

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ**



**ETİLEN GLİKOL BAZLI NANOAKIŞKANLARIN
ÜRETİLMESİ, VİSKOZİTE VE TERMAL
ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Makine Yük. Müh. Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT
DOKTORA TEZİ**

Ana Bilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Enerji

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇITLAK

MART-2018

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ETİLEN GLİKOL BAZLI NANOAKIŞKANLARIN ÜRETİLMESİ,
VİSKOZİTE VE TERMAL ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**



**Makine Yük. Müh. Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT
DOKTORA TEZİ**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Enerji**

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Aydın ÇITLAK

ELAZIĞ-2018

ÖNSÖZ

Boru içi akışlarda ısı transferini artırarak enerjiyi daha faydalı bir şekilde kullanabilmek günümüzde önem arz etmektedir. Çünkü teknolojik gelişmelerle birlikte sanayi sektöründe her geçen gün artan bir enerji talebi mevcuttur. Günlük yaşamın da en önemli girdilerinden olan enerjiye talep sürekli olarak artarken enerji kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu doğrultuda mevcut enerji dönüşüm sistemlerinin yeniden gözden geçirilip var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Mevcut yöntemler arasında güç kaynağının kullanılmasını gerektiren, ısı transfer edilen akışkana veya ortama ilave enerji verilerek ısı transferinde iyileşme sağlanması önem arz etmektedir.

Çalışmamızda, CuO ve ZnO Nanopartikül üretimi yapıldıktan sonra üretilen partiküllerin analizi yapıldı. Nanopartiküllerle beraber saf su, etanol ve etilen glikol malzemeleri kullanılarak üretilen nanoakışkanlar deney düzeneğinden geçirilerek ısı iletim katsayıları (k) ve ısı taşınım katsayıları (h) belirlendi. Reynolds sayısı 1600 civarında olan deneysel ölçümlerde saf suya göre ısı transferinde ZnO' da %16.5 ve CuO' da %13.3 değerinde ortalama iyileşme sağlandı. Akışkanların viskozitelerinin sıcaklığa göre değişimleri belirlendikten sonra grafiksel gösterimi çizildi. Yapılan deneylerde Reynolds sayısı 846 ile 2292 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ısı transfer katsayıları ile Reynolds sayısı arasındaki ilişkiyi veren grafikler çizildi.

Teşekkür

Tezimde kullandığım malzeme ve cihazların alınmasını, MF.16.55 proje numarası ile destekleyen Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) koordinatörlüğüne ve çalışmamdaki katkılarından dolayı danışman hocam Yrd.Doç.Dr. Aydın ÇITLAK ' a, Prof. Dr. Haydar EREN' e ve Aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XII
1.GİRİŞ.....	1
2. NANO TEKNOLOJİ	18
2.1.Yukarıdan Aşağıya Yaklaşımı.....	19
2.1.1. Elektro – Patlama	20
2.2.2. Mekanik aşındırma yöntemi	20
2.2. Aşağıdan Yukarıya Yaklaşımı	21
2.2.1. Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi (CVC)	22
2.2.2. Hidrojen redüksiyon yöntemi	23
2.2.3. Asal gaz yoğunlaştırma yöntemi (AGY).....	23
2.2.4. Mikroheterojen sistemlerden nanorpartikül üretimi	25
2.2.5. Alev sentezi yöntemi	26
2.2.6. Ultrasonik spre y piroliz yöntemi (USP)	26
2.2.7. Sol-Jel metodu	27
2.2.8. Hidrotermal yöntem	30
2.2.9. Yaş kimyasal sentez	31
2.3. Nanoakışkan Üretiminde Kullanılan Yöntemler.....	33
2.3.1. Tek-Adım metodu	33
2.3.2. İki-Adım metodu	33
2.4. Nanoakışkanların Kararlılığı.....	34
2.5. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri	36
2.5.1. Isıl iletkenlik	36
2.5.2. Viskozite	49
2.5.3. Özgöl Isı	53
2.5.4. Yoğunluk	54
2.6. Nanoakışkanların Uygulama Alanları.....	54

2.7. Nanoakışkanlarda Isı Transferi.....	55
2.8. Laminar Ve Türbülanslı Akışlar.....	59
3. MATERYAL VE METOD.....	63
3.1. Nano Partikül Ve Nanoakışkan Üretiminde Kullanılan Malzeme Ve Aletler.....	63
3.1.1. Partikül üretiminde kullanılan malzemeler	63
3.1.2. Elektronik hasas tartı	63
3.1.3. Elektronik balıklı karıştırıcı	63
3.1.4. Ultrasonik banyo	64
3.1.5. Beher ve huni	64
3.1.6. Yüksek sıcaklık ayarlı fırın.....	65
3.1.7. SEM cihazı ön hazırlık ünitesi (kaplama).....	65
3.1.8. SEM cihazı	66
3.1.9. FTIR (Fourier Transform Infrared Spektroskopisi) Analizi	67
3.1.10. Pelet hazırlama aleti	68
3.1.11. Ultraviyole ve görünür ışık (UV-Vis) absorpsiyon spektroskopi cihazı.....	69
3.1.12. Termogravimetri (TG) -Diferansiyel termal analiz (DTA) cihazı	69
3.1.13. XRD cihazı	71
3.1.14. Nanoakışkan üretiminde kullanılan malzemeler.....	73
3.1.15. Viskozite ölçüm cihazı	73
3.1.16. pH ölçüm cihazı	73
3.1.17. Nanoakışkanların termal iletkenlik özelliklerinin belirlendiği deney düzeneği malzeme ve cihazları.....	74
4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	75
4.1. Malzemelerin SEM Görüntüleri.....	76
4.2. Malzemelerin XRD Analiz Sonuçları.....	81
4.3. Malzemelerin X-Işını Spektroskopisi (EDS veya EDX) Ve Optik Özellikleri Analizleri	84
4.4. Malzemelerin FTIR Analizleri.....	90
4.5. Malzemelerin Termal Analizleri.....	92
4.6. Nanoakışkan Malzemelerin Isı transfer Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimleri Ve Kendi Aralarında Kıyaslarının Grafıksel Gösterimi	98
4.7. Nanoakışkan Akışkanların Dinamik Viskozitesinin Sıcaklığa Göre Değişimi...	107
5. HATA ANALİZİ	108
5.1. Yapılan Deney Çalışmalarında Toplam Belirsizliğin Tespiti.....	110
5.2. Reynolds Sayısı İçin Belirsizlik Tespiti.....	110
5.3. Isı Transfer Katsayısı İçin Belirsizlik Tespiti.....	111
5.4 Ölçülen Değerlerin Belirsizliklerinin Belirlenmesi.....	111

5.5. Bulgular.....	112
5.5.1. Sıcaklık ölçümlerinde ortaya çıkabilecek belirsizlikler.....	112
5.5.2. Kütle ve zaman ölçümlerindeki ortaya çıkabilecek belirsizlikler.....	112
5.5.3 Diğer belirsizlikler.....	113
5.5.4 Fiziksel özelliklerin belirsizliği.....	113
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	115
7. KAYNAKLAR	116
EKLER	
Ek.1. Etilen Glikol Bazlı CuO Ph (7,84) İçin $\dot{m}$, v' , vort, Re' ' ın bulunması.....	128
ÖZGEÇMİŞ.....	129



ÖZET

Çalışmamızda, CuO ve ZnO Nanopartikül üretimi yapıldıktan sonra üretilen partiküllerin analizi yapıldı. Nanopartiküllerle beraber saf su, etanol ve etilen glikol malzemeleri kullanılarak üretilen nanoakışkanlar deney düzeneğinden geçirilerek ısı iletim katsayıları (k) ve ısı taşınım katsayıları (h) belirlendi. Reynolds sayısı 1600 civarında olan deneysel ölçümlerde saf suya göre ısı transferinde ZnO' da %16.5 ve CuO' da %13.3 değerinde ortalama iyileşme sağlandı. Akışkanların viskozitelerinin sıcaklığa göre değişimleri belirlendikten sonra grafiksel gösterimi çizildi. Yapılan deneylerde Reynolds sayısı 846 ile 2292 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ısı transfer katsayıları ile Reynolds sayısı arasındaki ilişkiyi veren grafikler çizildi.

Anahtar Kelimeler: Isı transfer katsayısı, nanomalzeme, nanoakışkan, Reynolds sayısı

SUMMARY

PRODUCTION OF ETHYLENE GLYCOL BASED NANOFLUIDS, EXPERIMENTAL ANALYSIS OF VISCOSITY AND THERMAL PROPERTIES

In our work, analysis and measurements of the produced particles were performed after the production of CuO and ZnO nanoparticles. Nanoparticles produced by using pure water, ethanol and ethylene glycol materials with nanoparticles were passed through the experimental setup and the thermal conductivity coefficient (k) and heat transfer coefficients (h) were determined. In experimental measurements with a Reynolds number of around 1600 are provided an average improvement of 16.5% in ZnO and 13.3% in CuO in heat transfer according to pure water. The graph was drawn after the viscosities of the fluids were changed according to the temperature. Reynolds numbers range have been changed from 846 to 2292 in the made experiments. In addition, the graphs showing the relationship between the heat transfer coefficients and the Reynolds number were drawn.

Keywords: Heat transfer coefficient, nano material, nanofluid, Reynolds number

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Viskozite üzerinde hacimsel oranın etkisi.....	6
Şekil 1.2. Isıl iletkenlik üzerinde hacimsel oran ve sıcaklığın etkisi.....	7
Şekil 2.1. Uzunluk ölçeği ve ilgili bazı örnekler.....	18
Şekil 2.2. Nano boyutta parçacık üretiminde uygulanan yöntemler.....	19
Şekil 2.3. Mekanik aşındırma yöntemi ile nano malzeme üretimi.....	21
Şekil 2.4. Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi ile nano malzeme üretimi.....	22
Şekil 2.5. Hidrojen redüksiyon yöntemi ile nano malzeme üretimi.....	23
Şekil 2.6. Asalgaz yoğunlaştırma yöntemi ile nanomalzeme üretimi.....	24
Şekil 2.7. Mikro Heterojen Yöntemi ile Nanomalzeme Üretimi.....	25
Şekil 2.8. Alev sentezi yöntemi ile nanomalzeme üretimi.....	26
Şekil 2.9. Ultrasonik sprey piroliz yöntemi ile nanomalzeme üretimi.....	27
Şekil 2.10. Sol-jel teknolojisi ve bu teknolojiyle üretilebilecek malzemelerin gösterimi.	29
Şekil 2.11. Sol-jel yöntemi ile parçacık üretim aşamalarının gösterimi.....	30
Şekil 2.12. Nanopartiküllerin mikropartiküllerle karşılaştırılması.....	32
Şekil 2.13. Tek adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlanması.....	33
Şekil 2.14. İki adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlanması.....	34
Şekil 2.15. a) Topaklanmış, b) homojene yakın dağılmış CuO partikülleri.....	35
Şekil 2.16. Geçici sıcak tel yöntemi deney düzeneği.....	39
Şekil 2.17. Lee Disk yönteminin şematik gösterimi.....	40
Şekil 2.18. Searle yönteminin şematik gösterimi.....	40
Şekil 2.19. a) Al_2O_3 -Su , b) CuO- Su değişik boyutlardaki nanoakışkanların, farklı hacim konsantrasyonlarında ısı iletkenlik oranı	42
Şekil 2.20. a) Al_2O_3 -Su, b) CuO-Su nanoakışkanlarının değişik pH değerlerindeki, farklı hacim konsantrasyonlarına karşılık gelen ısı iletkenlik oranı.....	42
Şekil 2.21. Al_2O_3 -Su nanoakışkanının değişik sıcaklıklarda, farklı hacim konsantrasyonlarındaki ısı iletkenlik oranı.....	43
Şekil 2.22. Farklı cins temel akışkanların değişik hacim konsantrasyonlarında ısı iletkenlik oranı.....	43
Şekil 2.23. a) Su ve b) Etilen glikol temel akışkanlarına farklı cins ve boyutta nanopartikül katılarak hazırlanan nanoakışkanların, değişik hacim konsantrasyonlarında ısı iletkenlik oranı.....	44
Şekil 2.24. CuO-Su nanoakışkanının farklı partikül boyutu ve değişik hacim konsantrasyonlarındaki ısı iletkenlik oranı.....	45

Şekil 2.25. a) SiC-Su, b) SiC-EG nanoakışkanlarının farklı partikül şekli ve değişik hacim konsantrasyonlarındaki ısı iletkenlik oranı.....	45
Şekil 2.26. Al ₂ O ₃ /Su nanoakışkanının değişik çalışmalarda farklı partikül hacim oranlarındaki ısı iletkenlik oranı.....	47
Şekil 2.27. Nanoakışkanların ısı transfer özellikleri.....	56
Şekil 2.28. Isıl sınır tabaka gelişimi.....	58
Şekil 2.29. Boru içerisindeki hız dağılımı.....	60
Şekil 2.30. $2300 \leq Re \leq 4000$ arasındaki geçiş akışı bölgesinde akış," laminar ve türbülanslı durumlar arasında rastgele bir şekilde değişir.....	61
Şekil 2.31. Hidrodinamik sınır tabaka gelişimi.....	62
Şekil 3.1. Elektronik hassas tartı.....	63
Şekil 3.2. Elektronik balıklı karıştırıcı.....	63
Şekil 3.3. Ultrasonik banyo.....	64
Şekil 3.4. Beher ve huni.....	64
Şekil 3.5. Yüksek sıcaklık ayarlı fırın.....	65
Şekil 3.6. SEM cihazı ön hazırlık ünitesi (kaplama).....	65
Şekil 3.7. SEM cihazı.....	66
Şekil 3.8. Fourier transform infrared spektroskopisi.....	68
Şekil 3.9. Pelet hazırlama aleti.....	68
Şekil 3.10. Ultraviyole ve görünür ışık (UV-Vis) absorpsiyon spektroskopi cihazı.....	69
Şekil 3.11. Termogravimetri (TG) - Diferansiyel termal analiz (DTA) cihazı.....	70
Şekil 3.12. Atomik ölçekli kristal yapı.....	72
Şekil 3.13. XRD cihazı.....	72
Şekil 3.14. Viskozite ölçüm cihazı.....	73
Şekil 3.15. pH ölçüm cihazı.....	73
Şekil 3.16. Deney düzeneği.....	74
Şekil 4.1. CuO pH 7 SEM görüntüsü.....	76
Şekil 4.2. CuO pH 10 SEM görüntüsü.....	77
Şekil 4.3. CuO pH 12 SEM görüntüsü.....	77
Şekil 4.4. CuO pH 14 SEM görüntüsü.....	78
Şekil 4.5. ZnO pH 7 SEM görüntüsü.....	78
Şekil 4.6. ZnO pH 10 SEM görüntüsü.....	79
Şekil 4.7. ZnO pH 12 SEM görüntüsü.....	79

Şekil 4.8. ZnO pH 14 SEM görüntüsü.....	80
Şekil 4.9. XRD (X-ışını Kırınım) CuO analizi sonuçları.....	81
Şekil 4.10. XRD (X-ışını Kırınım) ZnO analizi sonuçları.....	82
Şekil 4.11. CuO, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS veya EDX).....	84
Şekil 4.12. Toz haline getirilmiş CuO UV-görünür yansıma spektrumları.....	85
Şekil 4.13. CuO nanoparçacıklarının bant boşluğu enerjisinin, solüsyonun farklı pH değerlerinde gösterimi.....	86
Şekil 4.14. ZnO, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS veya EDX).....	87
Şekil 4.15. Toz haline getirilmiş ZnO UV-görünür yansıma spektrumları.....	88
Şekil 4.16. ZnO Nanoparçacıklarının bant boşluğu enerjisinin solüsyonun farklı pH değerlerinde gösterimi.....	88
Şekil 4.17. CuO nanoparçacıklarının farklı Ph değerlerinde gösterimi FTIR analizi.....	90
Şekil 4.18. ZnO nanoparçacıklarının farklı Ph değerlerinde gösterimi FTIR analizi.....	91
Şekil 4.19. CuO pH 7 nanoparçacığının termal analizi.....	92
Şekil 4.20. CuO pH 10 nanoparçacığının termal analizi.....	92
Şekil 4.21. CuO pH 12 nanoparçacığının termal analizi.....	93
Şekil 4.22. CuO pH 14 nanoparçacığının termal analizi.....	94
Şekil 4.23. ZnO pH 7 nanoparçacığının termal analizi.....	95
Şekil 4.24. ZnO pH 10 nanoparçacığının termal analizi.....	95
Şekil 4.25. ZnO pH 12 nanoparçacığının termal analizi.....	96
Şekil 4.26. ZnO pH 14 nanoparçacığının termal analizi.....	97
Şekil 4.27. CuO pH 7.84 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi	98
Şekil 4.28. CuO pH 8.58 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi	98
Şekil 4.29. CuO pH 8.75 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi	99
Şekil 4.30. CuO pH 9.95 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi...	99
Şekil 4.31. CuO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.....	100
Şekil 4.32. CuO pH 9.95 için ısı transfer katsayısının malzeme oranına göre değişimi...	101
Şekil 4.33. ZnO pH 7.32 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi..	101
Şekil 4.34. ZnO pH 8.52 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi..	102
Şekil 4.35. ZnO pH 8.90 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi..	102
Şekil 4.36. ZnO pH 9.92 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi..	103

Şekil 4.37. ZnO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.....	103
Şekil 4.38. ZnO pH 9.92 için ısı transfer katsayısının malzeme oranına göre değişimi...	104
Şekil 4.39. %33 Etilen glikol ve %67 saf su dan oluşan karışımın ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.....	105
Şekil 4.40. Saf su nun ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi.....	105
Şekil 4.41. Akışkanların ısı transfer katsayılarının Reynolds sayısına göre değişiminin kıyaslanması.....	106
Şekil 4.42. Akışkanların dinamik viskozitesinin sıcaklığa göre değişiminin kıyaslanması.....	107
Şekil 5.1. Problem çözümüne analitik yaklaşım.....	108



TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Nanoakışkanların taşınım ısı transferi ile ilgili yapılan deneysel çalışmaların özeti..	12
Tablo 2.1. Farklı katı ve sıvıların ısı iletkenlikleri.....	38
Tablo 2.2. Katı/Sıvı süspansiyonları için efektif ısı iletkenlik modelleri.....	48
Tablo 2.3. Katı/Sıvı süspansiyonları için viskozite modelleri.....	50
Tablo 4.1. CuO malzemesinin pH 7,10,12,14 deki özellikleri.....	82
Tablo 4.2. ZnO malzemesinin pH 7,10,12,14 deki özellikleri.....	83
Tablo 4.3. CuO malzemesinin içinde bulunan element yüzdeleri.....	84
Tablo 4.4. ZnO malzemesinin içinde bulunan element yüzdeleri.....	87
Tablo 5.1. Belirsizlik değerleri.....	114

SEMBOLLER LİSTESİ

C_w	: Suyun özgül ısısı
C_p	: Partikülün özgül ısısı
D	: Boru çapı m
k_p	: Partikülün ısıl iletkenliği
k_l	: Esas akışkanın ısıl iletkenliği
k_e	: Partikül/sıvı süspansiyonunun efektif ısıl iletkenliği
$\dot{m}$	: Kütleli debi kg/s
$\bar{u}$	: Ortalama büyüklük
Re	: Reynolds sayısı
V	: Hız m/s
V_{ort}	: Ortalama akış hızı m/s
$\dot{V}$	: Hacimsel debi m ³ /s
ν	: Kinematik viskozite m ² /s
μ	: Viskozite kg/m.s
ρ	: Yoğunluk kg/m ³
ϕ_v	: Hacimsel oran
ρ_{nf}	: Nanoakışkan yoğunluğu
ρ_p	: Partikül yoğunluğu
φ	: Hacimsel oran
ρ_{bf}	: Temel akışkan yoğunluğu
ϕ (phi)	: Süspansiyonun partikül hacim oranı
α (alfa)	: Isıl iletkenlikler oranı
β	: Partikül şekil faktörü

1.GİRİŞ

Günlük yaşamımızda farklı boru tiplerinde akış ile sık sık karşılaşırız.Yaşamımızda kullandığımız soğuk ve sıcak su, basınçlı sistemler yardımıyla boruların içerisinden taşınır. Şebeke suyu maliyetli bir boru iletim hattı ile dağıtılır. Uzun boru sistemleri ile petrol ve doğalgaz gibi yakıt çeşitleri taşınır. Metabolizmamızdaki kan atardamarlar ve toplardamarlar yardımıyla taşınır. Araçlarda bulunan radyatörün soğutma sisteminde bulunan soğutma suyu borulara hortumlar vasıtası ile taşınır. Bir çok akışkan en başta da sıvılar olmak üzere dairesel borularla taşınır [1].

İç akışlar alanında borular kullanılarak bir çok araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar içinde en önde gelenlerinden biri olan cam boru içerisinde akışa boya enjekte edilerek laminar, geçiş ve türbülanslı akış rejimlerinin keşfedilmesini sağlayan Osborne Reynolds'un 1842-1912 arasında yaptığı araştırmadır [2].

Boru içi akışlarda ısı transferini artırarak enerjiyi daha faydalı bir şekilde kullanabilmek günümüzde önem arz etmektedir. Çünkü teknolojik gelişmelerle birlikte sanayi sektöründe her geçen gün artan bir enerji talebi mevcuttur. Günlük yaşamının da en önemli girdilerinden olan enerjiye talep sürekli olarak artarken enerji kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu doğrultuda mevcut enerji dönüşüm sistemlerinin yeniden gözden geçirilip var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Mevcut yöntemler arasında güç kaynağının kullanılmasını gerektiren, ısı transfer edilen akışkana veya ortama ilave enerji verilerek ısı transferinde iyileşme sağlanması önem arz etmektedir.Mevcut yöntemler arasında aktif (dış güç kaynağının kullanılmasını gerektiren, ısı transfer edilen akışkana veya ortama ilave enerji verilerek ısı transferinde iyileşme sağlayan), pasif (ilave enerji verilmeden ısı transferindeki iyileşmeyi sağlayan) ve karma (aktif veya pasif yöntemlerden iki veya daha fazlasını birlikte kullanan) yöntemlerle ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmalar literatürde çokça mevcuttur. Bu çalışmalarda çoğunlukla kullanılan geleneksel ısı transfer akışkanları su, sentetik yağlar ve etilen glikol (antifriz) vs. dir. Ancak bu ısı transfer akışkanlarının performanslarının düşük olması nedeniyle ısı transferini iyileştirmeye yönelik çalışmaları kısıtlamaktadır. Bu sebeple son yıllarda araştırmacılar yeni nesil ısı transfer akışkanları üzerinde çalışmaktadır. Yapılan çalışmalarda iş yapan temel akışkan içerisine katı parçacıkların süspansiyon şeklinde katılması yeni yöntemlerden biridir. Akışkan içine milimetre

(mm) ve mikrometre (μm) boyutlarında parçacık katılması çok daha önceleri de denenmiş bir yöntemdir [3]. Ancak bu yöntemde, yüksek hacimsel oranlarda boru kanal içerisindeki büyük basınç düşümleri, tortulaşma, büyük parçacıklarda hızla çökme, aşınma benzeri sorunlardan dolayı endüstriyel işlemlerde bu yöntemlerin kullanılmasına sıcak bakılmamıştır. Ayrıca bu boyuttaki parçacıklarla hazırlanan süspansiyonların daha az kararlı bir yapı göstermeleri nedeniyle mikro kanallarda tıkanmalara neden olduğu gözlenmiştir.

Günümüzde nanoteknolojik gelişmeler, nanometre boyutlarında partikül üretimine olanak sağladığından akışkan içine partiküllerin katılması yeniden gündeme gelmiştir. Özellikle metalik nanopartiküllerin üretiminde kullanılan teknikler; mikroemülsiyon teknikleri, gaz fazından üretim teknikleri olan asal gaz yoğunlaştırma, kimyasal buhar yoğunlaştırma ve hidrojen redüksiyonu gibi yöntemlerdir [4]. Üretilen bu nanopartiküller (1-100 nm boyutlu) ile geleneksel ısı transfer akışkanları su, sentetik yağ ve etilen glikol gibi bazı temel akışkanlar belirli hacimsel veya kütsel oranlarda karıştırılarak yeni akışkanlar elde edilmektedir. Bu akışkanlar nanoakışkan olarak adlandırılmaktadır. Nanoakışkan terimini nanoparçacıkların süspanse edildiği akışkan olarak çalışmasında ilk kullanan Choi [5], küçük hacimsel oranlarda (% 1 den daha az) nanopartikül eklenmesi durumunda akışkanın ısı iletkenliğinin yaklaşık olarak iki katına çıktığını göstermiştir.

İş yapan akışkan içerisine nanopartiküllerin katılması ile ısı transferi performansı önemli derecede iyileşmektedir. Buna sebep olan temel fiziksel olaylar aşağıdaki gibi sıralanabilir [6]:

- Akışkan içerisine katılan nanopartiküller akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini artırır.
- Akışkana ilave edilen nanopartiküller akışkanın efektif ısı kapasitesini artırır.
- Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akışkanın ve akış geçit yüzeyinin artmasına sebep olur.
- Akışkan içinde çalkantı ve türbülans şiddetinin artmasına neden olur.
- İş yapan akışkan içerisinde nanopartiküller akışkanın akışa dik doğrultudaki sıcaklık gradyeninin düzleşmesine neden olur.

Ayrıca nanopartiküller nanoakışkan içerisindeki enerji taşınımını artırır. Bunun sebebi iki bakış açısıyla açıklanabilir. Birincisi süspanse edilen nanopartiküller akışkanın bileşimini değiştirir ve temel akışkanı süspansiyona dönüştürür. Bu nedenle enerji taşıma proseslerini etkilerler. İkincisi süspanse edilmiş partiküllerin rastgele hareketleridir. Nanopartiküllerle sıvı

moleküller arasındaki ara yüzeysel etkileşim, akışkanın içinde enerji taşınımını artırır. Isı iletiminin yükselmesiyle beraber artan çalkantı şiddeti ve geniş yüzey alanı daha fazla ısı transferine olanak sağlar [7].

Isı transferini iyileştirmeye yardımcı olan nanopartiküllerin; nanoakışkanın karakteristiği üzerindeki etkisi, nanoakışkanların hazırlanmasının, nanoakışkanların termofiziksel özelliklerinin ve ısı transferi ölçüm tekniklerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Bunlardan ilki nanoakışkanın hazırlanması aşamasıdır. Nanoakışkanın hazırlanması için iki yöntem vardır. Birincisi tek adım metodu, ikincisi iki adım metodudur. Nanomalzemenin üretimi ve ana akışkan içerisinde dağılımıyla beraber gerçekleşen yönteme tek adım metodu denir. Bu metodu kullanarak daha homojen yapıda ve stabil durumda nanoakışkanlar üretilebilmektedir. İki adım metoduna göre topaklanma yüzdesi daha azdır. Tek adım metodu uygulama yönünden kısıtlı bir alana sahiptir. Nanopartikül üretim maliyetleri yüksektir ve kullanılabilecek malzeme cinsi çeşidi azdır. Nanoakışkan üretiminde en fazla tercih edilen yöntem İki adım metodudur. İlk olarak kimyasal veya fiziksel metodlarla nanopartiküller, nano fiberler, nanotüpler ve diğer nanomateriyaller kuru toz halinde elde edilir. Bu nano boyuttaki partiküllerin su, temel akışkanı içinde dağılımı sağlanır. Nanoakışkan üretiminin yapılabilmesi için partiküllerin stabil duruma gelmesi ve homojen dağılımlı bir yapıya kavuşması gerekmektedir. Bu durumları elde edebilmek için partikülleri çeşitli işlemlere tabi tutmak gerekir; magnetik karıştırma, ultrasonik karıştırma, yüksek parçalayıcı karıştırma teknikleri kullanılabilir. Nanopartiküller yüksek yüzey alanı ve yüzey aktivitesi sebebiyle topaklanma yönelimi gösterir. Bu nedenle stabiliteyi yükseltmek ve homojen yapıyı elde edebilmek için en ideal teknik yüzey aktif madde (surfaktif) kullanımıdır. Fakat surfaktifler yüksek sıcaklıklarda etkisini yitirebilmektedirler [8].

Zhu ve arkadaşları [9] tek adım yöntemiyle $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ve $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ile topaklanmamış ve kararlı Cu nanoakışkanını elde etmişlerdir. % 0.3 hacimsel oranlı Cu ve etilen glikol ile hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliğinde % 40 iyileşme Eastman ve ark.[10] tarafından ölçülmüştür. TiO_2 , CuO ve Cu gibi çeşitli nanopartikül içeren nanoakışkan üretebilmek için kullanılan bir diğer tek adım metodunun toz altı nanopartikül sentezinde kullanıldığı söylenmiştir [11-13]. Bu yöntemle nanopartiküller, katının elektrodan alınan ısı ile ısıtılması sonucu üretilmekte ve sonrasında vakum odasında sıvı hale yoğunlaştırılmasıyla nanoakışkan üretilmiştir.

Wen ve Ding [14] γ - Al_2O_3 ile deiyonize su nanoakışkanını iki adım metoduyla hazırlarken dağıtıcı olarak sodyum dodikilbenzen sülfonat kullanmışlardır.

Liu ve arkadaşları [15] karbon nanotüp ve sentetik motor yağı ile farklı oranlarda nanoakışkanın kararlılığı için N-hidroksisüksinimid kullanarak ultrasonik titreşimlerle iki adım yöntemiyle hazırlamışlardır.

Uzun süre kararlılığını koruyan ve akışkanın kimyasal özelliklerinin sabit kaldığı bir karışım elde etmeye çalışan araştırmacılar yaptıkları çalışmalarla topaklanma, akışı engelleme ve tortulaşma gibi problemleri gidermeyi hedeflemişlerdir. Aynı zamanda düşük nanopartikül hacimsel oranlı (%1 den daha az) geleneksel ısı transfer akışkanlarının ısı iletkenliklerinin de, temel akışkana oranla yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu görülmüştür [16].

Nanoakışkanların termofiziksel özellikleri ısı transfer uygulamaları için çok önemlidir. Termofiziksel özellikler farklı parametreler içerir. Bunlar; spesifik ısı kapasitesi, viskozite, ısı iletkenlik ve ısı transfer katsayısıdır. Nanoakışkanlar için en iyi ısı transferi, taşınım katsayısı ile analiz edilir [17].

Nanoakışkanın ısı iletkenliğinin bağlı olduğu parametreler bulunmaktadır. Bunlar nanoakışkanın; viskozite, sıcaklık, temel akışkanın ısı iletkenliğine, katı partiküle (partikül şekli, boyutu, yoğunluğu, gizli ısı gibi) ve nanopartikülün hacimsel yüzdesine göre değişmektedir.

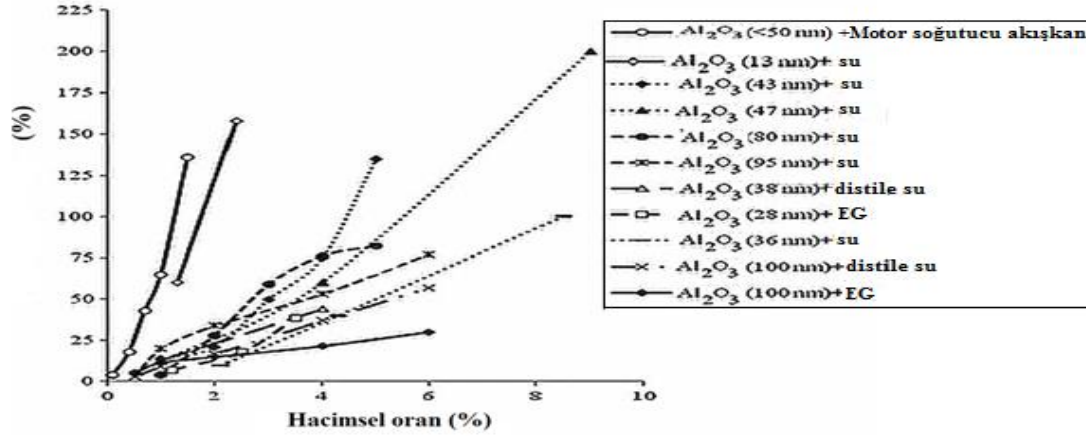
Nanoakışkanların viskozitesi endüstriyel çalışmalarda belirleyici bir parametredir. Sebebi bir çok parametreyle ilişkili olması; akışın gerçekleştiği kanaldaki basınç düşümü, akış için gerekli pompa gücü, kanal yüzeyinde aşınma (erozyon) gibi olaylarla doğrudan bağlantılı olması ve kontrol altına alınması gerektiğindendir. Bu nedenlerden dolayı nanoakışkanın viskozite özelliği hakkında teorik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda viskozitenin diğer parametrelerle ilişkisi araştırılmakta bu özellikler sırasıyla nanoakışkan içerisindeki nanoparçacık hacimsel konsantrasyonu, sıcaklık, nanoparçacık çapı, nanoparçacık şekli nanoparçacık kümeleşmesi (aggregation) ve pH değeri gibi parametrelerdir [18]. Nanoakışkan viskozite modelleri, modellerde kullanılan akışkan çeşidine ve modelde uygulanan yöntemle göre ikiye ayrılabilir. Akışkan çeşidine göre viskozite modelleri; iki fazlı mikro, boyutça daha büyük olan akışkanların oluşturduğu modeller (Klasik Modeller) ve viskozite modellerinde nanoakışkanlar için kullanmak üzere oluşturulmuş korelasyonlar olarak ikiye ayrılabiliriz, modellerin oluşturulduğu yöntemle göre ise teorik ve deneysel olarak ikiye

ayrılmaktadır. Baz alınan akışkana göre nanoakışkan ile sağlanan viskozitedeki artışın tespitinde, nanoakışkan viskozitesinin baz akışkan viskozitesine oranı ($\mu_{nf} / \mu_{bf} = \mu_r$) “bağıl viskozite” hesaplanarak belirlenmektedir.

Viskoziteyi tahmin etmek için ilk olarak Einstein [19] tarafından 1906 yılında geliştirilmiş modelden sonra çok sayıda model geliştirilmiştir. Krieger ve Dougherty, Mooney, Batchelor, Nielsen, Brinkman, Franken ve Acrivos, Lundgren, Graham, Kitano, Bicerano, Ward, Tseng ve Chen, Avsec ve Oblac, Yu ve Choi, Chen, Masoumi, Pak ve Cho, Kulkarni, Nguyen, Namburu gibi araştırmacıların geliştirdikleri modellerin bir kısmının uygun olduğu, bazılarının ise uygun olmadığı görülmektedir [20]. Bu durum çalışılan partiküllerin geometrik ve kimyasal özellikleri, nanoakışkan hazırlama yöntemi ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir.

Tavman ve Turgut [21] farklı hacimsel oran ve sıcaklıklarda $\text{SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$, $\text{TiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ ve $\text{Al}_2\text{O}_3\text{--H}_2\text{O}$ nanoakışkanlarının viskozitelerinin değişimlerini incelemişlerdir. Artan hacimsel oran ile viskozitede de artış gözlemlemişlerdir. $\text{TiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ nanoakışkanında artan sıcaklıkla viskozitenin azaldığı, su ile benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Deney sonuçları $\text{SiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ nanoakışkanı için viskozitenin Einstein modeli, Krieger-Dougherty modeli ve Nielsen modeline göre önemli ölçüde yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca $\text{TiO}_2\text{--H}_2\text{O}$ nanoakışkanın viskozitesi Einstein modeline göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Teorik modellerin yanı sıra araştırmacılar yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda nanoakışkanın viskozitesinin partikül boyutu, şekil, sıcaklık, dağıtıcı ve pH ile direkt olarak ilgili olduğu belirlenmiştir.

Nguyen ve arkadaşları [22] partikül boyutunun viskozite üzerindeki etkisini alüminyum-su nanoakışkanında çalışmışlardır. Çalışmalarında % 4'lük hacimsel oranda 36 ve 47 nm boyutlu partiküller için aynı sonuçlar elde etmişlerdir. Hacimsel oran arttıkça büyük boyutlu partiküllü akışkanın viskozitesinin küçük boyutlu olana göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Duangthongsuk ve Wongwises [23] TiO_2 – su nanoakışkanı için 15 – 53°C sıcaklık aralığında % 0.2 – 2.0'e artan hacimsel oranda, viskozitede % 4 – 15 artış tespit etmişlerdir. Yapılan çeşitli çalışmalarda hacimsel oranın viskozite üzerindeki etkisini gösteren grafikleri Şekil 1.1.'de birleştirmiştir [24].



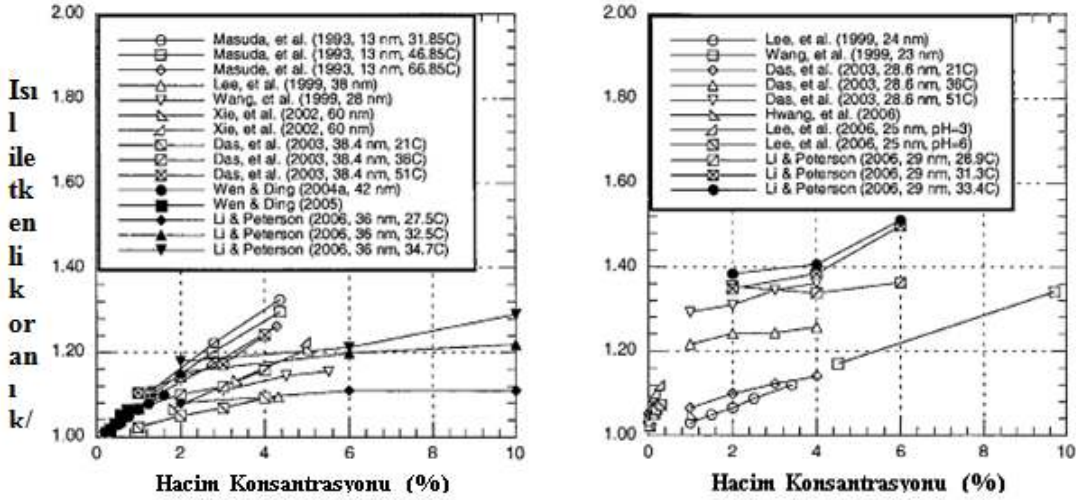
Şekil 1.1. Viskozite üzerinde hacimsel oranın etkisi

Akışkanın ısı iletkenliği, ısı transferi performansını yükseltmede mühim bir değişkendir. Katı metaller, akışkanlara göre ısı iletkenlikleri daha yüksek olduğundan, katıldığı akışkanın ısı iletkenliğini ve ısı transferi verimini yükseltebileceği kanaatine varılmıştır [25]. Partiküllerin ve temel akışkanın ısı iletkenliği, nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkilemekte ve nanopartiküllerin akışkan içerisindeki hacimsel oranının artmasıyla beraber ısı iletkenlik yükselmektedir. Nanoakışkanın ısı iletkenliği çeşitli parametrelere bağlıdır bunlar nanoakışkanın viskozitesi, temel akışkanın ısı iletkenliği, katı partikülün özellikleri (yoğunluğu, gizli ısı gibi) ve nanopartikülün hacimsel oranına bağlıdır. Nanoakışkanın ısı iletkenliği nanopartikül kümesinin toplanma yüzde içeriğiyle ve dönme yarıçapıyla bağlantılı olarak değişim göstermektedir. Akışkana süspanse edilmiş nanopartiküllerin dönme yarıçapı küçüldükçe nanoakışkanların ısı iletkenliği o oranda büyür. Nedeni küçük kümeler birim zamanda daha hızlı ve daha uzağa hareket edebilirler ve nanoakışkan içerisinde daha fazla enerji taşınımına sebep olurlar [26]. Bütün etkenler incelendiğinde nanoakışkanların ısı iletkenliği; hacimsel oran, yüzey bölgesi, akışkan içerisine süspanse edilmiş nano partikülün boyutu, temel akışkan ve nanopartikülün ısı iletkenliği gibi değişkenlerin fonksiyonu olarak arttığı görülmektedir [25].

Temel akışkana göre katı metallerin ısı iletkenliği daha yüksek olduğu için akışkanın içerisine katılan küçük katı metaller, ısı iletkenliği arttırmaktadır [27].

Xie ve arkadaşları [28] partikül boyutu 26 ile 600 nm arasında değişen, oksit olmayan seramik nanopartiküllü nanoakışkanı (SiC) ayrıca Xie ve ark. [29] partikül boyutu 1.2 ile 302 nm arasında olan Al_2O_3 nanoakışkanı üreterek partikül boyutunun ısı iletkenliğe etkisini gözlemlemiştir.

Hrishikesh ve ark. [30] farklı nanopartiküller (Al_2O_3 , CuO, Cu, Al), farklı temel akışkanlar (motor yağı, etilen glikol, su), farklı partikül boyutları (11, 31, 45, 80, 150 nm), farklı hacimsel oranlarda (%0.5, %1, %2, %3) ve farklı sıcaklıklarda (20, 30, 40, 50°C) yaptıkları deneylerde düşük hacimsel oranlarda lineer olmayan trendle beraber daha yüksek ısı iletkenlik elde etmişlerdir. Dolayısıyla sıcaklığın ısı iletkenlik üzerinde direkt olarak etkisi olmamakla beraber genel olarak artan bir eğilim trendinde olduğunu göstermektedir. Kang ve ark. [31] 30 ve 50 nm çaplarında elmas nanopartikülleriyle %1.2 hacimsel oranlı etilen glikolle hazırladıkları nanoakışkanın ısı iletkenliğinde %75 artış gözlemlemiştir. Yapılan çeşitli çalışmalarda Al_2O_3 -su, CuO-su hacimsel oran ve sıcaklığın ısı iletkenlik üzerindeki etkisini gösteren grafikleri Şekil 1.2.'de birleştirilmiştir [32].



Şekil 1.2. Isı iletkenlik üzerinde hacimsel oran ve sıcaklığın etkisi

Goharshadi ve Hadadian [33] partikül boyut dağılımının viskozite üzerindeki etkisini incelemiştir. Buna göre, sabit hacimsel oranda tutulduğunda geniş parçacık dağılımlı nanoakışkanlarda sarma yeteneğinin sınırlı partikül dağılımlı nanoakışkanlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bu da geniş parçacık dağılımının etrafında hareket etmek için daha fazla boş alan sağlar ve sonunda örneği daha az viskoz yapar. Araştırmacılar sıcaklığı, viskozite üzerinde

en kritik ve etkili parametre olarak değerlendirmektedirler. Genel olarak, artan sıcaklıkla viskozite de düşüş eğilimi gösterir. Yani sıcaklık arttıkça nanopartikül molekülleri ile temel akışkan arasındaki çekim zayıflar ve dolayısıyla viskozite düşer [34].

Zhao Jia-Fei ve arkadaşları [35] 20 nm' den küçük çaptaki nanopartiküller için, silikondiyoksit nanoakışkanında viskozitenin pH' a bağlı olduğunu belirtmişlerdir. 5 ve 7 pH değerleri arasında viskozite de dalgalanma olduğunu, $pH < 5$ için ise viskozitede düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu dalgalanmanın topaklanma boyutu ve parçacıkların elektriksel çift tabakadan kaynaklı olduğunu düşünmektedirler. Viskozite üzerindeki bir diğer etkinin de nanoakışkan hazırlama yöntemi ile ilgili olduğu söylenebilir. Farklı dağıtım teknikleri viskoziteyi etkilemektedir.

Wang ve arkadaşları [36] mekanik karıştırma yöntemiyle hazırladıkları % 5 oranındaki Al_2O_3 (28 nm) – distile su nanoakışkanında etkili viskozitenin % 86'a kadar arttığını gözlemlemişlerdir. Diğer taraftan, Pak ve Cho [37] elektrostatik iteleme ve düzenlenmiş pH yöntemiyle % 10 oranlı Al_2O_3 (13 nm) – su ve TiO_2 (27 nm) – su nanoakışkanlarının ikisinde de suya göre birkaç kat fazla viskozite elde etmişlerdir.

Dağıtıcının viskozite üzerindeki etkisi ile ilgili çok fazla çalışma olmamakla beraber Li ve ark. [38] yapmış oldukları çalışmada manyetik nanoakışkanlarda dağıtıcı konsantrasyonunun viskoziteyi kontrol ettiğini ve artan dağıtıcı konsantrasyonlarının viskoziteyi arttırdığını tespit etmişlerdir.

Yüzey gerilimi, diğer iki fazlı ısı transfer olayı kadar kaynamada önemli bir parametredir. Radiom ve ark. [39] deiyonize su bazlı TiO_2 nanoakışkanlarda, nanopartiküllerin yüzey gerilimi üzerindeki etkisini ve denge temas açısını incelemişlerdir. Nanoakışkanın yüzey geriliminin, zayıf bir şekilde nanopartikül konsantrasyonuna, güçlü bir şekilde dağıtıcı konsantrasyonuna bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Zhu ve arkadaşları [40] çalışmalarında Al_2O_3/Su nanoakışkanının deneysel sonuçları yüzey geriliminin sıcaklığa bağlı olduğunu göstermektedir. Yüzey gerilimindeki maximum iyileşmenin, 1 g/L konsantrasyonda %5 olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu parametrelerin yanı sıra zorlanmış taşınım ısı transferi, nanoakışkanların endüstriyel uygulamalarında önemli rol oynar.

Fotukian ve arkadaşları [41] CuO/Su (hacimsel olarak % 0.24 den az) türbülans taşınım ısı transfer katsayısı ve basınç kaybı deneysel olarak incelenmiştir. Isı transfer katsayısındaki artma ortalama % 25 ile basınç kaybındaki %20 azalma elde etmişlerdir. Çalışmada,

nanopartiküllerin cidara vurup, ısı enerjisini absorbe edip, cidar sıcaklığını düşürerek, geri gelip nanoakışkanla karışmasının ısı performansı arttıracığı düşünülmüştür.

Williams ve ark.[42] Al_2O_3 ve ZrO_2 su bazlı nanoakışkanları yatay boru test bölümünde farklı akış oranlarında ($9000 < Re < 63000$), sıcaklıklarda (21-76 °C), ısı akısı (190 kW/m²), partikül konsantrasyonunda (% 0.9-3.6 hacimsel Al_2O_3 ve % 0.2-0.9 hacimsel ZrO_2 için) türbülans taşınım ısı transfer davranışını deneysel olarak incelemişlerdir.

Duangthongsuk ve Wongwises [43] yatay borudan akan TiO_2/Su nanoakışkanının türbülanslı akış rejimindeki sürtünme faktörü ve ısı transfer katsayısını tespit etmişlerdir. Isı transfer katsayısı % 1.0 hacim oranında suya göre % 26 daha fazla, aynı koşullarda % 2.0 hacim oranında temel akışkandan % 14 daha az olduğunu belirtmişlerdir. Basınç düşüşü ise hacimsel oran arttıkça, viskozite de arttığından, artmıştır. Dolayısıyla düşük hacimsel oranlardaki nanoakışkanlarda hafif bir basınç düşüşünün meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Nanoakışkanlarda zorlanmış taşınım ısı transferi ile ilgili yapılan çalışmalar hala yeterli olmamakla birlikte farklı araştırma gruplarının deneysel çalışmaları arasında da uzlaşmaya varılamamıştır. Bazı araştırmacılar nanoakışkanların farklı sistemlerdeki doğal ve zorlanmış taşınım ısı transferi ve akış üzerindeki etkisini incelemişlerdir [44-45]. Yapılan çalışmaların özetini içeren tablo 1.1.'de verilmiştir [46].

Manay [47] tez çalışmasında, metalik partiküllerden oluşturulan su bazlı nanoakışkanların sabit ısı akısı sınır şartlarında mikro kanallarda ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerini araştırmıştır. TiO_2 metal nanopartiküllerin baz alınacak akışkan olarak seçilen de-iyonize su içerisine beş değişik hacimsel oranda ($\phi=0.0025, 0.005, 0.01, 0.015$ ve 0.02) katılmasıyla nanoakışkanlar hazırlanmış ve akış hızı ($U=0.065-1.65$ m/s), hacimsel oran ve kanal yüksekliği ($H=200 \mu m, 300 \mu m, 400 \mu m$ ve $500 \mu m$) gibi parametrelerin ısı transferi ve basınç düşümüne etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Laminar akış ve kararlı hal şartlarında, hem saf su hem de $Su-TiO_2$ nanoakışkanı için kanal yüksekliği azaldıkça ısı taşınım katsayısı artmıştır.

Nanoakışkan kullanımının oto radyatörlerin ısı aktarım performansına olan etkisini yapmış olduğu tez çalışmasında inceleyen Kılınç [48], deneyleri farklı akışkan giriş sıcaklıklarında (36 °C, 40 °C ve 44°C) ve farklı debilerde (0.6 m³/h, 0.7 m³/h, 0.8 m³/h ve 0.9 m³/h) gerçekleştirmiştir. Deneyler için taban akışkanı olarak saf su kullanılarak hacimce % 0.01 ve 0.02 konsantrasyondaki grafen oksit (GO) ve grafen nano ribon (GNR) nanoakışkanları elde edilmiştir. Oto radyatörün etkenlik değerlerinin akışkan konsantrasyonunun artması ile arttığı ve

% 0.02 konsantrasyondaki GO ve GNR nanoakışkanlarında saf suya kıyasla analitik değerin üzerine çıktığı sonucu elde edilmiştir. Saf suya kıyaslandığında % 0.01 grafen oksit nanoakışkanı için toplam ısı transferi katsayısında en yüksek % 6.9 ve grafen oksit % 0.02 nanoakışkanı için en yüksek % 32.0, U artış olduğu elde edilmiştir. Grafen nano ribon nanoakışkanı için ise saf suya kıyasla 8 toplam ısı transferi katsayısında % 0.01 konsantrasyon için en yüksek % 18.9 ve % 0.02 konsantrasyon için en yüksek % 24, U artışı elde edilmiştir.

Bedir [49] sabit ve üniform ısı akılı yatay bir boruda temel akışkanı su olan farklı hacimsel oranlarda oluşturulan iki farklı nanoakışkanın (Su-Al₂O₃ ve Su-CuO) zorlanmış türbülanslı akışı ve ısı transfer karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir.

İki fazlı karışımlar için önerilen bazı ampirik korelasyonlar bulunmasına rağmen, nanoakışkanın ısı özelliğini belirlemeye yönelik karmaşık bir teori şu ana kadar geliştirilebilmiş değildir. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini belirlemeye yönelik teoriler olmadığından, yapılan çalışmalarda iki fazlı karışımlar için mevcut modeller ile ölçülmüş ısı iletkenlikler kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmalarda elde edilen ölçüm sonuçları Hamilton-Crosser, Maxwell, Wasp, Yu ve Choi ve Bruggeman modelleriyle karşılaştırılmıştır. Temel akışkanın ısı iletkenlik üzerinde genel olarak düşük ısı iletkenlikli ısı transfer akışkanında artan bir eğilim şeklinde etki ettiği görülmüştür. Farklı şekillerdeki CuO, Al₂O₃, ZnO ve Cu partikülleriyle % 0.0' den % 3.0 konsantrasyonlarda ürettikleri nanoakışkanların ısı iletkenliklerini ölçerek temel akışkan olarak kızgın yağın sudan çok daha fazla ısı performans gösterdiğini tespit etmişlerdir [50].

Zhu ve arkadaşları [51] Fe₃O₄ sulu nanoakışkanının ısı iletkenliğinin hacimsel oran üzerinde lineer olmayan etkisini (düşük oranlarda yüksek ısı iletkenlik) elde etmişlerdir. Murshed ve ark. [52] alüminyum- motor yağı nanoakışkanının (80 nm) sıcaklık etkisini incelemişlerdir. Hwang ve ark. [53] TiO₂ (25 nm), Al₂O₃ (48 nm), Fe (10 nm) ve WO₃ (38 nm) nanoakışkanlarda (özellikle Fe ve WO₃) yüksek ısı iletkenlik gözlemlemişlerdir. Diğer taraftan; Zhang ve ark. [54] ne ısı iletkenlik ve yayınımda ne de sıcaklık etkisinde Hamilton-Crosser modelindeki öngörüler gibi herhangi bir iyileşme elde etmemişlerdir. Benzer sonuçlar Zhang ve ark. [55] Al₂O₃, ZrO₂, TiO₂ ve CuO nanoakışkanları için de tespit etmişlerdir. Xie ve ark. [56] ısı iletkenliğin pH değerindeki fark kadar arttığını belirten ilk çalışma grubudur. Lee ve ark. [57] CuO nanopartikülünden hazırladıkları nanoakışkanın k değerinin, pH değerine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu tespit etmişlerdir.

Nanoakışkanların gelişmiş ısı iletkenlikleri, yüksek soğutma oranları, düşük pompalama gücü, daha küçük ve hafif soğutma sistemleri, düşük sürtünme katsayısı ve geliştirilmiş aşınma direnci gibi birçok fayda sağlamaktadır. Son zamanlarda sürtünme ile ilgili yapılan çalışmalar, nanopartikül (MoS_2 , CuO , TiO_2 , elmas, vs.) katkılı yağlama yağlarının yük-taşıma kapasitesi, aşınma önleyici ve sürtünme azaltıcı özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir [58-59]. Bu özellikler nanoakışkanları; imalat, ulaşım, enerji, ve elektronik dahil, v.b. sanayideki birçok soğutma yağlama uygulamalarında cazip hale getirmiştir.

Nanoakışkanların taşınım, ısı transferi ile ilgili yapılan deneysel çalışmalarının Tablo 1.1’de özeti verilmiştir.

Tablo 1.1. Nanoakışkanların taşınım ısı transferi ile ilgili yapılan deneysel çalışmaların özeti

Yazar	Temel akışkan	Partikül	Partikül boyutu	Hacimsel oran (%)	Boyut	Akış rejimi, Re	Sonuç
Pak ve Cho (1998)	Su	g-Al ₂ O ₃ TiO ₂	13nm 27nm	1-3 1-3	1.066 cm çap 480cm uzunluk boru	$Re=104-105$ (türbülans)	Artan oran ve Re sayısı ile Nu sayısı artmıştır.
Eastman ve ark.(1999)	Su	CuO	<100nm	0.9	-	türbülans	Taşınım ısı transfer katsayısı temel akışkana kıyasla >%15 artmıştır
Xuan ve Li (2003)	Su	Cu	<100nm	0.3,0.5,0.8,1, 1.2, 1.5, 2	10 mm çap 800cm uzunluk Pirinç boru	$Re=10000-25000$ (türbülans)	Artan akış hızı ve oran ile taşınım ısı transfer katsayısı da artmıştır.
Xuan ve Li (2004)	Su	Cu	26nm	0.5, 1, 1.5, 2	D=1.29mm hidrolik	$Re=200-2000$ (laminar)	%2 oranda Nu sayısında %39 artış sağlanmıştır.
Zhou(2004)	Aseton	Cu	80- 100nm	0.0-4.0 g/l	16 mm çap 200 mm uzunluk bakır boru	-	Taşınım ısı transfer katsayısı Cu partikül artışıyla artmıştır.
Yulong ve ark.(2007)	Etilen glikol	TiO ₂ CNT	-	-	-	-	Artan Re sayısı ve oranla taşınım ısı transfer katsayısında artış sağlamıştır.
Williams ve ark. (2008)	Su	ZrO ₂	46nm	0.9–3.6 0.2-0.9	1.27cm çap 1.65 mm uzunluk boru	$9000 < Re < 63000$	Önemli ölçüde ısı transfer artışı gözlemlenmiştir.
Akhavan-Behabadi ve ark (2012)	Yağ	CNT	5-20 2-6nm 1-10µm	0.1,0.2,0.4 % ağırlıkça	Helisel boru		Temel akışkana göre daha yüksek Nu , artan Re sayısı ve oranla artış gözlenmiştir.
Sajadi ve Kazemi (2011)	Su	TiO ₂	30nm	0.05,0.1,0.15, 0.20, 0.25	Bakır boru	$Re=5000-30000$	Artan oranla ısı transferinde artış, yüksek basınç düşüşü

Mohanraj ve diğ. CuO-H₂O nanoakışkan ısı transferinin düz plaka ısı borusuna etkisi üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışma düz plakalı ısı borusu CuO nanoakışkan ile gerçekleştirildi. Düz plaka ısı borusu iyi ısı transfer özelliklerine sahip bakır kullanılarak imal edildi. Nanoakışkan, CuO ve saf su ile hazırlandı. Bu işlem ultrasonik vibratör ile gerçekleştirildi. Deney saf su ve (saf su nanopartikül) olmak üzere iki farklı çalışma sıvısı için gerçekleştirildi. Isı yayılım oranı, farklı ısı girdileri olan veri kaydedicisi tarafından gözlemlendi. Her iki sonuç karşılaştırıldı ve nanoakışkanlı ısı borularında saf sudan daha iyi bir ısı taşınım hızı verdiği görüldü [60].

Ganvir ve diğerleri nanoakışkanların ısı transfer katsayısını inceledi. Güneş enerjisi toplayıcıları, ısı boruları, nükleer reaktörler, elektronik soğutma sistemleri, otomobil radyatörleri vb. konvektif ısı transferi ile ilgili nanoakışkan araştırmalarındaki mevcut araştırmayı özetlemektedir [61].

Ray ve diğerleri R-134a soğutucu akışkanının havuz kaynama ısı transferini araştırmak için deneysel bir çalışma yapmıştır. Doymuş sıcaklıkta sıvı 6 ° C 9 mm çapında dairesel üç düz bakır yüzey imal edilmiştir. Farklı kalınlıklarda dikey olarak yönlendirilmiş titanyum dioksit (TiO₂) nano tel dizileri, 100 nm TiO₂ ince film kaplı dairesel düz bakır yüzeylerden imal edilmiştir. Nano tel ve ince film, e-beam evaporatör (EBE) kullanılarak göz açılı çökeltme (GLAD) sistemi ile sentezlenmiştir. Üç nanotel kaplı bakır yüzey 150 nm NW, 300 nm NW ve 450 nm NW idi. Bu bakır yüzeyler 6 °C doyma sıcaklığında soğutucu R134a sıvısı ile havuz kaynama testlerinde kullanıldı ve performansları kaplanmamış bir yüzeyinkiyle karşılaştırıldı. Sonucunda, tüm nano dizilerin yüzeyleri için ısı aktarım katsayısının (HTC) iyileştirilmesiyle duvar aşırı ısınmasının azaltıldığını gösterdi [62].

Dogonchi ve diğ. termal radyasyona maruz bırakılan bir ısıtıcı tabakası üzerinde MHD nanoakışkanın akıtılması, ısı iletimi ve Brown hareketinin hesaba katılması incelenmiştir. Nanoakışkanın etkin ısı iletkenliği ve viskozitesi KKL tarafından hesaplandı. Sürtünme parametresi, manyetik parametre, nanoakışkan hacim fraksiyonu ve radyasyon parametresi gibi çeşitli parametrelerin etkileri hız ve sıcaklık üzerinde araştırılmıştır. Nusselt sayısı ve yüzey sürtünme katsayısı değerleri hesaplanmış ve şekillerle göstermiştir. Sonuçlar, radyasyon parametresinin artmasıyla sıvı hızının ve sıcaklık dağılımının azaldığını göstermiştir [63].

Gugulothu ve diğ. pasif teknikler kullanarak ısı transferi artırma hakkında bir araştırma yapmışlardır , çünkü bunların ekonomik ve harici ilaveler gerektirmediğini söylemişlerdir [64].

Karimipour ve diğ. nanoakışkanın uzun mikro kanaldaki zorlanmış taşınımı, sonlu hacim yaklaşımına ve gelişmiş bir bilgisayar kodu kullanılarak sayısal olarak incelenmişlerdir. Sıcak giriş nanoakışkanı, soğuk mikro kanal duvarlarıyla ısı değişimiyle soğutulmaktadır. Al_2O_3 ve Ag gibi farklı nanopartikül tipleri incelenirken baz sıvısı su olarak değerlendirilmiştir. Reynolds sayısı $Re = 10$ ve $Re = 100$ olarak seçilmiştir. Kayma hızı ve sıcaklık sıçrama sınır koşulları, Hartmann sayısının farklı miktarları için farklı kayma katsayısı değerlerinde mikro kanal duvarları boyunca simüle edilmişlerdir. Manyetik alan etkisinin, nanoakışkanın kayma hızı ve sıcaklık sıçramasındaki araştırılmasını ilk kez sunmuşlardır. Sonuçları akış çizgileri ve izoterm olarak göstermişlerdir. Ayrıca kayma hızı ve sıcaklık sıçramasının profilini çizmişlerdir. Özellikle daha büyük Hartmann sayısında daha fazla kayma katsayısının, daha az Nusselt sayısına ve daha fazla kayma hızına karşılık geldiği görülmüştür. Reynold sayısının düşük değerlerinde mikro kanal duvarlarından ısı aktarım hızını artırmak için Ag-su yerine Al_2O_3 -Su nanoakışkan kullanılmasını önermişlerdir. Bununla birlikte, daha büyük miktarlarda Reynolds sayısı, daha yüksek termal iletkenliğe sahip nanopartiküllerden oluşan nanoakışkanın daha iyi çalıştığını söylemişlerdir [65].

Tehrani ve arkadaşları nanoakışkan akımı ve su-gümüş nanoparçacıklarından oluşan ısı aktarımı sayısal olarak bir mikro kanal içerisinde incelenmiştir. Sonlu hacim yaklaşımı (FVM) uygulanmıştır ve yerçekimi etkisi göz ardı edilir. Mikro kanalın tüm uzunluğu $l_1 = l_3 = 0.151$ ve $l_2 = 0.71$ olduğu gibi üç bölümde düşünülmüştür. Doğrusal değişken ısı akısı, mikro kanal duvarını l_2 uzunluğunda etkilerken, B_0 mukavemetli bir manyetik alan bunun tüm alanı üzerinde düşünülür. Hartmann sayısının ($Ha = 0, 10, 20$) farklı değerlerinin, nanopartiküllerin hacim fraksiyonunun ($\phi = 0, 0.02, 0.04$) ve Reynolds sayısının ($Re = 10, 50, 200$) hidrodinamik ve termal özellikleri üzerine olan etkileri rapor edilmiştir. Manyetik alan etkisi altındaki kayma hızı değişimlerinin incelenmesi ilk kez (yazarın en iyi bilgisine kadar) sunulurken, boyutsuz kayma katsayısı farklı hallerde $B = 0.01, 0.05, 0.1$ olarak seçmişlerdir [66].

Huda ve arkadaşları düşük Reynolds sayısı ile esnek bir tüp içerisinde gerçekleştirmişlerdir ($Re \ll 0$ veya uzun dalga boyu ($d \ll 0$ yani varsayım)). Mathematica yazılımı, hız profili, sıcaklık profili, eksenel hız profili, basınç gradyanı ve akış fonksiyonunun tam çözümlerini değerlendirmek için kullanmışlardır. Isı kaynağı / emici parametresi, (b), Grashoff numarası (Gr) ve viskozite parametresi (a) ve hız, sıcaklık, basınç gradyanı, basınç yükselmesi ve duvar kesme gerilmesi dağılımları nanopartikül hacim yüzdesi (fraksiyonunu) (f)

etkisini grafik olarak sunmuşlardır. Grashof sayısındaki artışla Gr, nanoyapıdaki hız önemli oranda arttığı yani akış ivmesinin boru çapı boyunca indüklendiği görülmektedir. Bir kez daha trombosit formundaki bakır-metanol nanoakışkan, en iyi ivmeyi elde etmişlerdir [67].

Villarejo ve arkadaşları nanoakışkanların iyileştirilmiş termal özelliklere sahip olduklarını göstermişlerdir, ısı transferi katsayısı baz sıvısına kıyasla % 6'ya kadar yükselmiştir. Böylece, bunların kullanımı, CSP(Konsantre Güneş Enerjisi) bitkilerinin genel verimliliğinde iyileşmelere yol açabilir. Buna göre, nanoakışkanlar çeşitli nanopartikül konsantrasyonları ile hazırlanmış ve fiziksel ve kimyasal stabilitesi, viskozitesi, izobarik spesifik ısı ve termal iletkenlik gibi özellikleri karakterize etmişlerdir. Buna ek olarak, moleküler dinamik hesaplamalar, moleküler düzeyde nanoakışkan sistemin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için gerçekleştirdiler. İzobarik spesifik sıcaklık ve termal iletkenlik değerleri aynı deneysel eğilimi izlemiştir. Radyal dağılım fonksiyonlarının (RDF'ler) ve mekansal dağılım fonksiyonlarının (SDF'ler) bir analizi, metal etrafında oksijen atomlarının önemli bir rol oynadığı ilk temel sıvı molekül tabakası olduğunu göstermektedir. Bu birinci katman, termal özelliklerin artmasına yol açan nanoakışkan merkezindeki hareketin yönselliğini teşvik etmiştir [68].

Naik ve arkadaşları bu araştırmada, sulu karboksimetil selüloz (CMC) baz sıvısında Fe_2O_3 , Al_2O_3 ve CuO nanopartikülleri içeren üç Newtonian olmayan nanoakışkanlardan oluşan ısı transferini incelenmektedir. Çalışmalar, bir kabuk ve sarmal bobin ısı eşanjöründe baz sıvısına (sulu CMC çözeltisi) kıyasla ısı transferinde artışın belirlenmesi için gerçekleştirildi. Ağırlıkça% 0.2-1.0 konsantrasyon aralığında nanopartikül içeren Newtonian olmayan nanopartiküller hazırlandı. Kabuk tarafı ve boru tarafı sırasıyla nanoakışkan ve su kullanılmıştır. Termal analiz, soğuk suyun akış hızı (0.5-5 lpm), kabuk yan sıvısı (nanoakışkan) sıcaklığı (40-60 ° C) gibi farklı koşullarda, toplam ısı transfer katsayısını ve Nusselt sayısını belirlemek üzere gerçekleştirildi ve karıştırıcı hızları (500-1500 rpm). Sonuçlar, artan nanoakışkan konsantrasyonu, kabuk yan sıvı sıcaklığı, Dean sayısı (bobin yanındaki suyun akış hızı) ve karıştırıcı hızlarıyla Nusselt sayısının arttığını göstermektedir. CuO / CMC esaslı nanoakışkanın diğer iki sıvı türüne (Fe_2O_3 , Al_2O_3) göre daha iyi ısı transferi gösterdiği bulunmuştur. Newtonian olmayan nanoakışkanların ısı transfer performansı, daha yüksek nanoakışkan konsantrasyonlarında, kabuk taraf sıcaklıklarında, karıştırma hızlarında ve Dean sayılarında önemli ölçüde arttırılmıştır [69].

Gupta ve diğ. üstün termofiziksel özelliklerinden dolayı ısı borularında nanoakışkanların uygulanmasına ilgi duydular. Nanoakışkanları ısı borularında çalışan akışkan olarak kullandılar ve termal performansta önemli değişiklikler görmüşlerdir [70].

Wei ve arkadaşları dengeli-olmayan moleküler dinamik simülasyonlar yoluyla, simülasyonu son derece sert koşullara ayarlayarak, nanoakışkanlarda ve sıvı ile duvarlar arasındaki ısı transferini ortaya koymuşlardır. Sıcaklığın, düşük viskoz ısı alanında sıcaklık eğrisi olmadan moleküler hareketle iletildiği ve akışkanların sıcaklığını arttırarak duvarlara aktarıldığı buldular. Durum normale dönerse, nanoakışkanların viskoz sıcaklığının 1 K'den düşük akışkan duvar sıcaklık düşüşü ile kolaylıkla giderilebileceğini bulmuşlardır [71].

Sarafraz ve arkadaşları bu çalışmada ağırlıklı olarak, %0.1, %0.3'lük iki kütle konsantrasyonunda ve 20 nm ve 50 nm'lik nanopartikül boyutlarında sulu alumina nanoakışkanlarının kritik ısı akısı noktasına kadar havuz kaynama ısı iletimine odaklanmışlardır. Nanoakışkanlar, iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır ve nonylphenolethoxylate (NPE), iyonik olmayan yüzey aktif madde ile stabilize edilmiştir. Isıtıcının yüzeyi CNC mikro işleme tekniği ile modifiye edilmiş ve yüzeye farklı geometrik özellikler taşıyan konsantrik dairesel mikro yapılar (CCM) oluşturulmuştur. Sonuçlar, ısı iletim katsayısının (HTC) sırasıyla düz ve mikro yapılı yüzey için bozulmuş ve arttırılmış olabileceğini göstermiştir.. CHF'nin hızlanma oranı, nanoakışkanın kütle konsantrasyonunun artmasıyla, nanopartikül boyutunda ve mikro yapılar arasındaki aralıklarla yoğunlaştırılmıştır. Düz yüzey için, ısı transfer katsayısının bozulması, yüzeydeki nanoparçacıkların sürekli kirlenme oluşumuna bağlıydı, bu da nanoakışkanın çökelmiş tabakadaki statik temas açısını arttırdı ve daha sonra aktif çekirdeklenme alanlarının sayısını azalttı. Nanoakışkanların hacminden sıvı emiliminin birikimi olan nanoakışkanlardaki CHF'nin arttırılması için modifiye edilmiş bir mekanizma önerilmiştir [72].

Mikkola ve arkadaşları parçacık kütle fraksiyonları % 5-10 olan üç su bazlı parafin karışımı nanoakışkan hazırlanmıştır ve 700-11000 aralığında değişen Reynolds sayıları olan bir dairesel borulu ısı eşanjörü ile ölçülmüştür. Daha önceki katı partiküllü nanofil ve nano emülsiyon çalışmaları ile uyumlu olarak, faz değiştiren nanoakışkanların, eşit Reynolds sayılarına göre karşılaştırıldığında Nusselt sayılarını suya göre açıkça daha yüksek (türbülans rejiminde ~% 60'a kadar) sergilediğini bulmuşlardır. Bununla birlikte, Prandtl sayılarındaki farklılıkları Nusselt sayılarındaki bu sapmaları açıklamak için göstermişlerdir. Nanoakışkanların sistematik olarak, korelasyonun öngördüğünden daha yüksek Nusselt sayıları vardır, fakat sapmalar korelasyonun

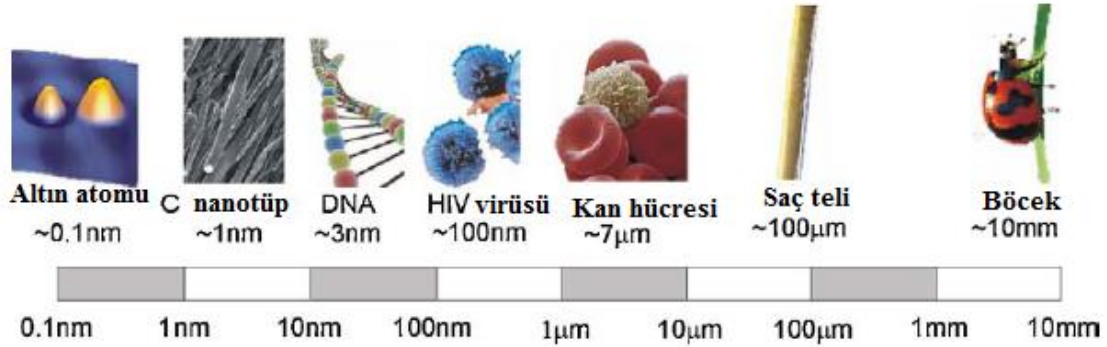
doğruluğu (% 10) dahilindedir. Eşit pompalama güçleri kullanarak karşılaştırıldığında, nanoakışkanlar, sudan daha kötü ısı transfer performansı sergilemiştir [73].

Bu Çalışmada; Çinko asetat, Bakır asetat, Sodyum hidroksit, Amonyak ve Saf su gibi malzemeler kullanarak değişik pH değerlerinde CuO ve ZnO nanopartiküllerinin üretimini yapmak. Üretilen nanopartiküllerle beraber saf su, etanol ve etilen glikol malzemeleri kullanarak nanoakışkanlar elde etmek. Elde edilen nanoakışkanları deney düzeneğinden geçirerek termo fiziksel özelliklerini belirlemek istenilmektedir.



2. NANOTEKNOLOJİ

Son yıllarda malzeme bilimindeki gelişmeler sonucunda ısı transferinin iyileştirilmesinde yüz yıllardır uygulanan akışkan içerisine milimetre veya mikrometre boyutlarındaki katı partiküllerin süspansiyon edilmesi yöntemi yeni bir boyut kazanmıştır. Atomik ve moleküler boyutta malzemeyi inceleyebilme olanağı sağlayan bilim olan nanoteknoloji, son yıllarda Amerika, Çin, Avrupa ve Japonya’da yapılan araştırmalarla 21. yüzyılda yeni ve umut verici bir teknoloji olacağını göstermiştir. Nanometrenin boyut olarak açıkça anlaşılması için Şekil 2.1.’de milimetre ve mikrometre ile kıyaslamalı olarak bazı örnekler verilmiştir [74].



Şekil 2.1. Uzunluk ölçeği ve ilgili bazı örnekler

Boyutları 100 nm ve altındaki büyüklükteki boyutta olan tozlar olarak tanımlanan nanopartiküller ise nanoboyutlu malzemelerin bu sebeple nanoteknolojinin temelini oluşturmaktadır. Bu partiküller piyasada bulunan ticari malzemelere göre çoğunlukla değişik ve fark yaratan özelliklere sahiptirler. Nanopartiküllerin özelliklerine ilginin çağımızda bilinen sebepleri; kuantum boyut etkisi, elektronik yapısının boyut bağımlılığı, yüzey atomlarının benzersiz karakterleri ve yüksek yüzey/hacim oranı olarak ön plana çıkmaktadır. Nanopartikül sentezi malzemeler, fark yaratan özellikleri dolayısıyla yüksek aktiviteli katalizörler, optik uygulamalar için özel teknolojik malzemeler ile birlikte süper iletkenler, aşınmaya karşı katkılar, yüzey aktif maddeler, ilaç taşıyıcılar ve özel teşhis aletleri gibi pek çok teknolojik ve farmakolojik ürünlerin hazırlanmasının önünü açmıştır. Bunların yanı sıra, malzemelerin nanoboyut seviyesinde kontrolü; nanotaşıyıcılar, sensörler, nanomakineler ve yüksek yoğunluklu veri depolama hücreleri gibi kendine özgü işlevselliğe sahip minyatürleştirilmiş aygıtların üretilmesine olanak sağlamaktadır [75]. Nanoteknolojik malzemelerin temeli olan nanopartiküller geniş bir kimyasal

aralık ve morfolojide üretilebilirler. Şekil 2.2’de üretim yöntemleri sınıflandırılmaktadır. Nanoyapılı malzemelerin üretimi için iki temel yaklaşım bulunmaktadır:



Şekil 2.2. Nano boyutta parçacık üretiminde uygulanan yöntemler

Üretim yöntemleri Yukarıdan aşağıya “Bottom Up” ve Aşağıdan yukarıya “Top Down” olarak adlandırılan iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır [76].

2.1. Yukarıdan Aşağıya Yaklaşımı

Mekanik ve kimyasal yöntemler kullanılarak nanomalzemelerin endüstriyel işlemlere tabi tutulması ve üretilmesidir. Hacimsel malzemelerden nano parçacık üretirken pek çok metod kullanılır. Yukarıdan aşağıya yaklaşımında kullanılan metodlar; yüksek enerjili bilyeli öğütme, mekano-kimyasal işlemler, dağlama, elektro patlatma, sonikasyon, püskürtme ve lazer ablasyonu, litografi (baskı), kimyasal, ısıl ve doğal metodlardır [77]. Bu yöntemde kütleli malzeme çeşitli

aşamalardan geçirilir; önce şekillendirilerek yapısı oluşturulur daha sonra çeşitli düzenlemeler yapılarak istenilen ürüne dönüştürülür. Çok küçük yapılar üretebilme isteğinin sebebi, nano elektronik alanında gelecek nesil bileşenler kullanarak cihazlar üretebilmek ve çeşitli µm teknoloji işlemlerinin geliştirildiği mikro elektronik alanına ayak uydurabilme isteğidir. Bir başka önemli sektör olan optik alanında yukardan-aşağıya üretim yaklaşımı kullanılmaktadır. Mekanik veya plazma yöntemleri kullanılarak yapılan, çok hassas bileşenlerin yüzey şekillendirilmesi işlemi optik alanında gerçekleştirilmektedir. Litografi, çok küçük ölçeklerde parça boyutları olan nano bileşenler elde edebilmek için kullanılan anahtar teknolojidir. Çeşitli fiziksel ilkelere dayanan bu teknoloji; çözünürlük, hız, kalıptan çıkarma ve transfer adımları gibi özellikleri baz alan litografi metotlarından oluşmaktadır. Örnek verecek olursak, ışın litografi teknikleri (optik, x-ray, iyon ışın ya da elektron) ya da yumuşak litografi teknikleri (baskı yapma, damgalama, kalıp ve kabartma hazırlama) söylenebilir [78].

2.1.1. Elektro – Patlama

Araştırmacılara göre, Elektro-Patlama yöntemi pahalı ve yavaştır. Bazı malzemelerin (esnekliği tel gibi olanların) kütsel haline ve uygulanırlığı olabilir alanlarda kullanılır. Metalik tellerde yüksek akımda oluşturulan bu plazma yöntemi kullanılır, üretim kısa zaman aralığında yüksek sıcaklıkça çıkarak gerçekleşir [79].

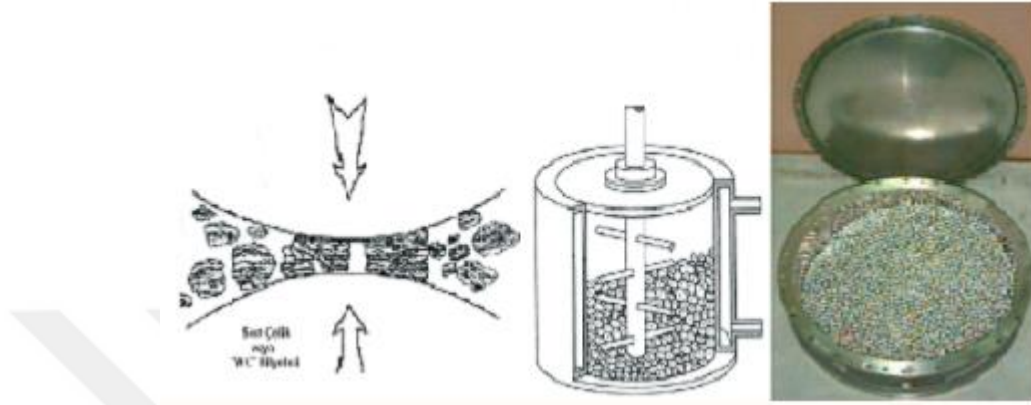
2.1.2. Mekanik aşındırma yöntemi

Nanoyapılar atomik veya moleküler düzeyde kümelenme biçiminde değil, şekli belirsiz taneli morfolojilerin plastik deformasyona uğraması sonucu ayrışmalarıyla meydana gelirler. Mekanik aşındırma metoduyla; alaşım, intermetalik, seramik ve kompozit benzeri amorf veya nano-yapılı malzemelerin üretimi yapılabilmektedir. Bu yöntemin endüstriyel alanda kullanımı rahatlıkla kırılabilen sert ve gevrek yapıdaki malzemeler ile kısıtlıdır.

Yüksek frekans ve düşük genlikli titreşimlerden faydalanılarak gerekli enerji elde edilmesi sonucu tozların ince partikül boyutuna düşürülmesi sağlanır.

Mekanik aşınma esnasında kullanılan bilye bileşiminin, öğütülen malzeme bileşimine karışması bu yöntemin en büyük eksisidir. Öte yandan atmosfere açık gerçekleşen proseslerinde metalik partiküllerde oksitlenmeye ve yüzeyde azotlu yapılar oluşmasına sebep olmaktadır. Ancak bu problemler sistemdeki öğütücü haznesinin asal gaz ile doldurulması ve sızdırmazlık

için uygun contaların kullanılmasıyla güçde olsa önlenebilmektedir. Üretim yöntemi Şekil 2.3’de görüldüğü gibidir [80].



Şekil 2.3. Mekanik aşındırma yöntemi ile nano malzeme üretimi

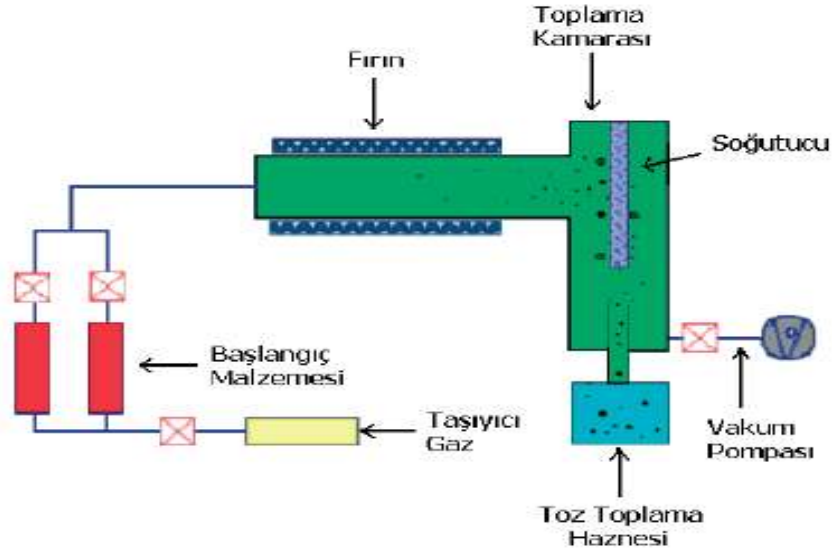
2.2. Aşağıdan Yukarıya Yaklaşımı

Aşağıdan yukarıya imalat yönteminin amacı atomları ve molekülleri tek tek işleme tabi tutup bir nano yapı elde edebilmektir. Evrendeki doğal nano boyutlardaki gelişmeler de aşağıdan yukarıya yaklaşım metodu ile meydana getirilmiştir. Bu sebeple aşağıdan-yukarıya üretim yaklaşımı çoğu zaman organik malzemelerde görülür. Kimya ve biyoloji bilim alanına ait faaliyetlerdir. Aşağıdan-yukarıya yöntemleri incelendiğinde doğal sistemlerde bulunan kendi kendini yenileme, en iyi üretim ortamlarında meydana gelme gibi durumlar bu yaklaşımda görülmektedir. İlk görünüşte aşağıdan-yukarıya yaklaşımı en fazla biyonano’yu ilgilendiriyor gibi gözükse de, genel itibarıyla nanomalzeme üretiminde de önemli bir metoddur. Bu metotta maddenin içinde bulunduğu faz hali önem arz etmektedir. Nanoparçacıklar üretilirken başlangıç malzemesi olarak çözeltiler kullanılır; kimyasal işlemler sonucu atomlardan oluşturulur [81]. Gaz yoğunlaştırma metodu; nanokristallerin metal ve alaşımlarının üretiminin gerçekleştirilmiş olduğu ilk yöntem olup aşağıdan yukarıya yaklaşımıyla çalışmaktadır. Bu yöntemin en çok tanınan metodlarını sayacak olursak; kimyasal buhar kaplama, kimyasal buhar yoğunlaştırma, sol jel ve sprej piroliz yöntemleri olduğu söylenebilir [82].

2.2.1. Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi (CVC)

Bu yöntem Almanya’da 1994 yılında ilk olarak bulunmuş olup, büyük miktarlarda nanopartikül üretimi için kullanışlı bir metoddur [83]. Nanoparçacıklar üretilirken başlangıç malzemesi bu metotta; metalorganikler, karboniller, klorürler ve hidrürler gibi buhar fazına kolaylıkla geçebilen bileşikler kullanılmaktadır. Bu yöntemin en büyük sağladığı fayda farklı kimyasallar ihtiva eden başlangıç malzemelerine ticari olarak kolay bir şekilde ulaşabilmektir. Malzemelere ulaşma kolaylığından dolayı bir çok çeşit malzemenin istenilen kimyasal bileşimde üretiminin yapılabilmesidir [84].

Gaz fazındaki malzemenin ısıl parçalanmayla partiküle dönüştürülmesi, metodun temelini oluşturmaktadır. İşlem aşamaları şöyledir; nanopartikül üretmek için kullanılan malzemenin gaz fazına geçtiği alana gaz akısı verilerek buharın reaktör olarak da isimlendirilen fırın içine taşınıp burada ısıl parçalanması gerçekleştirilir. Taşıyıcı gaz olarak He, Ar veya N₂ gibi inert gazlar kullanılmakla birlikte bileşiğin redüklenmesi için H₂, CO veya CH₄ gibi gazlar da taşıyıcı gaza ilaveten kullanılabilir. Isıl parçalanma sonucu oluşan atom kümeleri veya nanopartiküller fırın çıkışında çeşitli toz toplama metodlarıyla toplanmaktadır. Bu metodlardan en yaygını içerisinde sıvı azot geçen bir çubuğun kullanılarak kapalı bir alan içerisinde partiküllerin çöktürülmesi metodudur. Üretim yöntemi Şekil 2.4’de görüldüğü gibidir [85].

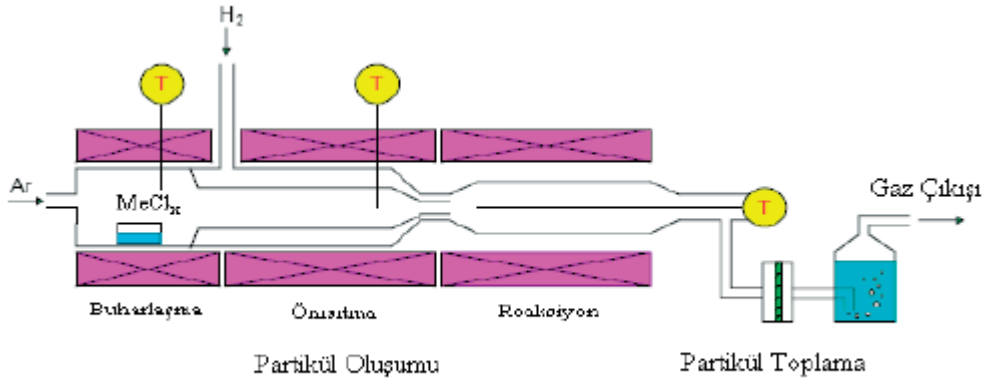


Şekil 2.4. Kimyasal buhar yoğunlaştırma yöntemi ile nano malzeme üretimi

2.2.2. Hidrojen redüksiyon yöntemi

Metalik nanopartiküllerin gaz fazında redüksiyon metoduyla üretilmesi işlemidir. En çok demir grubu metal (Ni,Co,Fe) nanopartiküllerin laboratuvar şartlarında sentezlenmesinde kullanılır. Hidrojen redüksiyon yöntemi şu aşamalardan oluşmaktadır; partikül oluşumu, partikül toplanması ve gaz yıkama olmak üzere üç aşamadır.

Metodun ilk basamağında kullanılan başlangıç çözeltisi buharlaştırılarak taşıyıcı ve/veya redükleyici bir gazla ön ısıtılmış alana taşınır. Daha sonrasında redüksiyonun gerçekleşeceği daha sıcak alana götürülerek partikül oluşumu sağlanmaktadır. İşlem sırasında hidrojen gazı tek başına redükleyici ve aynı zamanda taşıyıcı olarak kullanılabileceği gibi bunun yanısıra azot ve argon gibi inert gazlarda taşıyıcı olarak kullanılabilirler. Reaktanların konsantrasyonunda başlıca şu faktörler etkili olur; reaksiyon sıcaklığı, ön ısıtılmış bölgenin sıcaklığı ve buhar/partikülün fırın içerisinde kalış süresi, partikül boyutu, boyut dağılımı ve kristalitesini kontrol eden başlıca özellikler sayılabilir. Üretim yöntemi Şekil 2.5’de görüldüğü gibidir [86].

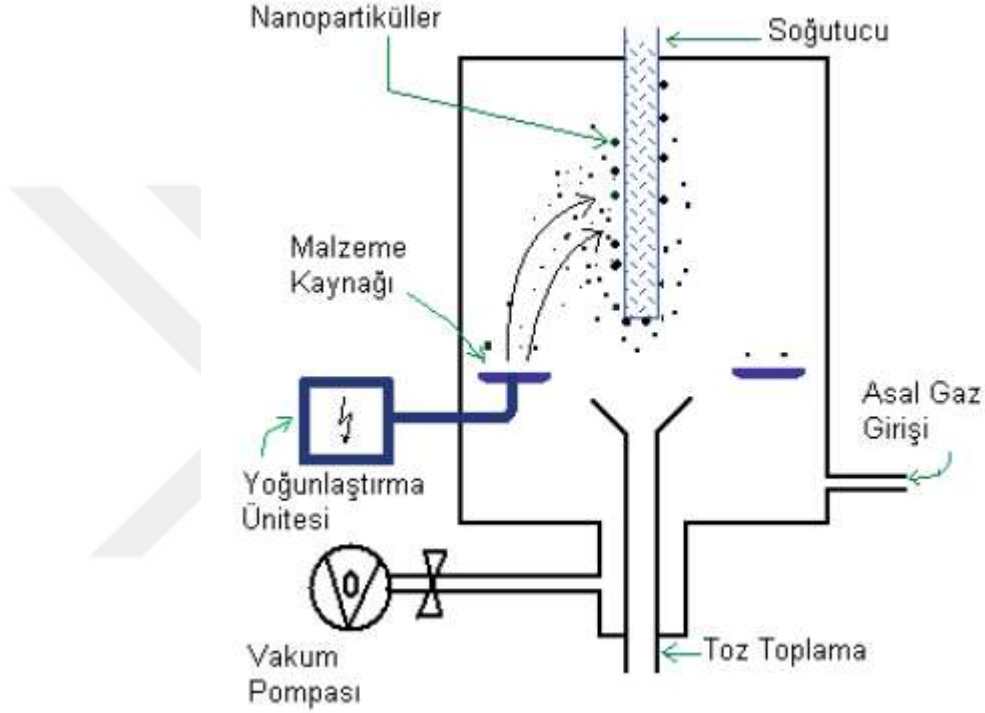


Şekil 2.5. Hidrojen redüksiyon yöntemi ile nano malzeme üretimi

2.2.3. Asal gaz yoğunlaştırma yöntemi (AGY)

Bu metod aşırı doymuş buhar fazından, nanokristallerin metal ve alaşımlarını direkt olarak üretilbildiği en eski yöntemdir. Bu yöntemin birden fazla kullanışlı özelliği olduğundan dolayı günümüzde laboratuvar ölçekli nano-yapılı tozların sentezi bu metodla yapılmaktadır. Bu metodla metalik, seramik ve kompozit nanopartiküller üretilbildiği gibi bunun yanısıra oksijen gibi bir reaktif gaz kullanılarak oksitler veya diğer bileşikler de üretilir. AGY, metod olarak soğuk bir

günde suyun ısıtılmasını anımsatmaktadır. Suyu belirli bir sıcaklığa kadar ısıttığımızda buharlaşır daha sonra su buharı bulunduğu ortamla etkileşiminden dolayı ısı kaybetmeye başlar ve soğuk bir cam yüzeyinde su damlacıklarının yoğunlaşması gözlenir. Üretim yöntemi Şekil 2.6’da görüldüğü gibidir. [87].



Şekil 2.6. Asalgaz yoğunlaştırma yöntemi ile nanomalzeme üretimi

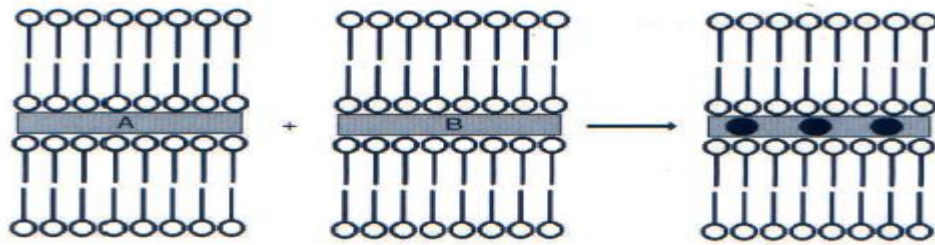
İlk önce sistem vakuma alınıp 1– 50 mbar asal gaz ile doldurulur. Daha sonra başlangıç malzemesi; ısı, lazer veya elektron demeti benzeri bir enerji kaynağı kullanılarak buharlaştırılmaktadır. Buharlaşma W, Ta veya Mo potalarda gerçekleştirilir. Buharlaşan atomlar veya moleküller homojen bir şekilde ısı kaynağının hemen yakınında toplanarak atom kümelerini oluştururlar. Buhar kaynağının üzerinde aşırı doygunluğa ulaşılır. Başlangıç malzemesinin buharlaşan atomları ile sistem içinde var olan gaz moleküllerin çarpışması sonucu başlangıç malzemelerinin enerjilerini kaybetmeleriyle çekirdeklenme ve partikül oluşumu sıvı metale yakın bölgede meydana gelir. Bu nedenden dolayı yüksek gaz basıncının varlığı çarpışma sayısını artıracığından daha hızlı soğuma ile çok ince partiküllerin oluşmasını sağlamaktadır [88].

Sentezlenen nanopartiküllerin boyutunu etkileyen çeşitli işlemler vardır; malzemenin sistemde kalma sürelerinden, başlangıç malzemesinin buharlaşma hızından, ortam sıcaklığından, gaz basıncından ve asal gazın cinsinden etkilenmektedir. Sistemde kullanılan asal gazın kütlesinin artması partikül boyutunda büyümeye neden olmaktadır [89].

2.2.4. Mikroheterojen sistemlerden nanopartikül üretimi

Aşağıdan yukarıya metoduyla, moleküler seviyede nanopartikül üretimi için kullanılan sentetik metotlar, değişik mikroheterojen sistemlerin kullanımını temel alır. Bahse konu olan mikroheterojen sistemler çeşitli form yapılarındadırlar; sıvı kristaller, jeller, misel çözeltileri ve mikro emülsiyonlar formunda olabilirler. Bu metodlar hızlı ve düşük maliyetli tekniklerdir. Kullanılmalarıyla birlikte; metaller, oksitler, sülfatlar ve suda çözünmeyen maddeler ile suda çözünabilir inorganik ve organik malzemelerin nano boyutta sentezlenmesi sağlamaktadırlar. Bu metod, çekirdek kabuk, katkılı, sandviç veya poröz nanopartiküllerin üretiminde basit bir şekilde uygulanabilmektedir. Nanopartikül üretiminde kullanılan bu sistemlerin son ürün olarak pratik uygulamaları bulunmaktadır. Bu uygulamalar; Manyetik, elektrik, ıslatma ve/veya yağlayıcı özelliklere sahip olan nanoakışkanlardır. Bilhassa manyetik nanoakışkanlar çağımızda medikal alanından otomotiv sektörüne kadar çok geniş yelpazede kullanım alanı sahiptir [90].

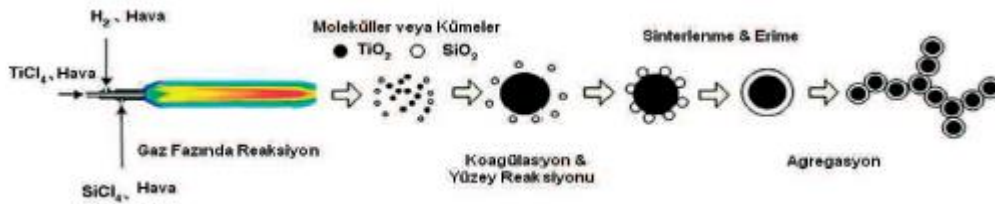
Bu metod, metalik nanopartiküllerin ve demir içeren manyetik nanopartiküllerin sentezlenmesi için kullanışlıdır. Örnek verecek olursak manyetik $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanopartiküllerinin mikroheterojen sistem sınıfında bulunan sıvı kristaller içerisinde üretimini örnek gösterilebilir. Bu yöntemde öncelikle demir oksit tozları Fe (III) ve Fe (II) tuzlarının sulu çözeltilerine alkali ilave edilir. Daha sonra ferrik nitrat ile asitleştirme işlemi yapılır ve malzemenin oksitlenmesi sonucu partikül sentezi gerçekleşmektedir. Üretim yöntemi Şekil 2.7’de görüldüğü gibidir [91].



Şekil 2.7. Mikro Heterojen Yöntemi ile Nanomalzeme Üretimi

2.2.5. Alev sentezi yöntemi

Bu metod nanopartiküllerin ticari miktarlarda üretimi için en çok kullanılan yöntem olup uygulanan metod diğer yöntemlere göre değişik artı yönleri sahiptir. Bu metodun avantajlarını sayacak olursak; kimyasal bileşim aralığı, partikül morfolojisinin kontrolü, partikül boyut dağılımının kontrolü ve düşük maliyet en büyük sağladığı faydalardır. Bu metod alev ortamının yüksek oksitleyici etkisi bulunduğundan dolayı oksit nanopartiküllerin üretimi için de kullanılabilir. Alev sentezi yöntemi, buhar fazından sentezlenen metodlar arasında sayılır. Bu sentez tekniğinde kolay uçuculuğa sahip metal halojenürler başlangıç malzemesi olarak kullanılırken, oluşan buhar fazı hava, hidrojen veya oksijen gibi bir gazla alev ortamına taşınmasıyla gerçekleşen gaz fazındaki reaksiyonlar sonucu atom kümelerinin oluşumu sağlanır. Bunların birleşimiyle de nanopartikül oluşumu gerçekleşmektedir. Üretim yöntemi Şekil 2.8’de görüldüğü gibidir [92].



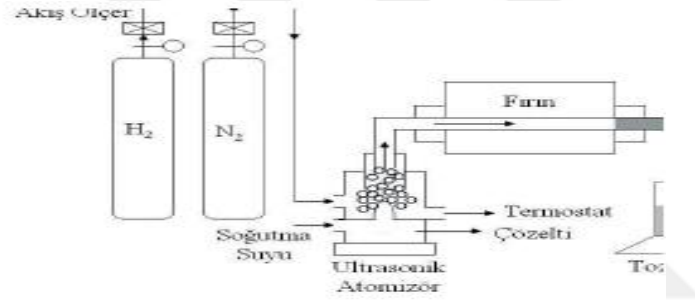
Şekil 2.8. Alev sentezi yöntemi ile nanomalzeme üretimi

2.2.6. Ultrasonik sprej piroliz yöntemi (USP)

Bu yöntem bayağı süredir medikal alanındaki uygulamalarda ve en ince film üretiminde kullanılmaktadır. Üst düzey kalitede, yarı iletken oksit ince filmlerin üretiminde revaştır [93].

Bu metodda, yüksek safiyette metal tuzlardan veya ikincil hammaddelerin temizlenmiş liç çözeltilerinden faydalanılmaktadır. Yöntem basamakları; birbirinden ayrık damlacıkların aerosol formunda başlangıç çözeltisinden oluşumu, ısıl parçalanmanın gerçekleşmesini ve faz değişiminin kontrolü şeklindeki aşamalardan oluşmaktadır. Aerosol senteziyle değişik partikül yapısına sahip nanopartiküller üretilmiştir. Aerosol buharı yüksek sıcaklık bölgesine (200°C den fazla) sıcaklıkta girdiği zaman damlacığın buharlaşması/kuruması, çökmesi ve parçalanması damlacık seviyesinde gerçekleşir. Bu metodda muhtemelen partikülün yapısında en önemli etkiyi bırakan ve sürecin ilk basamağını oluşturan buharlaşma esnasında çözücü buharın ve çözünenin

difüzyonu damlacık sıcaklığının değişmesiyle eş zamanlı olarak gerçekleşmektedir. Bu durumda çözünen tuzların yüzey veya hacim çökmesine eş zamanlı olarak katı veya poroz partiküllerin oluşumu meydana gelmektedir. Meydana gelen olayların tümü damlacık içindeki ve damlacıkla bulunduğu çevre arasındaki ısı ve kütle iletiminin önderliğinde oluşmaktadır. Bu nedenle oluşan partikül büyüklüğü şu parametrelere bağlı olarak değişir; damlacık boyutuna, kullanılan başlangıç çözeltisinin özellikleri, sıcaklık ve süre gibi metodu etkileyen değişkenlere bağlıdır. Çökme işleminin bitiminden sonra, spreylendirme yönteminde sıcaklık – zaman profili öteki işlem basamaklarında oluşacak primer partiküllerin büyümesine, birleşmesine ve akreditasyonuna tesir etmektedir. Üretim yöntemi Şekil 2.9’da görüldüğü gibidir [94].



Şekil 2.9. Ultrasonik spreylendirme yöntemi ile nanomalzeme üretimi

2.2.7. Sol-Jel metodu

Bu metod, nanomalzemelerin çözelti şeklinden esinlenilerek değişik uygulama alanlarına uygun olacak şekilde; seramik, cam ve kompozit malzemeler üretme metoduna verilen genel adıdır. Metal oksit çözeltileri veya metal tozları, nitratlar, hidroksitler ve oksitler gibi inorganik bileşiklerin belirli yüzdelerde su ve asitle karıştırılması sonucu oluşan solüsyonun belirli sıcaklıklarda karıştırılması sonucunda solüsyon içerisinde birbirini izleyen bir dizi kimyasal reaksiyon gerçekleşmekte ve taneciklerin sahip olduğu yüzey yüklerinin elektrokimyasal etkileşimleri ile beraber bir ağ meydana gelmekte (jelleşme) ve bu ağın gitgide büyüyüp sistem içerisindeki bütün noktalara ulaşarak komple bir yapı (jel) meydana getirmesi işlemidir.

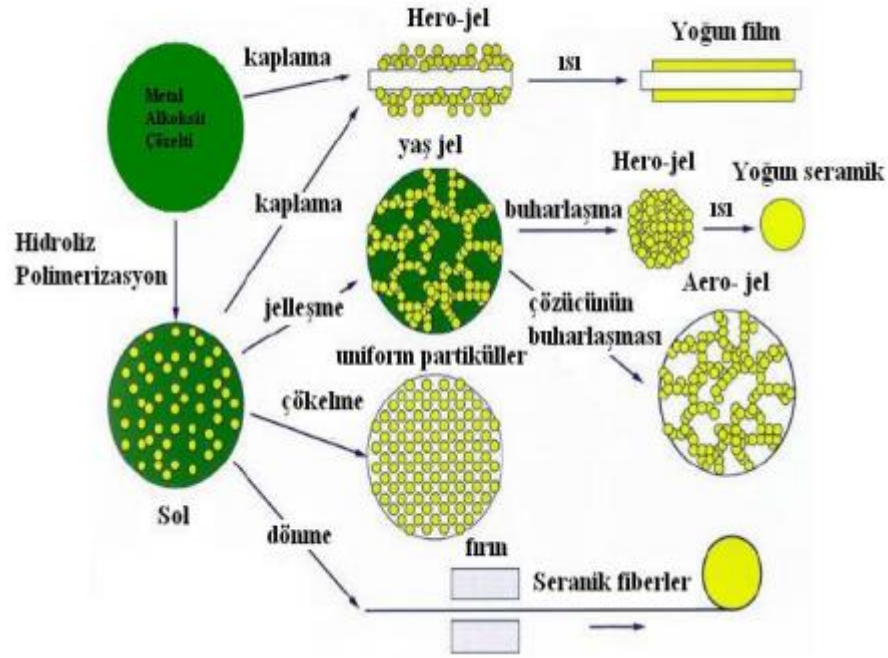
Sol, sıvı içerisinde kolloidal katı taneciklerinin kararlı bir süspansiyonudur. Bu katı tanecikler, yerçekiminden daha büyük dispersiyon kuvvetlerinden sorumlu olduklarından yeterince küçük olmalıdırlar.

Kolloid'i tanımlayacak olursak; gözle görülemeyecek kadar küçük 500 nm ve altındaki büyüklüklere sahip taneciklere denir. Bu yapılar normal optik mikroskopla fark edilemezler. Nedeni maksimum boyutları partiküllerin ışığın dalga boyuna eşit olduğundan. Jel kavramını açıklayacak olursak; kolloidal parçacıkların çöktürülmesiyle elde edilen, katı ve sıvı arasında bir fazda olan ve bol miktarda su ihtiva eden çökeklere denir. Bu metod çeşitli basamaklardan oluşmakta; Alkoksit hidrolizi, Peptitleşme veya polimerizasyon, Jel eldesi ve Kalsinasyon/Sinterleşme dir.

Bu metod bir seramik üretim yöntemi olup üzerinde yirmi yıldır çalışılmakta, kelime anlamıyla solüsyon-jelleşme (solution-gelation) kelimelerinin kısaltılışı olarak kullanılmaktadır. Bir solüsyonun veya süspansiyonun jelleşebildiği tüm sistemleri kapsamaktadır. Jel, katı faz ile sıvı faz arasında olan bir geçiş fazıdır [95].

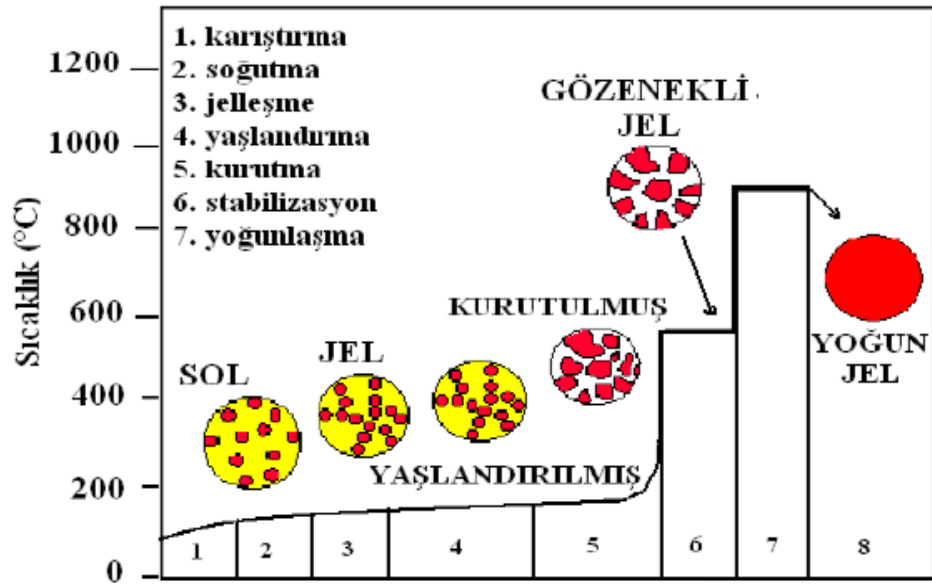
Bu yöntemin önemli bir avantajı; Metodu kullanarak kimyasal reaksiyonların kinetik kontrolünü yapabilmesi ve maddelerin temeline etki edebilmesidir. Metodun bu etkisi ile yeni maddeler üretmek, por morfolojisini, moleküler yapıyı değiştirmek, yüksek sıcaklık ve reaksiyonlardan kaçınmak mümkündür. Bu şekilde maddelerin temel özellikleri değiştirilebilmektedir. Bu metodla malzemelere birçok özellik katılmakta ve uygulanmakta; çoğunlukla yüksek performanslı polikristalin seramiklerin üretiminde, malzemeleri çok iyi sinterlemede, porsuz sık yapılarda, ince tanelerde, çok saf ve tane kompozisyonunda çok iyi tekdüzelik ile karakterize edildiğinde, mükemmel fonksiyonel özellikleri ortaya çıkaran yüksek mekanik güçlere sahiptirler [96].

Bu metod ilk başta metal alkoksit ve inorganik tuzları temel alan çözeltilerin, hidroliz ve yoğunlaşma reaksiyonlarını sonucu ortaya çıkan bir yöntemdir. Çok pahalı ve zahmetli bir yöntem olmasına rağmen nanoparçacık üretiminde tercih edilmesinde en önemli faktör diğer metodlara göre fark yaratan yönlerinin önemli olmasıdır. Bunları örnekleyecek olursak; minerallerden ve kimyasallardan arzu edilen boyutta ve şekilde malzemelerin kontrollü bir şekilde, moleküler göstergede, homojen olarak ve geliştirilmiş süreç adımlarıyla üretilmesi işlemler içinde sayılabilir. Fakat sistemin pahalı ve zahmetli olmasının yanı sıra en büyük dezavantajı sistemin veriminin çok düşük olmasıdır. Nanoparçacık üretimi haricinde yoğun malzemelerin, fiberlerin üretiminde ve ince film yüzey kaplamalarında da bu yöntem tercih edilmektedir [97]. Bu yöntemle malzemelerin üretimi Şekil 2.10'daki gibidir.



Şekil 2.10. Sol-jel teknolojisi ve bu teknolojiyle üretilebilecek malzemelerin gösterimi

Şekilde görülen sol, sıvı faz içinde askıda duran birkaç yüz nanometre çapındaki katı parçacıklardan oluşur. Bir sonraki aşamada bu katı parçacıklar içine daldırıldığı sıvı fazda bulunan çözücü içinde yeni bir faza (jel) geçerek yoğunlaşır. Meydana gelen jelin düşük sıcaklıkta (20-100 °C) işleme tabi tutularak kurutulması ile porlu katı matris (herojel) yapılar meydana gelir [98]. Bu metod uygulanırken izlenen parçacık üretim basamakları Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Bu aşamalar şu şekilde sıralanır; karıştırma, soğutma, jelleşme, yaşlandırma, kurutma, stabilizasyon ve yoğunlaşmadır.



Şekil 2.11. Sol-jel yöntemi ile parçacık üretim aşamalarının gösterimi

2.2.8. Hidrotermal yöntem

Bu metotta başlangıç maddesi kapalı bir kap içerisinde bulunan çözücü içerisinde konulur, istenilen sıcaklıklara kadar ısıtılır. Çözücü su olursa hidrotermal, alkol ya da başka bir organik çözücü olursa solvotermal metod olarak adlandırılır. Başlangıç maddelerinin çözücü içinde tam olarak çözünmesi istense de malzeme tam olarak çözünmeden de, diğer şartların kontrolü ile (sıcaklık, pH) istenilen deneyler yapılabilmektedir. Bu yöntemin avantajlarını sıralayacak olursak; metodun kimyasal özellikleri kontrol edilebilir, hammaddelere oranla daha iyi bir homojenlik sağlanır, üretim için düşük sıcaklıklar yeterli gelir ve yeni özelliklerde malzeme üretmek mümkündür.

Bu metodun sol-jel metoduna göre en büyük eksisi, partikül sentezi yapılırken maliyeti yüksek olan otoklav sisteminin kullanımına gerek olmasıdır. Nano boyutaki taneciklerin sentezinin hepsi kapalı ortamlarda gerçekleştirilmekte, metodun kullanımıyla sağladığı faydalardan biri partikül üretimi için kullanılan organik çözücülerin azalmasını engellemekte; çözücülerin tekrar sentez aşamasında kullanılabilme olanağını sağlamaktadır. Eksi yönlerine bedel sağladığı en büyük artı yön, sentezlenen nano boyuta sahip taneciklerin "amfifilik" özelliğe sahip olmasıdır. Basınç etkisi altında sentezin tepkimesi 150–250 °C sıcaklıklarda olduğundan, üretilen nano boyutlu taneciklerin, yüzeylerinde bir miktar alkil ve hidroksil grupları

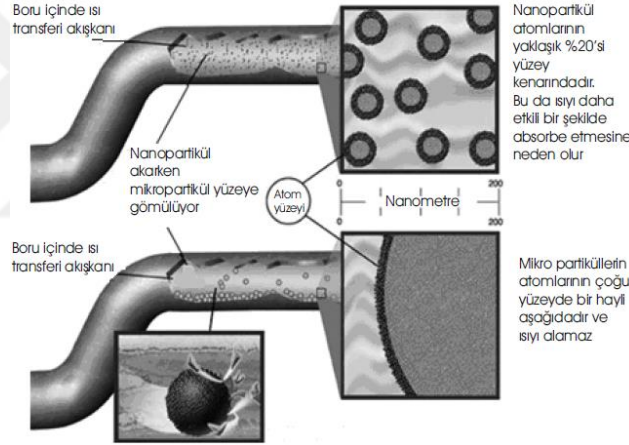
bulunmaktadır. Bu gruplar sayesinde bu nano taneciklerle, amaca göre, istenirse polar istenirse apolar sistemlerde kolayca şeffaf soler oluşturabilmektedir. Bu da, günümüzde üzerinde en fazla çalışılan konulardan biri olan "fotokatalitik şeffaf ince film" lerin hazırlanmasına olanak sağlamaktadır [99].

2.2.9. Yaş kimyasal sentez

Yaş kimyasal yöntemi nanomalzeme üretmek için kullanan, jel-işleme veya çöktürme metotları gibi, birkaç sentez yöntemi bulunmaktadır. Nanomalzemeler, başlangıç malzemelerinin çözeltilerde veya kolloidlerde spesifik metodlarla işlenmesiyle elde edilmektedir. Nano malzemeler, kendilerine özgü yapıları olan nano tozlar veya nano kaplamalar elde etmek için ayrıştırılabilir ve işlemlere tabi tutulabilirler [100].

Bu yöntemlerle 100 nm' nin altında parçacık elde edilerek bu parçacıklar, geleneksel olarak endüstriyel sistemlerde ısı transfer akışkanı olarak kullanılan su, sentetik yağ (motor yağı), etilen glikol gibi temel akışkanlarla belirli hacimsel oranlarda karıştırılarak yeni akışkanlar elde edilmiştir. İlk olarak Choi ve arkadaşlarının [101] Argonne Ulusal Laboratuvarında yaptıkları araştırmalar sayesinde bu metod bulunmuştur. Nanoakışkanlar; “nano boyutta metalik parçacıkların, su, etilen glikol (EG) veya motor yağı (EO) gibi akışkanların içerisinde partiküllerin dağıtılmasıyla oluşturulmuş, ortalama 10 nm büyüklüğünde metalik parçacıklar içeren ve günümüzde kullanılmakta olan nano boyut teknolojisi yardımıyla üretililecek olan yüksek ısı iletkenliğe sahip yeni tip akışkanlar” olarak tanımlanmıştır. Yeni bir akışkan sınıfı olan nanoakışkanlar, nano boyutlu partiküllerin (1-100 nm) temel akışkan ile oluşturdukları süspansiyonlardır. Nanoakışkan üretebilmek için yaygın olarak kullanılan nanopartiküller SiC, Al₂O₃, CeO₂, CuO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, SiO₂, TiO₂, ZnO₂, WO₃... gibi seramikler; Ag, Au, Cu, Fe, Ni... gibi saf metaller; karbon ve titanat(TNT) nanotüpler (tek ve çok duvarlı), elmas ve grafit... gibi karbon esaslilar; Ag-Cu, Ag-Al, Al-Cu... gibi alaşımlardır. Yaygın olarak kullanılan temel akışkanlar ise; su (H₂O), etilen glikol (EG), propilen glikol (PG) ve bunların karışımı (H₂O&EG, H₂O&EG, EG&PG) ve motor yağı olarak sıralanabilir. Bunlara ek olarak, dekan(C₁₀H₂₂), polialfaolefin (PAO) ve vites yağı örnek verilebilir. Bu partiküller, genel olarak metal ve metal oksitler olarak, dışarı daha fazla ısı transferi sağlayarak iletim ve taşınım katsayısını artırırlar. Bunun sebeplerinden biri; akışkan içerisine süspanse edilen partiküllerin, akışkanın ısı kapasitesini arttırmasıdır. Partiküller arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akış geçiş yüzeyinin,

çalkantı ve türbülans şiddetinin artmasına neden olur. Bu etkileşim yüksek ısı iletimi sağladığı gibi çalkantı şiddetinin artması ve geniş yüzey alanlarının oluşması da daha fazla ısı transferine olanak sağlar. 20 nm' dan daha küçük partiküller atomlarının % 20'sini yüzeylerinde bulundurlar, bu da partikülleri ısı etkileşim için hazır hale getirir. Başka bir avantajıda çok küçük boyutları sebebiyle sıvıda mikro taşınımın gerçekleşmesine olanak sağlamaları ve ısı transferini yükselten partikül hareketlilikleridir [102]. Nanoakışkanlar, mikrometre ya da milimetre boyutlu partiküller içeren sıvılarla karşılaştırıldığında daha iyi süspansiyon kararlılığına sahiptirler. Şekil 2.12.' de nanopartiküllerin mikropartiküllerle karşılaştırılması gösterilmektedir. Milimetre ve mikrometre boyutunda partikül içeren süspansiyonların en büyük problemi hem bu partiküllerin hızla çökmesi hem de mikro sistemler için bu partiküllerin büyük olmasıdır [103].



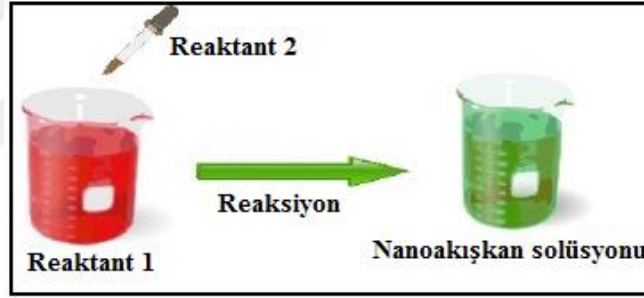
Şekil 2.12. Nanopartiküllerin mikropartiküllerle karşılaştırılması

2.3. Nanoakışkan Üretiminde Kullanılan Yöntemler

Tek adım ve iki-adım metodu olmak üzere iki ana yöntem kullanılmaktadır.

2.3.1. Tek-Adım metodu

Bu yöntemde nanopartikül üretimi ve baz alınan akışkanda dağılımı aynı esnada meydana gelmektedir. Tek-Adım metodu ile daha homojen dağılımlı ve stabil nanoakışkanlar üretilmektedir. Bu yöntemde partikül topaklanma yüzdesi iki adım metoduna kıyasla daha azdır. Lakin metod kısıtlı bir uygulama alanına sahiptir. Metodun uygulama maliyeti pahalı ve kullanılabilecek partikül türü kısıtlıdır. Tek adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlanması Şekil 2.13’de görüldüğü gibidir [104].

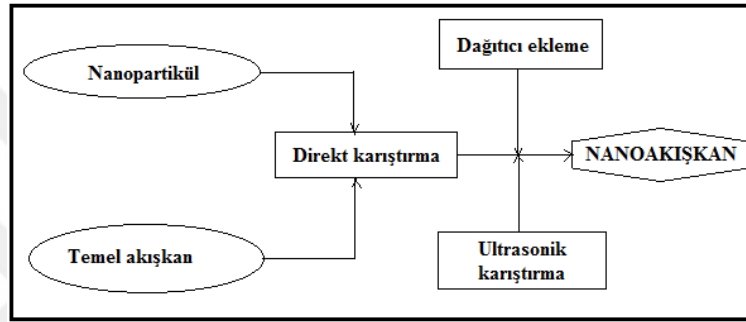


Şekil 2.13. Tek adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlanması

2.3.2. İki-Adım metodu

Bu yöntem nanoakışkan üretiminde uygulanan en sık metoddur. İlk önce kimyasal veya fiziksel metodlar kullanılarak nanopartiküller, nano fiberler, nanotüpler ve diğer nanomateriyaller kuru toz olarak partiküller halinde üretilir. İkinci aşama olarak nano boyuttaki bu tozlar; su ve baz alınan akışkan içerisinde dağıtılır. Bu karışım içerisinde partikülleri stabil hale getirerek homojen dağılım elde etmek için çeşitli yöntemler uygulanır bunlar; magnetik karıştırma, ultrasonik karıştırma, yüksek parçalayıcı karıştırma gibi işlemlerdir. Nanopartiküller yüksek yüzey alanı ve yüzey aktivitesi sebebiyle topaklanma eğilimi gösterirler. Bu nedenle stabiliteyi artırmak ve homojen bir dağılımı oluşturmak için en faydalı teknik yüzeyde aktif madde

(surfaktif) kullanımıdır. Fakat surfaktif maddeler yüksek sıcaklık karşısında özelliklerini yansıtamayabilirler [104]. Şekil 2.14.'de iki adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlanması şematize edilmiştir. İki adım metodu, metalik nanopartiküllerde daha az olmakla birlikte, metalik olmayan ve oksit nanopartiküllerde daha başarılı sonuçlar vermektedir. Ultrasonik karıştırma ile dağıtıcı veya yüzey aktifleştirici madde eklenmesi, nanopartiküllerin topaklanmasını minimize ederken, dağılım özelliğini de artırır.



Şekil 2.14. İki adım yöntemiyle nanoakışkan hazırlanması

2.4. Nanoakışkanların Kararlılığı

Nanopartiküllerin çok güçlü Wan der Waals etkileşiminden dolayı solüsyonda topaklanmasını ve çökmesini engellemek için aşağıdaki yöntemler uygulanmaktadır;

- Süspansiyonun Ph değerini değiştirmek
- Yüzey aktif madde çözeltilerinin kullanımı (aktivatörler ve seyrelticiler)
- Ultrasonik titreşim

Nanoakışkanların kararlılığını sağlayabilmek için faydalanılan materyaller; aktivatör ve seyreltici thioller, oleik asit ve laurate tuzlarıdır [105]. Yüzey aktif madde çözeltileri ve ultrasonik titreşimi beraber veya ayrı ayrı uygulamak mevcut literatürde araştırmacıların çoğunun tercih ettiği en yaygın kullanılan yöntemdir.

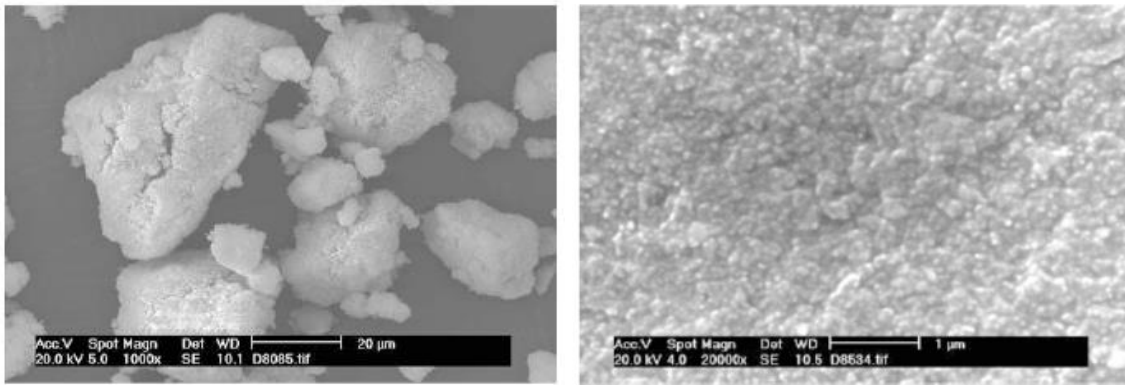
1. pH değerini kontrol ederek yüzey yükünü kontrol etmek: Nanoakışkanın stabilitesi direkt olarak elektrokinetik özelliğiyle ilgilidir. Yüksek yüzey yükü yoğunluğu sayesinde, güçlü itici güçler iyi dağılmış süspansiyonu stabilize edebilir. Süspansiyonun pH değerinin izoelektrik

noktadan uzak durmalıdır. İzoelektrik nokta zeta potansiyeli sıfır olan potansiyel kontrol iyonlarının konsantrasyonudur. Bu nedenle izoelektrik noktada yüzey yükü sıfırdır.

2. Bazı yüzey aktif madde çözeltileri ekleyerek yüzeyi değiştirmek: En çok kullanılan yöntemlerdendir. Yüzey aktif maddeler partikül süspansiyon ortamı ara yüzeyini değiştirip uzun zaman topaklanmayı engelleyebilir. Uygun yüzey aktif veya dağıtıcı seçimi solüsyonun ve partikülün özelliğine bağlıdır. Nanopartikülün yüzeyinde absorbe edilen yüzey aktif madde moleküllerin yüzey enerjisini düşürür ve bu da yüzeyin topaklanmasını engeller. Sodyum Dodesil Sülfat (SDS), Sodyum Dodesil Benzen Sülfanat (SDBS), Setil Trimetil Amonyum Bromit (CTAB) en yaygın kullanılan yüzey aktif maddelerdir. Yüzey aktif maddelerin katılması nanoakışkanların yüksek sıcaklıklarda çalışılmasını sınırlar. Nanopartikül ile yüzey aktif madde arasındaki bağ zarar gördüğü zaman nanoakışkan stabilitesini kaybeder ve nanopartiküller çöker.

3. Ultrasonik Titreşim Kullanmak: Ultrasonik banyolar, işlemciler ve homojenizatörler diğer metotlarla kıyaslandığında, topaklanmayı engellemek için en etkili yöntemlerdendir [106].

Bütün yöntemler, Nanoakışkanların kararlı bir süspansiyona sahip olması için ve partiküllerin topaklanmasını yok etmeye ve asılı kalan partiküllerin yüzey özelliklerini değiştirmeyi gaye edinmektedir. Şekil 2.15.' te CuO partiküllerinin TEM'de (Transmission Electron Microscope) gözlenen görüntüleri görülmektedir [107].



a)

b)

Şekil 2.15. a) Topaklanmış CuO partikülleri , b) homojene yakın dağılmış CuO partikülleri

Nanoakışkanların stabilitesini belirlemek için çeşitli yöntemler vardır [108]:

1. Zeta potansiyeli ölçmek nanoakışkanların stabilitesini belirlemek için kullanılan iyi yöntemlerden birisidir. Mutlak zeta potansiyeli yüksek olursa partiküller arası itme o kadar güçlü olur. Bu nedenle kolloid üzerinde Wan der Walls kuvvetlerinin etkisi daha düşüktür.
2. Taramalı Elektron Mikroskobu (TEM) veya ışık saçılım yöntemi ile partikül boyut dağılımı ölçülerek nanoakışkanların stabilitesi belirlenir. Değerlendirme yapıldıktan sonra eğer nanopartiküller dar parçacık boyut dağılımına sahipse, nanoakışkanın stabil olduğu söylenebilir.
3. UV-Vis spektrofotometresi ölçümü ile yapılan analizler de nanoakışkanların stabilitesini değerlendirmek için kullanılan yöntemlerdendir. Nanoakışkan emiliminin ölçümüyle, çökme zamanıyla nanoakışkan yüzeyindeki partikül konsantrasyonunun değişkenliği belirlenebilir. Çünkü yüzeydeki nanopartikül konsantrasyonu ile partiküllerin emilimi arasında lineer bir ilişki vardır. Fakat bu dağılımlar, çökmeyi gözle görebilmek için çok karanlık olduğundan, bu yöntem yüksek konsantrasyonlu nanoakışkanlar için uygun değildir.
4. Kriyojenik (kriyotaramalı) elektron mikroskobu (Cryo-TEM) da başka etkin bir yöntemdir. Eğer kriyasyon boyunca nanoakışkanın mikroyapısı değişmiyorsa şekil, boyut, dağılım ve nanopartikül toplanması bu yöntemle ayırt edilebilmektedir.

2.5. Nanoakışkanların Termofiziksel Özellikleri

Nanoakışkanların ısı özellikleri, performansını etkileyen başlıca özelliklerdendir. Bunlar ısıl iletkenlik, özgül ısı, yoğunluk, viskozite ve ısı transfer katsayısıdır.

2.5.1. Isıl iletkenlik

Nanoakışkanın ısı transferi performansının yükseltilmesinde ısıl iletkenlik önemli bir etkidir. Farklı katı ve sıvıların ısıl iletkenlikleri Tablo 2.1. 'de verilmiştir [109]. Metal ve metal oksitleriyle kıyaslandığında, karbon nano tüplerin daha yüksek ısıl iletkenlikleri vardır.

Nanoakışkanların ısı iletimi artışını açıklayan potansiyel mekanizmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir [108]:

Nanopartiküllerin Hareketi: Nanoakışkanlardaki partiküllerin çarpışmalarından, partikül-partikül temasından kaynaklanan enerji değişimi ısıl iletkenlik artışına neden olabilir. Böyle hareketler nanopartiküllerin hareketinden doğar. Çarpışmalar olmazsa bile partiküllerin Brownian hareketi ısıl iletkenliği artırabilir. Brownian hareketi nedeniyle partiküllerin hareketi

nanoakışkana önemli miktarda ısı taşıyabilmek için oldukça yavaştır. Brownian hareketi direkt olarak ısı iletkenlikte artışa neden olmaz. Fakat partikül kümelenmesini oluşturarak ısı iletkenlikte artışa neden olan bir rolü vardır.

Katı-Sıvı Arayüzeyinde ki Katman: Akışkan moleküller katı yüzeyinde düzenli yapılar oluştururlar. Bu arayüzey tabaka, katı partikül ve sıvıdan oluşan karışımdan farklı termofiziksel özellik gösterir. Çünkü nano tabakanın düzenli yapısının ısı iletkenliğinin, akışkanınkinden daha yüksek olması beklenir. Arayüzey tabakanın varlığı ısı taşıma da önemli rol oynamasına rağmen, ısı iletkenlik artışından tek başına sorumlu olması muhtemel değildir.

Nanopartiküllerin Isı Taşıma Yapısı: Makroskobik teoriler ısının difüzyonla taşındığını varsaymaktadır. Kristal halindeki katılarda ısı fononlarıyla taşınır. Bir nanoakışkan içerisinde nanopartiküllerin boyutu, fononların ortalama serbest yolundan daha kısa olduğu zaman fononlar nanopartikül karşısında daha fazla difüze olmaz sadece saçılmadan balistik hareket eder. Balistik ısı transferi detayına girmeden, balistik fononların taşınmasının, çok hızlı difüzyon fonon taşımadan nasıl daha etkili olacağını göz önüne getirebilmek zordur.

Yüzeyin Yük Durumu: Nanoakışkanın pH değerinin, ısı iletkenliğin performansı üzerinde güçlü bir etkisinin olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle yüzeyin yük durumu da nanoakışkanların ısı iletkenlik değerinde artışa neden olabilir.

Tablo 2.1. Farklı katı ve sıvıların ısı iletkenlikleri

Katı / Sıvı	Malzeme	Isıl İletkenlik (W/m °K)
Metalik Katılar	Gümüş	429
	Bakır	401
	Alüminyum	237
Metalik Olmayan Katılar	Elmas	3300
	Karbon nanotüpler	3000
	Silisyum	148
	Alüminyum oksit(Al_2O_3)	40
Metalik Sıvılar	Sodyum (644°K’de)	72.3
Metalik Olmayan Sıvılar	Su	0.613
	Etilen glikol (EG)	0.253
	Motor yağı (MY)	0.145

Nanopartikül Kümelenmesinin Etkisi: Eğer partiküller kümelenirse, daha düşük ısı iletkenliği bir yol oluşturur. Bu yüzden ısı iletkenliği üzerinde önemli etkisi vardır. Buna rağmen kümelenme genişlerse katı topaklanmaların geniş mesafelere uzanması muhtemeldir. Böyle geniş kümelenmeler akışkanda çökelmelere neden olur. Ayrıca parçacıklar aralarında fiziksel temas içinde olması gerekmiyorsa fakat sadece hızlı ısı akışına izin vermek için yeterince yakınsa ısı iletkenliğinde başka bir artış gerçekleşebilir. Buna rağmen kümelenmeler ısı transferinde negatif

etki oluşturabilir. Özellikle düşük hacimsel oranda, akışkanın dışına partiküller çökerek yüksek ısı dirençli geniş partikül-sıvı bölgesi oluştururlar.

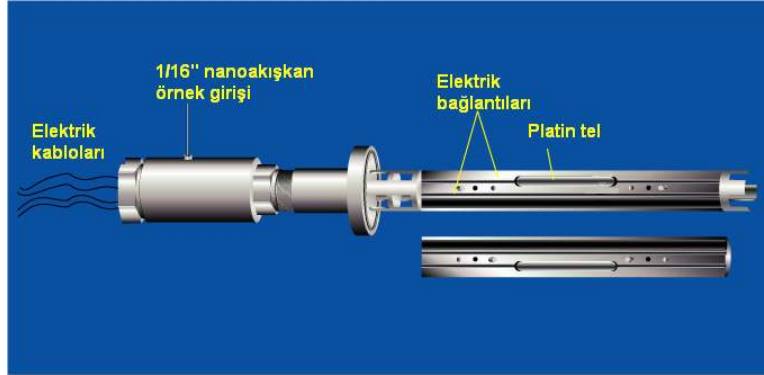
Isıl İletkenlik Ölçüm Yöntemleri

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini ölçmek için;

- Geçici sıcak tel metodu,
- Kararlı hal paralel plaka tekniği (Lee Disk Yöntemi),
- Sıcaklık salınım tekniği (Searle Yöntemi) kullanılmaktadır [110].

Akışkanların ve nanoakışkanların ısı iletkenlik katsayı ölçümlerinde geçici sıcak tel yöntemi sıklıkla kullanılmaktadır.

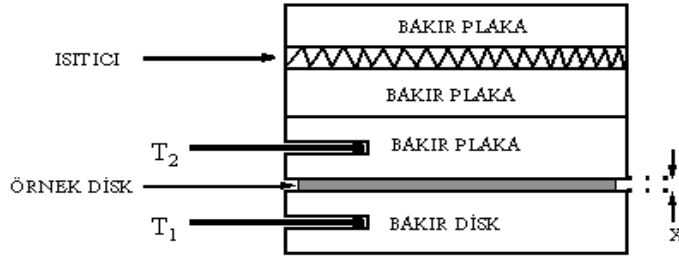
Geçici sıcak tel metodu, ani elektriksel sinyallerle telin zaman ve sıcaklık tepkisini ölçerek çalışır. Tel hem ısıtıcı hem de termometre olarak kullanılır. Fourier yasası ve sıcaklık verileri ısı iletkenliği hesaplamak için kullanılır. Şekil 2.16' da görüldüğü gibi geçici sıcak tel yönteminde genellikle çapı mikro boyutlarda olan platin tel kullanılır [110]. Yöntemde temel olarak telin, radyal doğrultuda sonsuz olarak öngörülen çok uzun bir silindirik örneğin eksenine yerleştirildiği varsayılır. Başlangıçta izotermal örneğe, ısıtıcı tel tarafından üretilen joule ısı ile ısı enerjisi verilmektedir. Tel ihmal edilebilir çapta ve sonsuz uzunlukta olduğu koşulda, ısı aktarımı radyal doğrultudadır.



Şekil 2.16. Geçici sıcak tel yöntemi deney düzeneği

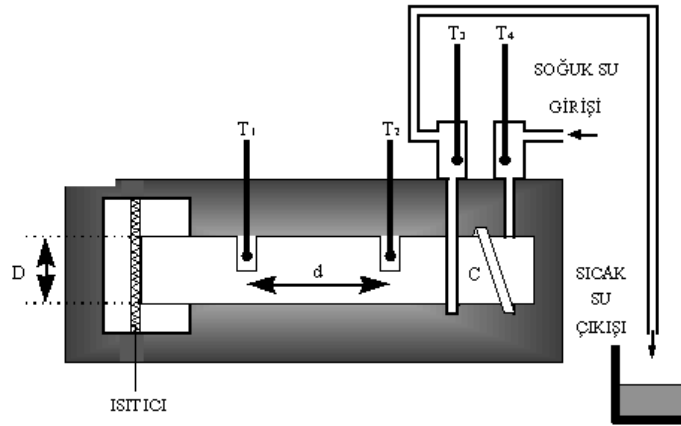
Kararlı hal paralel plaka tekniği (Lee Disk Yöntemi); ısı iletkenliği kötü olan malzemelerin ısı iletkenliklerinin ölçümünde kullanılan bir tekniktir. Şekil 2.17' de Lee Disk yönteminin şematik bir şekli verilmiştir [110]. Bu yöntemde örnek disk şeklindedir ve x kalınlığındaki örnek disk, bakır disk ile plaka arasına yerleştirilir. Bakır disk ile plakanın

sıcaklıkları ısı çiftleri yardımı ile ölçülür. Örneği ısıtmak için bakır plakaya ısıtıcı tel yerleştirilir. Örnek belli bir T_2 sıcaklığına kadar ısıtılır. T_2 ve T_1 sıcaklıkları ölçülür.



Şekil 2.17. Lee Disk yönteminin şematik gösterimi

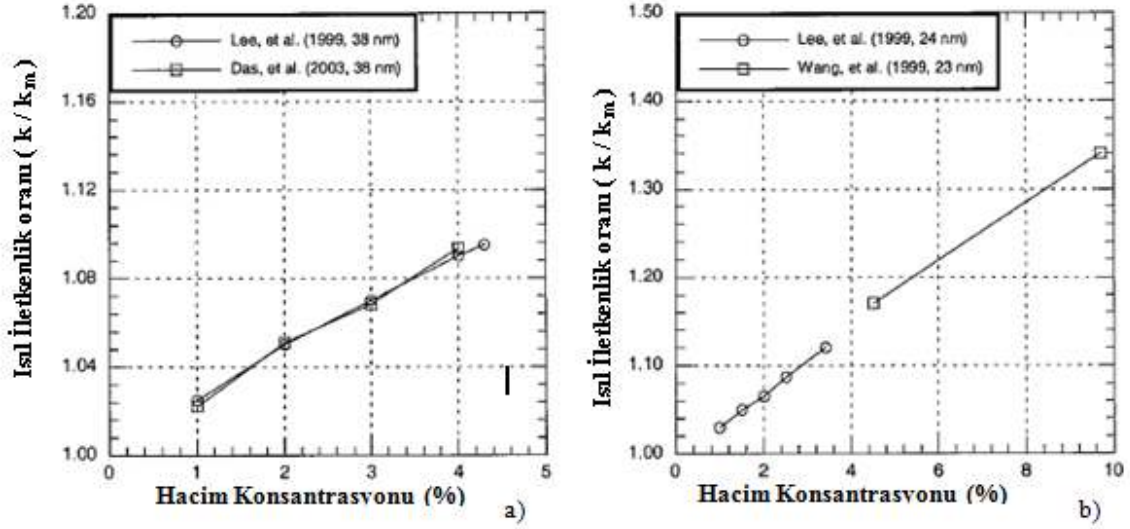
Sıcaklık salınım tekniği (Searle yöntemi); ısı iletim katsayısı yüksek olan malzemelerin ısıl iletkenliklerinin ölçümünde kullanılan bir yöntemdir. Bir malzemenin sıcaklığa bağlı fiziksel özellikleri incelenirken ısı yalıtımı önem kazanır. Bu nedenle ısı iletimi ölçümlerinde örneğin ısıl olarak çevreden yalıtılması gerekir. Searle yönteminde, malzeme adyabatik bir ortama yerleştirilir. Malzeme bir ısıtıcı kullanılarak bir ucundan ısıtılır. Bu yöntemde Şekil 2.18 ' de görüldüğü gibi iki adet ısı çifti ile belirli bir d mesafesinde yerleştirilir ve bu yöntemde sıcaklık gradientini belirlemek için T_1 ve T_2 ölçümleri alınır [110].



Şekil 2.18. Searle yönteminin şematik gösterimi

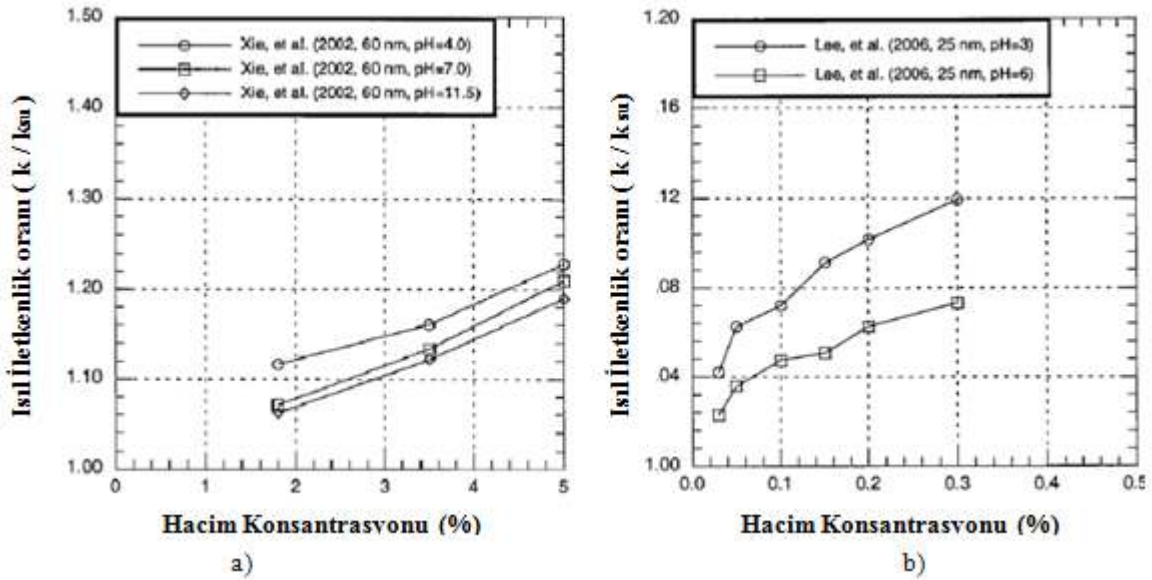
Isıl İletkenliği Etkileyen Faktörler

Nanopartikül ve akışkan karışımından oluşan nanoakışkanın ısı iletkenlik üzerinde çeşitli faktörlerin etkisi vardır. Nanoakışkanların ısı iletkenliği çeşitli parametrelere balıdır bunlar; nanoakışkanın viskozitesini, temel akışkanın ısı iletkenliğini, katı partikülün özellikleri (yoğunluğu, gizli ısısı gibi) ve nanopartikülün hacimsel oranı gibi faktörlere göre değişir. Bunların yanı sıra ısı iletkenlik nanopartikül kümesinin dönme yarıçapı ve topaklanmanın akışkan içerisindeki yüzdesiyle değişmektedir. Temel akışkanın içerisine süspanse edilmiş kümelerin dönme yarıçapının küçüklüğü oranında, nanoakışkanların ısı iletkenliği artmaktadır. Bunun nedeni daha küçük kümeler birim zamanda daha hızlı ve daha uzağa hareket edebilirler ve nanoakışkan içerisinde daha güçlü enerji taşınımına sebep olurlar [111]. Nanoakışkanların ısı iletkenliğini etkileyen diğer parametreler; hacimsel oran, partikül malzemesi, temel akışkan, sıcaklık, topaklanma ve pH değeridir. Ayrıca nanoakışkanın ısı iletkenliği, karıştırılmış partiküllerin boyutlarına ve şekillerine de bağılıdır. Şekil 2.19’ da iki farklı çalışma grubunun aynı parametrelerle yaptıkları çalışmada Al_2O_3 -Su ve CuO-Su nanoakışkanlarının hacim konsantrasyonunun ısı iletkenlik artış oranına etkisi verilmiştir [112]. Grafiklerden anlaşılacağı üzere sonuçlar hemen hemen özdeş olup, hacimsel oran arttıkça ısı iletkenlik oranı da artmaktadır. Oksit partiküllü hacimsel oranlar, orta viskozite artışını korumak için, normalde % 4-5’in altında ve ısı iletkenlikteki artış ortalama 1.3 (%30) civarındadır. Diğer parametrelerle kıyaslandığında nanoakışkanların ısı iletkenliği üzerinde pH değerinin etkisini inceleyen çalışmalar oldukça sınırlıdır. pH değeri izoelektrik noktaya ulaşınca kadar ısı iletkenlik artar. İzoelektrik noktada ise ısı iletkenlik maksimum değerine ulaşır, daha fazla pH değerindeki artışla ısı iletkenlik düşer.



Şekil 2.19. a) Al₂O₃-Su, b) CuO-Su değişik boyutlardaki nanoakışkanların, farklı hacim konsantrasyonlarında ısıl iletkenlik oranı

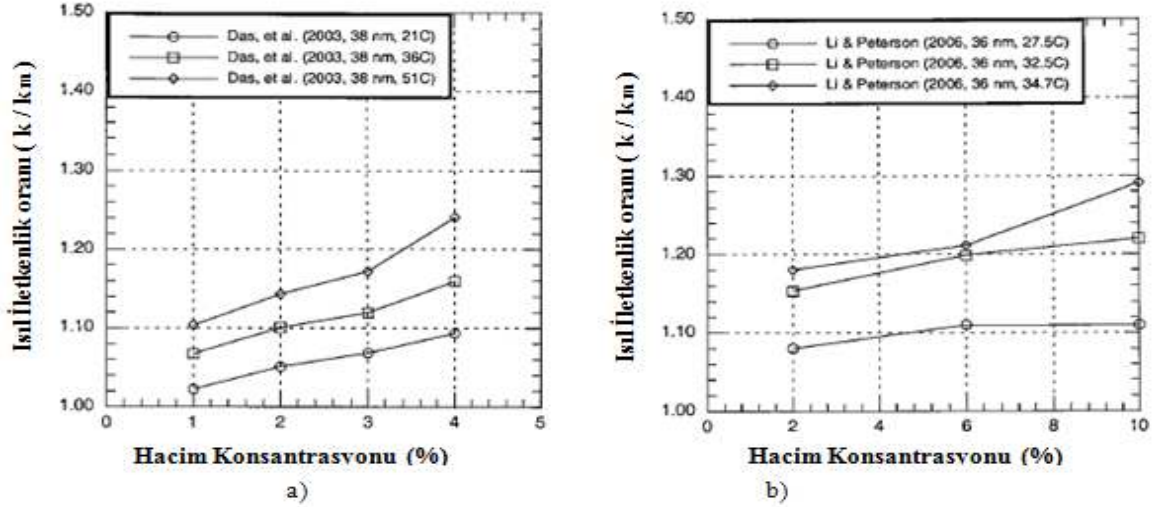
Şekil 2.20' de Al₂O₃-Su ve CuO-Su nanoakışkanlarının değişik pH değerlerinin, farklı hacim konsantrasyonlarında ısıl iletkenliğe etkisi verilmiştir [112].



Şekil 2.20. a) Al₂O₃-Su, b) CuO-Su nanoakışkanlarının değişik pH değerlerindeki, farklı hacim konsantrasyonlarına karşılık gelen ısıl iletkenlik oranı

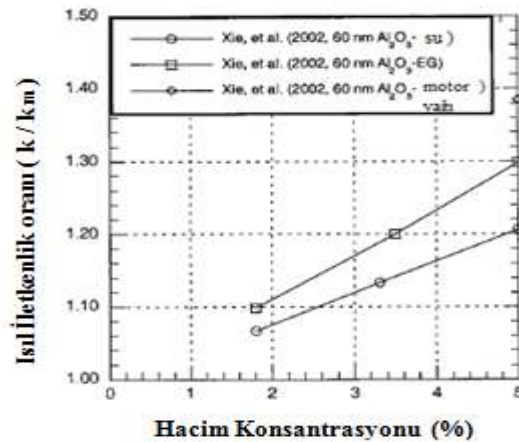
Şekil 2.21' de Al₂O₃-Su nanoakışkanının değişik sıcaklıklarda farklı hacim konsantrasyonlarının ısıl iletkenliğe etkisi verilmiştir [112]. Grafiklerden anlaşılacağı genel

trend, sıcaklık arttıkça ısıl iletkenlik oranında da artış olduğu yönündedir. Sonuçlar nanoakışkanların sıcak bölgeleri algılayan akıllı nanoakışkanlar olarak kullanılabileceğini ve bu bölgelerle daha hızlı soğutma sağlanabileceğini belirtmektedir.



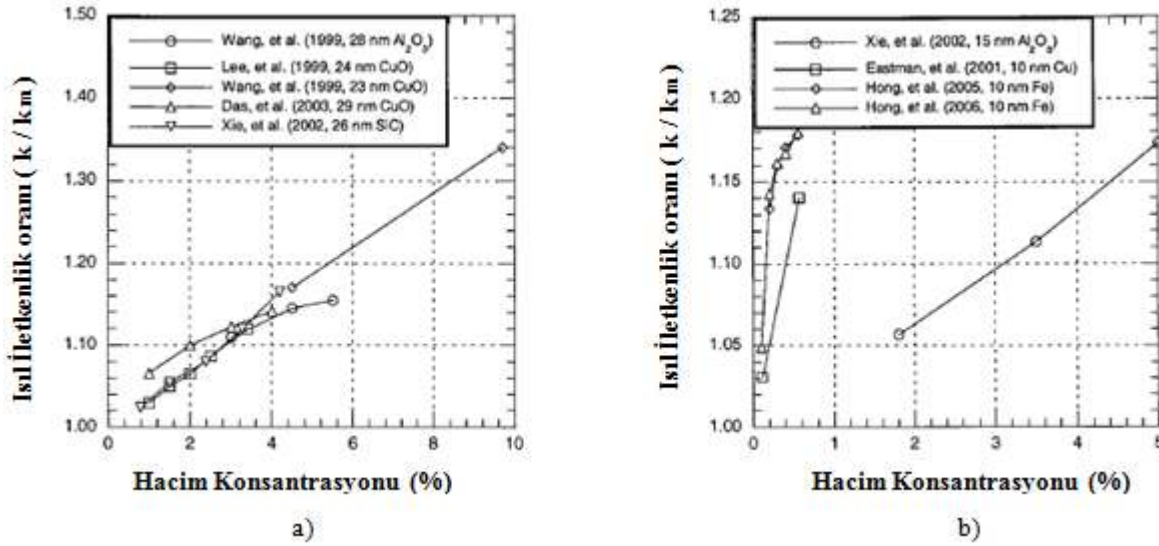
Şekil 2.21. Al_2O_3 -Su nanoakışkanının değişik sıcaklıklarda, farklı hacim konsantrasyonlarındaki ısıl iletkenlik oranı

Şekil 2.22.'de temel akışkanın ısıl iletkenlik artış oranına etkisi verilmiştir. Temel akışkanın ısıl iletkenlik üzerindeki etkisi, genel olarak temel akışkanın ısıl iletkenliğindeki artışla iyileştirilmiş ısıl iletkenlik oranının düştüğü yönündedir. Yani düşük ısıl iletkenliğe sahip temel akışkanın ısıl iletkenlik artışının daha fazla olduğu söylenebilir [112].



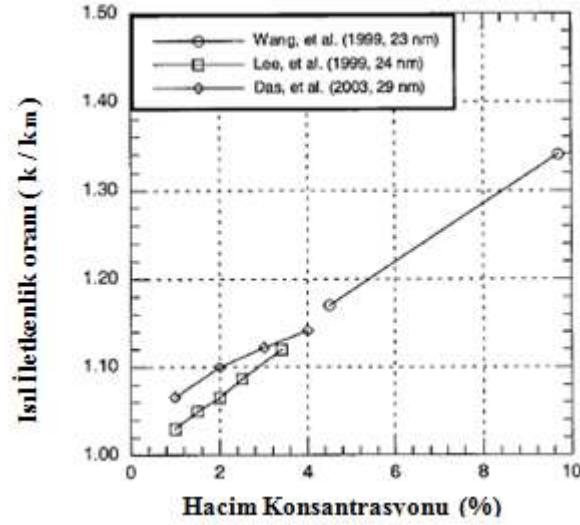
Şekil 2.22. Farklı cins temel akışkanların değişik hacim konsantrasyonlarındaki ısıl iletkenlik oranı

İki farklı partikül için, diğer tüm şartları hemen hemen aynı tutulduğunda, partikül malzemesinin ısı iletkenlik artışına etkisi Şekil 2.23’ de verilmiştir. Sonuçlar düşük iletkenlikli partiküller için aslında bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Şekil 2.23 b’de verilen iki metal ile bir oksit partikülleri karşılaştırıldığında, düşük hacimsel oranlarda metal ve oksit partiküller aynı artış oranı göstermişlerdir. Ancak metal partiküllerin yüksek ısı iletkenliğe sahip olmaları nedeniyle oksit partiküllere göre üstün oldukları söylenebilir [112].



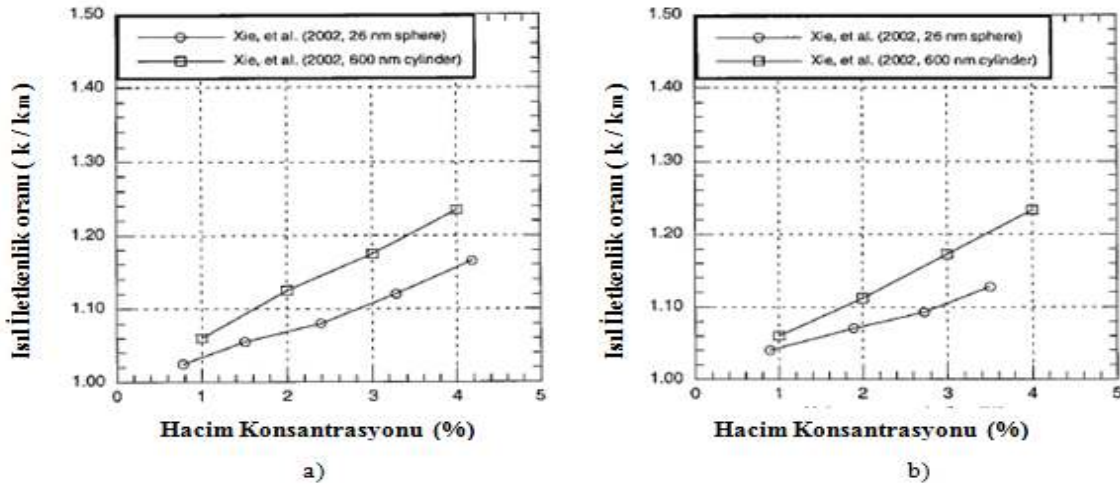
Şekil 2.23. a) Su ve b) Etilen glikol temel akışkanlarına farklı cins ve boyutta nanopartikül katılarak hazırlanan nanoakışkanların, değişik hacim konsantrasyonlarında ısı iletkenlik oranı

Daha küçük boyutta partikül içeren nanoakışkanın ısı iletkenliği, daha büyük boyutta partikül içeren kiyasla daha fazla artış gösterir. Nanopartiküllerin stokastik hareketi ısı iletkenlikteki artışı açıklamak için neden olabilir. Çünkü küçük partiküller daha kolay hareketlendirilebilirler. Şekil 2.24.’ de CuO-Su nanoakışkanı için partikül boyutunun ısı iletkenlik artış oranına etkisi verilmiştir [112].



Şekil 2.24. CuO-Su nanoakışkanının farklı partikül boyutu ve değişik hacim konsantrasyonlarındaki ısıl iletkenlik oranı

Temel olarak çalışmalarda kullanılan iki farklı partikül şekli mevcuttur. Bunlar dairesel ve silindirik nanopartiküllerdir. Şekil 2.25.' de SiC-Su ve SiC-EG nanoakışkanları için partikül şeklinin ısıl iletkenlik artışına etkisi verilmiştir. Küresel partiküllerin silindirik olanlara kıyasla ısıl iletkenliklerinde daha az artış gösterir. Bunun nedeni olarak, silindirik partiküllerin uzunluk-çap oranının daha fazla olduğu söylenebilir [112].

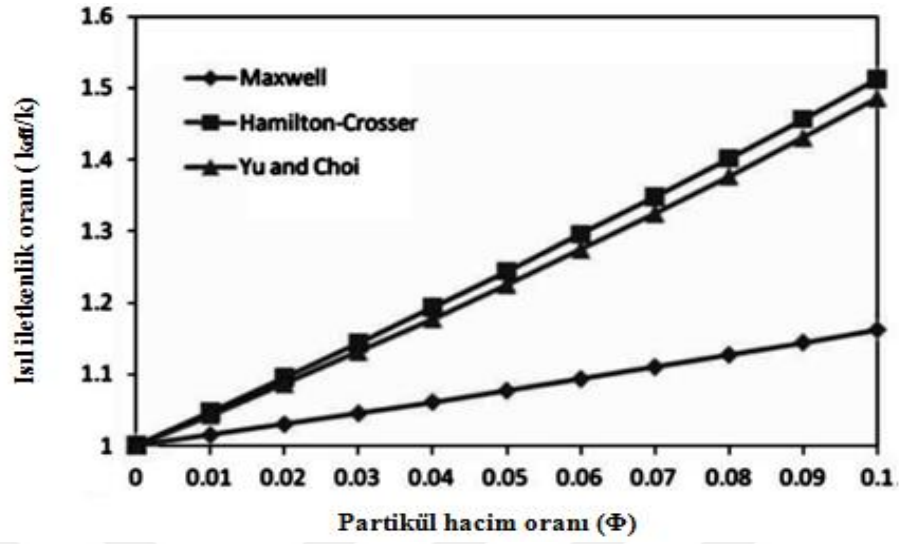


Şekil 2.25. a) SiC-Su, b) SiC-EG nanoakışkanlarının farklı partikül şekli ve değişik hacim konsantrasyonlarındaki ısıl iletkenlik oranı

Nanoakışkanların Isıl İletkenlik Tahmini İçin Modeller

Nanoakışkanların ısı iletkenliğini tahmin etmek için literatürde çok iyi denebilecek düzeyde teorik bir yaklaşım yoktur. Mühendislik sistemlerinde kullanımıyla ilgili son yıllarda özellikle ısı transferi akışkanı olarak kullanılan yeni süspansiyonların taşınım karakteristiklerini tespit etmeye ve süspansiyonların ısı iletkenliklerinin tespiti üzerine yapılan çalışmaların, modeller geliştirmek amacıyla olduğu görülmektedir. Karışım içinde sadece küresel partiküllerin bulunması durumunda geçerli olan bir model Maxwell tarafından geliştirilmiştir [113]. Maxwell modeli nispeten daha büyük partiküllü katı-sıvı karışımlar için önerilen ısı iletkenlik için mevcut genel bir modeldir. Maxwell modeli süspansiyonun efektif ısı iletkenliğinin dairesel partikülün ısı iletkenliğine, temel akışkana ve katı partikülün hacimsel oranına bağlı olduğunu göstermiştir. Nanoakışkanların ısı iletkenliklerini tahmin etmek için araştırmacılar tarafından geliştirilen modeller Tablo 2.2’ de verilmiştir [114]. Tabloya göre verilen modellerde k_p partikülün ısı iletkenliği, k_f esas akışkanın ısı iletkenliği, k_e partikül/sıvı süspansiyonunun efektif ısı iletkenliği, ϕ (phi) süspansiyonun partikül hacim oranı, α (alfa) ısı iletkenlikler oranı, ($\alpha = k_p/k_f$), β (beta) = $(\alpha - 1)/(\alpha + 2)$ ve n partikül şekil faktörü olarak tanımlanmıştır. β ise nano katman kalınlığının partikül yarıçapına oranıdır.

Üç modelin (Maxwell, Yu – Choi ve Hamilton- Crosser) farklı partikül hacim oranlarında artan ısı iletkenlik oranları Şekil 2.26.’ da karşılaştırılmıştır. Bütün modellerde artan hacimsel oranla ısı iletkenlik oranında lineer bir artış gözlenmiştir. En yüksek değer Hamilton-Crosser modelinde görülmüştür [115].



Şekil 2.26. Al_2O_3 /Su nanoakışkanının değişik çalışmalarda farklı partikül hacim oranlarındaki ısı iletkenlik oranı

Tablo 2.2. Katı/Sıvı süspansiyonları için efektif ısı iletkenlik modelleri

Modeller	İfadeler	Açıklamalar
Maxwell	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_1 + 2(k_p - k_1)\phi}{k_p + 2k_1 - (k_p - k_1)\phi}$	Küresel partiküller için geçerlidir.
Hamilton-Crosser	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + (n-1)k_1 - (n-1)(k_1 - k_p)\phi}{k_p + (n-1)k_1 + (k_1 - k_p)\phi}$	Küresel ve küresel olmayan partiküller dikkate alınmıştır; küresel partiküller için n=3, silindirik partiküller için n= 6
Wasp	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_1 - 2(k_1 - k_p)\phi}{k_p + 2k_1 + (k_1 - k_p)\phi}$	Katı-sıvı karışımların ısı iletkenliğini hesaplamak için önerilmiştir.
Yu - Choi	$\frac{k_e}{k_l} = \frac{k_p + 2k_1 + (k_p - k_1)(1 + \beta)^3 \phi}{k_p + 2k_1 - (k_p - k_1)(1 + \beta)^3 \phi}$	İki fazlı karışımların etkili ısı iletkenliğini hesaplamak için alternatif bir teoridir.
Bruggeman	$k_e = \frac{1}{4} \left[(3\phi - 1)k_p + (2 - 3\phi)k_l \right] + \frac{k_l}{4} \sqrt{\Delta}$ $\Delta = \left[(3\phi - 1)^2 (k_p / k_l)^2 + (2 - 3\phi)^2 + 2(2 + 9\phi - 9\phi^2)(k_p / k_l) \right]$	Homojen küresel partiküller içeren iki fazlı karışımlar için önerilmiştir.
Jeffrey	$\frac{k_e}{k_l} = 1 + 3\beta\phi + (3\beta^2 + \frac{3\beta^3}{4} + \frac{9\beta^3}{16} \frac{\alpha + 2}{2\alpha + 3} + \frac{3\beta^4}{2^6} + \dots)\phi^2$	Yüksek dereceli terimler rastgele dağılmış olan küreciklerin etkileşimlerini ifade etmektedir.
Davis	$\frac{k_e}{k_l} = 1 + \frac{3(\alpha - 1)}{(\alpha + 2) - (\alpha - 1)\phi} \left[\phi + f(\alpha)\phi^2 + 0(\phi^3) \right]$	Yüksek dereceli terimler rastgele dağılmış olan küreciklerin etkileşimlerini ifade etmektedir. f(10)=2.5 f(∞)= 0.5
Lu-Lin	$\frac{k_e}{k_l} = 1 + \alpha\phi + b\phi^2$	Küresel ve küresel olmayan partiküller için geçerlidir. Küresel partiküllerde α=10 için, a=2.25, b=2.27; α=∞ için a=3.00, b=4.51 Yakın ve uzak alan çiftlerin etkileşimleri dikkate alınır.

2.5.2. Viskozite

Viskozite akışkanın en önemli akış özelliklerindendir. Pompalama gücü, laminar akıştaki pompalama gücü ve taşınım ısı transferi direkt olarak akışkanın viskozitesi ile ilgilidir. Nanoakışkanların viskozitesini tahmin etmek için bazı formüller geliştirilmiştir. Araştırmacılar tarafından geliştirilen modeller Tablo 2.3’ de verilmiştir [116]. Literatürde birçok çalışmada

- sıcaklık,
- partikül boyutu ve şekli,
- partikül boyut dağılımı,
- yüzey gerilimi,
- yüzey aktif madde,
- partikül hacimsel oranı gibi bazı parametrelerin nanoakışkanların viskozitesi üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir.

Yapılan çalışmaların hemen hemen tümünde nanoakışkanın viskozitesinin temel akışkanın viskozitesinden daha fazla olduğu belirtilmiştir. Partikül konsantrasyonunun artışıyla nanoakışkanın viskozitesinin arttığı tespit edilmiştir. Partikül hacimsel oranı arttığı zaman partikül sayısı da artar ve bunun sonucu olarak viskozite de artar. Sıcaklık arttığı zaman akışkanın molekülleri gibi nanopartiküller ve akışkan arasındaki etkileşim zayıflar. Bu nedenle artan sıcaklıkla viskozite düşer. Süspansiyonda partikül kütlesini sabit tutarken partiküllerin boyutunu azaltmak sistemdeki partiküllerin sayısında artışa neden olur. Çok sayıda küçük partikül, daha fazla partikül-partikül etkileşimine neden olur. Bunun sonucu olarak akış direnci ve viskozite artar. Yüzey aktif maddenin konsantrasyonu nanoakışkanın viskozitesini etkiler. Yüzeydeki aktif maddenin konsantrasyonunun artışıyla nanoakışkanın viskozitesinin arttığını birçok araştırmacı belirtmişlerdir. Nanoakışkan non-Newtonien davranış gösterir çünkü kayma hızı arttığı zaman partikül-partikül etkileşimi zayıflar hatta kopar. Bu nedenle aşağıda verilen Newtonien akışkan özelliklerini taşımamaktadır;

- Kayma gerilmesinin kayma hızına oranı (viskozite) sabittir.
- Viskozite sadece sıcaklığa bağlıdır, yüzey gerilimi ve zamanın etkisi yoktur.
- Kayma hızı kayma gerilmesiyle orantılıdır [108].

Tablo 2.3. Katı/Sıvı süspansiyonları için viskozite modelleri

Modeller	İfadeler	Açıklamalar
Einstein	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = 1 + 2.5\phi$	Küresel partiküllerin çok düşük hacimsel oranlarda ($\phi < 0.02$)
Krieger and Dougherty	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = \left[1 - \frac{\phi}{\phi_m} \right]^{-\eta\phi_m}$	Değişken paketleme fraksiyonlu rastgele tek dağılımlı ve sert küreler için
Neilson	$\mu_{nf} = (1 + 1.5\phi)e^{\frac{\phi}{(1-\phi_m)}}\mu_f$	Parçacık hacim oranı en fazla 0.02 için güç kanunu modeli geçerli
Mooney	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = e^{\left(\frac{\xi\phi}{1-k\phi} \right)}$	Self-crowding faktörü ($1.35 < k < 1.91$) ve geçme parametresi 2.5
Batchelor	$\mu_{nf} = (1 + 2.5\phi + 6.5\phi^2)\mu_f$	Brown hareketi dikkate alınarak Einstein modeli uzatma
Lundgren	$\mu_{nf} = \left[1 + 2.5\phi + \frac{25}{4}\phi^2 + f(\phi^3) \right]\mu_f$	ϕ Taylor genişleme serisinden formüle edilen Einstein modelinin azaltılması
Brinkman	$\mu_{nf} = (1 - \phi)^{2.5}\mu_f$	Einstein modelinden formüle edilmiştir. 4% 'den az partikül konsantrasyonlarda sürekli bir ortam için geçerlidir
Chen et al.	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = \left(1 - \frac{\phi_a}{\phi_m} \right)^{-2.5\phi_m}$	Krieger-Dougherty denkleminde modifiye edilmiştir. Parçacıkların kümelenmesi düşülünülerek

Tablo 2.3. Katı/Sıvı süspansiyonları için viskozite modelleri (devamı)

Franken and Acrivos	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = \frac{9}{8} \left[\frac{\left(\frac{\phi}{\phi_m} \right)^{1/3}}{\left(\phi_m - \phi \right)^{1/3}} \right]$	Küresel partiküller ve $0.5236 < \phi < 0.7405$ için geçerlidir. ϕ , deneysel olarak belirlenir.
Ward	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = \left[1 + \eta \left(\phi_{eff} + 2.5\eta + (2.5\eta)^2 + \dots \right) \right]$	Küresel parçacıklar için % 35'e kadar üstel modeli
Kitano	$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{\left[1 - \left(\frac{\phi}{\phi_m} \right) \right]^2}$	Maksimum parçacık hacmi konsantrasyonuna göre
Bicerano	$\mu_{nf} = (1 + \eta\phi + k_H\phi^2)$	Viskoziteye hacimsel etkisi düşünülerek
Tseng and Chen	$\mu_{nf} = \mu_f \times 0.4513e^{0.6965\phi}$	Nikel / terpineol nanosivılar için ses konsantrasyonu düşünülerek
Graham	$\mu_{nf} = \mu_f \left(1 + 2.5\phi + 4.5 \left[\frac{1}{\left(\frac{h}{d_p} \left(2 + \frac{h}{d_p} \right) \right) \left(1 + \frac{h}{d_p} \right)^2} \right] \right)$	Franken-Acrivos modelinin modifiye formu. Parçacık yarıçapı ve parçacıklar arası aralık mevcutsa
Masoumi et al.	$\mu_{nf} = \mu_f \left(1 + \frac{\rho_N V_b d_N^2}{72C\delta\mu_f} \right)$	Parçacıkların Brownian hareketine dayanır ve alümina / su nanosivılar için geçerli
Pak and Cho	$\mu_{nf} = \mu_f (1 + 39.11\phi + 533.9\phi^2)$	Oda sıcaklığını referans alarak geliştirilen
Kulkarni	$\ln(\mu_{nf}) = -(2.8751 + 53.548\phi - 107.12\phi^2) + \frac{(1078.3 + 15857\phi + 20587\phi^2)}{T}$	5-50° C sıcaklık aralığında CuO-su nanosivılar için geçerlidir.
Nguyen et al.	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = (2.1275 - 0.0215T + 0.00027T^2)$	Sıcaklığa bağlı viskozite ve % 1-4 parçacık hacim konsantrasyonlu

Tablo 2.3. Katı/Sıvı süspansiyonları için viskozite modelleri (devamı)

Namburu et al.	$\text{Log}(\mu_{nf}) = Ae^{-BT}$	Sıcaklığa bağlı % 1-10 hacimsel konsantrasyonlu Al_2O_3 –su nanosıvılar için -35 ile 50 °C de geçerli
Chandrasekhar et al.	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = 1 + b\left(\frac{\phi}{1-\phi_m}\right)^n$	Elektromanyetik, mekanik ve geometrik açıdan düşünülerek
Abu-Nada	$\mu_{nf} = -0.155 - \frac{19.582}{T} + 0.794\phi + \frac{2094.47}{T^2} - 0.192\phi^2 - 8.11\frac{\phi}{T} - \frac{27463.863}{T^3} + 0.127\phi^3 + 1.6044\frac{\phi^2}{T} + 2.1754\frac{\phi}{T^2}$	Sıcaklığa bağlı model, Al_2O_3 nanoakışkanları için
Masud Hosseini	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = \exp\left[m + \alpha\left(\frac{T}{T_o}\right) + \beta(\phi_h) + \gamma\left(\frac{d}{1-r}\right)\right]$	Sıcaklığa bağlı model, Hidrodinamik hacimsel oran ve kapama tabakasının kalınlığı düşünülerek
Avsec and Oblac	$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = \left[1 + 2.5(\phi_{eff} + 2.5\phi_{eff} + (2.5\phi_{eff}^2) + \dots)\right]$	Ward ve Einstein modelden genişletilmiş

2.5.3 Özgöl Isı

İlk olarak 1998 ‘de Pak ve Cho [117] tarafından yapılan çalışmayla nanoakışkanların özgöl ısının ölçümünde kullanılacak aşağıdaki Eşitlik (2.1) elde edilmiştir:

$$C_{nf} = (1 - \phi_v)C_w + \phi_v C_p \quad (2.1)$$

C_w suyun özgöl ısısı, C_p partikülün özgöl ısısı, ϕ_v hacimsel oran olarak verilmiştir. Daha sonra 2000’de Xuan ve Roetzel [118] daha doğru sonuçlar veren Eşitlik (2.2) de verilen formülü elde etmişlerdir.

$$(\rho C_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_s \quad (2.2)$$

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_p$$

Vajjha ve Das [119] daha önceki eşitlikle ölçümlerin tam olarak uyuşmadığını görüp yaptıkları çalışmayla yeni genel bir bağıntı elde etmişlerdir. Eşitlik (2.3) te verilen bağıntıyla,

$$(C_{pnf} / C_{pbf}) = \left[(A \times T) + B \times (C_{pbf}) \right] / (C + \phi) \quad (2.3)$$

hata oranını % 2.7 olarak tespit etmişlerdir. Daha sonra birçok araştırmacı yeni bağıntılar elde etmişlerdir. Aşağıda Eşitlik (1.4, 5, 6, 7, 8) ile özgöl ısı bağıntıları verilmiştir:

$$\text{Vajjha ve Das [120]} \quad (C_{pnf} / C_{pbf}) = \frac{\left[(A(T / T_o)) + B(C_{pp} / C_{pbf}) \right]}{(C + \phi)} \quad (2.4)$$

$$\text{Zhou ve ark. [121]} \quad [C_{pnf} = \left[(1 - \phi)\rho_f C_{bf} + \phi\rho_{np} C_{pnp} \right] / \left[\phi_f \rho_f + (1 - \phi)\rho_{np} \right]] \quad (2.5)$$

$$\text{Shin ve Banerjee [122]} \quad C_{p,t} = \frac{\rho_{np}\phi_{np}C_{p,np} + \rho_s\phi_sC_{p,s} + \rho_{ns}\phi_{ns}C_{p,ns}}{\rho_{np}\phi_{np} + \rho_s\phi_s + \rho_{ns}\phi_{ns}} \quad (2.6)$$

$$\text{Pakdaman [123]} \quad (C_{pbf} - C_{pnf}) / C_{pbf} = (0.0128 \times T + 1.8382) \times \phi^{0.4779} \quad (2.7)$$

$$\text{Kumaresan ve Velraj [124]} \quad (C_p)_{nf} = \left[(1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_n \right] / \left[\phi\rho_n + (1 - \phi)\rho_f \right] \quad (2.8)$$

Bu eşitlikler kullanılarak, akışkan içerisine katı partikül katıldığı zaman özgöl ısıda küçük bir düşüşün olacağı tahmin edilebilir.

2.5.4. Yoğunluk

Literatürde ilk olarak mikrometre boyutlu parçacıkların iki fazlı karışımları için yoğunluk ifadesi 1986 'da Cheremisinooff tarafından elde edilmiştir [125]. Daha sonra aynı eşitliği Pak ve Cho [117] nanoakışkanlara uygulayarak aşağıdaki eşitliği (2.9) elde etmiştir:

$$\rho_{nf} = \rho_p \varphi + \rho_{bf} (1 - \varphi) \quad (2.9)$$

ρ_{nf} nanoakışkan yoğunluğu, ρ_p partikül yoğunluğu, φ hacimsel oran, ρ_{bf} temel akışkan yoğunluğunu ifade etmektedir. Eşitlik (2.9) dan anlaşılacağı üzere nanoakışkanın yoğunluğu hacimsel oranla lineer eğilim göstermektedir.

2.6. Nanoakışkanların Uygulama Alanları

Nanoakışkanlar sanayi, ticari, medikal, konut ve ulaştırma gibi birçok alanda performansın arttırılması için kullanılabilir [126].

1. Elektronikde: Hızlı gelişen modern teknoloji sayesinde son model elektronik cihazlar, cihazın performansını düşüren, ömrünü kısaltan ve güvenilirliğini etkileyen, büyük miktarda ısı üretmektedirler. Nanoakışkanlar mikro kanallarda tıkanmadıklarından soğutucu akışkan olarak kullanılabilir. Mikroelektronik (MEM) sistemlerin çeşitli yerlerde kullanımına raslanmaktadır; mikro-düzeyde tam fonksiyonel pompalar, motorlar vb. mekanizmalarda faydalanılmaktadır. Bu mekanizmaların mikro büyüklükten, nano boyuta indirilmesi üzerine araştırmalar yapılmaktadır.
2. Araçlarda: Yağlayıcı maddeler veya şanzıman yağları, motor soğutucuları, otomatik iletim akışkanları ve diğer sentetik yüksek sıcaklık akışkanları oldukça zayıf ısı transfer kabiliyetine sahiptirler. Bu akışkanlara nanopartiküllerin ilave edilmesi durumunda daha yüksek ısıl iletkenlik sağlanabilir. Böylece ilerde motor, pompa, radyatör ve diğer parçaların daha küçük ve hafif üretilmesini de sağlayacaklardır.
3. Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde: Isı değiştiricileri, ısı pompaları, ısı boruları gibi sistemlerde nanoakışkan kullanılarak ısı transfer kabiliyeti artırılabilir. Böylece artan performansla yatırım maliyeti düşürülebilir.
4. Tıbbi uygulamalarda nanoakışkanların kullanım alanlarına örnek verecek olursak; mikrocerrahide, diagnostik kitlerde, bilimsel araştırmalarda, yüzey karakterizasyonu ve modifikasyonu, mikroorganizmaların taşınması, DNA modifikasyonu vb. gibi uygulamaların geliştirilmesinde faydalanılabilir.

5. Malzemelerde: Nanoakışkanların bu alanda kullanımına örnek verecek olursak; saydamlık, azalan ağırlık, artan dayanım özelliklerini gösteren malzemeler, giyenin sağlık ve fiziki durumu hakkında uyarılar veren akıllı kumaşlarda faydalandığı malzemeler olarak sayılabilir. Nanoteknoloji kullanılarak tarımsal malzemelerin yararlı ürünlere dönüşümü gerçekleşecek ve bu dönüşümün sonucu olarak çevrenin korunması sağlanabilecektir. Çağımızda bitkisel yağların biyo-yakıtlara ve endüstriyel çözeltilere dönüşümünde ihtiyaç duyulan nanokatalizörlerin geliştirilmesi ve tasarımı alanında araştırmalar devam etmektedir [127].

2.7. Nanoakışkanlarda Isı Transferi

Sıcaklık farkının bulunduğu bütün ortamlarda ve ortamlar arasında ısı transferi muhakkak meydana gelir. Hareketsiz bir katı veya bir akışkanın bulunduğu ortam içinde, sıcaklık farkından dolayı gerçekleşen ısı transferi adlandırılırken, iletim terimi kullanılır. Bunun yanı sıra, bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise, aralarında gerçekleşen ısı transferi, taşınım terimi olarak anılır. Sonlu sıcaklığa sahip bütün yüzeyler elektromanyetik dalgalar şeklinde enerji yayarlar. Farklı sıcaklıktaki iki yüzey arasında, birbirlerini görmeye engel bir ortam bulunmuyorsa meydana gelen ısı alış verişine ışıınım denir.

İletim bir ortamdaki sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkan enerji transferini gösterir. Isı iletimi Fourier yasası ile tam olarak açıklanabilmektedir. Sabit kesit alanına sahip bir cisimin; bir boyutlu, kararlı haldeki ısı iletimi aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad , \quad q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2.10)$$

Taşınım, kitle hareketi, sıcak ve soğuk akışkan elamanların makroskopik parçalarının karışması, soğutucu ortam içindeki ısı iletimi ve enerji depolamanın bir bileşimidir. Akışkan içindeki sıcaklığın stabil durumda olmamasının neden olduğu yoğunluk farklarından kaynaklanan kaldırma kuvvetleri ile taşınım olayı ilişkili ise bu doğal (veya serbest) taşınım olarak adlandırılır. Bunun yanı sıra, akış; bir fan, pompa veya atmosferik rüzgarlar gibi bir dış etki ile meydana geliyorsa buna zorlanmış taşınım denir. Sıcak bir nesneden soğutucu akışkana olan ısı transferi Newton'un Soğutma Yasası olarak bilinen aşağıdaki eşitlikte ilişkilendirilmektedir:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (2.11)$$

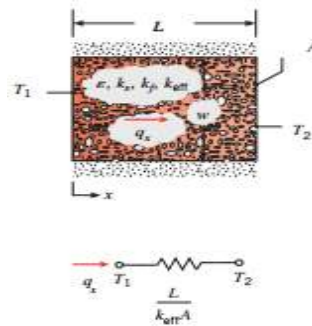
Konveksiyon katsayısı (h) birden fazla değişkene bağlıdır. Bunları sıralayacak olursak; akış yönündeki katı cismin şekli ve boyu gibi bir takım fiziksel geometrilere ve akışkanın tipi ve çalışma sıcaklığı gibi termodinamik özelliklere bağlıdır. Isı alıcılarında bu değişkenlere ek olarak kanatlar arasındaki boşluklar soğutma alanını belirlediği için kanatlar arasındaki boşlukta konvektif ısı transfer katsayısını belirlemektedir. Zorlanmış konveksiyonla ısı transferinde; ısı transferi katsayısı özellikle akışı karıştıran ve vorteksler üreten yüzeyler boyunca, akışkana ait olan lineer hızla doğrudan alakalıdır.

Radyasyonla ısı transferi sonlu sıcaklıktaki malzeme tarafından yayılan ve elektromanyetik dalgalarla iletilen enerjidir. Enerji iletim ve taşınımıyla transfer edilirken bir madde ortamına gerek duyar, fakat radyasyonda buna gerek yoktur. Sonlu sıcaklıktaki bütün cisimler veya nesneler radyasyon yaydığı gibi aynı zamanda bu cisim ya da nesneler çevrelerindeki radyasyon yayan cisimlerin yaydığı bu radyasyonlar için alıcı konumundadır. Bu olay radyasyonun soğutulması olarak bilinir. Bu nedenle radyasyonun etkisinden bahsedilirken aşağıdaki eşitlikle verilen bir yüzey ve çevresi arasındaki net radyasyon ısı değişim miktarını dikkate almak gerekmektedir;

$$q''_{rad} = \frac{q}{A} = \varepsilon E_b(T_s) - \alpha G = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (2.12)$$

Endüstriyel uygulamaların birçoğunda ısı transferi üç şekliyle mevcuttur. Uygulamadaki çalışma şartlarına ve dominant olan ısı transferi çeşidine göre biri veya bir kaçını ihmal edilebilir [128].

Nanoakışkanların ısı transferine etkilerini inceleyen araştırmacılar, nano boyutta partikül katılmış olan akışkanlarda sadece ısı iletkenliğinin değil aynı zamanda ısı transfer katsayısının da temel akışkanlı sistemlere göre çok büyük olduğunu Şekil 2.27' de görüldüğü gibi gözlemlemişlerdir.



Şekil 2.27. Nanoakışkanların ısı transfer özellikleri

Sıvıların ve katıların karışımları ile elde edilen süspansiyonun ısı transfer özelliklerini uyarlamak için aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$q_x = \frac{k_{eff} A}{L} (T_1 - T_2) \quad (2.13)$$

Eğer akışkan hareketi önemsizse, ortamdaki ışıyım ısı transferi de ihmal edildiğinde yukarıdaki eşitlik geçerlidir. Eşitlikteki k_{eff} efektif ısıl iletkenliktir. Efektif ısıl iletkenlik ortamının gözeneklilik veya hacim fraksiyonu ile değişir. Ayrıca katı ve sıvının ısıl iletkenliğine de bağlıdır.

Farklı araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalar hem laminar hem de türbülanslı akış koşullarında nanoakışkanın ısı transfer katsayısındaki artışın ısıl iletkenlikten daha fazla olduğunu göstermiştir.

Taşınımın temel yasası Fourier'in iletim yasası teklif edilmeden önce Newton tarafından ilan edilmiştir ve Newton'un soğuma yasası olarak adlandırılmıştır.

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad (2.14)$$

Burada Q duvarla hareketli sıvı arasındaki ısı transferidir. A ise katı-sıvı arasındaki ortak yüzey alanıdır. T_w yüzey sıcaklık ortalaması, T_f ise sıvının giriş ve çıkış sıcaklığı ortalamasıdır [129]. Taşınım ısı transferi sınır tabaka içindeki akışkanın çeşitli hareketleriyle gerçekleşir bunlar; rastgele moleküler hareket ve kitlesel hareketleridir. Alman bilim adamı Ludwig Prandtl, basit bir akış durumunda viskozite ve sürtünmenin etkisiyle duvara yakın bir bölgede ince bir tabaka gözlemlemiştir. Bu tabakayı sınır tabaka olarak adlandırmıştır. İki çeşit sınır tabaka vardır;

- Isıl sınır tabaka
- Hidrodinamik sınır tabaka

2.8. Laminar Ve Türbülanslı Akışlar

Akış düşük hızlarda akım çizgisi şeklindedir. lakin hız kritik bir değerin üzerine çıktığında karmaşık bir hal alır. İlk durumdaki akış rejimine laminar denir. Düzgün akım çizgileri ve çok düzenli hareketi ile bilinir. Hızın kritik durumun üzerine çıktığı duruma ise türbülanslı akış olarak adlandırılır. Hız çalkantıları ve aşırı düzensiz hareketi ile kendini gösterir. Laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş biranda olmaz. Akış tamamen türbülanslı oluncaya kadar, laminar ve türbülanslı akış arasında gidip gelir. Uygulamada görülen bir çok akış türbülanslıdır. Yüksek viskoziteli akışkanların örnek verecek olursak yağ gibi akışkanların küçük borularda veya dar geçitlerde aktığı hallerde laminar akış görülmektedir [2].

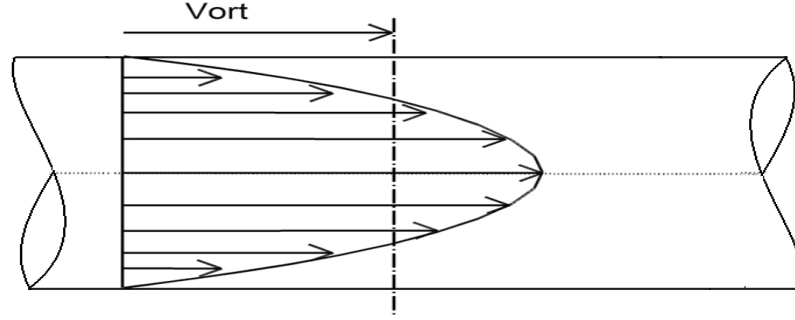
İngiliz Mühendis Osborne Reynolds' un 1842-1912 tarihleri arasında yaptığı gibi laminar geçiş ve türbülanslı akış rejimlerinin varlığını cam boru içindeki akışa boya enjekte ederek görebiliriz. Akış laminar iken oluşan desenin düşük hızlarda düz ve pürüzsüz çizgi halinde olduğunu (moleküler difüzyondan dolayı bir miktar bulanıklık) görebiliriz . Geçiş rejiminde çalkantı patlamaları olduğunu ve akış tam gelişmiş hale geldiğinde ise hızlı ve rastgele zikzaklar oluştuğunu görürüz. Boyanın bu zikzakları ve yayılımı ana akıştaki değişimi; komşu tabakalardan geçen akışkan parçacıklarının hızlı bir şekilde karıştığının göstergesidir [2].

Türbülanslı akıştaki hızlı değişimin sonucu olarak akışkanın yoğun bir şekilde karışmasının meydana gelmesi; akışkan parçacıkların arasındaki momentum geçişini artırır. Bu da yüzeydeki sürtünme kuvvetini ve dolayısıyla gerekli pompalama gücünü artmasına neden olur. Akışta tam gelişme gerçekleştiği esnada sürtünme faktörü maksimum değere ulaşır [2].

Reynolds Sayısı:

Laminardan türbülanslı akışa geçişi etkileyen bir çok faktör bulunmaktadır. Bunlar; geometri, yüzey pürüzlülüğü, akış hızı, yüzey sıcaklığı, akışkan türü ve daha birçok nedeni bulunmaktadır. Osborne Reynolds 1880 li yıllarda yaptığı ayrıntılı çalışmalardan sonra akış rejiminin temelde; akışkandaki atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranına bağlı olduğunu bulmuş olup bu oran Reynolds sayısı olarak adlandırılmaktadır [2].

Borularda akışkan hızı, kaymama koşulundan dolayı yüzeydeki sıfır değerinden boru merkezindeki maksimum değerine doğru artış gösterir. Akışkanlarda ortalama hız V_{ort} ile çalışmak daha uygundur. Bu değer sıkıştırılamaz akışta borunun en ve kesit alanı değişmediği sürece değişmez.



Şekil 2.29. Boru içerisindeki hız dağılımı

Isıtma ve soğutma sistemlerinde ortalama hız, yoğunluk ve sıcaklıkta meydana gelen değişimlerden dolayı bir miktar farklılık gösterebilir. Ancak uygulamada akışkan özellikleri ortalama bir sıcaklık baz alınarak belirlenir ve bunları birer sabit olarak ele alırız. Sabit özelliklerle çalışmanın güvenilirliği, genelde doğruluktan çok az bir sapma olsa bile fazlasıyla telafisi olduğundandır. Reynolds sayısı dairesel borulardaki iç akış için şu gösterimde formülize edilebilir [2].

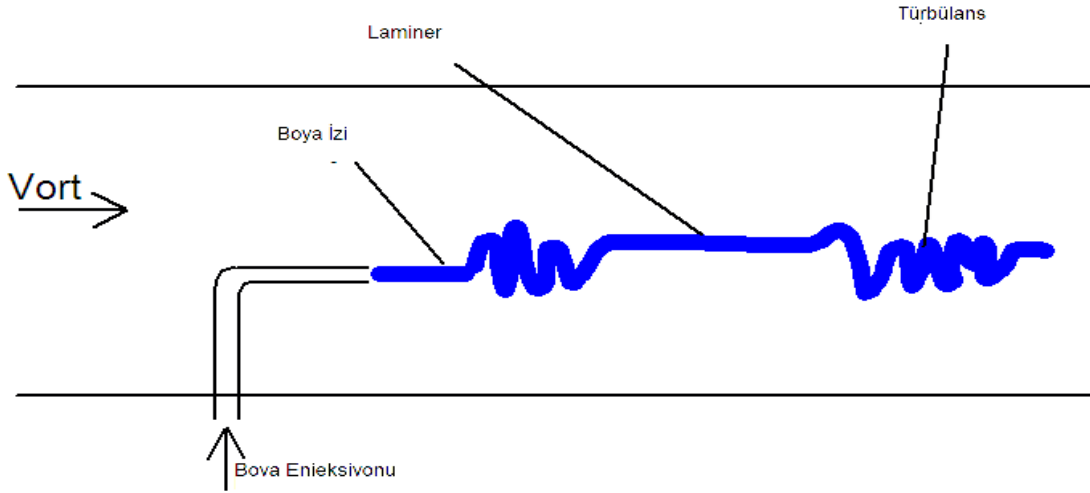
$$Re = \frac{\text{Atalet Kuvvetleri}}{\text{Viskozite Kuvveti}} = \frac{V_{ort} \times D}{\nu} = \frac{\rho \times V_{ort} \times D}{\mu} \quad (2.17)$$

Reynolds sayısı büyüdükçe; akışkan yoğunluğu ve akışkanın hızının karesiyle doğru orantılı olarak atalet kuvvetleri, viskoz kuvvetlere oranla daha büyür. Bundan dolayı viskoz kuvvetler akışkanın hızlı ve rasgele değişimlerini engel olamazlar. Küçük veya orta büyüklükteki Reynolds sayılarında ise viskoz kuvvetler bu değişimleri bastıracak kadar ve akışkanı çizgi üzerinde tutacak seviyede büyüktür. Bu yüzden birinci durumda akışkan türbülanslı ikinci durumda ise laminardır [2].

Akışın türbülanslı olmaya başladığı Reynolds sayısına Kritik Reynolds sayısı Re_{kr} denir. Farklı geometriler ve akış şartları için Kritik Reynolds sayısının değeri değişim gösterir. Dairesel borudaki iç akış için Kritik Reynolds sayısının genelde kabul edilen değeri $Re_{kr}=2300$ dür.

Laminar, geçiş ve türbülanslı akışlar için Reynolds sayısının kesin değerlerini bilmek isteriz. Ama uygulamada kesin değerleri belirlemek çok da kolay değildir. Laminardan türbülanslı akışa geçişde etkin olan faktörler; yüzey pürüzlülüğü, boru titreşimleri ve akıştaki çalkantıların sebebi olan akışın düzensizlik derecesiyle alakalı olduğu görülmüştür. Çoğu pratik uygulamada dairesel borulardaki akışlarda $Re \leq 2300$ için akış

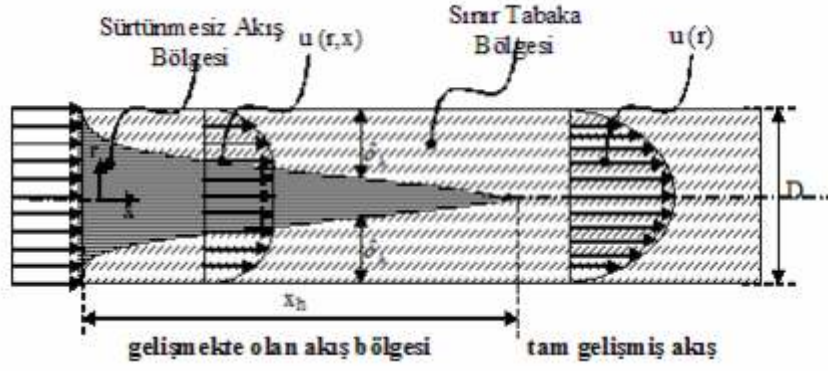
laminardır. $Re \geq 4000$ için akış türbülanslı ve bu iki değerin arasındaki Reynolds sayısı değerlerinde ($2300 \leq Re \leq 4000$) akış geçiş akışı olur [2].



Şekil 2.30. $2300 \leq Re \leq 4000$ arasındaki geçiş akışı bölgesinde akış, laminar ve türbülanslı durumlar arasında rastgele bir şekilde değişir [2].

Çok Pürüzsüz borularda, akış düzensizliklerinin ve boru titreşimlerinin engellenebilmesi halinde, çok yüksek Reynolds sayılarında da laminar akış görülebilir [2].

Hidrodinamik Sınır Tabaka: Şekil 2.31.'deki gibi bir dairesel borudaki laminar akışı inceleyecek olursak akışkan boruya sabit hızla giriş yaparsa, akışkan yüzeye temas ettiğinde, sürtünme etkileri önem kazanmakta ve boru içinde ilerledikçe sınır tabaka gelişmektedir. Bu gelişme akış bölgesinin giderek küçülmesi ve boru ekseninde sınır tabakaların birleşmesiyle sona erer. Bu birleşme noktasından sonra, sürtünme tüm kesit boyunca etkili olur ve hız profili artık x ile değişmez. Bu noktadan sonra akış hidrodinamik olarak tam gelişmiştir. Girişten bu koşulun gerçekleştiği noktaya kadar olan uzaklık hidrodinamik giriş uzunluğu ($x_{fd,h}$) olarak adlandırılır. Tam gelişmiş hız profili şekilden de anlaşılacağı üzere laminar akış için paraboliktir. Türbülanslı akış durumunda radyal doğrultudaki hız profili karışımından dolayı daha düzdür [128].



Şekil 2.31. Hidrodinamik sınır tabaka gelişimi

Moleküllerin rastgele hareketi sebebi ile yüksek konsantrasyonlu bir bölge düşük konsantrasyonlu bir bölge ile temasa geçmesi sonucu yüksek konsantrasyondan düşük konsantrasyonlu bölgeye doğru difüzyonla bir akış gözlenmektedir. Süspansiyondaki parçacıkların Brownian hareketi nedeni ile belirli bir zamanda ortalama olarak ne kadar yol aldığını hesaplayabilmek ve bunun büyüklük mertebesini belirleyebilmek için parçacığın çökme eğiliminin kıyasıyla belirlenebilir. Bu tip difüzyon hareketleri çeşitli uygulamalarda görülebilir bunlar; kütle transferi, sedimantasyon, yoğunluk akımları ve taşınımında incelenebilir [130].

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Nano Partikül Ve Nanoakışkan Üretiminde Kullanılan Malzeme Ve Aletler

3.1.1. Partikül üretiminde kullanılan malzemeler

Çinko Asetat, Bakır Asetat, Sodyum hidroksit, Amonyak, Saf Su malzemeleri kullanılmıştır.

3.1.2. Elektronik hassas tartı

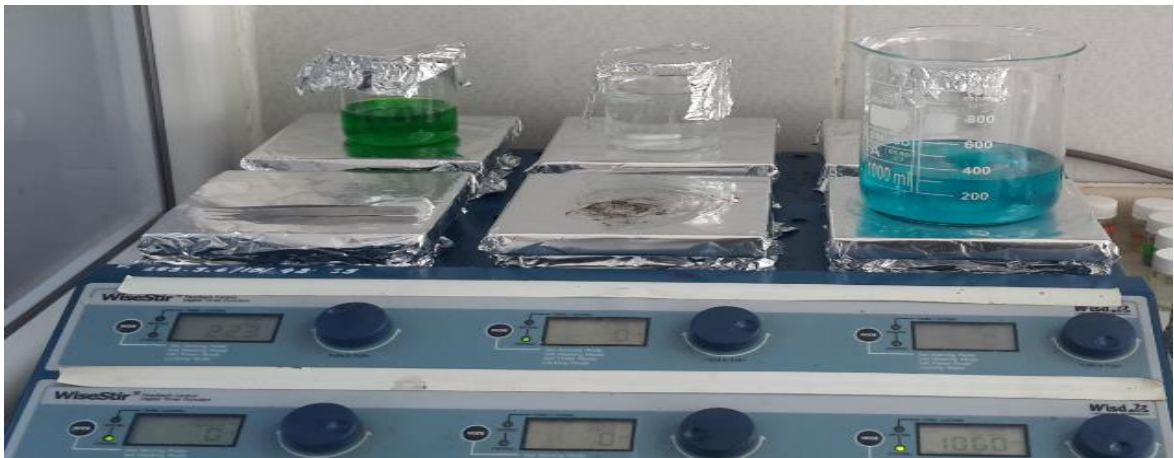
Malzeme miktarlarını ayarlamak için kullanılır.



Şekil 3.1. Elektronik hassas tartı

3.1.3. Elektronik balıklı karıştırıcı

Hız ve sıcaklık ayarları yapabilme özelliklerine sahiptir.



Şekil 3.2. Elektronik balıklı karıştırıcı

3.1.4. Ultrasonik banyo

Sıcaklık ve zaman ayarlama özelliklerine sahiptir.



Şekil 3.3. Ultrasonik banyo

3.1.5. Beher ve huni

Nanopartikülleri elde etmek için kurutma yapılmadan önce saf suyu partiküllerden ayırmak için kullanılır.



Şekil 3.4. Beher ve huni

3.1.6. Yüksek sıcaklık ayarlı fırın

Partikülleri yüksek sıcaklıkta kurutma işlemine tabi tutmak için kullanılır.



Şekil 3.5. Yüksek sıcaklık ayarlı fırın

3.1.7. SEM cihazı ön hazırlık ünitesi (kaplama)

SEM cihazında incelenecek malzemenin kaplaması yapılarak hazır duruma getirilir.

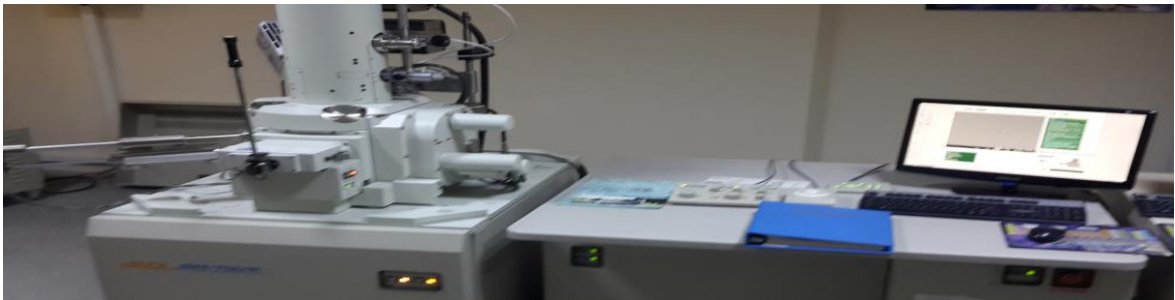


Şekil 3.6. SEM cihazı ön hazırlık ünitesi (kaplama)

3.1.8. SEM Cihazı

İnsan gözünün çok ince ayrıntıları fark etme imkanı yok denecek kadar azdır. Bu sebepten dolayı görüntü iletimini sağlayan, ışık yollarının merceklerle değiştirilmesi sonucu daha küçük boyuttaki cisimlerin görülebilmesine imkan veren optik cihazlar üretilmiştir. Fakat bu cihazlar, gerek büyütme oranlarının sınırlı oluşu gerekse elde edilen görüntü üzerinde işlem yapma imkânının olmaması sebebiyle araştırmacıları bu temel üzerinde yeni teknolojik sistemler geliştirmeye yöneltmiştir. Elektronik ve optik sistemlerin birlikte kullanımı ile yüksek ölçekli büyütme sağlandığı, işlem ve analizler yapılabilen görüntülerin elde edildiği cihazlar geliştirilmiştir [133].

Elektrooptik prensipler doğrultusunda üretilmiş taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM), bu amaca yönelik hizmet eden cihazlardan birisidir. Taramalı Elektron Mikroskobu, birçok alanda araştırma-geliştirme çalışmalarında kullanımının yanında, mikro elektronikte yonga üretiminde, sanayinin değişik kollarında hata analizlerinde, biyolojik bilimlerde, tıp ve kriminal uygulamalarda çok sık olarak kullanılmaktadır. İlk ticari taramalı elektron mikroskobu 1965'de kullanılmaya başlanmış, daha sonra teknik açıdan gelişmeler birbirini seyretilmiştir. Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntünün elde edilme aşamaları şu şekilde sıralanmakta; yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması daha sonra bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli etkileşimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla görüntü elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir. Gerek ayırım gücü (resolution), gerek odak derinliği (depth of focus) gerekse görüntü ve analizi birleştirebilme özelliği, taramalı elektron mikroskobunun kullanım alanını genişletmektedir [133].



Şekil 3.7. SEM cihazı

3.1.9. FTIR (Fourier Transform Infrared Spektroskopisi) Analizi

Kızılötesi (IR) absorpsiyon spektroskopisi bir tür titreşim spektroskopisidir. IR ışınları molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulmaktadır. Matematiksel Fourier dönüşümü spektroskopisinde ışın şiddeti, zamanın bir fonksiyonu olarak ele alınır. Her dalga boyunu ayrı ayrı tarama gerekmeksizin hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumlar elde edilebilir [134].

FTIR, her dalga boyunu tek tek taramak gerekmediği için spektrum birkaç saniyede kaydedilir ve yarık veya prizma kullanılmadığı için duyarlık değişmeden yüksek ayırmalı spektrumlar elde edilir. Ayrıca alınan spektrumda S/N (Signal/Noise – Sinyal/Gürültü) oranı diğer spektroskopi yöntemlerine göre çok daha yüksek olduğundan bantlar net ve şiddetli bir şekilde gözlemlenebilir.

Cihaz Parçaları:

1. Kullanılan Işık Kaynakları

Infrared spektrofotometresinde kullanılan ışık kaynağı infrared ışıması yayan ve elektrikle 1600-200 K kadar ısınabilen sert katı maddelerdir.

Nerst çubuğu: Uzunluğu 20 mm, çapı 1-2 mm olan nadir toprak metali oksitlerinden yapılmıştır.

Globalar çubuğu: 5 mm çapında, 500 mm uzunluğunda silisyum karbürden oluşmuş bir silindirdir.

Tungsten-Flaman Lambası: Dalga boyu 0.78-2.5 μm (yakın infrared) arasındaki bölgesinde ışın yapan bir ışık kaynağıdır.

Civa-ark lambası: Uzak infrared (50 μm den büyük) bölgesi için kullanılan bir ışık kaynağıdır.

Nikrom Teli: Bu ışık kaynağı uzun ömürlüdür.

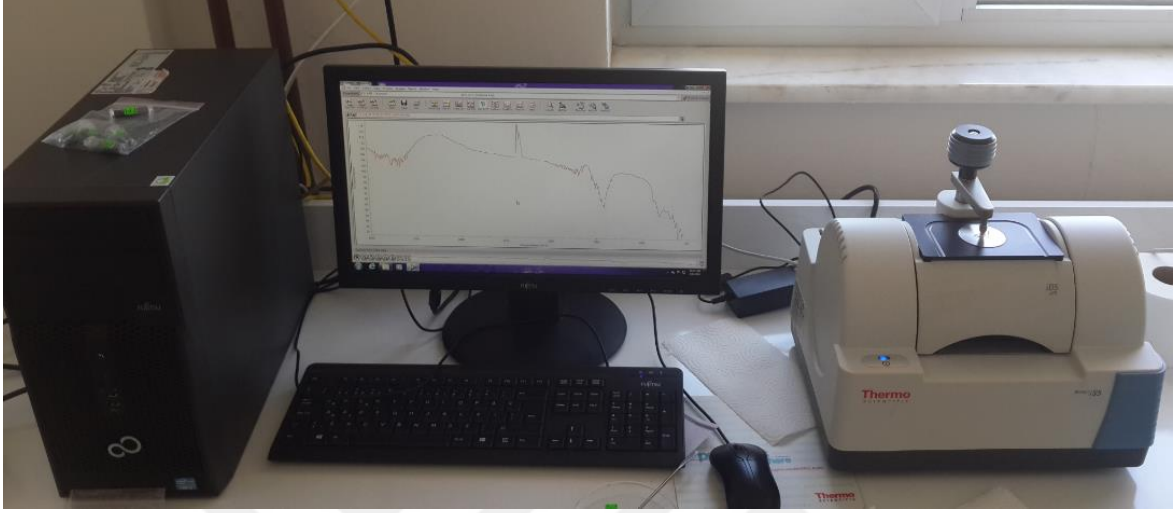
2. Infrared Dedektörler

Piroelektrik Dedektörler: Yalıtkan Piroelektrik malzemelerin kristalinden yapılmıştır. Bu işlemde en çok kullanılan trigilisin sülfattır. Dielektrik malzemeler boyunca bir elektriksel alan uygulandığında, malzemede dielektrik sabitine bağlı olarak bir elektriksel polarlanma olduğu gözlemlenir. Elektriksel alan ortadan kaldırılınca bu polarlanma kaybolur. Trigilisin sülfat kullanıldığında bu elektriksel alan ortadan kalktığında bile polarlanma devam eder.

Fotoiletken Dedektörler: Kurşun sülfür, indiyum antimonü gibi yarı iletken malzemelerden üretilmiştir. Bu malzemelerin IR ışımasını absorblaması neticesinde iletken

olmayan değerdeki elektronları iletkenlik bandına uyarılır ve yarı iletkenin elektriksel direncinin azalmasına sebep olur.

Termal Dedektörler: Üzerine düşen ışımayı absorblaması sonucunda sıcaklık artışının belirlenmesi temeline dayanır çalışma sistemi [134].



Şekil 3.8. Fourier transform infrared spektroskopisi

3.1.10. Pelet hazırlama aleti

UV cihazında ölçüm alabilmek için mazemenin toz halinden preslenerek kalıp halini alması sağlanır.



Şekil 3.9. Pelet hazırlama aleti

3.1.11. Ultraviyole ve görünür ışık (UV-Vis) absorpsiyon spektroskopi cihazı

Bir ışın demetinin bir numuneden geçtikten veya bir numune yüzeyinden yansıtıldıktan sonraki ışığın azalmasının ölçülmesidir. Işığın şiddetinin azalması absorplamanın arttığını gösterir. Örneğin derişimin belirli bir dalga boyundaki absorpsiyonu ölçerek bulunur. UV-Vis spektroskopi genellikle çözeltideki moleküller veya inorganik iyon ve komplekslerin ölçümünde kullanılır. Moleküller UV veya Vis dalga boylarını absorplar, farklı moleküller farklı dalga boylarını absorplarlar. Absorpsiyon spektrumları molekülün yapısını gösteren birçok absorplama bantlarından oluşmaktadır [135].



Şekil 3.10. Ultraviyole ve görünür ışık (UV-Vis) absorpsiyon spektroskopi cihazı

3.1.12. Termogravimetri (TG) - Diferansiyel termal analiz (DTA) cihazı

Bu yöntemde programlı olarak arttırılan veya azaltılan sıcaklık sonucunda analizi yapılacak maddenin kütleinde meydana gelen azalmalar, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak incelenmektedir. Elde edilen sıcaklık kütle eğrilerine termogram veya termal bozunma eğrileri denilir. Sıcaklık artışı sonucunda meydana gelen kütle kayıpları; genel olarak su gibi uçucu bileşiklerin yapıdan ayrılması veya maddenin ayrışmasıdır [136].

Termogravimetri cihazı çeşitli parçalardan oluşmaktadır bunlar; hassas bir terazi, iyi bir fırın, kütle ve sıcaklık değişimini otomatik olarak kaydeden bir sistem, inert gazlı bir temizleyici ve analiz sırasında gazı kesebilen veya değiştirebilen parçalardır.

Analizi yapılacak numune miktarı 5 mg ile 50 mg arasında değişmektedir. Örneğin koyulduğu özel numune kabı ortamda oluşacak gazları absorplamamalıdır ve hiç bir şekilde kataliz etkisi yaratmamalıdır. Bu numune kabı terazinin içerisine yerleştirilir. Terazinin

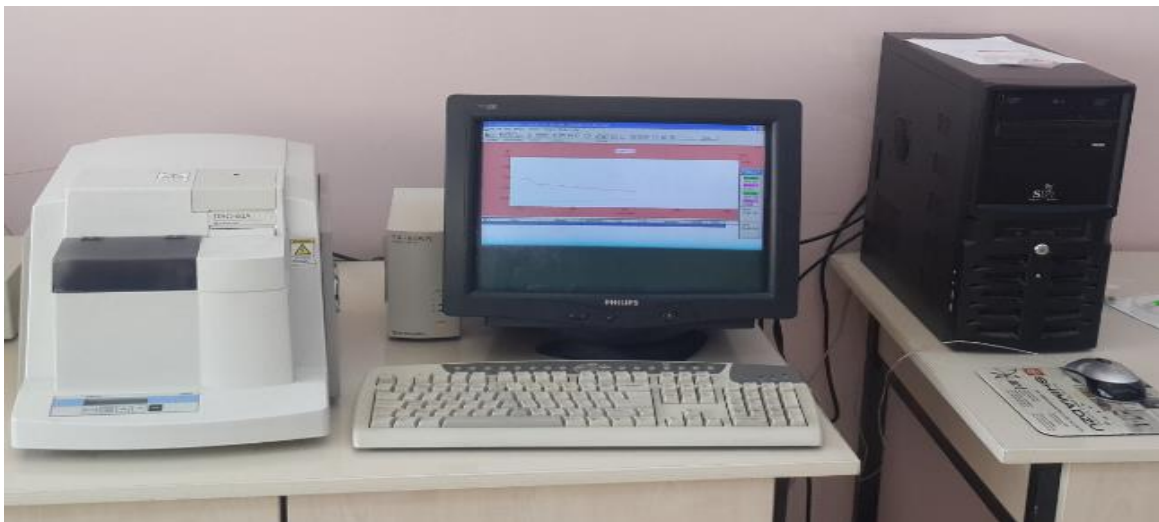
numune koyulan kısmının dışındaki diğer bütün kısımları fırından izole edilmiştir. Teraziler elektromıknatısın kolları arasına yerleştirilmiş bir kola tutturulur. Elektromıknatıstan geçen akım elektrik sinyali olarak kaydedilir. Sistemdeki fırının sıcaklığı 25-1600°C arasında, istenilen sürelerde istenildiği kadar arttırılarak ayarlanabilir.

Diferansiyel Termal Analiz (DTA):

Bu yöntemde numune ve termal olarak inert olan referans maddeye aynı sıcaklık programı uygulanır. İkisi arasındaki fark, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Bu iki madde bir arada ısıtılır. Sıcaklık düzgün bir şekilde arttırılır. TG deki gibi sadece kütle kaybına bağımlı olmadığı için daha geniş bir kullanım alanı vardır. Isının absorblandığı veya açığa çıktığı her numuneye uygulanabilir. Fiziksel olarak absorpsiyon ve kristalizasyon olayı ekzotermik bir olaydır. Desorpsiyon, süblimleşme, erime ve buharlaşma olayları ise ekzotermiktir. Kimyasal olarak ise polimerleşme ve oksitlenme ekzotermik; bozunma, dehidrasyon ve indirgenme olayları ise endotermiktir.

Örneğin sıcaklığı (T_o) ve referans maddesinin sıcaklığı (T_r) arasındaki DT farkı sürekli olarak kaydedilir.

Fırında numune ve referans koymak için birbirinden izole edilmiş iki kap bulunur. Kapların çok yakın bir yerine iki adet termal çift yerleştirilir. Numunenin termal çiftinin çıkışı mikrobilgisayara bağlanır. Bilgisayar numune sıcaklığını arttırırken diğer taraftan fırına giren akım şiddetini kontrol eder. Numune ve referans termal çiftleri arasında meydana gelen DE potansiyel farkı yükseltılarak DT sıcaklık farkına dönüştürülür. Ve böylelikle termogram elde edilir [136].



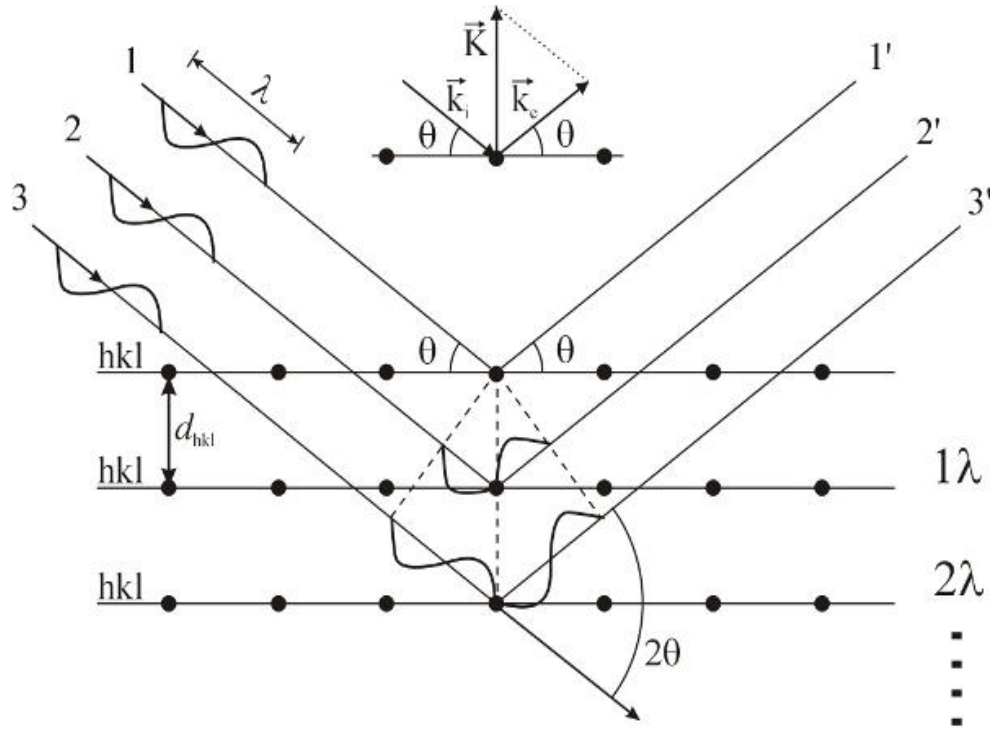
Şekil 3.11. Termogravimetri (TG) - Diferansiyel termal analiz (DTA) cihazı

3.1.13. XRD cihazı

X-ışını Kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-ışını kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar. X-ışını kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilir [133].

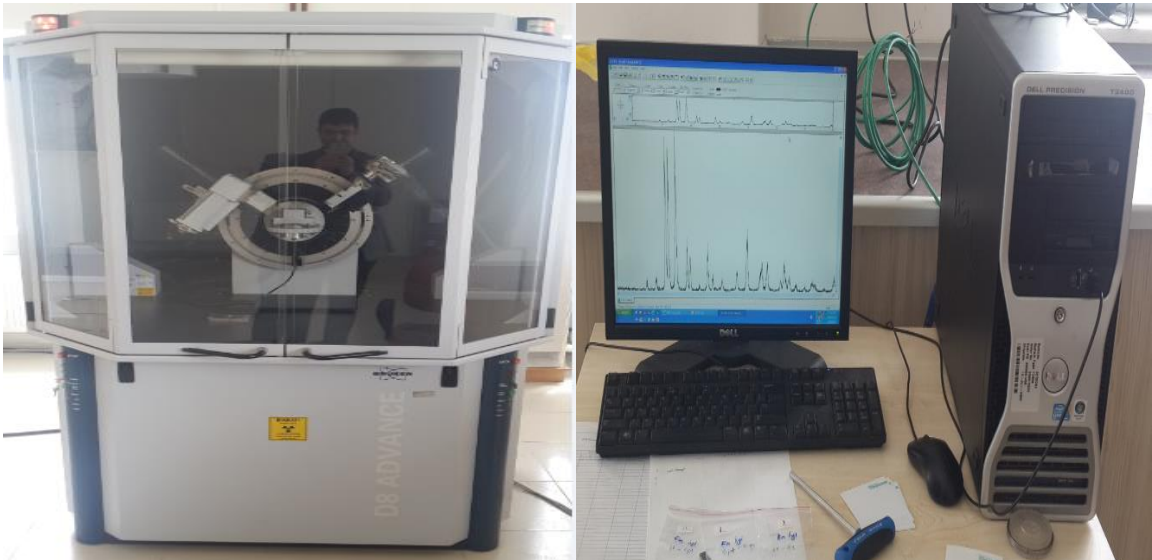
Cihaz bakır hedefli X-ışını tüpüne ve tüpteki ani sıcaklık değişimlerini kontrol eden su soğutucusuna sahiptir. Cihazda, monokromatize X-ışını elde edilmesini sağlayan, yüksek çözünürlükte Grafit Monokromatör kullanılmaktadır. Yeni bir ayar ve düzenleme yapılmaksızın, odak ya da paralel ışın geometrisinde çalışabilme imkanı sağlar. Rutin olarak kullanılan "Bragg-Brentano odak ışın geometrisi" yöntemi ile iyi kristallenmiş ve düzgün yüzeyli örneklerden oldukça güçlü kırınım bantları elde edilmesine karşın; yüzeyi pürüzlü, zayıf kristallenmiş örneklerin ve özellikle ince filmlerin faz tanımlamalarında "paralel odak ışın geometrisi" kullanılmaktadır. Ayrıca değişik kalınlıklardaki ince filmlerden, standart $\Theta/2\Theta$ ($2\Theta=3-90^\circ$ aralığında) tarama yöntemiyle genellikle zayıf bir sinyal alınmasına karşın, 2Θ tarama yöntemi ve sabit bir grazing açısı (GID-minimum 0.5°) ile, daha güçlü bir sinyal elde edilebilir. Bu teknikle, ince film ve polikristalin örneklerde hassas ölçümler yapılabilmektedir. Toz örneklerin ya da ince filmlerin X-ışını kırınım deseni elde edildikten sonra yapılan kalitatif analizlerde, ICDD kartlarında bulunan yaklaşık 200000 civarında madde ile karşılaştırma yapılarak fazlar belirlenmektedir.

Numunenin bireysel kırınım yapılandırılması nasıl olursa olsun, toz numunelerinin, kristalite büyüklüğü tayini, kristal yapının aydınlatılması için uygun ortamda yada farklı ortam koşullarında, kalitatif ve kantitatif faz kimliklerini belirlemenin yanı sıra bir dizi farklı uygulamalar gerçekleştirme özelliğine (mikro gerilme analizleri, kalıntı gerilme analizlerine) sahiptir [133].



Şekil 3.12. Atomik ölçekli kristal yapı

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (3.15)$$



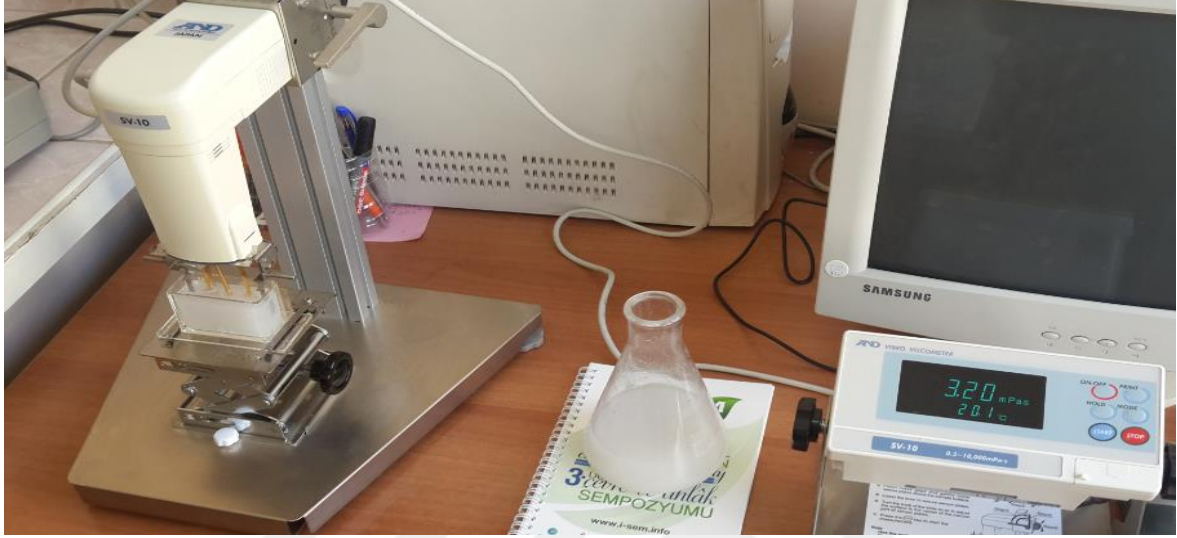
Şekil 3.13. XRD cihazı

3.1.14. Nanoakışkan üretiminde kullanılan mazemeler

Etanol, safsu, etilenglikol, CuO nanopartikül, ZnO nanopartikül

3.1.15. Viskozite ölçüm cihazı

Nanoakışkanların viskozitesinin belirlenmesinde ve sıcaklık karşısında gösterdiği değişimleri verilerle inceleme olanağı sağlar.



Şekil 3.14. Viskozite ölçüm cihazı

3.1.16. pH ölçüm cihazı

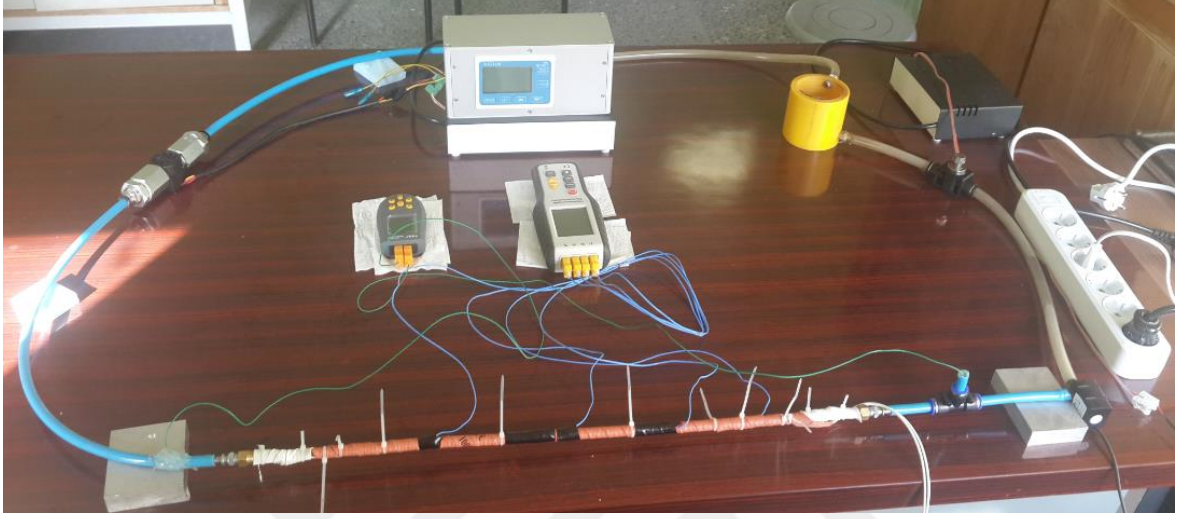
Hazırlanan nanoakışkanın pH değerinin belirlenmesinde (asitlik, bazlık değişimi) kullanılır.



Şekil 3.15. pH ölçüm cihazı

3.1.17. Nanoakışkanların termal iletkenlik özelliklerinin belirlendiği deney düzeneği malzeme ve cihazları

Bakır boru iç çapı 0.00432 metre, voltaj regülatörü, thermocouple, akışkan termometresi, akışkan haznesi, plastik boru, debi ayar vanası, debi ölçüm elektronik cihazı, pompa ve ısı bandı.



Şekil 3.16. Deney düzeneği

Şekil 3.1-3.16’da gösterilen cihaz ve deney aletleri tezin çeşitli aşamalarında kullanılarak sırasıyla nanopartikül üretimi, üretilen nanopartiküllerin analizleri yapılmış ve elde edilen nanoakışkanların termal fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, CuO ve ZnO nanopartikül üretimi yapıldıktan sonra üretilen partiküllerin tüm analiz ve ölçümleri yapılarak nanopartikül üretiminin başarılı olduğu görüldü. Üretilen nanopartiküllerle beraber temel akışkan olarak saf su, etanol ve etilen glikol malzemeleri kullanılarak nanoakışkanlar üretilmiştir. Üretilen bu nanoakışkanlar deney düzeneğinden geçirilerek ısı iletim katsayısı ve ısı transfer katsayılarını belirleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca üretilen nanoakışkanların viskozitelerinin sıcaklığa göre değişimleri belirlenmiştir. Tüm deneylerde Reynolds sayısı 846 ile 2292 arasında değişmektedir.

ZnO ve CuO nanopartikül üretimi için mazemeler şu oranlarda hazırlanmıştır. ZnO nanopartikül üretimi için önce 4.39 gram (0.02 mol) çinko asetat 100 ml ethanol içerisinde ultrasonik banyoda 30 dakika çözünür. Sonra 200 ml saf su içerisinde 8 gram (0.2 mol) NaOH (sodyum hidroksit) 30 dakika ultrasonik banyoda çözünür. En sonunda hazırlanan bu karışımlar birleştirilir ve balıklı karıştırıcıda 1 saat karıştırılır. Daha sonra karışımın pH'ını 7-10-12-14 oranlarında elde etmek için 10 ml lik beherlerle karışıma amonyak eklendi. pH oranları elde edildi. Karışım hazırlandıktan sonra 20 saat çökmeye bırakıldı. Bekleme işlemi bitince süzgeç kağıdı konularak hunilerde filitreleme işlemi yapıldıktan sonra, malzeme 50 °C' de kurutma işlemine tabi tutuldu. Son olarak 1 saat 450 °C' de malzeme ısı işlem gördükten sonra malzememiz hazır hale gelmiş oldu.

CuO nanopartikül üretimi için önce 4.39 gram (0.02 mol) çinko asetat 100 ml ethanol içerisinde ultrasonik banyoda 30 dakika çözünür. Sonra 200 ml saf su içerisinde 8 gram (0.2 mol) NaOH (sodyum hidroksit) 30 dakika ultrasonik banyoda çözünür. En sonunda hazırlanan bu karışımlar birleştirilir ve balıklı karıştırıcıda 1 saat karıştırılır. Daha sonra karışımın pH'ını 7-10-12-14 oranlarında elde etmek için 10 ml lik beherlerle karışıma amonyak eklendi ve pH oranları elde edildi. Karışım hazırlandıktan sonra 20 saat çökmeye bırakıldı. Bekleme işlemi bitince süzgeç kağıdı konularak hunilerde filitreleme işlemi yapıldıktan sonra, malzeme 50 °C' de kurutma işlemine tabi tutuldu. Son olarak fırında 450 °C' de 1 saat malzeme ısı işlem gördükten sonra malzememiz hazır hale gelmiş oldu.

Nanoakışkan üretimi için kullanılan malzemeler; %57.1 saf su, %28.6 etilen glikol ve %14.3 ethanol karışımına üretilen nanomalzemelerden % 0.1 – 0.2 ve 0.3 oranlarında katıldıktan sonra oluşan karışım 45 dakika ultrasonik karıştırıcıda karıştırıldı. Daha sonra

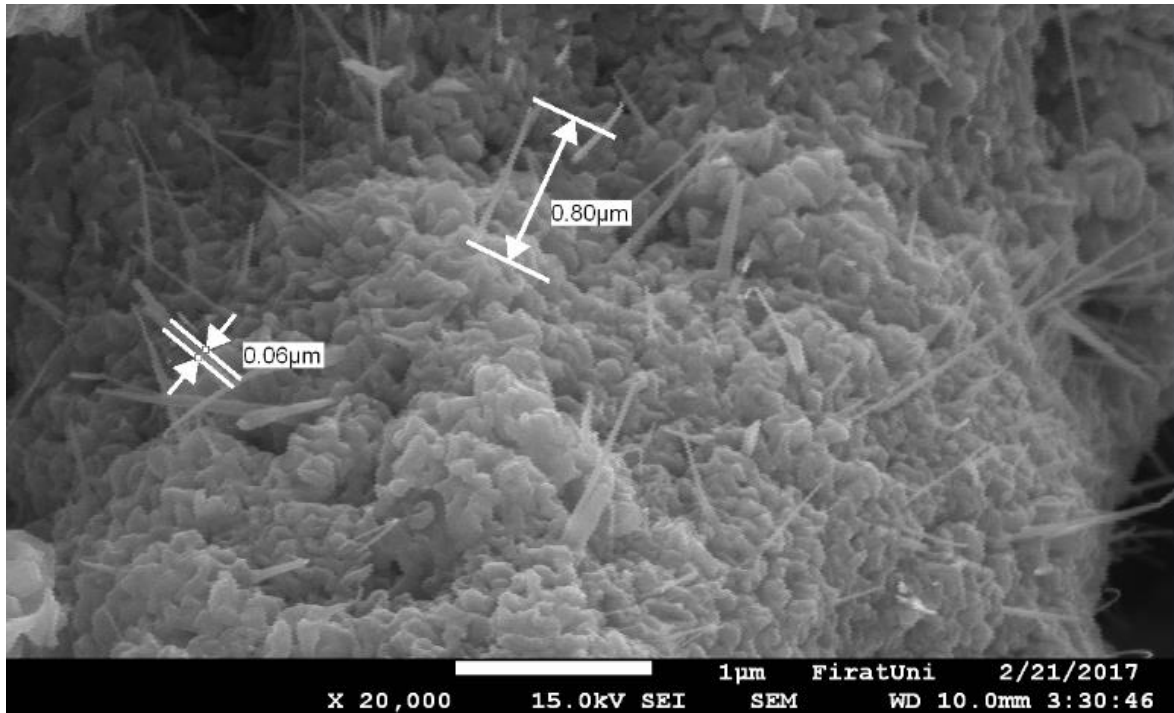
karışım 15 dakikada balıklı karıştırıcıda karıştırılarak nanoakışkan elde edildi. Karışım deney düzeneğinde kullanılmaya hazır hale gelmiştir.

Üretilen nanoakışkanın yoğunluğu belirlendikten sonra pH ölçüm cihazında akışkanların pH' ları belirlenir. Deneyden önceki son işlem olan viskozite ölçüm cihazında farklı sıcaklıklarda nanoakışkanların viskozite ölçümleri yapılır. Nanoakışkanların sıcaklıkla ile viskozitelerinin değişimi incelenmiş ve grafiği çizilmiştir.

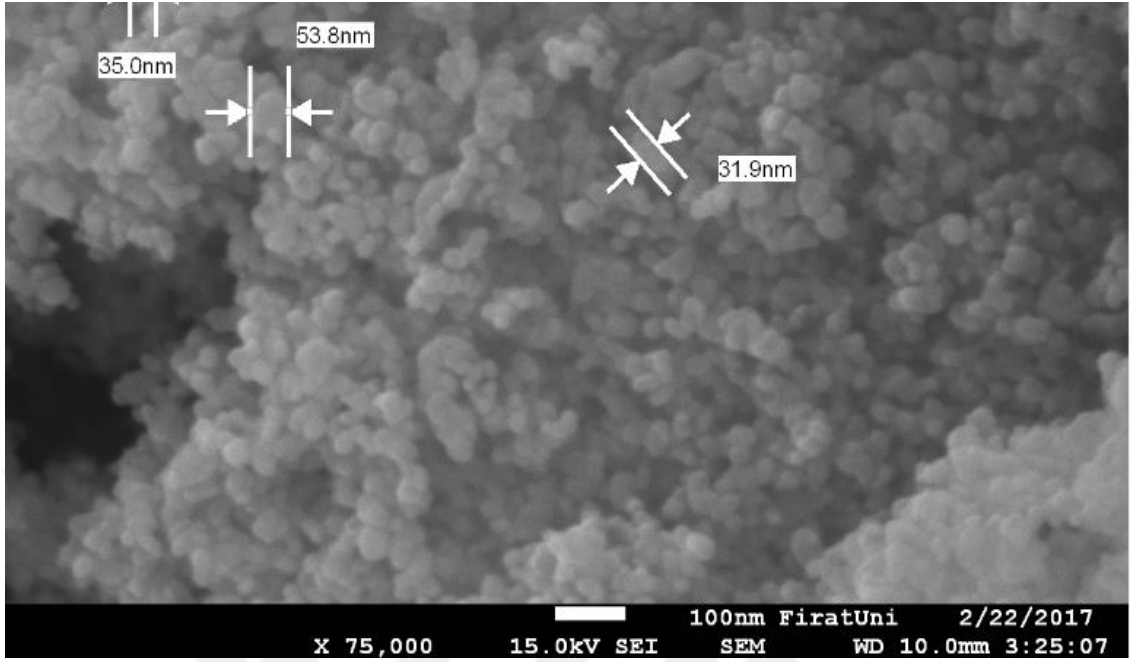
Deneyler öncelikle %100 saf su için yapılmıştır. Daha sonra %33.3 etilen glikol ve %66.7' si saf su olan karışım için deneyler tekrarlanmıştır. En son olarak etilen glikol-saf su karışımına nano partiküllerin katılması ile hazırlanan nanoakışkanlar için deneyler yapılmıştır. Tüm deneyler 846 ile 2292 arasında değişen 5 farklı Reynolds sayısı için gerçekleştirilmiştir. Deneyimizde ısı çiftler yardımıyla ve sürekli rejim şartlarında akışkanın 5 dakika aralıklarla giriş, çıkış sıcaklığı ve borunun 4 farklı noktasında yüzey sıcaklıkları ölçülmüştür. Elde edilen bu verilerden ısı transfer katsayısı ve ısı iletim katsayısı hesaplanmıştır.

Ayrıca nanoakışkanların ısı transfer katsayıları ile Reynolds sayısı arasındaki ilişkiyi veren grafikler çizilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen görsel ve grafiksel verilerin gösterimi sırasıyla şöyledir.

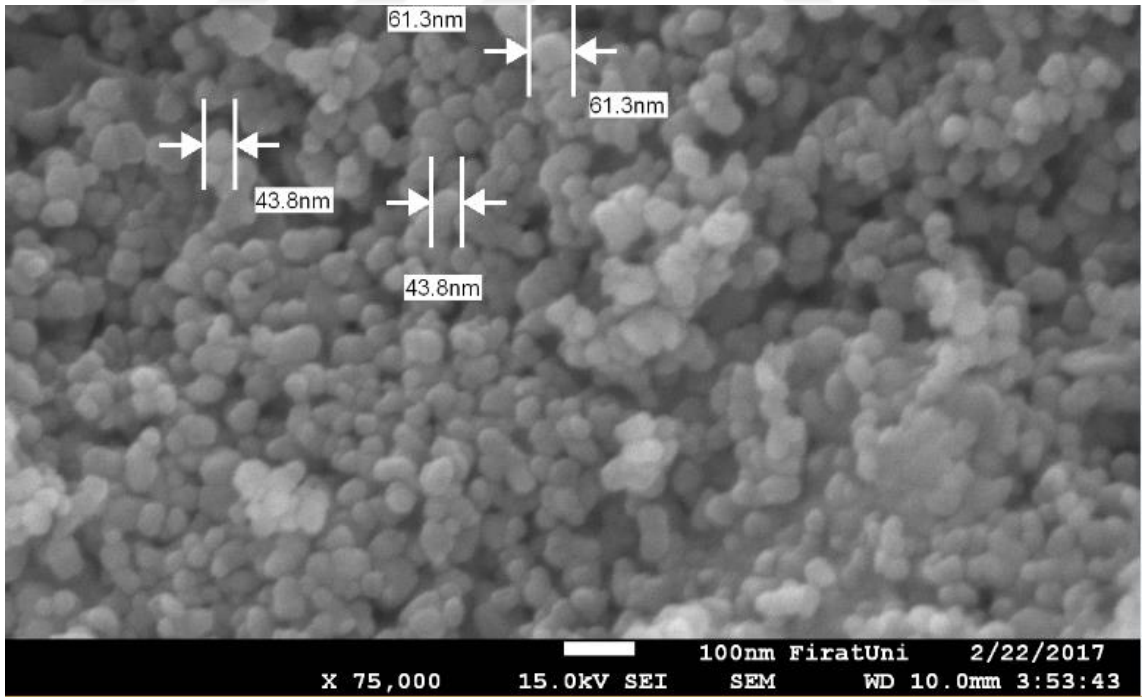
4.1. Malzemelerin SEM Görüntüleri



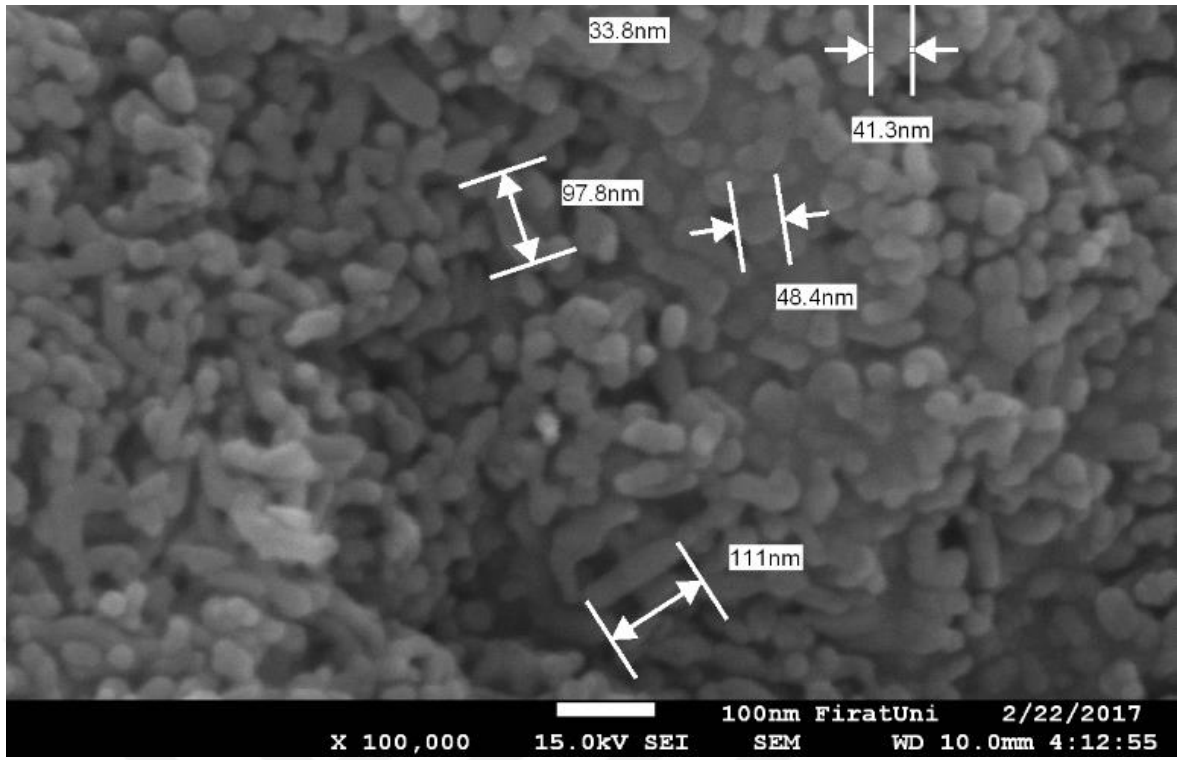
Şekil 4.1. CuO pH 7 SEM görüntüsü



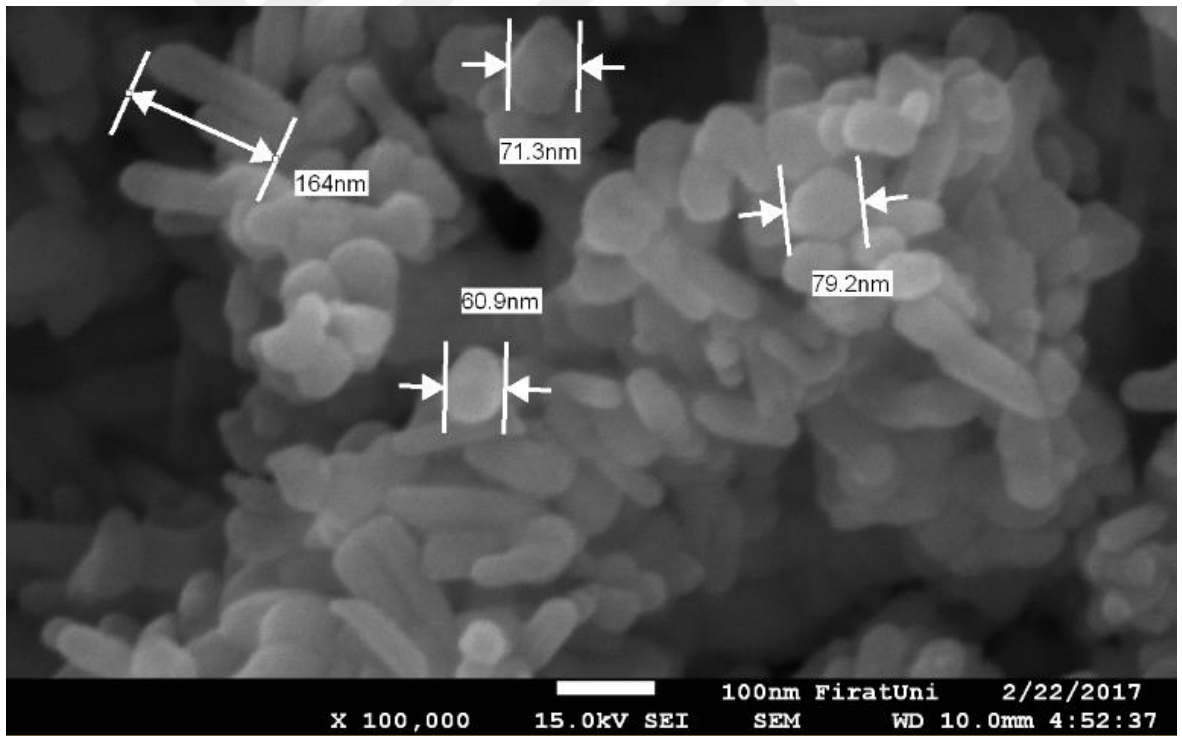
Şekil 4.2. CuO pH 10 SEM görüntüsü



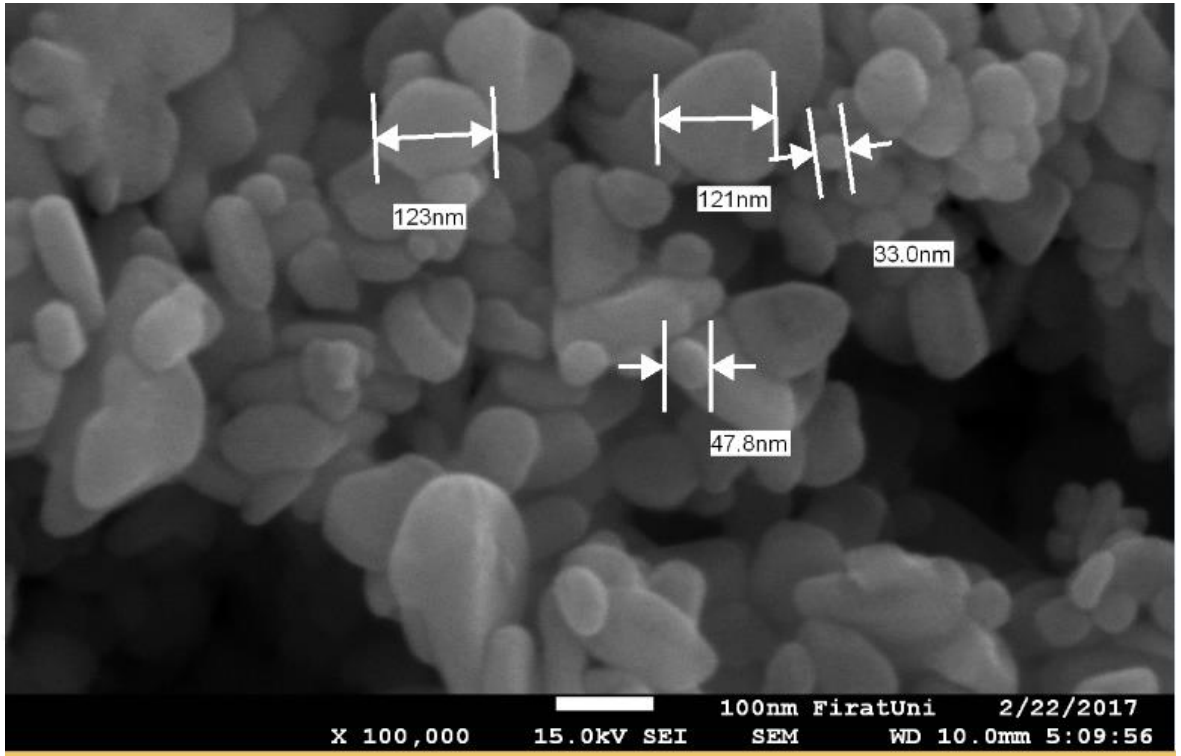
Şekil 4.3. CuO pH 12 SEM görüntüsü



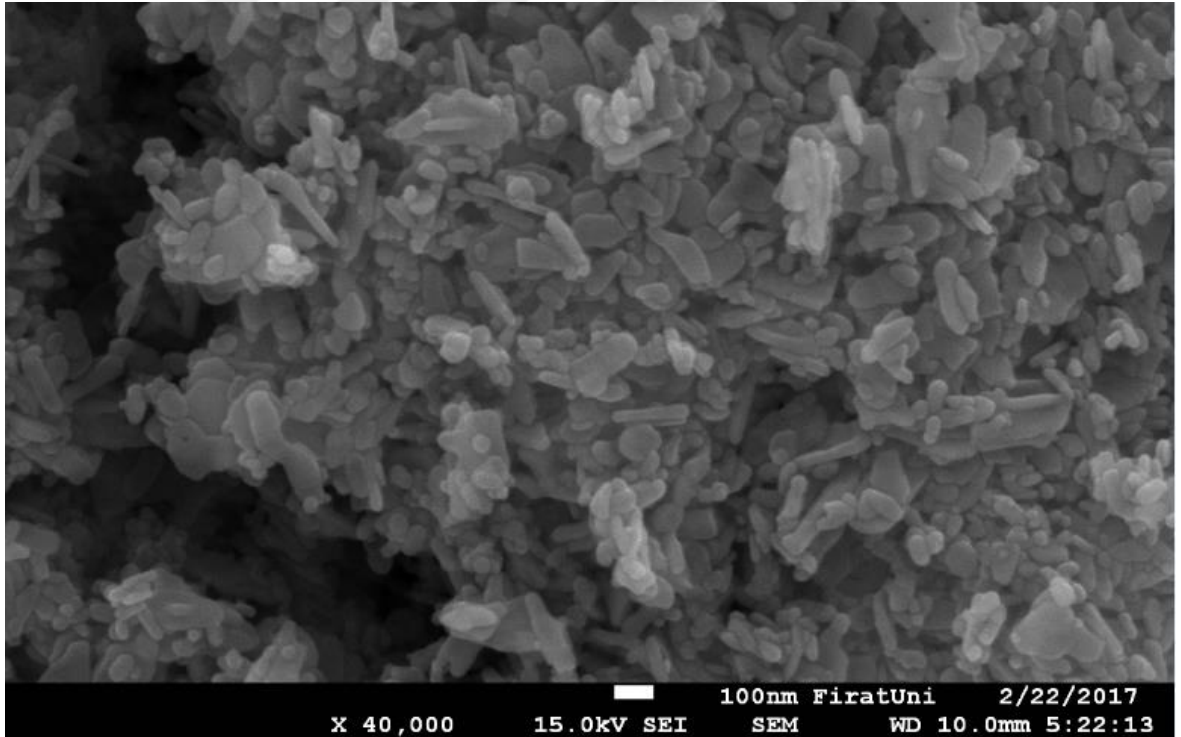
Şekil 4.4. CuO pH 14 SEM görüntüsü



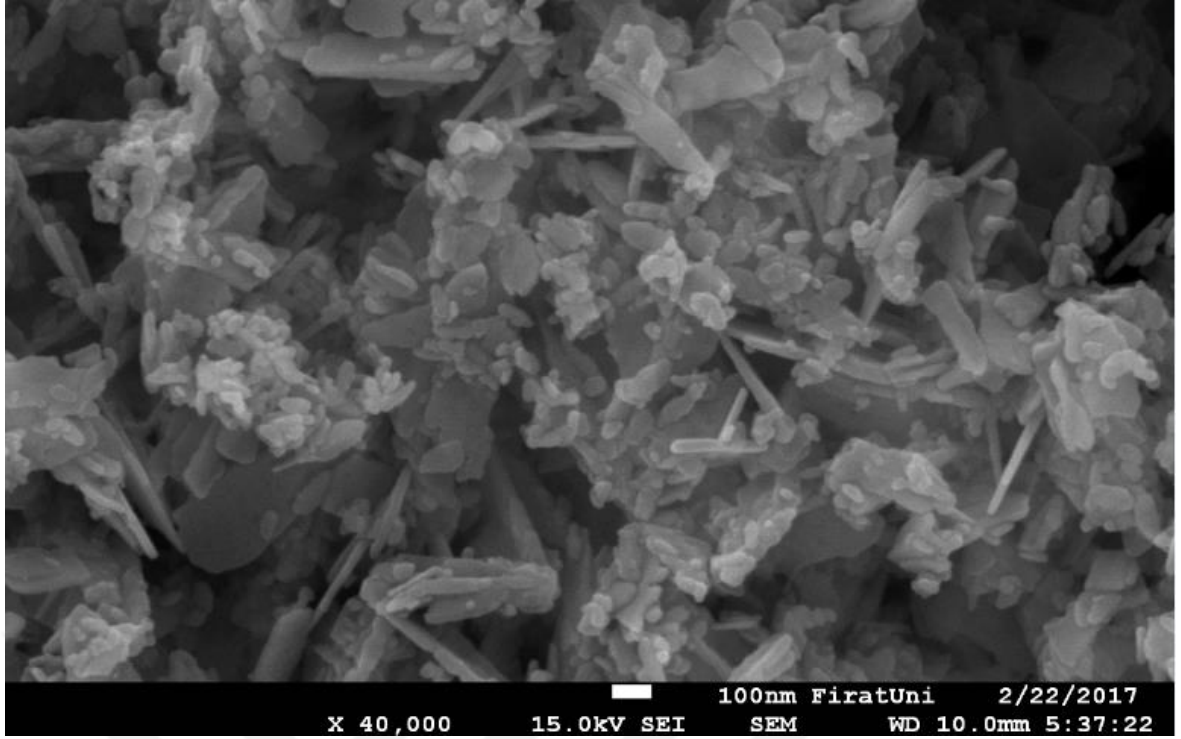
Şekil 4.5. ZnO pH 7 SEM görüntüsü



Şekil 4.6. ZnO pH 10 SEM görüntüsü



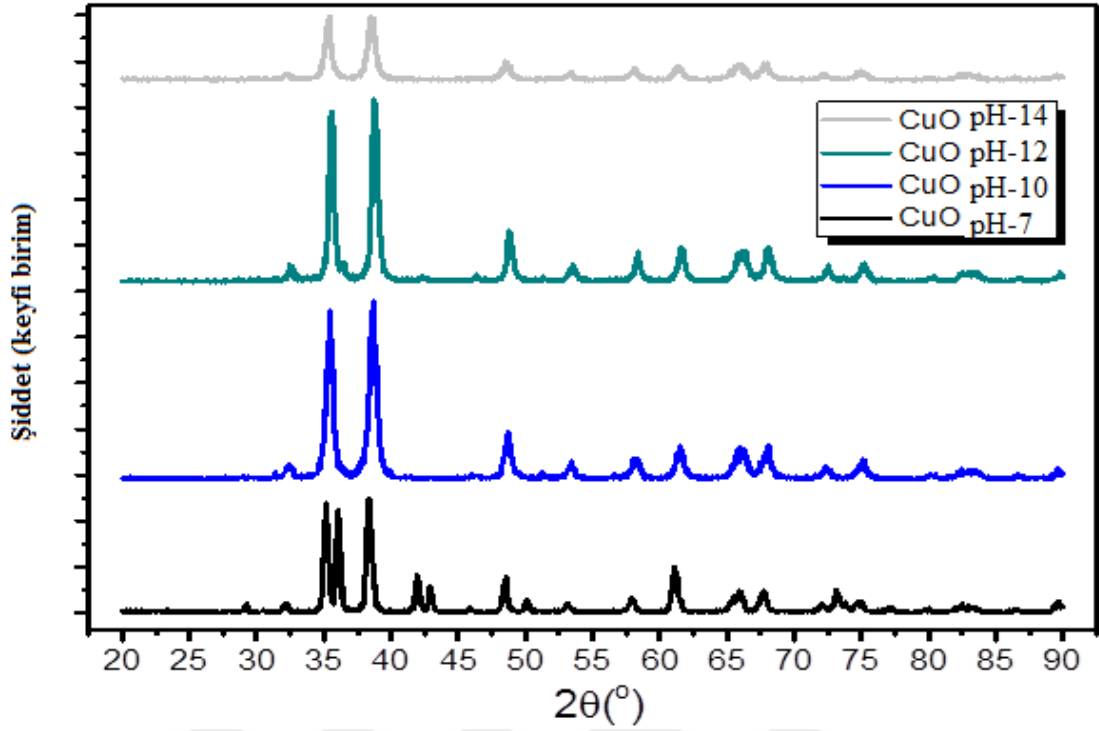
Şekil 4.7. ZnO pH 12 SEM görüntüsü



Şekil 4.8. ZnO pH 14 SEM görüntüsü

Şekil 4.1-4.8' deki tüm SEM analiz görüntülerinden anlaşılabacağı üzere çeşitli pH larda ZnO ve CuO nano malzeme üretiminde başarılı olunmuştur.

4.2. Malzemelerin XRD Analiz Sonuçları



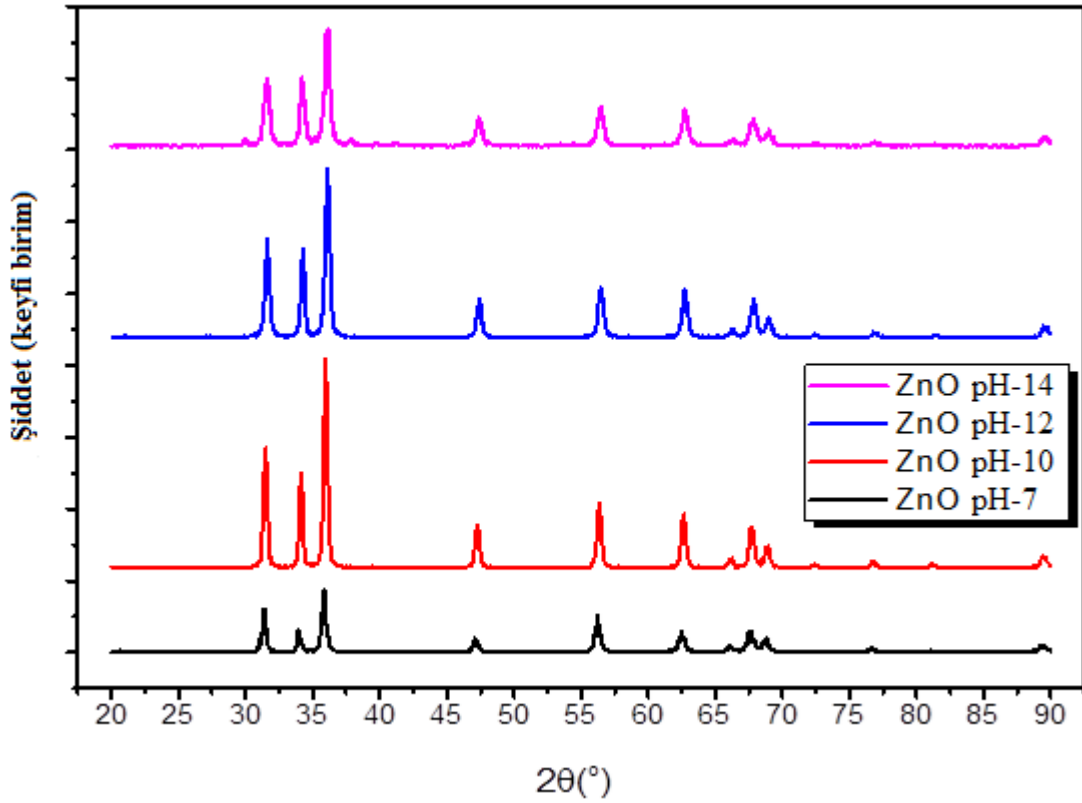
Şekil 4.9. XRD (X-ışını Kırınım) CuO analizi sonuçları

Yukarıdaki grafikte gösterilen XRD deseni, kristallerin monoklinik bir yapıya sahip tek fazlı CuO yapıya sahip olduğunu gösterir. Ortalama kristal boyutu (D), en yoğun kırınım pikinden (002) hesaplanır. XRD deseni ICDD referans kartı No: 045-0937 ile eşleşir. Başka saf olmayan zirveler tespit edilmedi ve XRD sonuçları, CuO nano tozunun sentezini onayladı [137].

Tablo 4.1. CuO malzemesinin pH 7,10,12,14 deki özellikleri

Sample	2 θ (°)	d(A°)	FWHM (°)	Crystallite size (nm)	Dislocation δ (*10 ⁻⁴ nm) ²	Strain (*10 ⁻³)	Bandgap (eV)
CuO-7	38.37	2.3469	0.49467	17.01156	34.5	2.038	1.345
CuO-10	38.65	2.3277	0.69014	12.20392	67.2	2.840	1.020
CuO-12	38.79	2.3251	0.5581	15.09752	43.9	2.296	1.262
CuO-14	38.53	2.3466	0.73366	11.47586	75.9	3.021	1.214

Çözeltinin pH'ı, nanoparçacıkların büyümesi sırasında yapının faz oluşumu, parçacık boyutu ve morfolojisi için kritik parametre gibi görünmektedir.



Şekil 4.10. XRD (X-ışını Kırınım) ZnO analizi sonuçları

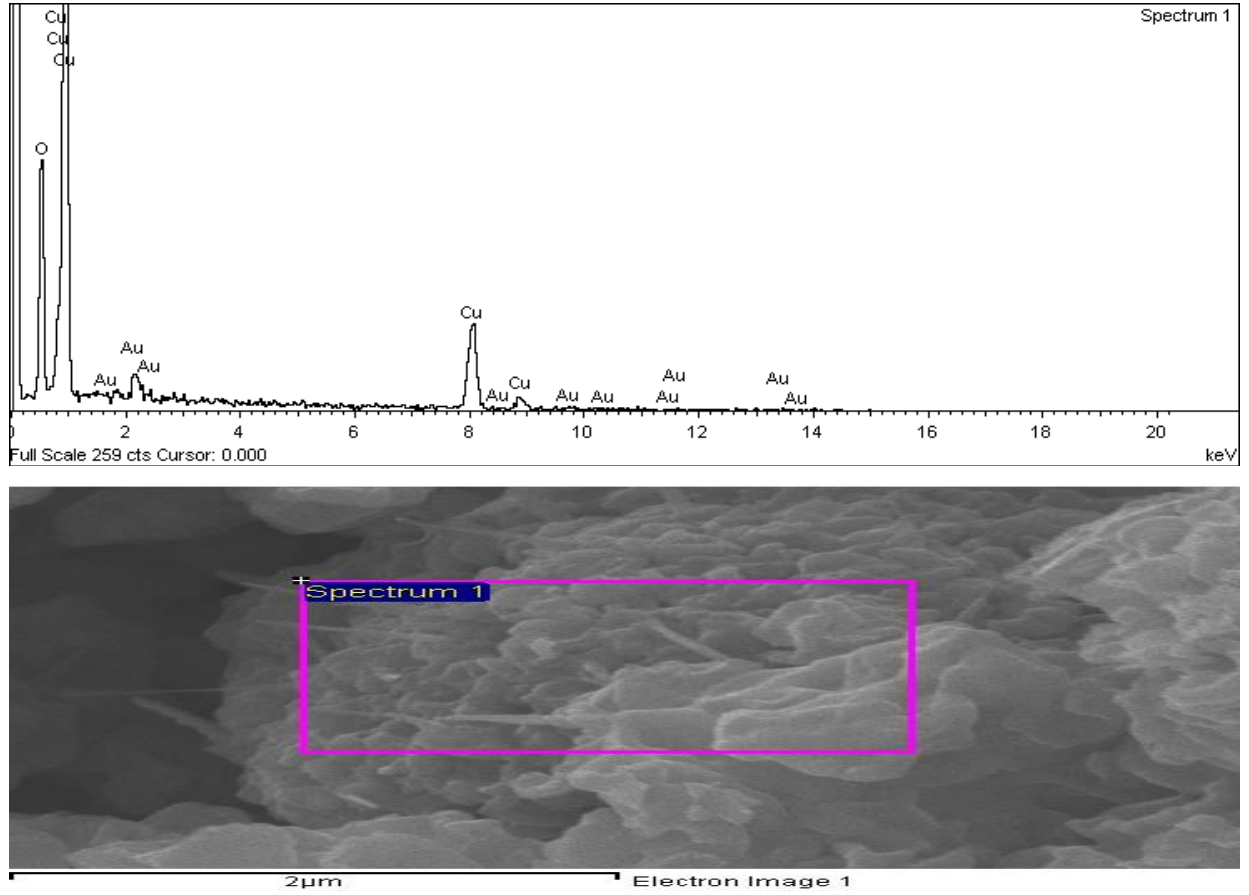
XRD deseni, kristallerin altıgen würtzite yapısına sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Ortalama kristalit boyutu (D), en yoğun kırınım pikinden (101) hesaplanır. XRD deseni ICDD referans kartı No: 036-1455 ile eşleşir. Başka hiçbir saf olmayan zirve tespit edilmedi ve XRD sonuçları, ZnO nano tozunun sentezini doğruladı [138-140].

Tablo 4.2. ZnO malzemesinin pH 7,10,12,14 deki özellikleri

Sample	$2\theta(^{\circ})$	$d(A^{\circ})$	FWHM ($^{\circ}$)	Crystallite size (nm)	Dislocation δ ($\cdot 10^{-4} \text{ nm}^2$)	Strain ($\cdot 10^{-3}$)	Bandgap (eV)
ZnO-7	35.85	2.5005	0.43646	19.13895	27.3	1.811	3.168
ZnO-10	35.96	2.5004	0.35411	23.59719	18.0	1.469	3.224
ZnO-12	36.10	2.4866	0.42257	19.78215	25.6	1.752	3.202
ZnO-14	36.08	2.4952	0.50835	16.4429	37.0	2.108	3.212

Çözeltinin pH'ı, nanoparçacıkların büyümesi sırasında yapının faz oluşumu, parçacık boyutu ve morfolojisi için kritik parametre olarak görülmektedir.

4.3. Malzemelerin X-Işını Spektroskopisi (EDS veya EDX) Ve Optik Özellikleri Analizleri



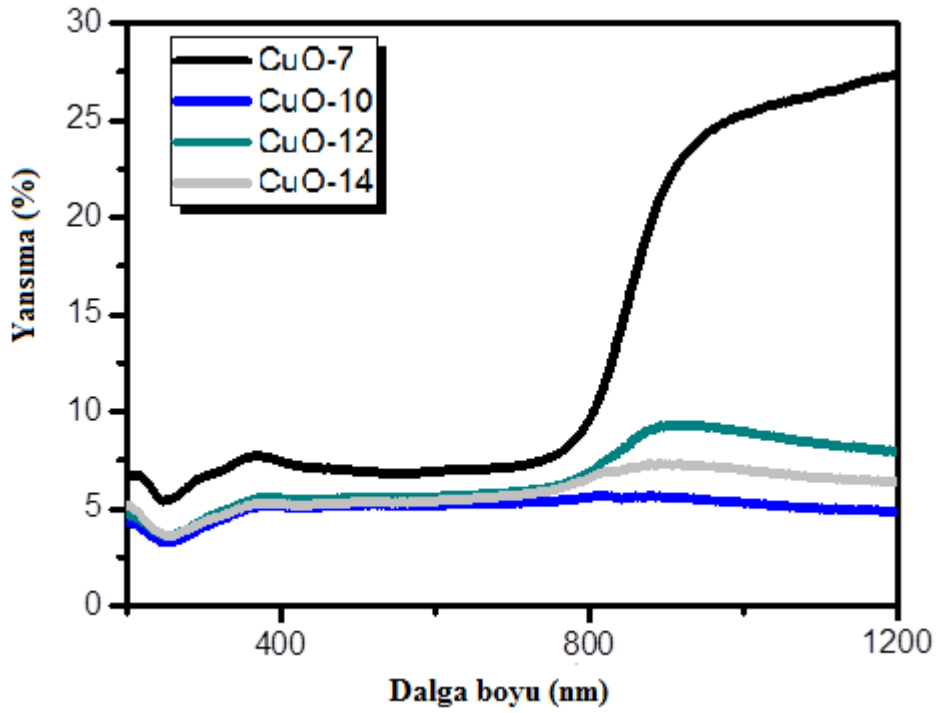
Şekil 4.11. CuO, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS veya EDX)

EDS Analizi, bir örneğin temel analizini sağlar. Cu ve O'nun atomik yüzdeleri stokiometrik bileşime yakındır ve yaklaşık 1: 1'lik bir orana sahiptir. Bu sonuç, tozun sadece Cu ve O elementleri içerdiğini teyit eder.

Tablo 4.3. CuO malzemesinin içinde bulunan element yüzdeleri

Element	Weight (%)	Atomic (%)
O K	23.23	55.79
Cu L	71.38	43.16
Au M	5.39	1.05
Totals	100.00	

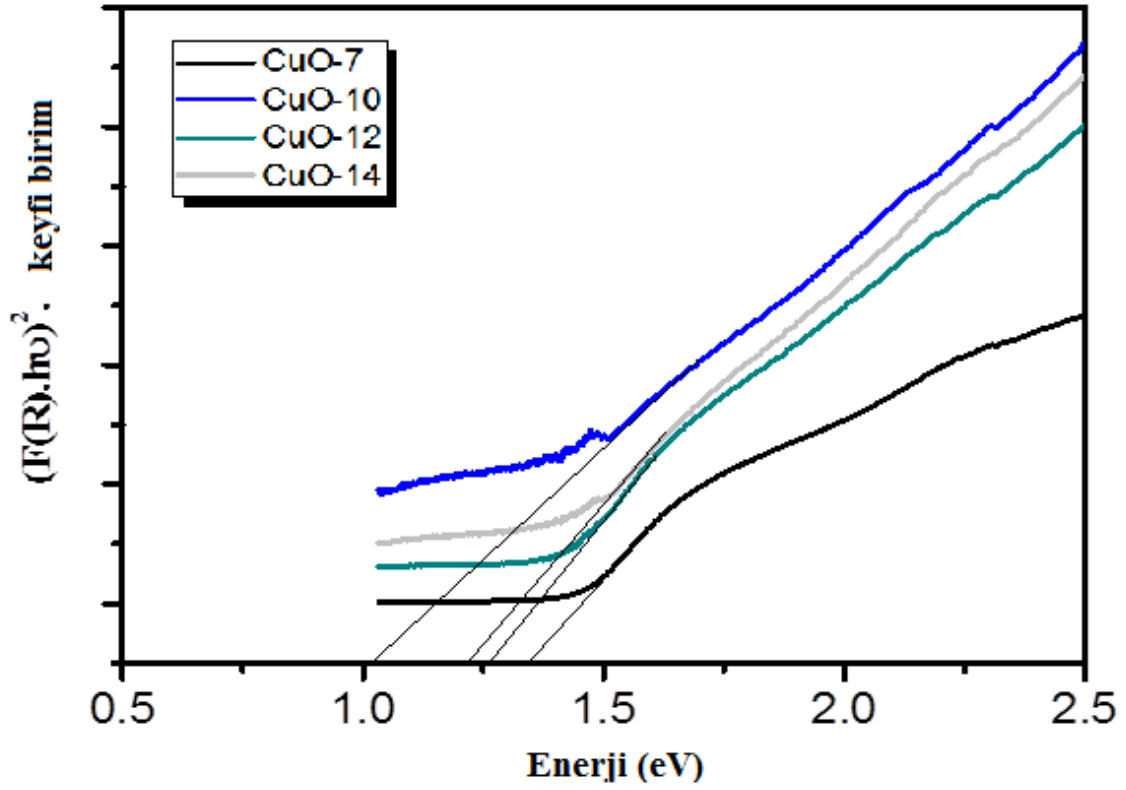
Toz haline getirilmiş örneklerin UV-görünür yansımaları Şekil 4.12’de gösterilmektedir. Optik absorpsiyon kenarları homojen olup sentezlenen numunelerin saf CuO olduğunu doğrular başka bir banta rastlanmamıştır.



Şekil 4.12. Toz haline getirilmiş CuO UV-görünür yansımaları

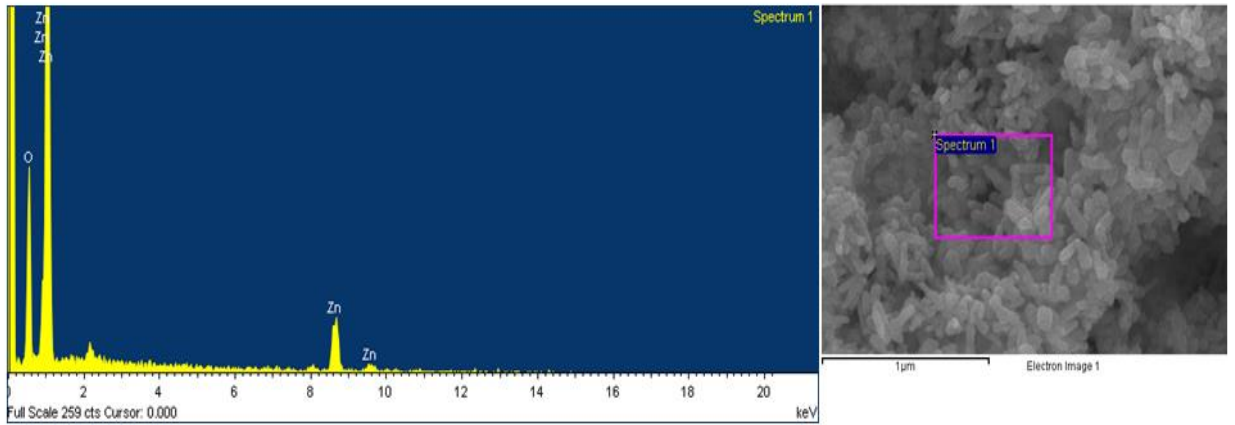
Bu malzemelerin doğrudan bant boşluğu enerjisi Kubelka-Munk fonksiyonu kullanılarak tahmin edilmiştir.

$$F(R) = \frac{(1-R)^2}{2R} \quad (F(R)h\nu)^2 \propto (h\nu - E_g) \quad (4.1)$$



Şekil 4.13. CuO nanoparçacıklarının bant boşluğu enerjisinin, solüsyonun farklı pH değerlerinde gösterimi

Şekil 4.13’de görüldüğü gibi CuO nanoparçacıklarının bant boşluğu enerjisi solüsyonunun farklı pH değerlerinde 1.02-1.35 eV aralığında olduğu bulundu. pH’ı 7 olan CuO örneği en yüksek bant boşluğu enerjisine 1.35 eV sahiptir. Değişik pH değerlerinde E_g (energy gap) değişimi gösterilmiştir. E_g değerlerinde değişim eğilimi morfolojideki değişikliği ve kristal boyutundaki azalmayı göstermektedir. Kuantum sınırlandırıcı etki, parçacık boyutundaki azalma ve band aralığının artmasında ana rolü oynamaktadır.



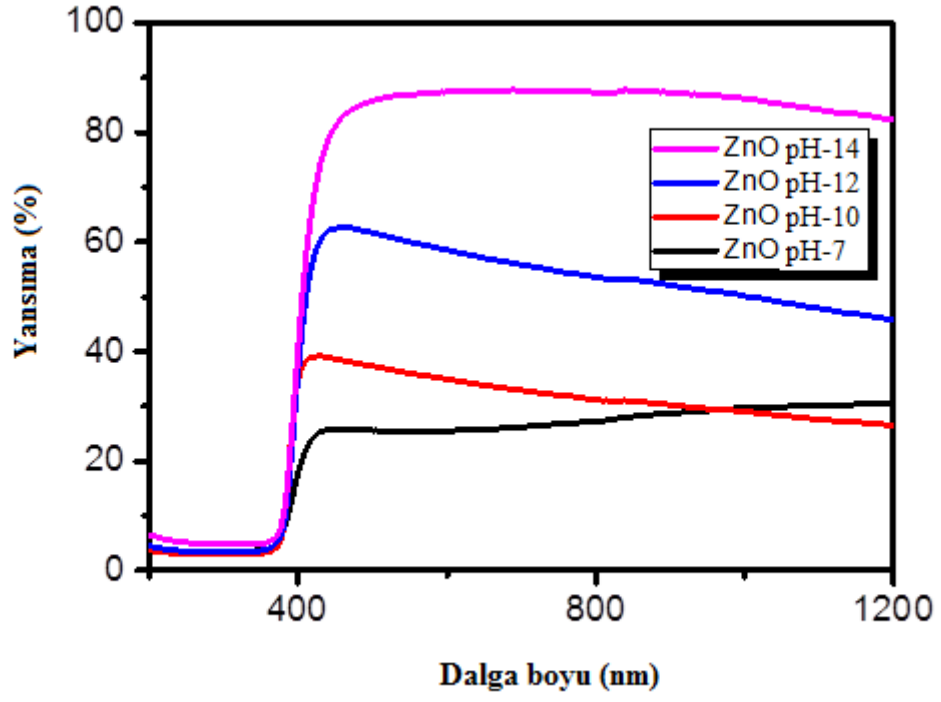
Şekil 4.14. ZnO, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS veya EDX)

EDS Analizi, bir örneğin temel analizini sağlar. Zn ve O'nun atomik yüzdeleri stokiometrik bileşime yakındır ve yaklaşık 1:1'lik bir orana sahiptir. Bu sonuç tozun sadece Zn ve O elementleri içerdiğini teyit eder.

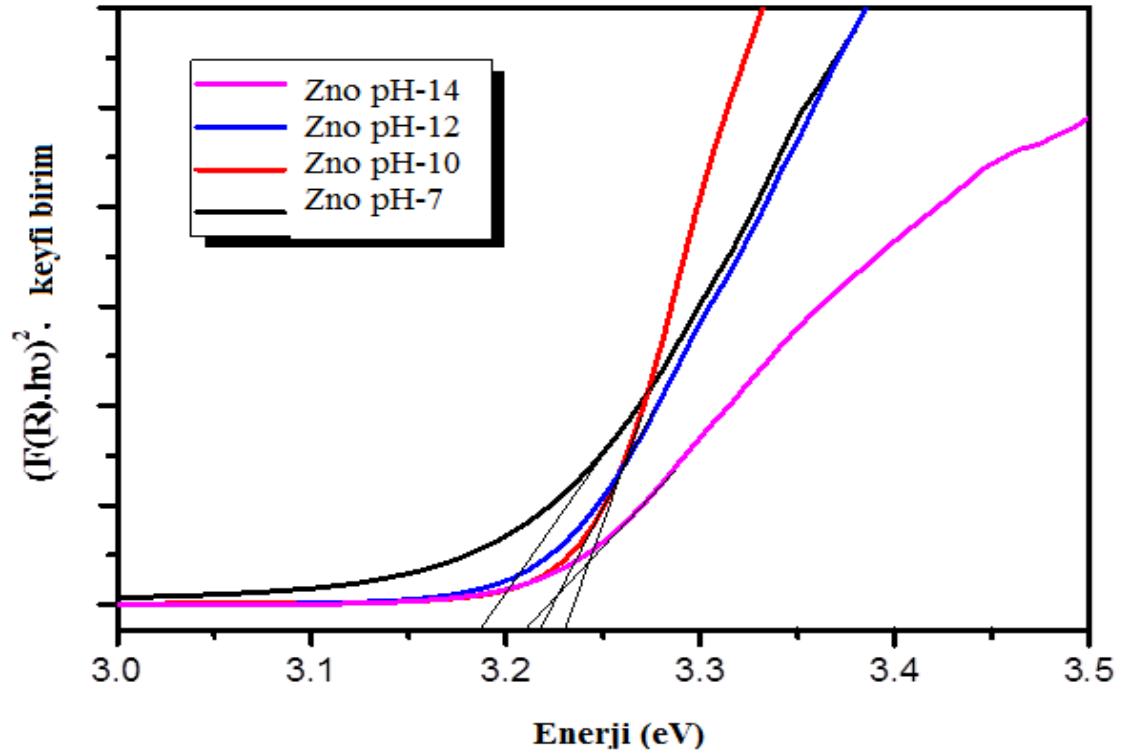
Tablo 4.4. ZnO malzemesinin içinde bulunan element yüzdeleri

Element	Weight (%)	Atomic (%)
O K	22.57	54.36
Zn L	77.43	45.64
Totals	100.00	

Toz haline getirilmiş örneklerin UV-görünür yansıma spektrumları Şekil 4.15’de gösterilmektedir. Spekturumların optik absorpsiyon kenarları homojen olup sentezlenen numunelerin saf ZnO olduğunu doğrulamakta ve başka bir bant gözlenmemiştir.



Şekil 4.15. Toz haline getirilmiş ZnO UV-görünür yansımada spektrumları

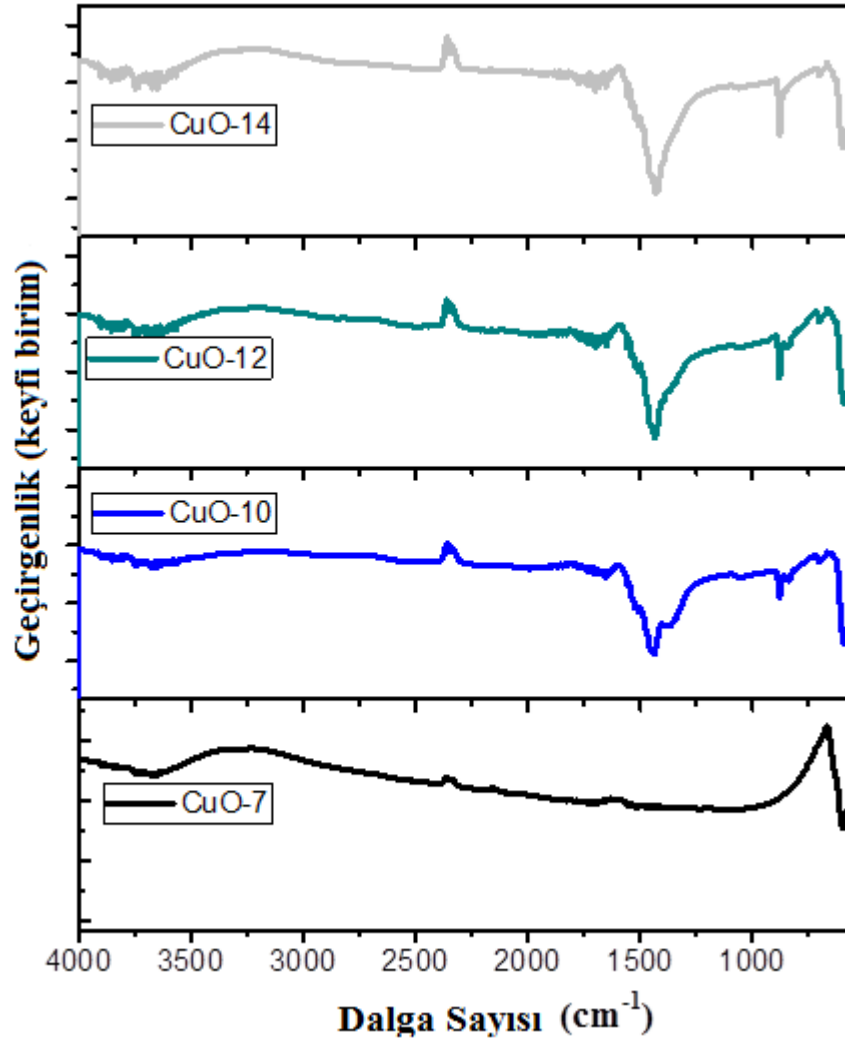


Şekil 4.16. ZnO Nanoparçacıklarının bant boşluğu enerjisinin solüsyonunun farklı pH değerlerinde gösterimi

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi sentezlenen tozun pH’ı 7 ile 14 arasındaki ZnO malzemelerinin bant boşluğu enerjisinin 3.21-3.23 eV aralığında olduğu bulundu. pH 10’daki ZnO örneği 3.23 eV UV bölgesindeki en yüksek emilim eğrisine sahiptir. Değişik pH değerlerinde Eg (energy gap) değişimi gösterilmiştir. Eg değerlerinde değişim eğilimi morfolojideki değişikliği ve kristal boyutundaki azalmayı göstermektedir.

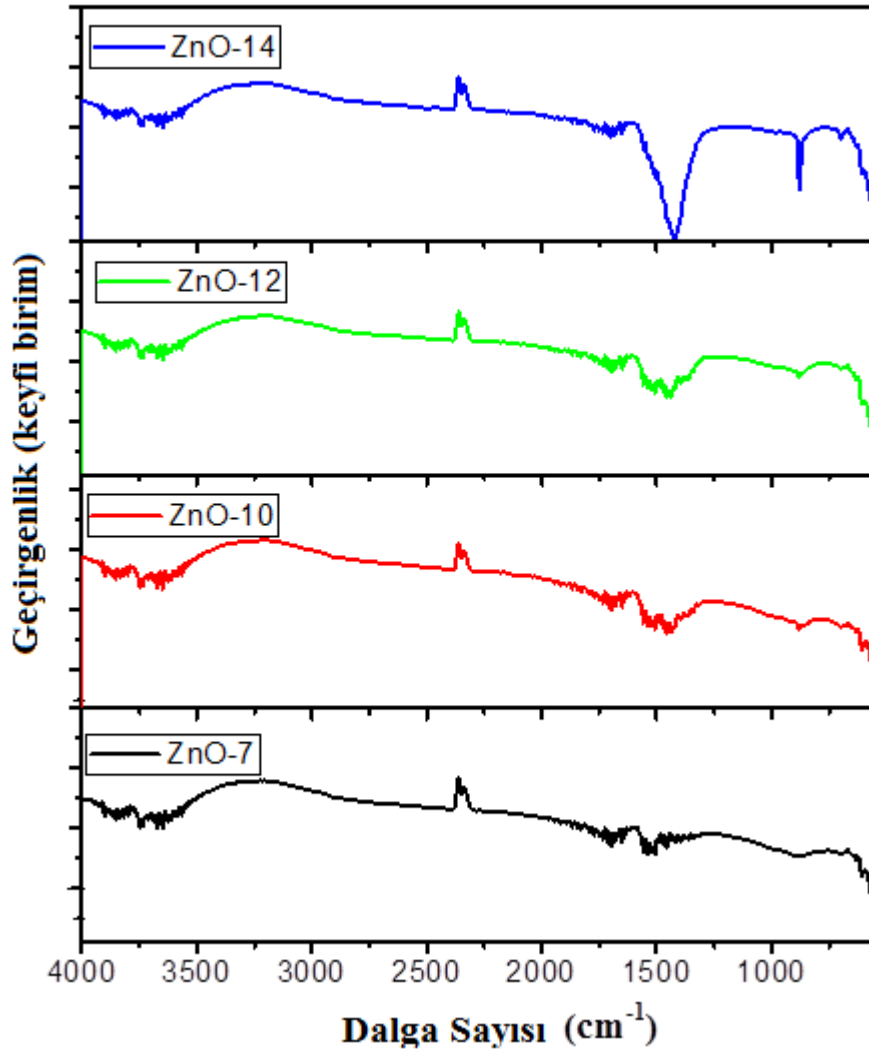


4.4. Malzemelerin FTIR Analizleri



Şekil 4.17. CuO nanoparçacıklarının farklı Ph değerlerinde gösterimi FTIR analizi

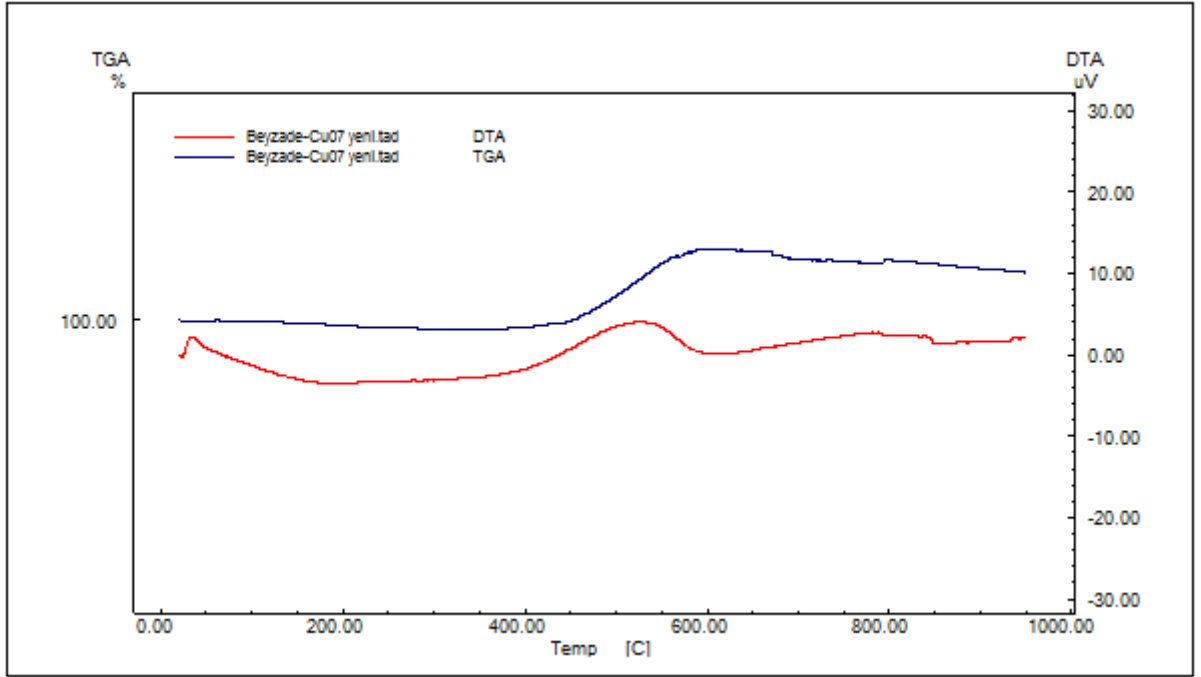
Spektrum, $\sim 3680 \text{ cm}^{-1}$ civarında geniş tepe noktasının suyun O-H gerilme titreşiminden kaynaklandığını gösteriyor. 1650 cm^{-1} ve 1428 cm^{-1} 'e yakın bantlar sırasıyla C = O ve C-O gerilmesini temsil eder. CuO ve O-H yerine C = O ve C-O gibi diğer dorukların varlığı Zn $(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ öncüsü ve CH_3OH çözücüsündendir. Bunlar CuO tozlarının sentezini etkilemez. Metal oksit genellikle 1000 cm^{-1} 'in altındaki emme bantlarına sahiptir. Cu-O'nun karakteristiği olan 590 cm^{-1} , 700 cm^{-1} ve 880 cm^{-1} merkezli absorpsiyon bandı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.18. ZnO nanoparçacıklarının farklı Ph değerlerinde gösterimi FTIR analizi

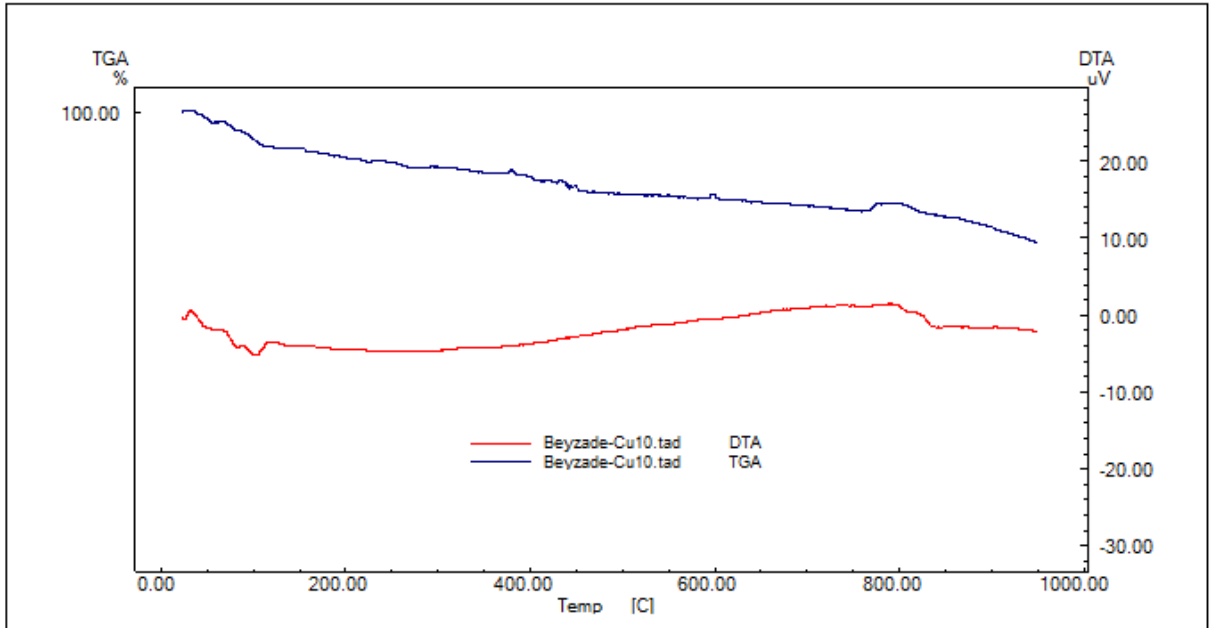
Spektrum, $\sim 3650 \text{ cm}^{-1}$ civarında geniş tepe noktasını gösterir; bu suyun O-H gerilme titreşimini gösterir. 1540 cm^{-1} ve 1437 cm^{-1} 'e yakın bantlar sırasıyla C = O ve C-O gerilmesini temsil eder. ZnO ve O-H yerine C = O ve C-O gibi diğer dorukların varlığı Zn $(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ öncülü, CH_3OH çözücüsündendir. Bunlar ZnO tozlarının sentezlenmesini çok fazla etkilemez. 878 cm^{-1} merkezli bant, karbonatın bükülme modunu gösterir. Zn-O karakteristik wurtzit örgü titreşimleri, $400\text{-}600 \text{ cm}^{-1}$ aralığında geniş banda karşılık gelir.

4.5. Malzemelerin Termal Analizleri



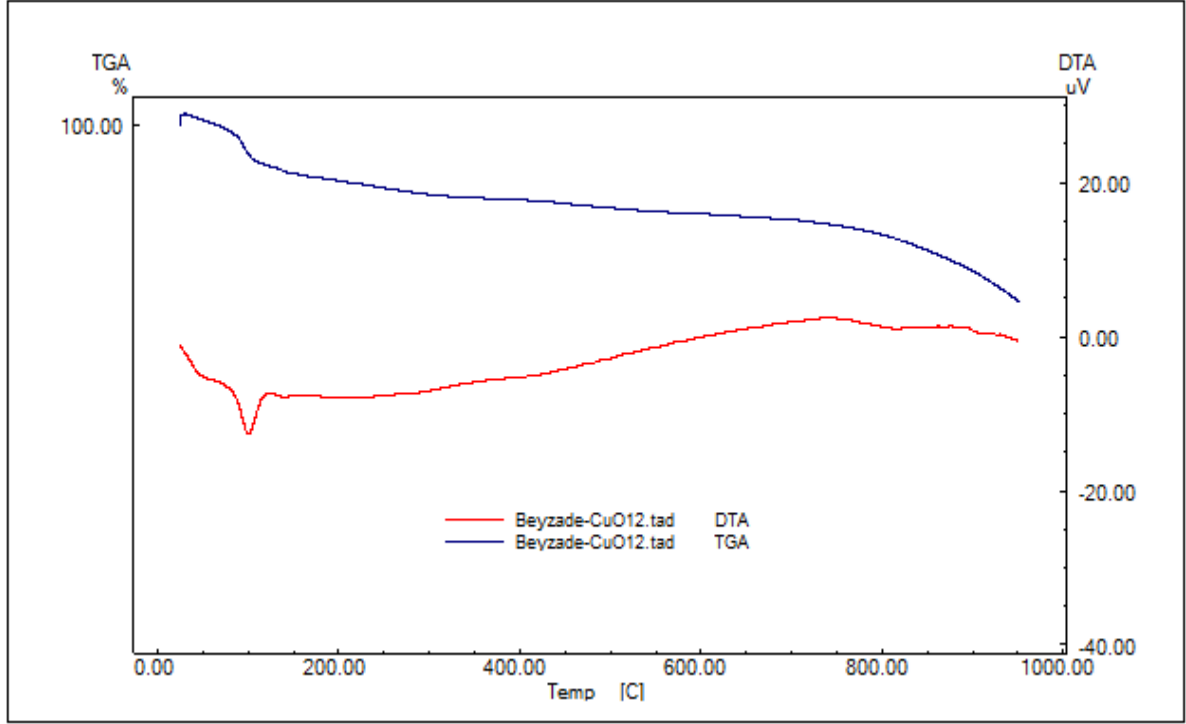
Şekil 4.19. CuO pH 7 nanoparçacığının termal analizi

Şekil 4.19’ da görüldüğü gibi 400 °C ile 600 °C arasında malzeme oksitlenmiştir (DTA). Malzeme oksidasyonuna bağlı olarak grafikte gösterildiği gibi, 400 °C den sonra kütle artışı gözlemlenmektedir (TGA).



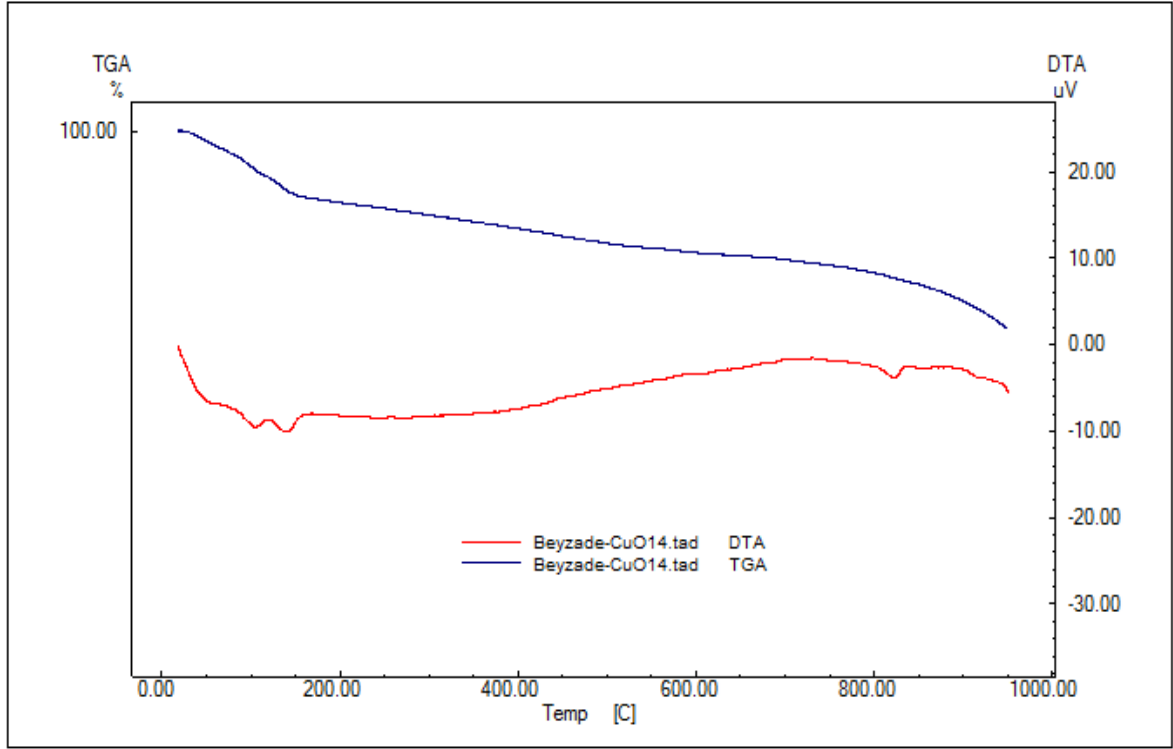
Şekil 4.20. CuO pH 10 nanoparçacığının termal analizi

Şekil 4.20’ de görüldüğü gibi malzemenin kütlesinin 800 °C de azaldığı görülmektedir (TGA). DTA analizinde görüldüğü gibi materyalde faz değişimi gözlemlenmemiştir.



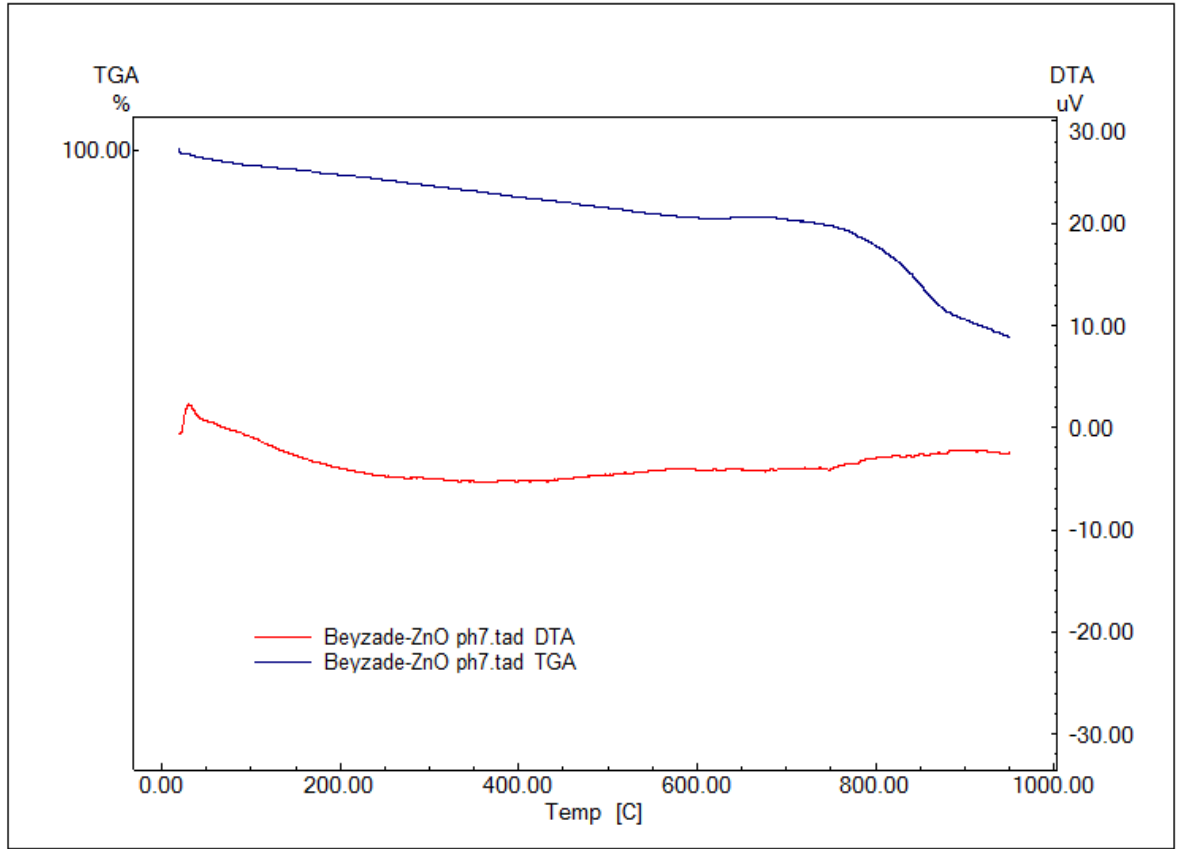
Şekil 4.21. CuO pH 12 nanoparçacığının termal analizi

Şekil 4.21’ de görüldüğü gibi malzemenin kütlesinin 900 °C'de düştüğü görülmüştür (TGA). DTA analizinde görüldüğü gibi materyalde faz değişimi gözlemlenmemiştir.

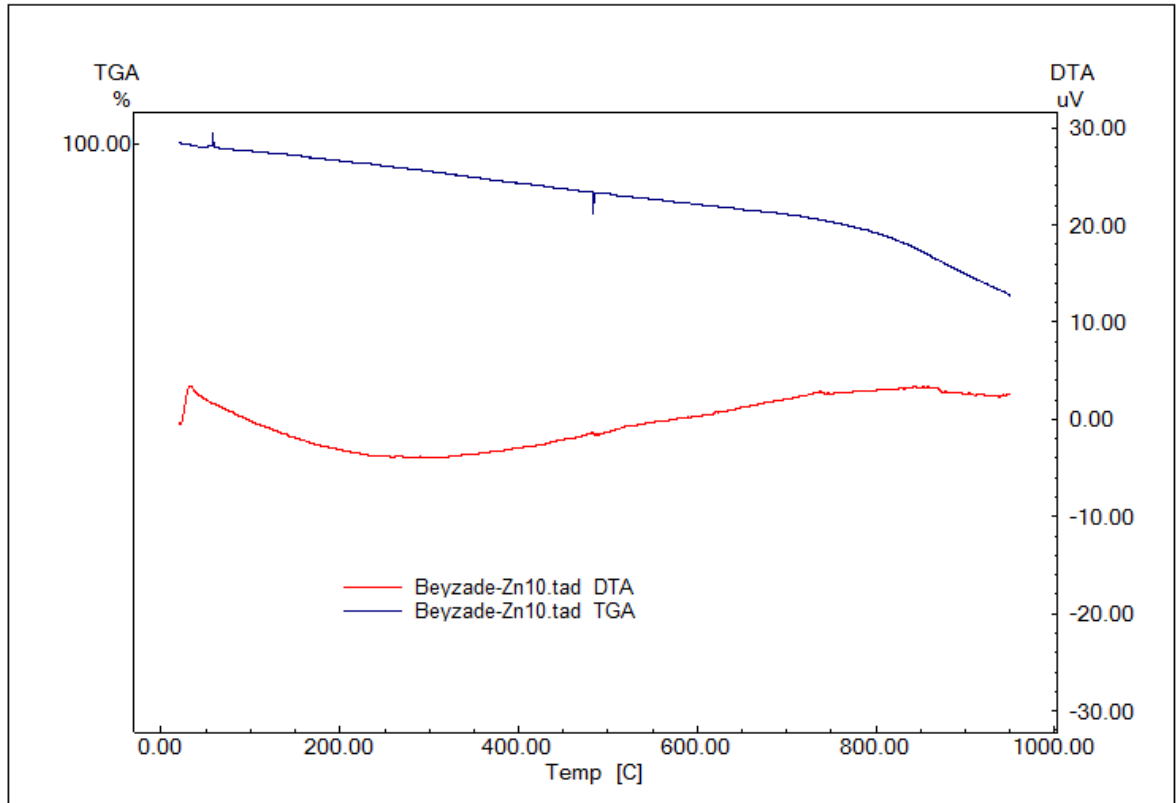


Şekil 4.22. CuO pH 14 nanoparçacığının termal analizi

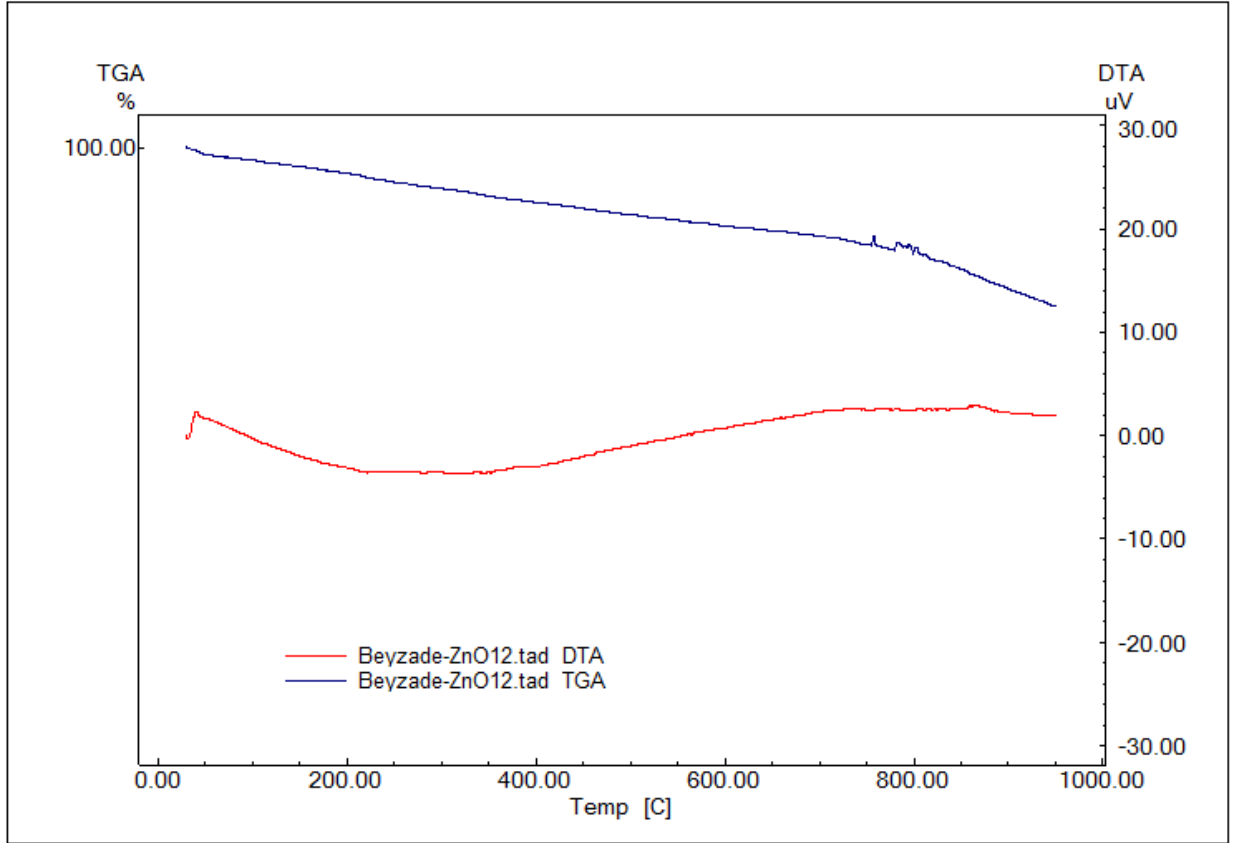
Şekil 4.22’ de görüldüğü gibi, malzeme kütlesinin 900 °C’de azaldığı gözlemlenmiştir (TGA). DTA analizinde görüldüğü gibi materyalde faz değişimi gözlemlenmemiştir.



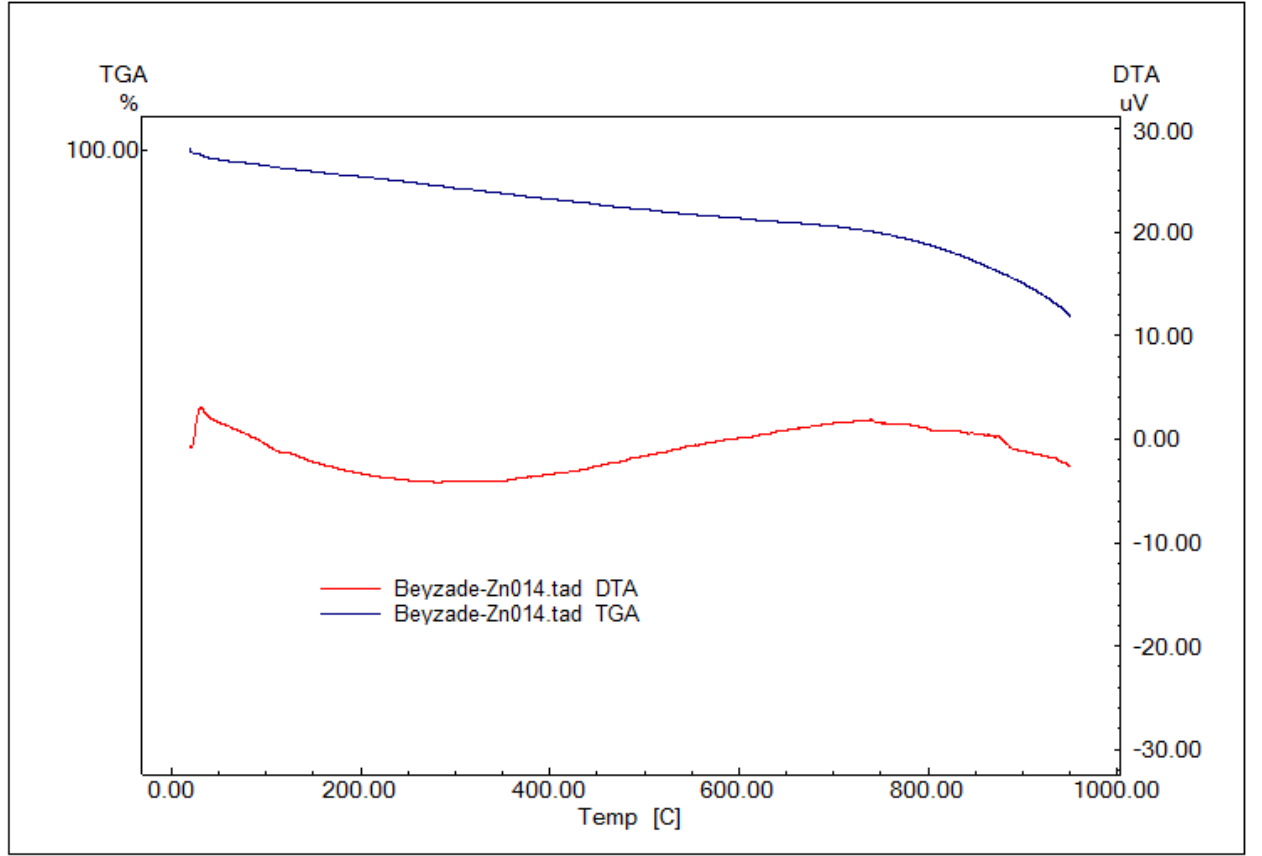
Şekil 4.23. ZnO pH 7 nanoparçacığının termal analizi



Şekil 4.24. ZnO pH 10 nanoparçacığının termal analizi



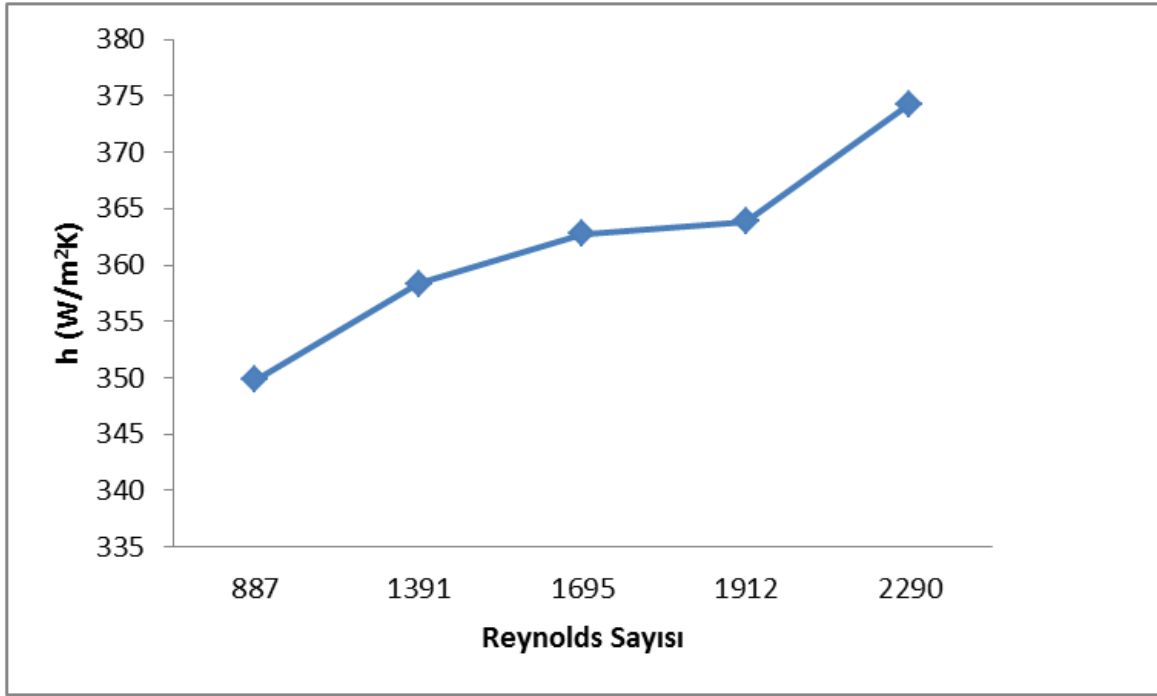
Şekil 4.25. ZnO pH 12 nanoparçacığının termal analizi



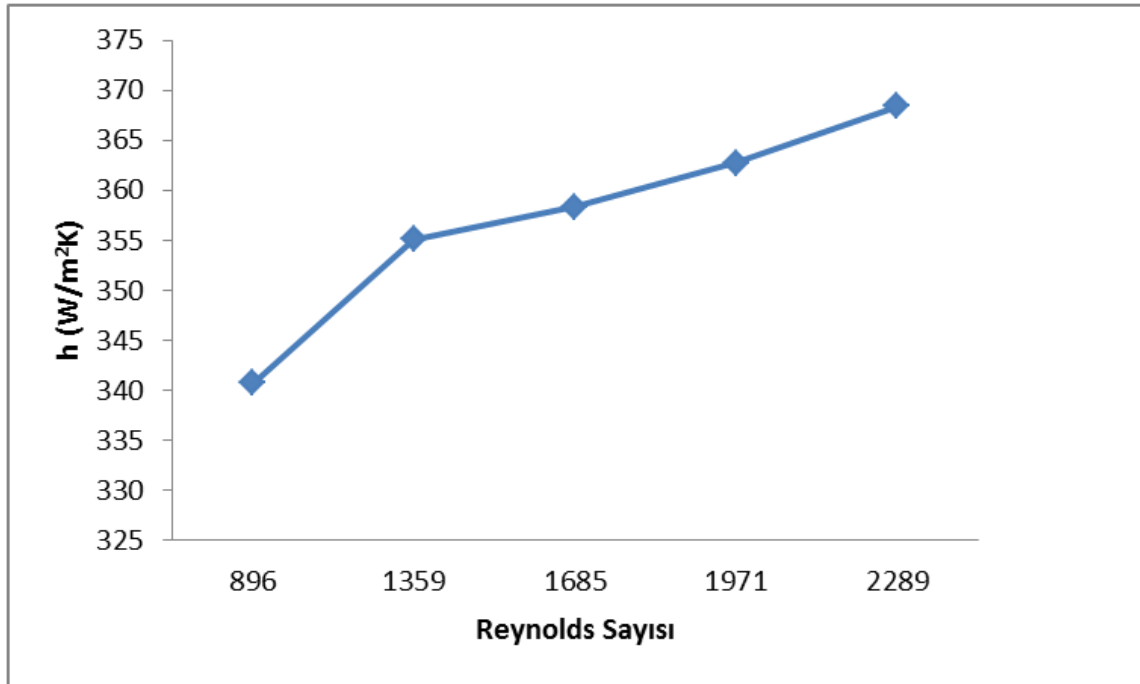
Şekil 4.26. ZnO pH 14 nanoparçacığının termal analizi

Şekil 4.23-26'daki ZnO pH 7,10,12,14 termal analiz grafiklerinde görüldüğü gibi, 780 ° C'ye kadar malzemede önemli bir kayıp gözlenmemekte; malzeme kararlı bir yapıya sahip olmakla birlikte 780 ° C'den sonra kütle kaybı görülmektedir (TGA). Malzemelerde farklı faz bulunmamaktadır (DTA).

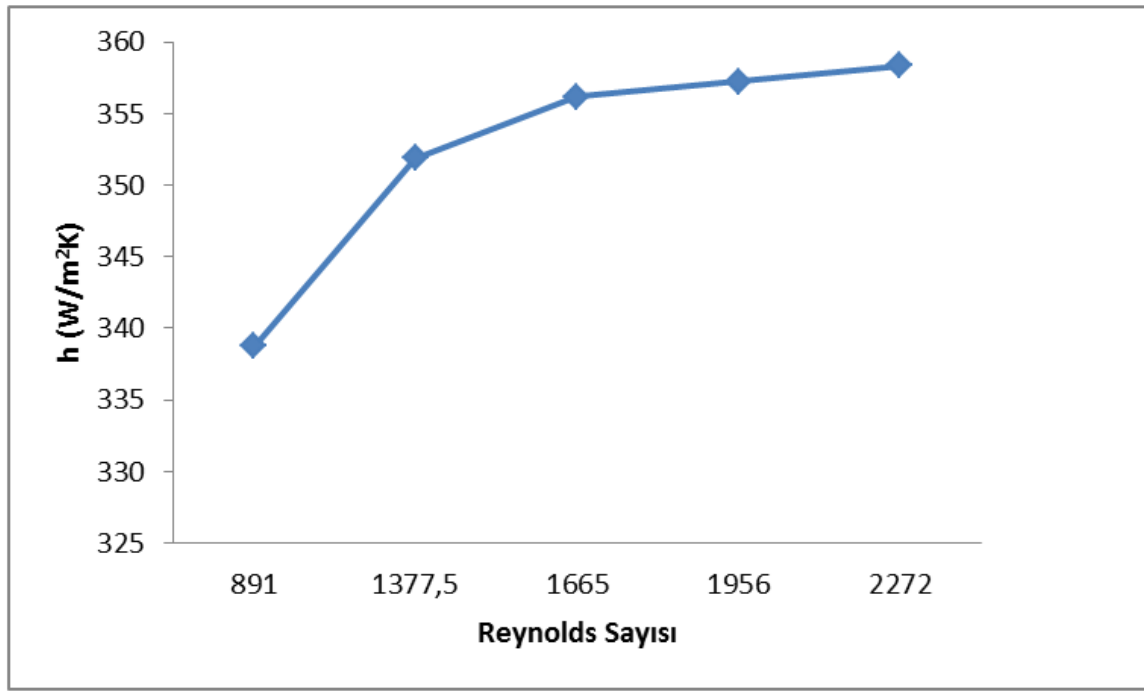
4.6. Nanoakışkan Malzemelerin Isı transfer Katsayısının Reynolds Sayısına Göre Değişimleri Ve Kendi Aralarında Kıyaslarının Grafıksel Gösterimi



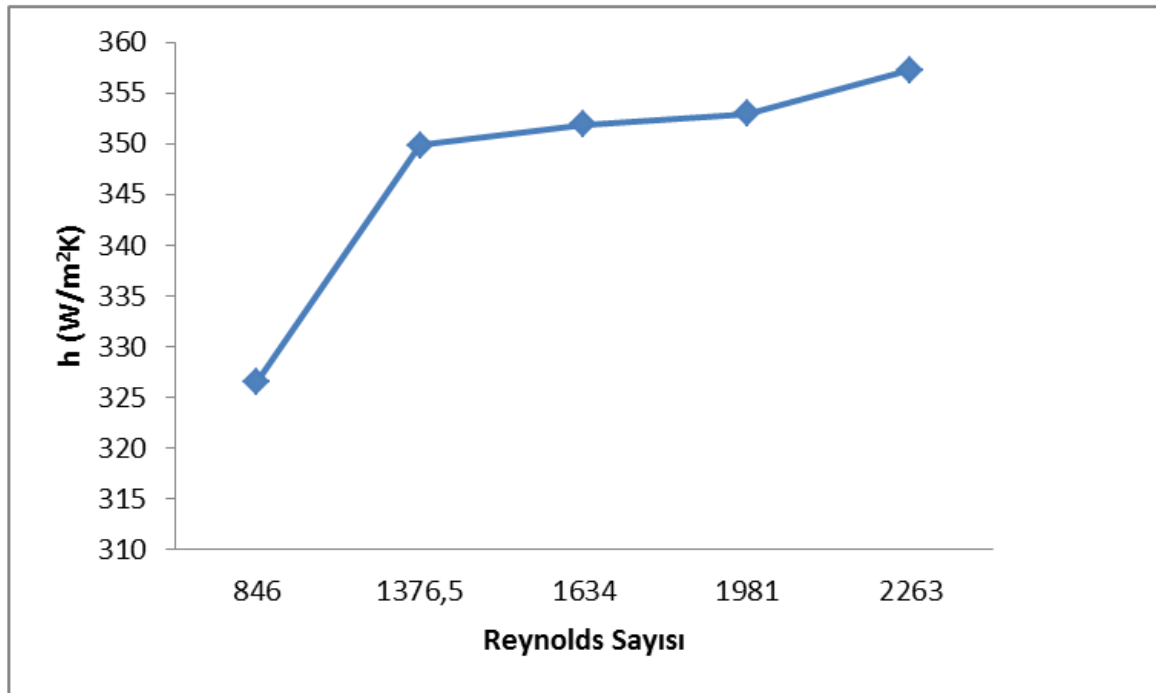
Şekil 4.27. CuO pH 7.84 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



Şekil 4.28. CuO pH 8.58 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi

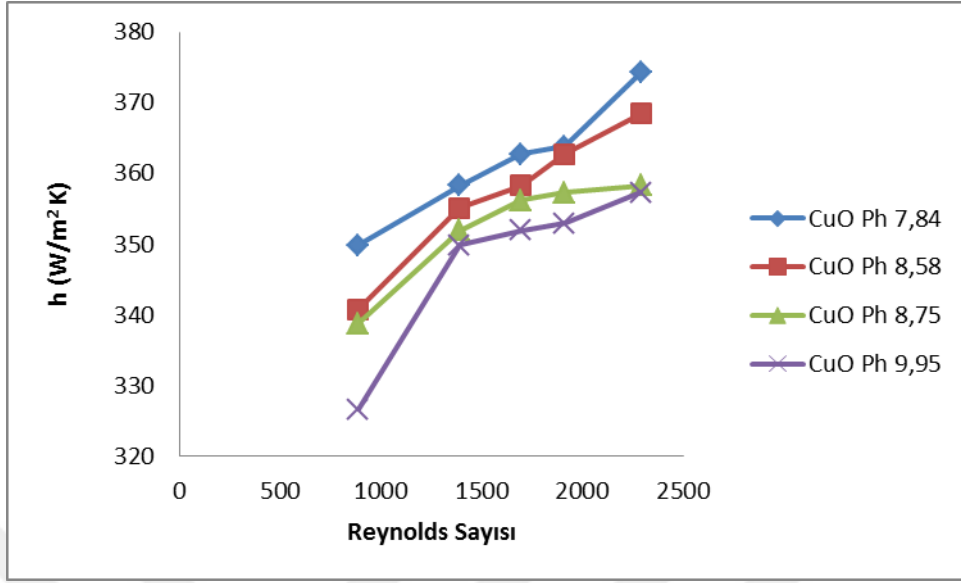


Şekil 4.29. CuO pH 8.75 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



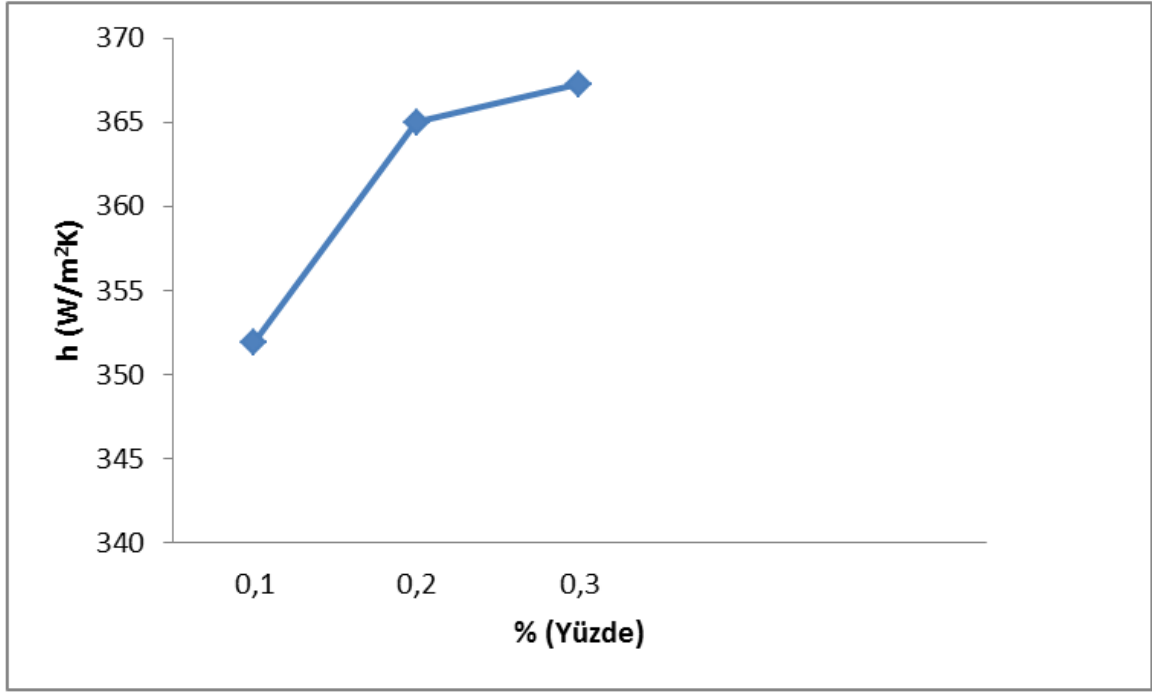
Şekil 4.30. CuO pH 9.95 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 4.27-4.30'a Bakıldığında ısı transfer katsayısının, Reynolds sayısı 800 ile 2300 arasında arttığı görülmektedir.



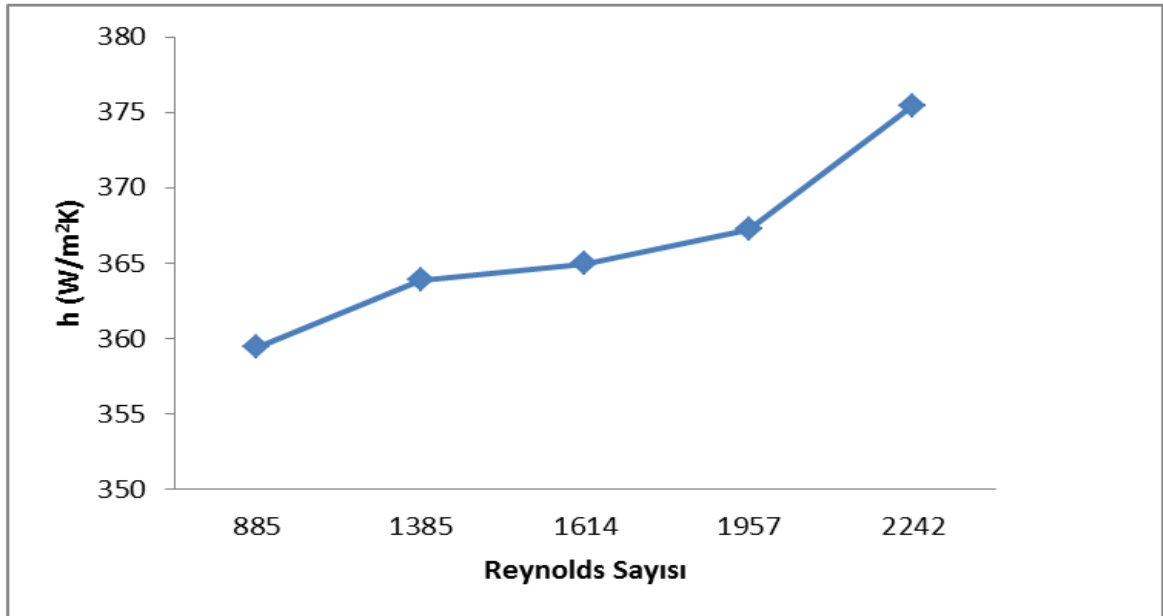
Şekil 4.31. CuO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 4.31 incelendiğinde pH ile ısı transfer katsayısının arasında ters orantı bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni nanomalzemeler üretilirken pH seviyelerini yükseltmek için kullanılan akışkanın; % 25'i NH_3 ve %75 'i su olduğundan akışkanın özgül ısısının CuO' dan daha düşük olmasıdır.

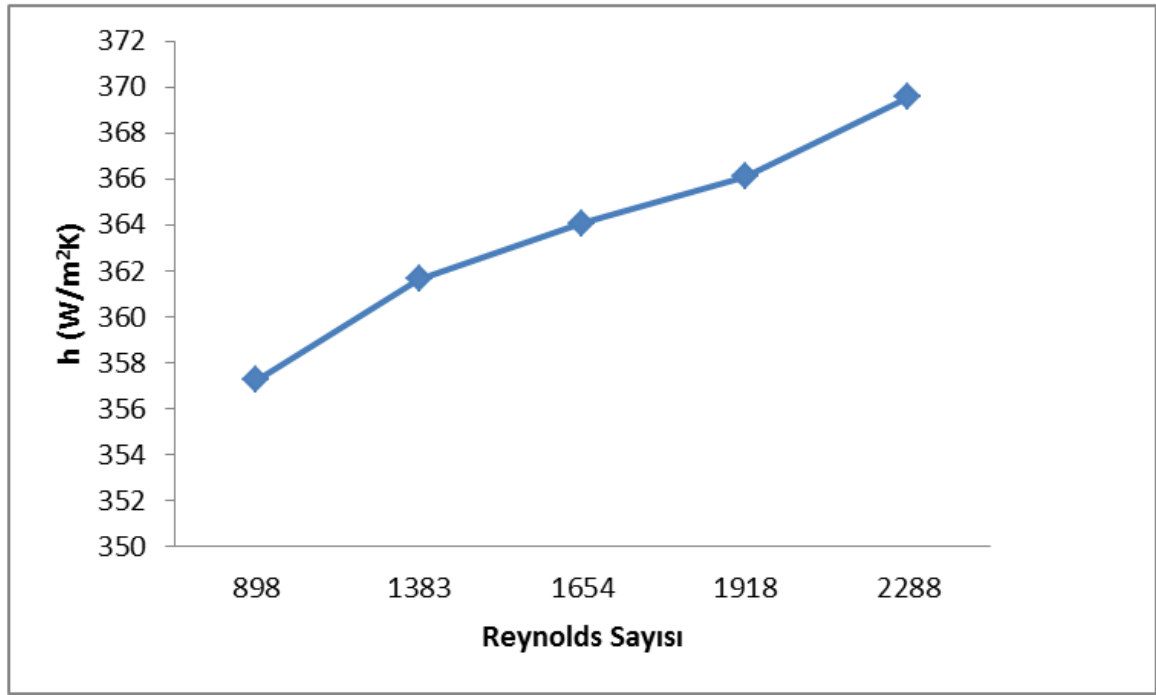


Şekil 4.32. CuO pH 9.95 için ısı transfer katsayısının malzeme oranına göre değişimi

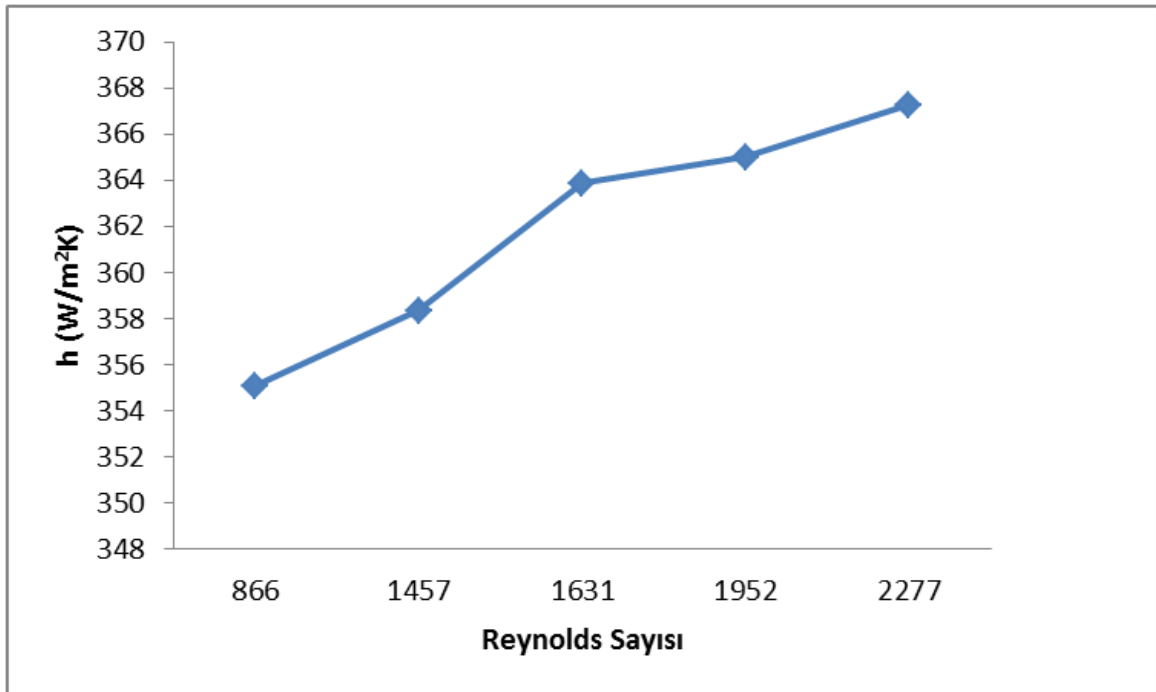
Şekil 4.32 incelendiğinde malzeme yüzdesinin artışıyla ısı transfer katsayısının arttığı gözlenmektedir.



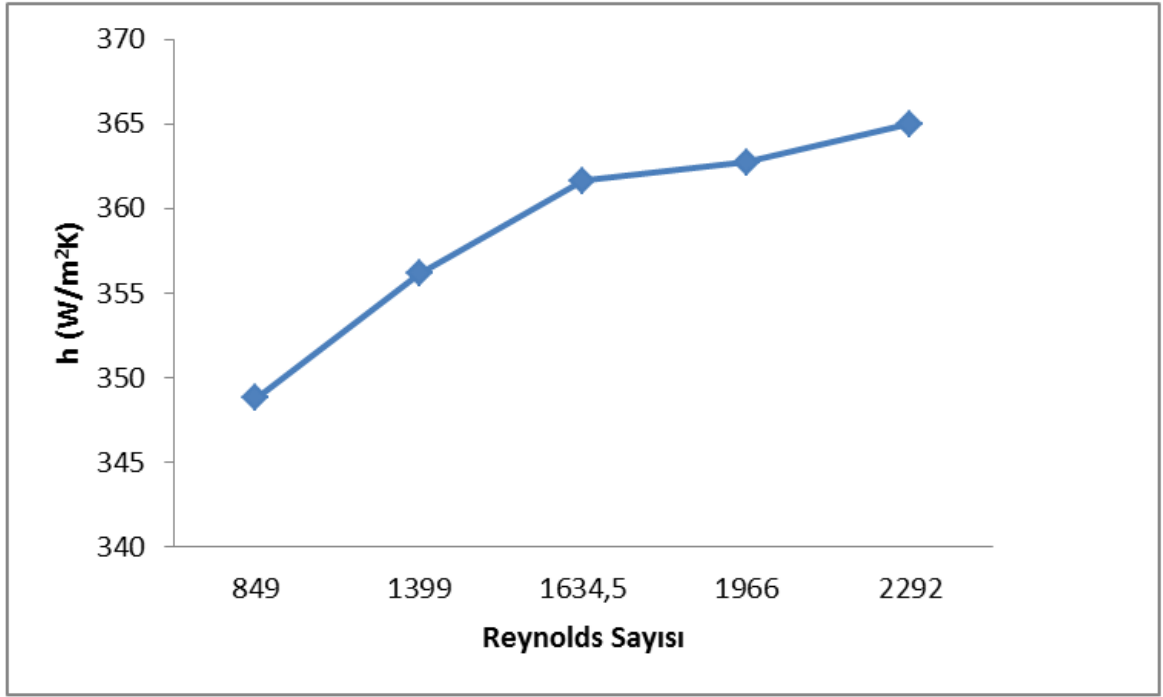
Şekil 4.33. ZnO pH 7.32 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



Şekil 4.34. ZnO pH 8.52 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi

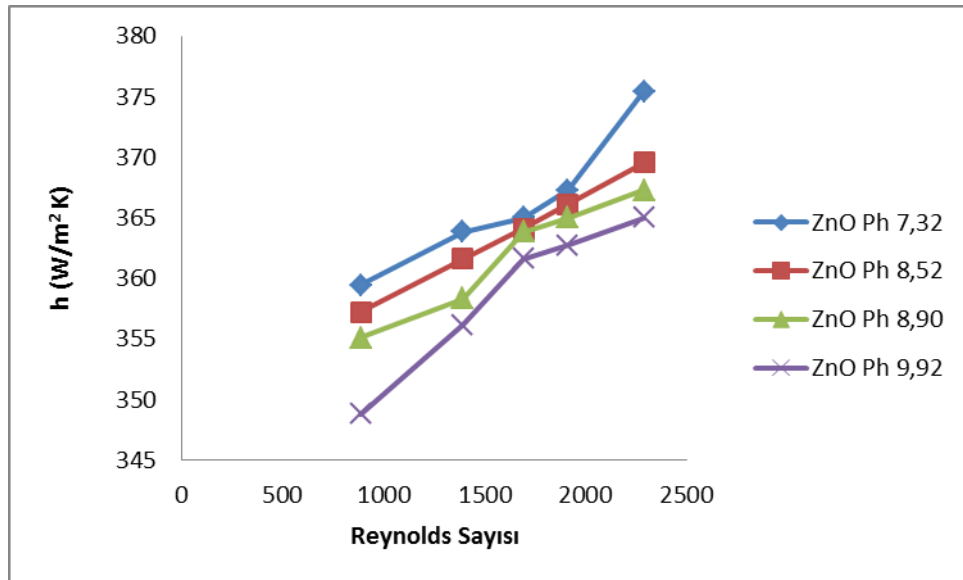


Şekil 4.35. ZnO pH 8.90 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



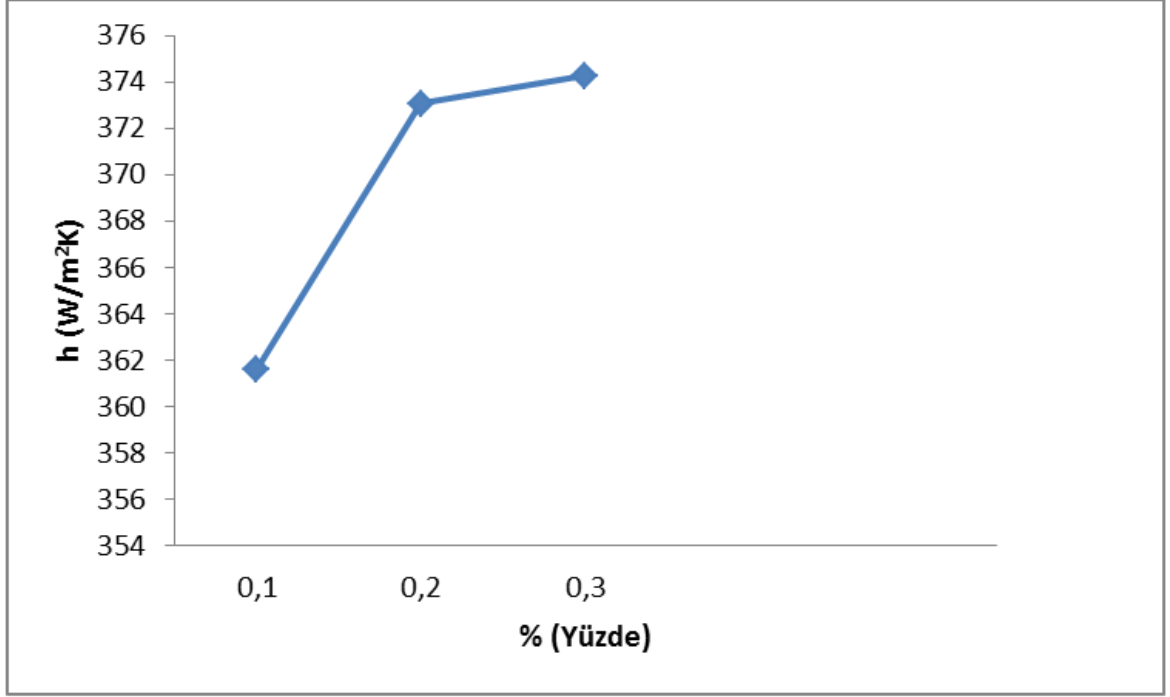
Şekil 4.36. ZnO pH 9.92 için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 4.33-4.36'a Bakıldığında ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı 800 ile 2300 arasında arttığı şekilde gözlemlenmektedir.



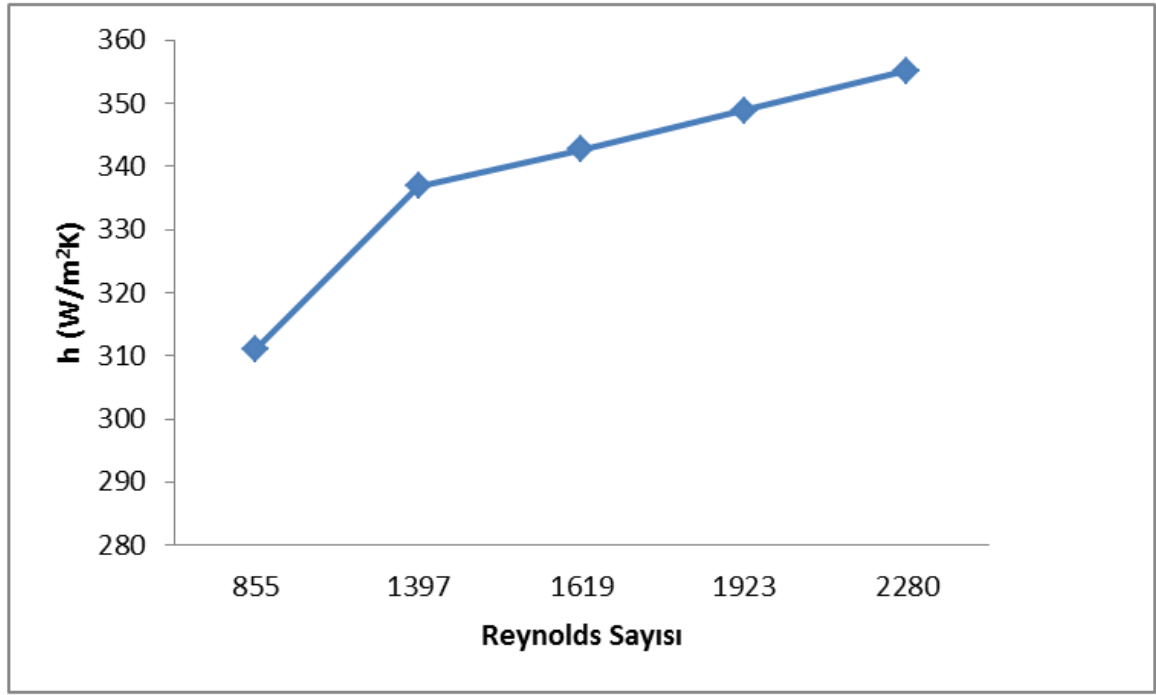
Şekil 4.37. ZnO pH değerleri kıyası için ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi

Şekil 4.37 incelendiğinde pH ile ısı transfer katsayısının arasında ters orantı bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni nanomalzemeler üretilirken pH seviyelerini yükseltmek için kullanılan akışkanın; % 25'i NH_3 ve %75 'i su olduğundan akışkanın özgül ısısı ZnO ' dan daha düşük olmasıdır.

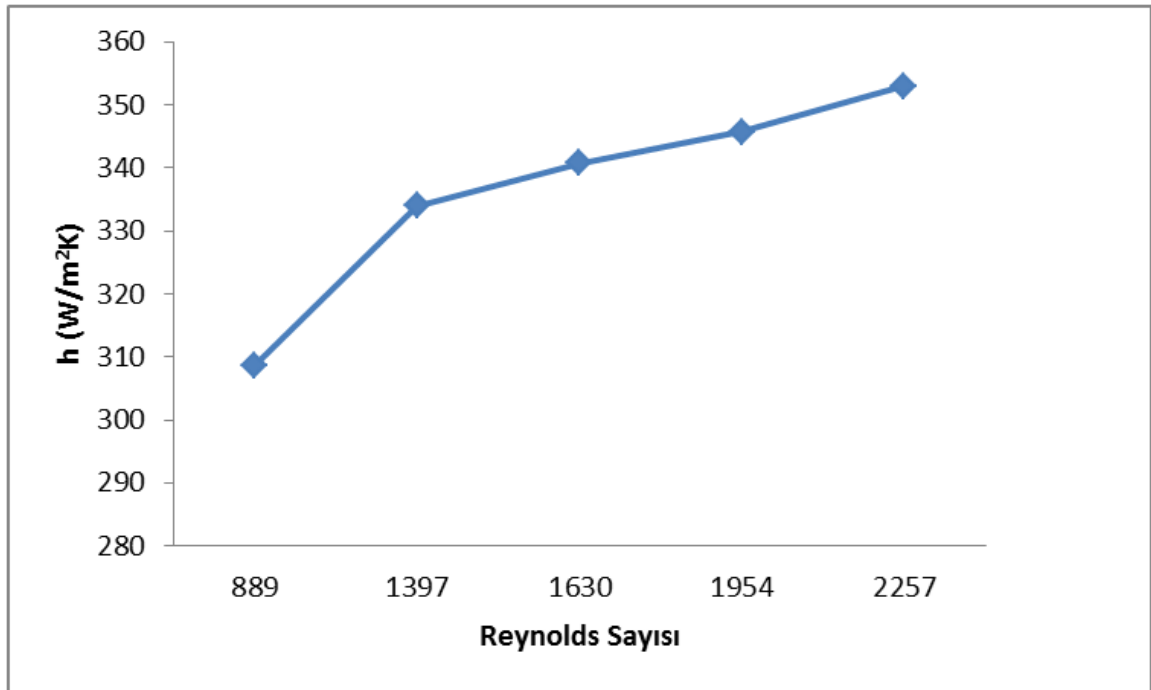


Şekil 4.38. ZnO pH 9.92 için ısı transfer katsayısının malzeme oranına göre değişimi

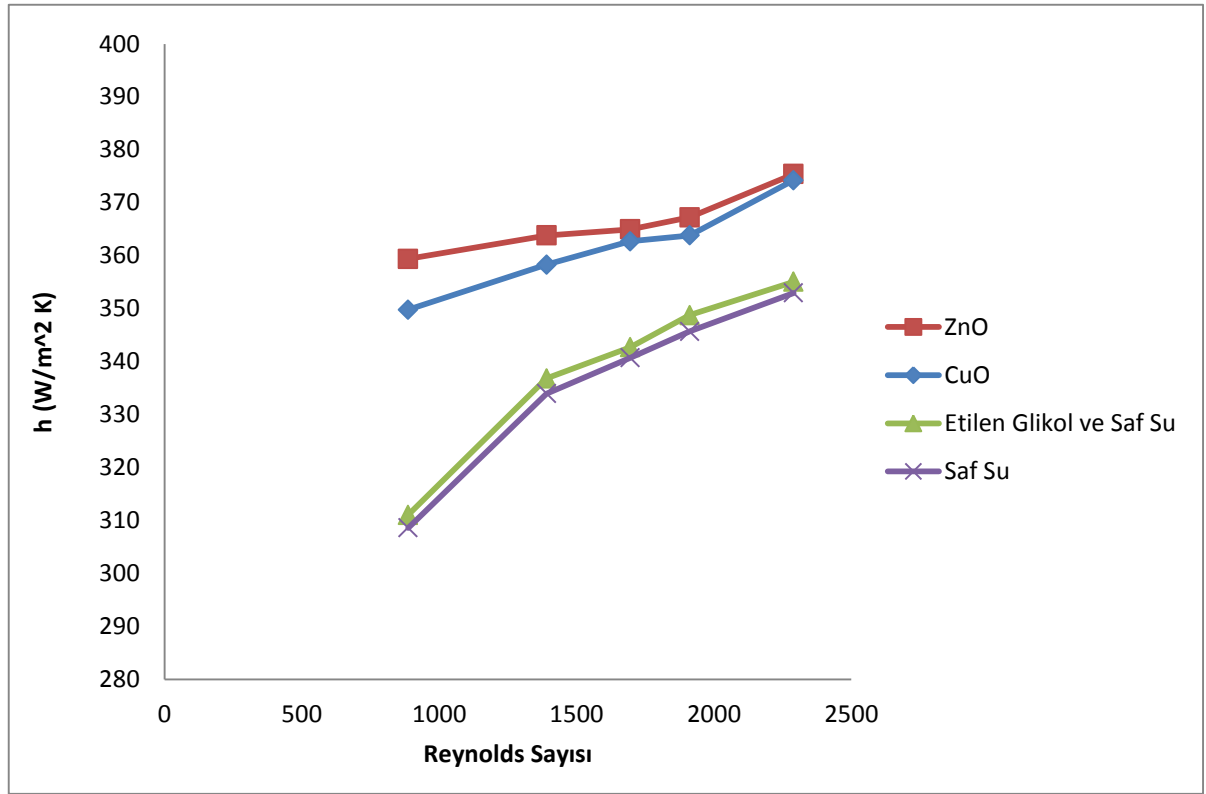
Şekil 4.38 incelendiğinde malzeme yüzdesinin artışıyla ısı transfer katsayısının arttığı gözlenmektedir.



Şekil 4.39 %33 Etilen glikol ve %67 saf su dan oluşan karışımın ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



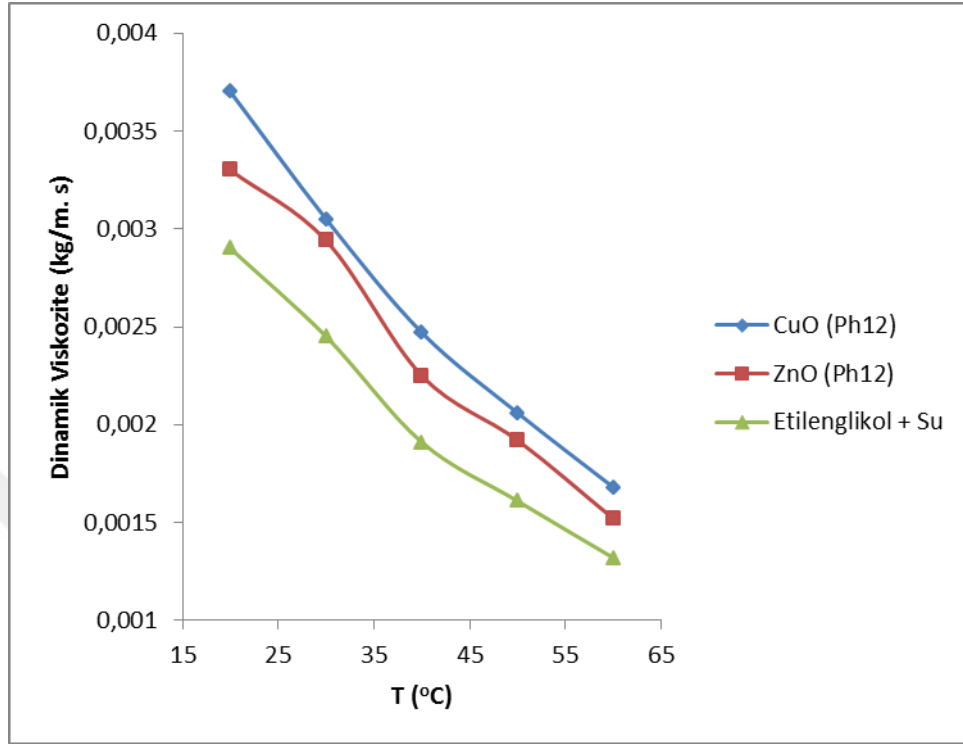
Şekil 4.40 Saf su nun ısı transfer katsayısının Reynolds sayısına göre değişimi



Şekil 4.41 Akışkanların ısı transfer katsayılarının Reynolds sayısına göre değişiminin kıyaslanması

Şekil 4.41 incelendiğinde ısı transfer katsayısının Reynolds sayısı 1600 civarında ZnO’ da en yüksek olduğu daha sonra CuO geldiği görülmektedir. Saf suya göre ortalama ZnO’ da %16.5 oranında CuO’ de %13.3 oranında iyileşme görülmektedir.

4.7. Nanoakışkan Akışkanların Dinamik Viskozitesinin Sıcaklığa Göre Değişimi

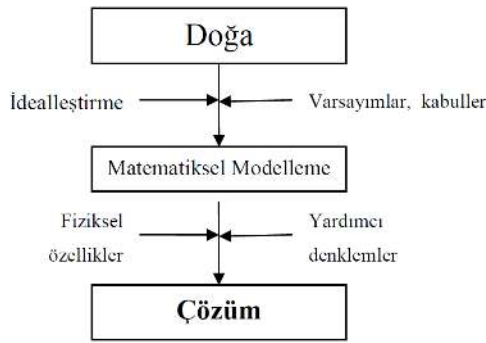


Şekil 4.42 Akışkanların dinamik viskozitesinin sıcaklığa göre değişiminin kıyaslanması

Şekil 4.42 incelendiğinde Akışkanların viskozitelerinin sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

5. HATA ANALİZİ

Bilimin ve teknolojinin, özellikle son yıllarda hızla gelişmesinde en büyük katkı, hiç şüphesiz bilim insanlarının doğayı modelleme yollarını araştırması sağlamıştır. Bir nevi doğayı taklit etme olarak ifade edilebilecek bu olay bilimin ve teknolojinin önünü açmış ve eskiden imkânsız olarak görülen hesaplamaların, üretimlerin yapılması günümüzde çeşitli matematiksel modellemeler sayesinde mümkün hale gelmiştir (Şekil 5.1) [141]. Bilim ve teknolojinin önünü açmak için sıkça kullanılan yöntem ise deneysel çalışmalardır. Deneysel çalışmaların temelinde, deney esnasında sorunun cevabına göre belirli zamanlarda ve aralıklarda ölçüm alınması vardır. Pratikte alınan ölçümlerin güvenilirliği ise sayısız etmene bağlıdır. Pek çok olası neden deneyde belirsizlik kaynağıdır [142].



Şekil 5.1. Problem çözümüne analitik yaklaşım.

- i. Ölçülen değerin tanımındaki eksiklikler,
- ii. Ölçülen değerin tanımının gerçekleşmesindeki eksiklikler,
- iii. Ölçülen değeri temsil etmeyen gözlemler yapmak,
- iv. Çevre koşullarının deneye etkisinin tam olarak belirlenememesi,
- v. Analog cihazların kullanımı ve değerin okunmasında teknik personeldeki belli bir yöne eğilim,
- vi. Ölçüm cihazlarının üretiminden ve kullanımından dolayı oluşan hatalar,
- vii. Deneyde girdi olarak kullanılan ve deney sonunda analizde kullanılan dış kaynaklardan elde edilen sabit parametrelerin değerlerinin tam olarak bilinmemesi,
- viii. Ölçüm yöntemi veya analizinde kullanılan yaklaşımlar ve ekstrapolasyonlar,
- ix. Deney şartlarının görünürde sabit olduğu gözükken bir ortamda tekrarlanan deneylerde, ölçülen değerin farklılıklar göstermesi.

Yukarıda sıralanan ve deneyde belirsizliğe yol açan nedenlerin tümü birbiriyle alakalıdır. Bu yüzden deney esnasında oluşan hata bir sonraki adımdaki sonucu etkiler ve

zincirleme olarak hata oranını artırır. Bu etmenler içerisinde kontrol edilebilen veya sonuca etkisi tahmin edilebilenler olduğu gibi fark edilemeyen veya fark edilse bile hesaplanamayan etmenler de vardır [143]. Yukarıda bahse konu olan hata sebeplerinin sonuca etkisini tahmin etmek amacıyla yapılan belirsizlik analizi, ölçüm parametrelerindeki ve ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan deney sonuçlarındaki belirsizliği tespit etmek için yapılır [144]. Deneysel verilerin doğruluğunun tespiti, “belirsizlik tahmini”, “belirsizlik aralığı” veya sadece “belirsizlik” şeklinde adlandırılır. Belirsizlik analizi ile ilgili en açıklayıcı bilgiler Kline ve McClintock [145] ve Holman [146] tarafından yapılmıştır.

Belirsizlik analizi deneysel çalışmalarda çok fazla önem arz etmektedir. Belirsizlik analizi yardımıyla enerji tasarrufu hakkında yapılan literatürde birçok çalışma mevcuttur. Tokat ve arkadaşları [147], kabin tipi çamaşır kurutma makinesi tasarımı yapmışlar ve çamaşırın her kiloğramı için kurutma esnasında tüketilen enerjiyi hesaplamışlardır. Belirsizlik analizi yardımıyla kurutma makinesinin enerji tüketimi seviyesi hakkında bilgi sahibi olmuşlardır. Tasarladıkları ısı pompalı kurutma makinesinin 1400 dev/dak’ da sıkılmış 6 kg çamaşır için 1,62 kWh enerji tükettiğini hesaplamışlardır. Diğer tip çamaşır kurutma makinelerinin ise 1400 devir/dak’da sıkılmış 6 kg çamaşır için yaklaşık 3,36 kWh enerji tükettiğini belirterek, tasarladıkları kurutma makinesinin enerji verimliliği açısından daha az enerji ile aynı sürelerde kurutma işlemi yapabildiğini belirtmişlerdir.

Sezer ve Bilgin [148], çalışmalarında dietil eter dizel karışımlarının motor performansına etkilerini, çeşitli çalışma şartlarında deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylerinde belirsizlik analizi kullanmışlar ve belirsizlik değerlerini motor devir sayısına göre hesaplamışlardır. Deneylerde belirli oranlarda dizel yakıtın içerisine hacimsel olarak %2,5, %5, %7,5 ve %10 dietil eter katarak hazırlanan çeşitli yakıt karışımları ve dizel yakıtın kendisini kullanmışlardır. Çalışmanın sonunda yapılan analizlere göre dizel yakıtı dietil eter katılması, ortalama efektif basıncın ve bunun sonucu olarak döndürme momenti ve gücün bir miktar düşmesine sebep olduğu görülmüştür. Korkut ve Şekerci [149], kojenerasyon sistemlerinin ülkemizde ve dünyada ki yerimi değerlendirmişler ve izmir ilinde bulunan orta ölçekli bir kojenerasyon sisteminden hata anında alınan verileri belirsizlik analizi kullanarak incelemişlerdir. Bu analizler yardımıyla enerji tüketimi, tüketicilere en az zarar vermesi durumu, arızaların sınıflandırılması ve yatırım planları yapılması konuları üzerinde durulması gerektiğini belirtmişlerdir. Pneg ve arkadaşları [150], Çin de 2016-2030 yılları arasında satılacak binek otomobil sektöründe Karbondioksit azaltma maliyeti ve enerji tüketimini azaltmak adına belirsizlik analizleri yapmışlardır. Elektrik tüketimi için petrol fiyatını, elektrik maliyet enerji tasarrufu potansiyelini, artan yatırım maliyetini ve emisyon faktörünün etkilerini ayrı ayrı analiz etmiş ve karşılaştırmışlardır. Enerji tasarrufu potansiyeline ve artan yatırım maliyeti belirsizlikleri geleneksel enerji tasarrufu yollarına (MAC) büyük etkiye sahip olduklarını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada değişik pürüzlülüğe sahip borulardaki pürüzlülüğün, giriş ve tam gelişmiş akış bölgesinde, basınç kaybına etkisi ve basıncın zamana göre değişimi deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda basınç kaybı ölçümlerinde ortaya

çıkabilecek belirsizlikler, kütle ve zaman ölçümlerindeki ortaya çıkabilecek belirsizlikler, fiziksel özelliklerin belirsizliği, diğer belirsizler, reynolds sayısının belirsizliği ve sürtünme faktörünün belirsizliği hesaplanmıştır.

5.1. Yapılan Deney Çalışmalarında Toplam Belirsizliğin Tespiti

Deney çalışmasında sıcaklık ve hacimsel debi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerden elde edilen değerlerle Reynolds sayısı (Re) ve ısı transfer katsayısı (h) hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerden belirsizlik değeri belirlenirken Kline ve McClintock tarafından belirlenen yöntem esas alınmıştır.

5.2. Reynolds Sayısı İçin Belirsizlik Tespiti

Reynolds sayısı daha önce verildiği gibi akışkan hızına ve boru çapına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Re = \frac{\rho U D}{\mu} \quad (5.1)$$

Bu denklemdeki ortalama hız ise kütsel debi formülünden aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \rho U \pi \frac{D^2}{4} \Rightarrow U = \frac{4m}{\pi D^2 t \rho} \quad (5.2)$$

Burada m debi kantarında ölçüm için bırakılan kütledir (kg) ve t ise debi ölçümünde geçen zamandır (s). Ortalama akış hızı Eşitlik (5.2)'de yerine yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$Re = \frac{4m}{\pi D \mu t} \quad (5.3)$$

Burada μ dinamik viskozitedir. Reynolds sayısının belirsizlik değeri ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$w(\text{Re}) = \left[\left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial m} w(m) \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial D} w(D) \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial \mu} w(\mu) \right)^2 + \left(\frac{\partial \text{Re}}{\partial t} w(t) \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$w(\text{Re}) = \left[\left(\frac{4}{\pi D \mu t} w(m) \right)^2 + \left(-\frac{4m}{\pi D^2 \mu t} w(D) \right)^2 + \left(-\frac{4m}{\pi D \mu^2 t} w(\mu) \right)^2 + \left(-\frac{4m}{\pi D \mu t^2} w(t) \right)^2 \right]$$

$$\frac{w(\text{Re})}{\text{Re}} = \left[\left(\frac{w(m)}{m} \right)^2 + \left(-\frac{w(D)}{D} \right)^2 + \left(-\frac{w(\mu)}{\mu} \right)^2 + \left(-\frac{w(t)}{t} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.4)$$

5.3. Isı Transfer Katsayısı İçin Belirsizlik Tespiti

Sürtünme faktörü daha önceki konuda olduğu gibi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$h = \frac{q}{A \times [T_{\text{ort2}} - 0.5(T_{\text{in}} + T_{\text{out}})]} \quad (5.5)$$

Burada denklem açık şekilde yazılırsa denklem aşağıdaki gibi olur.

$$h = \frac{q}{\pi \times D \times L \times [T_{\text{ort2}} - T_{\text{ort1}}]} \quad (5.6)$$

Isı transfer katsayısı için belirsizlik ifadesi ise aşağıdaki eşitlikle sonuçlanır.

$$w(h) = \left[\left(\frac{\partial h}{\partial q} w(q) \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial D} w(D) \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial L} w(L) \right)^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \Delta T} w(\Delta T) \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.7)$$

Denklem (5.7) açılırsa aşağıdaki gibi Isı transfer katsayısının belirsizliği ortaya çıkar.

$$\frac{w(h)}{h} = \left[\left(\frac{w(q)}{q} \right)^2 + \left(-\frac{w(D)}{D} \right)^2 + \left(-\frac{w(L)}{L} \right)^2 + \left(-\frac{w(\Delta T)}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.8)$$

5.4 Ölçülen Değerlerin Belirsizliklerinin Belirlenmesi

Denklem 5.6 ve Denklem 5.8 'le sonuçlanan belirsizlik ifadelerinde bulunan terimlerin belirsizliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Verilen belirsizlikler için çeşitli kaynaklarda benzer ölçümlerdeki belirsizliklerin esas alınması yanında ölçü aletlerinin imalatçı firma tarafından önerilen belirsizlik değerleri de dikkate alınmaktadır. Bunun yanında

belirlenmesi zor olan hatalar, deneysel tecrübelerden tahmini olarak belirlenmektedir [151].

5.5. Bulgular

5.5.1. Sıcaklık ölçümlerinde ortaya çıkabilecek belirsizlikler

Sıcaklık ölçümlerinde ortaya çıkabilecek hatalar aşağıda sıralanmıştır.

(a₁) Thermocouple ların okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik $\pm \%2-3$

(a₂) Sistem kaçaklarıyla ilgili belirsizlik; $\pm \%0-0.5$

(a₃) Yatay konulan borunun eğimli olma durumunda belirsizlik $\pm \%0.5-1$

(a₄) hortumlarda şeffaflık etkisi $\pm \%0-0.5$

Bu belirsizlikler ile basınç kaybının ölçülmesinde ortaya çıkabilecek ortalama belirsizlik aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} \frac{w(\Delta T)}{\Delta T} &= \left[(a_1)^2 + (a_2)^2 + (a_3)^2 + (a_4)^2 \right]^{1/2} = \left[(0.03)^2 + (0.005)^2 + (0.01)^2 + (0.005)^2 \right]^{1/2} \\ &\Rightarrow \frac{w(\Delta T)}{\Delta T} = \pm 3.2\% \end{aligned} \quad (5.9)$$

5.5.2. Kütle ve zaman ölçümlerindeki ortaya çıkabilecek belirsizlikler

Debi ölçümlerinde kullanılan ölçüm kütlelerindeki ve tutulan zamandaki belirsizlikler aşağıda verilmiştir

Ölçüm kütlelerindeki belirsizlik:

(a₁) Sistemden geçen Akışkan kütlelerin belirsizliği; $\pm \%0.5-1$

(a₂) Su sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan su kütlesi belirsizliği; $\pm \%0.5$

$$\frac{w(m)}{m} = \left[(a_1)^2 + (a_2)^2 \right]^{1/2} = \left[(0.01)^2 + (0.005)^2 \right]^{1/2} \Rightarrow \frac{w(m)}{m} = \pm \%1.1 \quad (5.10)$$

Zaman ölçümlerindeki belirsizlik

(a1) debi ölçümündeki zamanlama belirsizliği $\pm\%2$

$$\frac{w(t)}{t} = \pm \%2 \quad (5.11)$$

5.5.3 Diğer belirsizlikler

(a1) Boru eksenini boyunca boru çapında meydana gelebilecek farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik

$$w(D) / D = \pm\%1 \quad (5.12)$$

(a2) Boru boyundaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik

$$w(L) / L = \pm\%1 \quad (5.13)$$

5.5.4 Fiziksel özelliklerin belirsizliği

Dinamik viskozite ve yoğunluk gibi fiziksel özelliklerdeki belirsizlikler aşağıda verilmiştir.

(a1) su sıcaklığındaki değişim nedeniyle belirsizlik: $\pm\%1$

(a2) tablo değerlerinin okunmasında ortaya çıkabilecek belirsizlik: $\pm\%0.2$

$$\frac{w(\rho)}{\rho} = \frac{w(\mu)}{\mu} = \left[(a_1)^2 + (a_2)^2 \right]^{1/2} = \left[(0.01)^2 + (0.002)^2 \right]^{1/2} = 0.01 = \pm \%1 \quad (5.14)$$

Yukarıda elde edilen belirsizlikler ısı transfer katsayısı ve Reynolds sayısı bağıntılarında yerlerine yazılırsa ısı transfer katsayısı ve Reynolds sayısındaki belirsizlikler aşağıdaki gibi hesaplanmış olur.

$$\frac{w(Re)}{Re} = \left[\left(\frac{w(m)}{m} \right)^2 + \left(-\frac{w(D)}{D} \right)^2 + \left(-\frac{w(\mu)}{\mu} \right)^2 + \left(-\frac{w(t)}{t} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.15)$$

$$\frac{w(Re)}{Re} = \left[(0.011)^2 + (-0.01)^2 + (-0.01)^2 + (-0.02)^2 \right]^{1/2} \Rightarrow \frac{w(Re)}{Re} = 0.027 = \pm 2.7\%$$

$$\frac{w(\Delta T)}{\Delta T} = \left[\left(\frac{w(q)}{q} \right)^2 + \left(-\frac{w(D)}{D} \right)^2 + \left(-\frac{w(L)}{L} \right)^2 + \left(-\frac{w(\Delta T)}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{w(\Delta T)}{\Delta T} = \left[(0.01)^2 + (-0.01)^2 + (-0.01)^2 + (0.032)^2 \right]^{1/2} = 0.045 = \%4.5$$

Bu çalışmada çeşitli parametreler için hesaplanan belirsizlik analizi Tablo (5.1) de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Belirsizlik değerleri

PARAMETRE	BELİRSİZLİK DEĞERİ (%)
Sıcaklık Ölçümlerinde	$\pm\%3.2$
Kütle ve zaman ölçümlerindeki	$\pm\%1.1$
Boru boyundaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik	$\pm\%1$
Boru çapındaki farklılıklardan kaynaklanan belirsizlik	$\pm\%1$
Fiziksel Özelliklerin Belirsizliği (Viskozite ve Yoğunluk)	$\pm\%1$
Reynold sayısındaki belirsizlik	$\pm\%2.7$
Isı transfer katsayısındaki belirsizlik	$\pm\%4.5$

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Boru içi akışlarda ısı transferini artırarak enerjiyi daha faydalı bir şekilde kullanabilmek günümüzde önem arz etmekte çünkü teknolojik gelişmelerle birlikte son yıllarda sanayi sektöründe her geçen gün artan bir enerji talebi mevcuttur. Günlük yaşamın en önemli girdilerinden olan enerjiye ihtiyaç devamlı olarak artarken enerji kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu doğrultuda mevcut enerji dönüşüm sistemlerinin yeniden gözden geçirilip var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok faydalanabilmek açısından yeni metodlar geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Mevcut yöntemler arasında aktif yöntem (dış güç kaynağının kullanılmasını gerektiren, ısı transfer edilen akışkana veya ortama ilave enerji verilerek ısı transferinde iyileşme sağlanması) önem arz etmektedir.

Üretilen nanomalzemeler kullanılarak elde edilen nanoakışkanlar için Şekil 4.27-4.30 ve Şekil 4.33-4.36'a bakıldığında çeşitli pH lardaki CuO ve ZnO nanoakışkanlarının ısı transfer katsayısının, Reynolds sayısı 800 ile 2300 arasında arttığı görülmektedir. Şekil 4.31 ve Şekil 4.37 incelendiğinde pH ile ısı transfer katsayısının arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Nedeni ise nanomalzemeler üretilirken pH seviyelerini yükseltmek için kullanılan akışkanın; % 25'i NH_3 ve %75'i su olduğundan akışkanın özgül ısısının CuO ve ZnO' dan daha düşük olmasıdır. Şekil 4.32 ve Şekil 4.38 incelendiğinde CuO ve ZnO malzeme yüzdesinin artışıyla ısı transfer katsayısında artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.42'de incelendiğinde akışkanların viskozitelerinin sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiği görülmektedir.

Isı transferi yönünden sonuçlar incelendiğinde; Reynolds sayısı 1600 civarında iken yaklaşık olarak saf suya göre ZnO' da %16.5 ve CuO' da %13.3 değerinde ortalama iyileşme sağlanmıştır. İlerleyen aşamalarda yeni ürettiğimiz nanoakışkanlar sanayi ile işbirliğine gidilerek enerji verimliliği ve tasarrufu anlamında çeşitli sistemlerde daha kullanılır hale getirilebilir. Kullandığımız deney sisteminde Reynolds sayısını belirlerken $\pm\%2.7$ oranında, ısı transfer katsayısında ise $\pm\%4.5$ oranında belirsizlik olduğu tespit edilmiştir. Bu alanda çalışacak araştırmacılar deney setiyle belirlenecek olan parametrelerin belirsizlik oranlarının daha düşük seviyelere çekilmesi için sistemde kullanılan alet ve malzemelerin daha hassas seçilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

1. **Abraham.J.P.Sparrow. Tong. J.C.K. Bettenhausen. D.W.**. 2010. Internal flows which transist from turbulent through intermittent to laminar. *International Journal of Thermal Sciences*. **49**. 256–263
2. **Çengel.Y. A. JM. Cimbala.** *Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları*. Birinci baskıdan çeviri. İzmir:Güven Kitabevi. 2008.
3. **Maxwell J. C.**, A Treatise on Electricity and Magnetism, 1881. Second ed., Clarendon Press, Oxford, UK.
4. **Gürmen, S. Ebin, B.**, 2008. Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1, *Metalurji Dergisi*, **150**, 31-38.
5. **Choi, S.U.S.**, 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *The Proceedings of the 1995 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, San Francisco, USA, ASME, FED 231/MD 66, 99–105.
6. **Xuan Y., Li Q. ,** 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, **21(1)**, 58–64.
7. **Şahin, B.**, 2010. Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi, *TÜBİTAK Proje No: 105M292*, Erzurum.
8. **Çifci H.**, Küresel Yüzeylerde Nanoakışkanlarda Kaynama Isı Transferinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,2014.
9. **Zhu, H., Lin, Y., Yin, Y.**, 2004. A novel one-step chemical method for preparation of copper nanofluids, *Journal of Colloid and Interface Science*, **277**, 100–103.
10. **Eastman, J. A., Choi, S. U. S., Li, S., Yu,W., Thompson, L. J.**, 2001. Anomalously Increased Effective Thermal Conductivity of Ethylene Glycol-Based Nanofluids Containing Copper Nanoparticles, *Applied Physics Letters*, **78**, 718–720.
11. **Chang, H., Tsung, T. T., Chen, L. C., Yang, Y. C., Lin, H. M., Lin, C. K., Jwo, C. S.**, 2005. Nanoparticle Suspension Preparation Using the Arc Spray Nanoparticle Synthesis System Combined with Ultrasonic Vibration and Rotating Electrode, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **26**, 552–558.
12. **Lo, C.-H., Tsung, T.-T., Chen, L.-C., Su, C.-H., Lin, H.-M.**, 2005. Fabrication of Copper Oxide Nanofluid Using Submerged Arc Nanoparticle Synthesis System (SANSS), *Journal of Nanoparticle Research*, **7**, 313–320.

13. Lo, C.-H., Tsung, T.-T., and Chen, L.-C., 2005. Shaped-Controlled Synthesis of Cu-Based Nanofluid Using Submerged Arc Nanoparticle Synthesis System (SANSS), *Journal of Crystal Growth*, **277**, 636–642.
14. Wen, D., Ding, Y., 2004. Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **47**, 5181–5188.
15. Liu, M., Lin, M., Huang, I., Wang, C., 2005. Enhancement of thermal conductivity with carbon nanotube for nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **32**, 1202–1210.
16. Choi, S.U.S., Zhang, Z.G., Yu F.E. 2001. Lockwood and E.A. Grulke, Anomalous Thermal Conductivity Enhancement Nanotube suspensions, *Applied Physics Letters*, **79**, 2252-2254.
17. Kumar V., Tiwari A., Ghosh S., Application of Nanofluids in Plate Heat Exchanger: A Review, *Energy Conversion and Management*, 2005.
18. Elçioğlu E. B., Yazıcıoğlu A.G., Kakaç S., Nanoakışkan Viskozitesinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 34, 1, 137-151, 2014.
19. Einstein, A., 1906. Eine neue bestimmung der moleküldimensionen,; *Annals. Phys.* **324(2)**, 289–306.
20. Mishra P. C., Mukherjee S., Nayak S. K., Panda A., 2014. A brief review on viscosity of nanofluids, *Int Nano Lett*, **4**, 109–120.
21. Tavman, I., Turgut, A., 2010. An investigation on thermal conductivity and viscosity of water based nanofluids, *Microfluidics Based Microsystems NATO Science for Peace and Security Series A: Chemistry and Biology*, 139-162.
22. Nguyen, C.T., Desgranges F., Gilles R., Nicolas G., Thierry M., Boucher S., 2007. Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nanofluids–hysteresis phenomenon, *Int. J. Heat Fluid Flow*, **28(6)**, 1492–1506.
23. Weerapun, D., Somchai, W., 2009. Measurement of temperature dependent thermal conductivity and viscosity of TiO₂ water nanofluids, *Exp. Therm. Fluid Sci.*, **33(4)**, 706–714.
24. Mahbubul, I.M., Saidur, R., Amalina, M.A., 2012. Latest developments on the viscosity of nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transf.*, **55(4)**, 874–885.

25. Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karşlı, S., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş., Kaya, M., “Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Tübitak, Proje No: 105M292, 2010.
26. XuanY., Li Q., Hu W., “Aggregation Structure and Thermal Conductivity of Nanofluids”, *AIChE Journal*, Cilt 49, No 4, 1038-1043, 2003.
27. Gonçalves, J. S. V., Santos, S. H. and Leal, L. S. Santos Junior1, M. R. M. C. Santos1, E. Longo and Matos, J. M. E. ,Experimental variables in the synthesis of anatase phase TiO2 nanoparticles, 11th International Conference on Advanced Materials, Rio de janeiro Brazil,2009.
28. Xie H, Wang J, Xi T, Liu Y., 2001. Study on the thermal conductivity of SiC nanofluids. *J Chin Ceram Soc*, **29**(4), 361–364.
29. Xie H.Q., Wang J.C., Xi T.G., Liu Y., Ai F., Wu Q.R., 2002. Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles, *J Appl Phys*, **91**, 4568–4572.
30. Patel , H. E., Sundararajan , T., Das S. K., 2010. An experimental investigation into the thermal conductivity enhancement in oxide and metallic nanofluids, *Journal of Nanoparticle Research*, **12**(3), 1015-1031.
31. Kang H.U., Kim S.H., Oh J.M., 2006. Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume. *Exp Heat Transfer*, **19**(3), 181–91.
32. Yu, W., France, D.M., Choi, S.U.S. ve Routbort, J.L., 2007. Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, ANL/ESD/07-9.
33. Goharshadi, E.K., Ahmadzadeh, H., Samiee S., Hadadian M., 2013. Nanofluids for heat transfer enhancement-a review, *Phys. Chem. Res*, **1**(1), 1–33.
34. Thomas, S., Sobhan, C.B.P., 2011. A review of experimental investigations on thermal phenomena in nanofluids, *Nanoscale Res. Lett.*, **6**(1), 1–21.
35. Jia-Fei, Z., Zhong-Yang, L., Ming-Jiang, N.I., Ke-Fa, C., 2009. Dependence of nanofluid viscosity on particle size and pH value, *Chin. Phys. Lett.*, **26**(6), 066202.
36. Wang, X., Xu, X., Choi, S.U.S., 1999. Thermal conductivity of nanoparticle-fluid mixture. *J. Thermophys Heat. Transf*, **13**(4), 474–480.

37. Pak, B.C., Cho, Y.I., 1998. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Exp. Heat Transf Int. J.*, **11**(2), 151–170.
38. Li, Q., Yimin, X., Jian, W., 2006. Measurement of the viscosity of dilute magnetic fluids, *Int. J. Thermophys.* **27**(1), 103–113.
39. Radiom, M., Yang, C., Chan, W.K., 2010. Characterization of surface tension and contact angle of nanofluids, *Proceedings of Fourth International Conference on Experimental Mechanics*, **7522**, 75221D.
40. Zhu, D.S., Wu, S.Y., Wang, N., 2010. Surface tension and viscosity of aluminum oxide nanofluids, *AIP Conference Proceedings*, 460-464.
41. Fotukian, S.M., Esfahany, M.N., 2010. Experimental study of turbulent convective heat transfer and pressure drop of dilute CuO/water nanofluid inside a circular tube, *Int. Commun. Heat Mass Trans.*, **37**, 214-219.
42. Williams, W., Buongiorno, J., Hu, L.W., 2008. Experimental investigation of turbulent convective heat transfer and pressure loss of alumina/water and zirconia/ water nanoparticle colloids (nanofluids) in horizontal tubes, *J. Heat Trans.*, **130**, 042412.
43. Duangthongsuk, W., Wongwises, S., 2010. An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO₂-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime, *Int. J. Heat Mass Trans.*, **53**, 334-344.
44. Kakaç, S., Pramuanjaroenkij, A., 2009. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **52**, 3187–3196.
45. Sarkar, J., 2011. A critical review on convective heat transfer correlations of nanofluids, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **11**, 3271–3277.
46. Javadi, F.S., Saidur, R., Kamalisarvestani, M., 2013. Investigating performance improvement of solar collectors by using nanofluids, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **28**, 232–245.
47. Manay, E., 2014. Mikrokanallarda nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşümü karakteristiklerinin araştırılması, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
48. Kılınç, F., 2015. Oto radyatörlerde nanoakışkan kullanılarak ısı aktarım performansının artırılması, *Doktora Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.

49. **Bedir, Ö.**, 2013. Sabit Isı Akıllı Yatay Bir Boruda Zorlanmış Türbülanslı Akışta Nanoakışkanların Sayısal İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
50. **Colangelo, G., Favale, E., Risi, A., Laforgia D.**, 2012. Results of experimental investigations on the heat conductivity of nanofluids based on diathermic oil for high temperature applications, *Applied Energy*, **97**, 828–833.
51. **Zhu H., Zhang C., Liu S., Tang Y., Yin Y.**, 2006. Effects of nanoparticle clustering and alignment on thermal conductivities of Fe₃O₄ aqueous nanofluids, *Appl Phys Lett*, **89**, 023123.
52. **Murshed S.M.S., Leong K.C., Yang C.**, 2008. Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids, *Int J Therm Sci*, **47**, 560–568.
53. **Hwang Y., Lee J.K., Lee C.H., Jung Y.M., Cheonga S.I., Lee C.G., Ku B.C., Jang S.P.**, 2007. Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids, *Thermochimica Acta*, **455**, 70–74
54. **Zhang X., Gu H., Fujii M.**, 2006. Experimental study on the effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids, *Int J Thermophys*, **27(2)**, 569–580.
55. **Zhang X, Gu H, Fujii M.**, 2007. Effective thermal conductivity and thermal diffusivity of nanofluids containing spherical and cylindrical nanoparticles, *Exp Therm Fluid Sci*, **31**, 593–599.
56. **Xie H.Q., Wang J.C., Xi T.G., Liu Y., Ai F., Wu Q.R.**, 2002. Thermal conductivity enhancement of suspensions containing nanosized alumina particles, *J Appl Phys*, **91**, 4568–4572.
57. **Lee D., Kim J.-W., and Kim B. G.**, 2006. A New Parameter to Control Heat Transport in Nanofluids: Surface Charge State of the Particle in Suspension, *The Journal of Physical Chemistry B*, **110(9)**, 4323–4328
58. **Xu J.F., Zhang J.R., Du Y.W.**, 1996, Ultrasonic velocity and attenuation in nano-structured Zn materials, *Mater Lett*, **29**, 131–4.
59. **Verma P., Chaturvedi P., Rawat J.S.B.S.**, 2007. Elimination of current non-uniformity in carbon nanotube field emitters, *J Mater Sci: Mater Electron*, **18**, 677–80.

- 60. Mohanraj C., Dineshkumar R., Murugan G.,** Experimental Studies On Effect Of Heat Transfer With CuO-H₂O Nanofluid On Flat Plate Heat Pipe, *Materials Today: Proceedings* 4 (2017) 3852–3860.
- 61. Ganvir R.B., Walke P.V., Kriplani V.M.,** Heat transfer characteristics in nanofluid—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 75 (2017) 451–460.
- 62. Ray M., Deb S., Bhaumik S.,** Pool Boiling Heat Transfer Of Refrigerant R-134a on TiO₂ Nano Wire Arrays Surface, *Applied Thermal Engineering* 107 (2016) 1294–1303.
- 63. Dogonchi A. S., Ganji D. D.,** Thermal Radiation Effect on The Nano-Fluid Buoyancy Flow and Heat Transfer Over a Stretching Sheet Considering Brownian Motion, *Journal of Molecular Liquids* 223 (2016) 521–527.
- 64. Gugulothu R., Reddy V. K., Somanchi N. S., Adithya E. T.,** A Review on Enhancement of Heat Transfer Techniques, *Materials Today: Proceedings* 4 (2017) 1051–1056.
- 65. Karimipour A., D’Orazio A., Shadloo M. S.,** The Effects Of Different Nano Particles of Al₂O₃ And Ag on The MHD Nano Fluid Flow and Heat Transfer in a Microchannel Including Slip Velocity and Temperature Jump, *Physica E* 86 (2017) 146–153.
- 66. Tehrani P. F., Karimipour A., Afrand M., Mousavi S.,** Different Nano-Particles Volume Fraction and Hartmann Number Effects on Flow and Heat Transfer of Water-Silver Nanofluid Under the Variable Heat Flux, *Physica E* 85 (2017) 271–279.
- 67. Huda A. B., Akbar N.S.,** Heat Transfer Analysis with Temperature dependent Viscosity for the Peristaltic Flow of Nano Fluid with Shape Factor Over Heated Tube, *International Journal of Hydrogen Energy* 42 (2017) 25088–25101.
- 68. Villarejo R. G., Martin E. I., Navas J., Coronilla A. S., Aguilar T. Gallardo J.J., Alcantara R. Santos D., Berdugo I. C., Lorenzo C. F.,** Ag-Based Nanofluidic System to Enhance Heat Transfer Fluids for Concentrating Solar Power: Nano-Level Insights, *Applied Energy* 194 (2017) 19–29.
- 69. Naik B. A. K., Vinod A. V.,** Heat Transfer Enhancement using Non-Newtonian Nanofluids in a Shell and Helical Coil Heat Exchanger, *Experimental Thermal and Fluid Science* 90 (2017) 132–142.

70. Gupta N. K., Tiwari A.K., Ghosh S. K., Heat Transfer Mechanisms in Heat Pipes using Nanofluids – A review, *Experimental Thermal and Fluid Science* 90 (2017) 84–100.
71. Wei M., Song Y., Wang Y., Heat transfer of Nanofluidics in Hydrophilic Pores: Insights from Molecular Dynamics Simulations, *Chinese Journal of Chemical Engineering* 24 (2016) 1117–1121.
72. Sarafraz M.M., Hormozi F. Peyghambarzadeh S.M., Pool Boiling Heat Transfer to Aqueous alumina Nano-Fluids on the Plain and Concentric Circular Micro-Structured (CCM) Surfaces, *Experimental Thermal and Fluid Science* 72 (2016) 125–139.
73. Mikkola V., Puupponen S., Saari K., Nissila T.A., Seppala A., Thermal Properties and Convective Heat Transfer of Phase Changing Paraffin Nanofluids, *International Journal of Thermal Sciences* 117 (2017) 163-171.
74. Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A., 2011. A review on applications and challenges of nanofluids, *Renew. Sustain. Energy Rev.* **15**, 1646–1668.
75. Miller, J. C., Serrato, R., Represas- Cardenas, J. M. and Kundahl, G., 2004. *The Handbook of Nanotechnology*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
76. Gürmen S., Ebin B., Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri – 1, İ.T.Ü., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
77. Koch, C. C., Top-Down Synthesis of Nanostructured Materials: Mechanical and Thermal Processing Methods, *Rev.Adv.Mater.Sci*, 5, 91-99, 2003.
78. Menceloğlu, Y. Z., Kırca, M. B., Nanoteknoloji ve Türkiye, TÜSİAD, Yayın No - T/2008-11/474, Kasım 2008.
79. Willems and van der Willenberg (W & W), NRM Nanoroadmap Project: Roadmap Report on Nanoparticles, November 2005.
80. Edelstein, A. S. and Cammarata, R. C., Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications, Institute of Physics Publishing, Bristol, 2001.
81. Ateş H., Bahçeci E., Nano Malzemeler için Üretim Yöntemleri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 3(2):483-499 (2015).
82. Gürmen, S. Ebin, B., 2008. Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri-1, *Metalurji Dergisi*, **150**, 31-38.
83. <http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1079>

84. Wang, Z. H., Choi, C. J. Kim, B. K., Kim J. C. and Zhang Z. D., Microstructure and magnetic property of Fe-Co nanoparticles prepared by chemical vapor condensation process, J. of All. And Comp., 351, 319-323.,2003.
85. Lee, J. S., Im, S. S., Lee, C. W., Yu, J. H., Choa, Y. H. and Oh, S.T., Hollow nanoparticles of β -iron oxide synthesized by chemical vapor condensation, Journal of Nanoparticle Research,2004.
86. Suh, H. J., Jang, H. D., Chang, H., Kim, W. B. and Kim, H. C., Size-controlled synthesis of Fe-Ni alloy nanoparticles by hydrogen reduction of metal chlorides, Powder Tech., 161, 196-201,2006.
87. Bernard, K. and Ganesh. S., 1998. Nanostructured Bulk Materials: Synthesis, Processing, Properties and Performance. <http://www.wtec.org/loyola/nano/US.Review/05_02.htm>.
88. Türker, M., Asal gaz yoğunlaştırma metodu ile nanoboyutlu Ag tozlarının üretimi ve özelliklerinin değerlendirilmesi, Turkish J. Eng. Env. Sci., 26, 147-154,2002.
89. Kevin, M., 1997. Gas Phase Synthesis. <<http://www.rpi.edu/dept/materials/COURSES/NANO/moraes/page2.html>>.
90. Liveri, V. T., Controlled Synthesis of Nanoparticles in Microheterogeneous Systems, Springer Science+Business Media, Inc., New York,2006.
91. Gürmen S., Ebin B., Nanopartiküller ve Üretim Yöntemleri – 1, İ.T.Ü., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
92. Roth, P., Particle synthesis in flames, Proceedings of Combustion Institute, **31**, 1773-1788,2007.
93. Raa, C. N. R., International Union of Pure and Applied Chemistry, Blackwell Scientific Publications, 1992.
94. Tsai, S. C., Song, Y. L. Tsai, C.S., Yang, C.C., Chiu, W. Y. and Lin, H. M., Ultrasonic spray pyrolysis for nanoparticles synthesis, J. of Mater. Science, 39, 3647-3657,2004.
95. Evcin A., Sol-Jel Proseslerine Giriş Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi,2008
96. Evcin A. Demişulam C., Sol-Jel Yöntemiyle Düşük Ergime Sıcaklıklı Sır Üretimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Özel Sayı Fen Bilimleri Dergisi 239-244.
97. Lee J.-S., Soon S., Lee C.-W., Yu J.-H., Choa Y.-H. Oh S.-T., Hollow Nanoparticles of β -Iron Oxide Synthesized by Chemical Vapor Condensation, Journal of Nanoparticle Research, 6, 627–631, 2004.

98. **Bushan B.**, Handbook of Nanotechnology, Third Edition, ISBN: 978-3-642-02524-2, 2010.
99. **Xu, C.** Continuous and batch hydrothermal synthesis of metal oxide nanoparticles and metal oxide-activated carbon nanocomposites, PhD Thesis, Georgia Institute of Technology, 2006.
100. **Menceloğlu, Y. Z., Kırca, M. B.**, Nanoteknoloji ve Türkiye, TÜSİAD, Yayın No - T/2008-11/474, Kasım 2008.
101. **Choi, S.U.S.**, 1995. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *The Proceedings of the 1995 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*, San Francisco, USA, ASME, FED 231/MD 66, 99–105.
102. **Şahin, B., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., Karşı, S., Çomaklı, K., Özyurt, Ö., Karagöz, Ş., Kaya, M.**, 2010. Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi, *TÜBİTAK Proje No: 105M292*, Erzurum.
103. **Goldenstein, L., Radford, D., and Fitzhorn, P.**, 2002. The effect of nanoparticle additions on the heat capacity of common coolants, Argonne National Laboratory Transportation Technology R&D Centre, *SAE paper*, 01-3319.
104. **Çifci H.**, Küresel Yüzeylerde Nanoakışkanlarda Kaynama Isı Transferinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, 2014.
105. **Xuan Y., Li Q.** , 2000. Heat transfer enhancement of nanofluids, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, **21(1)**, 58–64.
106. **Akyürek, E.F.**, 2014. Nanoakışkanların ve Türbülatorlerin İç İç Borulu Isı Değiştirici Isıl Performansına Etkilerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
107. **Putra, N., Roetzel, W., Das, S.K.**, 2003. Natural convection of nano-fluids, *Heat and Mass Transfer*, **39**, 775-784.
108. **Goharshadi, E.K., Ahmadzadeh, H., Samiee S., Hadadian M.**, 2013. Nanofluids for heat transfer enhancement-a review, *Phys. Chem. Res*, **1(1)**, 1–33.
109. **Kakaç, S., Pramuanjaroenkij, A.**, 2009. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **52**, 3187–3196.
110. **Artuç, M.**, 2007. Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

111. **Dilek, E. F.,** 2008. Nanoakışkanların Hazırlanması ve Isıl İletkenliklerinin Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
112. **Yu, W., France, D.M., Choi, S.U.S. ve Routbort, J.L.,** 2007. Review and Assessment of Nanofluid Technology for Transportation and Other Applications, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory, **ANL/ESD/07-9.**
113. **Maxwell J. C.,** A Treatise on Electricity and Magnetism, 1881. Second ed., Clarendon Press, Oxford, UK.
114. **Choi, S.U.S., Zhang, Z. G, Yu, W., Lockwood, F. E., Grulke, E.A.,** 2001. Anomalous Thermal Conductivity Enhancement in Nanotube Suspensions, *Applied Physics Letters*, **79 (14)**, 2252- 2254.
115. **Kakaç, S., Pramuanjaroenkij, A.,** 2009. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, **52**, 3187–3196.
116. **Mishra P. C., Mukherjee S., Nayak S. K., Panda A.,** 2014. A brief review on viscosity of nanofluids, *Int Nano Lett*, **4**, 109–120.
117. **Pak, B.C., Cho, Y.I.,** 1998. Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Exp. Heat Transf Int. J.*, **11(2)**, 151–170.
118. **Xuan, Y., Roetzel, W.,** 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *Int J Heat Mass Transfer*, **43(19)**, 3701–3707.
119. **Vajjha, R.S., Das, D.K.,** 2009. Specific heat measurement of three nanofluids and development of new correlations, *ASME, J Heat Transfer*, **131(7)**, 071601–071607.
120. **Vajjha R.S., Das, D.K.,** 2012. A review and analysis on influence of temperature and concentration of nanofluids on thermophysical properties, heat transfer and pumping power. *Int J Heat Mass Transfer*, **55**, 4063–78.
121. **Zhou, L.,P, Wang, B.X., Peng, X.,F, Du, X-Z, Yang, Y.P.,** 2010. On the specific heat capacity of CuO nanofluid. *Adv Mech Eng*, **172085**, 1–4.
122. **Shin, D., Banerjee, D.,** 2014. Specific heat of nanofluids synthesized by dispersing alumina nanoparticles in alkalisalutectic. *Int J Heat Mass Transfer*, **74**, 210–4.

123. Fakoor, Pakdaman M., Akhavan-Behabadi M.A., Razi, P., 2012. An experimental investigation on thermo-physical properties and over all performance of MWCNT/ heat transfer oil nanofluid flow inside vertical helically coiled tubes, *Exp Therm Fluid Sci* **40(0)**,103–11.
124. Kumaresan, V., Velraj, R., 2012. Experimental investigation of the thermo-physical properties of water–ethyleneglycol mixture based CNT nanofluids. *Thermochim Acta*, **545(0)**, 180–6.
125. Cheremisinoff, N. P., 1986. Slurry flow technology, *Encyclopedia of Fluid Mechanics*, **5**, Houston, TX: Gulf Publishing.
126. Saidur, R., Leong, K.Y., Mohammad, H.A., 2011. A review on applications and challenges of nanofluids, *Renew. Sustain. Energy Rev.* **15**, 1646–1668.
127. Erkut, T. Z., 2012. Nanoakışkan Kullanarak Elektrikli Radyatörlerin Isıl Veriminin İyileştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun
128. Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P., DeWitt, D.P., 2011. Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons. Inc.,Seventh Edition.
129. www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes, T.C. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı,23.12.2015
130. Şahin, B., 2010. Nanokışkanların Isı Transferi ve Akış Karakteristiklerinin İncelenmesi, *TÜBİTAK Proje No: 105M292*, Erzurum.
131. Das, S. K., Choi, S. U. S., Yu, W., Pradeep, T., 2008. Nanofluids Science and Technology, John Wiley & Sons. Inc.
132. Çengel Yunus A., Isı Ve Kütle Transferi Pratik bir Yaklaşım 3. Basım,467- 468.
133. https://www.selcuk.edu.tr/ileri_arge/birim/web/sayfa/ayrinti/5874/tr
134. <http://biyokure.org/fourier-transform-infrared-kizilotesi-spektroskopisi-ftir/5696/>
135. <http://merlab.metu.edu.tr/uv-vis-spektrofotometresi>
136. <http://www.an-ka.com/termal-analiz-cihazlari-ve-yontemleri>
137. Martin,K., McCarthy, G., North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA.,ICDD Grant-in-Aid,(1991).
138. K. S. BABU*, A. R. REDDY, Ch. SUJATHA,K.V.REDDY, A. N. MALLIKA., Synthesis and optical characterization of porous ZnO Department of Physics, National Institute of Technology Warangal, Warangal-506 004, Andhra Pradesh, India

- 139. M. Sathya, A. Claude*, P. Govindasamy and K. Sudha.,**Growth of pure and doped ZnO thin films for solar cell applications .Pelagia Research Library Advances in Applied Science Research, 2012, 3 (5):2591-2598
- 140. Zohra N. Kayani,Tosif Afzal,Saira Riaz,Shahzaad Naseem.,** Journal of Alloys and Compounds Optical and Structural Properties of thin films of ZnO at elevated temperature
- 141. Coleman, H.W. ve Steele, W.G.** Experimentation, Validation, and Uncertainty Analysis for Engineers.3. Baskı, John Wiley&Sons, Inc., New York, NY. 2009.
- 142. Sadikhov, E.,Kangı, R. ve Uğur S.** Ölçüm Belirsizliği UME 95-014. Ulusal Metroloji Enstitüsü, 1995.
- 143. Benedict, R.P.** Uncertainty in Measurement,” *Electro-Technol.*, p.51. 1964.
- 144. ASME.** Test Uncertainty. *American Society of Mechanical Engineers*, New York. 2005.
- 145. S.J. Kline and F.A. McClintock,** "Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments,*Mechanical engineering*", 75, 3-8, 1953
- 146. J.P. Holman** "Experimental Methods for Engineers", 5th edition Mc-Graw Hill Company, *New York*, 1989
- 147. Tokat, A. İ.; Kayfeci, M.; Çetinkaya, K.** Askı Tipi Çamaşır Kurutma Makinesi Tasarımı, Prototipi ve Test Edilmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2013, 10.3: 7-13.
- 148. Sezer, İ., & Bilgin, A.** (2012). Farklı Çalışma Koşullarında Dietil Eter-Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi. *Engineer & The Machinery Magazine*, (631).
- 149. Korkut, I. Ö., & Şekerci, H.** Ada Modunda Çalışan Bir Kojenerasyon Sisteminin Hata Analizi. V. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi*, 2015.
- 150. Peng, B. B., Xu, J. H., & Fan, Y.** (2018). Modeling uncertainty in estimation of carbon dioxide abatement costs of energy-saving technologies for passenger cars in China. *Energy Policy*, 113, 306-319.
- 151. Fox R.W. and McDonald A.T..** Introduction to Fluid Mechanics. 5th ed. New York: Wiley. 1999

EKLER

Ek.1.Etilen Glikol Bazlı CuO Ph (7,84) İçin $\dot{m}$, v , v_{ort} , Re ' ın bulunması

$$T_{in} : 29,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{out} : 29,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ort1} : 29,45 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 : 38,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 : 37,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_3 : 37,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_4 : 38,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ort2} : 37,88 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m : 2,4 \text{ kg}$$

$$t : 235 \text{ Sn}$$

$$D : 0.00432 \text{ m}$$

$$T : 22 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (Nano Akışkanın Sıcaklığı)}$$

$$\rho : 1012 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu : 0.00343 \text{ kg/m.s}$$

$$V : 200 \text{ volt}$$

$$I : 0.1 \text{ amper}$$

$$q : 20 \text{ watt}$$

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{2.4 \text{ kg}}{235 \text{ sn}} = 1.02 \times 10^{-2} \text{ kg / sn}$$

$$\dot{v} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{1.02 \times 10^{-2} \text{ kg / sn}}{1000 \text{ kg / m}^3} = 1.02 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{sn}$$

$$V_{ort} = \frac{4 \times \dot{v}}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 1.02 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{sn}}{\pi \times 0.00432^2 \text{ m}^2} = 0.696 \text{ m / sn}$$

$$Re = \frac{v_{ort} \times D}{\mu} = \frac{\rho \times v_{ort} \times D}{\mu} = \frac{1012 \text{ kg / m}^3 \times 0.696 \text{ m / sn} \times 0.00432 \text{ m}}{0.00343 \text{ kg / (m} \times \text{sn)}} = 887$$

$$q = V \times I = 200 \text{ V} \times 0.1 \text{ A} = 20 \text{ W}$$

$$h = \frac{q}{A \times [T_{ort2} - 0.5(T_{in} + T_{out})]} = \frac{20 \text{ W}}{\pi \times 0.00432 \times 0.5 \times [37,88 - 0.5 \times (29,3 + 29,6)]} = 349.8212851 \text{ W / m}^2 \text{ K}$$

$$k = \frac{h \times D}{4.36} = \frac{349.8212851 \text{ W / m}^2 \text{ K} \times 0.00432 \text{ m}}{4.36} = 0,346611915 \text{ W / mK}$$

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet Beyzade DEMİRPOLAT 1984 yılında ELAZIĞ’ da doğdu. ilk ve orta öğrenimini burada tamamladı. 2009 yılı Ocak ayında Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Mezun olduktan sonra Siirt Bayındırlık ve İskan İl Müdürlüğüne Mühendis olarak atandı 2011 yılı Ekim ayında Elazığ Belediyesine kurumlar arası geçiş yaptı. 2012 yılı Eylül ayında Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Enerji Anabilim dalında Yüksek Lisansını tamamladı. Halen Elazığ Belediyesinde Makine Yüksek Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.

