

**NANOAKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI VE ISIL
İLETKENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Eda Feyza DİLEK

**Y.Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bayram ŞAHİN
2008**

Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NANOAKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI VE ISIL İLETKENLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Eda Feyza DİLEK

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM
2008

Her hakkı saklıdır

Yrd.Doç. Dr. Bayram ŞAHİN'in danışmanlığında, Eda Feyza DİLEK tarafından hazırlanan bu çalışma 25/08/08.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç.Dr. Yusuf Ali KARA

İmza : 

Üye : Yrd.Doç.Dr Bayram ŞAHİN

İmza : 

Üye : Yrd.Doç.Dr Süleyman KARSLI

İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof.Dr.Mehmet ERTUGRUL

Enstitü Müdürü

ÖZET

Y. Lisans Tezi

NANOAKIŞKANLARIN HAZIRLANMASI VE ISIL İLETKENLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Eda Feyza DİLEK

Atatürk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Bayram ŞAHİN

Isıl sistemlerdeki gelişmelere paralel olarak ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Temel akışkanın ısı geçişi performansını arttırmak için katkı maddesi kullanmak ısı geçişini iyileştirmeye yönelik uygulanan yöntemlerden biridir. Son yarım yüzyıldır ısı transferi konusunda yapılan bilimsel araştırmalar mevcut ısı transferi iyileştirme yöntemlerinin sürekli olarak gelişmesine neden olmuştur. İş yapan akışkana farklı partiküllerin eklenmesi, akışkanın ısı transferi performansını arttıran bir yöntemdir. Son yıllarda nanometre boyuttaki partiküllerin üretilebilmesiyle akışkan içerisine katılarak temel akışkanın ısı geçişi karakteristiklerinin artırılması ısı geçişi alanında yeni bir yaklaşımdır. Bu nanometre boyuttaki katı partiküllerin süspansiyon edildiği akışkanlara “nanoakışkan” ismi verilmektedir. Katı bir metalin ısıl iletkenliği içine katıldığı temel akışkanınkinden daha yüksek olduğu için, metalik parçaların akışkan içerisine katılması karışımın ısıl iletkenliğini arttırmaktadır.

Bu çalışmada nanoakışkan kavramı açıklanarak, nanoakışkanların hazırlanması, stabilitesi ve ısıl iletkenlikleri incelenmiştir.

2008, sayfa 82

Anahtar kelimeler: Nanoakışkanlar, nanoakışkanların hazırlanması, nanoakışkanların stabilitesi ve ısıl iletkenlikleri.

ABSTRACT

MS Thesis

PREPARATION OF NANOFLUIDS AND DETERMINATION OF THERMAL CONDUCTIVITY OF NANOFLUIDS

Eda Feyza DİLEK

Ataturk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Bayram ŞAHİN

With progresses of thermo science and thermal engineering, many efforts have been devoted to heat transfer enhancement. The use of additives to enhance heat transfer performance of base fluid is a technique applied for heat transfer enhancement. Researches in heat transfer have been carried out over the previous several decades, leading to the development of the currently used heat transfer enhancement techniques. The use of additives is a technique applied to enhance the heat transfer performance of base fluids. Recently, by producing nanometer-sized particles, the suspension of nanoparticles in a conventional heat transfer fluids to enhance heat transfer characteristics of the fluid is an innovative approach. The fluids with these nanometer-sized particles suspended in them are called “nanofluids”. Since a solid metal has larger thermal conductivity than a base fluid, suspending fine metallic solid particles into the base fluids is expected to improve the thermal conductivity of that fluid.

In this study, by explaining nanofluids, preparation, stability and thermal conductivity of nanofluids have been investigated.

2008, pages 82

Keywords: Nanofluids, preparation of nanofluids, stability and thermal conductivity of nanofluids.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında, öncelikle ilgi ve desteklerini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Bayram ŞAHİN'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim. Ayrıca, tez jürimin diğer değerli üyeleri Sayın Doç. Dr. Yusuf Ali KARA ve Sayın Yrd.Doç. Dr. Süleyman KARSLI'ya katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

TEM görüntülerinin alınması ve değerlendirilmesi aşamasında değerleri katkı ve vakitlerini esirgemeyen A.Ü. Tıp Fakültesi Histoloji Anabilim Dalı öğretim üyesi Doç. Dr. Bünyamin ÜNAL hocama ve ekibine ayrıca teşekkür ediyorum.

Bu tez 105M292 numaralı TUBİTAK projesi ve 2007/50 numaralı Atatürk Üniversitesi BAP kapsamında gerçekleşmiştir, ekonomik destekleri nedeniyle TÜBİTAK'a ve Atatürk Üniversitesine teşekkür ederim.

Yine çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan Sayın Yük. Mak. Müh. Ebru Emine Demirci, Sayın Arş. Gör. Neşe Kurt, Sayın Arş. Gör. Metin Açıkyıldız, Sayın Figen Gürgen, Sayın Arş. Gör. Özgü Bayrak, Sayın Arş. Gör. Murat Balcı ve emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her döneminde başarabildiğim her işte ve tezimin tamamlanmasında manevi desteklerini hissettiğim aileme şükran duygularımı sunarım.

Eda Feyza DİLEK

Temmuz 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	18
2.1.Nanoakışkanların Gelişimi	18
2.1.1. Minyatürleştirme ve Nanoteknoloji.....	18
2.1.2. Nanoakışkan Kavramı	19
2.2. Nanoakışkan Karışımlarının Hazırlanması.....	20
2.3 Nanoakışkanların Isıl İletkenlikleri	23
2.3.1 Brown Hareketleri ve Etkisi	27
2.3.2 Chauvenet Kriteri	28
2.4 Yüzey Aktif Maddeler	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1. Deneysel Materyal.....	30
3.1.1. Nanopartiküller	30
3.1.2. Ultrasonik Banyo	31
3.1.3. KD2 Pro Isıl Özellik Ölçer	32
3.2. Nanoakışkanın Hazırlanması.....	34
3.3. Elektron Mikroskobu.....	38
3.3.1. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM).....	38
3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	39
3.4. TEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi	40
3.4.1. Stereolojik Metotlar Kullanılarak TEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi	40
3.4.1.1. Partikül Sayısının Tahmini	40
3.4.1.2. Ortalama Kesit Alanın Tahmini	43

3.4.2. Ortalama Kesit Alanını Tahmin Etmek İçin Sistemik Rastgele Örnek Alma Prosedürü	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	46
4.1. Nanoakışkanların Hazırlanması Aşamasında Yapılan Hesaplamalar	46
4.2. Nanoakışkanların Isıl İletkenliklerinin Karşılaştırılması.....	47
4.3. Nanoakışkanların TEM Görüntüleri.....	51
4.4. Stereolojik Değerlendirme Sonuçları	56
4.5. Nanoakışkanların Hazırlanması Sırasında Seyrelticilerin Kullanılması	57
5. SONUÇ	77
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER DİZİNİ

C_m	Kütlesel Oran
C_v	Hacimsel Oran
k_e	Nanoakışkanın Isıl İletkenliği (W/mK)
k_l	Temel Akışkanın Isıl İletkenliği (W/mK)
k_p	Partikülün Isıl İletkenliği (W/mK)
m_n	Nanoakışkanın Kütlesi (kg)
x_i	Deneysel Veriler
x_m	Deneysel Verilerin Ortalama Değeri
V_n	Nanoakışkanın Hacmi (m^3)
V_p	Partikülün Hacmi (m^3)
β	Nano Katman Kalınlığının Partikül Yarıçapına Oranı
ρ_p	Nanopartikülün Yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_n	Nanoakışkanın Yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_B	Temel Akışkanın Yoğunluğu (kg/m^3)
σ	Standart sapma
ϕ	Partikülün Hacimsel Oranı

Kısaltmalar:

CNT	Karbon nano tüp
CTAB	Hexadecyltrimethyl ammonium bromide
DWCNT	Çift cidarlı karbon nanotüp
EG	Etilen glikol
MWCNT	Çok cidarlı karbon nano tüp
PVP	Polyvinylpyrrolidone
SDBS	Sulfanatedodebenzen
SDS	Sodyum dodecyl sülfat
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
TEM	Transmisyon(geçirimli) elektron mikroskobu

Alt İndisler:

l	Temel Akışkan
m	Kütleli
n	Nanoakışkan
p	Partikül
v	Hacimsel

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Nanopartiküllerin Mikropartiküllerle Karşılaştırılması	3
Şekil 1.2. Transformatör yağı-bakır nanoakışkanının transmision elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri.....	6
Şekil 1.3. De-iyonize su-bakır nanoakışkanının transmision elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri.....	7
Şekil 1.4. Su içerisinde %1 hacimsel oranda karıştırılmış Al_2O_3 nanopartiküllerinin SEM görüntüleri.....	8
Şekil 1.5. Grafit nanopartiküllerinin SEM görüntüleri.....	9
Şekil 1.6. Au, Al_2O_3 , TiO_2 , CuO partiküllerinin ve karbon nonofiberlerin TEM(Transmision elektron mikroskobu) görüntüleri.....	10
Şekil 1.7. Cu-su nanoakışkanının termal iletkenliğine sıcaklığın etkisi	15
Şekil 2.1. Topaklanmış, homojene yakın dağılmış CuO partikülleri.....	22
Şekil 3.1. Terazi resmi	32
Şekil 3.2. CuO ve Al_2O_3 nanoakışkan örnekleri	33
Şekil 3.3. Ultrasonik Banyo	36
Şekil 3.4. KD2 Pro termal özellik ölçer	37
Şekil 3.5. TEM mikroskobu	39
Şekil 3.6. TEM görüntüsünün eşit gridlere bölünmesi	41
Şekil 3.7. Tarafsız sayım çerçevesi yöntemi.....	42
Şekil 3.8. Grid üzerindeki partiküllerin tamamının belirlenmesi.....	43
Şekil 3.9. TEM görüntüsünde alanların belirlenmesi.....	44
Şekil 3.10. TEM görüntüsünde alanların belirlenmesi.....	45
Şekil 4.1. Al_2O_3 -Su nanoakışkanının efektif termal iletkenliğinin modellerle karşılaştırılması.....	49
Şekil 4.2. CuO-Su nanoakışkanının efektif termal iletkenliğinin modellerle karşılaştırılması	50
Şekil 4.3. %0.5 hacimsel oranda hazırlanan Al_2O_3 nanoakışkanının TEM görüntüleri.	52
Şekil 4.4. %1 hacimsel oranda hazırlanan Al_2O_3 nanoakışkanının TEM görüntüleri.	52
Şekil 4.5. %2 hacimsel oranda hazırlanan Al_2O_3 nanoakışkanının TEM görüntüleri.	53

Şekil 4.6. %4 hacimsel oranda hazırlanan Al ₂ O ₃ nanoakışkanının TEM görüntüleri.	53
Şekil 4.7. %0.5 hacimsel oranda hazırlanan CuO nanoakışkanının TEM görüntüleri	54
Şekil 4.8. %1 hacimsel oranda hazırlanan CuO nanoakışkanının TEM görüntüleri .	54
Şekil 4.9. %2 hacimsel oranda hazırlanan CuO nanoakışkanının TEM görüntüleri .	55
Şekil 4.10. %4 hacimsel oranda hazırlanan CuO nanoakışkanının TEM görüntüleri	55
Şekil 4.11. Al ₂ O ₃ -SDBS ve Al ₂ O ₃ -CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 1. Gün çekilen fotoğrafları.	58
Şekil 4.12. Al ₂ O ₃ -SDBS ve Al ₂ O ₃ -CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 5. Gün çekilen fotoğrafları.	59
Şekil 4.13. Al ₂ O ₃ -SDBS ve Al ₂ O ₃ -CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 21.Gün çekilen fotoğrafları.	59
Şekil 4.14. Al ₂ O ₃ -SDBS ve Al ₂ O ₃ -CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 30.Gün çekilen fotoğrafları.	60
Şekil 4.15. % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanına %1.5 SDBS katılarak hazırlanan nanoakışkanın resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.	61
Şekil 4.16. % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanına %1 SDBS katılarak hazırlanan nanoakışkanın resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.	62
Şekil 4.17. % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanına %0.5 SDBS katılarak hazırlanan nanoakışkanın resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.	63
Şekil 4.18. % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının dispersant kullanılmadan hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.....	64
Şekil 4.19. % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %1.5 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.	65
Şekil 4.20. % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %1 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.	66
Şekil 4.21. % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %1 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.	67
Şekil 4.22. CuO-SDBS ve CuO-CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 1. Gün çekilen fotoğrafları.	68
Şekil 4.23. CuO-SDBS ve CuO-CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 5. Gün çekilen fotoğrafları.....	69
Şekil 4.24 CuO-SDBS ve CuO-CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın	

30. Gün çekilen fotoğrafları.	69
Şekil 4.25 % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %1.5 SDBS katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.....	70
Şekil 4.26 % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %1 SDBS katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.....	71
Şekil 4.27 % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %0.5 SDBS katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.....	72
Şekil 4.28 % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının dispersant kullanılmadan hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün	73
Şekil 4.29 % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %1.5 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.....	74
Şekil 4.30 % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %1 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.....	75
Şekil 4.31 % 0.5 hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının %0.5 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün.....	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Katı/sıvı süspansiyonları için efektif termal iletkenlik modelleri.....	26
Çizelge 2.2. Deneysel bulguların eliminasyonu için Chauvenet kriteri.....	28
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan nanopartiküllerin özellikleri.....	31
Çizelge 3.2. KD2 Pro Termal özellik ölçerin teknik özellikleri	34
Çizelge 4.1. Temel akışkan içerisini katılacak olan nanopartiküller için yapılan hesaplamalar	46
Çizelge 4.2. % Deneysel çalışmada kullanılan temel akışkan, nano malzemeler, bunların ısı iletkenlikleri ve hacimsel oranları.	48
Çizelge 4.3 Deneysel çalışma sonucunda elde edilen Al ₂ O ₃ -Su nanoakışkanının ısı iletkenlik değerinin suyun ısı iletkenlik değerine oranı. (ke/kl, kl=0.590).	49
Çizelge 4.4. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen CuO-Su nanoakışkanının ısı iletkenlik değerinin suyun ısı iletkenlik değerine oranı. (ke/kl, kl=0.590).....	50
Çizelge 4.5. Stereolojik Değerlendirme Sonuçları.....	56
Çizelge 4.6. %0,5 Hacimsel oranlı CuO için kullanılan seyrelticiler ve yüzdeleri....	58
Çizelge 4.7. %0,5 Hacimsel oranlı Al ₂ O ₃ için kullanılan seyrelticiler ve yüzdeleri..	68

1. GİRİŞ

Isı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar endüstriyel gelişmelerle beraber artarak devam etmektedir. Isı transferi iyileştirme teknikleri, aktif, pasif ve karma metotlar olarak sınıflandırılabilir. Aktif yöntemler, dış güç kaynağının kullanılmasını gerektiren, ısı transfer edilen akışkana veya ortama ilave enerji verilerek ısı transferinde iyileşme sağlayan yöntemlerdir. Akışkan titreşimi, yüzey titreşimi, akışın mekanik parçalar ile karıştırılması, yüzeyin döndürülmesi, enjeksiyon, akış ortamında elektrostatik alanların oluşturulması gibi yöntemler aktif yöntemlere örnek olarak verilebilir. Pasif yöntemler, ilave enerji verilmeden ısı transferindeki iyileşmeyi sağlayan yöntemlerdir. İşlenmiş yüzeyler, pürüzlü yüzeyler, genişletilmiş yüzeyler, dönmeli akış elemanları, borunun içine yerleştirilen iyileştirme elemanları pasif yöntemlere iyi birer örnektir. Karma yöntemlerde ise aktif veya pasif yöntemlerden iki veya daha fazlası birlikte kullanılmaktadır.

Pasif yöntemler kullanılarak ısı transferinde önemli miktarda iyileşmeler elde edilebilir. Fakat pasif iyileştirme yöntemlerinin kullanılmasının bazı dezavantajları vardır. Pasif yöntemler uygulandığında basınç düşümünde artış meydana gelir. Bu nedenle akışkanı pompalamak için gerekli enerji miktarı da artar. Bunun yanında, pasif iyileştirme yöntemlerinin kullanılması, sistemde çözümlenmesi gereken çeşitli problemler oluşturmaktadır. Örneğin, nükleer santrallerde, boru içine yerleştirilen türbülütörler nedeniyle ortaya çıkan akış kaynaklı titreşimler boru sistemlerinde yorulmalara, hatta rezonans durumunda sistemde yorulma kaynaklı kırılma ve çatlamalara neden olmaktadır. Kimyasal proseslerde ise akışkanın özelliklerine bağlı olarak çökme, kirlenme gibi problemler meydana gelmekte bu ise belli bir süre sonra ısı transferini olumsuz yönde etkilemektedir.

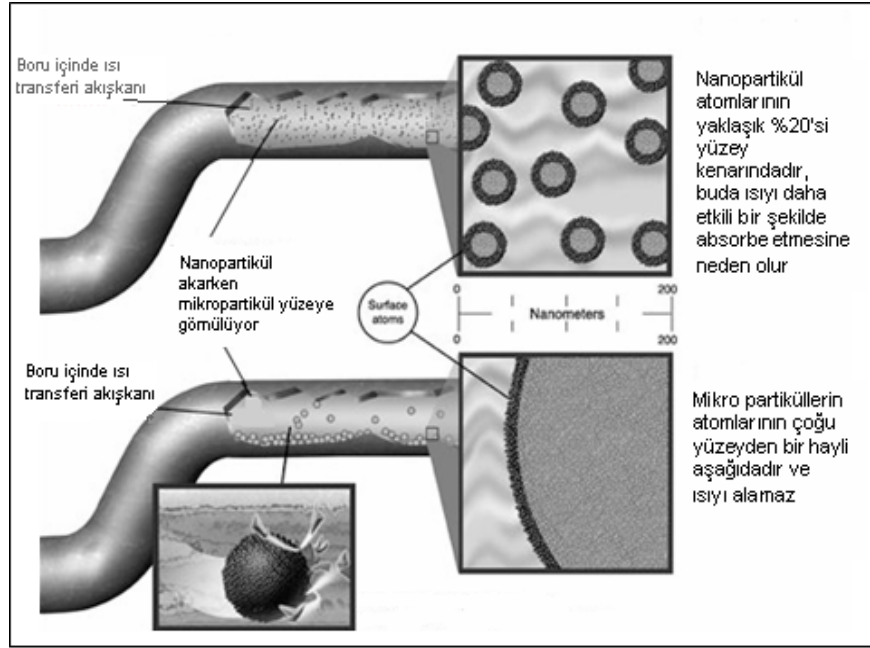
Isı değiştiricilerinde kullanılan klasik ısı transferi akışkanları su, etilen glikol (antifriz) ve motor yağı gibi akışkanlardır. Fakat klasik akışkanların ısı transferi performansları düşüktür buda iyileşme veriminin az olmasına neden olmakta, ayrıca ısı değiştiricinin küçük boyutlarda ve az yer kaplayan geometride olmasını engellemektedir.

Klasik akışkanın ısı iletkenliğini arttırmak ve akışkanın ısı transferi karakteristiğini iyileştirmek için, ısı değiştiricilerinde temel akışkanın içine katı partiküllerin süspansiyon edilmesi pasif ısı transferi iyileştirme yöntemlerinden biridir. Temel akışkanın içine katı partiküllerin katılması ısı iletkenliği artırır. Çünkü katı metalin ısı iletkenliği temel akışkanınkinden daha yüksektir.

Isı değiştiricilerde kullanılan klasik ısı transferi akışkanlarının içine milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı partiküllerin katılması fikrini ilk öneren Maxwell'in teorik çalışması bundan yaklaşık 100 yıl önce yayınlanmıştır (Wang and Mujumdar 2007). Ancak mikrometre boyutundaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonlar daha az kararlı yapı gösterirler ve böylece mikro kanalların tıkanmasına sebep olurlar. Bu boyuttaki partiküllerle hazırlanan süspansiyonlar boru/kanal içerisinde büyük basınç düşümleri, çökme, tortulaşma, aşınma gibi problemlere neden olur. Endüstriyel uygulamalarda bu yöntem tercih edilmemektedir. Son yıllarda malzeme bilimindeki gelişmeler sonucunda nanometre boyutunda partiküller üretilmiş ve akışkan içine partiküllerin katılması tekrar gündeme gelmiştir.

Nanopartiküller gaz yoğunlaştırılması, mekanik aşındırma, kimyasal çöktürme yöntemlerinden biriyle üretilmektedir. Gaz yoğunlaştırma işlemi diğer yöntemlere göre daha avantajlı bir yöntemdir. Zira partiküller daha temiz bir ortamda üretilmekte ve yüzeyleri istenmeyen maddelerle kaplanmamaktadır. Ancak düşük bir enerji uygulanması durumunda parçacıklar küçük demetçiklere ayrılarak, toplanmalar meydana gelmektedir.

Isı transferi süspansiyonları için nanopartiküller oldukça uygundur. Daha fazla yüzey alanı ve daha az kütle, nanopartikülleri bu uygulamalarda cazip kılan iki temel unsurdur (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Nanopartiküllerin mikropartiküllerle karşılaştırılması.

Argonne National Laboratory’de bundan yaklaşık 10 sene önce Choi (1995) tarafından nano boyuttaki partiküller temel akışkan içine karıştırılarak ısıl özellikleri iyileştirilmiştir. Elde edilen bu yeni tip akışkanların ısıl özellikleri ve ısı transferi uygulamalarındaki performansları incelenmeye başlanmıştır. Isıl iletkenlikleri yüksek nano boyuttaki katı partiküllerin (bakır, gümüş, alüminyum vs.) klasik ısı transferi akışkanının içine katılmasıyla elde edilen yeni ısı transferi akışkanına “nanoakışkan” denilmektedir. Nanoakışkan; temel akışkan ve nanopartikülden oluşan süspansiyon olarak tanımlanabilir. Süspansiyon edilmiş çok ince partiküller ısı transferi iyileştirmesinde büyük potansiyel gösteren nanoakışkanların taşıma özelliklerini ve ısı transferi performansını değiştirir.

Nanoakışkan; temel akışkanın ısı transferi karakteristiğini son derece iyileştiren, klasik akışkan içine karışmış çok ince partiküllerin süspansiyonudur. Basınç düşümünde yok denecek kadar az artışa neden olduklarından pratik uygulamalara uygun olabilecekleri düşünülmektedir. Çok küçük tane boyutlarındaki partiküller (16–60 nm) akışkan içerisinde çok iyi karıştırıldığında, ortaya çıkan akışkan katı-sıvı karışımdan çok, tek fazlı akışkan gibi davranır (Daungthongsuk and Wongwies 2007).

Taşınım ile ısı transferinde, temel akışkan içerisinde nano boyutundaki katı partiküllerin kullanılmasıyla ilgili araştırmalar ancak on yıllık bir sürede başlamıştır. Esasında sık sık süspansiyon olarak adlandırılan nanoakışkanlar hakkında yapılan son araştırmalarda, karıştırılan nanopartiküllerin süspansiyonun ısı transferi karakteristiklerini ve taşınım özelliklerini önemli bir şekilde etkilediği görülmüştür (Wang and Mujumdar 2007). Buna rağmen gelişiminin bu erken aşamasında termofiziksel özellikleri tam olarak bilinmemektedir. Sonuç olarak nanoakışkanların esas potansiyellerini değerlendirmek zordur (Mansour *et al.* 2007).

Nanopartiküllerin katılması ile iş yapan akışkanın ısı transferi performansının önemli derecede iyileşmesine neden olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Xuan and Li 2000).

- Akışkan içine süspansiyon edilen partiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini büyütür.
- Partiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır.
- Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçişinin yüzeyinin artmasına neden olur.
- Akışkanın çalkantıları ve türbülans şiddeti artar.
- Nanopartiküllerin saçılması akışkanın enine sıcaklık gradyanının düzleşmesine neden olur.

Nanoakışkanların hazırlanması akışkanın ısı transferi performansını değiştirmek için uygulanan ilk ve en önemli adımdır. Nanoakışkan basit bir sıvı-katı süspansiyonu değildir. Kararlı, uzun süre kalabilen, partiküllerin mümkün olduğu kadar az topaklandığı ve akışkanın kimyasal özelliklerinin değişmediği bir karışım olarak dikkate alınmalıdır. Süspansiyon hazırlanırken kullanılan genel yöntemler üç çeşittir (Xuan and Li 2000);

- Süspansiyonun pH değerini değiştirmek.
- Yüzey aktivatörleri ve /veya seyrelticiler kullanmak.
- Ultrasonik titreşimler kullanmak.

Bu tekniklerin amacı, süspansiyon edilen partiküllerin yüzey özelliklerini değiştirmek ve kararlı süspansiyon elde etmek için partikül kümelenmesini önlemektir. Bu tekniklerin nasıl kullanıldığı uygulama durumuna da bağlıdır. Uygun seyreltici ve aktivatör kullanımı partikül ve süspansiyonun özelliklerine bağlıdır.

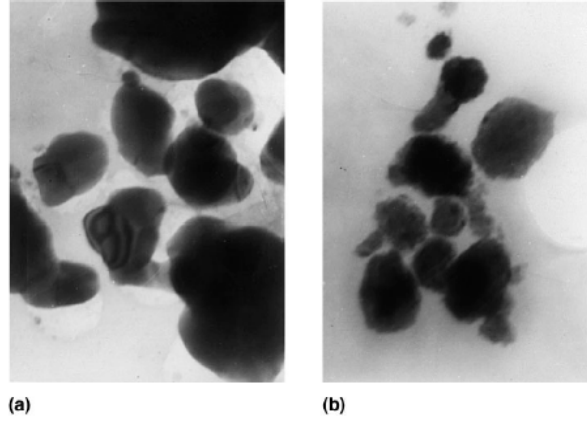
Heris *et al.*(2006) yaptıkları çalışmada γ -Al₂O₃-Su nanoakışkanını kullanmıştır. Ortalama çapı 20 nm olan γ fazındaki Al₂O₃ nanopartikülü suyun içine dağıtılmıştır. Yapılan çalışmada seyreltici ve stabilizer kullanılmamıştır. Çünkü bunların eklenmesinin akışkanın özelliklerini değiştirebileceği düşünülmüştür.

Al₂O₃ nanopartikülü kullanılarak 6 farklı konsantrasyonunda (%0.2, %0.5, %1, %1.5, %2 ve %2.5 hacim oranlarında) nanoakışkan hazırlanmıştır. Gerekli hacimde toz hazırlandıktan sonra nanopartiküller cam şişe içerisinde damıtılmış su ile karıştırılmış ve ultrasonik karıştırıcı sistem içerisinde 8-16 saat karıştırılmıştır. %0.2-2.5 hacimsel oranlı süspansiyon için 24 saat sonra sedimentasyon (çökme) gözlemlenmemiştir.

Xuan and Li (2000) çalışmalarında Cu nanopartikülünü temel akışkan içine katarak Cu nanoakışkanını hazırlamışlardır. Yaygın kullanılan aktivatör ve seyrelticiler thiols, oleik asit ve laureate tuzudur. Uygun aktivatör ve seyreltici seçimi süspansiyon ve partikülün özelliklerine bağlıdır. Cu nanoakışkanının hazırlanmasıyla ilgili iki örnek aşağıda verilmiştir.

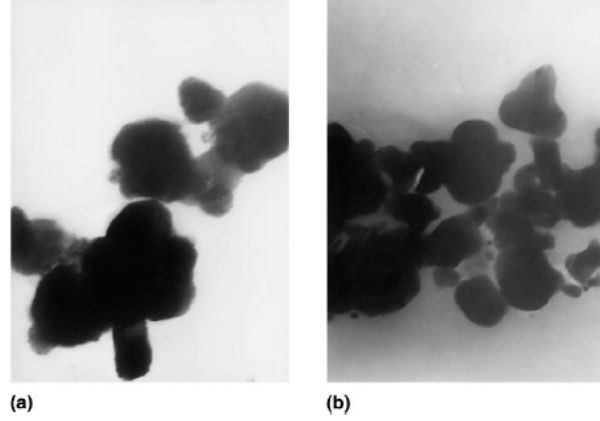
Xuan and Li (2000) çalışmalarında transformatör yağı içerisinde bakır nanopartiküllerini kullanmışlardır. Bakır nanopartikülleri transformatör yağı içine sırasıyla %2 ve %5 hacimsel oranla karıştırılmıştır. Seyreltici olarak oleik asit

kullanmışlardır. Oleik asitin miktarı bakır partikülünün ağırlıkça yüzdesiyle hesaplanmıştır. Oleik asitin farklı yüzdeleri test edilmiştir. Süspansiyon ultrasonic vibratörde 10 saat karıştırmıştır. Deneysel sonuçlar Oleik asit miktarının yüzdesi partiküllerin ağırlıkça %22 olduğu durumda, süspansiyonun kararlılığının yaklaşık 1 hafta sürdüğünü ve hiç çökelti oluşmadığını göstermiştir. Transmisyon elektron mikroskopuyla (TEM) çok ince bakır partiküllerinin dağılımı ve kümelenmesi incelenmiştir. Transmisyon elektron mikroskopundan elde edilen görüntülere göre partiküllerin akışkan içerisinde dağıldığı ve bazı kümelenmelerin meydana geldiği gözlemlenmiştir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Transformatör yağı-bakır nanoakışkanının transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri. a)%2 hacimsel oran. b)%5 hacimsel oran (Xuan and Li 2000)

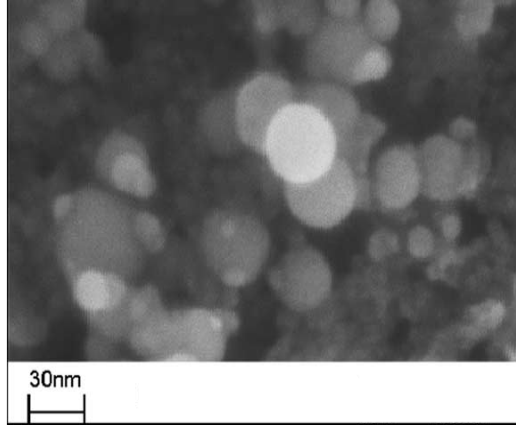
Xuan and Li (2000) su ve bakırdan oluşan nanoakışkanın özelliklerini incelemiştir. Süspansiyon %5 hacimsel oranda bakır nanopartikülleri içermektedir. Süspansiyonun kararlılığını arttırmak için Laurate tuzu kullanılmıştır. Laurete tuzunun farklı yüzdeleri (partiküllerin ağırlıkça %2, 4, 6, 8, 9' u) incelenmiştir. En iyi durum ağırlıkça oranın %9 olduğu durumda elde edilmiştir. Bu, ağırlıkça oranın minimum %9 olduğu değerde kararlı su-bakır süspansiyonunun elde edilebileceği anlamına gelir. Süspansiyon ultrasonic vibratörde karıştırılmıştır. Süspansiyon kararlı durumda 30 saatten fazla kalmıştır. Süspansiyon mikroskopla incelenmiştir. Süspansiyonun TEM fotoğrafları partiküllerin de-iyonize su içerisinde dağıldığını ve bazı kümelenmelerin meydana geldiğini göstermiştir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. De-iyonize su-bakır nanoakışkanının transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri. a)%5 hacimsel oran. b)%7.5 hacimsel oran. (Xuan and Li 2000)

Şekil 1.2. ve 1.3' te gösterilen Xuan and Li (2000) tarafından yapılan bu 2 çalışmada süspansiyon stabilite ve dağılıma davranışları bakımından incelendiğinde transformatör yağı içerisindeki Cu nanopartiküllerinin su içerisindeki Cu partiküllerinden daha üstün karakteristikleri vardır. Bu durum, akışkanın viskozitesinin, çok ince partiküllerin dağılımını ve süspansiyonun stabilitesini etkileyen önemli bir faktör olabileceğini gösterir. Ayrıca aktivatör ve seyrelticilerin özellikleri de süspansiyonun hazırlanmasında önemli rol oynar.

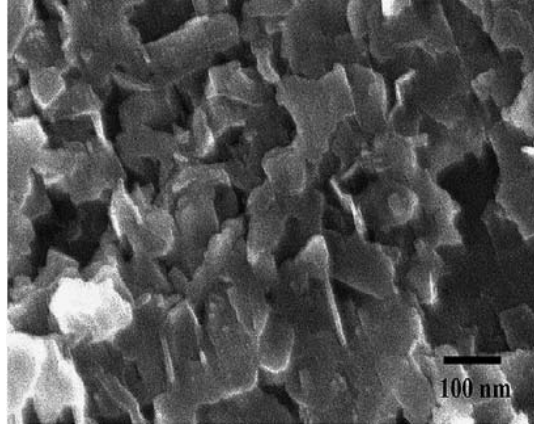
Wen and Ding (2004a) tarafından yapılan çalışmada 27-56 nm boyutlarında γ - Al_2O_3 nanopartikülü ve temel akışkan olarak de-iyonize su kullanılmıştır. Nanopartikülü stabilize etmek için seyreltici olarak sodyum sulfanatedodebenzen (SDBS) kullanılmıştır. Öncelikli olarak seyreltici su ile karıştırılmıştır. Daha sonra nanopartiküller suyun içine katılmıştır. Karışım 16-20 saat ultrasonik banyoda sürekli olarak karıştırılmıştır. Ağırlıkça oranı %4'ten az olan nanopartikül içeren nanoakışkanların çok stabil olduğu ve stabilitesinin bir haftanın üzerinde devam ettiği ifade edilmiştir. %1 hacimsel oranda Al_2O_3 içeren nanoakışkanın taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri aşağıdaki şekilde verilmiştir.(Şekil 1.4)



Şekil 1.4. Su içine%1 hacimsel oranda karıştırılmış Al_2O_3 nanopartiküllerinin SEM görüntüleri. (Wen and Ding 2004a)

Zhu *et al.* (2007) tarafından yapılan çalışmada süspansiyon elde etmek için nano boyutta grafit kullanılmıştır. Damıtılmış su içine gerekli, miktarda grafit nanopartiküller eklenmiştir. Karışımın pH değeri, amonyak ile yaklaşık 9.5 olarak ayarlanmıştır. Ağırlıkça oranı %0.5 olan polivinylpyrrolidone (PVP-K30) seyreltici olarak eklenmiştir. Süspansiyon ultrasonic banyoda 30 dakika karıştırıldıktan sonra grafit süspansiyonu elde edilmiştir. Nanopartiküllerin yaklaşık 15 nm kalınlığında düzensiz taneli yapısı vardır. Bu ölçümlerde kullanılan süspansiyonun konsantrasyonu hacimsel oran olarak yaklaşık % 0.05 ' tir. Grafit nanopartiküllerin partikül boyut dağılımı, ortalama partikül boyutunun 106 nm olduğunu göstermiştir. Ayrıca grafit süspansiyonunun stabilitesi üzerinde PVP konsantrasyonunun etkisi şu şekilde açıklanmıştır. PVP konsantrasyonunun ağırlıkça oranı %0.35'den az olduğu zaman grafit süspansiyonunun stabilitesinin PVP'nin artışıyla iyileştiği fakat PVP konsantrasyonunun ağırlıkça oranı %0.35'den daha fazla olduğu zaman, stabilitenin daha fazla artış göstermediği ifade edilmiştir. PVP konsantrasyonunun ağırlıkça oranı 0.35-0.6 olduğunda muhtemelen tüm partiküllerin PVP ile tamamen kaplandığı ve bu durumda en yüksek stabilitenin elde edildiği sonucuna varılmıştır. PVP'nin daha fazla artışıyla, suyun içerisindeki gereksiz PVP moleküllerinin süspansiyonun viskozitesini arttırdığı belirtilmiştir.

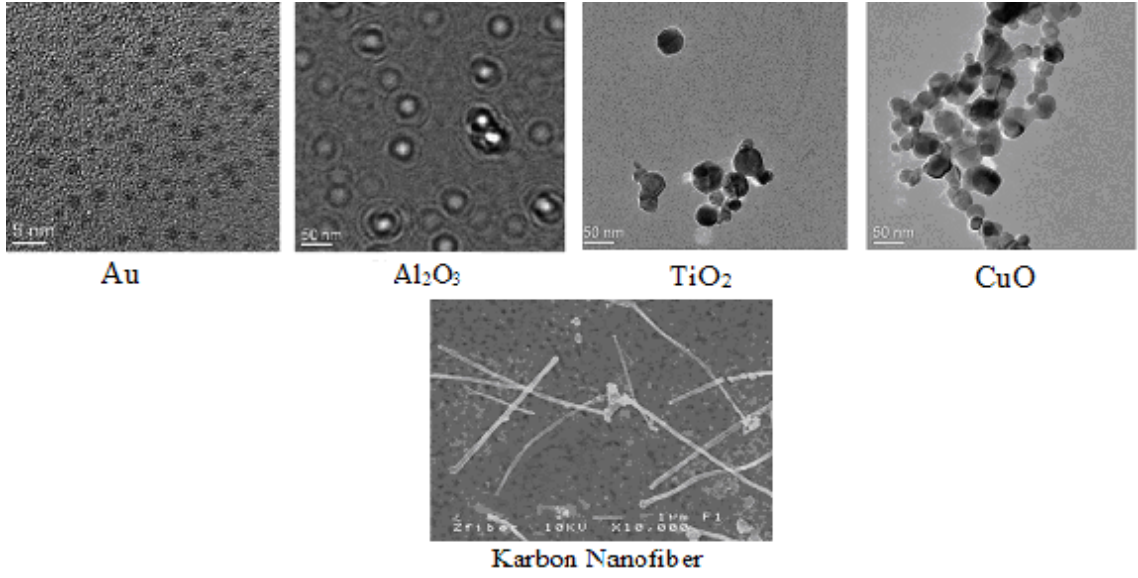
Grafit nanopartiküllerinin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Grafit nanopartiküllerinin SEM görüntüleri. (Zhou *et al.* 2006)

Williams *et al.* (2006) tarafından yapılan çalışmada ilk olarak nanopartiküller temel akışkanla karıştırılmıştır. Nanoakışkanın saflığının önemli olduğu düşünülerek, karışımlar katkı maddesi kullanılmadan partiküllerin direkt olarak su ile karıştırılması şeklinde hazırlanmıştır. Akışkan içerisinde tozları dağıtmanın en etkili metodu ultrasonik vibrasyon uygulaması olduğu belirtilmiştir. Çalışmada hacimsel oranı %2'nin üzerinde olan nanopartiküllerin kullanılması uygun bulunmamıştır. Nanoakışkanlar Al_2O_3 ve ZrO_2 nanotozları kullanılarak hazırlanmış, 12 saat ultrasonik vibrasyon uygulanmıştır. Nanoakışkanların başlangıçta umut verici olduğu, fakat zamanla stabil olmadığı belirtilmiştir. Partiküllerin bazılarının dağılmış olmasına rağmen büyük çoğunluğunun büyük kümelenmeler oluşturduğu ve çökelediği gözlemlenmiştir. Düşük konsantrasyonda HCl asidinin Al_2O_3 ve ZrO_2 nanoakışkanlarına eklenmesiyle daha stabil nanoakışkanlar elde edilmiştir.

Zhang *et al.*(2007) çalışmalarında Au-toluen, Al_2O_3 -Su, TiO_2 -Su, CuO-Su, Karbon nano-Su nanoakışkanlarını kullanmışlardır. Au, Al_2O_3 , TiO_2 ,CuO küresel partiküllerin ortalama çapları sırasıyla 1.65, 20, 40, 33 nm'dir. Karbon nanotüplerin ortalama uzunluğu ve çapı sırasıyla 10 μm ve 150 nm'dir.(Şekil 1.6)



Şekil 1.6. Au, Al₂O₃, TiO₂, CuO partiküllerinin ve karbon nanofiberlerin TEM(Transmisyon elektron mikroskobu) görüntüleri (Zhang *et al.*2007).

Nanoakışkanın ısı iletkenliği temel akışkan içine katılan partikülün hacimsel oranı ile ilişkilidir. Fakat ısı iletkenlik sadece hacimsel orana değil, ayrıca karıştırılmış partiküllerin boyutlarına ve şekillerine de bağlıdır. İki fazlı karışımlar için önerilen bazı ampirik korelasyonlar bulunmasına rağmen, nanoakışkanın ısı özelliğini belirlemeye yönelik kompleks bir teori şu ana kadar geliştirilebilmiş değildir. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini belirlemeye yönelik teoriler olmadığından dolayı, yapılan çalışmalarda, iki fazlı karışımlar için mevcut modeller ile ölçülmüş ısı iletkenlikler kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalarda elde edilen ölçüm sonuçları Maxwell, Hamilton-Crosser, Yu ve Choi, Wasp ve Bruggeman modelleriyle karşılaştırılmıştır.

Isı transferi iyileştirilmesi çalışmalarında ısı iletkenliğinin bilinmesi en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle literatürde sadece nanopartikül içeren akışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesi üzerine yapılan birçok deneysel çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda önerilen yöntemler şunlardır:

a)Geçici sıcak tel metodu (transient hot wire method)

b)Kararlı hal paralel plaka tekniği (steady-state paralel plate technique)

c) Sıcaklık salınım tekniği (temperature oscillation technique)

Bu yöntemlerden en çok kullanılan geçici sıcak tel metodudur.

Hwang *et al.*(2006) yaptıkları çalışmada temel akışkan içine dağılmış nanopartikülleri içeren nanoakışkanların ısı iletkenliğinin saf akışkandan ne kadar yüksek olduğunu göstermişlerdir. Su içerisinde çok cidarlı karbon nanotüpler (multiwalled carbon nanotube MWCNT), CuO, SiO₂ ve Etilen Glikol içerisinde CuO olmak üzere 4 tür nanoakışkan üretilmiştir. Bunların ısı iletkenlikleri geçici sıcak tel metoduyla ölçülmüştür. Su- MWCNT nanoakışkanının ısı iletkenliği %1 hacim oranında %11,3'e kadar yükseltilmiştir. Elde edilen bu sonuç nanoakışkanların diğer gruplarından daha yüksektir. Ara yüzeydeki katı-sıvı etkileşimi ihmal edildiğinden MWCNT nanoakışkanının ölçülen ısı iletkenliği Hamilton-Crosser modeliyle hesaplanan ısı iletkenlikten daha yüksek olduğu iddia edilmiştir. Sonuçlara dayandırılarak nanoakışkanların ısı iletkenliğindeki artışın hem partikülün hem de temel akışkanın ısı iletkenliğine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Murhed *et al.*(2005) yaptıkları çalışmada nanoakışkanları Ø10nm*40nm (çap*boy) çubuk şekilli ve Ø15nm küresel şekilli Titanyum Oksit (TiO₂) nanopartiküllerinin de-iyonize suyun içine katılmasıyla hazırlamışlardır. Deneysel sonuçların partikülün hacimsel oranının artışıyla ısı iletkenliğin artacağını gösterdiği ve partikül şeklinin ve boyutlarının ısı iletkenliğin bu artışı üzerinde etkisi olduğu belirtilmiştir. Maksimum %5 hacimsel oranlı Ø10nm*40nm ve Ø15 TiO₂ partikülleri için etkili ısı iletkenlik artışının sırasıyla %33 ve %30 temel akışkandan daha fazla olduğu ifade edilmiştir. De-iyonize su içerisinde Ø10nm*40nm çubuk şekilli TiO₂ nanopartiküllerinin %5 hacimsel oranı için artışın Hamilton-Crosser modeli tarafından tahmin edilenden %12 daha fazla

olduğu belirlenmiştir. Buna rağmen aynı hacimsel yüklemeyle, aynı temel akışkan içerisinde (de-iyonize su) bulunan Ø15nm TiO₂ nanopartikülleri için maksimum artışın Bruggeman modeli tarafından tahmin edilenden yaklaşık %16 daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Eastman *et al.*(1997) yaptıkları çalışmada HE-200 yağı ve su temel akışkanları içerisinde Al₂O₃, CuO ve Cu nanopartiküllerini içeren nanoakışkanların ısı iletkenlikleri llmştir. Nanopartiküllerin %5 hacimsel oranı için temel akışkana kıyasla ısı iletkenlikte %60 artış sağlandığı ve Cu nanopartiküllerinin kullanımının, CuO nanopartiküllerinin kullanımından daha fazla artışa neden olduğu iddia edilmiştir.

Lee *et al.*(1999) alışmalarında su ve etilen glikol (EG) içine CuO (18.6-23.6 nm) ve Al₂O₃ (24.4-38.4 nm) nanopartikülleri süspansiyon etmişlerdir. H₂O-CuO, EG-CuO, EG-Al₂O₃, H₂O-Al₂O₃‘ten oluşan 4 farklı nanoakışkan kombinasyonu elde edilmiştir. Nanoakışkanların partikül içermeyen aynı akışkanlardan daha yüksek ısı iletkenliği olduğu, EG-CuO karışımı %4 hacimsel oranda %20’den fazla artış gösterdiği, düşük hacimsel oranda (<0.05) ısı iletkenliğin hemen hemen lineer bir Şekilde arttığı, Al₂O₃ partikülünün boyutları CuO partikülünün boyutlarından küçük olmasına rağmen CuO’nun bulunduğu nanoakışkanların Al₂O₃ bulunan nanoakışkanlardan daha yüksek ısı iletkenlik değeri gösterdiği sonuçları elde edilmiştir.

Xuan and Li(2000) Cu (100nm)-Su nanoakışkanının ısı iletkenliğinde CuO(36nm)-Su nanoakışkanı ile aynı miktarda artış gösterdiğini belirtmişlerdir. Seyrelticilerin uygun seçiminin süspansiyonun stabilitesini arttırabileceği iddia edilmiştir. Çalışmada transformatör yağı-Cu nanoakışkanı için oleik asit, H₂O-Cu süspansiyonu için laureate tuzu kullanılmıştır. Transformatör yağı içerisindeki Cu partiküllerinin süspansiyonun, su içerisindeki Cu partiküllerinin süspansiyonundan daha üstün karakteristikleri olduğu sonucuna varılmıştır.

Eastman *et al.*(2001) etilen glikol içine dağılmış nanometre boyutunda Cu içeren nanoakışkanlarının hem etilen glikoldan hem de aynı hacimsel oranlı okside nanopartiküllerini içeren etilen glikoldan daha yüksek ısı iletkenliği olduğu ifade etmişlerdir. Etilen glikolün ısı iletkenliğinin ortalama 10 nm çapında %3 hacimsel oranda Cu nanopartiküllerini içeren etilen glikoldan oluşan nanoakışkan için % 40'a kadar arttırılabileceği belirtilmiştir. Önceki teoriksel hesaplamalara dayandırılan sonuçların anormal olduğu ve bu teoriksel hesaplamalarda nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerinde partikül şeklinin güçlü etkisinin olduğu, fakat partikül ısı iletkenliğinin ve boyutunun hiçbir etkisinin olmadığı iddia edilmiştir. Seyreltici olarak asitin eklenmesiyle, süspansiyonun kararlı olabileceği ve böylece ısı iletkenliğinin artabileceği ifade edilmiştir.

Wang *et al.*(1999) yaptıkları çalışmada sabit durum paralel plaka(steady-state parallel-plate) tekniğini kullanarak nanoakışkanların etkili ısı iletkenliğini ölçmüşlerdir. Temel akışkanlar su, etilen glikol, vakum pompa yağı ve motor yağıdır. Temel akışkanların içine 28 nm ortalama çaplı Al_2O_3 ve 23 nm ortamlı çaplı CuO nanopartikülleri süspansiyon edilmiştir. Deneysel sonuçlar dayandırılarak tüm nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin temel akışkanların ısı iletkenliklerinden daha yüksek olduğu ve nanopartiküllerin %3 hacimsel oranında etkili ısı iletkenlikte %12 artış elde edilebileceği ifade edilmiştir. Partiküllerin aynı hacimsel oranında, ısı iletkenlikte Masuda *et al.*(1993) %20, Lee *et al.*(1999) %8 artış olduğunu belirtmişlerdir. Çeşitli datalar üzerinde yapılan kıyaslamalarla, düşen partikül boyutuyla nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin artacağı sonucu elde edilmiştir.

Li and Peterson(2006) çalışmalarında CuO (29nm) ve süspansiyonlarının etkili ısı iletkenlikleri üzerinde, hacimsel oran ve sıcaklık değişimlerinin etkilerini incelemek için deneysel araştırma yapmışlardır. Sonuçlar nanopartikül materyalinin, hacimsel oranın ve sıcaklığın nanoakışkanların ısı iletkenlikleri üzerinde önemli etkilerinin olduğunu göstermiştir. Örneğin Al_2O_3 -Su nanoakışkanı için ortalama sıcaklığı 27°C den 34,7°C'ye çıkartmanın, yaklaşık 3 kata kadar artışa neden olacağı belirtilmiştir.

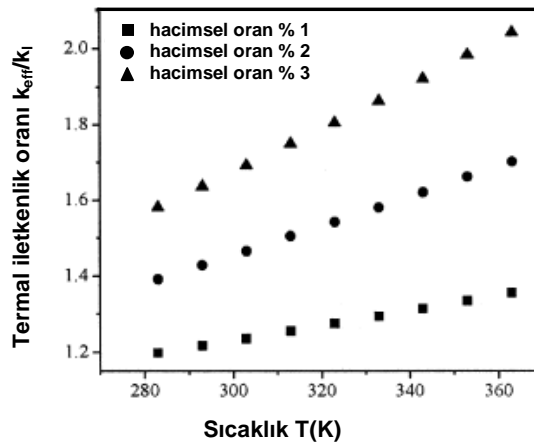
Hong *et al.*(2006) yaptıkları çalışmada Fe nanopartiküllerinin kümelenmesinin nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan çalışmaya göre nanoakışkanların ısı iletkenliği doğrudan Fe nanopartiküllerinin kümelenmesiyle ilgilidir ve yoğunlaştırılmış nanoakışkanların içerisinde nanopartiküllerin hızla kümelenmesi nanoakışkanların ısı iletkenliği ve Fe hacimsel oranı arasında non–lineer ilişkiye neden olur. Nanoakışkanların ısı iletkenliğinin azalmasının nanopartiküllerin kümelenmesiyle ilgili olduğu belirtilmiştir. Fe nanoakışkanlarının ısı iletkenliğinin nanopartiküllerin hacimsel oranı arttığı zaman non-lineer bir şekilde arttığı ifade edilmiştir. Non-lineerlik yoğunlaşmış nanoakışkan içerisinde nanopartiküllerin hızla kümelenmesi nedenine bağlanmıştır. Nanopartiküllerin hacimsel oranı arttığı zaman Fe nanoakışkanlarının Cu nanoakışkanlarından daha hızlı ısı iletkenlik artışı gösterdiği belirtilmiştir.

Patel *et al.* (2003) yaptıkları çalışmada su ve toluen temel akışkanları içerisinde toryum(thoriate), sitratlı altın(Au) ve gümüş(Ag) nanopartiküllerinden oluşan nanoakışkanları incelemişlerdir. Nanoakışkanlar düşük konsantrasyondaki iletkenlik artışını kontrol etmek için hazırlanmıştır. Ag partiküllerinin %0.00026 hacimsel oranda, 30-60°C sıcaklık aralığında, sitratlı su için nanoakışkanın ısı iletkenliğinde %5-%21 artış elde edilmiştir. Au partiküllerinin %0.011'inin yüklemesi için ısı iletkenlik artışı %7 ile % 14 civarındadır. Bu artışın partikül boyutundan başka, partiküllerin hareketinin de önemli bir faktör olduğunu gösterdiği ve ayrıca önemli kimyasal faktörlerin ısı iletkenlik üzerine önemli etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Das *et al.* (2003) yaptıkları çalışmada sıcaklık salınım metodu kullanılarak, deneysel incelemelerle CuO(28.6nm) ve Al₂O₃ (38.4nm) içeren nanoakışkanlar için sıcaklığın ısı iletkenlik artışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 21° C ile 52 ° C sıcaklık aralığında, ısı iletkenlikte 2-4 kata kadar artış olabileceği gözlemlenmiştir. Oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta soğutucu akışkanların çalışabileceği yüksek enerji yoğunluklu cihazlar için soğutucu akışkan olarak nanoakışkan uygulaması önerilmiştir. Küçük partiküller daha büyük partiküllerden sıcaklıkla daha fazla ısı iletkenlik artışı

gösterdiklerinden ısı iletkenlik artışı için nanopartiküllerin rasgele hareketlerinin muhtemel açıklama olabileceği belirtilmiştir.

Xuan *et al.* (2003) süspansiyon sıcaklığının bakır-su nanoakışkanının ısı iletkenlik üzerinde oldukça etkili olduğu vurgulamışlardır. Ayrıca hacimsel oranın artmasıyla ısı iletkenliğinin arttığını bildirmişlerdir (şekil 1.7).



Şekil 1.7. Cu-su nanoakışkanının ısı iletkenliğine sıcaklığın etkisi (Xuan vd 2003)

lijima(1991) ısı iletkenlikteki en büyük yükselişi, çok yüksek çap/boy oranı ve çok yüksek ısı iletkenliği bulunan karbon nanotüplerinin süspansiyonunda gözlemlemiştir. Karbon nanotüpleri sentezindeki ilk çalışma lijima tarafından yapılmıştır.

Choi *et al.*(2001) yaptıkları çalışmada yağ içerisinde nanotüp süspansiyonu hazırlamış ve etkili ısı iletkenliğini ölçmüşlerdir. Nanotüp (çok cidarlı karbon nanotüp veya MWNTs)-yağ(α -olefin) karışımı, etkili ısı iletkenliği ölçmek için incelenmişlerdir. Ölçülen ısı iletkenliğinin teoriksel tahminlerden anormal bir şekilde daha fazla ve nanotüp yüklenmesi nedeniyle non-lineer olduğu ve ayrıca bu anormal durumun katı-sıvı süspansiyonlar için konvansiyonel ısı iletim modelinin esas gagesini açıkladığı belirtilmiştir. Akışkanların içine dağılmış diğer nano yapıdaki materyallerle kıyaslandığında nanotüpün daha fazla ısı iletimi artışı sağladığı ve bu durumun çeşitli nanotüp uygulamalarına neden olduğu ifade edilmiştir.

Wen and Ding(2004a) çok cidarlı karbon nanotüp (MCNTs 20–60 nm çapında 10 µm boyunda)-su nanoakışkanının ısı iletkenliği üzerinde sıcaklığın etkisi incelemiştir. 30°C'den daha düşük sıcaklıklar için, ısı iletkenlik artışının sıcaklık üzerinde yaklaşık olarak lineer bağıllığı elde edilmiştir. Buna rağmen bu bağıllığın sıcaklık 30°C'den daha yüksek olduğu zaman bozulacağı ifade edilmiştir. Ding *et al.*(2006) ayrıca karbon nanotüp (CNT) /su süspansiyonun artan sıcaklığıyla etkili ısı iletkenliğinin artacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada, ısı iletkenlik artışının Assael *et al.*(2003), Xie *et al.*(2003) ve Wen and Ding(2004)'in bildirdiklerinden biraz daha yüksek fakat Choi *et al.*(2001) tarafından belirtilenden daha düşük olduğu ifade edilmiştir. Farklı gruplar arasındaki çelişkinin, kullanılan karbon nanotüplerin özelliklerine, çap/boy oranına, seyreltici katılmasına ve deneysel hatalara bağlı olabileceği belirtilmiştir.

Assael *et al.*(2003-2004) seyreltici olarak, ağırlıkça oranı %0.1 SDS (sodyum dodecyl sülfat) bulunduğu çok cidarlı karbon nanotüp C-MWNT(carbon-multiwall nanotubes)-su süspansiyonunun ısı iletkenliğinin artışı deneysel olarak araştırmışlardır. %0.6 hacimsel oranlı süspansiyon için maksimum ısı iletkenlik artışının %38 olduğu bulunmuştur. Assael *et al.*(2005) çok cidarlı karbon nanotüp (C-MWNTs) ve çift cidarlı karbon nanotüplerini (C-DWNTs) kullanarak benzer ölçümleri tekrarlamışlardır. Fakat seyreltici olarak Hexadecyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) ve nanoküre kullanılmıştır. CTAB'lı, hacimsel oranı %0.6 olan C-MWNT/su süspansiyonu için elde edilen maksimum ısı iletkenlik artışı %34 'tür. Çalışmada ayrıca süspansiyonun etkili ısı iletkenliğini üzerinde surfactant(yüzey gerilimini azaltan madde) konsantrasyonunun etkisi tartışılmıştır ve CTAB'ın C-MWNTs ve C-DWNTs için en iyisi olduğu bulunmuştur.

Farklı partiküllerle oluşturulmuş olan nanoakışkanların ısı transferi karakteristiklerini belirlemeye yönelik çalışmalar son birkaç yıldır hızla artmaktadır. Bu çalışmalarda partikül tipi, partiküllerin çapı, partiküllerin hacimsel oranı, temel akışkan tipi deneysel çalışmalarda incelenen parametrelerden temel olanlarıdır. Farklı endüstriyel uygulamalar göz önüne alınarak dairesel, kare/dikdörtgen ve mikrokanallar akış kanalı

olarak dikkate alınmış, laminar ve türbülanslı akış koşullarında deneyler gerçekleştirilmiştir.

Birçok ısı transferi uygulamasında ısı transferi işleminin iyileşmesi için nanoakışkanlar oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Bugün oldukça yaygın kullanılan pasif ısı transferi iyileştirme yöntemlerinde özellikle yapılan geometrik değişiklikler ısı transferinde artışla birlikte basınç düşümünde de bir artış meydana getirmekte ve uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Yeni nesil potansiyel iş yapan akışkan olarak gösterilen nanoakışkanların tespit edilmesi durumunda endüstride kompakt ve yüksek verimli ısı değiştiricilerin üretilebilmesi mümkün olacaktır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Nanoakışkanların Gelişimi

Nobel ödüllü Richard Feynman 1959' da küçük makineler fikrini ortaya attığından beri minyatürleştirme (miniaturization) modern bilim ve teknolojiye önemli bir eğilim oldu. Yaklaşık 40 yıl sonra Nobel ödüllü H.Rohrer nano çağı (Rohrer 1996) fırsatlarından ve şüphelerinden bahsetmiştir. Minyatürleştirme eğilimi eski 1950lerin milimetre derecesini bugünkü atomik dereceye düşürmüştür.(Sohn 1998) Nanoakışkanların fikri ve gelişimi doğrudan minyatürleştirme ve nanoteknoloji eğilimiyle ilişkilendirilir. Argonne National Laboratory(ANL)'deki çalışmalar nanoakışkanları değişik endüstride muhtemel ticari uygulamalara uygun hale getirmiştir.

Nanoakışkanların incelenmesi sırasında nanoakışkan kavramının, nanoakışkanların hazırlanmasının, nanoakışkanların ısı iletkenlikleri ve ısı transferi ölçüm tekniklerinin bilinmesi gerekmektedir. Ayrıca endüstriyel birçok uygulama için elverişli durumda olan yüksek performanslı nanoakışkanların faydalarının da bilinmesi gereklidir.

2.1.1. Minyatürleştirme ve Nanoteknoloji

Boyut ve ölçek küçültme bilim ve teknoloji dünyasında açık bir eğilimdir. Daha büyük daha iyidir yerini daha küçük daha iyidir kavramına bıraktığından beri mikro elektromekanik sistemler (MEMS) teknolojisi ve nanoteknoloji minyatürleştirmede yeni bir devrim olarak hızla ortaya çıkmaktadır. Hızlı bir şekilde ortaya çıkan bu teknolojilerin bir özelliği de birkaç bilim dallarıyla ilgili olmalarıdır.

Mikro ölçekli ürünlerin çeşitleri mevcuttur. Küçültülmüş sensorlar, motorlar, ısı değiştiricileri, pompalar, ısı pompaları, valfler, ısı boruları, yakıt hücreleri, tıbbi aletler mikro ürünlerin çeşitlerinden sadece birkaçıdır. Küçük ısı değiştiricileri yüksek ısı iletkenlik, yüksek ısı transfer yüzeyi, küçük boyut, düşük ağırlık ve dizayn esnekliği gibi birçok özelliğe sahiptir. Ayrıca üretim maliyetleri de düşürülebilir. Bu avantaj birçok üretim firmasının dikkatini çekecektir.

Son yıllarda Amerika, Çin, Avrupa ve Japonyada nanoteknolojide yapılan araştırmalar nanoteknolojinin 21.yüzyılda yeni ve umut verici bir teknoloji olacağını göstermektedir.

2.1.2. Nanoakışkan Kavramı

Isı transferi cihazlarının enerji etkinliğinin gelişiminde ısı transferi akışkanlarının ısı iletkenliği önemli bir rol oynar. Buna rağmen su, yağ, etilen glikol gibi klasik ısı transfer akışkanları düşük ısı iletkenlidir. Endüstriler gelişmelerle beraber yüksek ısı iletkenlikli yeni ısı transfer akışkanlarının geliştirilmesi fikrini ön plana çıkarmıştır.

Isı transferi cihazları üzerinde ki mevcut araştırma ve gelişim çabalarına rağmen klasik ısı transfer akışkanlarının düşük ısı iletkenliğinden dolayı önemli kısıtlamalar doğurmaktadır. Buna rağmen oda sıcaklığında katı formdaki metallerin bu akışkanların ısı iletkenliklerinden daha yüksek ısı iletkenlikleri olduğu bilinmektedir.(Touloukian *et al.* 1970) Örneğin oda sıcaklığındaki bakırın ısı iletkenliği suyunkinden yaklaşık 700 kat, motor yağından 3000 kat daha büyüktür. Metal akışkanların ısı iletkenlikleri ametal akışkanlarından çok daha fazladır. Bu nedenle süspansiyonlu katı partikül içeren akışkanların ısı iletkenlikleri bu klasik akışkanların ısı iletkenliklerinden daha yüksek olması beklenir.

100 yıl önceden yayınlanan Maxwell' in teorisinden beri (Maxwell, 1873) katı partikül içeren süspansiyonların ısı iletkenlikleri konusunda deneysel ve teoriksel çalışma yapılmıştır. Buna rağmen süspansiyonların ısı iletkenlikleri üzerindeki tüm çalışmalar milimetre ve mikrometre boyutlu partiküllerle sınırlıdır. Milimetre ve mikrometre

boyutunda partikül içeren süspansiyonların en büyük problemi hem bu partiküllerin hızla çökmesidir hem de mikro sistemler için bu partiküllerin büyük olmasıdır.

Bugün sahip olunan teknoloji ortalama boyutu 50 nm den aşağıda olan maddelerin üretimine imkân sağlamaktadır. Daha yüksek ısı iletkenlikli yeni akışkanlar üretmek için nano boyutlu metal partiküller su, etilen glikol veya motor yağı gibi endüstriyel ısı transferi akışkanlarının içerisine süspansiyon edilebilir. Klasik ısı transfer akışkanlarının içerisine nanopartiküllerin süspansiyon edilmesiyle yeni bir ısı transferi akışkanı olan nanoakışkanlar elde edilebilir. Nanoakışkanlarda kullanılan partiküllerin ortalama boyutları 50 nm'nin altındadır. (Choi, 1995)

2.2. Nanoakışkan Karışımlarının Hazırlanması

Nanoakışkanlar basit katı-sıvı süspansiyon değildir. Aynı zamanda aşağıdaki özellikleri de sağlamalıdır.

- Kararlı (stabil) ve dayanıklı (durabil) bir süspansiyon olmalıdır.
- Partiküllerdeki topaklanma ihmal edilebilir düzeyde olmalıdır.
- Akışkanın kimyasal özellikleri değişmemelidir.

Nanoakışkanlar nano boyutlarda katı partiküllerin temelde su, etilen glikol veya yağ gibi akışkanlara katılması ile hazırlanırlar. Nanoakışkan hazırlanmasında iki metot kullanılmaktadır.

1-Tek adım metodu

2-İki adım metodu.

Tek adım metodu olarak bilinen yöntemin ana fikri temel akışkan içerisinde nano partikül üretimidir. Fakat kuru nanopartikül elde etmek için akışkandan partikülü ayırmak zordur. Direkt buharlaştırmalı tek adım metodu Akoh *et al.* (1978) tarafından geliştirilmiştir.

İki adım metodunda önceden hazırlanmış olan nano partiküller temel akışkan içerisine uygun yöntemlerle karıştırılarak süspansiyon oluşturulur. Tek adım metodu ile karşılaştırıldığında iki adım metodu metalik partiküller için daha az uygun olmasına karşın oksit nanopartiküller için iyi sonuç vermektedir (Wang and Mujumdar, 2007).

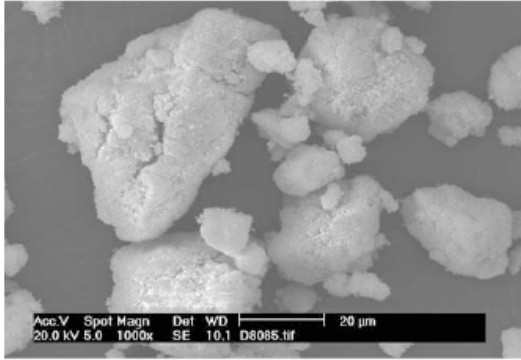
Genelde nanoakışkan süspansiyonu hazırlanırken kullanılan yöntemler üç türdür; (Xuan and Li 2000):

- Süspansiyonun pH değerini değiştirmek.
- Yüzey aktivatörleri ve /veya seyrelticiler kullanmak.
- Ultrasonik titreşimler kullanmak.

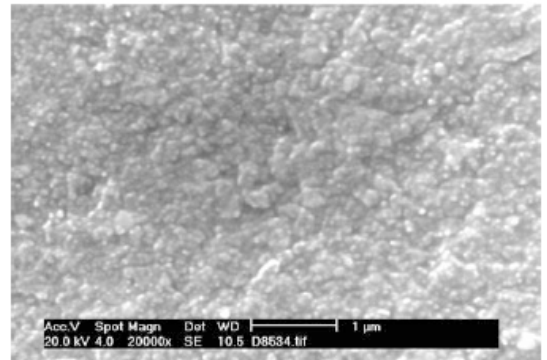
Homojen partikül dağılımının sağlanması ve topaklanmanın azaltılması için ultrasonik ekipman kullanımının dışında yüzey aktivatörleri eklenmesi ve pH kontrolü gibi metotlarda kullanılmaktadır. Tüm bu teknikler, kararlı bir süspansiyon elde etmek için partiküllerin kümelenmesini ortadan kaldırmayı ve asılı partiküllerin yüzey özelliklerini değiştirmeyi amaçlamaktadır.

Yapılan çalışmalarda nanoakışkanların konvansiyonel olarak kullanılan karışımlara göre tortulaşma, akışı engelleme ve basınç düşümü gibi akış problemleri bakımından daha avantajlı oldukları tespit edilmiştir. Nanoakışkan süspansiyonlarında en büyük problem topaklanmadır. Topaklanmayı önlemek için partiküllerin ve çözeltilerin özelliklerine bağlı olarak süspansiyona uygun bir yüzey aktivatörü veya seyreltici çok az miktarda

ilave edilmektedir. Genelde kullanılan aktivatörler ve seyrelticiler thioller, oleik asit ve laurate tuzlarıdır (Xuan and Li, 2000). Seyrelticilerin eklenmesi özellikle yüksek sıcaklıklarda nanoakışkanların ısı transferi performansını etkilemektedir. Boru içindeki aşınma ve basınç düşümü problemleri düşük partikül hacim oranları kullanılarak (genellikle %5 den az hacimsel oranlarda) büyük ölçüde azaltılmaktadır. Şekil 2.1. (a) da temel akışkan içerisinde topaklanmış, Şekil 2.1. (b)'de ise homojen dağılmış CuO nanopartiküllerin TEM'de (Transmission Electron Microscope) çekilmiş görüntüleri verilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.1. (a) Topaklanmış, (b) homojene yakın dağılmış CuO partikülleri (Putra *et al.* 2003)

2.3. Nanoakışkanların Isıl İletkenlikleri

Isıl iletkenlik akışkanın ısı transferi performansını arttırmada önemli bir parametredir. Katı metallerin ısı iletkenliğinin akışkanların ısı iletkenliğinden daha yüksek olduğundan dolayı, süspansiyon edilen partiküllerin ısı iletkenliği ve ısı transferi performansını arttırabileceği düşünülmektedir. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini ölçmek için;

a) Geçici sıcak tel metodu (transient hot wire method),

b) Kararlı hal paralel plaka tekniği (steady-state parallel plate technique),

c) Sıcaklık salınım tekniği (temperature oscillation technique)

kullanılmaktadır. Bunların arasından en çok geçici sıcak tel metodu kullanılmaktadır. Geçici sıcak tel metodu ani elektriksel sinyallere telin zaman ve sıcaklık tepkisini ölçerek çalışır. Tel hem ısıtıcı hem de termometre olarak kullanılır. Fourier yasası ve sıcaklık verileri ısı iletkenliği hesaplamak için kullanılır. Mevcut tüm deneysel sonuçlar küçük miktarda nanopartikül içeren nanoakışkanların temel akışkanın ısı iletkenliğinden daha yüksek ısı iletkenliği olduğunu göstermiştir.

Al_2O_3 ve CuO birçok deneysel çalışmada kullanılan en çok bilinen nanopartiküllerdir. Partiküllerin boyutları ve temel akışkanın türü farklı olduğunda bile tüm deneysel sonuçlarda temel akışkana göre ısı iletkenliğinin arttığı gözlemlenmiştir (Trisaksri and Wongwises 2005). Nanoakışkanların ısı iletkenliği hem partikülün hem de temel akışkanın ısı iletkenliğine bağlıdır ve nanopartiküllerin hacimsel oranının artışıyla artar. Xuan and Li (2000) bakır nanopartiküller ve sudan oluşan nanoakışkanın ısı iletkenliğini incelemişlerdir. Nanopartikülün hacim kesri %2.5 ten %7.5 e değiştiği zaman, nanoakışkanın ısı iletkenliğinin temel akışkanın ısı iletkenliğine oranı 1.24 ten 1.78 e yükselir. Belirli bir hacim kesri için ısı iletkenlik artışı her temel akışkan türü için farklıdır.

Nanopartiküller nanoakışkan içerisindeki enerji taşınımını arttırmaları. Bu iki türlü açıklanabilir. Birincisi süspansiyon edilen nanopartiküller akışkanın bileşimini değiştirir ve temel akışkanı süspansiyona dönüştürür. Bu nedenle enerji taşıma sürecini etkilerler. İkincisi süspansiyon edilmiş partiküllerin rastgele hareketleridir. Partiküllerle sıvı moleküller arasındaki ara yüzeysel etkileşim akışkan içerisinde enerji taşınımını artırır.

Bununla birlikte nanoakışkanın ısı iletkenliği nanoakışkanın viskozitesine, temel akışkanın ısı iletkenliğine, katı partikülün özelliklerine (yoğunluğu, gizli ısı gibi) ve nanopartikülün hacim kesrine bağlıdır. Nanoakışkanın ısı iletkenliği nanopartikül kümesinin dönme yarıçapıyla ve topaklanmanın oransal yapısıyla değişir. Akışkan içerisine süspansiyon edilmiş kümelerin dönme yarıçapı ne kadar küçükse nanoakışkanların ısı iletkenliği o kadar büyük olur. Çünkü daha küçük kümeler birim zamanda daha hızlı ve daha uzağa hareket ederler ve nanoakışkan içerisinde daha güçlü enerji taşınımına neden olurlar (Xuan *et al.* 2003).

Tüm faktörler dikkate alınarak nanoakışkanların ısı iletkenliği ;

- Hem temel akışkanın hem de nanopartikülün ısı iletkenliği
- Hacim kesri
- Yüzey bölgesi
- Sıvı içerisine süspansiyon edilmiş nanopartiküllerin biçimi

gibi parametrelerinin fonksiyonu olarak artar. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini tahmin etmek için literatürde “çok iyi” denebilecek düzeyde teorik bir yaklaşım yoktur. Karışım içinde sadece küresel partiküllerin bulunması durumunda geçerli olan bir model Maxwell (1881) tarafından geliştirilmiştir. Maxwell modeli nispeten daha büyük partiküllü katı-sıvı karışımlar için önerilen ısı iletkenlik için mevcut genel bir modeldir.

Sonradan önerilen birçok model Maxwell modeline dayandırılmıştır. Maxwell modeli süspansiyonun efektif ısı iletkenliğinin dairesel partikülün ısı iletkenliğine, temel akışkana ve katı partikülün hacim kesrine bağı olduğunu göstermiştir. Dairesel olmayan nanopartiküller için nanoakışkanların ısı iletkenlik artışı sadece partiküllerin hacim kesrine bağı değil aynı zamanda partiküllerin biçimine de bağıdır.

Küresel ve küresel olmayan partiküllerin dikkate alındığı bir başka model Hamilton-Crosser (1962) tarafından önerilmiştir. Hamilton-Crosser iki bileşenli karışımların ısı iletkenliği için model geliştirmiştir. Model hem partikül hem de temel akışkanın iletkenliğinin ve partiküllerin şeklinin fonksiyonudur. Bu model Çizelge 2.1 de verilmiştir. Modelde yer alan n deneysel şekil faktörüdür ve $n = 3/\psi$ olarak verilir. ψ küreseliktir ve kürenin (partikülün eşit hacmine sahip) yüzey bölgesinin partikülün yüzey bölgesine oranı olarak tanımlanır. Xuan and Li (2000) Hamilton-Crosser modelini kullanarak ψ' nun 0.5 ten 1 e kadar farklı değerleri için nanoakışkanların ısı iletkenliğini belirlemiştir. Lee *et al.* (1999) dairesel partiküller için $\psi=1$ alındığı zaman Al_2O_3 nanoakışkanlarının deneysel sonuçlarıyla aynı değer hesaplamışlardır.

İki fazlı karışımların efektif ısı iletkenliğini hesaplamak için alternatif bir teoride Yu and Choi (2003) tarafından önerilmiştir. Bir başka yaklaşım olan Wasp modeli katı-sıvı karışımların ısı iletkenliğini hesaplamak için Xuan and Roetzel (2000) ve Wang *et al.* (2002) tarafından önerilmiştir. Sadece küresel partiküller için Wasp modelinde Maxwell ve Hamilton-Crosser modelleriyle aynı sonuçlar elde edilmiştir. Homojen küresel partiküller içeren iki fazlı karışımlar için Bruggeman modeli önerilmiştir. Bu model nanopartiküllerin kümelenme etkisini düşünmek için Wang *et al.* (2003) tarafından kullanılmıştır.

Çizelge 2.1. Katı/sıvı süspansiyonları için efektif ısı iletkenlik modelleri, Choi *et.* (2001)

Model	İfade	Açıklama
Maxwell	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_l + 2(k_p - k_l)\phi}{k_p + 2k_l - (k_p - k_l)\phi}$	Küresel partiküller için geçerlidir.
Hamilton-Crosser	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + (n-1)k_l - (n-1)(k_l - k_p)\phi}{k_p + (n-1)k_l + (k_l - k_p)\phi}$	Küresel ve küresel olmayan partiküller dikkate alınmıştır; küresel partiküller için $n=3$, silindirik partiküller için $n=6$
Wasp	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_l - 2(k_l - k_p)\phi}{k_p + 2k_l + (k_l - k_p)\phi}$	Katı-sıvı karışımların ısı iletkenliğini hesaplamak için önerilmiştir.
Yu-Choi	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_l + (k_p - k_l)(1 + \beta)^3 \phi}{k_p + 2k_l - (k_p - k_l)(1 + \beta)^3 \phi}$	İki fazlı karışımların etkili ısı iletkenliğini hesaplamak için alternatif bir teoremdir.
Bruggeman	$k_e = \frac{1}{4} [(3\phi - 1)k_p + (2 - 3\phi)k_l] + \frac{k_l}{4} \sqrt{\Delta}$ $\Delta = [(3\phi - 1)^2 (k_p / k_l)^2 + (2 - 3\phi)^2 + 2(2 + 9\phi - 9\phi^2)(k_p / k_l)]$	Homojen küresel partiküller içeren iki fazlı karışımlar için önerilmiştir.
Jeffrey	$\frac{k_e}{k_l} = 1 + 3\beta\phi + \left(3\beta^2 + \frac{3\beta^3}{4} + \frac{9\beta^3}{16} \frac{\alpha + 2}{2\alpha + 3} + \frac{3\beta^4}{2^6} + \dots \right) \phi^2$	Yüksek dereceli terimler rasgele dağılmış olan küreciklerin etkileşimlerini ifade etmektedir.
Davis	$\frac{k_e}{k_l} = 1 + \frac{3(\alpha - 1)}{(\alpha + 2) - (\alpha - 1)\phi} [\phi + f(\alpha)\phi^2 + 0(\phi^3)]$	Yüksek dreceli terimler rasgele dağılmış olan küreciklerin etkileşimlerini ifade etmektedir. $f(10) = 2.5$ $f(\infty) = 0.5$

Çizelge 2.1. (Devam)

Lu-Lin	$\frac{k_e}{k_l} = 1 + a\phi + b\phi^2$	Küresel ve küresel olmayan partiküller için geçerlidir. Küresel partiküllerde $\alpha=10$ için, $a=2.25$, $b=2.27$; $\alpha=\infty$ için $a=3.00$, $b=4.51$ Yakın ve uzak alan çiftlerin etkileşimleri dikkate alınır.
--------	---	--

Çizelge 2.1'deki denklemlerde geçen k_e karışımın efektif ısı iletkenliği, k_p partikülün ısı iletkenliği, k_l temel akışkanın ısı iletkenliği, ϕ partikülün hacimsel oranıdır. $\alpha = k_p / k_l$ 'dir. β ise nano katman kalınlığının partikül yarıçapına oranıdır. Nanoakışkanların efektif ısı iletkenliğini hesaplamak için $\beta= 0.1$ alınır (Yu and Choi,2003).

2.3.1. Brown Hareketleri ve Etkisi

1827 yılında botanikçi Robert Brown bir sıvının içinde süspansiyon halinde dolaşan küçük parçacıkların hareketini incelenmiştir. Gözlediği parçalar su içinde zig zag hareketi yapan polenlerdir. Yaptığı gözlemlerde bu parçacıkların ortamın moleküllerini rastgele hareket ettirmesi şeklinde bir hareket yaptıklarını, hareketin karakterinin genel olduğunu ve herhangi bir andaki durumun başlangıca bağlı olmadığını görmüştür.

Moleküllerin söz konusu rastgele hareket nedeni ile yüksek konsantrasyonlu bir bölge düşük konsantrasyonlu bir bölge ile temasa geçirilince yüksek konsantrasyonludan düşük konsantrasyonlu bölgeye doğru difüzyonla bir akış izlenecektir. Süspansiyondaki parçacıkların Brown hareketi nedeni ile belirli bir zamanda ortalama olarak ne kadar yol gittiğini hesap etmek ve bunun büyüklük mertebesi parçacığın çökme eğilimi ile

kıyaslanarak bulunabilir. Bu tip difüzyon olayları kütle transferi, sedimentasyon, yoğunluk akımları ve konveksiyonda gözlemlenir.

2.3.2. Chauvenet Kriteri

Chauvenet kriteri, deneysel ölçüm sonucunda elde edilen bulgulardan şüpheli olanlarının seçilmesi amacıyla kullanılır. Çizelge 2.2.'de gösterildiği gibi, bu kriterde çeşitli ölçüm sayıları için kabul edilebilir maksimum sapmaların, standart sapmalara oranı verilmiştir.

Çizelge 2.2. Deneysel bulguların eliminasyonu için Chauvenet kriteri.(Ölçme Tekniği Genceli F.O. , 1995)

Ölçme sayısı	Kabul edilebilir maksimum sapmanın, standart sapmaya oranı d_{max}/σ
3	1,38
4	1,54
5	1,65
6	1,73
7	1,8
10	1,96
15	2,13
25	2,33
50	2,57
100	2,81
300	3,14
500	3,29
1000	3,48

Kriterin kullanılabilmesi için, öncelikle yapılan deneylere ait σ standart sapma ve bütün bulgulara ait sapmalar(d_i) bilinmelidir. x_i deneysel veriler, x_m deneysel verilerin ortalama değeri, $d_i = x_i - x_m$ 'dir. Bundan sonra her bir deneysel bulgu, Çizelge 2.3.'deki kriter değeri ile karşılaştırılmalıdır. Eğer eldeki deneysel bulguya ait oranlardan bazıları, bu kriter değerinden büyük ise, bu bulgular değerlendirme dışı bırakılmalıdır. İstenirse bu şekilde elde edilen yeni sonuçlara ikinci ve üçüncü defa, bu kriter tekrar uygulanabilir. Fakat pratikte genel olarak bir defa uygulanması yeterlidir.

2.4. Yüzey Aktif Maddeler

Yüzey aktif maddeler, çok az miktarlarıyla, çözüldüğü bir akışkanın yüzey veya ara yüzey özelliğini belirgin bir şekilde değiştiren maddelerdir. Bunların yüzey aktiviteleri çeşitli yüzey özelliklerinin ölçülmesiyle tanımlanır.

Yüzey aktif maddelerin bağlı olduğu teoriler, ara yüzey olayları ile ilgili olmayan birçok görüşü de kapsamaktadır. Yüzey aktif maddeler ile diğer çözünmüş maddeler arasındaki fark, özel bir koloidal çözelti tipi oluşturmasıyla karakterize edilebilen çözeltilerin içyapılarındaki bazı özelliklerinden kaynaklanır. Yüzey aktif maddelerin çözeltileri alışılmamış fiziksel özellikler gösterirler. Seyreltik çözeltiler normal elektrolit gibi davranırken belli bir konsantrasyonda çeşitli fiziksel(osmotik basınç, bulanıklık, yüzey gerilimi gibi) ve elektriksel özelliklerinde ani bir değişme ve normalden sapma görülür. Mc. Bain bu aykırı davranışların yüzey aktif moleküllerin ve iyonların çözeltide yığılma veya misel oluşturmasıyla açıklanabileceğini belirlemiştir. Misel etkileri ayrı olarak incelenebilirse bunların yüzey etkileriyle karşılıklı sıkı bir bağlantısı vardır.

Yüzey aktif maddelerin büyük bir kısmı, temel olarak doğrusal(lineer) bir yapı ile karakterize olurlar. Yani moleküllerin uzunluğu, genişliğinden çok fazladır. Doğrusal yapıdaki moleküllerin bir ucunda çözücü sistemine uygun bir radikal, aksi tarafta da uygun olmayan bir radikal vardır. Genel olarak bir uç zayıf değerlik kuvvetleriyle karakterize olan, hidrofobik yapıda bir hidrokarbon grubu iken, diğer uç güçlü değerlik kuvvetleri olan hidrofilik yapıdadır. Eğer akışkan ortam su ise hidrofil(su-sever) ya da hidrofob(su-sevmez) terimleri kullanılır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Nano boyuttaki partiküllerin temel akışkan içerisine katılmasıyla elde edilen süspansiyona nanoakışkan adı verilir. Bu çalışmada nanoakışkan hazırlanarak, kararlılığı arttırılmaya çalışılacak, hazırlanan nanoakışkanın transmisyon elektron mikroskobu (TEM) görüntüleri alınacak ve ısıl özellikleri belirlenmeye çalışılacaktır. Deneysel çalışmalar çeşitli aşamalardan meydana gelmektedir ve ilk adımını nanoakışkanın hazırlanması oluşturmaktadır. Deneysel çalışmada kullanılan nano partikülleri bakır oksit (CuO) ve alüminyum oksittir(Al_2O_3). Temel akışkan olarak ise de-iyonize su kullanılmıştır. Isıl iletkenlikleri bilinen CuO ve Al_2O_3 farklı oranlarda de-iyonize suyun içerisine katılarak nanoakışkan hazırlanmıştır. Nanoakışkan hazırlandıktan sonra elde edilen süspansiyon ultrasonik banyoda 20-24 saat bekletilmiştir. Kararlı süspansiyonun elde edilmesinden sonra farklı hacimsel oranlardaki süspansiyonların ısıl iletkenliklerini belirlemek için deneyler yapılmış ve veriler elde edilmiştir. Nanoakışkan hazırlama ve ısıl iletkenliğin belirlenmesi aşamasında kullanılan ekipman ve yöntem bu başlık altında sunulacaktır. Kullanılan ekipmanlar ve özellikleri aşağıdaki gibidir.

3.1. Deneysel Materyal

3.1.1. Nanopartiküller

Deneylerde kullanılan nanopartiküller Sigma-Aldrich firması tarafından sağlanmıştır. Nanopartiküllerin özellikleri Çizelge 3.1' de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan nanopartiküllerin özellikleri

	Al₂O₃	CuO
Adı	Alumina	Bakır Oksit
Moleküler Formülü	Al ₂ O ₃	CuO
Moleküler Ağırlığı	101.96	79.55
Fazı	Gama	-
Partikül Boyutu	40–47 nm	33 nm
Yüzey Alanı	35–43 m ² /gr	29 m ² /gr
Erime noktası	2040 °C	-
Isıl İletkenliği (21 °C)	37.14 W/mK	76.5 W/mK

3.1.2. Ultrasonik Banyo

Temel akışkan-nanopartikül karışımının homojen bir şekilde karışması ve kararlı olabilmesi için uygulanan yöntemlerden biri karışımı bir süre ultrasonik titreşime maruz bırakmaktır. Deneysel çalışmada kullanılan Ultrasonik Banyonun teknik özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Voltaj: 230 V- 50 Hz
- Ultrasonik Gücü: 600 peak/300 Watt
- Isıtıcı Gücü: 500 Watt
- Ultrasonik Frekansı : 28 kHz



Şekil 3.1. Ultrasonik Banyo

3.1.3. KD2 Pro Isıl Özellik Ölçer

Isıl iletkenlik ölçümleri Decagon firması tarafından üretilen ve proje kapsamında satın alınan KD2 Pro Thermal Analyzer isimli cihazla yapıldı. KD2 Pro geçici ısı kaynağı metodu (transient line heat source method) kullanarak ölçüm yapan bir cihazdır. Bir ölçüm süreci 30 sn denge süresi, 30 sn ısıtma süresi ve 30 sn de soğutma süresi olmak üzere toplam 90 sn' lik bir periyodu kapsamaktadır. Akışkan içerisine daldırılmış olan prob tarafından ısıtma ve soğutma sırasında birer saniye aralıklarla sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Daha sonra elde edilen ölçümler nonlineer en küçük kareler prosedürü kullanılarak exponansiyel integral fonksiyonlarına uygun olarak yapılır.

Okumaların hassasiyetini optimize edebilmek amacıyla ölçümler sırasında akışkanın sıcaklık değişimleri için bir lineer sapma terimi ile düzeltme yapılmaktadır. Tüm bu işlemler cihazın çalışma prensibi doğrultusunda ölçümler sırasında cihaz tarafından yapılmaktadır. KD2 Pro cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.2.'de ve resmi Şekil 3.2.'de sunulmuştur.



Şekil 3.2. KD2 Pro ısı özellik ölçer

Çizelge 3.2. KD2 Pro Isıl özellik ölçerin teknik özellikleri

ÖZELLİKLER	
Ekran:	6 rakam LCD
Ölçüm Parametreleri:	Isıl Diffusivity, D
	Spesifik Isı, C
	Isıl İletkenlik, K
	Isıl Direnç, R
Ölçüm Aralığı:	D: 0.1 – 1.0 mm ² s ⁻¹
	C: 0.5 – 4 MJm ⁻³ K ⁻¹
	K: 0.02 – 2 Wm ⁻¹ K ⁻¹
	R: 0.5 – 50 mKW ⁻¹
Ölçüm Hassasiyeti:	Isıl Diffusivity: 5%
	Spesifik Isı: 7%
	Isıl İletkenlik: 5%
	Isıl Direnç: 5%
Ölçüm Sıcaklığı:	-50 ile +150 °C
Ölçüm Süresi:	90 saniye
Sensörler:	KS-1: Isıl Direnç/Isıl İletkenlik
	TR-1: Isıl Direnç/Isıl İletkenlik
	SH-1: Isıl Diffusivity/Spesifik Isı
Veri Hafızası:	4095 Okuma (Flash Memory)

3.2. Nanoakışkanın Hazırlanması

Nanoakışkan hazırlanırken iki adım metodu kullanıldı. Hazırlanan nanoakışkanın zamana bağlı çökmesini gözlemlemek için 50 ml hacimli şeffaf şişeler tercih edildi. Literatür taramasında belirli hacimsel oranların üzerinde özellikle viskozite değişimine bağlı olarak ısıl iletkenliğin azaldığı belirlenmiştir. Bu bağlamda her iki nanopartikül için seçilen hacimsel oranlar %0.5, 1, 2 ve 4 olarak belirlendi. Toplam akışkan hacmi

için süspansiyon içindeki nanopartikülün kütleini belirlemek için aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$C_v = \frac{\rho_n - \rho_l}{\rho_p - \rho_l} \quad (3.1)$$

3.1 denkleminde ρ_n bulunur ve 3.2 denkleminde yerine yazılarak

$$\rho_n = \frac{m_n}{V_n} \quad (3.2)$$

m_n hesaplanır.

$$C_m = C_v \frac{\rho_p}{\rho_n} \quad (3.3)$$

3.3 denkleminde C_m hesaplanır ve

$$m_p = C_m m_n \quad (3.4)$$

Denklemin 3.4' te yerine yazılarak m_p hesaplanır.

$$m_{su} = m_n - m_p \quad (3.5)$$

$$\rho_{su} = \frac{m_{su}}{V_{su}} \quad (3.6)$$

$$\rho_p = \frac{m_p}{V_p} \quad (3.7)$$

3.5 ve 3.6 denklemlerinden suyun hacmi 3.7 denkleminde partikülün hacmi hesaplanır.

V_p =Süspansiyon içerisinde nanopartikülün hacmi (m^3)

V_n =Süspansiyonun toplam hacmi (m^3)

ρ_p =Nanopartikül yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_n =Nanoakışkanın yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_l =Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

m_p =Süspansiyon içerisinde nanopartikül kütlesi (kg)

C_m =Partikülün kütle oranı.

C_v =Partikülün hacimsel oranı.

Temel akışkan olarak de-iyonize su tercih edilmiştir. Öncelikle deiyonize suyun ısı iletkenliği ölçülmüş ve ısı iletkenlik değeri 0.59 W/mK olarak belirlenmiştir. Daha sonra hassas terazi kullanılarak belirlenen partikül kütleleri ölçülmüştür. Deneysel çalışmada kullanılan terazinin resmi Şekil 3.3.'te görülmektedir.



Şekil 3.3. Terazi resmi.

Pipet kullanılarak laboratuvar imkânları ile karışım hazırlanmış ve ultrasonik banyoya konarak yaklaşık 20-24 saat ultrasonik banyoda bekletilmiştir. Ultrasonik banyodan alınan süspansiyon oda sıcaklığına kadar bekletilmiştir. Şekil 3.4.'de hazırlanan süspansiyon gösterilmiştir.



Şekil 3.4. CuO ve Al₂O₃ nanoakışkan örnekleri

KD2 Pro probunun dikey pozisyonda hareket etmeden durabilmesi için hazırlanan özel düzeneğe şişeler yerleştirilmiştir (Şekil 3.2). KD2 Pro cihazının yukarıda açıklanan ölçüm tekniğinden dolayı akışkandan proba zorlanmış konveksiyon etkisi olmaması için probun tamamen ve dikey olarak akışkanla temas etmesi gerekmektedir. Tek bir ölçüm yaklaşık 2 dakika sürmektedir. İlk 90 saniye daha önce bahsedildiği gibi sıcaklık kararlılığının sağlamak için harcanırken son 30 saniye de prob bilinen bir akım değeri ile ısıtılmaktadır. Okuma sonuçlanınca akışkanın ısıl iletkenliği, buna bağlı olarak ısıl direnci, sıcaklığı ve zaman gibi bilgiler cihazın ekranında görülmektedir. Bilgiler gerekirse bilgisayara RS32 bağlantısı ile bilgisayar ortamına atılabilmektedir. Her bir numune için 30 dakika aralıklarla yaklaşık 6-7 saat ölçümler alınmış, kaydedilen değerler istatistiksel yöntemlerle değerlendirilerek (Chauvenet kriteri, (Holmann 1994)) hatalı okumalar değerlendirme dışı bırakılmıştır.

Elde edilen ısı iletkenlik değerleri yazılan MATLAB programı ile literatürde verilen modellerle karşılaştırılmıştır.

3.3. Elektron Mikroskobu

Elektronların parçacık ve dalga etkileşiminin ilginç ve önemli bir örneğidir. Bir elektron ışını bir cismin görüntüsünü oluşturmak için kullanılabilir. Bir elektron ışınının yörüngesi elektrik ya da manyetik alan ile değiştirilebilir. Elektronlar elektrik ve/veya manyetik alan ile bir noktada odaklanabilir. Hızlandırılmış elektronlar çok kısa dalga boyuna sahiptir, böylece çok kısa dalga boyları ile daha fazla büyütme oranları ve daha iyi ayırma gücü elde edilmesi sağlanır. Standart elektron mikroskobunun ayırma gücü birkaç nanometre mertebesindedir. ($1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)

1931 yılında Almanya'da elektron ışınlarının manyetik bobinler tarafından odaklanması ile ilk elektron mikroskobu yapıldı. Elektron mikroskobu yüksek vakum bölgesinde yer alır; hava molekülleri tarafından saptırılamaz.

Elektron mikroskopları iki çeşittir. Bunlar: Transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ve Taramalı elektron mikroskobu (SEM).

3.3.1. Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM)

Geçirimli Elektron Mikroskobu veya TEM (Transmission Electron Microscope) cismin içinden geçirilen yüksek enerjili elektronların görüntülenmesi prensibine dayanır. Max Knoll ve Ernst Ruska tarafından 1930'larda yapılan çalışmaların sonucu ortaya çıkan geçirimli elektron mikroskobu, optik mikroskoplara nispeten daha detaylı ayrıntıları görmeye olanak sağlar. Bu mikroskopta elektron ışını çok ince bir örneğe yönlendirilir. Elektron mikroskobunda, projeksiyon mercekleri olarak adlandırılan mercekler gerçek görüntüyü flouresan ya da fotografik film üzerine düşürmelidir. Çünkü gözümüz elektron görüntüsü görülemez.

TEM için kullanılan örnekler çok ince olmalıdır. 10-20nm (100 atom kalınlığı) kadar küçük çaplı örnekler özel yöntemlerle hazırlanabilmektedir.



Şekil 3.5. TEM mikroskobu (onlinefizik.com)

3.3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Daha kalın örnekler elektron ışınlarının yüzeyden yansıması ile incelenebilir. Bu inceleme SEM ile yapılabilmektedir. Elektron ışını örnek yüzeyine odaklanır ve örnek yüzeyini taramaya başlar. Işının örnek yüzeyini taramaya başlamasıyla yüzeyden yansıyan elektronlar örneğe göre birkaç yüz volt pozitif voltajda tutulan anot ile toplanır. Toplayıcı anottaki akım yükseltilir ve katot ışın tüpündeki mikroskop ışını ile eşzamanlı olarak taranan elektron ışınlarını değiştirmek için kullanılır. Bu nedenle katot

ışın tüpü örneğin oldukça büyütülmüş olan görüntüsünü alır. SEM 'in ayırma gücü 10nm mertebesindedir.

Hazırlanan ve ısı iletkenlik değerleri belirlenen nanokışkanlar Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji Bölümünde bulunan TEM (Transmission Electron Microscope) ile görüntülenmiştir. Mevcut TEM ile 30.000 katı büyüklükte görüntü alınabilmektedir. Mevcut TEM den alınan görüntüler hazırlanan süspansiyon içindeki topaklanma olup olmadığı ve süspansiyonun homojenliği incelenmiştir.

Yukarıdaki paragrafta detaylı olarak anlatılan deney prosedüründen de anlaşıldığı gibi seyreltici ya da yüzey aktivatörü kullanılmamıştır. Çünkü farklı seyrelticilerle ve bu seyrelticilerin farklı oranlarında deneyler yapılmış olumlu sonuçlar elde edilememiştir.

3.4. TEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi

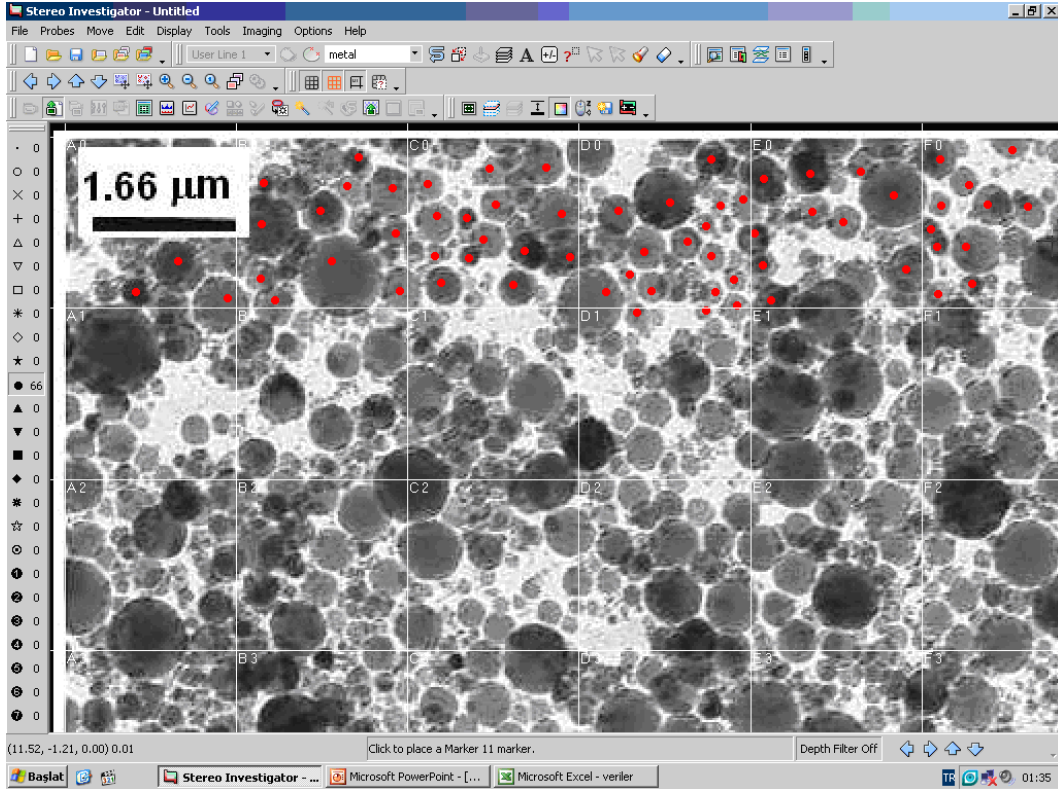
Elektron mikroskop çalışmalarında, daha önce hazırlanmış solüsyonlar mikropipetler yardımıyla görüntünün alınacağı gridler üzerine damlatıldı. Gridler Nickel Punched marka olup 200 mesh ve %54 açık alana sahiptir. Gridler üzerindeki solüsyonun içerdiği su buharlaştıktan sonra grid üzerindeki örnek % 0,4 kurşun sitrat ve %2 uranyl acetate ile kaplandı. Bu şekilde görüntülenmeye hazır olan numuneler Jeol 100 SX marka Geçişli Electron Mikroskobu (TEM) kullanılarak incelenmiştir.

3.4.1. Stereolojik Metotlar Kullanılarak TEM Görüntülerinin Değerlendirilmesi

3.4.1.1. Partikül Sayısının Tahmini

Stereoloji, üç boyutlu örneklerin (biyolojik yapılar, metalurjik örnekler vb.) iki boyutlu kesitlerinden elde edilen verilere dayanarak, onların gerçekteki üç boyutlu özellikleri ile ilgili yorumlar yapılmasını sağlayan bilim dalının adıdır. Bu çalışmada nanoakışkanlara ait TEM görüntüleri stereolojik yaklaşımla değerlendirilmiştir. Elde edilen mikroskobik

resimler üzerinde x ve y uzunlukları ölçülerek değerlendirme alanı belirlenmiştir. Buna göre grid üzerinden resmi görüntülenen bölgenin x eksenini 9,2 μm , y eksenini 12,9 μm uzunluğunda olup partiküllerin ortalama alanı 118,68 μm^2 'dir. Dikkate alınan bu 118,68 μm^2 'lik alan 2 μm x 2 μm boyutlarında eşit parçalara bölünmüştür (Şekil 3.6).



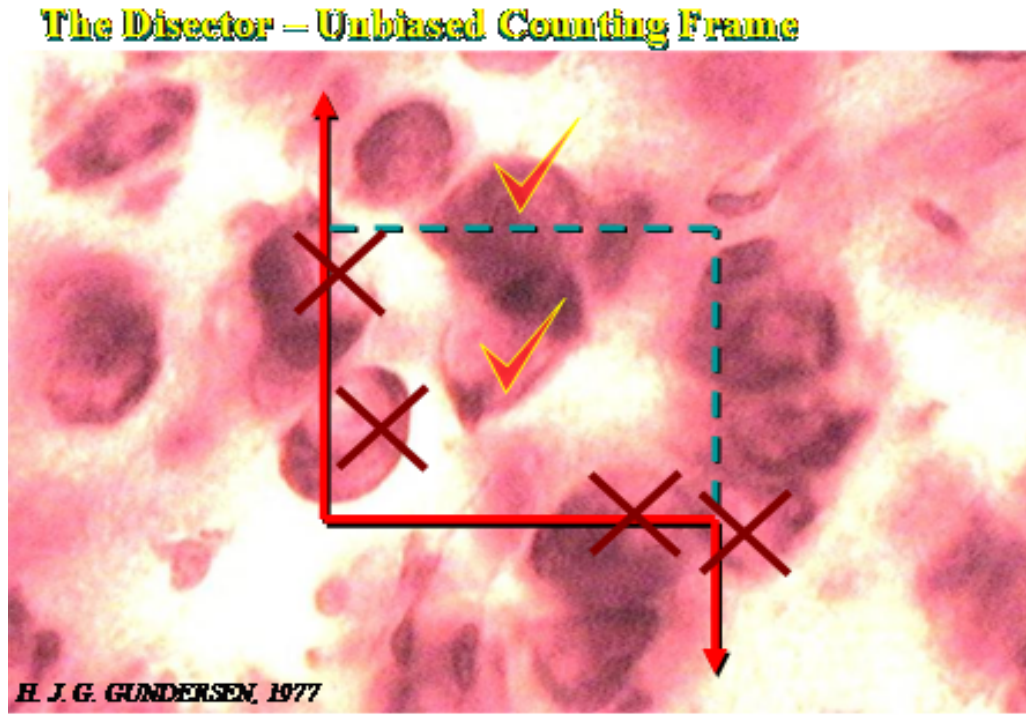
Şekil 3.6. TEM görüntüsünün eşit gridlere bölünmesi

Partikül sayısını belirlemek için H.J.G. Gundersen (1977) tarafından önerilen Tarafsız Sayım Çerçevesi (unbiased counting frame) yöntemi kullanılmıştır. Tarafsız sayım çerçevesinin sayım kuralları şöyle özetlenebilir (Gundersen H.J.G. 1977):

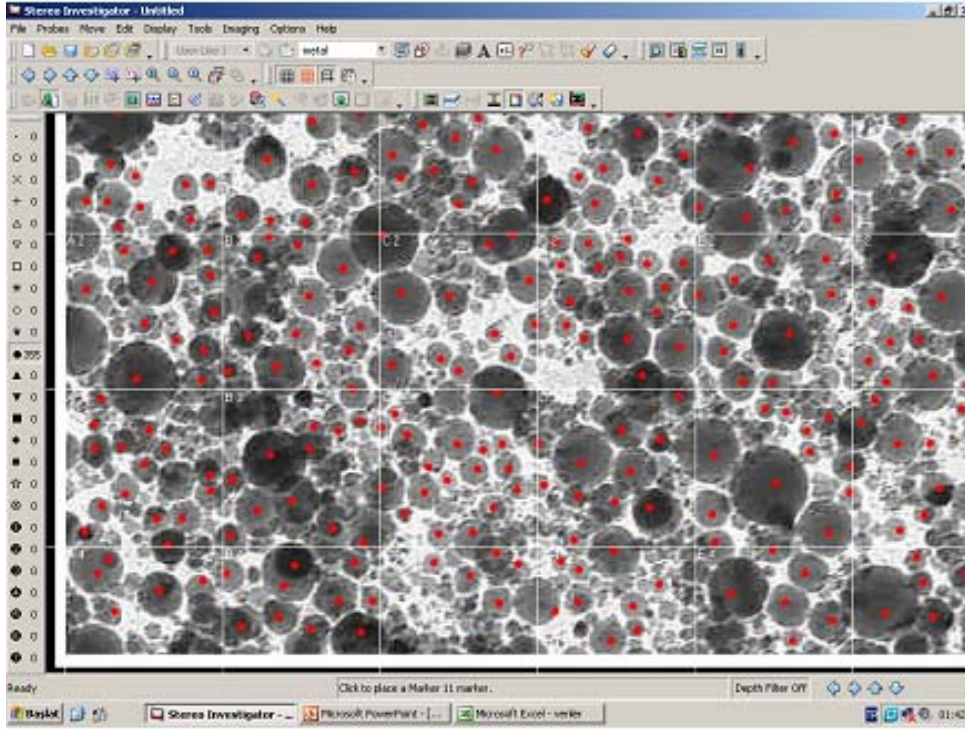
1. İzdüşümleri tamamen sayım çerçevesi içerisinde kalan, yani herhangi bir kenar veya köşeyle kesilmeyen tanecikler sayıma dahil edilir.
2. Çerçevenin "yasak" çizgileri ile ifade edilen kenarlar ile kesişen izdüşümler sayılmazlar.

3. Serbest çizgi ile temas eden tanecik izdüşümleri sayıma dahil edilir.
4. Çerçevenin yasak çizgilerinin uzantıları ile herhangi bir şekilde kesişen izdüşümler de sayıma dahil edilmezler (Şekil 3.7).

Bu yöntemle belirlenen alandaki tüm partiküller tahmin edilmiştir (Şekil 3.8)



Şekil 3.7. Tarafsız sayım çerçevesi yöntemi



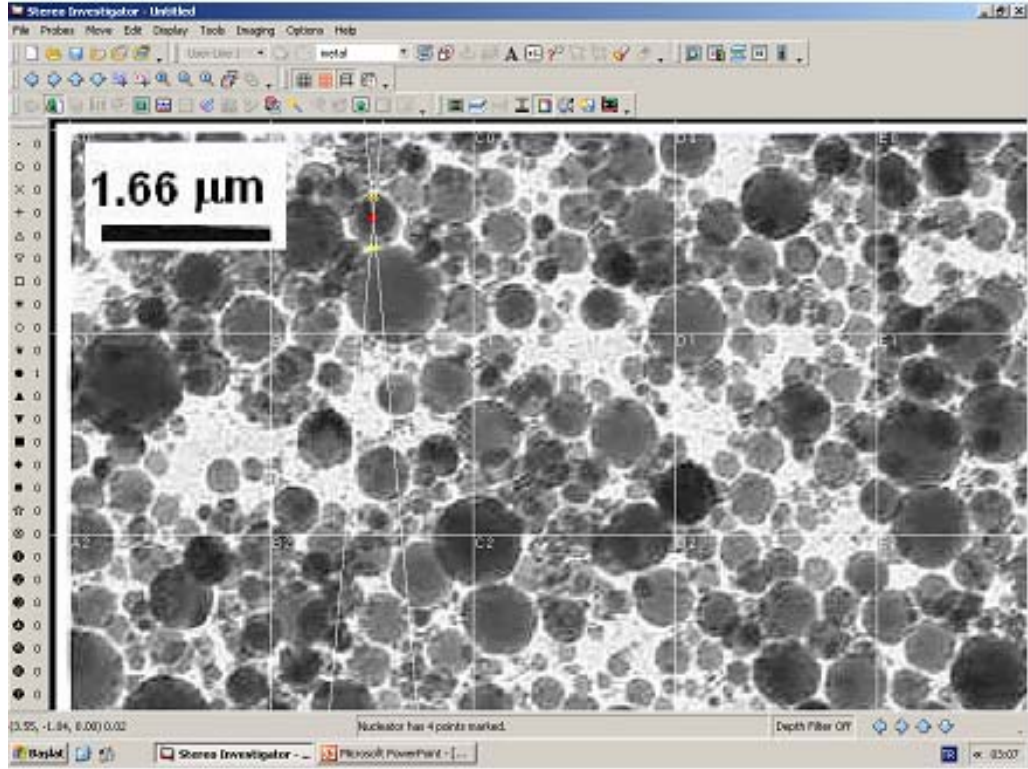
Şekil 3.8. Grid üzerindeki partiküllerin tamamının belirlenmesi

3.4.1.2. Ortalama Kesit Alanın Tahmini

Mikroskopik resim üzerindeki her partikülün ortalama kesit alanı aşağıdaki formülle tahmin edilebilir.

$$A: n \cdot l^2$$

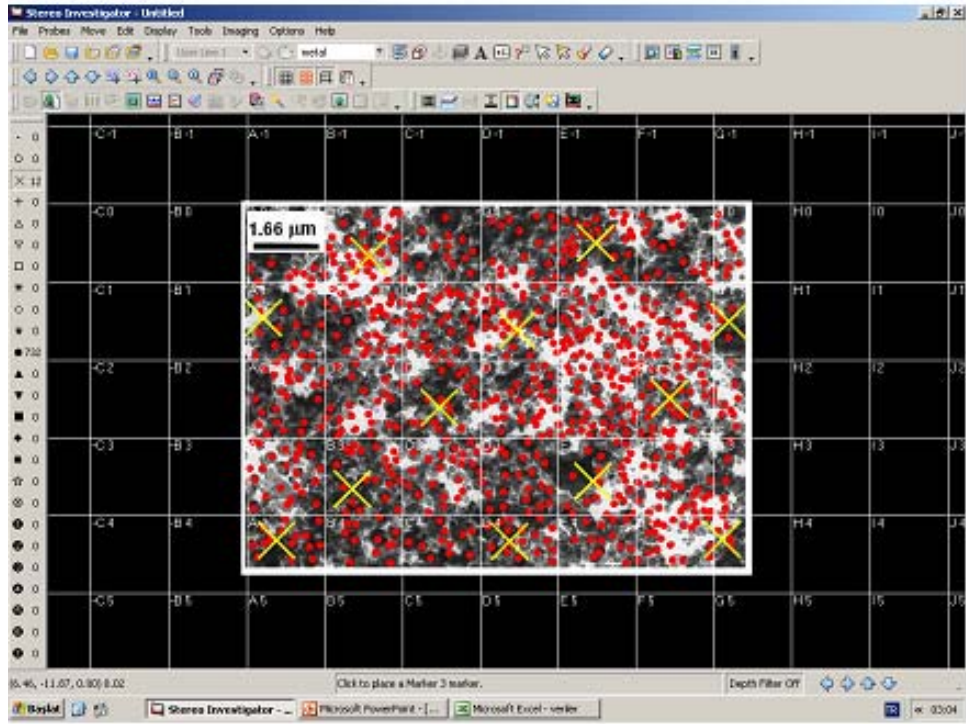
Burada A, alan, l, sınırları çizilen kısmın uzunluğu (Şekil 3.9) ve n: 3,14



Şekil 3.9. TEM görüntüsünde bir partikül için geometrik boyutların belirlenmesi

3.4.2. Ortalama Kesit Alanını Tahmin Etmek İçin Sistemik Rastgele Örnek Alma Prosedürü

Sistemik rastgele örnekleme olarak adlandırılan örnekleme tüm stereology konusunda muhtemelen en önemli noktadır. Çünkü burada bahsedilen hemen hemen tüm işlemler bu örnekleme mantığına bağlıdır. Sistemik rastgele örnekleme yöntemiyle tarafsız ve etkili örnekleme tekniği sağlanır ve incelenen yapının tüm bileşenlerine eşit olasılıkla örnekleme şansı verilir. Bu çalışmada sistemik aralığın $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ olmasına karar verilmiş ve yukarıda belirtilen $118.68 \mu\text{m}^2$ alana sahip bölge $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ eşit parçaya bölünmüştür. Bölünmüş bu bölgelerden her üç tanesinden biri dikkate alınmıştır (Şekil 3.10). Bu işlemler Stereo Investigator isimli yazılımla yapılmıştır.



Şekil 3.10. TEM görüntüsünde alanların belirlenmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Nanoakışkanların Hazırlanması Aşamasında Yapılan Hesaplamalar

Nanoakışkan hazırlanırken iki adım metodu kullanıldı. Toplam hacmi 50 ml olan şişelerde deneyler yapılmıştır. Her iki nanopartikül için seçilen hacimsel oranlar % 0.5, 1, 2 ve 4 olarak belirlendi. Yapılan hesaplamalar sonucunda Al_2O_3 ve CuO nanopartikülleri için süspansiyona katılacak miktarlar çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Temel akışkan içerisine katılacak olan nanopartiküller için yapılan hesaplamalar

Partikül	Hacimsel Oran %(Cv)	Kütleli Oran %(Cm)	m_n (gr)	m_p (gr)	m_{su} (gr)
CuO	0.5	0.0308	51.329	1.579	49.75
CuO	1	0.0599	52.658	3.158	49.5
CuO	2	0.1142	55.32	6.315	49
CuO	4	0.208	60.63	12.63	48
Al_2O_3	0.5	0.0197	50.75	1	49.75
Al_2O_3	1	0.0388	51.5	2	49.5
Al_2O_3	2	0.075	53	4	49
Al_2O_3	4	0.1429	56	8	48

Çizelge 4.1 (Devam)

Partikül	Hacimsel Oran %(Cv)	Nanoakışkanın Yoğunluğu ρ_n (kg/m ³)
CuO	0.5	1026.6
CuO	1	1053.15
CuO	2	1106.3
CuO	4	1212.6
Al ₂ O ₃	0.5	1015
Al ₂ O ₃	1	1030
Al ₂ O ₃	2	1060
Al ₂ O ₃	4	1120

4.2. Nanoakışkanların Isıl İletkenliklerinin Karşılaştırılması

Hazırlanan nanoakışkanlar ultrasonik banyoda titreşime tabi tutulduktan sonra ısı iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Elde edilen ısı iletkenlik değerleri yazılan MATLAB programı ile literatürde verilen modellerle karşılaştırılmıştır ve Şekil 4.1 ve 4.2’de sunulmuştur. Şekillerde k_e nanoakışkanın ısı iletkenliği, k_1 ise temel akışkan de-iyonize suyun ısı iletkenlik değeridir. Isıl iletkenlik ölçümleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekillerde de görüleceği gibi ısı iletkenlik değerleri tüm karışım oranlarında temel akışkanın ısı iletkenlik değerinden büyüktür. Al₂O₃ nanopartikül içeren akışkanın ısı iletkenlik değerindeki artış temel akışkanın ısı iletkenliğine göre yaklaşık % 3 ile % 10 arasında değişmiştir. CuO içeren nanoakışkanda ise artış yaklaşık % 3 ile % 15 arasında değişmiştir. Lee vd. (1999) % 4 oranında CuO içeren nanoakışkanın ısı iletkenlik değerini geçici sıcak tel metodu ile ölçmüş ve yaklaşık %20 civarında bir artış elde etmiştir. Ayrıca sonuçlar literatürde önerilen ve Çizelge 2.1

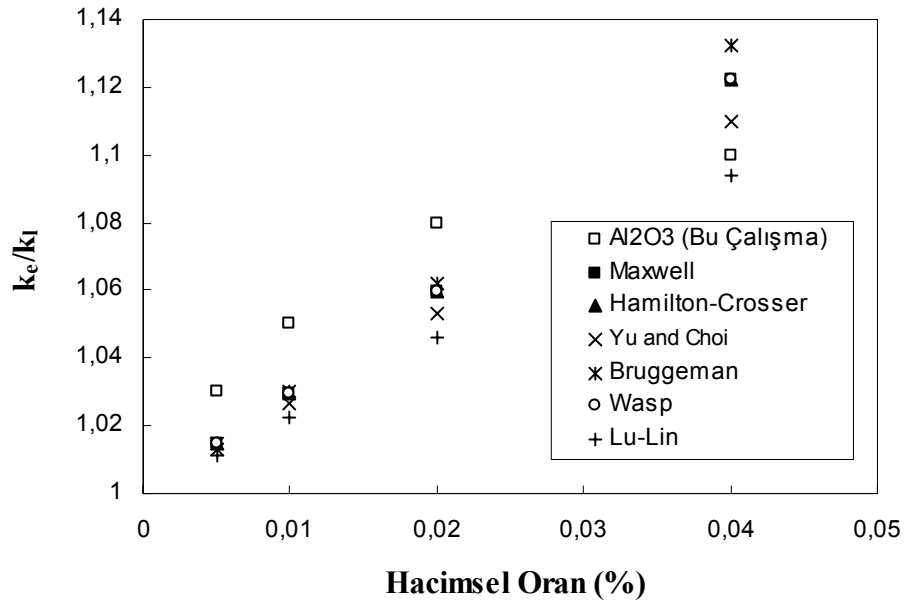
verilen teorik modellerle de uyum içerisinde. CuO partikülü içeren akışkanın ısı iletkenlik değeri Al₂O₃ içeren akışkana göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin CuO partiküllerinin Al₂O₃ partiküllerinden daha küçük çapa sahip olduğu düşünülmektedir. Ayrıca CuO partiküllerinin Al₂O₃ partiküllerine göre tamamlanmamış oksidasyona sahip olduğu bilinmektedir. Deneylelerden ısı iletkenlikle hacimsel oran değişiminin hemen hemen lineer olduğu görülmüştür.

Çizelge 4.2. Deneysel çalışmada kullanılan temel akışkan, nano malzemeler, bunların ısı iletkenlikleri ve hacimsel oranları.

Malzeme Türü	Isıl İletkenlik(21°C)	Hacimsel Oran %
Bakır Oksit (CuO)	76.5 W/mK	0.5 – 1 – 2 – 4
Alüminyum Oksit (Al ₂ O ₃)	37.14 W/mK	0.5 – 1 – 2 – 4
De-iyonize Su	0.59 W/mK	

Çizelge 4.3. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen Al_2O_3 -Su nanoakışkanının ısı iletkenlik değeri suyun ısı iletkenlik değeri oranı. (k_e/k_l , $k_l=0.590$)

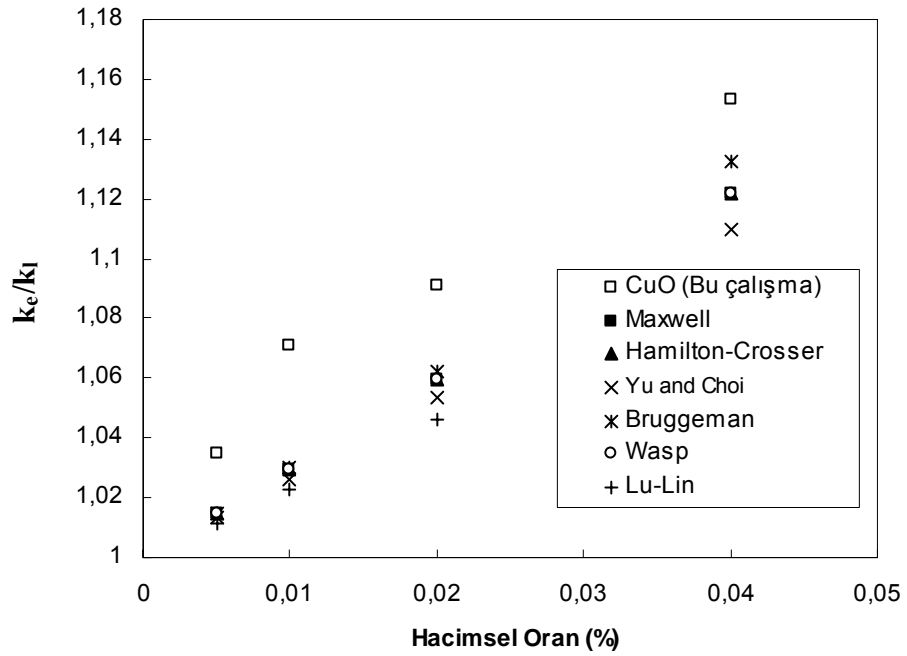
	Deneysel	Maxwell	Hamilton-Crosser	Yu and Choi	Bruggeman	Wasp	Lu-Lin
%0,5	1,03	1,01435	1,01435	1,01276	1,01449	1,01435	1,01131
%1,0	1,05	1,02885	1,02885	1,02568	1,02938	1,02885	1,02273
%2,0	1,08	1,05825	1,05825	1,05202	1,06048	1,05825	1,04591
4,0%	1,10	1,1188	1,1188	1,10683	1,12844	1,11881	1,09363



Şekil 4.1 Al_2O_3 -Su nanoakışkanının efektif ısı iletkenliğinin modellerle karşılaştırılması

Çizelge 4.4. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen CuO-Su nanoakışkanının ısı iletkenlik değeri suyun ısı iletkenlik değerine oranı. (k_e/k_l , $k_l=0.590$)

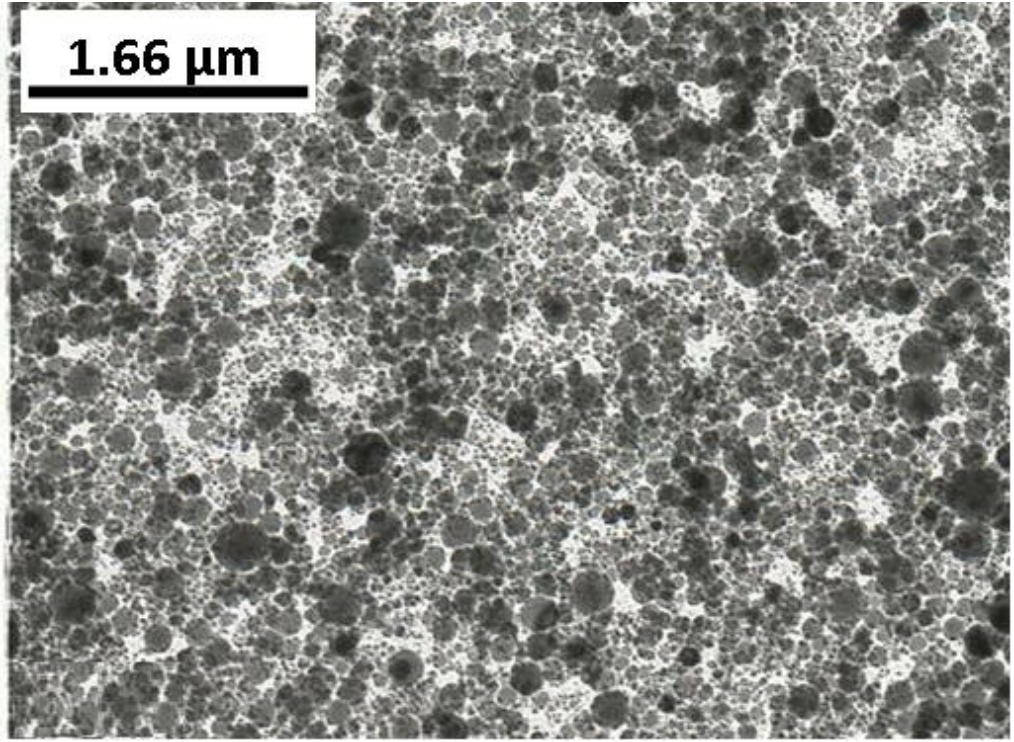
	Deneysel	Maxwell	Hamilton-Crosser	Yu and Choi	Bruggeman	Wasp	Lu-Lin
%0,5	1,0351	1,0147	1,01473	1,01309	1,01487	1,01473	1,0113
%1,0	1,071	1,02961	1,02961	1,02636	1,03019	1,02961	1,02273
%2,0	1,091	1,0598	1,0598	1,05342	1,0622	1,0598	1,04591
%4,0	1,153	1,12204	1,122	1,10976	1,13254	1,12204	1,09363



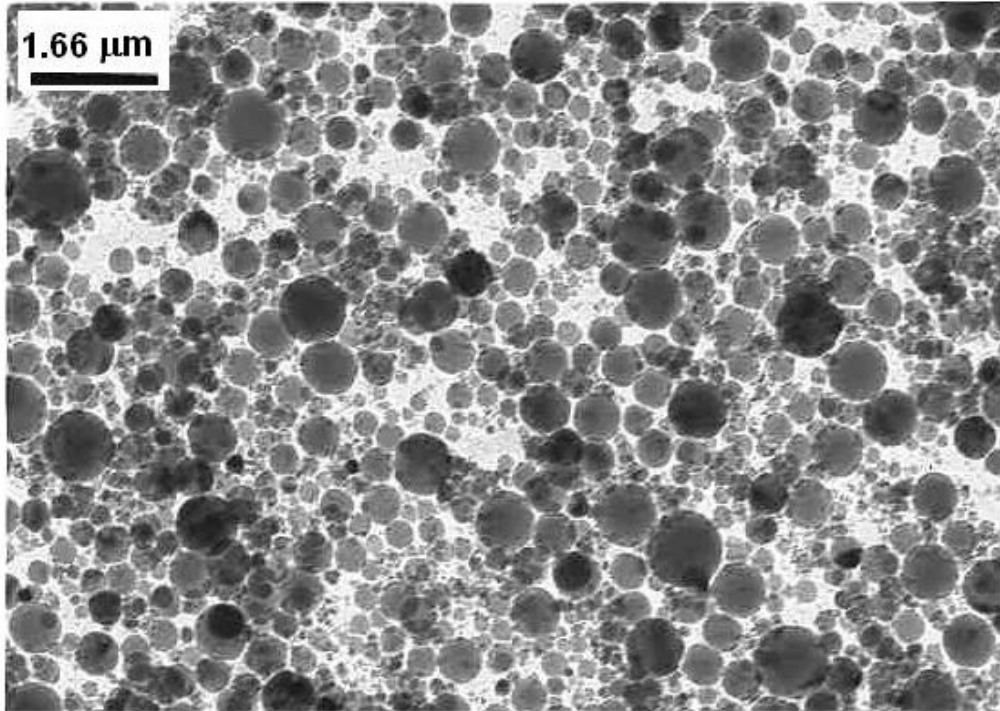
Şekil 4.2 CuO-Su nanoakışkanının efektif ısı iletkenliğinin modellerle karşılaştırılması

4.3.Nanoakışkanları TEM Görüntüleri

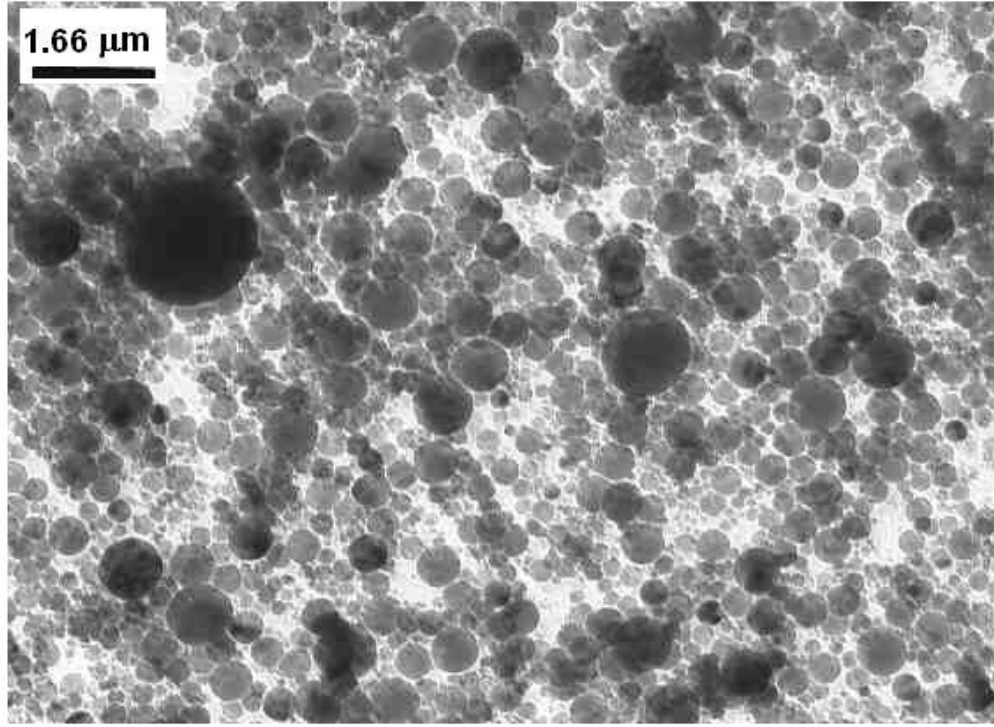
Hazırlanan ve ısı iletkenlik değeri belirlenen nanoakışkanlar Atatürk Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji Bölümünde bulunan TEM (Transmission Electron Microscope) ile görüntülenmiştir. Mevcut TEM ile 30.000 katı büyüklükte görüntü alınabilmektedir. Elektron mikroskopunun çalışma prensibi gereği görüntü alınan ortamın vakum ortamı olması gerekmektedir. Bu durumda akışkanlar gridler üzerine damlatılmış ve suyun buharlaşmasından sonra grid üzerinde kalan partiküllerin dağılımları gözlemlenerek hazırlanan süspansiyon içinde topaklanma olup olmadığı, partiküllerin şekli ve boyutları ve süspansiyonun homojenliği hakkında fikir sahibi olunabilmiş akışkan içindeki davranış hakkında bilgi alınamamıştır. CuO ve Al₂O₃ nanoakışkanlara ait TEM görüntüleri Şekil 4.3. , 4.4. , 4.5. , 4.6. , 4.7. , 4.8. , 4.9. , ve 4.10.' da verilmiştir. Şekillerden görüleceği gibi Al₂O₃ nanopartikülü içeren akışkanda partiküllerin yoğunluğunun daha az olduğu çok büyük topaklanmaların meydana gelmediği görülmektedir. Bu özellikle ısı transferi çalışmalarında homojen karışım ve ortalama ısı iletkenlik değeri elde edebilmek için önemli sonuçtur. Ayrıca hazırlanan akışkanın stabilitesi ve hazırlama yönteminin geçerliliği hakkında da bilgi vermektedir. Al₂O₃ partikülü içeren farklı hacimsel oranda hazırlanan süspansiyonlara ait resimler incelendiğinde hacimsel orandaki artışla birlikte partiküllerin kümelenme eğilimlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Buda yukarıda tartışılan hacimsel orandaki artışla ısı iletkenliğin artması sonucuna bir sınır getirmektedir. Yani hacimsel oran belli bir değerin üzerine çıktığında partiküllerin topaklanma riski artacaktır. Bu ise süspansiyonun kararlılığını ve süspansiyon içindeki partiküllerin çökme riskini arttıracığından istenmeyen bir sonuçtur. CuO nanopartikülü içeren akışkanlarda ise CuO yüzey özellikleri ve çapının daha küçük olması nedeniyle partikül yoğunluğu ve kümelenme eğiliminin çok daha fazla olduğu gözlenmiştir Bu durumda Al₂O₃ e göre stabilize değeri ve topaklanma riski daha büyük bir süspansiyon söz konusudur. Bu ise özellikle mikrokanal ısı değiştiricilerinde kanalların tıkanması, büyük basınç düşümleri ve ısı transferi performansını olumsuz etkileyecek istenmeyen bir durumdur.



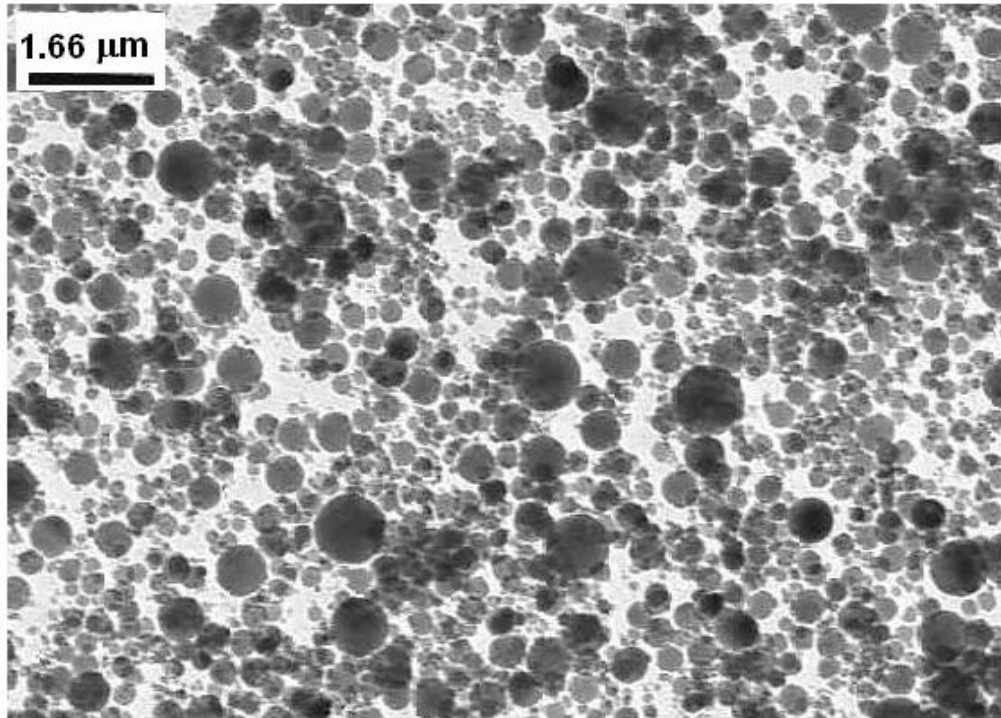
Şekil 4.3. %0.5 hacimsel oranda hazırlanan Al₂O₃ nanaoakışkanın TEM görüntüsü



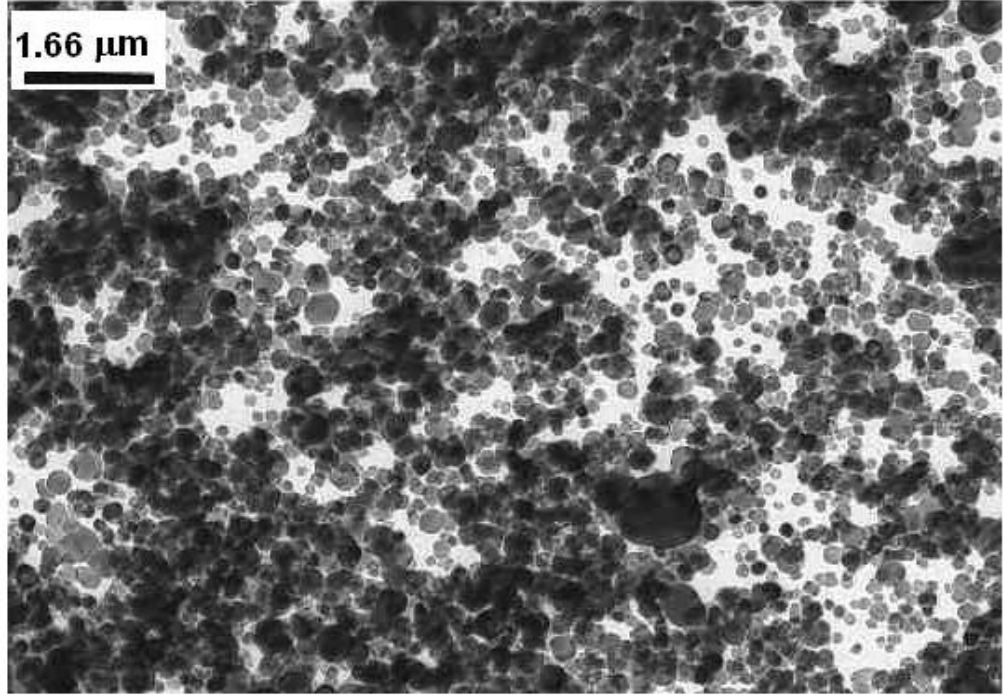
Şekil 4.4. %1 hacimsel oranda hazırlanan Al₂O₃ nanaoakışkanın TEM görüntüsü



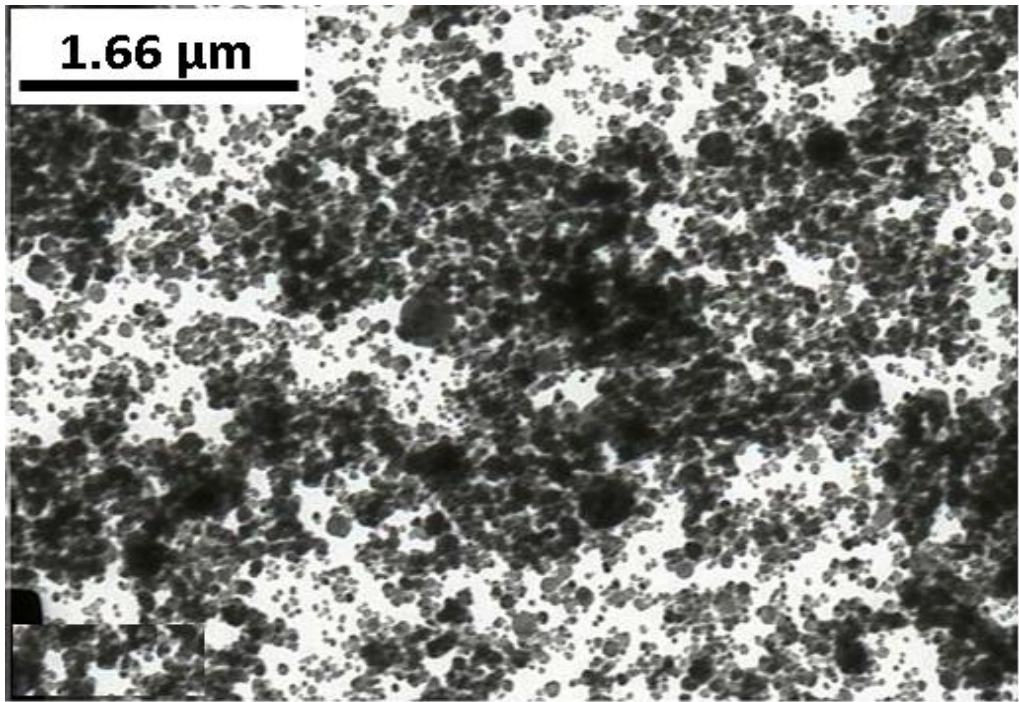
Şekil 4.5. %2 hacimsel oranda hazırlanan Al₂O₃ nanaoakışkanın TEM görüntüsü



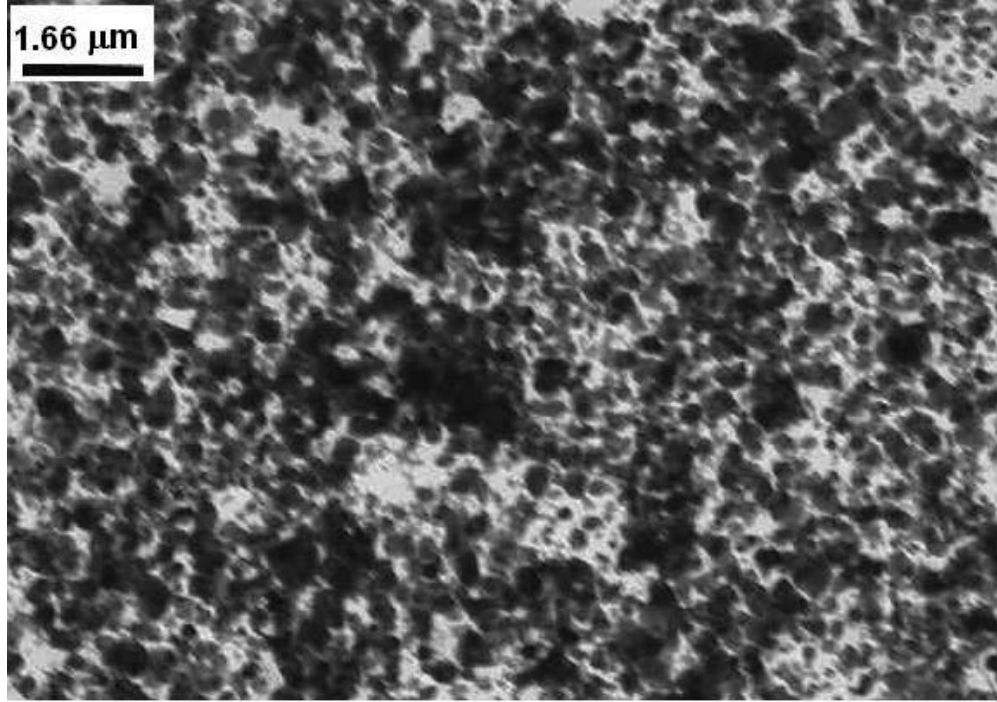
Şekil 4.6. %4 hacimsel oranda hazırlanan Al₂O₃ nanaoakışkanın TEM görüntüsü



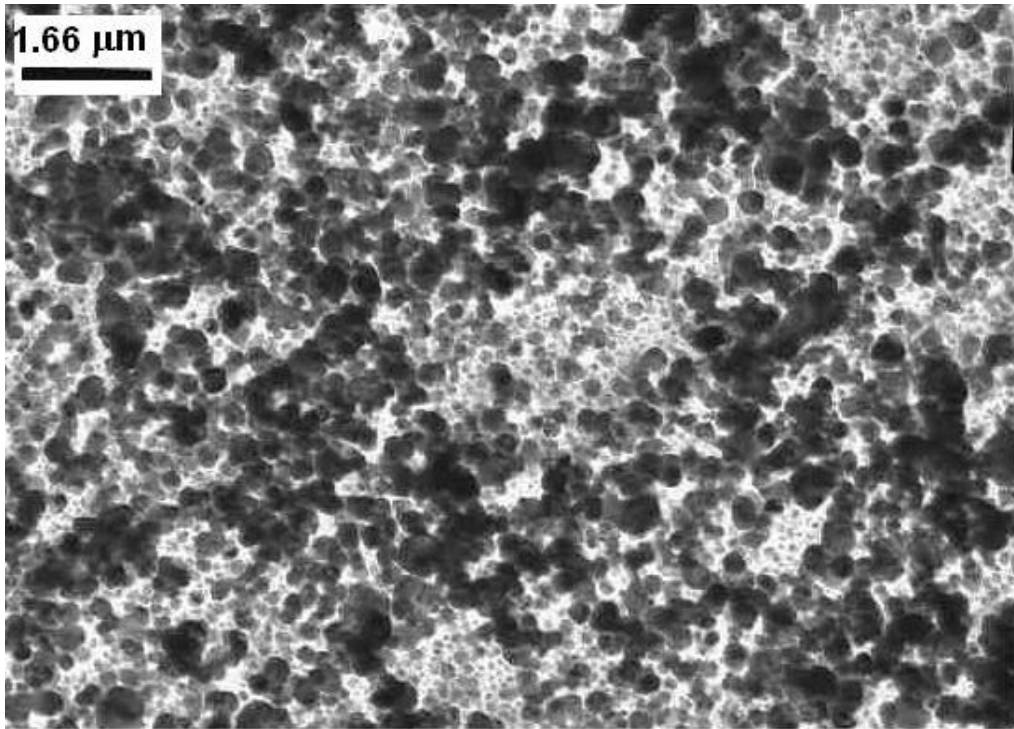
Şekil 4.7. %0.5 hacimsel oranda hazırlanan CuO nanoakışkanın TEM görüntüsü



Şekil 4.8. %1 hacimsel oranda hazırlanan CuO nanoakışkanın TEM görüntüsü



Şekil 4.9. % 2 hacimsel oranda hazırlanan CuO nanoakışkanın TEM görüntüsü



Şekil 4.10. % 4 hacimsel oranda hazırlanan CuO nanoakışkanın TEM görüntüsü

4.4. Stereolojik Değerlendirme Sonuçları

Yapılan işlemler ve sonuçlar Çizelge 4.5 de özetlenmiştir. Çizelge 4.5’den de görüleceği gibi partiküllerin kapladığı ortalama alan ile partikül sayısı ters orantılıdır. Mikrograf Partiküllerin ortalama alanının artması fotoğraf içindeki partikül sayısı, partikül çapı ve topaklanma ile ilgilidir. Al_2O_3 partikülerinin çapı 47 nm iken CuO partiküllerinin çapı 26 nm dir. Topaklanan partiküller resim içinde tek bir partikül gibi görülmektedir. CuO partiküllerde en büyük alanın %4 hacimsel orana sahip nanoakışkan süspansiyonunda olduğu gözlenirken, Al_2O_3 partiküllerinden oluşan nanoakışkalarda en büyük alan %1 hacimsel orana sahip partiküllerde görülmüştür. Bu sonuç literatürde CuO nanopartiküllerinin akışkan içerisinde topaklanma eğiliminin fazla olduğuna dair iddiaları da desteklemektedir.

Çizelge 4.5. Stereolojik Değerlendirme Sonuçları

	Al_2O_3			CuO		
	1%	2%	4%	1%	2%	4%
Hacimsel Oran	1%	2%	4%	1%	2%	4%
X eksen uzunluğu (μm)	9,2	10,0	9,6	9,2	9,6	9,3
Y eksen uzunluğu (μm)	12,9	13,3	13,2	12,7	13,6	12,9
Toplam fotoğraf alanı (μm^2)	118,7	133,0	126,7	116,8	130,6	120,0
Grid alanı (μm^2)	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2
Toplam bölünmüş alan sayısı	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
Toplam tanecik sayısı	355,0	480,0	491,0	732,0	503,0	458,0
Örnekleme oranı 1/3 (12 alan sayılacak)	153,0	170,0	187,0	159,0	129,0	119,0
Ortalama Alan (μm^2)	0.1189	0.1083	0.09596	0.03951	0.04856	0.05594
Tahmin Hata Yüzdesi	0.007	0.005	0.006	0.006	0.006	0.006

4.5. Nanoakışkanların Hazırlanması Sırasında Seyrelticilerin Kullanılması

Temel akışkan içerisine katılan yüzey aktivatör maddelerin nanoakışkanların kararlılığına etkisi literatürde tartışılmıştır. Bazı araştırmalarda farklı seyreltici maddelerin kararlılığı arttırdığı ifade edilmiş ancak bazı araştırmacılar ısı iletkenliği ve kararlılığı olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir. Nanoakışkanın kararlılığına yüzey aktiv maddelerin etkisini araştırmak için iki farklı seyreltici ile farklı oranlarda nanoakışkan hazırlanmıştır. Nanoakışkan hazırlanırken Sodyum Dodecilbenzene Sülfanat(SDBS) ve Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide(CTAB) seyrelticileri kullanılmıştır. Hazırlanan süspansiyonların fotoğrafları farklı zamanlarda alınmış ve partiküllerin davranışları gözlemlenmiştir. Kullanılan seyrelticiler ve yüzdeleri Çizelge 4.5. ve Çizelge 4.6.'te verilmiştir. Seyrelticilerin yüzdesi partiküllerin ağırlıklarına göre hesaplanmıştır. Şekil 4.11 de Al_2O_3 içeren akışkanın 1. Gün çekilen fotoğrafları görülmektedir. SDBS ile hazırlanan akışkanda ağırlıkça oran arttıkça çökme çok hızlı olmuştur. Oysa Wen and Ding (2004b) yapmış olduğu çalışmada partikül kütlelerinin %10'u kadar SDBS katılması durumunda kararlılığı yüksek süspansiyon elde edilebileceğini iddia etmiştir. Ancak bu durum bu çalışmada gözlemlenmemiş aksine çökme hızının çok fazla olduğu belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen ilginç bir sonuç da seyreltici süspansiyonun daha stabil bir davranış gösterdiğinin anlaşılmasıdır (4 numaralı numune). Akışkan hazırlandıktan 30 gün sonra stabilitenin hemen hemen kaybolduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedenlerinden biride flask (cam numune şişesi) içindeki akışkanın buharlaşmasıdır. CuO partikülü içeren süspansiyonlarda çökme çok daha çabuk olmuştur. Bu sonuçlar süspansiyonların ısı transferi akışkanı olarak kullanılması durumunda ısı değiştirici içindeki davranışını belirleme açısından son derece önemlidir.

Çizelge 4.6. %0,5 Hacimsel oranlı Al_2O_3 için kullanılan seyrelticiler ve yüzdeleri.

No	Partikül	Partikül Yüzdesi (%)	Kullanılan Seyreltici	Seyreltici Yüzdesi (%)
1	Al_2O_3	0,5	SDBS	1,5
2	Al_2O_3	0,5	SDBS	1
3	Al_2O_3	0,5	SDBS	0,5
4	Al_2O_3	0,5	Kullanılmamış	-
5	Al_2O_3	0,5	CTAB	1,5
6	Al_2O_3	0,5	CTAB	1
7	Al_2O_3	0,5	CTAB	0,5



Şekil 4.11. Al_2O_3 -SDBS ve Al_2O_3 -CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 1. gün çekilen fotoğrafları.



Şekil 4.12. Al_2O_3 -SDBS ve Al_2O_3 -CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 5. gün çekilen fotoğrafları.



Şekil 4.13. Al_2O_3 -SDBS ve Al_2O_3 -CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 21. gün çekilen fotoğrafları.



Şekil 4.14. Al_2O_3 -SDBS ve Al_2O_3 -CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 30. gün çekilen fotoğrafları.



a



b



c

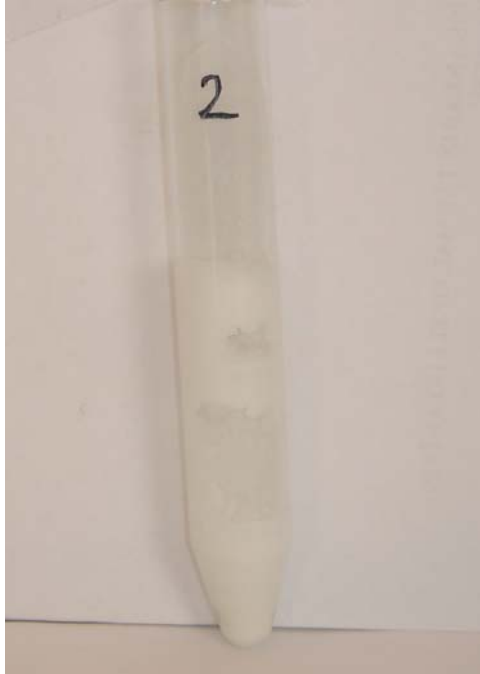
Şekil 4.15. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanına %1.5 SDBS katılarak hazırlanan nanoakışkanın resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.16. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %1 SDBS katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.17. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %0.5 SDBS katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.18. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının dispersant kullanılmadan hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.19. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %1.5 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.20. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %1 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

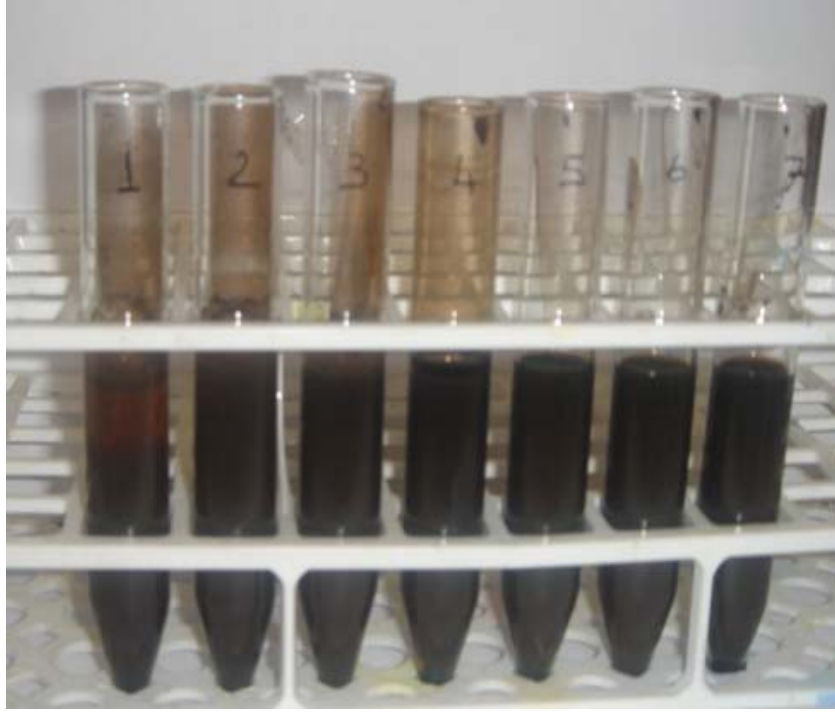
Şekil 4.21. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %0.5 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün

Çizelge 4.7. %0,5 Hacimsel oranlı CuO için kullanılan seyrelticiler ve yüzdeleri.

No	Partikül	Partikül Yüzdesi (%)	Kullanılan Seyreltici	Seyreltici Yüzdesi (%)
1	CuO	0,5	SDBS	1,5
2	CuO	0,5	SDBS	1
3	CuO	0,5	SDBS	0,5
4	CuO	0,5	-	-
5	CuO	0,5	CTAB	1,5
6	CuO	0,5	CTAB	1
7	CuO	0,5	CTAB	0,5



Şekil 4.22. CuO-SDBS ve CuO-CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 1. Gün çekilen fotoğrafları.



Şekil 4.23. CuO-SDBS ve CuO-CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 5. Gün çekilen fotoğrafları.



Şekil 4.24. CuO-SDBS ve CuO-CTAB kullanılarak hazırlanan nanoakışkanın 30. Gün çekilen fotoğrafları.



a



b



c

Şekil 4.25. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %1.5 SDBS katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.26. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %1 SDBS katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.27. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %0.5 SDBS katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.28. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının dispersant kullanılmadan hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.29. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %1.5 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.30. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %1 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün



a



b



c

Şekil 4.31. % 0.5 hacimsel oranlı Al_2O_3 -Su nanoakışkanının %0.5 CTAB katılarak hazırlanan resimleri. a)5.gün b)21.gün c)30.gün

5. SONUÇ

Al_2O_3 -Su ve CuO-Su nanoakışkanı hazırlanmış ve yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıda özetlenmiştir.

- İki adım metodu kullanılarak nanoakışkan başarıyla hazırlanmıştır.
- Isıl iletkenlik değerleri tüm karışım oranlarında temel akışkanın ısıl iletkenlik değerinden büyüktür.
- Al_2O_3 nanopartikül içeren akışkanın ısıl iletkenlik değerindeki artış temel akışkanın ısıl iletkenliğine göre yaklaşık %3 ile %10 arasında değişmiştir.
- CuO içeren nanoakışkanda ise artış yaklaşık %6 ile %15 arasında değişmiştir.
- CuO partikülü içeren akışkanın ısıl iletkenlik değerinin Al_2O_3 içeren akışkana göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin CuO partiküllerinin Al_2O_3 partiküllerinden daha küçük çapa sahip olduğu düşünülmektedir. Ayrıca CuO partiküllerinin Al_2O_3 partiküllerine göre tamamlanmamış oksidasyona sahip olduğu bilinmektedir.
- Sonuçlar literatürde önerilen ve Çizelge 2.1 verilen teorik modellerle de uyum içerisindedir.
- Deneylerden ısıl iletkenlikle hacimsel oran değişiminin hemen hemen lineer olduğu görülmüştür.

- Al_2O_3 nanopartikülü içeren akışkanda partiküllerin yoğunluğunun daha az olduğu çok büyük topaklanmaların meydana gelmediği görülmektedir. Bu özellikle ısı transferi çalışmalarında homojen karışım ve ortalama ısıl iletkenlik değerleri elde edebilmek için önemli sonuçtur. Ayrıca hazırlanan akışkanın stabilitesi ve hazırlama yönteminin geçerliliği hakkında da bilgi vermektedir.
- Al_2O_3 partikülü içeren farklı hacimsel oranda hazırlanan süspansiyonlara ait resimler incelendiğinde hacimsel orandaki artışla birlikte partiküllerin kümelenme eğilimlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Buda yukarıda tartışılan hacimsel orandaki artışla ısıl iletkenliğin artması sonucuna bir sınır getirmektedir. Yani hacimsel oran belli bir değer üzerine çıktığında partiküllerin topaklanma riski artacaktır. Bu ise süspansiyonun kararlılığını ve süspansiyon içindeki partiküllerin çökme riskini arttıracığından istenmeyen bir sonuçtur.
- CuO nanopartikülü içeren akışkanlarda ise bakır oksidin yüzey özellikleri ve çapının daha küçük olması nedeniyle partikül yoğunluğu ve kümelenme eğiliminin çok daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumda Al_2O_3 göre stabilite değeri ve topaklanma riski daha büyük bir süspansiyon söz konusudur. Bu ise özellikle mikrokanal ısı değiştiricilerinde kanalların tıkanması, büyük basınç düşümleri ve ısı transferi performansını olumsuz etkileyecek istenmeyen bir durumdur.
- Partiküllerin kapladığı alan ile partikül sayısı ters orantılıdır.
- Mikrograf alanında alanın artması alan içindeki partikül sayısı, partikül çapı ve topaklanma ile ilgilidir.
- Topaklanan partiküller resim içinde tek bir partikül gibi görülmektedir.

- CuO partiküllerde en büyük alanın %4 hacimsel orana sahip nanoakışkan süspansiyonunda olduğu gözlenirken, Al₂O₃ partiküllerinden oluşan nanoakışkalarda en büyük alan %1 hacimsel orana sahip partiküllerde görülmüştür. Bu sonuç literatürde CuO nanopartiküllerinin akışkan içerisinde topaklanma eğiliminin fazla olduğuna dair iddiaları da desteklemektedir.
- Kararlı süspansiyon hazırlamak için farklı seyrelticiler denenmiştir. SDBS-CTAB katılması durumunda çökme hızının çok fazla olduğu belirlenmiştir.
- Çalışmada elde edilen ilginç bir sonuç da seyrelticisiz süspansiyonun daha stabil bir davranış gösterdiğinin anlaşılmasıdır.
- Akışkan hazırlandıktan 30 gün sonra stabilitenin hemen hemen kaybolduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedenlerinden biride flask (cam numune şişesi) içindeki akışkanın buharlaşmasıdır.
- CuO partikülü içeren süspansiyonlarda çökme çok daha çabuk olmuştur. Bu sonuçlar süspansiyonların ısı transferi akışkanı olarak kullanılması durumunda ısı değiştirici içindeki davranışını belirleme açısından son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- Akoh H., Tsukasaki Y., Yatsuya S. , Tasaki A. , 1978. Magnetic properties of ferromagnetic ultrafine particles prepared by vacuum evaporation on running oil substrate, *Journal of Crystal Growth* 45 ,495–500.
- Assael M.J. , Chen C.F. , Metaxa I.N. , Wakeham W.A. , 2003. Thermal conductivity of suspensions of carbon nanotubes in water, in: 15th Symposium on Thermophysical Properties, National Institute of Standards, University of Colorado, Boulder, USA.
- Assael M.J. , Chen C.F. , Metaxa I.N. , Wakeham W.A. , 2004. Thermal conductivity of suspensions triangular of carbon nanotubes in water, *International Journal of Thermophysics*,25 (4), 971–985.
- Assael M.J. , Metaxa I.N. , Arvanitidis J., Christofilos D. , Lioutas C. , 2005. Thermal conductivity enhancement in aqueous suspensions of carbon multiwalled and double-walled nanotubes in the presence of two different dispersants, *International Journal of Thermophysics*, 26 (3), 647–664
- Baykut S., Biran M. Yüzey aktif maddeler ve fizikokimyası. İstanbul üniversitesi yayımları.
- Bruggeman D.A.G. , 1935. Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen, , I. Dielektrizitätskonstanten und Leitfähigkeiten der Mischkörper aus isotropen Substanzen, , *Annalen der Physik, Leipzig* 24 ,636–679.
- Choi US., 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *ASME FED*, 231, 99–103,
- Choi S.U.S. , Zhang Z.G. , Yu W. , Lockwood F.E. , Grulke E.A., 2001. Anomalous thermal conductivity enhancement in nano-tube suspensions, *Applied Physics Letters* , 79 , 2252-2254.
- Das S.K. , Putra N. , Thiesen P. , Roetzel W. , 2003. Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, *ASME Trans. J.Heat Transfer*, 125, 567–574.
- Davis, 1986. The effective thermal conductivity of a composite material with spherical inclusions *Int. , J. Thermophys.* 7, 609-620.
- Daungthongsuk W., Wongwises S., 2007. A critical review of convective heat transfer of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11/ 5, 797–817.
- Eastman J.A. , Choi U.S. , Li S. , Thompson L.J. , Lee S. , 1997. Enhanced thermal conductivity through the development of nanofluids, *Materials Research Society Symposium- Proceedings*, vol. 457, Materials Research Society,Pittsburgh, , PA, USA, Boston, MA, USA, pp.3-11.
- Eastman J.A. , Choi S.U.S. , Li S. , Yu W. , 2001. Thompson L.J. , Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, *Applied Physics Letters*, 78 (6) , 718–720.
- Genceli O.F. , 1995. Ölçme tekniği (boyut, basınç, akış ve sıcaklık ölçmeleri), İstanbul.
- Hamilton R.L., Crosser O.K., 1962. Thermal conductivity of heterogeneous twocomponent systems, *I&EC Fundam* 1, 182–191.

- Heris S.Z., Etemad S.Gh., M.N. Esfahany, 2006. Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 33/4, 529–535.
- Holman, J. P., 1994. *Experimental Methods for Engineers* (6stEd.), McGraw-Hill, New York.
- Hong K. , Hong T.-K. , Yang H.-S. , 2006. Thermal conductivity of fe nanofluids depending on the cluster size of nanoparticles, *Applied Physics Letters* 88(3), 31901.
- Hwang Y.J. , Ahn Y.C. , Shin H.S. , Lee C.G. , Kim G.T. , Park H.S. , Lee J.K. , 2006. Investigation on characteristics of thermal conductivity enhancement of nanofluids, *Current Applied Physics*, 6(6), 1068-1071.
- Jeffrey D. J.,1973. Conduction through a random suspension of spheres, *Proc. R. Soc. Lond. , A* 335, 355–367.
- Iijima S. ,1991. Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 354 (6348), 56–57.
- Lee S. , Choi S.U.S. , Li S. , Eastman J.A. ,1999. Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *Journal of Heat Transfer*, 121, 280–289.
- Li C.H. , Peterson G.P. , 2006. Experimental investigation of temperature and volume fraction variations on the effective thermal conductivity of nanoparticle suspensions (nanofluids), *Journal of Applied Physics*, 99(8), 084314.
- Lu S. and Lin H. , 1996. Effective conductivity of composites containing aligned spheroidal inclusions of finite conductivity, *J. Appl. Phys.* 79, 6761.
- Mansour R. B. , Galanis N. , Nguyen C.T. ,2007. Effect of uncertainties in physical properties on forced convection heat transfer with nanofluids, *Applied Thermal Engineering*, 27/ 1, 240–249.
- Masuda H. , Ebata A. , Teramae K. , Hishinuma N. , 1993. Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of 7-Al₂O₃, SiO₂, and TiO₂ ultra-fine particles), *Netsu Bus-sei (Japan)* ,7, 227–233
- Maxwell, J. C.,1873. *Electricity and Magnetism*, 1st Ed., Clarendon Press, Oxford, England.
- Maxwell J. C.,1881. *A Treatise on Electricity and Magnetism*, second ed., Clarendon Press, Oxford, UK.
- Murshed S.M.S. , Leong K.C. , Yang C. , 2005. Enhanced thermal conductivity of TiO₂-water based nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences* 44(4), 367–373.
- Onlinefizik.com Fizik sitesi ve fizik eğitim sitesi-elektron mikroskopu.
- Patel H.E. , Das S.K. , Sundararagan T. , Nair A.S. , Geoge B. , Pradeep T. , 2003. Thermal conductivities of naked and monolayer protected metal nanoparticle based nanofluids: Manifestation of anomalous enhancement and chemical effects, *Applied Physics Letters*, 83, 2931–2933.
- Putra N. , Roetzel W., Das S.K. 2003. Natural convection of nano-fluids, *Heat and Mass Transfer*, 39, 775-784.
- Rohrer, H. , 1996. “The Nanoworld: Chances and Challenges,” *Microelectronic Engineering*, 32(1-4), 5-14.
- Stephen U.-S. Choi, 1999. *Nanofluid Technology: Current Status And Future Research*, Energy Technology Division Argonne National Laboratory Argonne, IL 60439.
- Sohn, L. L. , 1998. “A Quantum Leap for Electronics,” *Nature*, 394, 131-132.

- Trisaksri V. , Wongwises S., 2005. Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* ,1–12.
- Touloukian, Y. S., Powell, R. W., Ho, C. Y., and Klemens, P. G., 1970, *Thermophysical Properties of Matter*, Plenum Press, New York, 2,
- Wang B.-X. , Li H. , Peng X.F. , 2002. Research on the heat-conduction enhancement for liquid with nano-particle suspensions, General Paper (G-1), International Symposium on Thermal Science and Engineering (TSE2002), Beijing.
- Wang B.-X. , Zhou L.-P. , Peng X.-P. , 2003. A fractal model for predicting the effective thermal conductivity of liquid with suspension of nanoparticles, *Internat. J. Heat Mass Transfer* 46, 2665–2672.
- Wang X., Mujumdar A.S., 2007. Heat transfer characteristics of nanofluids: a review, *International Journal of Thermal Sciences* 46 ,1–19.
- Wasp E.J. , Kenny J.P. , Gandhi R.L., 1999. *Solid–liquid Slurry Pipeline Transportation*, Bulk Materials Handling, Trans Tech Publications, Germany.
- Wen D. , Ding Y. , 2004a. Effective thermal conductivity of aqueous suspensions of carbon nanotubes (carbon nanotube nanofluids), *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 18 (4), 481–485.
- Wen D. , Ding Y. , 2004b. Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(24),;5181 –5188
- Williams W.C., Bang I.C., Forrest E., Hu L.W. ,2006. *Buongiorno J. Preparation and Characterization of Water-Based Nanofluids for Nuclear Applications* Massachusetts Institute of Technology, US, 6145.
- Xie H. , Lee H. , Youn W. , Choi M. ,2003. Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and their enhanced thermal conductivities, *Journal of Applied Physics*. 94(8), 4967–4971.
- Xuan Y. , Li Q. , 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 21/1, 58–64.
- Xuan Y. , Li Q. and Hu W. , 2003. Aggregation Structure and Thermal Conductivity of Nanofluids, *AIChE Journal*, 49/4, 1038 – 1043.
- Xuan Y. , Roetzel W. , 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluid, *Internat. J. Heat Mass Transfer* ,43 ,3701–3707.
- Yu W, Choi SUS.2003. The role of interfacial layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: a renovated Maxwell model. *J Nanoparticle Res* , 5, 167–171.
- Zhang X. , Gu H. , Fujii M. ,2007. Effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids containing spherical and cylindrical nanoparticles *Experimental Thermal and Fluid Science* 31/6, 593-599.
- Zhu H. , Zhang C. , Tang Y. , Wang J. , Ren B. , Yin Y. , 2007. Preparation and thermal conductivity of suspensions of graphite nanoparticles, *Letters to the Editor / Carbon* 45 , 203–228.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Erzurum’da doğdu. İlk, Orta ve Lise Öğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde üniversite öğrenim hayatına başladı ve 2005 yılında Makine Mühendisi ünvanı ile mezun oldu. Aynı yıl Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

Mart 2007 tarihinden itibaren Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.