

T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARBON TABANLI NANOMALZEMELERİN
SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU, REOLOJİSİ, ISIL
İLETKENLİĞİ VE KARARLILIĞI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih ERAVCU
(201492181032)

Enerji Bilim ve Teknoloji Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Kerim YAPICI

SİVAS
ŞUBAT 2016

FATİH ERAVCU'nun hazırladığı ve “Karbon Tabanlı Nanomalzemelerin Sentezi,Karakterisasyonu,Reolojisi,Isıl İletkenliği ve Kararlılığı” adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ENERJİ BİLİM VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı : **Doç.Dr. Kerim YAPICI**
Cumhuriyet Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç.Dr. Kerim YAPICI**
Cumhuriyet Üniversitesi

Doç.Dr.Gamze GENÇ
Erciyes Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr.Ümit Nazlı TEMEL
Cumhuriyet Üniversitesi

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof.Dr.Mustafa DEĞİRMENCİ

FEN BİLİMLERİ ENTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez, Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 20.08.2014 tarihli ve 7 sayılı kararı ile kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır.

Bu tez, ASELSAN A.Ş tarafından REHİS-IA-2012-105 Nolu ve Mikrokanal Isı Değiştiricinde Isı Aktarımının Nanoakışkanlar Kullanılarak Arttırılması başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir.

Bütün hakları saklıdır.

Kaynak göstermek koşuluyla alıntı ve gönderme yapılabilir.

© Fatih ERAVCU, 2016

Çalışma sırasında bana destek olan aileme...

ETİK

Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tez Yazım Kılavuzu (Yönerge)'nda belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- ✓ Bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- ✓ Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- ✓ Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere, bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu ve atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ✓ Bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ✓ Tezin herhangi bir bölümünü Cumhuriyet Üniversitesi veya bir başka üniversitede, bir başka tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

05/02/2016

Fatih ERAVCU

ÖZET

KARBON TABANLI NANOMALZEMELERİN SENTEZİ, KARAKTERİZASYONU, REOLOJİSİ, ISIL İLETKENLİĞİ VE KARARLILIĞI

Fatih ERAVCU

Yüksek Lisans Tezi

Enerji Bilimleri ve Teknoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kerim YAPICI

2016, 63+xvii sayfa

Nanoakışkan, 100 nm ve daha küçük boyutlarda ki metal, metal oksit ya da karbon tabanlı nanoparçacıkların genelde Newton kuralına uyan (su, etilen glikol, makine yağı vb.) akışkanlar içerisine düşük derişimlerde dağıtılmasıyla oluşturulan, süspansiyon akışkanlarına verilen isimdir. Nanoakışkanlar otomotiv sanayisi, savunma, mikroelektronik, nükleer, uzay ve biyomedikal olmak üzere birçok alanlarda uygulama potansiyeli mevcuttur. Diğer bir ifade ile nanoakışkanlar ısıtma ya da soğutma süreçlerinin olduğu birçok endüstride (kimya, gıda, malzeme vb.) geleneksel çalışma akışkanı olarak kullanılan su, etilen glikol, makine yağı vb. akışkanların yerine ve biyoteknolojide ilaçların istenilen bölgeye hedeflenerek taşınmasında kullanılabilecek en güçlü adaydır. Nanoakışkanlar üstün özelliklere ve birçok uygulama alanlarına sahip olmalarına karşın özellikle metal ve metal oksit nanoparçacıklar yüksek enerji yüzeylerinden dolayı kümeleşme eğilimlerinde olup taban akışkanı içerisinde kararlılıklarını kaybederek çökmektedirler. Bu durum metal ve/veya metal oksit nanoparçacıkların pratikte kullanılma potansiyellerini azaltmaktadır. Yüksek yüzey alanına, yüksek ısı ve elektriksel iletkenliğe, yüksek mekanik sertliğe, optik transpanlığa ve farklı taban akışkanları içerisinde üstün kararlılık özelliğine sahip olan karbon tabanlı nanoparçacıklar metal ve/veya metal oksit nanoparçacıklar yerine yukarıda belirtilen uygulamalarda kullanılabilecek en büyük adaydır. Bu kapsamda yüksek lisans tezikarbon tabanlı grafen oksit, indirgenmiş grafen oksit, karbon nanotüp nanoşerit ve asit ile muamele edilmiş farklı boyutlardaki çok duvarlı karbon nanotüp nanoparçacıkların sentezlenmesini,

karakterizasyonunu ve kapsamlı ısı, reolojik ve kararlılık özelliklerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Karbon tabanlı nanoparçacıkların sentezlenmesinde literatürde günümüze kadar önerilmiş olan üç farklı Hummers metodu; i) klasik Hummers, ii) modifiye Hummers ve iii) iyileştirilmiş Hummers metodları kullanılmış ve bu üç metod ile sentezlenen karbon tabanlı nanoparçacıklar literatürde ilk defa kapsamlı olarak termal, reolojik ve kararlılık özellikleri bakımından karşılaştırılmıştır. Kütlece farklı bölüntülerde deiyonize (DI) su taban akışkanı içerisine dağıtılarak üretilen karbon tabanlı nanoakışkanların ısı iletkenlikleri ve reolojik özellikleri sırası ile KD2 Pro ısı iletkenlik ölçer cihazı ve Kinexus model reometre ile gerçekleştirilmiştir. Buna karşın üretilen nanoakışkanların kararlılık analizleri Malvern Zetasizer Nano Z ile ölçülen zeta potansiyel ve Shimadzu marka spektrofotometre ile ölçülen görünür bölge absorbans değerleri ile belirlenmiştir. Bunlara ilaveten Antonpaar DMA 4200 yoğunlukölçer cihazı ile zaman bağımlı ölçülen nanoakışkanların yoğunlukları ile de kararlılık analizi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Grafen, Nanoakışkan, Reoloji, Isı iletkenlik, Kararlılık

ABSTRACT

SYNTHESIS CHARACTERIZATION THERMAL RHEOLOGICAL AND STABILITY OF CARBON BASED NANOMATERIALS

Fatih ERAVCU

Master of Science Thesis, Department of Energy Science and Technology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kerim YAPICI

2016, 63+xvii pages

Nanofluids are defined as the dispersion of the nanosized metal, metal oxide or carbon based particles in a conventional heat transfer fluid such as water, ethylene glycol, mixed of ethylene glycol and water, engine oil etc. Due to their higher thermal properties, nanofluids are likely to be considered an effective heat transfer fluids in various applications including automotive, defense, microelectronics, nuclear, space and bio-medicine. In other words nanofluids can be considered as potential candidate for heat transfer fluids in various industries instead of conventional ones. In spite of their superior properties and wide variety of application, nanoparticles have tendency to form agglomeration in suspended medium due to high surface energy. This unfavorable situation leads to decrease usability of metal and metal oxide nanoparticles in practical applications. The fundamental physical properties of graphene especially superior mechanical strength with a Young's modulus of 1100 GPa, high planar surface area, $2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, high thermal conductivity, $5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, high carrier mobility, $10000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ and capacity make it a favorable candidate for heat transfer applications. The fundamental physical properties of graphene especially superior mechanical strength with a Young's modulus of 1100 GPa, high planar surface area, $2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, high thermal conductivity, $5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, high carrier mobility, $10000 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ and capacity make it a favorable candidate for heat transfer applications than that of the metal or metal oxide based nanomaterials. Hence the aim of the present thesis is to synthesize and characterize of the carbon based nanomaterials including graphene oxide, graphene nanoribbons (GNR) and acid treated multiwalled carbon nanotubes.

Besides it is aimed to comprehensive investigation of rheological, thermal and stability properties of the water based carbon nanofluids. There are mainly three methods employed to fabricate graphene nanosheets. These are mechanical exfoliation, chemical vapor deposition (CVD) on the metal substrates and chemical or thermal reduction of graphene oxide (GO). Graphene oxide (GO) is a single atomic layered material can be produced from the oxidizing graphite powder with well known and widely employed method of Hummers proposed. In the present thesis GO has been synthesized by three different Hummers methods including classical, modified and improved. Thermal conductivity and rheological measurements of water based nanofluids containing different mass percent of Graphene nanoparticles have been carried out by KD 2 Pro and a stress controlled (Kinexus Pro) rheometer respectively. On the other hand stability of these nanofluids have been determined by measuring zeta potential (Malvern Zetasize Nano Z) and spectral analyzing (Shimadzu UV-VIS). Besides, stability of graphene based nanofluids have also been determined by measuring time dependent density of them by density meter (Antonpaar DMA 4200).

Key words: Graphene, Nanofluids, Rheology, Thermal conductivity, Stability

TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım, tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr.Kerim YAPICI'ya çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren Cumhuriyet Üniversitesi Enerji Bilimleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nden Yrd.Doç. Dr. Ümit Nazlı TEMEL'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam süresince benden yardımını hiç esirgemeyen Özge ÖSTÜRK'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim için benden maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen değerli babam Mustafa ERAVCU , kıymetli annem Nuran ERAVCU,sevgili ablalarım Pınar ERAVCU ve Derya ERAVCU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	vi
TEŞEKKÜR.....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
SİMGELER DİZİNİ.....	xvi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii

1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	12
2.1 Grafen oksit nanoparçacıklarının üç farklı Hummers yöntemi ile sentezlenmesi ve karakterizasyonu	12
2.2 Karbon nanotüp nanoşerit (Ribon) nanoparçacıklarının iyileştirilmiş Hummers yöntemi ile sentezlenmesi ve karakterizasyonu.....	15
2.3 Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüplerin sentezlenmesi ve karakterizasyonu	18
2.4 Karbon tabanlı nanoakışkanların üretilmesi.....	19
2.4.1 Deney düzeneği.....	19
3. SONUÇ VE TARTIŞMA	24
3.1. Karbon tabanlı nanoakışkanların kararlılık testleri.....	24
3.1.1 Üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının kararlılık testleri.....	26
3.1.2 Ribon/DI su nanoakışkanlarının kararlılık testleri	34
3.1.3 Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanlarının kararlılık testleri	39
3.2 Karbon tabanlı nanoakışkanların ısı iletkenlik testleri.....	42
3.2.1 Üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının ısı iletkenlik testleri.....	45
3.2.2 Ribon/DI su nanoakışkanlarının ısı iletkenlik testleri	48
3.2.3 Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanlarının ısı iletkenlik testleri.....	49
3.3 Karbon tabanlı nanoakışkanlarının reolojik testleri	50
3.3.1 Üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının reolojik testleri	52
3.3.2 Ribon/DI su nanoakışkanların reolojik testleri	53
3.3.3 Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların reolojik testleri	55
4. GENEL SONUÇLAR.....	57
KAYNAKLAR	61

ÖZGEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

- Şekil 2.1** İyileştirilmiş Hummers metodunda Grafen oksit sentez basamakları. Not: Üst satır için öncelik işlem sırası soldan sağa, alt satır için ise sağdan sola doğrudur..... 14
- Şekil 2.2** a) Modifiye ve b) iyileştirilmiş Hummers metodları ile sentezlenen Grafen oksit nanoparçacıkların SEM görüntüsü..... 15
- Şekil 2.3** İşlem görmemiş iki farklı boyutlardaki çok duvarlı karbon nanotüp (KNT)'lere ait SEM görüntüleri a) 20-30 nm çapında ve $L=0.5-2 \mu m$ uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30 nm çapında ve $L= 10-30 \mu m$ uzunluğunda uzun KNT..... 17
- Şekil 2.4** 20-30 nm çapında ve $L=0.5-2 \mu m$ ve $L= 10-30 \mu m$ uzunluklarındaki a) kısa, b) uzun KNT'lerin iyileştirilmiş Hummers metodu uygulanarak boylamasına açılması ile üretilen karbon nanotüp nanoşeritlerin SEM görüntüleri..... 17
- Şekil 2.5** 20-30nm çapında ve $L=0.5-2 \mu m$ ve $L= 10-30\mu m$ uzunluklarındaki a) kısa, b) uzun KNT'lerin hacimce 1:3 HNO_3/H_2SO_4 asit karışımı ile muamele edilmesi ile üretilen KNT-COOH'lerin SEM görüntüleri. 18
- Şekil 2.6** Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan makine-teçhizat a) hassas elektronik terazi, b) sonifikatör banyosu, c) sabit sıcaklık su banyosu, d) pH ölçer. 21
- Şekil 2.7** Nanoakışkanların reolojik davranışlarının incelenmesinde kullanılan reometre 22
- Şekil 2.8** Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin belirlendiği ısı iletkenlik ölçer KD2 PRO. 22
- Şekil 2.9** Nanoakışkanların kararlılık testlerinin incelenmesinde kullanılan Malvern Zetasizer Nano Z 23
- Şekil 2.10** Nanoakışkanların kararlılık testlerinin incelenmesinde kullanılan Shimadzu marka spektrofotometre. 23
- Şekil 3.1** Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının absorbanlarının dalga boyu ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers. 29
- Şekil 3.2** Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C'da ve 230 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorban değerlerinin zaman ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers. 30

Şekil 3.3	Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers.	32
Şekil 3.4	DMA 4100 dijital yoğunluk ölçer	33
Şekil 3.5	Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers.	34
Şekil 3.6	İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının absorbanlarının dalga boyu ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT.....	36
Şekil 3.7	İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ve 250 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorban değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT. ..	36
Şekil 3.8	İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT.	37
Şekil 3.9	İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT.	38
Şekil 3.10	0.025 mg/ml-0.003125 mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanlarının absorbanlarının dalga boyu ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT. ..	40
Şekil 3.11	0.025mg/ml-0.003125mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların 25 °C’da ve 250 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorban değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT.....	40

- Şekil 3.12** 0.025mg/ml-0.003125mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların 25 °C’da ölçülen zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzunKNT..... 41
- Şekil 3.13** 0.025mg/ml-0.003125mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların 25 °C’da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT. 42
- Şekil 3.14** Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 1 mg/ml-0.0625 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 30 °C’da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin nanoakışkan konsantrasyonu ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers. 47
- Şekil 3.15** İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 30 °C’da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin nanoakışkan konsantrasyonu ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT. 49
- Şekil 3.16** 1mg/ml-0.0625mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların 30 °C’da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin nanoakışkan konsantrasyonu ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT..... 50
- Şekil 3.17** Klasik, modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi a) kütlece %0.1 bölüntü oranı, b) kütlece %0.3 bölüntü oranı. 53
- Şekil 3.18** İyileştirilmiş Hummers metodu ile 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzun KNT kullanılarak sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi a) kütlece %0.1 bölüntü oranı, b) kütlece %0.3 bölüntü oranı. 54
- Şekil 3.19** 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzun KNT kullanılarak sentezlenen AKNT/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi a) kütlece %0.1 bölüntü oranı, b) kütlece %0.3 bölüntü oranı..... 56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Marcano vd.(2010) tarafından Grafen oksitin üç farklı Hummers metodu ile sentezlenmesinde önerilen asit ve yükseltgen oranları.	3
Çizelge 1.2	Literatürde farklı araştırma gruplarınca Grafen oksit sentezlenmesinde kullanılan asit ve yükseltgen miktar ve oranları.....	8
Çizelge 1.3	Farklı araştırma gruplarınca karbon tabanlı nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanlarınölçülen ısı iletkenlik değerleri	9
Çizelge 1.4	Farklı araştırma grupları tarafından karbon tabanlı nanoparçacıklar kullanılarak üretilen nanoakışkanların ölçülen zeta potansiyel değerleri	11

SİMGELER DİZİNİ

k	Isıl iletkenlik,(W/m*K)
μ	Viskozite (Pas)
g	Yoğunluk (g/ml)
T	Sıcaklık (°C)
L	Uzunluk (μm)
τ	Kayma gerilimi (Pa)
γ	Kayma hızı (1/s)

KISALTMALAR DİZİNİ

DI su	: Deiyonize Su
EG	: Etilen Glikol
-OH	: Hidroksil Grubu
-COOH	: Karboksil Grubu
AKNT	: Asit ile Muamele Edilmiş Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
MWCNT	: Çok Duvarlı Karbon Nanotüp
GO	: Grafen Oksit
GNP	: Grafen Nanoyaprak
CNT	: Karbon Nanotüp
GON	: Grafen Oksit Nanotabaka
NDG	: Azotlu Grafen
H₂SO₄	: Sülfürik Asit
HNO₃	: Nitrik Asit
H₃PO₄	: Orto Fosforik Asit
NaNO₃	: Sodyum Nitrat
KMnO₄	: Potasyum Permanganat
CVD	: Kimyasal Buhar Çöktürme
mV	: Mili Volt
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
UV	: Ultraviyole

1.GİRİŞ

Latince "*nanus*" kelimesinden türetilen nano kelimesi "*cüce*" anlamına gelmektedir. Literatürde ise, metrenin milyarda birine denk gelen nano teknik bir ölçü birimi olarak kullanılmaktadır. Nanoteknoloji terimi ilk olarak 1986 yılında Drexel tarafından literatüre kazandırılmış olup maddenin nanometre ölçeğinde, diğer bir ifade ile maddenin moleküler düzeyde denetlenmesi ile gerçekleştirilen sentezleme, ölçüm, modelleme ve düzenleme gibi çalışmalarla yeni malzeme, cihaz ve sistemlerin tasarlanması ve üretilmesini konu almaktadır. Nanoakışkan ise 100 nm ve daha küçük boyutlardaki metal, metal oksit ve karbon tabanlı (Grafit, Grafen, Karbon nanotüp, Karbon nanotüp nanoşerit) nanoparçacıkların gerek Newton kuralına uyan gerek ise uymayan akışkanlar içerisine belli bölüntü oranlarında dağıtılması ile üretilen akışkanlara verilen isimdir. Nanoakışkan terimi ilk olarak 1995 yılında Choi (1995) tarafından literatüre kazandırılmış ve günümüzün en sıcak araştırma konuları arasında yerini almıştır. Özellikle, nanoakışkanların termal özelliklerinin (ısı iletkenlik ve konveksiyon ısı aktarım katsayıları) eklendikleri taban akışkanlarına göre (su, etilen glikol, makine yağı) daha yüksek çıkması ve eklendiği taban akışkanın reolojik özelliklerini değiştirmesi ayrıca birçok uygulama alanının bulunması nanoakışkanlara olan ilgiyi arttırmıştır. Yu vd., (2008) yayınladıkları derleme çalışmasında nanoakışkanların uygulama alanlarını, altı ana başlık altında gruplandırmışlardır. Bunlar sırasıyla; ulaşım (otomotiv sanayisi), savunma, mikroelektronik, nükleer, uzay ve biyomedikal. Özetle nanoakışkanlar, ısıtma ya da soğutma süreçlerinin olduğu birçok endüstride (kimya, gıda, malzeme vb.) geleneksel çalışma akışkanı olarak kullanılan ve Newton kuralına uyan özellik gösteren su, etilen glikol, makine yağı vb. akışkanların yerine kullanılabilecek çalışma akışkanıdır. Bunun sebebi yukarıda açıklandığı üzere nanoakışkanların termal özelliklerinin, geleneksel çalışma akışkanlarına göre yüksek çıkmasıdır. Buna karşın belli bir süre sonra nanoparçacıklar yüksek yüzey enerjilerinden dolayı durgun ortamda kararlılıklarını kaybederek kümeleşir ve sonucunda çökerler. Belirtilen özellik nanoakışkanların bilinen en büyük dezavantajıdır. Nanoakışkanların belirtilen olumsuz etkisinin üstesinden gelebilmek ve güvenilebilir ısı aktarım akışkanı olarak

kullanabilmek amacı ile literatürde günümüze kadar birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürde gerçekleştirilen çalışmalar nanoakışkan kararlılığının, nanoparçacık tipine, boyutuna dağıtıldığı taban akışkanına bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Örneğin, DI su ve/veya etilen glikol taban akışkanları içerisine belli kütleli fraksiyonlarda metal oksit nanoparçacıklar dağıtılarak üretilen nanoakışkanlar kullanılan nanoparçacık tipine bağlı olarak 1-10 gün içerisinde kararlılıklarını kaybetmektedirler. Buna karşın grafen, karbon nanotüp nanoşerit nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanlar çok uzun süre kararlılıklarını kaybetmeden durgun ortamda kalabilmektedir. Sonuç olarak karbon tabanlı nanoparçacıkların metal ve/veya metal oksit nanoparçacıklar kullanılarak üretilen nanoakışkanlara kıyas ile hem kararlılıkları hemde termal özellikleri daha yüksektir. Bu özelliklerinden dolayı karbon tabanlı nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanların ısı aktarım akışkanı olarak kullanılma potansiyelleri çok yüksektir.

“Yüzyılın malzemesi” olarak adlandırılan grafen, karbon atomlarının tek düzlemde altıgen yapıda dizilmesiyle oluşan bir atom kalınlığında iki boyutlu karbon allotropudur. Karbon atomları 2s ve 2p orbitallerinin birleşimi ile 120° açılı sp^2 melezleşmesi yaparken boşta kalan pz orbitalleri ise grafenin elektronik özelliklerini belirleyerek ona sıra dışı yüzey alanı ($2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, gram başına yaklaşık yarım futbol sahasının kapladığı alan), yüksek mekanik sertlik (Young modülü $\sim 1.0 \text{ TPa}$), yüksek elektriksel ve termal iletkenlik ($\sim 5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) ve ayrıca optik transparanlık ($\sim \%97.7$) özelliklerini kazandırır (Yanwu vd., 2010). Kendine özgü üstün özelliklerinden dolayı grafen uzaydan savunmaya, uçaktan, otomotive, tıptan ilaç endüstrilerine çok geniş uygulama alanlarına sahip olup günümüzde literatürde üzerinde çalışılan en sıcak araştırma konuları arasında yer almaktadır. Grafen sentezlenmesinde literatürde önerilmiş olan ve kullanılan üç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla kimyasal buhar çöktürme metodu (CVD), grafit oksidin eksfoliasyonu ve elektrokimyasal sentezleme yöntemleridir. Belirtilen yöntemler arasından grafit oksidin eksfoliasyonu, diğer yöntemlere kıyasla kolay ve düşük maliyet ile üretilmesi sebebi ile literatürde en çok kullanılan yöntemdir. Hummers metodu olarak bilinen bu yöntem birçok araştırmacı tarafından farklı uygulamalar için kullanılmış olup Marcano vd., (2010) tarafından iyileştirilmiştir. Marcano vd., (2010) yapmış oldukları çalışmada Grafen oksit nanoşeritlerin daha az hasarlı

üretilebilmesi ve ayrıca indirgenme sırasında açığa çıkan zararlı gaz salınımının daha düşük seviyelerde olması için iyileştirilmiş Hummers metodunu önermişlerdir. Marcano vd., (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada üç farklı Hummers metodu kullanılmış ve sentezlenen grafen oksitlerin karakterizasyon işlemi yapıldıktan sonra yüzey yapıları karşılaştırılmıştır. Marcano vd., (2010) iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen grafen oksidin diğer iki yöntemle göre daha düz yüzey yapısına sahip olduğunu vurgulamışlardır. Çizelge 1.1 üç farklı Hummers metodu ile Grafen oksit sentezlenmesinde kullanılan asit ve yükseltgen miktarlarının başlangıç grafit miktarına göre oranlarını göstermektedir. Çizelge 1.1’de verilen verilerden anlaşılacağı üzere iyileştirilmiş Hummers metodunu diğer Hummers yöntemlerinden ayıran en önemli fark, iyileştirilmiş Hummers metodunda NaNO_3 ’ün kullanılmaması buna karşın yükseltgen olarak kullanılan KMnO_4 miktarının daha fazla ve süreç içerisinde adım adım kullanılmasıdır. Bunlara ilaveten Grafitin eksfoliasyonu için kullanılan sülfürik asite ilaveten iyileştirilmiş Hummers metodunda H_3PO_4 kullanılmaktadır.

Çizelge 1.1 Marcano vd.(2010) tarafından Grafen oksitin üç farklı Hummers metodu ile sentezlenmesinde önerilen asit ve yükseltgen oranları.

Metod	Kullanılan asitler	KMnO_4 miktarı	NaNO_3 miktarı
Klasik Hummers	H_2SO_4	3X	0.5X
Modifiye Hummers	H_2SO_4	6X	0.5X
İyileştirilmiş Hummers	9:1 H_2SO_4 : H_3PO_4	6X	-

Çizelge 1.2 şuna kadar farklı araştırma gruplarınca Grafen oksit’in sentezlenmesinde kullanılan başlangıç grafit miktarlarına karşılık gelen asit ve yükseltgen miktarlarını göstermektedir. Çizelge 1.2’de verilmiş olan veriler ayrıntılı irdelendiğinde modifiye Hummers metodunu kullanarak Grafen oksit üreten çalışmalar başlangıç grafit miktarına göre gerekli H_2SO_4 miktarını aynı oranlarda kullanmalarına karşın farklı KMnO_4 miktarları kullanmışlardır. Belirtmek gerekir ki kullanılan KMnO_4 ün fazlası H_2O_2 ile giderilmesine karşın, sentezlenen Grafen

oksit'te mangan kirliliğine yol açmaktadır. Mangan kirliliğinden kurtulabilmek için üretilen Grafen oksit'in defalarca yıkanması gerekmektedir.

Günümüze kadar deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmaların çoğunluğunda Al_2O_3 , CuO , TiO_2 nanoparçacık ve su, etilen glikol temel akışkanı kullanılarak farklı hacimsel derişimlerde hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlik katsayılarının ölçülmesi üzerine olmuştur. Buna karşın karbon tabanlı nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanların termal özelliklerinin incelenmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesinde literatürde kabul görmüş ve uygulanan üç yöntem bulunmaktadır (Trisaksri vd. 2007). Bu yöntemler, kısa süreli sıcak tel yöntemi, sıcaklık salınım ve kararlı durum paralel tabaka yöntemleridir. Bu yöntemler içerisinde en çok kullanılanı ve elde edilen ölçüm sonuçlarına güvenileni kısa süreli sıcak tel yöntemidir. Çizelge 1.3, farklı araştırma gruplarınca karbon tabanlı nanoparçacıklar kullanılarak üretilen nanoakışkanların ölçülen ısı iletkenlik değerlerini listelemektedir. Xie vd., (2003) gerçekleştirmiş oldukları deneysel çalışma ile su ve etilen glikol taban akışkanları içerisinde farklı fraksiyonlarda dağıttıkları karbon nanotüp nanoparçacıkların ısı iletkenlik değerlerini ölçmüşlerdir. Xie vd., (2003), su ve etilen glikol taban akışkanlarına hazırlanan nanoakışkanların 25°C'deki ısı iletkenlik miktarlarındaki artış miktarının sırası ile %12 ve %20 olarak bulunduğunu vurgulamışlardır. Singh vd., (2008) tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışmada hacimce farklı bölüntülerde hazırladıkları karbon nanotüp (KNT)/Su ve KNT/olefin nanoakışkanların ısı iletkenlik değerlerini ölçmüşlerdir. Singh vd., (2008) hacimce %3.4 bölüntü oranında hazırlanan KNT/Su nanoakışkanının taban akışkanına göre ısı iletkenliğindeki artış miktarı %38 buna karşın hacimce %1 bölüntü oranında hazırlanan KNT/olefin nanoakışkanının ısı iletkenliğindeki artış oranını %50 olarak ölçmüşlerdir. Yu vd., (2009), yapmış oldukları deneysel bir çalışma ile hacimce %2-%5 bölüntü aralığında hazırladıkları grafen oksit (GONs)/EG nanoakışkanlarının 10°C-60°C sıcaklık aralığındaki ısı iletkenlik değerlerini incelemişlerdir. Hacimce %5 bölüntü oranında üretilen GONs/EG nanoakışkanının EG taban akışkanına göre ısı iletkenliğindeki artış miktarının çalışılan en yüksek sıcaklık değeri olan 60°C'de %65 olarak ölçüldüğünü vurgulamışlardır.

Yakın zaman önce Hajjar vd.,(2014) tarafından gerçekleştirilen benzer bir çalışmada kütlece %0.05-%0.25 bölüntü aralığında hazırlanan GO/Su nanoakışkanlarının 10°C-40°C sıcaklık aralığındaki ısı iletkenlik değişimleri incelenmiştir. Hajjar vd.,(2014) GO/Su nanoakışkan ısı iletkenlik artış oranının sıcaklıktan etkilendiğini ve sıcaklık arttıkça taban akışkanına göre aynı sıcaklıkta ölçülen artış miktarının daha yüksek çıktığını vurgulamışlardır. Kütlece %0.25 bölüntü oranında hazırlanan GO/Su nanoakışkanının su taban akışkanına göre 40°C'de ısı iletkenlik değerindeki artışın %47.54 olduğunu vurgulamışlardır. Hadadian vd.,(2014), gerçekleştirdikleri deneysel bir çalışmadakütlece %0.001-%0.006 bölüntü aralığındahazırlanan GO/Su nanoakışkanlarının 20°C-50°C sıcaklık aralığındaki ısı iletkenlik değişimini incelemiştirler. Kütlece %0.006 bölüntü oranında üretilen nanoakışkanın su taban akışkanına göre ısı iletkenlik değerindeki artış miktarı 50°C 'de %33 olarak ölçülmüştür.

Yakın bir zaman önce Mehrali vd.,(2014) tarafından gerçekleştirilen bir başka deneysel çalışmada sırası ile 300, 500 ve 700 m²/g yüzey alanlarına sahip grafen nanoyaprak (GNPs) nanoparçacıklar ile kütlece %0.025-%0.1 bölüntü aralığında hazırlanan su tabanlı nanoakışkanların termal ve reolojik özelliklerini incelemiştirler. Mehrali vd.,(2014) en yüksek ısı iletkenlik katsayısındaki artış oranının 700 m²/g yüzey alanına sahip GNPs nanoparçacıklar kullanılarak hazırlanan nanoakışkan için ölçüldüğünü ve artış oranının kütlece %0.1 fraksiyonu için %25 olduğunu belirtmişlerdir. Benzer bir çalışma Ijam vd.,(2015) tarafından GO nanoparçacıkları kullanılarak hazırlanan nanoakışkanlar için gerçekleştirilmiştir. Ijam vd.,(2015) yaptıkları bu çalışmada kütlece %0.01-%0.1 bölüntü aralığında hazırlanan GONs/EG ve GON/Su nanoakışkanlarının 20°C-45°C sıcaklık aralığındaki ısı iletkenliklerini ölçmüşler ve en yüksek bölüntü oranında artış miktarını %12 olarak belirtmişlerdir.

Literatürde nanoakışkanlar üzerine yapılan diğer bir araştırma konusu ise nanoakışkan kararlılığıdır. Nanoakışkanların hazırlanmasında tüm araştırma grupları tarafından belirtilen ve büyük bir sorun olarak adlandırılan, nanoparçacıkların kümeleşme davranışında olmaları ve sonucunda kararlılığın kaybedilerek çökmeleridir. Nanoparçacıkların kümeleşmesini kırmak amacıyla şu ana kadar

yapılan çalışmalarda uygulanan ve en etkin yöntem olarak kabul edilen işlem, nanoakışkana belli bir zaman ararlığında sonifikasyon uygulamaktır. Sonifikasyon işlemi her ne kadar nanoparçacık kümeleşmesini kırmak için kullanılan etkin bir yöntem olarak kabul edilse de, nanoparçacık kümeleşmesini uzun sürelerde engelleyememekte ve nanoakışkanın kararlılığını koruyamamaktadır. Nanoakışkan kararlılığını arttırmak için uygulanan diğer bir yöntem ise çok düşük derişimlerde yüzey aktif (surfactant) veya dağıtıcılar (dispersant) kullanılarak nanoparçacıkların yüzey yüklerinin değiştirilmesi ve sonucunda itme kuvvetleri şiddetinin çekme kuvvetlerine göre artması ve kümeleşmenin engellenmesidir. Bu yöntem nanoakışkanların kararlılığında çok etkin olmasına karşın nanoakışkan reolojisini nasıl etkilediği literatürde henüz tam olarak yanıtlanamamıştır. Nanoakışkanlar farklı yöntemlerle karakterize edilebilirler. Bunlardan biri de zeta potansiyel değerlerine bakmaktır. Zeta potansiyel, nanoparçacık yüzeyi ve taban akışkanı arasında var olan elektriksel potansiyel olarak tanımlanmakta olup zeta potansiyel mutlak değeri nanoakışkan kararlılığı ile ilişkilidir. Amaç nanoakışkan pH değerini zeta potansiyel değerinin sıfır olduğu izo-elektrik noktanın dışında tutmaktır. Bu yöntemin etkin olarak kullanılabilmesi için üretilen her bir nanoakışkanın zeta potansiyel değerlerinin en yüksek olduğu pH'nın belirlenmesi gerekmektedir. Literatürde bu alanda yapılan çalışmalar nanoakışkan zeta potansiyel mutlak değerinin 30 mV ve üstü değerlerinde nanoakışkanın kararlı olduğu kabul edilir. Çizelge 1.4 farklı araştırma gruplarınca karbon tabanlı nanoakışkanlar için deneysel olarak ölçülen zeta potansiyel değerlerini listelemektedir.

Park vd.,(2012) tarafından gerçekleştirilen çalışmada hacimce %0.0001 bölüntü oranında üretilen GO/Su nanoakışkanının pH değerleri 3 ve 9 için zetapotansiyel değerleri sırası ile 20 ve 40 mV olarak ölçülmüştür. Xie vd.,(2012) yapmış oldukları benzer bir deneysel çalışmada hacimce % 0.1 bölüntü oranlarında üretilen KNT/Su ve KNT/EG nanoakışkanlarının zetapotansiyel değerlerini 2-11 pH aralığında ölçmüşler ve en yüksek potansiyel değerinin pH 9 ile 11 arasında 50 mV olarak bulmuşlardır. Hadadian vd.,(2014) yapmış oldukları çalışmada kütlece %0.0003 bölüntü oranında üretilen GO/Su nanoakışkan zeta potansiyel değerleri pH 7 için 50 olarak ölçmüşlerdir.

Yukarıda verilen kısa literatür özetinden anlaşılacağı üzere Grafen oksit ve/veya indirgenmiş Grafen oksit nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanların çok düşük hacimsel veya kütleli bölüntülerinde bile yüksek ısı iletkenlik değerlerinin elde edilebileceği ve ısı iletkenlik artış oranının sıcaklık artışından çok etkilendiği farklı araştırma gruplarınca yapılan çalışmalarda gösterilmiştir. Bunlara ilaveten Grafen tabanlı nanoakışkanların zeta potansiyel ölçümleri çalışılan farklı pH aralıklarında bile istenilen kararlılık zeta potansiyel değerinden yüksek çıktığını göstermiştir. Elde edilen bu sonuçlar Grafen tabanlı nanoakışkanların ısı değiştiricilerde ısı aktarım akışkanı olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Çizelgeler 1.3 ve 1.4’de Grafen tabanlı nanoakışkanların gerek ısı iletkenlik gerek ise zeta potansiyel değerlerinin sunulmuş olduğu çalışmalarda Grafen oksit ya modifiye Hummers metodu kullanılarak ya da ticari olarak temin edilmiştir. Diğer bir ifade ile řu ana literatürde önerilmiş olan üç farklı Hummers metodu sentezlenen Grafen oksit nanomalzemenin fiziksel özelliklerini karşılaştıran olmamıştır. Bu sebepten dolayı tez çalışması üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit nanoparçacıklar ile farklı kütleli bölüntülerde hazırlanan su tabanlı nanoakışkanların reolojik özelliklerinin, ısı iletkenlik ve kararlılıklarının kapsamlı karşılaştırmasını amaçlamaktadır. Bunlara ilaveten farklı boyutlara sahip çok duvarlı karbon nanotüplerin boylamasına açılması ile üretilen karbon nanotüp nanoşeritler ile üretilen nanoakışkanların kapsamlı reolojik, termal ve kararlılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında ısı değiştiricilerinde kullanılabilecek en uygun karbon tabanlı nanoakışkan belirlenmiştir.

Çizelge 1.2 Literatürde farklı araştırma gruplarınca Grafen oksit sentezlenmesinde kullanılan asit ve yükseltgen miktar ve oranları

Referans	Kullanılan Hummers metodu	Başlangıç grafit miktarı (g)	Kullanılan asit çeşitleri	Kullanılan asit miktarı (ml) veya oranı	Kullanılan KMnO4 miktarı (g)	Kullanılan NaNO₃ miktarı (g)
Hajjar vd., (2014)	modifiye	2	H ₂ SO ₄	46	6	1
Chen vd., (2013)	iyileştirilmiş	3	H ₂ SO ₄ H ₃ PO ₄	9:1/70:7.77	9	-
Shahriary vd.,(2014)	modifiye	1	H ₂ SO ₄	23	3	0.5
Song vd., (2014)	modifiye	5	H ₂ SO ₄ H ₃ PO ₄	9:1/108:12	15	2.5

Çizelge 1.3 Farklı araştırma gruplarınca karbon tabanlı nanoparçacıklar ile üretilen noakışkanlarınölçülen ısıl iletkenlik değerleri

Referans	Parçacık	Taban akışkanı	Çalışma Sıcaklığı (°C)	% parçacık Fraksiyonu	Bulgular
Xie vd., (2003)	KNT	Su EG	25°C	%0.2-%1.0 (hacimsel)	- Hacimce % 0.2 bölüntü oranında üretilenKNT/Su nanoakışkan ısıl iletkenlik değerinin su taban akışkanına göre %12 artış sağladığı, - Aynı derişimde KNT/EG nanoakışkanı için artış miktarının %20 olarak bulunduğu vurgulanmıştır.
Singh vd., (2008)	KNT	Su Olefin	-	%3.4 (hacimsel) %1.0 (hacimsel)	- Hacimce %3.4 bölüntü oranında KNT/Su nanoakışkan ısıl iletkenlik değerinin su taban akışkanına göre artış miktarının %38 olarak bulunduğu, - KNT/Olefin nanoakışkanı için hacimce %1.0 bölüntü oranında bu artışın %50 olarak elde edildiği belirtilmiştir.
Yu vd., (2009)	GONs	EG	10°C-60°C	%2-%5 (hacimsel)	- GONs/EG nanoakışkanlarının ısıl iletkenlik değerleri sıcaklığa bağlı olarak artmıştır. - GONs/EG nanoakışkanının EG taban akışkanına göre ısıl iletkenliğindeki en yüksek artış miktarı, 60°C da ve hacimce %5 fraksiyon için %65 artış.

Hajjar vd., (2014)	GO	Su	10°C-40°C	%0.05-%0.25 (kütlesel)	GO/Su nanoakışkanının Su taban akışkanına göre ısı iletkenliğindeki en yüksek artış miktarı, 40°C de ve kütlece %0.25 fraksiyon oranında %47.54 olarak elde edilmiştir.
Hadadian vd., (2014)	GO	Su	20°C-50°C	%0.001-%0.006 (kütlesel)	%0.006 kütlece fraksiyondaki GO/Su nanoakışkanın ısı iletkenliğinde su taban akışkanına göre en yüksek artış miktarı 50°C olup %33'tür.
Mehrali vd., (2014)	GNPs 300 GNPs 500 GNPs 750	Su	10°C-40°C	%0.025-%0.1 (kütlesel)	Üç farklı yüzey alanlarına sahip (300-500-750 m²/g) GNPs nanoparçacığı ile üretilen, kütlece %0.1 GNPs/Su nanoakışkanın 40°C de ısı iletkenliği en yüksek olup, su taban akışkanına göre %25 artış elde edilmiştir.
Ijam vd., (2015)	GONs	EG-Su	20°C-45°C	%0.01-%0.1 (kütlesel)	Kütlesel %0.1 GONs/EG-Su fraksiyonundaki nanoakışkanın 45°C deki ısı iletkenlik değeri en fazla olup bu değer EG-Su taban akışkanına göre %12 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 1.4 Farklı araştırma grupları tarafından karbon tabanlı nanoparçacıklar kullanılarak üretilen nanoakışkanların ölçülen zeta potansiyel değerleri

Referans	Nano parçacık	Taban akışkanı	pH	% parçacık bölüntü oranı	Bulgular
Park vd., (2012)	GO	Su	3-9	%0.0001 (hacimsel)	Hacimce %0.0001 bölüntü oranında hazırlanan GO/Su nanoakışkanının zeta potansiyel değeri pH 3 iken 20 mV, pH 9’da ise 40 mV olarak ölçülmüştür.
Xie vd., (2003)	CNTs	Su-EG	2-11	%0.1 (hacimsel)	Hacimce %0.1 bölüntülerde hazırlanan KNT/Su ve KNT/EG nanoakışkanlarının pH 9-11 aralığındaki zeta potansiyel değerleri 50 mV olarak ölçülmüştür.
Hadadian vd., (2014)	GO	Su	3-10	%0.0003 (kütlesele)	Kütlece %0.0003 bölüntü oranında hazırlanan GO/Su nanoakışkanının zeta potansiyel değeri pH 7’de 50 mV olarak ölçülmüştür.
Mehrali vd., (2014)	NDG	Su	2-10	-	NDG/Su nanoakışkan zeta potansiyel değeri 50 mV olarak ölçülmüştür.

2.GENEL BİLGİLER

Bu bölümde sırası ile i) grafen oksitin kimyasal yöntem ile sentezlenmesinde literatürde önerilmiş olan klasik, modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metotları karşılaştırmalı olarak detaylandırılmıştır, ii) literatürde “Ribon” olarak adlandırılan karbon nanotüp’ün boylamasına açılması ile üretilen karbon nanoşerit ile iii) asit ile muamele edilen çok duvarlı karbon nanotüp nanoparçacıkların sentezlenmesinde izlenen yöntem anlatılmıştır. Bunlara ilaveten karbon tabanlı nanoakışkanların farklı kütleli fraksiyonlarda hazırlanmasında iv) izlenen yöntem ile v) nanoakışkanların kararlılık, ısı iletkenlik ve reolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan makine teçhizat detaylandırılmıştır.

2.1 Grafen oksit nanoparçacıklarının üç farklı Hummers yöntemi ile sentezlenmesi ve karakterizasyonu

“Yüzyılın malzemesi” olarak adlandırılan grafen, karbon atomlarının tek düzlemde altıgen yapıda dizilmesiyle oluşan bir atom kalınlığında iki boyutlu karbon allotropudur. Karbon atomları 2s ve 2p orbitallerinin birleşimi ile 120° açılı sp^2 melezleşmesi yaparken boşta kalan pz orbitalleri ise grafenin elektronik özelliklerini belirleyerek ona sıra dışı yüzey alanı ($2630 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, gram başına yaklaşık yarım futbol sahasının kapladığı alan), yüksek mekanik sertlik (Young modülü $\sim 1.0 \text{ TPa}$), yüksek elektriksel ve termal iletkenlik ($\sim 5000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) ve ayrıca optik transparanlık ($\sim \%97.7$) özelliklerini kazandırır (Yanwu vd., 2010). Kendine özgü üstün özelliklerinden dolayı grafen uzaydan savunmaya, uçaktan, otomotive, tıptan ilaç endüstrilerine çok geniş uygulama alanlarına sahip olup günümüzde literatürde üzerinde çalışılan en sıcak araştırma konuları arasında yer almaktadır. Grafen sentezlenmesinde literatürde önerilmiş olan ve kullanılan üç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla kimyasal buhar çöktürme metodu (CVD), grafit oksidin eksfoliasyonu ve elektrokimyasal sentezleme yöntemleridir. Belirtilen yöntemler arasından grafit oksidin eksfoliasyonu diğer yöntemlere kıyasla kolay, düşük maliyet ve istenilen miktarlarda üretilmesi sebebi ile literatürde en çok kullanılan yöntemdir.

Bu çalışmada Grafen oksit (GO), sırası ile klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodları kullanılarak sentezlenmiştir. Üç farklı Hummers

metodu kendi aralarında karşılaştırılmadan önce Marcano vd., (2010) tarafından önerilen iyileştirilmiş Hummers yöntemi detaylandırılacaktır. Şekil 2.1 iyileştirilmiş Hummers metodu ile 1 gram Grafitten, Grafen Oksitin sentezlenmesi için uygulanan sentez basamaklarını Şekil 2.1 olarak göstermektedir. Uygulanan işlem sırası Şekil 2.1'in üst satırı için soldan sağa alt satırı için ise sağdan sola doğrudur. Şekil 2.1'den görüleceği üzere Hummers metodu ile Grafitten, Grafen oksit sentezlenmesinde uygulanan toplam beş basamak bulunmaktadır. İlk olarak 9:1 oranında Sülfürik asit-Fosforik asit/permanganat ortamında ağır oksidasyona maruz bırakılan 20 mikron altı grafit, peroksit ortamında grafen oksit nanoşeritlere dönüştürülmüştür. Bu yöntemde; 360 mL derişik H_2SO_4 40 ml H_3PO_4 karıştırılarak homojen bir çözelti oluşturulmuştur. Çözeltinin içerisine 3 g toz halindeki grafit eklenerek karıştırılmaya devam edilmiş elde edilen bu karışım, manyetik bir ısıtıcı yardımıyla yaklaşık $80^{\circ}C$ 'de 6 saat boyunca ısıtılmıştır. Daha sonra karışımın oda sıcaklığına soğutulması sağlanmış karışım soğuyunca üzerine 1 L saf su eklenerek, bir gece ısıtılmadan karıştırılmıştır karışım süzöldükten sonra içindeki asit kalıntılarını uzaklaştırmak için saf suyla yıkanarak tekrar süzölmüştür. Ortaya çıkan yarı oksitlenmiş grafit, kurutulduktan sonra, tam olarak oksitlenmesi için, içerisine 250 mL H_2SO_4 eklenmiştir. Karıştırma işlemi devam ederken bu çözeltinin içerisine 18 g $KMnO_4$ kademeli olarak eklenerek $35^{\circ}C$ 'de 4 saat boyunca karıştırılmıştır. Süre tamamlanınca, çözelti üzerine 500 mL saf su eklenerek soğutulmuştur. 500 mL saf su ilavesinden sonra karışım 2 saat boyunca karıştırılacak ve üzerine tekrar 1,5 L ilave saf su eklenmiştir. Çok kısa bir süre sonra, çözelti içine 40 mL %30'luk H_2O_2 eklenerek karışımın renginin parlak sarı olduğı ve kabarcıklar çıktığı gözlenmiştir. Karışım süzölerek, içindeki metal kirliliğinin giderilmesi için 0,1 M HCl ile 4 defa yıkanarak saflaştırılmıştır. Ardından 1 L saf suyla tekrar yıkanana kahverengimsi çökeleğın süzöntü pH'sının 7 olması ve hava ortamında kuruması sağlanmışır.



Grafit



9:1 oranında
 $H_2SO_4:H_3PO_4$



6xKMnO₄



Kurutma



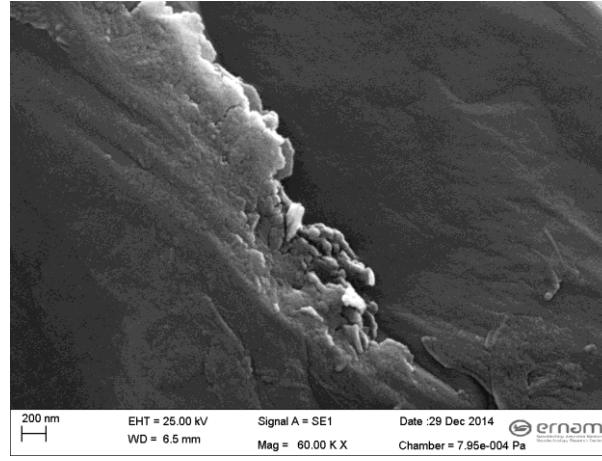
Saflaştırma



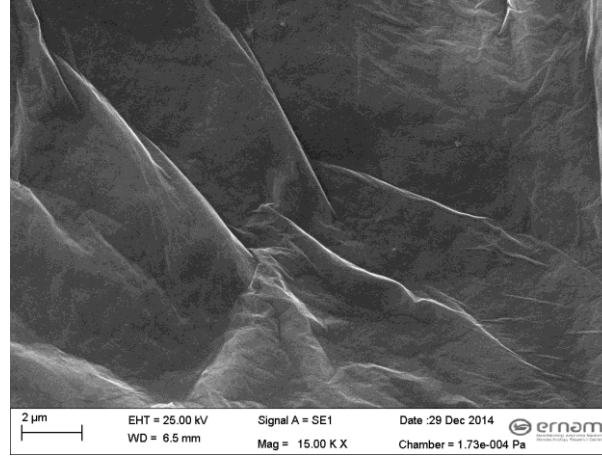
DI su+ %30 H₂O₂

Şekil 2.1 İyileştirilmiş Hummers metodunda Grafen oksit sentez basamakları. Not: Üst satır için öncelik işlem sırası soldan sağa, alt satır için ise sağdan sola doğrudur.

Grafen oksit nanoparçacıkların grafit oksit eksfoliasyonu ile sentezlenmesinde önerilmiş olan üç farklı Hummers yöntemleri arasındaki temel farklar: i) Şekil 2.1’de ilk basamakta gösterilen asit çeşiti ve kullanılan oranlar; ii) ikinci basamakta gösterilen KMnO₄ miktarı ve çözelti içerisine eklenme süresi; iii) üçüncü basamakta gösterilen H₂O₂ miktarıdır. Örneğin klasik Hummers metodunda tek bir asit H₂SO₄ kullanılırken iyileştirilmiş Hummers da 9:1 oranında H₂SO₄:H₃PO₄ karışımı kullanılmaktadır. Bunlara ilaveten klasik Hummers yönteminde 3xKMnO₄ birden asit ile eksfoliasyon edilen çözelti içerisine katılırken iyileştirilmiş Hummers metodunda 6xKMnO₄ adım adım eklenmektedir. Şekil 2.2 (a) ve (b)’de sırası ile modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile sentezlenen Grafen oksit nanoparçacıkların SEM görüntüsü verilmiştir.



a)



b)

Şekil 2.2 a) Modifiye ve b) iyileştirilmiş Hummers metodları ile sentezlenen Grafen oksit nanoparçacıkların SEM görüntüsü

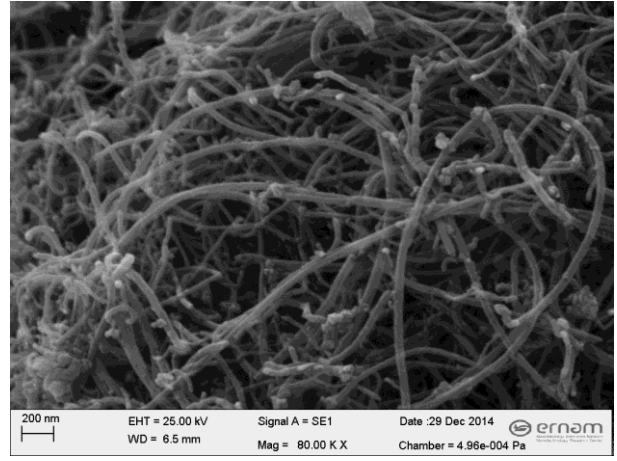
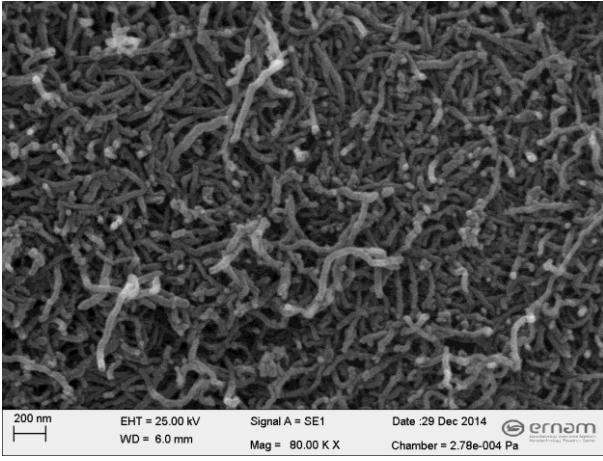
2.2 Karbon nanotüp nanoşerit (Ribon) nanoparçacıklarının iyileştirilmiş Hummers yöntemi ile sentezlenmesi ve karakterizasyonu

Literatürde Ribon olarak adlandırılan karbon nanotüp nanoşerit nanoparçacıklar kısa ve uzun olmak üzere iki farklı uzunluktaki ($L=0.5-2 \mu\text{m}$ ve $L= 10-30\mu\text{m}$) $D=20-30\text{nm}$ dış çap'a sahip çok duvarlı karbon nanotüplerin iyileştirilmiş Hummers metodu ile boylamasına açılması ile sentezlenmiştir. Ribon nanoparçacık silindir tüp şeklindeki karbon nanotüplerin boylamasına açılması ile elde edilen iki boyutlu

düzlem şeklindeki yapraklardır. Diğer bir ifade ile Ribon, Grafen'in karbon nanotüplerden elde edilmiş haline denilmektedir.

Belirtildiği üzere Ribon nanoparçacıklar karbon nanotüplerin iyileştirilmiş Hummers metodu (Marcano vd., 2010) ile boylmasına açılması ile sentezlenmiştir. Daha önce iyileştirilmiş Hummers metodu detaylı olarak anlatıldığından kısaca özetlenecektir. Kısa olarak adlandırılan L=0.5-2 μm uzunluğundaki ve D=20-30nm dış çap'a sahip 1 gram çok duvarlı karbon nanotüp 9:1 oranında Sülfürik asit-Fosforik asit/permanganat içeren 120 mL asit çözeltisi içerisinde ağır oksidasyona maruz bırakılmıştır. KNT içeren bu karışım manyetik bir ısıtıcı yardımıyla yaklaşık 80°C'de 6 saat boyunca karıştırılmıştır. Ardından karışım üzerine 1 L DI su eklenerek bir gün boyunca sanifikasyon banyosunda karıştırılmıştır. Karışım içerisinden asitin uzaklaştırılması için karışım 3 defa saf su ile yıkanarak süzölmüştür. Daha sonra karışım içerisine 6 g KMnO_4 kademeli olarak eklenerek 35°C'de 4 saat boyunca karıştırılmıştır. Çözelti üzerine 500 mL saf su eklenerek 2 saat boyunca karıştırılmış ve içerisine 40 mL %30'luk H_2O_2 eklenerek karışımın renginin parlak sarı olduğu ve kabarcıklar çıktığı gözlenmiştir. Karışım süzülerek, içindeki metal kirliliğinin giderilmesi için 0,1 M HCl ile 4 defa yıkanarak saflaştırılmıştır. Ardından 1 L saf suyla tekrar yıkanarak siyahımsı çökeleğin pH'sının 7 olması ve hava ortamında kuruması sağlanmıştır.

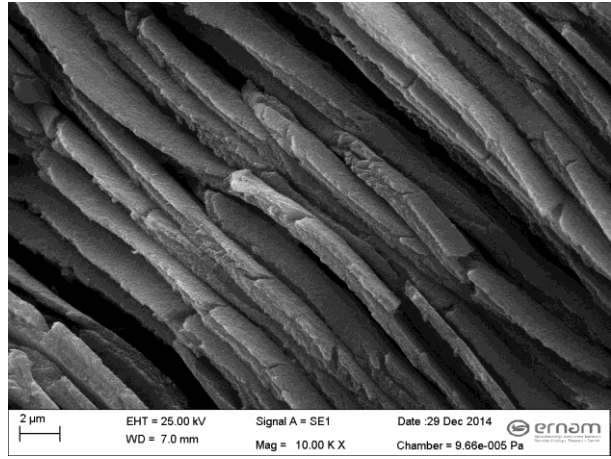
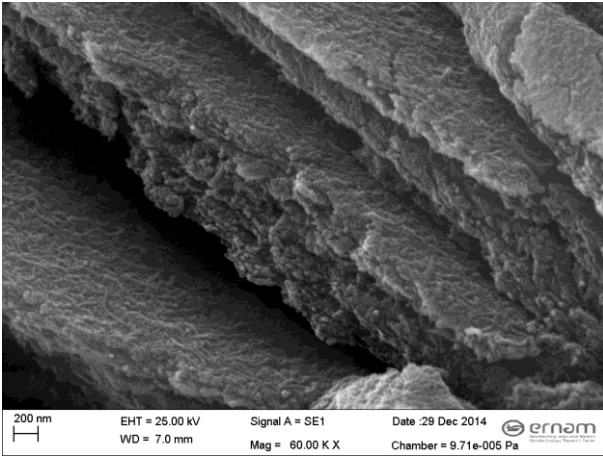
İşlem görmemiş L=0.5-2 μm ve L= 10-30 μm uzunluklarında ve D=20-30 nm dış çapındaki çok duvarlı karbon nanotüplerin SEM görüntüleri sırası ile Şekil 2.3 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Buna karşın iyileştirilmiş Hummers metodu ile boylamasına açılmış olan hem kısa hemde uzun çok duvarlı karbon nanotüp nanoparçacıkların SEM görüntüleri Şekil 2.4 (a) ve (b)'de verilmiştir. Verilen SEM görüntülerinden açıkça görüleceği üzere hem kısa hemde uzun olarak adlandırılan çok duvarlı karbon nanotüp nanoparçacıklar açılarak çok katmanlı Grafen haline dönüşmüşlerdir.



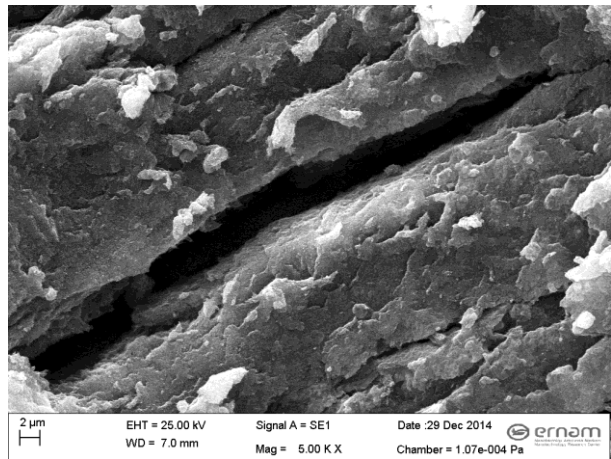
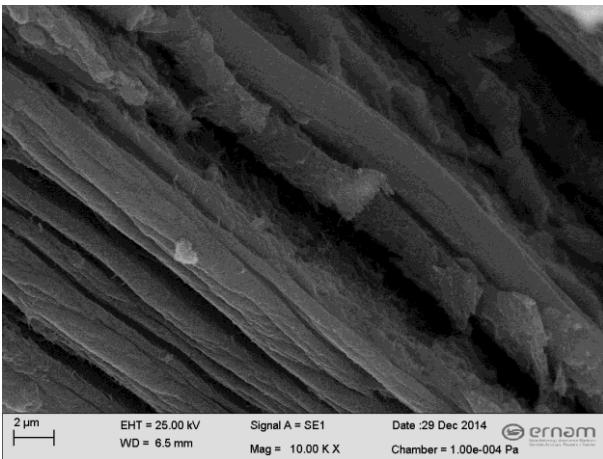
a)

b)

Şekil 2.3 İşlem görmemiş iki farklı boyutlardaki çok duvarlı karbon nanotüp (KNT)'lere ait SEM görüntüleri a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2 μm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30μm uzunluğunda uzun KNT.



a)

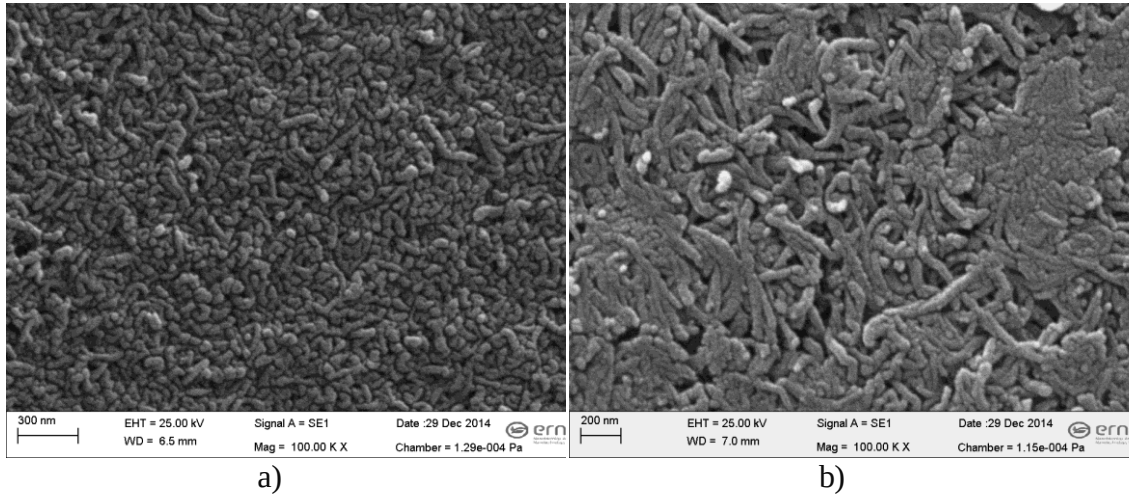


b)

Şekil 2.4 20-30nm çapında ve L=0.5-2 μm ve L= 10-30μm uzunluklarındaki a) kısa, b) uzun KNT'lerin iyileştirilmiş Hummers metodu uygulanarak boylamasına açılması ile üretilen karbon nanotüp nanoşeritlerin SEM görüntüleri

2.3 Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüplerin sentezlenmesi ve karakterizasyonu

Yüksek lisans tez çalışmasında son olarak sentezlenen ve termal, kararlılık ve reolojik özellikleri incelenen karbon tabanlı nanoparçacık, asit ile muamele edilmiş çok duvarlı KNT'dür. KNT'ler birçok taban akışkanı içerisinde ve özellikle DI su taban akışkanı içerisinde kararlılıklarını kısa bir süre içerisinde kaybederler. KNT'lerin DI su taban akışkanı içerisindeki kararlılıklarının artırılması diğer bir ifade ile su sever hale getirilmesi amacı ile KNT yüzeyleri $-COOH$ grupları ile bağlanır. Bu amaç doğrultusunda kısa ve uzun olarak adlandırılan çok duvarlı karbon nanotüpler 1:3 hacimsel oranda HNO_3/H_2SO_4 asit karışımı ile dört saat sonifaksyon banyosunda sabit $30\text{ }^{\circ}C$ altında karıştırılmış ardından asit kalıntılarından kurtulmak için en az sekiz defa DI su ile yıkanmıştır. Kısa ve uzun KNT'lerin hacimce 1:3 oranında HNO_3/H_2SO_4 asit karışımı ile muamele edilmesi ile üretilen KNT- $COOH$ 'lerin SEM görüntülerini sırası ile Şekil 2.5 (a) ve (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5 20-30nm çapında ve $L=0.5-2\text{ }\mu m$ ve $L=10-30\text{ }\mu m$ uzunluklarındaki a) kısa, b) uzun KNT'lerin hacimce 1:3 HNO_3/H_2SO_4 asit karışımı ile muamele edilmesi ile üretilen KNT- $COOH$ 'lerin SEM görüntüleri.

2.4 Karbon tabanlı nanoakışkanların üretilmesi

Giriş bölümünde tanımlandığı üzere nanoakışkan, nanometre boyutlarındaki metal, metal oksit ya da karbon nanotüp, grafen parçacıklarının genelde Newton kuralına uyan akışkanlar (su, etilen glikol, makine yağı, poli alfa olefen) içerisine düşük hacimsel ya da kütleli fraksiyonlarda eklenmesiyle oluşturulan süspansiyon akışkanına verilen isimdir. Bu çalışmada sentezlenen grafen oksit, karbon nanotüp nanoşerit ve asit ile muamele edilmiş nanoparçacıklar kullanılarak kütlece farklı bölüntü oranlarında nanoakışkanlar üretilmiştir. İzleyen bölümde belirtilen nanoakışkanların üretilmesinde kullanılan makine teçhizat ve deney düzenekleri detaylı olarak tanıtılmıştır.

2.4.1 Deney düzeneği

Bu bölümde karbon tabanlı nanoparçacıklar kullanılarak üretilen nanoakışkanların reolojik, termal ve kararlılık analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan makine-teçhizat ve deney düzenekleri detaylı olarak anlatılmıştır.

Şekil 2.6 (a-d) sırasıyla nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan hassas elektronik terazi, sonifikatör banyosunu, sabit sıcaklık su banyosunu ve pH ölçer'i göstermektedir. Şekil 2.6 (a)'da gösterilen Dikoman model elektronik terazi 0.001 hassasiyete sahip olup kütlece istenilen farklı fraksiyonlarda hazırlanacak olan nanoakışkanlarda taban akışkanı içerisine eklenecek olan nanoparçacık miktarının belirlenmesinde kullanılmıştır. İstenilen kütlece % fraksiyonlarda nanoakışkanların hazırlanabilmesi için taban akışkanı içerisine eklenmesi gereken nanoparçacık miktarı eşitlik (1) yardımıyla hesaplanmıştır. Örneğin kütlece %1'lik Grafen oksit-DI su nanoakışkanı için 40 ml DI-su içerisine eklenmesi gereken Grafen oksit miktarı eşitlik 1'den 0,403 gram olarak hesaplanmıştır.

.

$$\frac{x}{100} = \frac{m_{np}}{m_{np} + (V_t * \rho_t)} \quad (1)$$

x: istenilen kütlece % fraksiyon

m_{np} : nanoparçacığın kütlesi

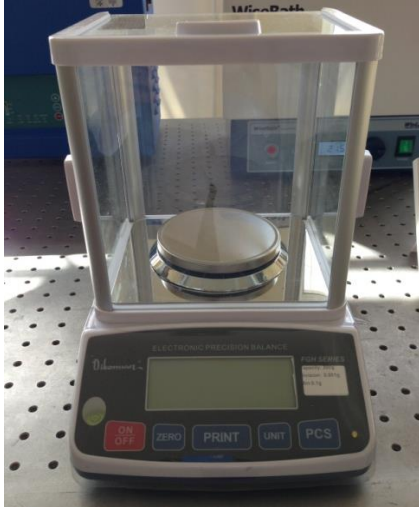
V_t : taban akışkanının hacmi

ρ_t : taban akışkanının yoğunluğu

Nanoparçacık kümeleşmesini kırmak ve nanoakışkan kararlılığını arttırmak için Şekil 2.6 (b)'de gösterilen 150 W ultrasonik güç'e ve 40 kHz frekans'a sahip Jeitech model sonifikatör banyosu kullanılmıştır. Hazırlanan nanoakışkanların ısı iletkenlik ve pH ölçümlerinin sabit sıcaklıkta gerçekleştirilebilmesi için Şekil 2.6 (c)'de gösterilen WiseBath model sıcaklık kontrollü su banyosu kullanılmıştır. Farklı kütleli fraksiyonlarda ve taban akışkanları ile hazırlanmış olan nanoakışkanların pH değerleri Adwa model pH metre ile gerçekleştirilmiştir.

Kütlece yüzde farklı bölüntülerde hazırlanan karbon tabanlı nanoakışkanların reolojik ölçümleri Şekil 2.7'de gösterilen Malvern marka ve Kinexus Pro model gerilim kontrollü reometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Reolojik ölçümlerde 50 mm çapa 2° açığa sahip koni geometrisi kullanılmıştır. Koni geometrisi ile dönmeyen düz plaka arasındaki mesafe 0.05 mm olarak alınmıştır. Bunlara ilaveten sıcaklığın nanoakışkan reolojisine olan etkisini incelemek amacıyla ölçümler -5 °C ile 35 °C aralığında değişen sıcaklıklar için tekrarlanmıştır. Belirtilen nanoakışkanların ısı iletkenlikleri Şekil 2.8'de gösterilen KD2 PRO ısı iletkenlik ölçer cihazı ile ölçülmüştür.

Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesinde literatürde kabul görmüş ve uygulanan üç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla kısa süreli sıcak tel yöntemi, sıcaklık salınım ve yatışkın durum paralel tabaka yöntemleridir. Bu yöntemler içerisinde en çok kullanılanı ve elde edilen ölçüm sonuçlarına güvenileni kısa süreli sıcak tel yöntemidir. KD2 PRO kısa süreli sıcak tel yöntemini kullanmaktadır. Farklı kütleli yüzde bölüntülerde üretilen nanoakışkanların kararlılık testleri ise sırası ile Şekil 2.9 ve 2.10'da gösterilen Malvern marka Zetasizer Z ve Shimadzu marka spektrofotometre cihazları ile belirlenmiştir.



(a)



(b)

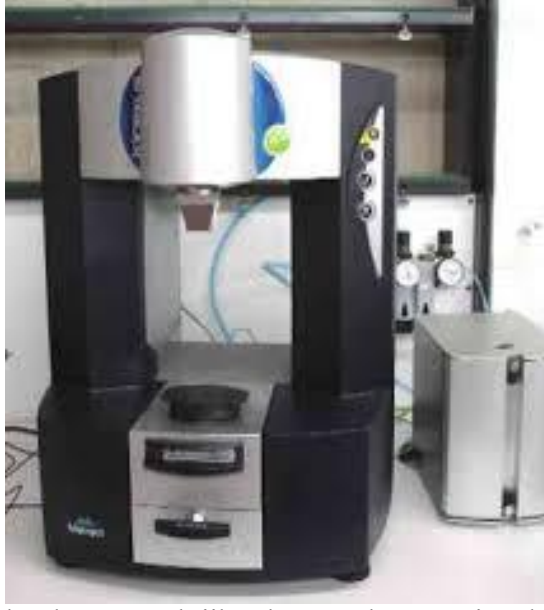


(c)



(d)

Şekil 2.6 Nanoakışkanların hazırlanmasında kullanılan makine-teçhizat a) hassas elektronik terazi, b) sonifikatör banyosu, c) sabit sıcaklık su banyosu, d) pH ölçer.



Şekil 2.7 Nanoakışkanların reolojik davranışlarının incelenmesinde kullanılan reometre.



Şekil 2.8 Nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin belirlendiği ısı iletkenlik ölçer KD2 PRO.



Şekil 2.9 Nanoakışkanların kararlılık testlerinin incelenmesinde kullanılan Malvern Zetasizer Nano Z.



Şekil 2.10 Nanoakışkanların kararlılık testlerinin incelenmesinde kullanılan Shimadzu marka spektrofotometre.

3.SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu bölümde sırası ile i) üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen Grafen oksit nanoparçacıklar ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının ii) iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen karbon nanotüp nanoşerit nanoparçacıkları ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının ve son olarak iii) asit ile muamele edilmiş çok duvarlı karbon nanotüp nanoparçacıkları ile üretilen DI su tabanlı nanoakışkanlarının detaylı kararlılık, ısı iletkenlik ve reolojik özelliklerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı olarak sunulmuş ve elde edilen deney sonuçları sunularak ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

3.1. Karbon tabanlı nanoakışkanların kararlılık testleri

Nanoakışkan kararlılığı, nanoparçacıkların belli bir süre boyunca durgun taban akışkanı içerisinde çökmeden asılı durumda kalmaları olarak tanımlanır. Diğer bir ifade ile nanoakışkan kararlılığı nanoparçacıkların taban akışkanı içerisindeki kümeleşmeye olan eğilimi olarak tanımlanmaktadır. Nanoakışkanların hazırlanmasında tüm araştırma grupları tarafından belirtilen ve büyük bir sorun olarak adlandırılan, nanoparçacıkların kümeleşme davranışında olmaları ve sonucunda kararlılığın kaybedilerek çökmeleridir. Nanoparçacıkların kümeleşmesini kırmak amacıyla şu ana kadar yapılan çalışmalarda uygulanan ve en etkin yöntem olarak kabul edilen işlem, nanoakışkana belli bir zaman aralığında sonifikasyon uygulamaktır. Sonifikasyon işlemi her ne kadar nanoparçacık kümeleşmesini kırmak için kullanılan etkin bir yöntem olarak kabul edilse de, nanoparçacık kümeleşmesini uzun sürelerde engelleyememekte ve nanoakışkanın kararlılığını koruyamamaktadır. Nanoakışkan kararlılığını arttırmak için uygulanan diğer bir yöntem ise çok düşük derişimlerde yüzey aktif (surfactant) veya dağıtıcılar (dispersant) kullanılarak nanoparçacıkların yüzey yüklerinin değiştirilmesi ve sonucunda itme kuvvetleri şiddetinin çekme kuvvetlerine göre artması ve kümeleşmenin engellenmesidir. Arzu edilen, belli fraksiyonda hazırlanan nanoakışkanın istenilen sürede kararlılığını kaybetmeden taban akışkanı içerisinde asılı halde durmasıdır.

Küresel katı bir parçacığın Newton kuralına uyan durgun akışkan içerisindeki çökme hızı eşitlik (2)'de verilen Stokes akış denkleminde hesaplanabilir. Verilen

eşitlik durgun akışkan içerisinde parçacık üzerine etki eden yerçekimi, hacim ve sürüklenme kuvvetlerinin, dengedeki kuvvet denkleğinden elde edilmiştir. Stokes çökelme hızı Newton kuralına uyan durgun akışkan içerisindeki tek bir parçacık için türetildiğinden elde edilecek çökelme hızı limit hız değeridir. Diğer bir deyişle Stokes çökelme hızı Newton kuralına uyan taban akışkanı içerisinde asılı olan tek bir parçacık için elde edildiğinden en düşük hızdır. Stokes çökelme hızı ile nano boyuttaki küresel herhangi bir parçacığın hızı hesaplanarak, parçacığın birim mesafeyi kat etmesi için gerekli olan zaman hesaplanabilmektedir.Örneğın 21 nm boyutunda küresel olduğı bilinen TiO₂ parçacığın su akışkanı içerisindeki çökelme hızı eşitlik (2)'den 3.1×10^{-9} m/s olarak hesaplanır. Diğer bir deyişle 21 nm boyutundaki tek bir TiO₂ parçacığın su taban akışkanı içerisindeki 1 m'lik ve 1 cm'lik mesafeleri sırasıyla 3700 ve 37 günde alır. Buna karşın nano boyuttaki parçacıklar Brownian hızlarından dolayı devamlı hareket halinde bulunduklarından yığındaki diğer parçacıklar ile etkileşim halindedirler. Nanoparçacıkların yığındaki diğer parçacıklar ile etkileşimleri yeni kümeleşme yapılarının ortaya çıkmasına ve parçacığın Brownian hızının azalmasına neden olacaktır. Özetle tek bir TiO₂ parçacık için verilmiş olan çökelme hızı limit değer olup, yığın içerisindeki nanoparçacıklar için bu değer daha yüksek çıkması tahmin edilmektedir. Buna karşın nanoparçacık şekli, boyutu, kristal yapısı, taban akışkanı ve nanoparçacık yüzde fraksiyonu nanoakışkan kararlılığını etkileyen en önemli parametrelerdendir.

$$V_s = \frac{2}{9} \frac{(\rho_p - \rho_f)}{\mu} g R^2 \quad (2)$$

ρ_p : parçacık yoğunluğu

ρ_f : akışkan yoğunluğu

g : yerçekimi ivmesi

μ : akışkan viskozitesi

R : parçacık yarıçapı

Nanoparçacıkların yüksek enerji yüzeylerinden dolayı kolay kümeleşme eğiliminde bulunmaları, taban akışkanları içerisine çok iyi dağıtılmalarını güçleştirmektedir. Bu neden ile nanoakışkan araştırmalarında nanoparçacıkların taban akışkanı içerisindeki kümeleşme eğilimlerini kontrol etmek en önemli araştırma konuları arasındadır. Literatürde nanoakışkan kararlılığını kontrol etmek ve zaman ile değişimini belirlememek üzere uygulanan iki yöntem vardır. Bunlar sırası ile nanoparçacıkların taban akışkanı içerisindeki zeta potansiyel ve görünür bölgedeki absorbans değerlerinin zaman ile değişiminin incelenmesidir. Zeta potansiyel, nanoparçacık yüzeyi ve taban akışkanı arasında var olan elektriksel potansiyel olarak tanımlanmakta olup zeta potansiyel mutlak değeri nanoakışkan kararlılığı ile ilişkilidir. Eğer ölçülen zeta potansiyel mutlak değeri 25 mV'dan büyük ve zaman ile değişimi çok az ise üretilen nanoakışkanın kararlı olduğu söylenebilir. Benzer şekilde görünür bölge dalga boyu aralığında ölçülen nanoakışkan maksimum absorbans değerinin zaman ile değişimi üretilen nanoakışkanın kararlılık durumu hakkında bilgi vermektedir. Nanoakışkan zeta potansiyel ve absorbans değerlerinden farklı olarak, nanoakışkan kararlılığının belirlenmesinde kullanılan diğer bir yöntem ise nanoakışkan fiziksel bir niceliğinin (yoğunluk, viskozite, ısıl iletkenlik vb.) zaman ile değişiminin incelenmesidir. Sonuç olarak bu çalışmada kütlece farklı bölüntülerde üretilen Grafen oksit/DI su, Ribon/DI su ve AKNT/DI su nanoakışkanlarının kararlılık analizleri nanoakışkanların zeta potansiyel, absorbans ve yoğunluklarının zaman ile değişimi incelenerek belirlenmiştir.

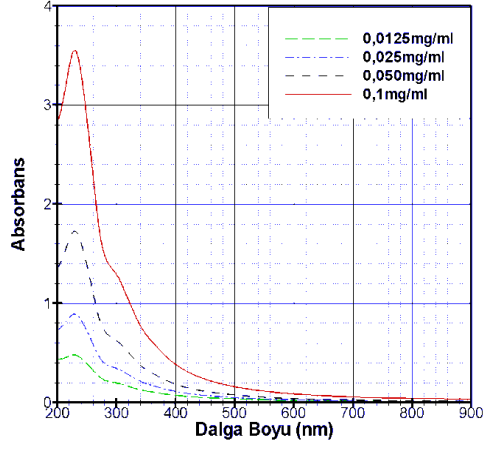
3.1.1 Üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının kararlılık testleri

İlk olarak Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının Şekil 2.10'da gösterilen Shimadzu marka UV-3600 Spektrofotometre ile ölçülen absorbans değerleri ile nanoakışkan kararlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Belirtmek gerekir ki UV görünür bölge spektrofotometre ile ölçülen ve maksimum absorbans değerini veren dalga boyu değeri nanoparçacık karakterizasyonunda kullanılmaktadır. Diğer bir ifade ile farklı tip'lerdeki nanoparçacıkların DI su taban akışkanı için maksimum absorbans değerini verdikleri dalga boyu değerleri karakteristik olup birbirlerinden farklıdır. Örneğin Grafen oksit nanoparçacıkların bilinen en büyük karakteristik özelliği Grafen oksit/DI su tabanlı nanoakışkanlarının 229-234 nm dalga boyu aralığında maksimum

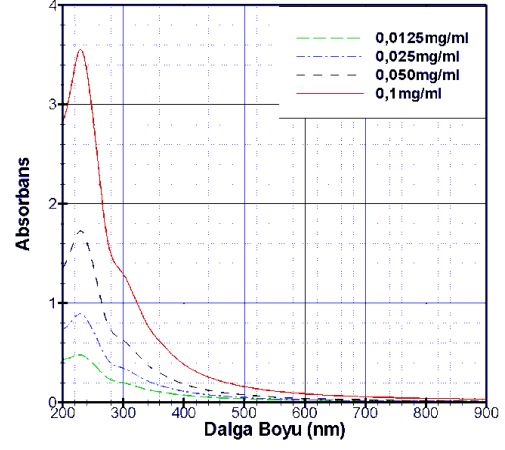
absorbans değeri vermeleridir. Sentezlenen Grafen oksit nanoparçacıklar ile üretilcek nanoakışkanların belirtilen dalga boyu aralığında maksimum absorbans vermeleri üretilen nanoparçacıkların Grafen oksit olduklarını gösterecektir.

Şekil 3.1 (a-c) sırası ile klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan absorbanslarının dalga boyu ile değişimini göstermektedir. Her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının çalışılan tüm konsantrasyonlarındaki maksimum absorbans değerleri 230 nm’de çıkmıştır. Elde edilen bu sonuç üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen nanoparçacıkların Grafen oksit olduğunu göstermektedir. Şekil 3.1’den çıkarılacak diğer sonuçlar: i) her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanları yaklaşık 300 nm dalga boyunda Şekil 3.1’den açıkça görüleceği üzere omuz vermişlerdir. Gözlemlenen bu davranış Grafen oksit nanoparçacıkların tipik bir özelliği olup incelenen tüm konsantrasyonlarda görülmüştür; ii) iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanı için 230 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değeri diğer Hummers metodları ile üretilen nanoakışkanlardan çalışılan tüm konsantrasyonlarda yüksek çıkmıştır. Bunun temel sebebi izleyen bölümde detaylandırılacağı üzere iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen Grafen oksit nanoparçacıkların diğer metodlara göre daha iyi oksitlenmesinden olduğu düşünülmektedir; iii) incelenen tüm Grafen oksit/DI su nanoakışkanları için konsantrasyon yarıya düşürüldüğünde 230 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değerleride yarıya inmiştir. Bu sonuç Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının doğru konsantrasyonlarda hazırlandığını göstermektedir. Yukarıda belirtildiği üzere nanoakışkanın kararlı olup olmadığı maksimum absorbans değerinin zaman ile değişimi ölçülerek belirlenebilmektedir. Eğer farklı konsantrasyonlarda hazırlanmış olan nanoakışkanların ölçülen maksimum absorbans değerleri zaman ile salınım gösteriyorsa süspansiyon içerisindeki nanoparçacıkların aglomera olduğu söylenebilir. Şekil 3.2 (a-c) sırası ile klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ve 230 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değerlerinin zaman ile değişimini göstermektedir. Ölçümler birbirini takip eden 7 gün içerisinde ve gün

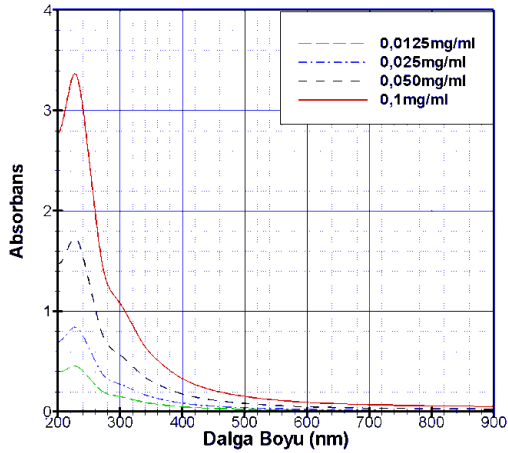
içerisinde belirlenen aynı zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Klasik Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan maksimum absorban değerinin zaman ile değişimi Şekil 3.2 (a)'dan görüleceği üzere çok az da olsa salınım gösterirken, iyileştirilmiş Hummers metodundan üretilen nanoakışkan absorban değeri zaman ile salınım göstermektedir. Elde edilen bu sonuç iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının diğer Hummers metodlarına göre daha kararlı olduğunu göstermektedir. Bu temel sebebinin yukarıda basedildiği üzere iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit nanoparçacıkların diğer Hummers metodlarına göre daha iyi oksitlenmiş olduğu düşünülmektedir. Bilindiği üzere nanoparçacık yüzeyine bağlı olan hidroksil gruplar, nanoparçacıkların hidrofilik (su sever) özelliklerini arttırmırlar. Bu kapsamında iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen Grafen oksit/DI su nanoakışkanların kararlılığı diğer Hummers metdolarına göre daha iyi olduğundan iyilştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen nanoparçacık yüzeylerine bağlanan hidroksil (OH) grublarının diğer Hummers metodlarına göre daha fazla sayıda olduğu tahmin edilmektedir.



a)

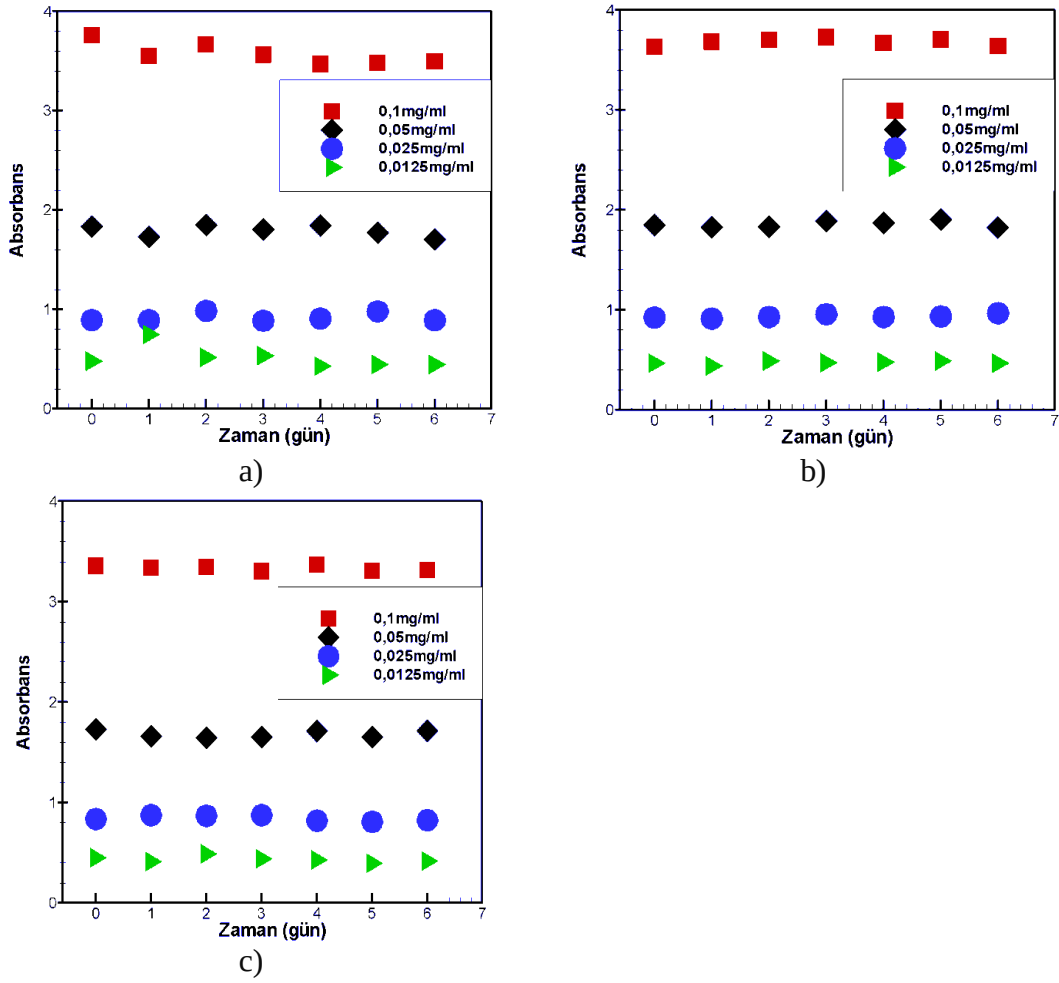


b)



c)

Şekil 3.1 Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının absorbanslarının dalga boyu ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers.

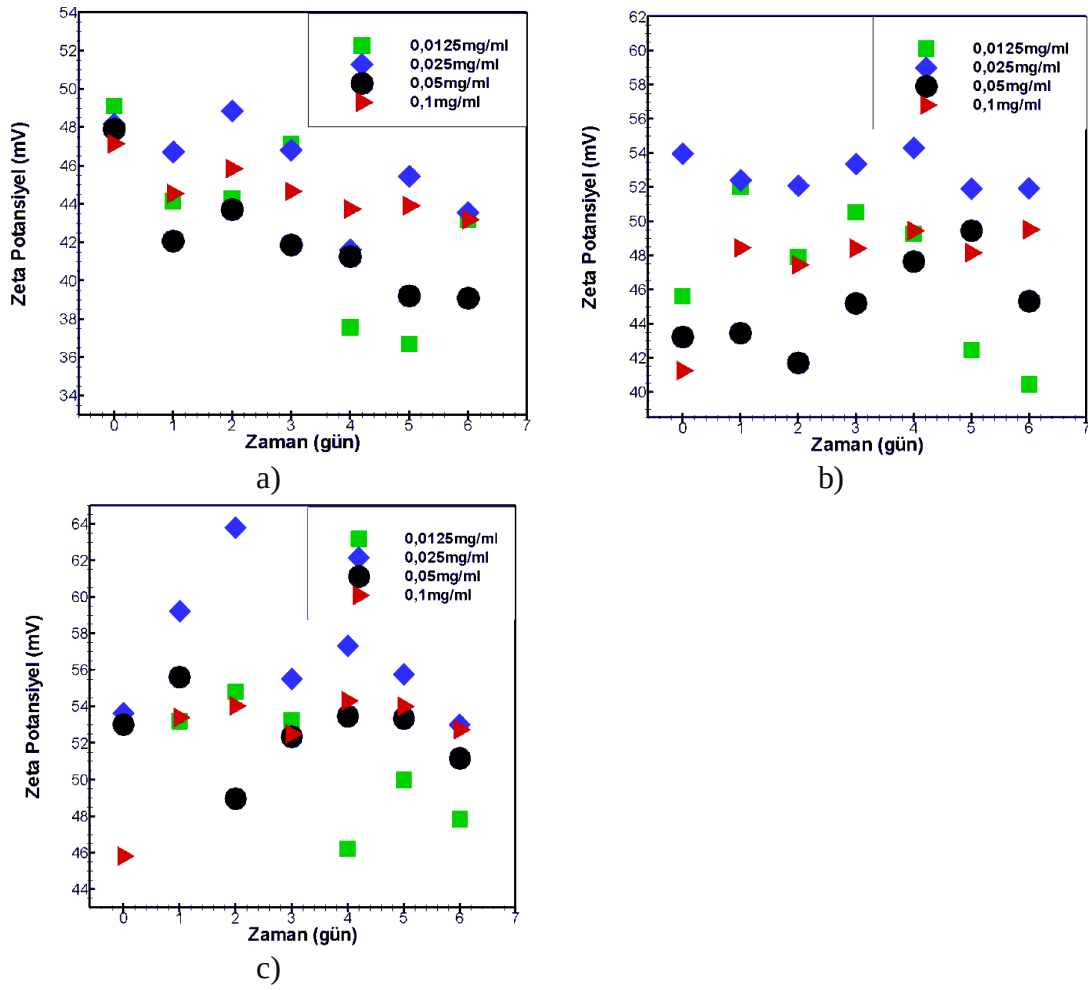


Şekil 3.2 Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ve 230 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değerlerinin zaman ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers.

Nanoakışkan kararlılık analizinde kullanılan diğer bir yöntem ise belli konsantrasyonlarda üretilen nanoakışkanların zeta potansiyel değerlerinin ölçüm esasına dayanmaktadır. Yukarıda detaylandırıldığı üzere zeta potansiyel, nanoparçacık yüzeyi ve taban akışkanı arasında var olan elektriksel potansiyel farkıdır. Literatürde birçok araştırmacı dağıtıcı içermeyen nanoakışkanların ölçülen zeta potansiyel mutlak değerinin 25 mV ve yüksek değerlerinde üretilen nanoakışkanların kararlı olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının zeta potansiyel değerleri Şekil 2.9’da gösterilen Mavern Zetasizer Nano Z cihazı ile ölçülmüştür.

Şekil 3.3 (a-c) sırası ile klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimini göstermektedir.

Şekil 3.3 (a-c)’de verilen sonuçlar irdelendiğinde şu yargılara varılabilir: i) her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının zeta potansiyel değerleri kararlılık kritik değer olan 25 mV üstünde çıkmıştır; ii) klasik, modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının ölçülen zeta potansiyel değerlerinin konsantrasyon ve zaman ile değişimi sırasıyla 35-50 mV, 50-55 mV, 45-65 mV aralığında çıkmıştır. Elde edilen bu değerlerden de anlaşılaacağı üzere iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan en yüksek zeta potansiyel değeri verdiğiinden en kararlı nanoakışkan olarak bulunmuştur. Bunlara ilaveten klasik Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değerleri incelenen tüm nanoakışkan konsantrasyonlarında doğrusal azalma eğilimde çıkmıştır. Sonuç olarak yukarıda ayrıntılı olarak açıklandığı üzere iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit DI/su nanoakışkanlarının diğer Hummers metodlarına kıyas ile yüksek hidrofilik özellik göstermesi sebebi ile zeta potansiyel değeri de yüksek çıkmıştır.



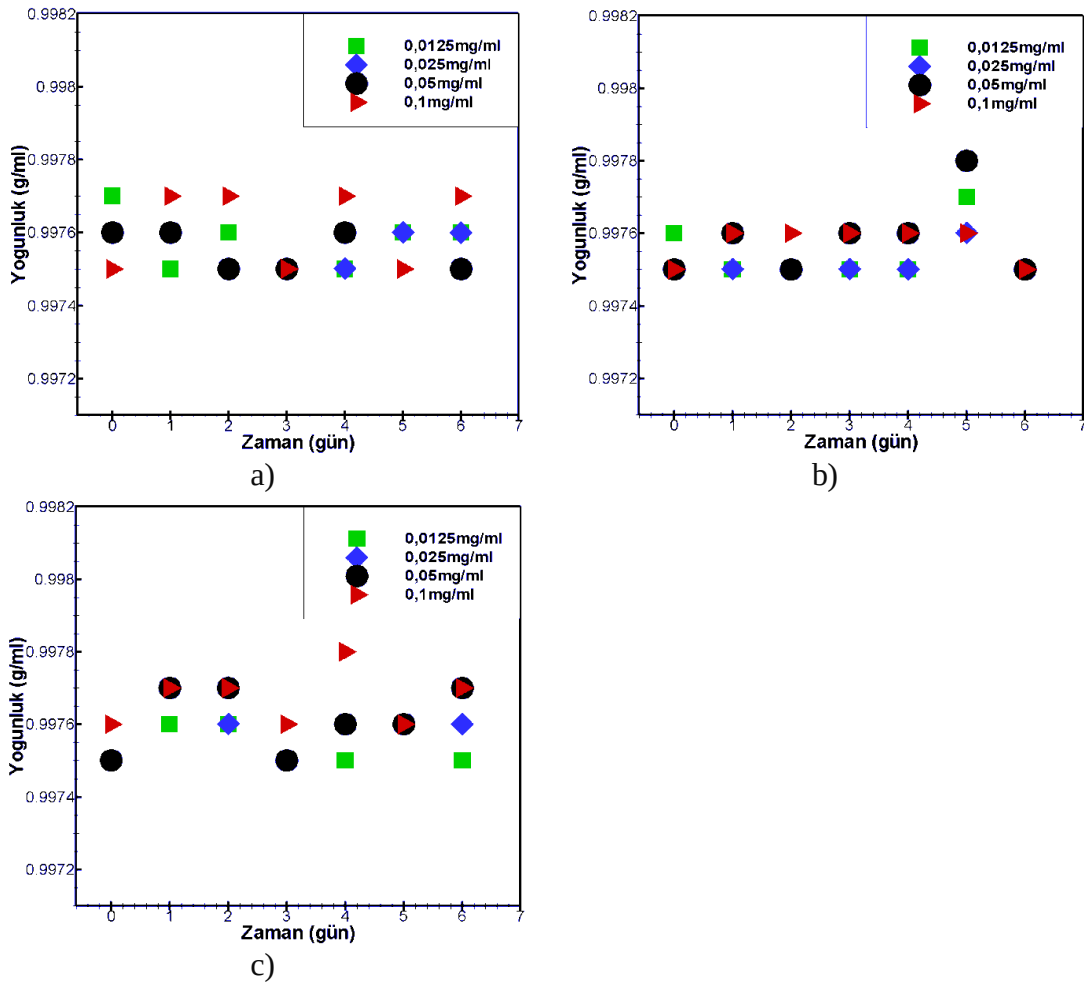
Şekil 3.3 Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers.

Bu çalışmada ayrıca üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının kararlılıkları nanoakışkan yoğunluklarının zaman ile değişimi ölçülerek belirlenmiştir. Nanoakışkan yoğunlukları Şekil 3.4’de gösterilen DMA 4100 dijital yoğunlukölçer cihazı ile ölçülmüştür. Tüm ölçümler sabit 25 °C’da gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4 DMA 4100 dijital yoğunluk ölçer.

Şekil 3.5 (a-c) sırası ile klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metotları ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişimini göstermektedir. DI su taban akışkanının 25 °C’daki yoğunluğu 0.9971 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Bu kapsamda belirtmek gerekir ki üç farklı Hummers metodu ile 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının yoğunlukları Şekil 3.5 (a-c)’den görüleceği üzere DI su taban akışkanından çok az yüksek çıkmıştır. Bunlara ilaveten her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan yoğunluklarının zaman ile değişimi yok denecek az çıkmıştır.

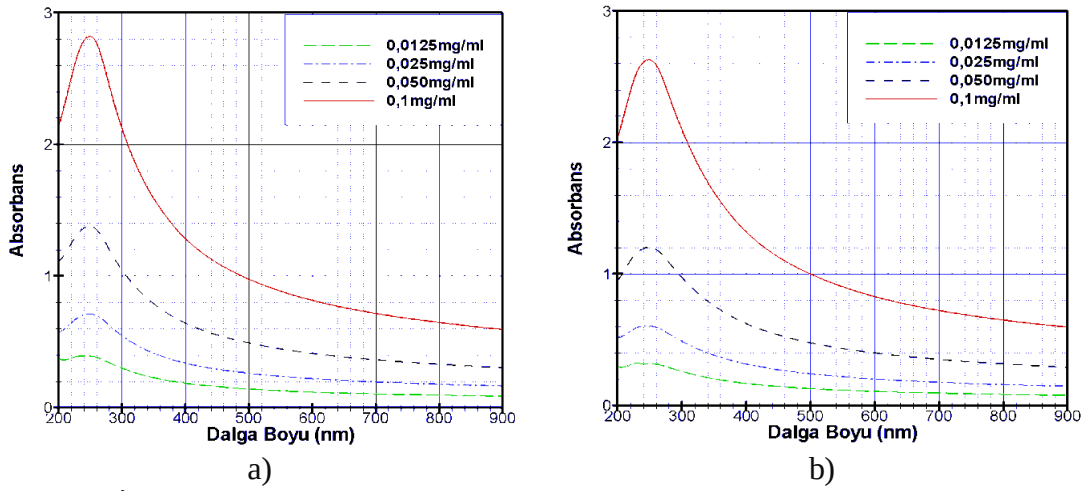


Şekil 3.5 Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers.

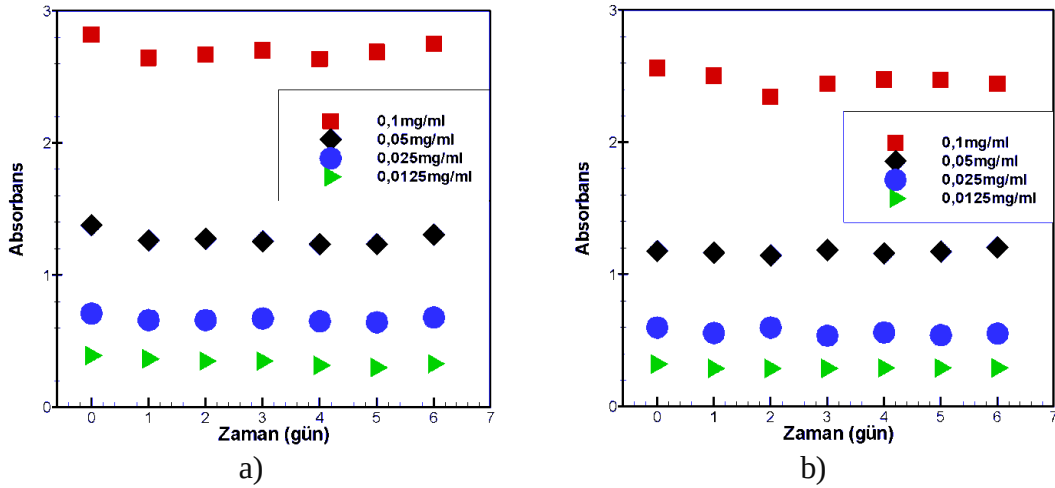
3.1.2 Ribon/DI su nanoakışkanlarının kararlılık testleri

Şekil 3.6 (a-b) sırası ile $L=0.5-2\mu\text{m}$ ve $L=10-30\mu\text{m}$ uzunluklarında ve $D=20-30\text{ nm}$ dış çap’a sahip çok duvarlı KNT’lerin iyileştirilmiş Hummers metodu kullanılarak boylamasına açılması ile sentezlenen 0.1mg/ml-0.0125mg/ml konsantrasyon aralığındaki Ribon/DI su nanoakışkan absorbanlarının dalga boyu ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.6 (a) ve (b)’de verilen sonuçlar ayrıntılı olarak irdelendiğinde şu yargılara varılmıştır: i) hem kısa hem uzun çok duvarlı KNT ile sentezlenen Ribon nanoparçacıklar ile üretilen DI su tabanlı nanoakışkanlar maksimum absorban değerini yaklaşık 250nm dalga boyunda vermiştir. Buna karşın bir önceki bölümde verildiği üzere üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su

nanoakışkanlarının çalışılan tüm konsantrasyonlarındaki maksimum absorbans değerleri 230 nm’de çıkmıştır; ii) kısa olarak adlandırılan $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğundaki çok duvarlı KNT kullanılarak sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanı için 250nm dalga boyunda ölçülen absorbans değeri uzun KNT ile sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanından çalışılan tüm konsantrasyonlarda yüksek çıkmıştır. Bunun temel sebebi izleyen bölümde detaylandırılacağı üzere kısa KNT ile sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanının boylamasına daha iyi açılması ve sonucunda DI su taban akışkanı içerisinde uzun KNT ile sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanından daha kararlı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir; iii) incelenen hem kısa hemde uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanları için konsantrasyon yarıya düşürüldüğünde 250 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değerleride yarıya inmiştir. Şekil 3.7 (a-b) sırası ile sırası ile $L=0.5-2\mu\text{m}$ ve $L= 10-30\mu\text{m}$ uzunluklarında çok duvarlı KNT’ler kullanılarak iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen 0.1mg/ml-0.0125mg/ml konsantrasyon aralığındaki Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ve 230 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değerlerinin zaman ile değişimini göstermektedir. Ölçümler birbirini takip eden 7 gün içerisinde ve gün içerisinde belirlenen aynı zaman diliminde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7 (b)’den görüleceği üzere uzun KNT ile üretilen 0.1mg/ml konsantrasyonundaki Ribon/DI su nanoakışkan maksimum absorbans değeri zaman ile çok az da olsa salınım gösterirken, kısa KNT ile üretilen aynı konsantrasyondaki Ribon/DI su nanoakışkan salınım göstermemiştir. Elde edilen bu sonuç kısa KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanının uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanından daha kararlı olduğunu göstermektedir. Bu temel sebebinin yukarıda basedildiği üzere i) kısa KNT’lerin uzun KNT’lere göre boylamasına daha iyi açılmasına ve ii) daha iyi oksitlenmiş olduğundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bilindiği üzere nanoparçacık yüzeyine bağlı olan hidroksil gruplar, nanoparçacıkların hidrofilik (su sever) özelliklerini arttıırırlar. Bu kapsamda kısa KNT ile sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanların kararlılığı diğer uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanına göre daha iyi olduğu kısa KNT ile sentezlenen Ribon nanoparçacık yüzeylerine bağlanan hidroksil (OH) grublarının uzun KNT ile sentezlenen Ribon nanoparçacıklara göre daha çok olduğu tahmin edilmektedir.



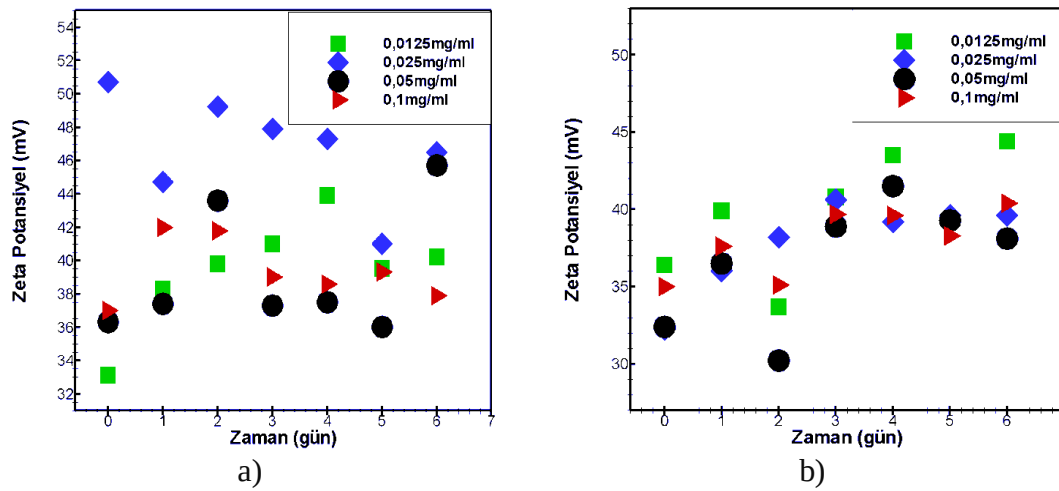
Şekil 3.6 İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının absorbanslarının dalga boyu ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT.



Şekil 3.7 İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 °C'da ve 250 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT.

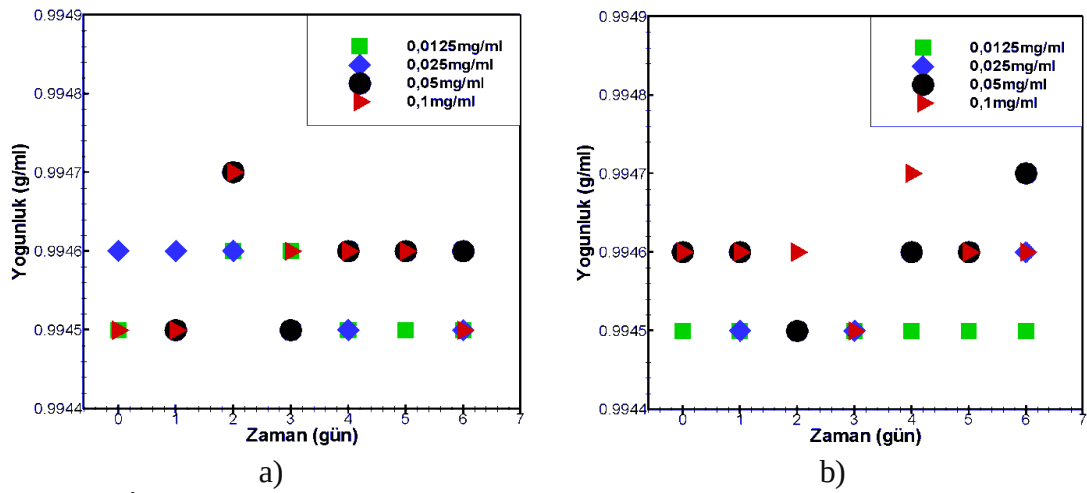
Şekil 3.8 (a-b) sırası ile L=0.5-2µm ve L= 10-30µm uzunluklarında ve D=20-30 nm dış çap'a çok duvarlı KNT'ler ile 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 °C'da ölçülen zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.8 (a-b)'de verilen sonuçlar irdelendiğinde şu yargılara varılabilir: i) hem kısa hemde uzun KNT ile üretilen

Ribon/DI su nanoakışkanlarının zeta potansiyel değerleri kararlılık kritik değeri olan 25 mV üstünde çıkmıştır; ii) kısa ve uzun KNT ile 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının ölçülen zeta potansiyel değerlerinin konsantrasyon ve zaman ile değişimi sırasıyla 32-51mV, 30-46mV aralığında çıkmıştır. Elde edilen bu değerlerden de anlaşılacağı üzere kısa KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanından daha yüksek zeta potansiyel değeri verdiği için daha kararlı nanoakışkan olarak bulunmuştur. Ribon/DI su nanoakışkan zeta potansiyel sonuçları bir önceki bölümde sunulan Grafen oksit/DI su nanoakışkan sonuçları ile karşılaştırıldığında, iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen Grafen oksit/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değerleri incelenen tüm nanoakışkan konsantrasyonlarında kısa KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanından daha yüksek çıkmıştır. Bunun temel sebebinin Grafen oksit nanoparçacık tabaka sayısının çok duvarlı KNT ile üretilen Ribon nanoparçacıklara kıyas ile daha az olduğundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.8 İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT.

Şekil 3.9 (a-b) sırası ile $L=0.5-2\mu\text{m}$ ve $L=10-30\mu\text{m}$ uzunluklarında KNT'ler kullanılarak sentezlenen ve 0.1 mg/ml - 0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25°C 'da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişimini göstermektedir. DI su taban akışkanının 25°C 'daki yoğunluğu 0.9971 g/cm^3 olarak ölçülmüştür. Hem kısa hemde uzun KNT nanoparçacık kullanılarak 0.1mg/ml - 0.0125mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının yoğunlukları Şekil 3.9 (a-b)'den görüleceği üzere DI su taban akışkanına çok az düşük çıkmıştır. Diğer bir ifade ile KNT kullanılarak sentezlenen Grafen, grafit kullanılarak sentezlenen Grafen'e göre yoğunluğu düşük olduğundan DI su taban akışkanı ile üretilen nanoakışkan yoğunluğuda düşük çıkmıştır. Bunlara ilaveten hem kısa hemde uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkan yoğunluklarının zaman ile değişimi yok denecek az çıkmıştır.

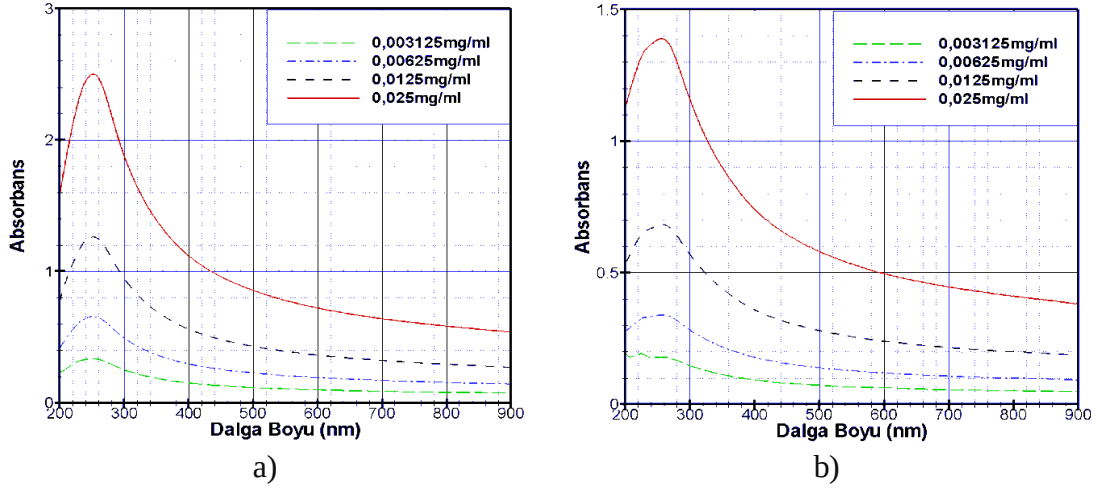


Şekil 3.9 İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml - 0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25°C 'da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişimi a) $20-30\text{nm}$ çapında ve $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğunda kısa KNT ve b) $20-30\text{nm}$ çapında ve $L=10-30\mu\text{m}$ uzunluğunda uzun KNT.

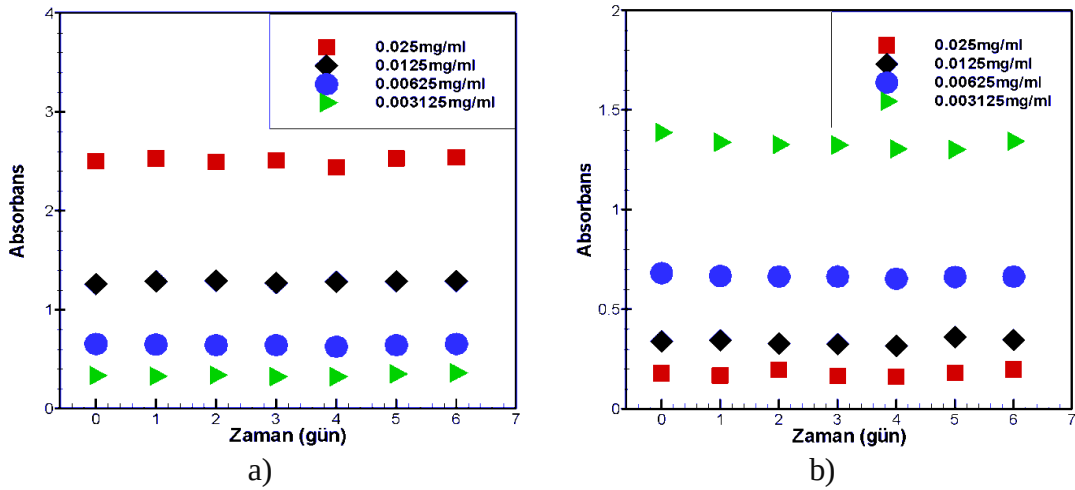
3.1.3 Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanlarının kararlılık testleri

Yüksek lisans tez çalışmasında son olarak sentezlenen karbon tabanlı nanoparçacıklardan asit ile muamele edilmiş iki farklı uzunluklardaki çok duvarlı KNT'dür. Daha önce vurgulandığı üzere KNT nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanlar DI su taban akışkanı içerisinde kararlılıklarını kaybederek iki faz oluşturmaktadırlar. Bu sebepten dolayı KNT' nanoparçacıkların taban akışkanları içerisindeki kararlılıklarının arttırılması için KNT yüzeyleri -OH ve/veya -COOH fonksiyonel gruplar ile fonksiyonlaştırılırlar. Bu çalışmada hem kısa hemde uzun KNT nanoparçacık yüzeyleri hacimce 1:3 oranında HNO₃/H₂SO₄ asit karışımı ile muamele edilerek -COOH fonksiyonel gruplar bağlanmıştır. Şekil 3.10 (a-b) sırası ile L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT nanoparçacıkların yukarıda belirtilen asit karışımı ile muamele edilmesi sonucu 0.025 mg/ml-0.00325 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen AKNT/DI su nanoakışkanlarının absorbans değerlerinin dalga boyu ile değişimini göstermektedir. Şekilde 3.10 (a) ve (b)'de verilen sonuçlardan; i) kısa ve uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanları Ribon nanoparçacıklar ile hazırlanan DI su nanoakışkanlarında olduğu üzere yaklaşık 250 nm dalga boyunda maksimum absorbans değerini vermiştir; ii) kısa KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanının aynı konsantrasyondaki maksimum absorbans değeri uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanından daha yüksek çıkmıştır. Diğer bir ifade ile aynı konsantrasyon değerinde kısa KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanı uzun KNT ile üretilen nanoakışkana göre 200-900nm dalga boyu aralığında daha yüksek ışık absorblamaktadır. Bunun kısa KNT nanoparçacık yüzeylerinin uzun KNT nanoparçacıklara göre daha fazla -COOH fonksiyonel gruplar ile bağlandığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 3.11 (a-b) sırası ile L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT nanoparçacıklar ile 0.025 mg/ml-0.003125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen AKNT/DI su nanoakışkanlarının 250nm dalga boyunda ölçülen absorbans değerlerinin zaman ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.11 (a) ve (b)'den görüleceği üzere hem kısa hemde uzun KNT nanoparçacıkları kullanılarak üretilen AKNT/DI su nanoakışkan maksimum

absorbans değerleri çalışılan tüm konsantrasyon değerlerinde zaman ile değişmeyip kararlılıklarını korumuşlardır.

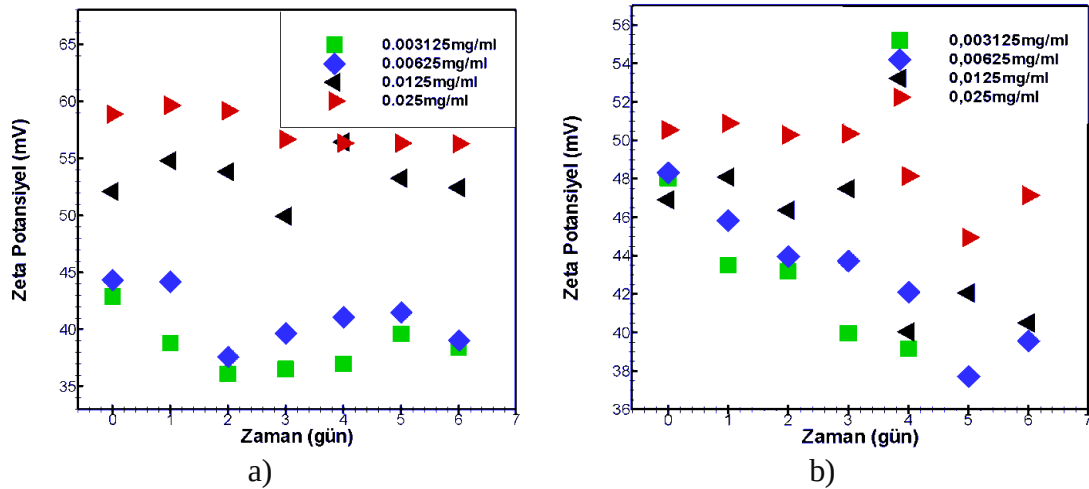


Şekil 3.10 0.025 mg/ml-0.003125 mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanlarının absorbanslarının dalga boyu ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2μm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30μm uzunluğunda uzun KNT.



Şekil 3.11 0.025mg/ml-0.003125mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların 25 °C'da ve 250 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2μm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30μm uzunluğunda uzun KNT.

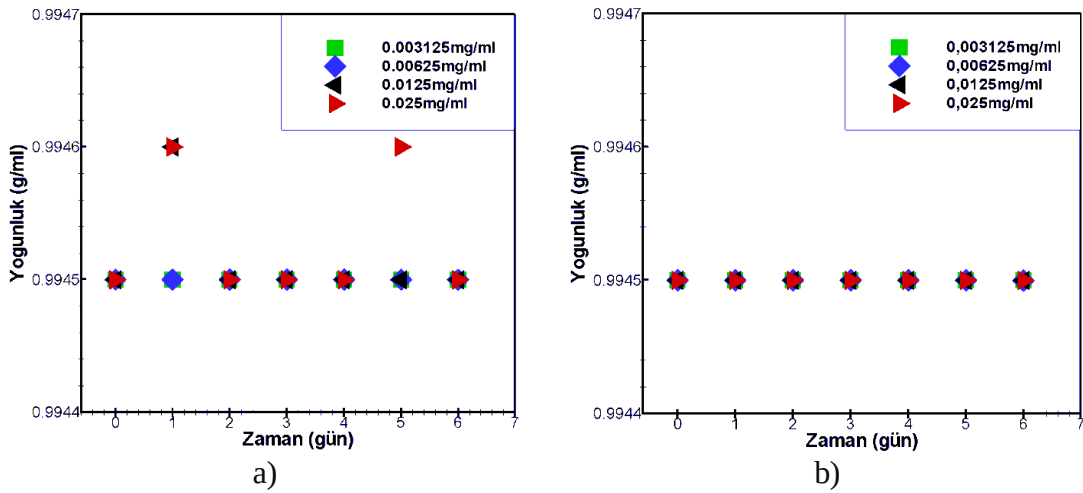
Şekil 3.12 (a-b) sırası ile $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğunda kısa KNT ve $L= 10-30\mu\text{m}$ uzunluğunda uzun KNT nanoparçacıklar kullanılarak sentezlenen ve 0.025mg/ml - 0.003125mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen AKNT/DI su nanoakışkanlarının zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.12’de verilen sonuçlar irdelendiğinde: i) kısa KNT nanoparçacıklar ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değeri uzun AKNT/DI su nanoakışkanından daha yüksek çıkmıştır. Örneğin 0.025mg/ml konsantrasyonda hazırlanan kısa AKNT/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değeri yaklaşık 60mV olarak ölçülmüş iken aynı konsantrasyon değerinde uzun AKNT/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değeri yaklaşık 51mV olarak bulunmuştur; ii) kısa KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değerinin zaman ile değişimi salınım göstermez iken uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkan zaman ile salınım göstermiş ve zeta potansiyel değeri zaman ile azalmıştır.



Şekil 3.12 0.025mg/ml - 0.003125mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların 25°C 'da ölçülen zeta potansiyel değerlerinin zaman ile değişimi a) $20-30\text{nm}$ çapında ve $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğunda kısa KNT ve b) $20-30\text{nm}$ çapında ve $L= 10-30\mu\text{m}$ uzunluğunda uzunKNT.

Şekil 3.13 (a-b) sırası ile $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğunda kısa KNT ve $L= 10-30\mu\text{m}$ uzunluğunda uzun KNT nanoparçacıklar kullanılarak sentezlenen ve 0.025mg/ml - 0.003125mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen AKNT/DI su nanoakışkanlarının

25 °C’da ölçülen yoğunluklarının zaman ile değişimini göstermektedir. Ribon/DI su nanoakışkanlarında gözlemlendiği üzere hem kısa hemde uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanlarının yoğunlukları DI su taban akışkanından düşük çıkmıştır. Hem kısa hem uzun AKNT nanoparçacıklar ile üretilen DI su tabanlı nanoakışkanların yoğunlukları zaman ile değişmemiştir.



Şekil 3.13 0.025mg/ml-0.003125mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların 25 °C’da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2µm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30µm uzunluğunda uzun KNT.

3.2 Karbon tabanlı nanoakışkanların ısı iletkenlik testleri

Bu çalışmada, nanoakışkanların ısı iletkenlikleri Şekil 2.8’de gösterilen KD2 Pro ısı iletkenlik ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Akışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesinde literatürde kabul görmüş ve uygulanan üç yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler sırası ile; kısa süreli sıcak tel yöntemi, sıcaklık salınım ve yatışkın durum paralel tabaka yöntemleridir. Bu yöntemler içerisinde en çok kullanılanı ve elde edilen ölçüm sonuçlarına güvenileni kısa süreli sıcak tel yöntemidir. Bu çalışmada belirtilen akışkanların ısı iletkenliklerinin belirlenmesinde kullanılan KD2 Pro ısı iletkenlik ölçer cihazı kısa süreli sıcaklık tel yöntemini kullanmaktadır. Kısa süreli

sıcaklık tel yöntemi özetle, uç etkileri minimize etmek üzere uzunluk/çap oranı (L/D) çok yüksek seçilen tel'e uygulanan doğrusal ısı kaynağı sonucu tel'de meydana gelen sıcaklık değişiminin zaman ile ölçülmesine dayanmaktadır. Fourier yasasına göre testi gerçekleştirilecek akışkanın ısı iletkenliği yüksek ise ısı verilen tel'de meydana gelecek sıcaklık değişimi düşük olacaktır. Buna karşın test akışkanının ısı iletkenliği düşük ise telde ölçülen sıcaklık farkı yüksek olacaktır.

Kısa süreli sıcaklık tel yöntemi özetle, uç etkileri minimize etmek üzere uzunluk/çap oranı (L/D) çok yüksek seçilen tel'e uygulanan doğrusal ısı kaynağı sonucu tel'de meydana gelen sıcaklık değişiminin zaman ile ölçülmesine dayanmaktadır. Fourier yasasına göre testi gerçekleştirilecek akışkanın ısı iletkenliği yüksek ise ısı verilen tel'de meydana gelecek sıcaklık değişimi düşük olacaktır. Buna karşın test akışkanının ısı iletkenliği düşük ise telde ölçülen sıcaklık değişimi yüksek olacaktır. Böylece akışkan'ın ısı iletkenliği ile telin sıcaklık değişimi arasındaki matematiksel ilişki L/D oranı çok yüksek olan tel için silindirik koordinat düzleminde yazılacak enerji eşitliliği ile aşağıda gibi verilir;

$$\frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (3)$$

Eşitlik (3) aşağıda, eşitlikler (4) ve (5)'de tanımlanan sınır koşulları ile çözümlenir ise eşitlik (6)'da verilen sıcaklığın zaman ile değişim ifadesi elde edilir. Eşitlik (6) içerisindeki yüksek dereceden terimler ihmal edilir ve ısı iletkenlik (k) yalnız bırakılır ise eşitlik (7)'da verilen analitik çözümden elde edilen ısı iletkenlik eşitliği elde edilir (Merckx vd., 2012).

$$T(t=0) = T_0 \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=\infty} = 0 \text{ ve } \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = \frac{q}{2\pi k} \quad (5)$$

$$T(r,t) = T_0 + \frac{q}{4\pi k_{nf}} \left\{ -\gamma + \ln \left(\frac{4\alpha_{nf} t}{r^2} \right) + \left[\frac{\left(\frac{r^2}{4\alpha_{nf} t} \right)}{1.1} - \frac{\left(\frac{r^2}{4\alpha_{nf} t} \right)^2}{2.2} + \dots \right] \right\} \quad (6)$$

$\gamma = 0.5772$ Euler's sabiti

$$k = \frac{q}{4\pi} \frac{\ln(t_1/t_2)}{T_1 - T_2} \quad (7)$$

Eşitlik (7) içerisinde tanımlanan her bir terim sırası ile;

k: testi yapılacak akışkanın ısı iletkenliği,

q: tel'e verilen ısı yükü,

t_1 ve T_1 : t_1 anında ölçülen sıcaklık

t_2 ve T_2 : t_2 anında ölçülen sıcaklık.

Kısa süreli sıcak tel yöntemi yukarıda belirtilen diğer yöntemlere kıyasla zaman ve ölçüm kolaylığı açısından avantajlı olmasına karşın düşük viskoziteli test akışkanlarının ısı iletkenlik değeri konveksiyon ile ısı aktarımından etkilendiklerinden ölçüm zorluğu göstermektedir. Bu sebep ile ısı iletkenliği ölçülecek test akışkanının hem zorlanmış hemde doğal konveksiyon ile ısı aktarımının engellenmesi gerekmektedir. Ölçümü yapılacak test akışkanı ile sensör arasındaki zorlanmış konveksiyon ile ısı aktarımının engellenmesi için ortamda titreşim üretecek tüm ekipmanların uzaklaştırılması gerekmektedir. Buna karşın doğal konveksiyon ile ısı aktarımını engellemek zorlanmış konveksiyona kıyas ile çok kolay değildir. Bilindiği üzere doğal konveksiyon ile akışkan hareketi, yoğunluk gradiyenti ile hacim kuvveti etkileri sonucu ortaya çıkmakta olup eşitlik (8) da verilen kaldırma kuvvetinin (buoyancy) viskoz kuvvetlere oranı olarak bilenen Grashof (Gr) sayısı ile ifade edilir. Ayrıca zorlanmış konveksiyon ile ısı aktarımının olmadığı durumda Gr sayısı 10^4 değerinden küçük olduğunda ısı aktarımı kondüksiyon mekanizması ile büyük olduğu durumlarda ise ya laminar yada türbülans doğal konveksiyon ile gerçekleşmektedir.

$$Gr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\mu^2/\rho^2} \quad (8)$$

Eşitlik (8)'den açıkça anlaşılacağı üzere Gr sayısı akışkan viskozitesinin karesi ile ters orantılı olarak değişmektedir. Diğer bir deyiş ile düşük viskozite değerine sahip akışkanların hesaplanan Gr sayısı aynı şartlardaki yüksek viskoziteye sahip akışkanlara göre daha yüksektir. Kısaca düşük viskoziteye sahip akışkanların kısa

sürekli sıcak tel yöntemi ile ölçülen ısı iletkenlik değerinden elde edilecek hata, düşük Gr sayısından dolayı yüksek viskoziteli akışkanlara göre daha az bulunacaktır. Bu sebepten dolayı düşük viskoziteye sahip akışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesinde doğal konveksiyon ile ısı aktarımı mümkün olduğunca engellenmelidir. Örneğin DI su ve etilen glikol akışkanlarını ele alalım, DI su etilen glikol nanoakışkanına göre yaklaşık 10 kat viskozitesi daha düşüktür. Bu sebepten dolayı diğer tüm koşullar aynı kalsa bile su için hesaplanan Gr sayısı etilen glikol'dan yaklaşık 100 kat daha yüksek çıkacaktır. Diğer bir ifade ile etilen glikol konveksiyon ile aktarımdan etkilenmez iken DI su etkileyecektir.

Bu çalışmada özellikle düşük viskozite değerine sahip olan su taban akışkanı ile üretilmiş olan nanoakışkanların ısı iletkenliklerinin ölçülmesinde doğal konveksiyon ile ısı aktarımından meydana gelebilecek hatayı en aza indirilebilmek amacı ile aşağıda maddeler halinde verilen işlemler uygulanmıştır.

- Nanoakışkan sıcaklığı ile KD2 Pro sensör sıcaklıklarının dengeye gelmesi ve ölçüm sonuna kadar istenilen sıcaklıkta tutulması amacı ile tüm ölçümler sabit sıcaklık banyosunda gerçekleştirilmiştir.
- Nanoakışkan ve sensör sıcaklıklarının dengeye gelmesi için her ölçüme başlanmadan önce yaklaşık on beş dakika beklenmiştir.
- Nanoakışkan içerisinde meydana gelebilecek titreşimleri engellemek amacı ile ortamda titreşim yapacak tüm cihazlar kapatılmıştır.
- Sensör nanoakışkan içerisine dik konumda daldırılmıştır.
- Ölçümler altı kere tekrarlanmış olup ölçümlerden elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

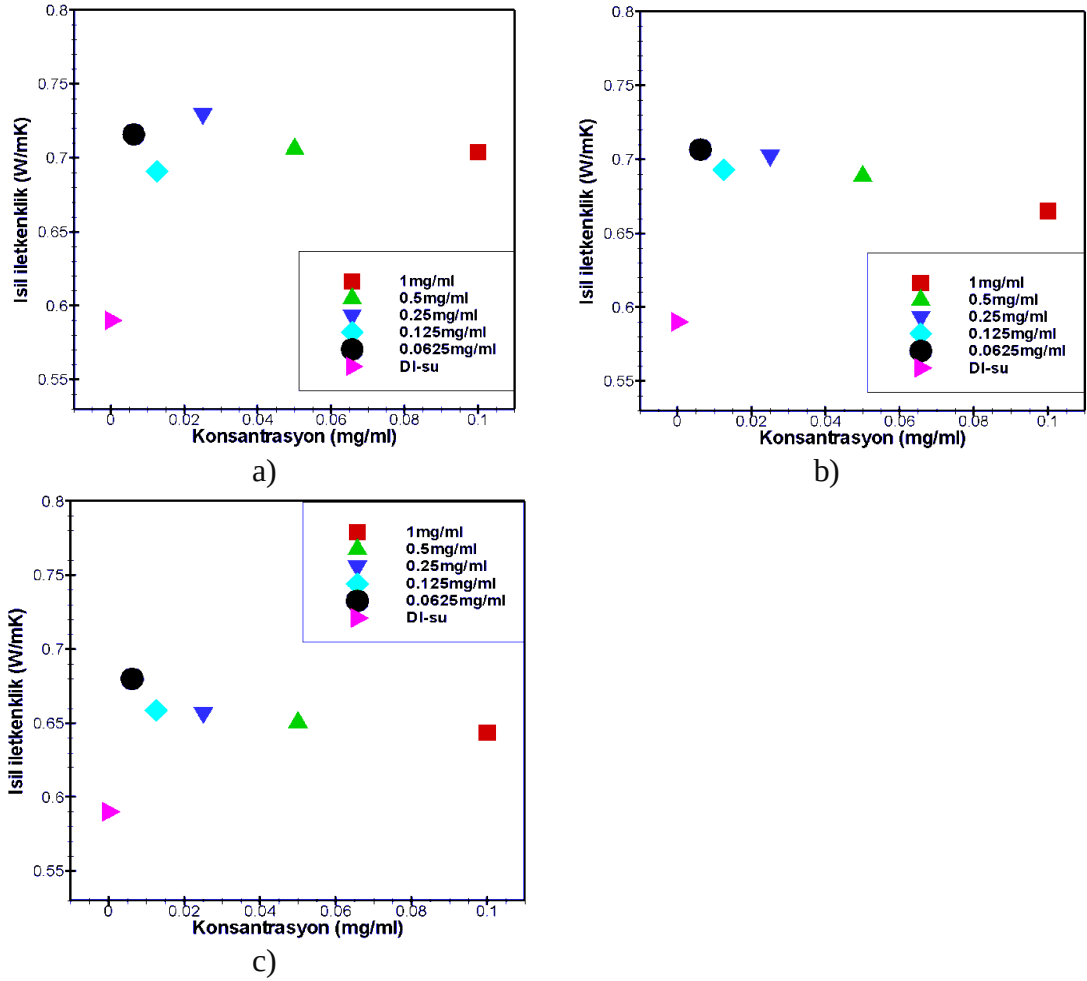
3.2.1 Üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının ısı iletkenlik testleri

Şekil 3.14 (a-c) sırası ile klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile sentezlenen ve 1 mg/ml-0.0625 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 30 °C'da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin nanoakışkan konsantrasyonu ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.14 (a-c)'de verilen veriler ayrıntılı olarak irdelendiğinde şu yargılara

ulaşılmıştır: i) her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan ısıl iletkenlik değerleri DI su taban akışkanına göre %15-%20 aralığında iyileşme sağlamıştır. Kullanılan nanoparçacık konsantrasyonu göz önüne alındığında bu artış miktarı literatürde verilmiş olan tüm metal ve metal oksit nanoparçacıkları ile üretilen nanoakışkan ısıl iletkenlik artış değerlerinden çok yüksektir. Örneğin, daha önceki raporlarda taban akışkanına göre ısıl iletkenlik değerinde %20'lik artış elde edebilmek için kütlece yaklaşık %10-15 bölüntülerde metal oksit nanoparçacık kullanması gerektiği belirtilmiştir. Bun karşın metal ve/veya metal oksit nanoparçacıklara kıyas ile kütlece 100 ve daha düşük katlarda Grafen oksit nanoparçacık kullanıldığında ısıl iletkenlik artış miktarında DI suya göre yaklaşık aynı iyileşme oranları elde edilmiştir; ii) her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanları çalışılan tüm konsantrasyonlarda yaklaşık aynı ısıl iletkenlik değerini vermişlerdir. Diğer bir ifade ile ısıl iletkenlik artış oranı Grafen oksit nanoparçacık konsantrasyonu ile değişmemiş aksine modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan ısıl iletkenlikleri konsantrasyonla az da olsa azalmıştır. Düşük kütlece bölüntü oranlarında taban akışkanına göre yüksek ısıl iletkenlik artış oranı Grafen oksit nanoparçacıkları ile üretilen nanoakışkanlar için büyük bir avantaj olmasına karşın, yüksek nanoparçacık konsantrasyonlarında ısıl iletkenlik değerinin neden azaldığının fiziksel mekanizması tam olarak açıklanmış değildir. Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının yüksek nanoparçacık konsantrasyonlarında ısıl iletkenlik artış oranının azalmasının Grafen nanoparçacıkların DI su nanoakışkanı içerisinde şişme özelliği göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bilindiği üzere karbon tabanlı nanoparçacıklar DI su akışkanı içerisinde birim kütle başına belli bir oranda su absorplayarak şişerler.

Karbon tabanlı nanoparçacıkların su absorplayarak şişmesi onların polimer sulu çözelti akış davranış özelliği göstermelerine sebep olmaktadır. Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının rheolojik davranışlarının incelendiği bir sonraki bölümde detaylandırılacağı üzere Grafen oksit/DI su nanoakışkan viskozitesi belli bir konsantrasyondan sonra polimerik çözeltilerin göstermiş olduğu kaymadan dolayı incelleme özelliği göstermektedir. Bunlara ilaveten polimerler düşük frekans saçılımından dolayı sulu çözeltilerinin ısıl iletkenlik değerleri taban akışkanlarına göre düşüktür ve sulu çözelti içerisindeki konsantrasyonları arttıkça ısıl iletkenlik

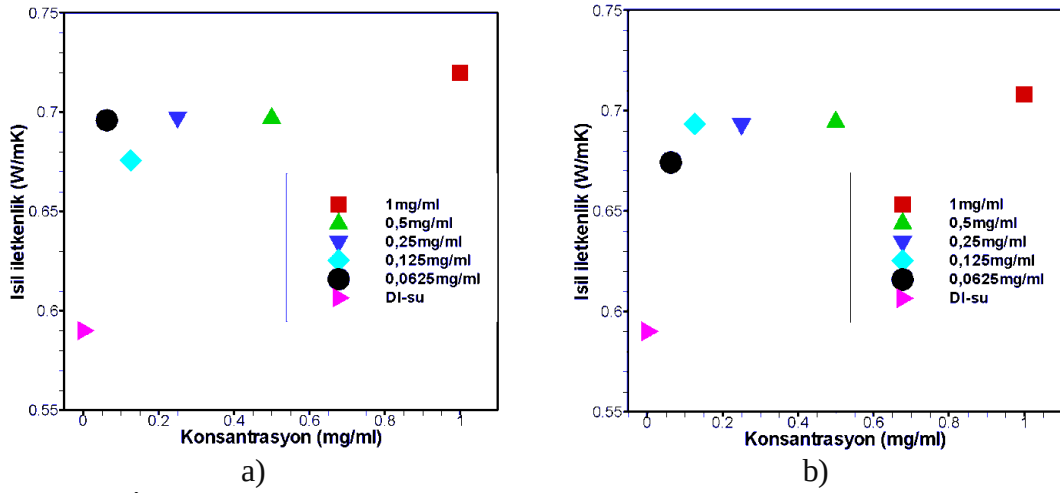
değerleri azalır. Belirtilen sebepten dolayı Grafen oksit/DI su nanoakışkan ısıl iletkenlik değerinin nanoparçacık konsantrasyonu arttıkça azaldığı düşünülmektedir; iii) DI su taban akışkanına göre en düşük ısıl iletkenlik artış oranı iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanından elde edilmiştir.



Şekil 3.14 Üç farklı Hummers metodu ile sentezlenen ve 1 mg/ml-0.0625 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 30 °C’da ölçülen ısıl iletkenlik değerlerinin nanoakışkan konsantrasyonu ile değişimi a) klasik Hummers, b) modifiye Hummers, c) iyileştirilmiş Hummers.

3.2.2 Ribon/DI su nanoakışkanlarının ısı iletkenlik testleri

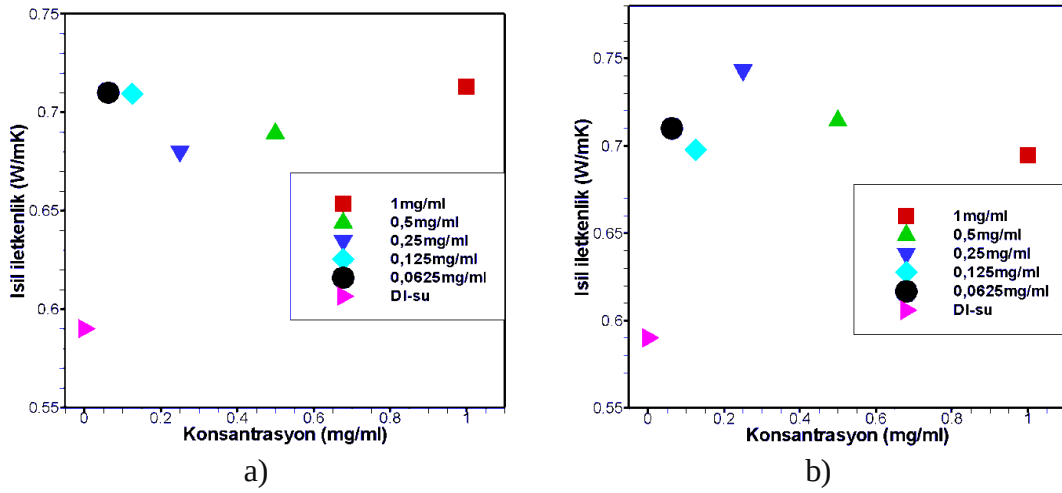
Şekil 3.15 (a-b) sırası ile $L=0.5-2\mu\text{m}$ ve $L=10-30\mu\text{m}$ uzunluklarında ve $D=20-30\text{ nm}$ dış çap'a sahip çok duvarlı KNT'lerin iyileştirilmiş Hummers metodu kullanılarak boylamasına açılması ile sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanlarının $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin konsantrasyon ile değişimini göstermektedir Şekil 3.15 (a-b)'de verilen veriler ayrıntılı olarak irdelendiğinde şu yargılara ulaşılmıştır: i) hem kısa hemde uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkan ısı iletkenlik değerleri DI su taban akışkanına göre %15-%20 aralığında iyileşme sağlamıştır. Benzer artış oranı bir önceki bölümde sonuçları verilen Grafen/DI su nanoakışkanı için bulunmuştur. Kullanılan nanoparçacık konsantrasyonu göz önüne alındığında bu artış miktarı literatürde verilmiş olan tüm metal ve metal oksit nanoparçacıkları ile üretilen nanoakışkan ısı iletkenlik artış değerlerinden çok yüksektir; ii) hem kısa hemde uzun KNT ile sentezlenen Ribon nanoparçacık konsantrasyonu ile ısı iletkenlik değeri çok az değişerek, Ribon nanoparçacık fraksiyon oranı arttıkça ısı iletkenlik artmıştır. Buna karşın modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan ısı iletkenlikleri konsantrasyonla az da olsa azalmıştır; iii) DI su taban akışkanına göre her iki uzunlukta sentezlenen Ribon nanoparçacıkları yaklaşık aynı ısı iletkenlik artış oranı elde edilmiştir.



Şekil 3.15 İyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 1 mg/ml-0.0625 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 30 °C’da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin nanoakışkan konsantrasyonu ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2μm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30μm uzunluğunda uzun KNT.

3.2.3 Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanlarının ısı iletkenlik testleri

Şekil 3.16 (a-b) sırası ile kısa (L=0.5-2μm) ve uzun (L= 10-30μm) olarak adlandırılan D=20-30 nm dış çap’a sahip çok duvarlı KNT’lerin asit ile muamelesi sonucu üretilen AKNT/DI su nanoakışkanlarının 30 °C’da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin konsantrasyon ile değişimini göstermektedir Şekil 3.16 (a-b)’de verilen veriler ayrıntılı olarak irdelendiğinde şu yargılara ulaşılmıştır: i) DI su taban akışkanına göre ısı iletkenlik artışı en yüksek %23 ile uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanı için bulunmuştur. Kısa KNT ile üretilen nanoakışkan ısı iletkenliği konsantrasyon ile çok fazla değişmez iken uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanı konsantrasyon artışı ile azalma eğilimi göstermiştir: ii) aynı konsantrasyondaki kısa ve uzun KNT’ler ile üretilen Ribon/DI su ve AKNT/DI su nanoakışkan ısı iletkenlik değerleri karşılaştırıldığında düşük konsantrasyonlarda AKNT/DI su nanoakışkan ısı iletkenlik artış miktarının Ribon/DI su nanoakışkanından daha yüksek çıktığı buna karşın konsantrasyon arttırıldığında AKNT/DI su nanoakışkan ısı iletkenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.16 1mg/ml-0.0625mg/ml konsantrasyon aralığında asit ile muamele edilen çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların 30 °C’da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin nanoakışkan konsantrasyonu ile değişimi a) 20-30nm çapında ve L=0.5-2μm uzunluğunda kısa KNT ve b) 20-30nm çapında ve L= 10-30μm uzunluğunda uzun KNT.

3.3 Karbon tabanlı nanoakışkanlarının reolojik testleri

Reoloji, “kompleks malzemelerin uygulanan gerilim altında ki deformasyon ve akış hidrodinamiğini inceleyen bilim dalı olarak tanımlanmaktadır” (Morrison, 2001). Kompleks akışkan olarak da bilenen bu tip akışkanların davranışları Newton kuralına uyan akışkanların göstermiş olduğu akış davranışlarından çok farklıdır. Newton kuralına uymayan akışkanların viskoziteleri kayma hızına bağlı olarak azalır (shear thinning) veya artar (shear thikking). Uygulanan sabit kayma hızı altında akışkanın viskozitesi zamanla azalabilir (thixotropic) ve ya artabilir (rheopexy). Akışkan akışının başlatılması için belli bir gerilim değerinin uygulanması gerekebilir (yield stress). Yukarı da sayılan Newton kuralına uymayan akışkanların göstermiş olduğu davranış özelliklerine ilaveten polimer katkılı ve yüksek derişimlere sahip nanoakışkanlar viskoelastik akış davranışı göstermektedirler. Bu tip akışkanların en belirgin özelliği hafızaya sahip olmaları ve dikey gerilimlerinin ($\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{zz}$) sıfır olmamasıdır. Reolojik ölçümleri Şekil 2.7’de gösterilen Kinexus model gerilim kontrollü reometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Reolojik ölçümlerde 50 mm çapa 2⁰ açığa sahip koni geometrisi kullanılmıştır. Koni geometrisi ile dönmeyen düz plaka arasındaki mesafe 0.05 mm olarak alınmıştır.

Akışkanların reolojik davranışlarının bilinmesi daha verimli süreç tasarımlarının gerçekleştirilmesine olanak sağlayabilmektedir. Özellikle geleneksel ısı aktarım çalışma akışkanları olan su, etilen glikol, makine yağı vb. akışkanlar yerine nanoakışkanların kullanılabilecek olması, bu akışkanların termal ve reolojik özellikleri ile hidrodinamik davranışlarının çok iyi bilinmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bölümde sırası ile üç farklı Hummers metosu ile sentezlenen Grafen oksit nanoparçacıklar kullanılarak kütlece %0.1 ve %0.3 fraksiyonlarda üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanların, Ribon/DI su nanoakışkanlarının, asit ile muamele edilmiş karbon nanotüp/DI su nanoakışkanlarının kapsamlı reolojik analiz sonucu verilerek ayrıntılı tartışılmıştır. Newton kuralına uyan davranış özelliği gösteren akışkanların görünür viskoziteleri kayma hızı ile değişmeyip sabit kalmaktadır. Aynı zamanda eşitlik (9)'da gösterildiği üzere kayma gerilimi, kayma hızı ile doğrusal değişmekte olup, arasındaki oran akışkanının viskozitesini vermektedir. Buna karşın Newton kuralına uymayan akış özelliği gösteren akışkanların viskoziteleri kayma hızı ile artan (shear- thickening) ya da azalan (shear-thinning) eğilimde değişim göstermektedir. Bunun ile birlikte bu tip akış özelliği gösteren akışkanların uygulanan sabit kayma hızı altında viskozitesi zamanla azalabilir (thixotropic) veya artabilir (rheopexy). Akışkan akışının başlatılması için belli bir gerilim değerinin uygulanması gerekebilir (yield stress).

$$\tau = -\mu\gamma \Rightarrow \mu = -\frac{\tau}{\gamma} \quad (9)$$

τ : kayma gerilimi (Pa)

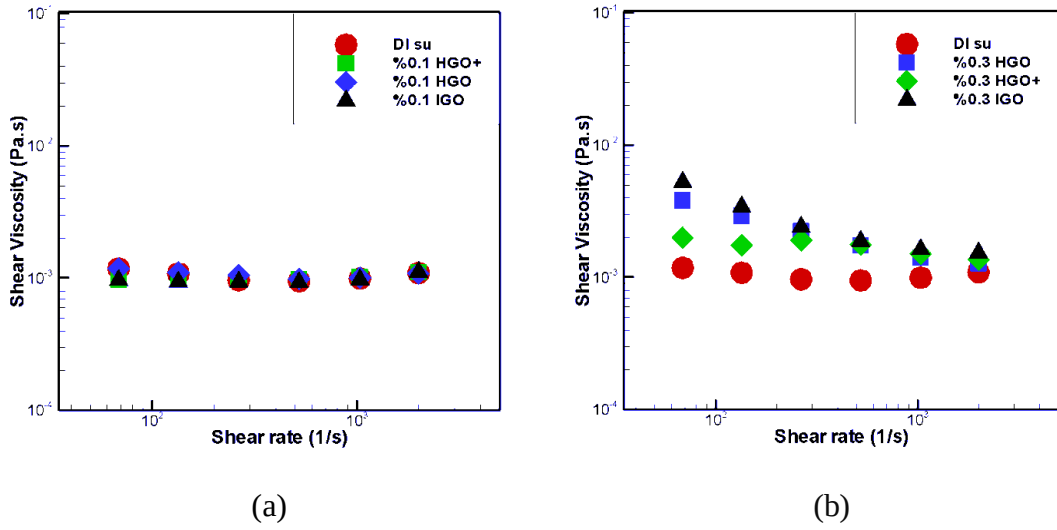
γ : kayma hızı (1/s)

μ : viskozite (Pas)

3.3.1 Üç farklı Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının reolojik testleri

Şekil 3.17 (a) ve (b) sırasıyla kütlece %0.1 ve %0.3 fraksiyonlarda klasik, modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.17 (a)'dan açıkça görüleceği üzere kütlece %0.1 fraksiyonda üç farklı Hummers metodu ile hazırlanmış olan Grafen oksit su nanoakışkanları Newton kuralına uyan davranış özelliği göstermektedir. Diğer bir deyişle akışkan viskozitesi, kayma hızı ile sabit olup değişmemektedir. Buna karşın grafen oksit derişimi arttırıldığında görünür viskozite, kayma hızı ile azalmakta ve akışkan pseudoplastik akış davranışı olarak bilinen viskozitesi, kaymadan dolayı incelleme özelliği göstermektedir. Şekil 3.17 (a) ve (b) ayrıntılı olarak incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır: i) sabit kayma hızı altında nanoakışkan kütleli bölüntü oranı arttıkça nanoakışkan viskozitesi artmaktadır; ii) kütlece %0.1 bölüntü oranında her üç Hummers metodu ile üretilen nanoakışkanların viskoziteleri DI su taban akışkanı ile yaklaşık aynı çıkmıştır; iii) kütlece %0.3 nanoparçacık bölüntü oranı için her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanları pseudoplastik davranış göstermişlerdir; iv) çalışılan kayma hızı aralığında verilen hiçbir nanoakışkanın viskozitesi taban akışkanından daha düşük çıkmamıştır. Diğer bir ifade ile Grafen oksit nanoparçacıklar DI su taban akışkanı içerisinde yağlayıcılık özelliği göstermemişlerdir. Kayma viskozitenin kayma hızı ile değişiminden kütlece %0.3 bölüntü oranlarında Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının pseudoplastik davranış özelliği gösterdiği gözlemlenmiştir. Newton kuralına uyan DI su akışkanı içersine farklı kütleli fraksiyonlarda dağıtılan Grafen oksit nanoparçacıkların akışkana Newton kuralına uymayan pseudoplastik davranış özelliği kazandırmasının iki farklı sebepten kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Bunlardan birincisi grafen oksit nanoparçacıkların, DI su taban akışkanı içerisinde su ile etkileşerek şişme özelliği göstermesi ve sonucunda polimer katkılı akışkanların akış davranışında olduğu gibi sarmal şeklindeki polimer zincirlerinin kayma gerilimi altında düzleşmeleridir. İkinci mekanizma olarak ise kayma gerilimi altında Grafen oksit nanoparçacıkların akış yönüne doğru tabaka oluşturmaları olarak düşünülmektedir. Newton kuralına uyan taban akışkanı içersine dağıtılan

nanoparçacıklar akışkanın akmasını engelleyecek şekilde direnç oluştururlar. Bu yüzden, nanoparçacık katılmış olan nanoakışkanının viskozitesi, taban akışkanına göre daha yüksektir. Buna karşın uygulanan kayma gerilimi altındaki nanoparçacıklar, belli bir yönelime girerek akış yönüne doğru tabakalar oluştururlar. Nanoparçacıkların göstermiş olduğu bu yönelim nanoakışkan viskozitesinin kayma hızı ile azalmasına sebep olur.

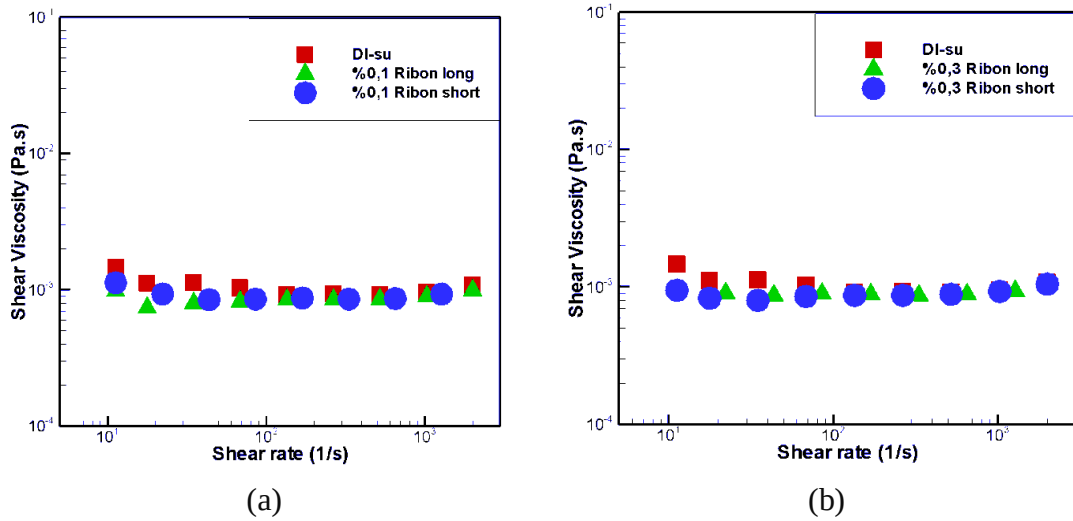


Şekil 3.17 Klasik, modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi a) kütlece %0.1 bölüntü oranı, b) kütlece %0.3 bölüntü oranı.

3.3.2 Ribon/DI su nanoakışkanların reolojik testleri

Şekil 3.18 (a) ve (b) sırasıyla kütlece %0.1 ve %0.3 fraksiyon oranlarında 20-30nm çapında $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğunda kısa KNT ve 20-30nm çapında $L=10-30\mu\text{m}$ uzunluğunda uzun KNT kullanılarak iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanlarının $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’de kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.18 (a) ve (b)’den açıkça görüleceği üzere her iki kütlece bölüntü oranlarında hazırlanan kısa ve uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanları Newton kuralına uyan davranış özelliği göstermektedir. Diğer bir deyişle akışkan viskozitesi, kayma hızı ile sabit olup değişmemektedir. Buna karşın bir önceki rapor döneminde sonuçları verilen kütlece %0.3 bölüntü oranında Grafen

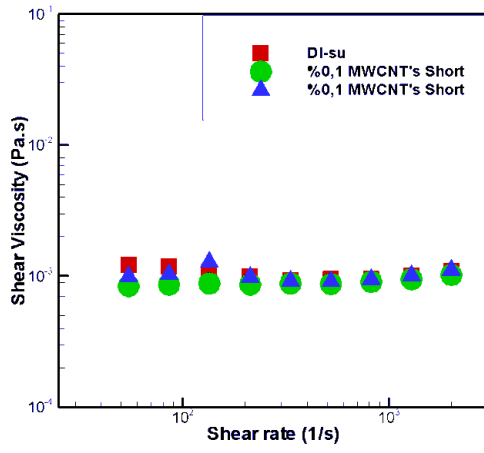
oksit/DI su nanoakışkanı pseudoplastik akış davranışı olarak bilinen Newton kuralına uymayan akış özelliği göstermiştir. Şekil 3.18 (a) ve (b) verilen sonuçlar ayrıntılı olarak incelendiğinde şu yargılara varılmıştır: i) sabit kayma hızı altında DI su taban akışkanı içerisindeki Ribon nanoparçacık kütleli bölüntü oranı arttıkça nanoakışkan viskozitesi çok az değişim göstermiştir. Elde edilen bu sonuç Ribon nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanların taşınmasında gerekli pompalama gücünü değiştirmeyeceğinden ısı aktarım akışkanı olarak kullanılabilirler; ii) gerek kısa gerek ise uzun KNT nanoparçacıklar ile sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanları Newton kuralına uyan davranış özelliği göstermiş olduğundan Ribon nanoparçacıkların şişme özelliğinin olmadığı söylenebilir.



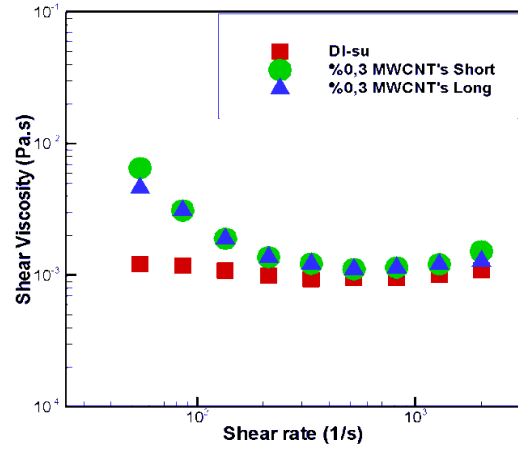
Şekil 3.18 İyileştirilmiş Hummers metodu ile 20-30nm çapında ve $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğunda kısa KNT ve 20-30nm çapında ve $L= 10-30\mu\text{m}$ uzun KNT kullanılarak sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanlarının 25 $^{\circ}\text{C}$ 'da ölçülen kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi a) kütlece %0.1 bölüntü oranı, b) kütlece %0.3 bölüntü oranı.

3.3.3 Asit ile muamele edilmiş çok duvarlı KNT/DI su nanoakışkanların reolojik testleri

Proje kapsamında reolojik özellikleri incelenen diğer bir karbon tabanlı nanoakışkan kısa ve uzun KNT nanoparçacıklar ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanıdır. Şekil 3.19 (a) ve (b) sırasıyla kütlece %0.1 ve %0.3 fraksiyon oranlarında 20-30nm çapında $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğunda kısa KNT ve 20-30nm çapında $L=10-30\mu\text{m}$ uzunluğunda uzun KNT kullanılarak üretilen AKNT/DI su nanoakışkanlarının $T=25^\circ\text{C}$ 'de kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimini göstermektedir. Şekil 3.19'de verilen sonuçlar ayrıntılı irdelendiğinde aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır: i) kütlece %0.1 bölüntü oranında nanoparçacık içeren hem kısa hemde uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanları Newton kuralına uyan akış özelliği göstermişlerdir. Buna karşın kütlece nanoparçacık bölüntü oranı %0.3'e çıkarıldığında Şekil 3.19 (b)'den görüleceği üzere AKNT/DI su nanoakışkanları Newton kuralına uymayan pseudoplastik davranış özelliği göstermişlerdir. Buna karşın bir önceki bölümde tartışıldığı üzere aynı KNT nanoparçacıklar ile sentezlenen Ribon/DI su nanoakışkanları hem düşük hemde yüksek konsantrasyonlarda Newton kuralına uyan akış davranışı göstermiştir. Bu sonuç ışığında aynı nanoparçacık konsantrasyonunda Ribon nanoparçacıkları ile üretilen nanoakışkanlar sabit kayma hızında AKNT nanoparçacıklarına kıyas ile daha düşük viskozite değeri verdiklerinden dolayı popalama gücünü etkilemeyeceklerinden ısı değiştiricilerinde çalışma akışkanı olarak kullanılabilirler; ii) sabit kayma hızında kısa ve uzun KNT nanoparçacıklar ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanları yaklaşık aynı viskozite değerlerini vermişlerdir.



(a)



(b)

Şekil 3.19 20-30nm çapında ve $L=0.5-2\mu\text{m}$ uzunluğunda kısa KNT ve 20-30nm çapında ve $L=10-30\mu\text{m}$ uzun KNT kullanılarak sentezlenen AKNT/DI su nanoakışkanlarının 25°C 'da ölçülen kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişimi a) kütlece %0.1 bölüntü oranı, b) kütlece %0.3 bölüntü oranı.

4.GENEL SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Grafen oksit, Ribon ve asit ile muamele ettirilmiş çok duvarlı karbon nanotüp nanoparçacıkların sentezlenmesi, karakterizasyonu ve kütlece farklı oranlarda DI su taban akışkanı içerisine dağıtılması ile üretilen nanoakışkanların kararlılık, ısı iletkenlik ve reolojik özellikleri incelenerek elde edilen sonuçlar ayrıntılı olarak tartışılmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- Grafen oksit (GO) nanomalzeme sırası ile klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodları kullanılarak başarı ile sentezlenmiştir.
- Her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının çalışılan tüm konsantrasyonlarındaki maksimum absorbans değerleri 230 nm’de çıkmıştır. Elde edilen bu sonuç Grafen oksit nanomalzemenin üç farklı Hummers metodu ile başarılı bir şekilde sentezlendiğini göstermektedir.
- Klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ve 230 nm dalga boyunda ölçülen maksimum absorbans değerlerinin zaman ile değişiminden klasik Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan maksimum absorbans değerinin zaman ile çok az da olsa salınım gösterdiği gözlemlenirken iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen nanoakışkan absorbans değerinin zaman ile salınım göstermediği gözlemlenmiştir. Diğer bir ifade ile iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit nanoparçacıkların diğer Hummers metodlarına göre daha iyi oksitlendiğini göstermektedir.
- Klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodu ile sentezlenen ve 0.1 mg/ml-0.0125 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen zeta

potansiyel değerlerinin zaman ile değişiminden: i) her üç Hummer metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının zeta potansiyel değerleri kararlılık kritik değer olan 25 mV üstünde çıktığı; ii) iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanı en yüksek zeta potansiyel değeri verdiği; iii) klasik Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değerleri incelenen tüm nanoakışkan konsantrasyonlarında doğrusal azalma eğilimde çıktığı gözlenmiştir.

- Klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metotları ile sentezlenen ve 0.0125 mg/ml-0.1 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 25 °C’da ölçülen yoğunluk değerlerinin zaman ile değişmediği gözlemlenmiştir.
- Klasik Hummers, modifiye Hummers ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile sentezlenen ve 1 mg/ml-0.0625 mg/ml konsantrasyon aralığında üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının 30 °C’da ölçülen ısı iletkenlik değerlerinin DI su taban akışkanına göre %15-%20 aralığında iyileşme sağladığı gözlemlenmiştir. Elde edilen bu artış miktarı nanoparçacık konsantrasyonu göz önüne alındığında literatürde verilmiş olan tüm metal ve metal oksit nanoparçacıkları ile üretilen nanoakışkan ısı iletkenlik artış değerlerinden çok yüksek çıkmıştır.
- Isı iletkenlik artış oranı Grafen oksit nanoparçacık konsantrasyonu ile değişmemiş aksine modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan ısı iletkenlikleri konsantrasyonla az da olsa azaldığı gözlemlenmiştir. DI su taban akışkanına göre en düşük ısı iletkenlik artış oranı en kararlı nanoakışkan çıkmış olan iyileştirilmiş Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanından elde edilmiştir.
- Kütlece %0.1 ve %0.3 fraksiyonlarda klasik, modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanlarının T= 25 °C’de kayma viskozitelerinin kayma hızı ile değişiminden: i) kütlece %0.1 fraksiyonda üç farklı Hummers metodu ile hazırlanmış olan Grafen

oksit su nanoakışkanları Newton kuralına uyan davranış özelliği gösterdiği buna karşın ii) kütlece %0.3 nanoparçacık bölüntü oranında ise her üç Hummers metodu ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkanları pseudoplastik davranış gösterdiği gözlemlenmiştir.

- Hem kısa hem de uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanlarının zeta potansiyel değerleri kararlılık kritik değer olan 25 mV üstünde çıkmıştır. Kısa KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanı uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanından daha yüksek zeta potansiyel değeri verdiği için daha kararlı nanoakışkan olarak bulunmuştur.
- Kısa KNT nanoparçacıklar ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değeri uzun AKNT/DI su nanoakışkanından daha yüksek çıkmıştır. Örneğin 0.025mg/ml konsantrasyonda hazırlanan kısa AKNT/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değeri yaklaşık 60mV olarak ölçülmüş iken aynı konsantrasyon değerinde uzun AKNT/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değeri yaklaşık 51mV olarak bulunmuştur. Kısa KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkan zeta potansiyel değerinin zaman ile değişimi salınım göstermez iken uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanı zaman ile salınım göstermiş ve zeta potansiyel değeri zaman ile azalmıştır.
- Hem kısa hemde uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkan ısı iletkenlik değerleri DI su taban akışkanına göre %15-%20 aralığında iyileşme sağlamıştır. Hem kısa hemde uzun KNT ile sentezlenen Ribon nanoparçacık konsantrasyonu ile ısı iletkenlik değeri çok az değişerek, Ribon nanoparçacık fraksiyon oranı arttıkça ısı iletkenlik artmıştır. Buna karşın modifiye ve iyileştirilmiş Hummers metodları ile üretilen Grafen oksit/DI su nanoakışkan ısı iletkenlikleri konsantrasyonla az da olsa azalmıştır.
- AKNT/DI su nanoakışkanı için, ısı iletkenlik artış oranı en yüksek %23 ile uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanı için bulunmuştur. Kısa KNT ile üretilen nanoakışkan ısı iletkenliği konsantrasyon ile çok fazla değişmez iken uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanı

konsantrasyon artışı ile azalma eğilimi göstermiştir. Aynı konsantrasyondaki kısa ve uzun KNT'ler ile üretilen Ribon/DI su ve AKNT/DI su nanoakışkan ısı iletkenlik değeri karşılaştırıldığında düşük konsantrasyonlarda AKNT/DI su nanoakışkan ısı iletkenlik artış miktarının Ribon/DI su nanoakışkanından daha yüksek çıktığı buna karşın konsantrasyon arttırıldığında AKNT/DI su nanoakışkan ısı iletkenliğinin azaldığı gözlemlenmiştir.

- Kısa ve uzun KNT ile üretilen Ribon/DI su nanoakışkanları Newton kuralına uyan davranış özelliği göstermiştir. Sabit kayma hızı altında DI su taban akışkanı içerisindeki Ribon nanoparçacık kütleli bölüntü oranı arttıkça nanoakışkan viskozitesi çok az değişim göstermiştir. Elde edilen bu sonuç Ribon nanoparçacıklar ile üretilen nanoakışkanların taşınmasında gerekli pompalama gücünü değiştirmeyeceğinden ısı aktarım akışkanı olarak kullanılabilirler
- Kütlece %0.1 bölüntü oranında nanoparçacık içeren hem kısa hemde uzun KNT ile üretilen AKNT/DI su nanoakışkanları Newton kuralına uyan akış özelliği göstermişlerdir. Buna karşın kütlece nanoparçacık bölüntü oranı %0.3'e çıkarıldığında AKNT/DI su nanoakışkanları Newton kuralına uymayan pseudoplastik davranış özelliği göstermişlerdir.

KAYNAKLAR

- Dustin K. James., James M. Tour.,**(2012).The Chemical Synthesis Of Graphene Nanoribbons A Tutorial Review,*Macromolecular Chemistry and Physics*,213,1033-1050.
- Mohammad A. Rafiee., Wei Lu., Abhay V. Thomas., Ardavan Zandiatashbar., Javad Rafiee., James M. Tour., Nikhil A. Koratkar.,**(2010). Graphene Nanoribbon Composites,*ACS Nano*,12,7515-7420.
- Daniela C. Marcano., Dmitry V. Kosynkin., Jacob M. Berlin., Alexander Sinitskii., Zhengzong Sun., Alexander Slesarev., Lawrence B. Alemany., Wei Lu., James M. Tour.,**(2010). Improved Synthesis Of Graphene Oxide, *ACS Nano*,9,4806-4814.
- Ji Chen., Bowen Yao., Chun Li., Gaoquan Shi.,**(2013). An Improved Hummers Method For Eco-Friendly Synthesis Of Graphene Oxide,*Carbon*,64,225-229.
- Zeinab Hajjar., Ali Morad Rashidi., Ahmad Ghozatloo.,**(2014).Enhanced Thermal Conductivities Of Graphene Oxide Nanofluids,*Heat and Mass Transfer*,57,128-131.
- Leila Shahriary., Anjali A. Athawale.,**(2014).Graphene Oxide Synthesized By Using Modified Hummers Approach.*BRCORP*, 02,2348-0157.
- Jianguo Song., Xinzhi Wang., Chang-Tang Chang.,**(2014). Preparation And Characterization Of Graphene Oxide,*Hindawi*,7,1155-276143.
- Huaqing Xie., Hohyun Lee., Wonjin Youn., Mansoo Choi.,**(2003).Nanofluids Containing Multiwalled Carbon Nanotubes And Their Enhanced Thermal Conductivities,*Journal of Applied Physics*,94,4967.
- A. K. Singh.,**(2008).Thermal Conductivity Of Nanofluids,*Thermo Scientific*,58,600-6007.
- Wei Yu., Huaqing Xie., Dan Bao.,**(2009).Enhanced thermal conductivities of nanofluids containing graphene oxide nanosheets,*Pulmed*,43,0957-4484.
- Mahboobeh Hadadian., Elaheh K. Goharshadi., Abbas Youssefi.,**(2014).Electrical conductivity, thermal conductivity, and rheological properties of graphene oxide-based nanofluids,*Journal of Nanoparticle Research*,16,2781-2788.
- Mohammad Mehrli., Emad Sadeghinezhad., Sara Tahan Latibari., Salim Newaz Kazi., Mehdi Mehrli., Mohd Nashrul Bin Mohd Zubir., Hendrik Simon Cornelis Metselaar.,**(2014). Investigation Of Thermal Conductivity

And Rheological Properties Of Nanofluids Containing Graphene Nanoplatelets, *Nanoscale Research Letters*, 12, 9-12.

Ali Ijam., R. Saidur., P. Ganesan., A. Moradi Golsheikh,(2015). Stability Thermo-Physical Properties And Electrical Conductivity Of Graphene Oxide-Deionized Water/Ethylene Glycol Based Nanofluid, *Heat and Mass Transfer*, 87, 92-103.

Mohammad Mehrli., Emad Sadeghinezhad., Sara Tahan Latibari., Mehdi Mehrli., Hussein Togun., M. N. M. Zubir., S. N. Kazi., Hendrik Simon Cornelis Metselaar,(2014). Preparation Characterization, Viscosity And Thermal Conductivity Of Nitrogen-Doped Graphene Aqueous Nanofluids, *Journal of Materials Science*, 49, 7156-7171.

Seong Dae Park., Seung Won Lee., Sarah Kang., Seong Man Kim., In Cheol Bang,(2012). Pool Boiling CHF Enhancement By Graphene-Oxide Nanofluid Under Nuclear Coolant Chemical Environments, *Nuclear Engineering and Design*, 252, 184, 191.

Yanzhong Hong., Zhiyong Wang., Xianbo Jin,(2013). Sulfuric Acid Intercalated Graphite Oxide for Graphene Preparation, *Scientific Reports*, 6, 1032-1038.

Dohyung Kim., Seung Jae Yang., Yern Seung Kim., Haesol Jung., Chong Rae Park,(2012). Simple And Cost-Effective Reduction Of Graphite Oxide By Sulfuric Acid, *Carbon*, 50, 3229-3232.

Viet Hung Pham., Hai Dinh Pham., Thanh Truong Dang., Seung Hyun Hur., Eui Jung Kim., Byung Seon Kong., Sunwook Kima., Jin Suk Chung,(2012). Chemical Reduction Of An Aqueous Suspension Of Graphene Oxide By Nascent Hydrogen, *Journal of Materials Chemistry*, 7, 135-145.

By Yanwu Zhu., Shanthi Murali., Weiwei Cai., Xuesong Li., Ji Won Suk., Jeffrey R. Potts., Rodney S. Ruoff,(2010). Graphene And Graphene Oxide Synthesis Properties And Applications, *Advanced Materials*, 22, 3906-3924.

NM Huang., HN Lim., CH Chia., MA Yarmo., MR Muhamad,(2011). Simple Room-Temperature Preparation Of High-Yield Large-Area Graphene Oxide, *Nanomedicine*, 6, 3443-3448.

Fatima Tuz Johra., Jee-Wook Lee., Woo-Gwang Jung,(2014). Facile And Safe Graphene Preparation On Solution Based Platform, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20, 2883-2887.

Satish Bykkam., Venkateswara Rao K., Shilpa Chakra CH., Tejaswi Thunugunta,(2013). Synthesis And Characterization Of Graphene Oxide And Its Antimicrobial Activity Against Klebsiella And Staphylococcus, *International Journal of Advanced Biotechnology and Research*, 4, 142-146.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Fatih Eravcu
Doğum Yeri ve Tarihi	Kayseri, 19.06.1991
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi Enerji Bilim ve Teknolojileri Bölümü 58140 Sivas
E-posta Adresi	fatiheravcu@gmail.com

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Fevzi Çakmak Anadolu Lisesi, 2009
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2013
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2016

Bilimsel Yayın ve Projeler

1-Oral Kavite Kanserin Tedavisinde Sisplatin Yüklenmiş Grafen Tabanlı Nanomalzemelerle Kombine Edilen Pulsed Lazer Hiperterminin Etkisinin Değerlendirilmesi: Bir Invitro Çalışma, No: 115S037, TÜBİTAK

Kongre ve Bildiriler

- 1-Fatih Eravcu, Özge Östürk, Murat Parlak, Kerim Yapıcı, Effect of the particle size on the thermal conductivity of Ethylene glycol based nanofluids containing oxide nanoparticles, Nanotr10, İstanbul, 2014.
- 2- Özge Östürk, Fatih Eravcu, Murat Parlak, Kerim Yapıcı, Rheological characterization of non-Newtonian based multiwalled carbon nanotubes nanofluids, Nanotr10, İstanbul, 2014.
- 3- Fatih Eravcu, Kerim Yapıcı, Farklı hummers metodları ile sentezlenen grafen oksit'in kararlılık, ısı iletkenlik ve reolojik özelliklerinin sistematik olarak karşılaştırılması, 1. Ulusal Karbon Konferansı, İstanbul, 2015.
- 4- Fatih Eravcu, Ümit Nazlı Temel, Murat Parlak, Kerim Yapıcı, The synthesis and thermal conductivity of graphene nanoribbons based nanofluids, Nanotr11, 2015.