b)'ye göre nanotaneler ağırlıkça % 52,27 Ti, % 40,16 O, %7,07 Al, % 0,50 Zn elementleriyle üretilmiştir.

$(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacıklarından alınan SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu Şekil 3.11'de verilmiştir. Şekil 3.11 (a)'da SEM mikroyapısı verilen 1:2:1 ağırlık oranlarında karıştırılan $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ nanotaneceklerin SEM mikroyapısında; hidrotermal yöntemle üretilen tozların, düzensiz şekilli bir görünümle elde edilebileceğini göstermektedir. Şekil 3.11 (b)'de, Şekil 3.11 (a)'da SEM mikroyapısı görülen nanotozun EDS grafiğini göstermektedir. Şekil 3.11 (b)'ye göre nanotaneler ağırlıkça % 70,70 Ti, % 20,43 O, % 7,63 Al ve % 1,24 Zn elementleriyle üretilmiştir.

$(Al_2O_3)+(ZnO) + (TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacıklarından alınan SEM görüntüsü ve EDS analiz sonucu Şekil 3.12'de verilmiştir. Şekil 3.12 (a)'da SEM mikroyapısı verilen 1:1:2 ağırlık oranlarında karıştırılan $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)_2$ nanotaneceklerin SEM mikroyapısında; hidrotermal yöntemle üretilen tozların, düzensiz şekilli bir görünümle elde edilebileceğini göstermektedir. Şekil 3.12 (b)'de, Şekil 3.12 (a)'da SEM mikroyapısı görülen nanotozun EDS grafiğini göstermektedir. Şekil 3.12 (b)'ye göre nanotaneler ağırlıkça % 58,14 Ti, % 33,82 O, % 6,45 Al, % 1,59 Zn elementleriyle üretilmiştir.

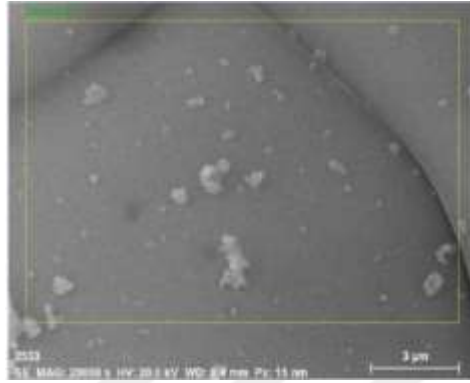


(a)

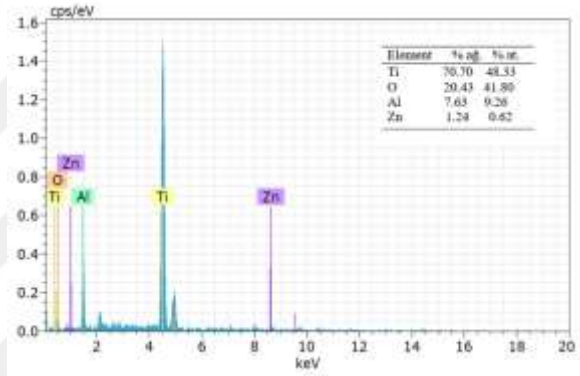


(b)

Şekil 3.10. $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığının (a) SEM (b) EDS sonucu

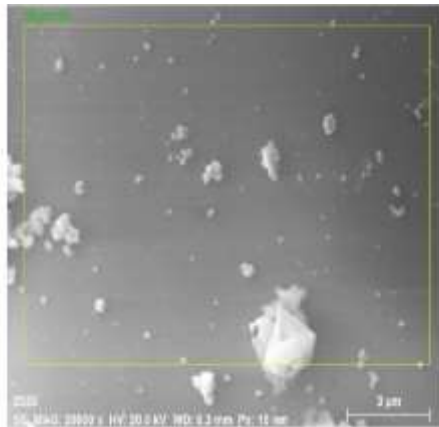


(a)

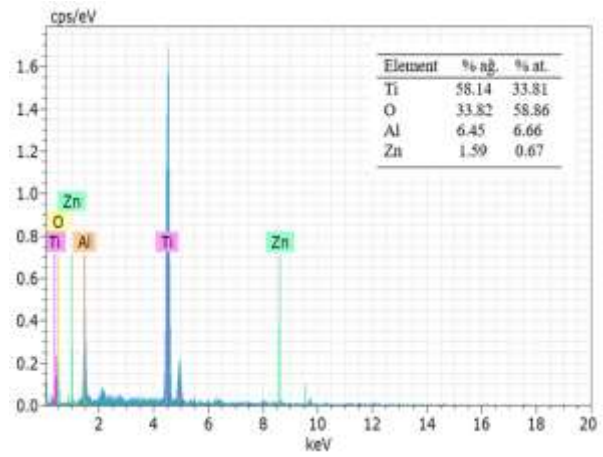


(b)

Şekil 3.11. $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığının (a) SEM (b) EDS sonucu



(a)

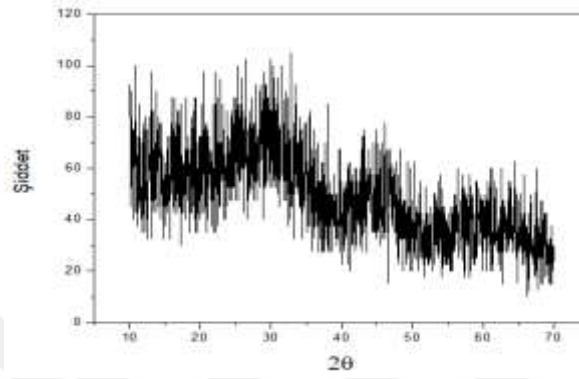


(b)

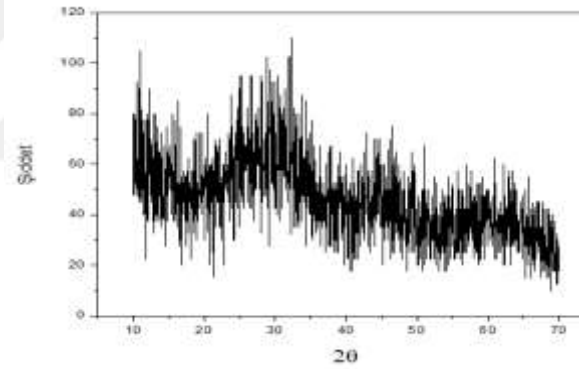
Şekil 3.12. $(Al_2O_3)+(ZnO) + (TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığının (a) SEM (b) EDS sonucu

3.1.6. XRD Analizleri

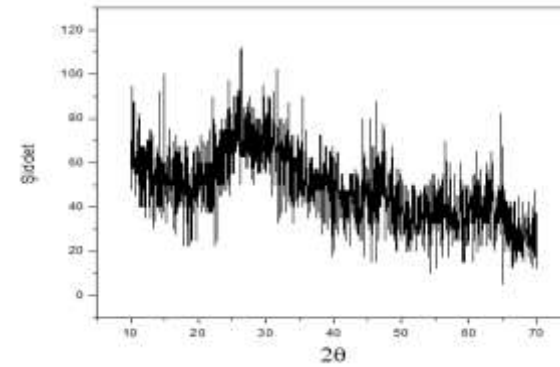
Şekil 3.13 – Şekil 3.15’te üç numune için XRD analiz sonuçları gösterilmiştir. Burada her üç numune için ayrı ayrı bakıldığında keskin piklerin görülmeyişi malzemelerin düşük oranda kristal olduğunu gösterir ve yapılar yaklaşık olarak amorf yapıya yakındır.



Şekil 3.13. $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığı için XRD analiz sonucu



Şekil 3.14. $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığı için XRD analiz sonucu



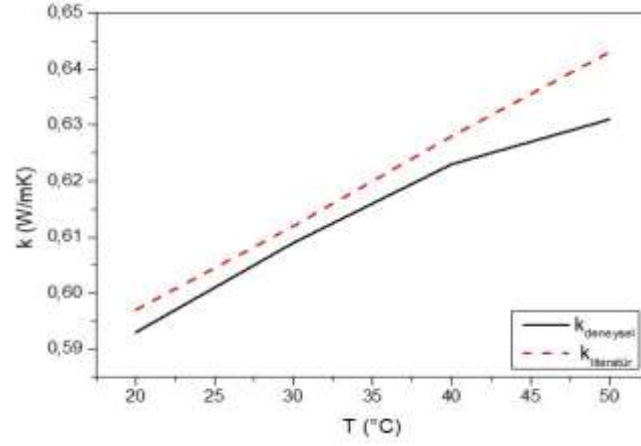
Şekil 3.15. $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için XRD analiz sonucu

3.1.7. Hibrit Nanoakışkanların Isıl İletkenlik Ölçüm Sonuçları

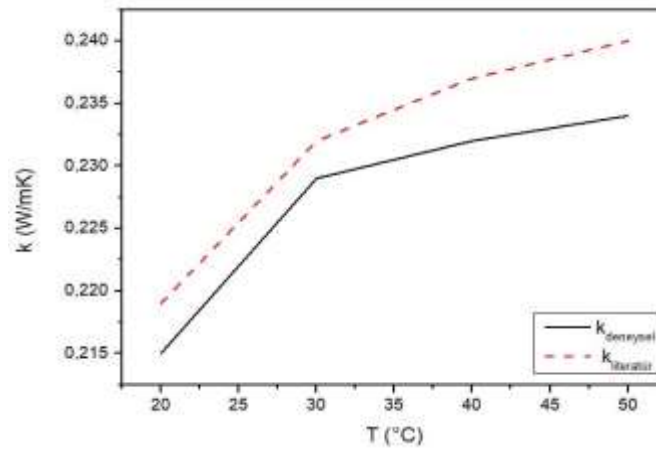
Hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlik ölçümleri yapılırken öncelikle baz akışkanı antifriz ve saf su için ısı iletkenlik değerleri ölçülüp literatür değerleriyle karşılaştırılmış sonuçlar Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de gösterilmiştir. Antifrizin ait fiziksel özellikler ise Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Deneylerde kullanılan antifrizin fiziksel özellikleri

Tip	Etilen Glikol Esaslı Opet Süper Antifriz
Yoğunluk (20 °C’de)	1,120 g/ml
pH (% 50 su karışımı)	8,6
Kaynama Noktası	163 °C
Donma Noktası	-37 °C



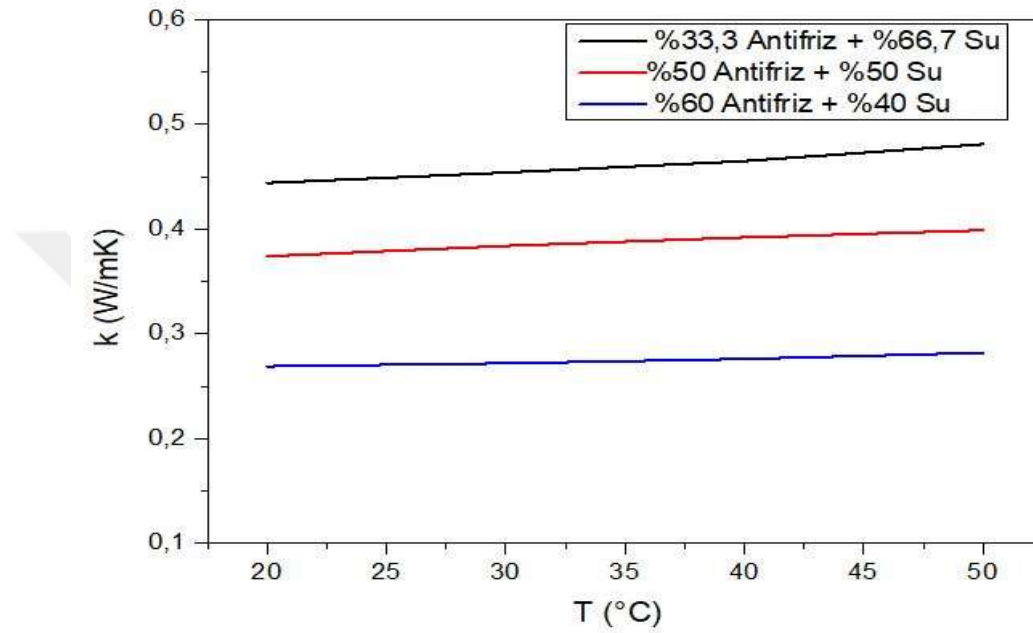
Şekil 3.16. Saf su ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi [82].



Şekil 3.17. Saf antifrizin ısı iletim katsayısının sıcaklık ile değişimi [82].

Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de görüldüğü gibi saf su ve saf antifrizin ısı iletkenliği sıcaklık arttıkça artan bir eğilim göstermektedir. Yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlarla literatürde yer alan çalışmalar kıyaslanarak çalışma desteklenmiştir.

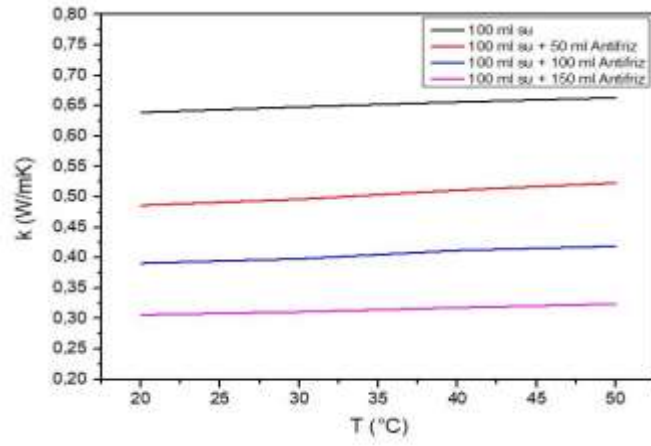
Saf su ve saf antifrizle ile yapılan deneylerden sonra sırasıyla hacimce % 33,3 antifriz – % 66,7 saf su, % 50 antifriz – % 50 saf su, % 60 antifriz – % 40 saf su karışımı ile bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir.



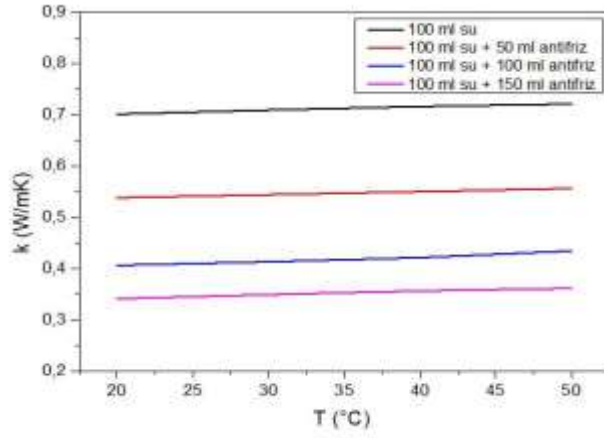
Şekil 3.18. Saf su-antifriz karışımının ısı iletim katsayılarının sıcaklık ile değişimi

Şekil 3.18’de görüldüğü gibi artan sıcaklık değerine paralel olarak ısı iletim katsayısı artmıştır. Sıcaklık artışı her bir numune için doğrusal (lineer) olarak değişmektedir. Bununla birlikte, saf suya katılan antifriz miktarı arttırıldıkça ısı iletim katsayısının antifrizin miktarına bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Buna göre saf su içerisine antifriz ilave edildiğinde, ilave edilen miktara paralel olarak ısı iletim katsayısının azaldığı sonucuna varılmıştır.

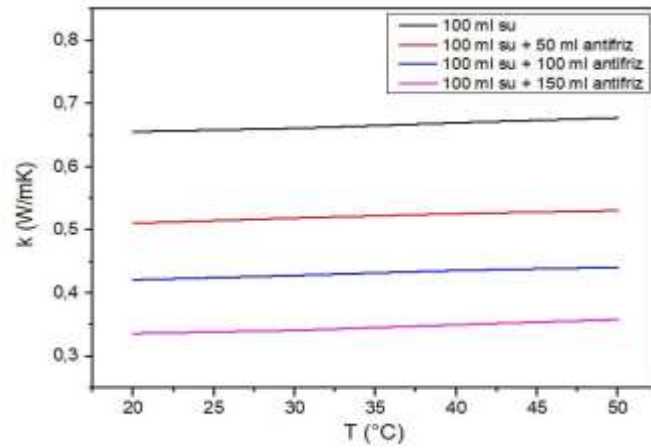
Hibrit nanoakışkanların farklı ısı iletkenlik sonuçlarını ölçmek için saf suya belirli hacim oranlarında antifriz eklenmiştir ve elde edilen veriler aşağıdaki grafiklerde verilmiştir.



Şekil 3.19. Isıl iletkenliğin $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.20. Isıl iletkenliğin $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.21. Isıl iletkenliğin $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi

Hibrit nanoakışkanların 20 °C ve 50 °C sıcaklık değerlerindeki ısı iletkenlikleri sırayla % 100 saf suda ve daha sonra hacimce % 33,3 antifriz – % 66,7 saf su, % 50 antifriz – % 50 saf su, % 60 antifriz – % 40 saf su karışımı için ölçülmüştür.

- Hibrit nanoparçacıkların DSC’de alınan termal iletkenlik sonuçlarına bakılarak hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısı iletkenlikleri Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de gösterilmiştir. 20 °C-50 °C sıcaklık aralıklarında ısı iletkenlikteki en düşük artışın Şekil 3.19’da görüldüğü gibi (Al₂O₃)+(ZnO)+(TiO₂), en yüksek artışın ise Şekil 3.21’de görüldüğü gibi (Al₂O₃)+(ZnO)₂+(TiO₂) olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra deneyler saf suya antifriz eklenerek aynı sıcaklık aralıklarında tekrar edilmiştir. Buna göre saf suya katılan antifriz miktarı arttırıldıkça, ısı iletkenlik değerinin artan antifriz miktarına bağlı olarak azaldığı, artan sıcaklıkla birlikte ise ısı iletkenlikte artışın olduğu gözlemlenmiştir. Artıştaki bu fark, hibrit nanoakışkanın sıcaklığı arttığında, su molekülleri ve antifriz ile hibrit nanoparçacıklar arasındaki mikro iletimden kaynaklanmaktadır. Sıcaklığın 20 °C’den 50 °C’ye yükseltilmesinin nanoakışkanın ısı iletkenliğini artırdığı gözlemlenmiştir. (Al₂O₃)+(ZnO)₂+(TiO₂) hibrit nanoparçacığı içeren akışkanın ısı iletkenliğinin farklı hacimsel orandaki baz akışkanlarının ısı iletkenliğine kıyasla daha yüksek olduğu ve bu artışın % 100 saf su, 50 °C sıcaklık için % 21,5 olduğu görülmüştür (Bkz.Ek 1-4).

Bu deneysel çalışmalar sonucunda yapılan regrasyon analizine göre üç farklı numune için ısı iletkenlik katsayısının (k) yoğunluk (ρ), sıcaklık (T) ve baz akışkanının hacimsel konsantrasyonun (X) fonksiyonu olarak aşağıda verilmiştir.

$$k= 2.368559 - 0.0008*T -0.00158*\rho - 0.00104*X \quad R^2 = 0.994238 \quad (3.1)$$

$$k=3.442877- 0.0197*T -0.00248*\rho - 0.00151*X \quad R^2 = 0.973258 \quad (3.2)$$

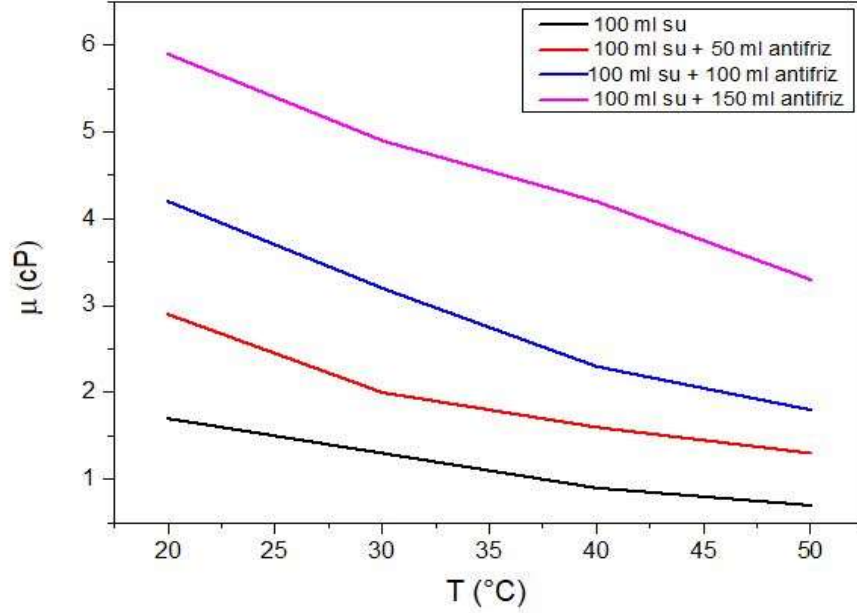
$$k= - 0.79398 + 0.002218*T -0.001544*\rho - 0.00251*X \quad R^2 = 0.984702 \quad (3.3)$$

3.1.8. Hibrit Nanoakışkanların Viskozite Ölçüm Sonuçları

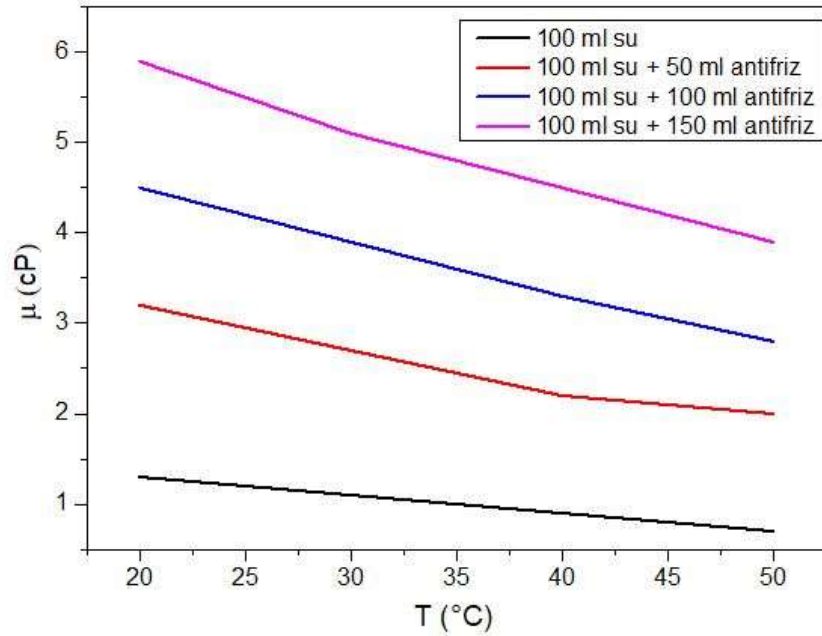
Nanoakışkanların viskozitesi üzerine daha az sayıda çalışma yapılmış olsa da bu termofiziksel özellik ısı iletkenliği kadar önemlidir çünkü akış ve ısı transfer özelliklerini etkileyebilir.

Şekil 3.22-Şekil 3.24 viskozitenin farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf su ve saf antifrizle ile yapılan deneylerden sonra sırasıyla hacimce % 33,3 antifriz – % 66,7 saf su, % 50 antifriz – % 50 saf su, % 60 antifriz – % 40 saf su karışımı ile deneyler tekrarlanmıştır. Grafikler

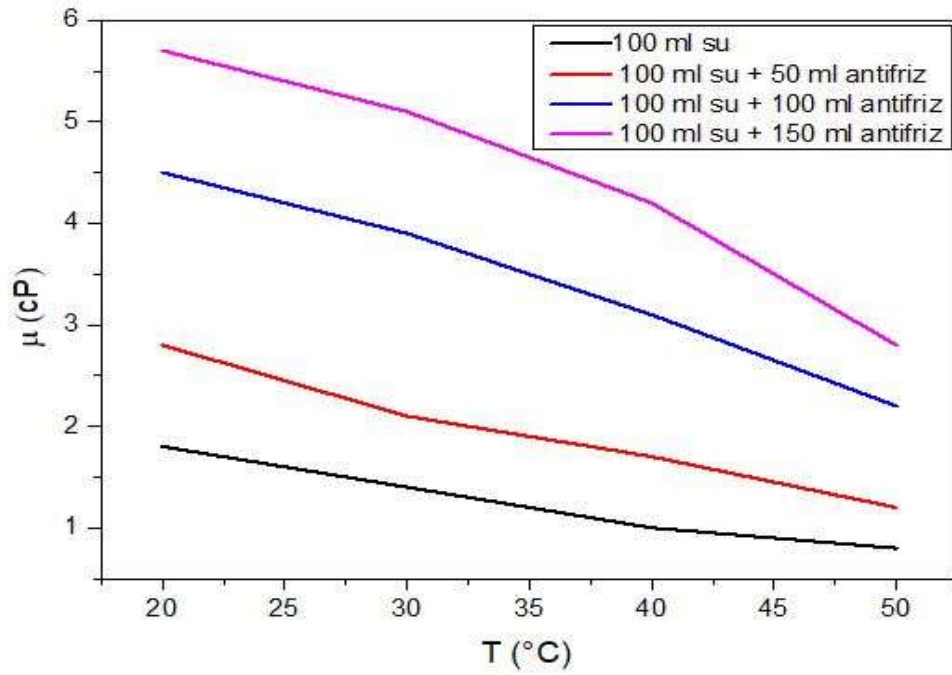
incelendiğinde dinamik viskozite sıcaklık arttıkça azalmıştır bununla birlikte saf suya katılan antifriz miktarı artırıldıkça viskozite değeri önemli oranda azalma eğilimi göstermiştir.



Şekil 3.22. Viskozitenin $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.23. Viskozitenin $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi



Şekil 3.24. Viskozitenin $(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)_2$ hibrit nanoparçacığı için farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi

Tablo 3.3'te çalışmada hibrit nanoakışkanların oda sıcaklığında alınan ölçüm sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Hibrit Nanoakışkanların 100 ml suda 20 °C' de Termofiziksel Özellikleri

Numune	k (W/mK)	μ (cP)	ρ (g/cm ³)
$(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)$	0,639	1,7	1,034
$(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$	0,701	1,3	1,035
$(Al_2O_3)+(ZnO)+(TiO_2)_2$	0,656	1,8	1,061

3.1.9. Hibrit Nanoakışkanların Yoğunluk Ölçüm Sonuçları

Tablo 3.4-3.6'da yoğunluğun farklı baz akışkan oranlarında sıcaklıkla değişimi gösterilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi hibrit nanoakışkanların yoğunluğu, sıcaklık arttıkça azalırken, eklenen antifriz miktarına paralel olarak yoğunlukta artış gözlenmiştir.

Tablo 3.4. $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığının farklı baz akışkanları için yoğunluk değerleri

Nanoakışkan	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Yoğunluk (g/cm^3)
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2) + 100$ ml su	20	1,0346
	30	1,0291
	40	1,0178
	50	1,0113
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2) + 100$ ml su + 50 ml antifriz	20	1,0915
	30	1,0894
	40	1,0745
	50	1,0635
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2) + 100$ ml su + 100 ml antifriz	20	1,1185
	30	1,1094
	40	1,0971
	50	1,0835
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2) + 100$ ml su + 150 ml antifriz	20	1,1584
	30	1,1468
	40	1,1322
	50	1,1203

Tablo 3.5. $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığının farklı baz akışkanları için yoğunluk değerleri

Nanoakışkan	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Yoğunluk (g/cm^3)
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2) + 100$ ml su	20	1,0354
	30	1,0288
	40	1,0132
	50	1,0074
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2) + 100$ ml su + 50 ml antifriz	20	1,0615
	30	1,0573
	40	1,0452
	50	1,0271
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2) + 100$ ml su + 100 ml antifriz	20	1,0774
	30	1,0655
	40	1,0532
	50	1,0412
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})_2+(\text{TiO}_2) + 100$ ml su + 150 ml antifriz	20	1,0902
	30	1,0875
	40	1,0736
	50	1,0612

Tablo 3.6. $(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)$ hibrit nanoparçacığının farklı baz akışkanları için yoğunluk değerleri

Nanoakışkan	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Yoğunluk (g/cm^3)
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)_2 + 100$ ml su	20	1,0615
	30	1,0578
	40	1,0436
	50	1,0312
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)_2 + 100$ ml su + 50 ml antifriz	20	1,0735
	30	1,0685
	40	1,0534
	50	1,0471
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)_2 + 100$ ml su + 100 ml antifriz	20	1,0814
	30	1,0747
	40	1,0684
	50	1,0532
$(\text{Al}_2\text{O}_3)+(\text{ZnO})+(\text{TiO}_2)_2 + 100$ ml su + 150 ml antifriz	20	1,1025
	30	1,0978
	40	1,0836
	50	1,0736

4. SONUÇLAR

Belirli oranlarda üç farklı nanoparçacık kullanılarak kompozit bir nanoparçacık elde edilmiş, kompozit nanoparçacığın termal özelliklerine bakılmış ve daha sonra antifiriz-su karışımını baz akışkan alınarak hibrit bir nanoakışkan üretilip termofiziksel özellikleri ölçülmüştür. Üretimi gerçekleştirilen hibrit nanoparçacıkların, taramalı elektron mikroskobu (SEM), enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisi (EDX), X-ışını toz kırınımı (XRD), Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC), Termogravimetrik Analiz (TGA), analizleri üç farklı numune için ayrı ayrı yapılmıştır. Hazırlanan hibrit nanoakışkanların bütün karışım oranlarında ve farklı sıcaklık aralıklarında ısı iletkenlik, viskozite değerleri ölçülmüştür. Çalışma neticesinde elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Hibrit nanoparçacıklar farklı kütle oranlarında, hidrotermal yöntemiyle başarıyla üretilmiştir.
- İki aşamalı yöntem kullanılıp hibrit nanoakışkan üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.
- Hibrit nanoakışkanın ısı iletkenliği bütün karışım oranlarında baz akışkanın (su, EG-su) ısı iletkenliğinden büyük olduğu gözlemlenmiştir.
- En yüksek ısı iletkenliğinin $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoakışkanında olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığının ısı iletkenliğindeki yüksek artıştan kaynaklanabileceği sonucuna varılmıştır.
- Isı iletkenliğinin farklı sıcaklık değerleri için lineer olarak arttığı görülmüştür. Elde edilen regresyon analizleri sonucu üç farklı numune için ısı iletkenlik katsayısının yoğunluk, sıcaklık ve baz akışkanının hacimsel konsantrasyonun fonksiyonu olarak hesaplanmıştır.
- Hibrit nanoakışkan için viskozite değerlerinin farklı baz akışkan oranlarında arttığı, artan sıcaklıkla ise azaldığı gözlemlenmiş bu durumun askıda kalan nanoparçacıkların oluşturduğu dirençten kaynaklanabileceği düşünülmüştür.
- Yüksek viskozite artışı ise numunelerde istenmeyen bir etki yaratmaktadır. Dolayısıyla, endüstriyel uygulamalarda sistem dikkate alınarak viskozite değerinin optimal düzeyi tartışılmalıdır.

- Hibrit nanoakışkanlar için farklı sıcaklık değerlerinde yoğunluk değerleri ölçülmüş yoğunluğun sıcaklıkla çok büyük bir değişim göstermediği, artan sıcaklık ile azaldığı sonucuna varılmıştır.
- Hibrit nanoakışkanlar hazırlandıktan on gün sonra kararlılıklarının hemen hemen kaybolduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedenlerinden birinin cam numune şişelerindeki akışkanların buharlaşmasından kaynaklanabileceği düşünülmüştür.



5. ÖNERİLER

Hem hibrit nanoparçacık hem de hibrit baz akışkan içeren çoklu hibrit nanoakışkanda $(Al_2O_3)+(ZnO)_2+(TiO_2)$ hibrit nanoparçacığının kullanılması uygundur. Elde edilen akışkan, mühendislik uygulamalarında ve sanayide farklı termal çalışmalar için kullanılabilir. Çalışmadaki veriler esas alınarak, sayısal analiz çalışmaları gerçekleştirilebilir. Daha farklı nanoparçacık hacimsel oranları için ölçümler yapılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] Turgut, A., Sağlanmak, Ş., Doğanay, S. (2016). Nanoakışkanların ısı iletkenlik ve viskozitesinin deneysel incelenmesi: Tanecik boyutu etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 1:95-103.
- [2] Sharifpur, M., Tshimanga, N., Meyer, J.P., Manca, O. (2017). Experimental investigation and model development for thermal conductivity of α -Al₂O₃-glycerol nanofluids, International Communications in Heat and Mass Transfer 85: 12–22.
- [3] Lee, J.H., K.S, Hwang., Seok, P.J., Lee, B.H., Kim, J.H., Choi, S.U.S., Choi, C.J. (2008). Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al₂O₃ nanoparticles, International Journal of Heat and Mass Transfer, 51:11-12.
- [4] Wen, D., Ding, Y. (2004). Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, International Journal of Heat and Mass Transfer, 47:5181-5188.
- [5] Zhou, S.Q, Ni, R. (2008). Measurement of the specific heat capacity of water-based Al₂O₃ nanofluid, Applied Physics Letters, 92.
- [6] Ögüt, E, B., Öztop, H.F., Kılıçtepe, M. (2017). Üçgen Bir Kavite İçerisindeki Bakır-Su Nanoakışkanların Doğal Konveksiyon Üzerinde Viskozite Modellerinin Etkisi, Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29:37-43.
- [7] Heris, S.Z., Etemad, S.G., Esfahany, M.N. (2006). Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, International Communications in Heat and Mass Transfer, 33:529-535.
- [8] Sarıca, O., Dincer, K., Ata, S., Önal, G. (2016). Mini kanallarda Cu-Su nanoakışkanının sıcaklık performansının deneysel olarak incelenmesi, Selçuk-Teknik Dergisi, 15:3.
- [9] Sekhar, Y.R., Sharma, K.V. (2015). Study of viscosity and specific heat capacity characteristics of water-based Al₂O₃ nanofluids at low particle concentrations, Journal of Experimental Nanoscience 10:86-102.
- [10] Tavman, I., Turgut, A., Chirtoc, M., Hadjov, K., Fudym, O., Tavman, S. (2010). Experimental Study on Thermal Conductivity and Viscosity of Water-Based Nanofluids, Heat Transfer Research, 40:339-351.

- [11] Bajestan, E.E., Moghadam, M. C., Niazmand, H., Daungthongsuk, W., Wongwises, S. (2016). Experimental and numerical investigation of nanofluids heat transfer characteristics for application in solar heat exchangers, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 92:1041-1052.
- [12] Turgut, A., Tavman, I., M. Chirtoc, M., Schuchmann, H. P., Sauter, C., Tavman, S. (2009). Thermal Conductivity and Viscosity Measurements of Water-Based TiO₂ Nanofluids, *International Journal of Thermophysics*, 30:1213-1226.
- [13] Esfahani, N.N., Toghraie, D., Afrand, M. (2018). A new correlation for predicting the thermal conductivity of ZnO–Ag (50%–50%)/water hybrid nanofluid: An experimental study, *Powder Technology*, 323:367-373.
- [14] Akilu, S., Baheta, A.T., Sharma, K.V. (2017). 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.
- [15] Cabaleiro, D., Gracia-Fernández, C., Legido, J.L., Lugo, L. (2015). Specific heat of metal oxide nanofluids at high concentrations for heat transfer, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 88:872-879.
- [16] Baratpour, M., Karimipour, A., Afrand, M., Wongwises, S. (2016). Effects of temperature and concentration on the viscosity of nanofluids made of single-wall carbon nanotubes in ethylene glycol, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 74:108-113.
- [17] Yarmand, H., Zulkifli, N.W.B.M., Gharehkhani, S., Seyed, S.F. (2017). Convective heat transfer enhancement with graphene nanoplatelet/platinum hybrid nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 88:120-125.
- [18] Menlik, T., Sözen, A., Gürü, M., Çağlayan, N., Öztaş, S. (2015). Spineloksit partikül içeren nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 285-304.
- [19] Elçioğlu, E. B., Yazıcıoğlu, A.G., Kakaç, S. (2014). Nanoakışkan viskozitesinin karşılaştırmalı değerlendirmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 34, 1, 137-151.
- [20] Witharana, S., Chen, H., Ding, Y. (2010). *Nanofluids for Heat Transfer. Handbook of Nanophysics, Nanoparticles and Quantum Dots.*

- [21] Hadadian, M., Samiee, S., Ahmadzadeh, H., Goharshadi, E.K. (2013). Nanofluids for Heat Transfer Enhancement-A Review, *Physical Chemistry Research*, 1, 1, 1-33.
- [22] Mukherjee, S., Paria, S. (2013). Preparation and Stability of Nanofluids-A Review, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 9,2, 63-69.
- [23] Şahin, F., Namlı, L. (2018). Nanoakışkanlarda Kararlılığın Isı Transferini İyileştirme Açısından Önemi, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7,2, 880-898.
- [24] Tanvir, S., Qiao, L. (2012). Surface tension of Nanofluid-type fuels containing suspended nanomaterials, *Nanoscale Research Letters*, 7-226.
- [25] Yua, F., Chena, Y., Liangb, X., Xua, J., Leea, C., Lianga, O., Taoa, P., Deng, T. (2017). Dispersion stability of thermal nanofluids, *Progress in Natural Science: Materials International*, 27, 531-542.
- [26] Babu, R.J.A., Kumar, K.K., Rao, S.S. (2017). State-of-art review on hybrid nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 77, 551-565.
- [27] Sajid, M. U., Muhammad Ali, H. (2018). Thermal conductivity of hybrid nanofluids: A critical review, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126, 211–234.
- [28] Asadi, A., Asadi, M., Rezaniakolaei, A., Rosendahl, L.A., Afrand, M., Wongwises, S. (2018). Heat transfer efficiency of Al_2O_3 -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.
- [29] Parsian, A., Akbari, M. (2018). 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.
- [30] Wei, B., Zou, C., Yuan, X., Li, X. (2017). Thermo-physical property evaluation of diathermic oil based hybrid nanofluids for heat transfer applications, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 107, 281-287.
- [31] Hamid, K.A., Azmi, W.H., Nabil, M.F., Mamat, R. (2017). Improved thermal conductivity of TiO_2 - SiO_2 hybrid nanofluid in ethylene glycol and water mixture *International Conference on Mechanical Engineering Research*.

- [32] Harandi, S.S., Karimipour, A., Afrand, M., Akbari, M., D'Orazio, A. (2016). An experimental study on thermal conductivity of F-MWCNTs-Fe₃O₄/EG hybrid nanofluid: Effects of temperature and concentration, *International Communications in Heat and Mass*, 76, 171-177.
- [33] Benim, A.C., Tahat, M.S. (2017). Experimental Analysis on Thermophysical Properties of Al₂O₃/CuO Hybrid Nano Fluid with its Effects on Flat Plate Solar Collector, 374, 148-156.
- [34] Jha, N., Ramaprabhu, S. (2019). Thermal conductivity studies of metal dispersed multiwalled carbon nanotubes in water and ethylene glycol based nanofluids, *Journal of Applied Physics*, 106,8.
- [35] Aberoumand, S.,Jafarimoghaddam, A. (2018). Tungsten (III) oxide (WO₃) – Silver/transformer oil hybrid nanofluid: Preparation, stability, thermal conductivity and dielectric strength, *Alexandria Engineering Journal*, 57,1, 169-174.
- [36] Chopkar, K. M., Kumar, S. (2007). Development and characterization of Al₂Cu and Ag₂Al nanoparticle dispersed water and ethylene glycol based nanofluid, *Materials Science and Engineering: B*, 139,2-3, 141-148.
- [37] Keblinski, P., Eastman, J.A., Cahill, D.G. (2005), *Nanofluids for thermal transport*, *Materialstoday*, 8,6, 36-44.
- [38] Mashali, F., Languri, E.M., Davidson, J., Kerns, D., Johnson, W., Nawaz, K., Cunningham, G. (2019). Thermo-physical properties of diamond nanofluids: A review, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 129, 1123-1135.
- [39] Mertkan, F., Günerhan, A.H. (2017). Enerji Uygulamalarında Kullanılan Nanoakışkanların Isıl Özellikleri, *Teknolojik Araştırma Bildiriler*
- [40] Moosavi, M., Goharshadi, E.K. Youssefi, A. (2010). Fabrication, characterization, and measurement of some physicochemical properties of ZnO nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 31, 4, 599-605
- [41] Kumar, T.A., Pradyumna, G., Jahar, S. (2012). Investigation Of Thermal Conductivity And Viscosity Of Nanofluids, *Journal of Environmental Research And Development*, 7, 2.

- [42] Yeganeh, M., Shahtahmasebi, N., Kompany, A., Goharshadi, E.K., Youssefi, A., Šiller, L. (2010). Volume fraction and temperature variations of the effective thermal conductivity of nanodiamond fluids in deionized water, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53, 15–16, 3186-3192.
- [43] Teng, T.P., Hung, Y.H., Teng, T.C., Mo, H.E., Hsu, H.G. (2010). The effect of alumina/water nanofluid particle size on thermal conductivity, *Applied Thermal Engineering*, 30: 2213–2218.
- [44] Murshed, S.M.S., Leong, K.C., Yang, C. (2005). Enhanced thermal conductivity of TiO₂-water based nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences.*, 44, 367-373.
- [45] Duangthongsuk, W., Wongwises, S. (2019). Measurement of temperature-dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂-water nanofluids, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33, 4, 706-714.
- [46] Paul, G., Chopkar, M., Manna, I., Das, P.K. (2010). Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 7, 1913-1924.
- [47] Karabulut, K. (2015). Isı Değiştiricilerde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması, Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [48] Yang, L., Xu, J., Du, K., Zhang, X. (2017). Recent developments on viscosity and thermal conductivity of nanofluids, *Powder Technology*, 317, 348-369.
- [49] Mishra, P.C., Mukherjee, S., Nayak, S.K., Panda, A. (2014). A brief review on viscosity of nanofluids, *International Nano Letters*, 4, 4, 109–120 .
- [50] Baratpour, M., Karimipour, A., Afrand, M., Wongwises, S. (2016). Effects of temperature and concentration on the viscosity of nanofluids made of single-wall carbon nanotubes in ethylene glycol, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 74, 108-113.
- [51] Jia-Fei, Z., Zhong-Yang, L., Ming-Jiang, N., Ke-Fa, C. (2009). Dependence of Nanofluid Viscosity on Particle Size and pH Value, 26, 6.
- [52] Namburu, P.K., Kulkarni, D.P., Misra, D., Das, D.K. (2007). Viscosity of copper oxide nanoparticles dispersed in ethylene glycol and water mixture. *Exp. Therm. Fluid.* 32, 2, 397–402.

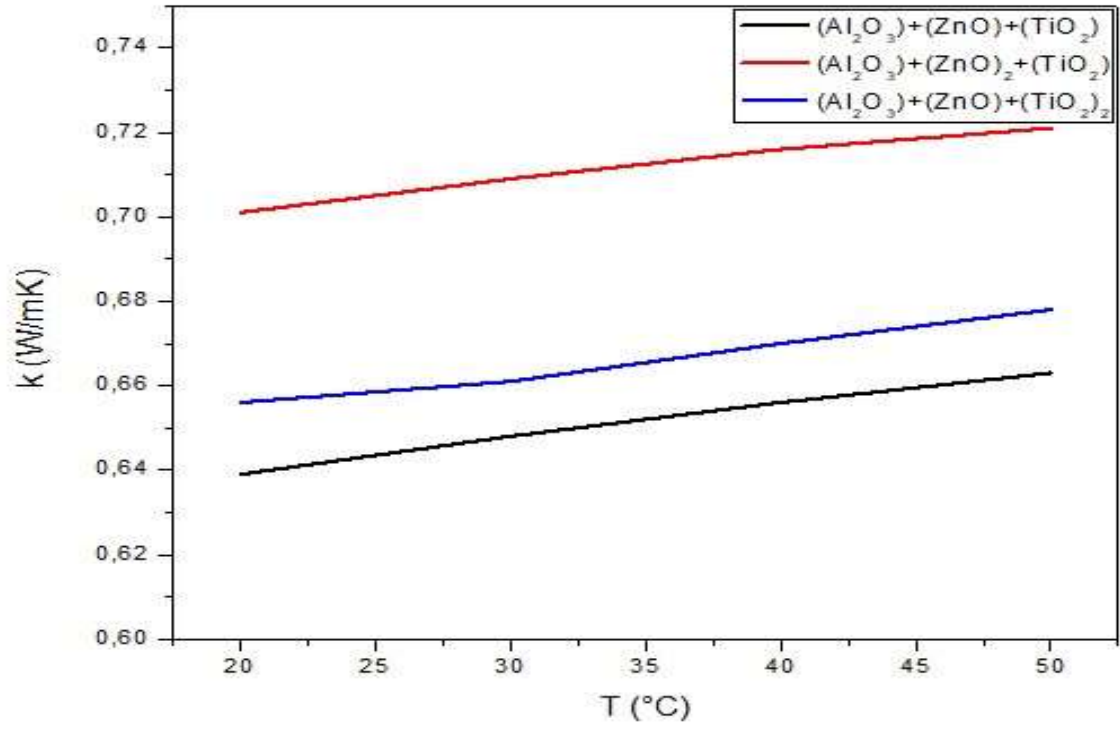
- [53] Moraveji, M.K., Beheshti, A.R. (2014). CFD Study of the Turbulent Forced Convective Heat Transfer of Non-Newtonian Nanofluid, Department of Chemical Engineering, Amirkabir University of Technology, 11,2.
- [54] Wang, X., Xu X., Choi Stephan, U.S. (1999). Thermal conductivity of nanoparticle–fluid mixture. *Journal of Thermophysics Heat Transfer*, 13 4, 474-480.
- [55] Khanafer, K., Vafai, K. (2011). A critical synthesis of thermophysical characteristics of nanofluids. *Int. J. Heat Mass Trans.*, 54, 4410-4428.
- [56] Sundar, L.S., Sharma, K.V., Singh, M.K., Sousa, A.C.M. (2017). Hybrid nanofluids preparation, thermal properties, heat transfer and friction factor – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 185–198.
- [57] Asadi, A., Asadi, M., Rezaniakolaei, A., Rosendahl, L.A., Afrand, M., Wongwises, S. (2018). Heat transfer efficiency of Al_2O_3 -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.
- [58] Kumar, M.S., Vasu, V., Gopal, A.V. (2016). Thermal conductivity and rheological studies for Cu–Zn hybrid nanofluids with various basefluids, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 66, 321-327.
- [59] Senthilraja, S., Vijayakumar, K., Gangadevi, R. (2015). A comparative study on thermal conductivity of Al_2O_3 /water, CuO/water and Al_2O_3 –CuO/water nanofluids, *Dig. J. Nanomater. Biostruct.* 10, 1449–1458.
- [60] Akilu, S., Baheta, A.T., Sharma, K.V. (2017). Experimental measurements of thermal conductivity and viscosity of ethylene glycol-based hybrid nanofluid with TiO_2 -CuO/C inclusions, *Journal of Molecular Liquids*, 246, 396-405.
- [61] Yarmand, H., Gharehkhani, S., Shirazi, S.F.S. Amiri, A., Montazer, E., Arzani, K.H., Sadri, R., Dahari, M., Kazi, S.N. (2016). Nanofluid based on activated hybrid of biomass carbon/graphene oxide: Synthesis, thermo-physical and electrical properties, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 72, 10-15.
- [62] Sahoo, R.R., Ghosh, P., Sarkar, J. (2016). Performance Analysis of a Louvered Fin Automotive Radiator Using Hybrid Nanofluid as Coolant, *Heat Transfer Asian Research*, 46, 7, 978-995.

- [63] Lifei Chen, L., Cheng, M., Yang, D., Yang, L. (2014). Enhanced thermal conductivity of nanofluid by synergistic effect of multi-walled carbon nanotubes and Fe_2O_3 nanoparticles, *Academic Journal*, 118, 548-549.
- [64] Wei, B., Zou, C., Yuan, X., Li, X. (2017). Thermo-physical property evaluation of diathermic oil based hybrid nanofluids for heat transfer applications, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 107, 281-287.
- [65] Sundar, L.S., Singh, M.K., Ferro, M.C., Sousa, A.C.M. (2017). Experimental investigation of the thermal transport properties of graphene oxide/ Co_3O_4 hybrid nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 84, 1-10.
- [66] Esfe, M.H., Arani, A.A.A., Rezaie, M., Karimipour, A. (2015). Experimental determination of thermal conductivity and dynamic viscosity of Ag–MgO/water hybrid nanofluid, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 66, 189–195.
- [67] Bahrami, M., Akbari, M., Karimipour, A., Afrand, M. (2016). An experimental study on rheological behavior of hybrid nanofluids made of iron and copper oxide in a binary mixture of water and ethylene glycol: Non-Newtonian behavior, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 79, 231-237.
- [68] Soltani, O., Akbari, M. (2016). Effects of temperature and particles concentration on the dynamic viscosity of MgO-MWCNT/ethylene glycol hybrid nanofluid: experimental study, *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 84, 564-570.
- [69] Suresh, S., Venkataraj, K.P., Selvakumar, P., Chandrasekar, M. (2011). Synthesis of Al_2O_3 –Cu/water hybrid nanofluids using two step method and its thermo physical properties, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 388, 1–3, 5, 41-48.
- [70] Asadi, M., Asadi, A. (2016). Dynamic viscosity of MWCNT/ZnO–engine oil hybrid nanofluid: An experimental investigation and new correlation in different temperatures and solid concentration, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 76, 41-45.
- [71] Atashrouz, S., Mozaffarian, M., Pazuki, G. (2016). Viscosity and rheological properties of ethylene glycol+water+ Fe_3O_4 nanofluids at various temperatures: Experimental and thermodynamics modeling, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33, 9, 2522–2529.

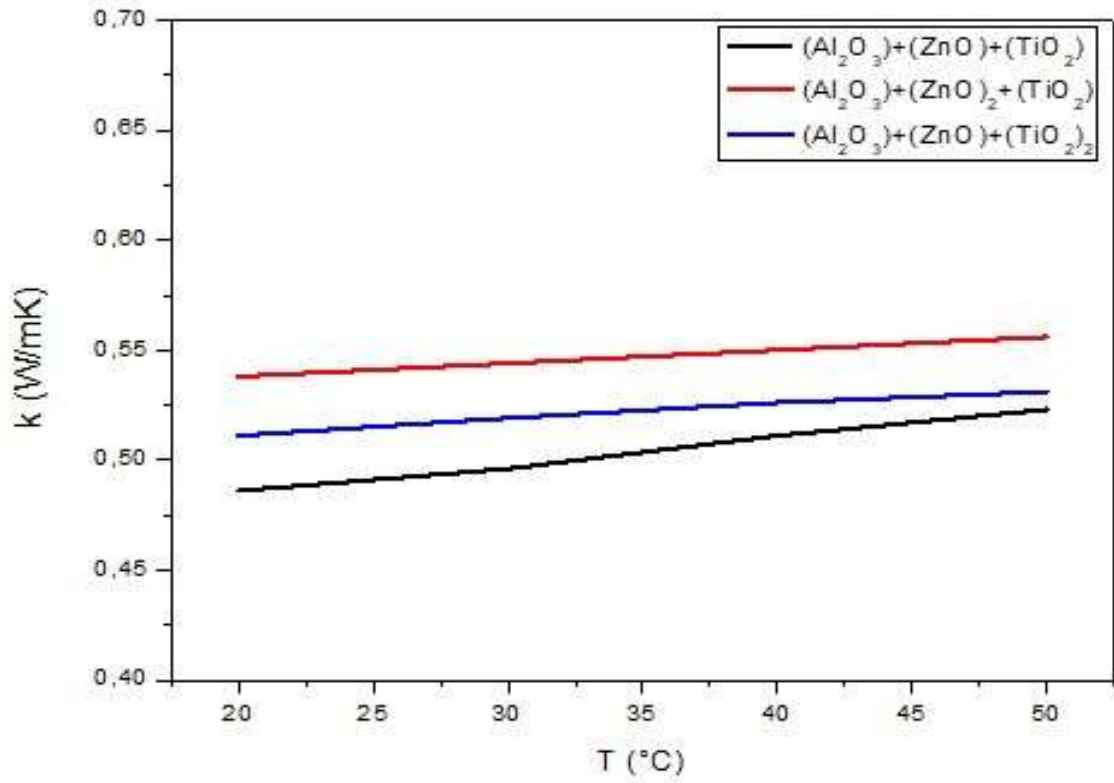
- [72] Shababi, K., Firouzi, M., Fakhar, A. (2018). An experimental study on rheological behavior of SAE50 engine oil, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 131, 3, 2311–2320.
- [73] Afrand , M., Najafabadi, K.N.,Akbari, M. (2016). Effects of temperature and solid volume fraction on viscosity of SiO₂-MWCNTs/SAE40 hybrid nanofluid as a coolant and lubricant in heat engines, Applied Thermal Engineering, 102, 5,45-54.
- [74] <https://www.tech-worm.com/taramali-elektron-mikroskobu-sem-nedir/> Erişim: 12 Eylöl 2019
- [75] <http://merlab.firat.edu.tr/public/devices.xhtml> Erişim: 12 Eylöl 2019
- [76] <http://www.intertek.com/analysis/microscopy/edx/> Erişim: 12 Eylöl 2019
- [77] https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5877/tr Erişim: 12 Eylöl 2019
- [78] <http://merlab.metu.edu.tr/tr/termogravimetrik-analiz-cihazı> Erişim: 12 Eylöl 2019
- [79] [https://aybu.edu.tr/merlab/custom_page-345-diferansiyel-taramali-kalorimetre-\(dsc\)-cihazı.html](https://aybu.edu.tr/merlab/custom_page-345-diferansiyel-taramali-kalorimetre-(dsc)-cihazı.html) Erişim: 12 Eylöl 2019
- [80] <http://ictinternational.com/products/kd2-pro/decagon-kd2-pro/> Erişim: 12 Eylöl 2019
- [81] Kök, M. (2006). DSC ile Termal İletkenlik Ölçümü ve Uygulamaları, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi.
- [82] Kayfeci, M., Kurt, H. (2007). Sıvılar İçin Isı İletim Katsayısı Ölçüm Cihazının Tasarımı, İmali Ve Test Edilmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. 22, 4, 907-915.

EKLER

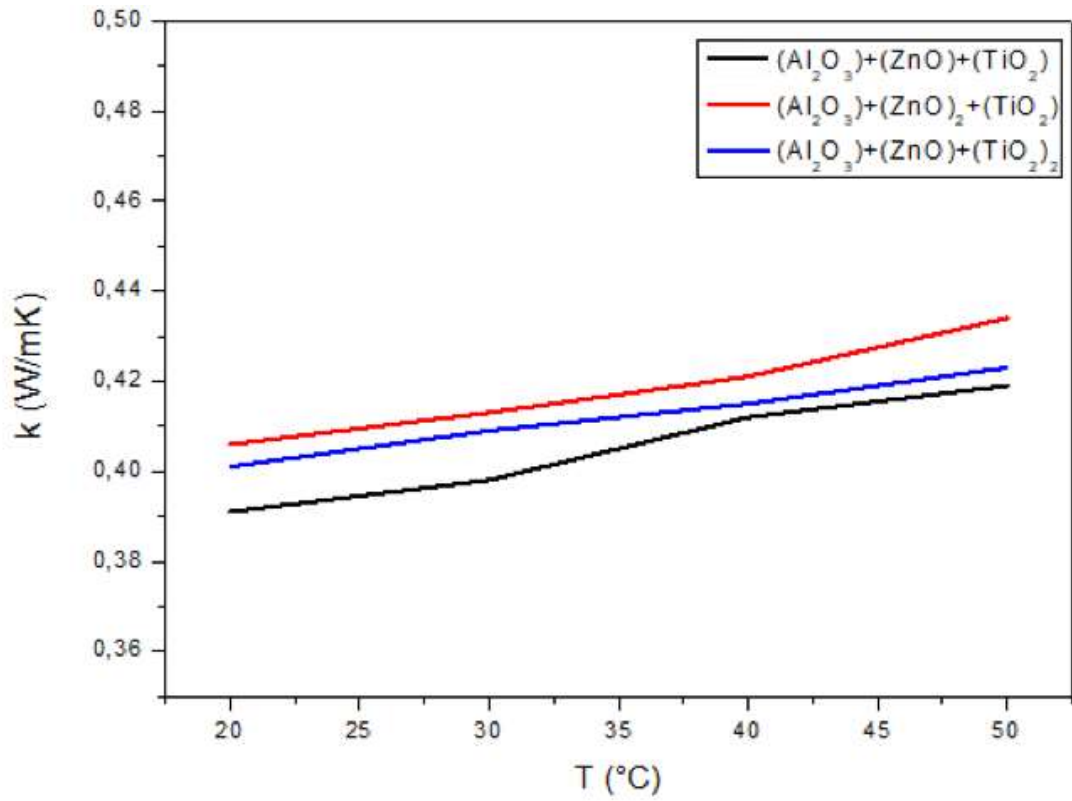
EK- 1: % 100 saf su ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi



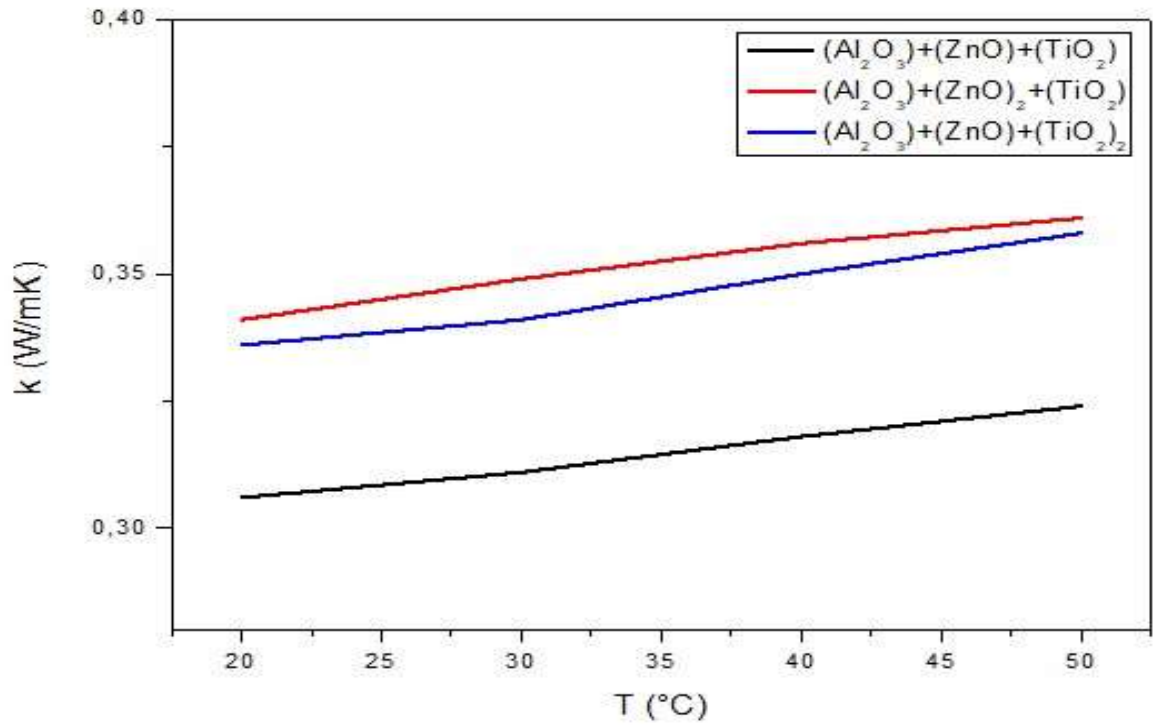
EK- 2: % 33,3 antifriz – % 66,7 saf su ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi



EK- 3: % 50 antifriz – % 50 saf su ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısıl iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi



EK- 4: % 60 antifriz – % 40 saf su ile hazırlanan hibrit nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin sıcaklıkla değişimi



ÖZGEÇMİŞ

Ayşe KARAKAŞ, 2 Nisan 1993 yılında Sivas'ta doğdu. İlköğrenimini Demirözü Köyü Birleştirilmiş Sınıflı İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Sivas Kongre Lisesi'nde gördü. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırmış olup bu bölümden 2015 yılında mezun oldu. 2017 yılı Şubat ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı'nda lisansüstü eğitimine başladı.

