

**DÖNEN BİR DİSK ELEKTROTUNDA
NANOPARTİKÜLLERİN
KÜTLE TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

Fatih İÇER

**Y. Lisans Tezi
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA
2010
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Y. LİSANS TEZİ

**DÖNEN BİR DİSK ELEKTROTUNDA NANOPARTİKÜLLERİN
KÜTLE TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİSİ**




Fatih İÇER

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2010**

Her hakkı saklıdır

Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA danışmanlığında, **Fatih İÇER** tarafından bu çalışma 04/05/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Y. Lisans tezi olarak kabul edilmiştir

Başkan :	Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA	İmza : 
Üye	Doç. Dr. Bayram ŞAHİN	İmza : 
Üye	Doç. Dr. Özkan KÜÇÜK	İmza : 

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Enstitü Müdürü

ÖZET

Y. Lisans Tezi

DÖNEN BİR DİSK ELEKTROTUNDA NANOPARTİKÜLLERİN KÜTLE TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Fatih İÇER

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA

Dönen bir disk elektrotunda, asılı CuO nanopartiküllerin kütle transferi üzerine etkisi difüzyon akım tekniği kullanılarak deneysel olarak incelendi. Deneyler %0,00039 ve %0,355 aralığında değişen katı hacim oranlarında yapıldı. Dönme hızı ise 200 ve 1000 rpm aralığındadır. Deneysel sonuçlardan, düşük katı hacim oranlarının kütle transferinde önemli iyileştirmeye sebep olmadığı, katı hacim oranının artması ile kütle transferinde meydana gelen iyileşmenin arttığı gözlemlendi. Ayrıca katı hacim oranı ve Reynolds sayısının fonksiyonu olarak Sherwood sayısı korelasyonu elde edildi.

2010, 40 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kütle transferi, ısı transferi, nanopartikül, nanoakışkan, dönen disk

ABSTRACT

MS Thesis

THE EFFECT OF NANOPARTICLES ON MASS TRANSFER TO A ROTATING DISK ELECTRODE

Fatih İÇER

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA

The influence of suspended CuO nanoparticles on the mass transfer at a rotating disc electrode (RDE) was investigated by using the limiting diffusion current method, experimentally. The experiments were performed for a range of solid volume fraction between 0,00039% and 0,355%. The angular speed of the disc was varied from 200 to 1000 rpm. The results show that there is not an important mass transfer enhancement for the low solid volume fractions and the mass transfer enhancement increase with increasing solid volume fraction. It was also given the Sherwood number correlation as function of the solid volume fraction and the Reynolds number.

2010, 40 page

Keywords: Mass transfer, heat transfer, nanoparticle, nanofluid, rotating disc

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında katkıları bulunan, değerli tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA'ya, Sayın Prof. Dr. Sinan YAPICI'ya, Sayın Doç. Dr. Bayram ŞAHİN'e, Sayın Arő. Gör. Eda KELEŐ'e, Sayın Arő. Gör. Eda Feyza DİLEK'e ve katkılarını esirgemeyen Kimya Mühendisliği Bölümü Personeline teőekkürü bir borę bilirim.

Fatih İÇER

Mayıs 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	7
3. 1. Kütle Transferi Ölçüm Yöntemi	7
3. 2. Deney Sistemi ve Deneysel Yöntem.....	10
3. 3. Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi.....	15
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	16
4. 1. Potansiyel-Akım Eğrileri	16
4. 2. Akım-Açısal Hız Eğrileri	16
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	41

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a	Partikül yarıçapı
A	Elektrot Yüzey Alanı
C	Konsantrasyon
C_{is}	Yüzeydeki konsantrasyon
$C_{i\infty}$	Aktif iyonun yığın konsantrasyonu
$^{\circ}C$	Sıcaklık
D	Difüzyon katsayısı
D^*	Efektif difüzyon katsayısı
d_p	Partikül çapı
F	Faraday sabiti
ϕ	Hacim fraksiyonu
I	Akım
I_{lim}	Sınırlayıcı akım
J	Molar akı
K	Kütle transfer katsayısı
K	Durgun ortamda efektif difüzyon katsayısı
μ	Dinamik viskozite
n	Elektron sayısı
ν	Kinematik viskozite
ν	Hidrodinamik hız
Ω	Açısal dönme hızı
Re	Reynolds Sayısı
R	Disk çapı
r	Radyal konum
r_o	Aktif film yarıçapı
ρ	Yoğunluk
ρ_{ζ}	Çözelti yoğunluğu

ρ_p	Partikül yoğunluğu
ρ_n	Çözeltiye Partikül İlavesi Sonucu Oluşan Yoğunluk
Sh	Sherwood Sayısı
ω	Açısal hız
V	Potansiyel
z	Elektrokimyasal reaksiyonda aktarılan elektron sayısı

Boyutsuz Gruplar

Re	Reynolds sayısı
Sc	Schmidt sayısı
Sh	Sherwood sayısı

Alt İndisler

Eff	Etkin
bf	Temel akışkan
r	Bağıl

Kısaltmalar

dev	devir
dak	dakika

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Tipik akım-potansiyel eğrisi	8
Şekil 3.2. Deney düzeneği.....	11
Şekil 3.3. Dönen disk	12
Şekil 4.1. (a) Potansiyel-Akım Eğrileri (200rpm).....	17
Şekil 4.1. (b) Potansiyel-Akım Eğrileri (1000rpm)	18
Şekil 4.2. (a) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0$).....	20
Şekil 4.2. (b) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0,0003949$)	21
Şekil 4.2. (c) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0,001979$).....	22
Şekil 4.2. (d) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0,1383$)	23
Şekil 4.2. (e) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0,1778$)	24
Şekil 4.2. (f) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0,296$)	25
Şekil 4.2. (g) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0,355$)	26
Şekil 4.3. (a) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\emptyset=0$)	29
Şekil 4.3. (b) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\emptyset=0,0003949$)	30
Şekil 4.3. (c) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\emptyset=0,001979$)	31
Şekil 4.3. (d) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\emptyset=0,1383$)	32
Şekil 4.3. (e) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\emptyset=0,1778$)	33
Şekil 4.3. (f) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\emptyset=0,296$)	34
Şekil 4.3. (g) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\emptyset=0,355$)	35
Şekil 4.4. Deneysel ve Eş.(4.4)'den hesaplanan Sherwood sayılarının karşılaştırılması	36
Şekil 4.5. Sh/Sh_o oranının Reynolds sayısı ile değişimi	37

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kullanılan çözeltilerin hacim oranları ve fiziksel özellikleri.....	15
--	----

1.GİRİŞ

Proseslerde ısı ve kütle aktarımı büyük önem taşır. Bundan dolayı ısı ve kütle transferini artırma, iyileştirme çalışmaları önemli ilgi alanı olmuştur. Isı ve kütle aktarımı iyileştirme teknikleri temel alınarak pasif ve aktif teknikler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Pasif teknikler dışarıdan ilave güç gerektirmeyen teknikler olup, işlem görmüş yüzeyler, pürüzlü yüzeyler, genişletilmiş yüzeyler, ortama partikül ilavesi gibi teknikleri içerir. Aktif tekniklerde ise dışarıdan ilave güce ihtiyaç vardır ve yüzey titreşimi, akışkan titreşimi, çarpan jetler ve döndürme gibi teknikleri içerir (Webb 1994).

Sıvı veya gaz ortamına partikül ilave edilerek ısı ve kütle transferinin artırılabilceği bilinmektedir. Sıvı ortama reaktif olmayan partiküllerin ilavesinin kütle transferi üzerine etkisi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır (Deficquelmont-Loizos *et al.* 1988; Andersen *et al.* 1989; Sonneveld *et al.* 1990; Caprani *et al.* 1998). Bu çalışmalarda dönen disk elektrotu (RDE) kullanılmıştır. RDE kütle transferi çalışmalarında uygulama kolaylığı ve pratikteki uygulamalarından dolayı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ellison and Cornet 1971). RDE sisteminde inert partiküllerin kütle transferi üzerine etkileri, partikül boyutu, dönme hızı, katıların hacimsel oranları, disk çapı ve özellikleri, ortam özellikleri gibi faktörlere bağlıdır.

Teknolojik gelişmelere bağlı olarak nano boyutta partiküllerin üretimi ve kullanımına ilgi artmıştır. Nanopartiküllerin üretiminde kullanılan yöntemler aşağıdan yukarı ve yukarıdan aşağı olarak iki farklı yaklaşımda incelenmektedir. Yukarıdan aşağıya yaklaşımında malzeme dışarıdan enerji ilavesi ile boyut nano boyuta indirilmektedir. Örnek olarak; mekanik öğütme ve aşındırma verilebilir. Aşağıdan yukarıya yaklaşımına dahil yöntemler ise; atomik veya moleküler boyuttaki yapıları kimyasal reaksiyonlar ile büyütürük partikül oluşumunun gerçekleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Gürmen ve Ebin 2009). Nanopartiküller başlıca aşağıdaki yöntemler ile üretilmektedir (Holister *et al.* 2003; Gürmen ve Ebin 2009; Dreizin 2009).

- Kimyasal buhar yoęunlařtırma yöntemi
- Hidrojen reaksiyonu yöntemi
- Asal gaz yoęunlařtırma yöntemi
- Alev sentezi yöntemi
- Mekanik aşındırma yöntemi
- Ultrasonik spre y piroliz yöntemi
- Kimyasal sentez yöntemi

Son yıllarda teknolojik gelişmelere bağlı olarak, nanopartiküllerin ısı ve kütle transferini artırmadaki etkisi üzerine çalışmalar artmıştır. Isı iletkenlikleri yüksek bakır, alüminyum, altın, gümüş vb. nanometre boyutlarındaki katı partiküller geleneksel ısı transferi akışkanlarına katılarak yeni bir ısı transferi akışkanı üretilmiştir. Nanometre boyutundaki katı partiküllerin katıldığı bu yeni ısı transferi akışkanına nanoakışkan (nanofluid) denmektedir (Xuan and Roetzel 2000; Heris *et al.* 2006).

Nanoakışkanlar ile ilgili konvektif ısı transferi çalışmaları sürekli artmaktadır. Nanoakışkanların ısı transferi karakteristikleri ile ilgili derlemeler (Kakaç and Pramuanjaroenkis 2005; Wang and Mujumdar 2007) tarafından verilmiştir. Genel olarak akışkanlara nanopartiküllerin ilavesi ile ısı transferinin önemli ölçüde arttığı belirtilmektedir. Ayrıca nanoakışkanların ısı değiştiricilerde, soğutma sistemlerinde, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde (HVAC) kullanılma potansiyeli de bulunmaktadır.

Nanopartiküller içeren sıvı-katı karışımları milimetre ve mikrometre boyutlarında partiküllerin ilavesi sonucu oluşan sıvı-katı karışımlarından farklı davranış göstermekte, süspanse karışım daha uzun süre korunabilmektedir. Diğer taraftan kanal akışında, boru aşınması, daha fazla basınç düşüşü gibi olumsuz etkileri de söz konusudur (Xuan and Roetzel 2000).

Bu çalışmanın amacı temel akışkana süspanse edilmiş nano boyutta CuO partikülleri içeren bir karışımda dönen disk elektrot sisteminde (RDE) kütle transferini deneysel olarak incelemektir. Nanoakışkanlar ile ilgili çalışmalar ısı transferine yoğunlaşmış olmasına karşın kütle transferi ile ilgili çalışmalar nispeten azdır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde süspansiyon katı partiküller içeren dönen disk elektrot sisteminde kütle transferi için yapılan çalışmaların özeti verilmiştir. Nanopartiküllerin kullanıldığı nanoakışkanlarda ısı transferi ile ilgili çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu konuda bir derleme Wen *et al.* (2009) tarafından verilmiştir. Kütle transferi ile ısı transferi arasında ilişki olmakla birlikte bu çalışmada amaç kütle transferini incelemek olduğundan burada ısı transferi çalışma özetlerine yer vermek faydalı olacaktır.

Dönen disk elektrot (RDE) sisteminde inert süspansiyon katılarının sınırlayıcı akım üzerine etkisi Andersen *et al.* (1989) tarafından deneysel incelenmiştir. Katı olarak boyutları 1-100 µm arasında değişen cam ve polimer tanecikler kullanılmıştır. Partikül çapına bağlı olarak iki farklı aktarımı artırma mekanizmasının olduğu belirtilmektedir. Bunlardan birincisi kütle transferi sınır tabaka kalınlığına eşit veya küçük partiküller için meydana gelen iyileştirmenin

$$Sh = \frac{D^*}{\kappa D} = e^{-5.86\Phi} \left(\frac{2ar\Omega}{(D^2\nu)^{\frac{1}{3}}} \right)^{1.59\Phi} \quad (2.1)$$

denklemleri ile tanımlanabileceği belirtilmektedir. Burada D difüzyon katsayısı, D* efektif difüzyon katsayısı, κ durgun ortamda efektif difüzyon katsayısı ve genel difüzyon katsayısının oranı, a partikül yarıçapı, r radyal konum, Ω açısal dönme hızı, Φ katı hacimsel oranıdır. İkincisi ise partikül çapının sınır tabaka kalınlığından büyük olduğu durumlarda, kütle transferi artışının farklı olduğu ve dönme hızı ile önemli ölçüde değişmediği belirtilmiştir.

Deficquelmont- Loizos *et al.* (1988) and Caprani *et al.* (1988), süspansiyon halinde katı partiküller içeren bir RDE sisteminde, laminar akışta kütle transferini deneysel ve teorik

olarak incelemişlerdir. Dönme hızınının 20-6000 rpm aralığında değişmediği çalışmada Al_2O_3 , B_4C ve SiC partikülleri kullanılmıştır. Partikül boyutları 1-9 μm aralığında değişmektedir. Yüksek partikül konsantrasyonunda veya küçük partikül çapında newtonian akışkan davranışta sapma olduğu belirtilmiştir. Deficquelmont- Loizos *et al.* (1988) tarafından aynı sistem için kütle transferi üzerine, RDE'in çap gibi özelliklerinin etkisi, sıcaklık, viskozite, partikülün boyutu, hacimsel oran gibi parametrelerin etkisini incelemişlerdir. Sonuçta $\log I - \log \Omega$ grafiklerinde elde edilen doğruların eğimlerinin incelenen parametrelere göre farklılıklar gösterdiği kaydedilmektedir.

Asılı SiC partiküllerinin dönen disk elektrotunda (RDE) kütle transferine etkisi, alkali elektrolitteki $K_3Fe(CN)_6$ ve ZnO ' in indirgenmesi yöntemini kullanarak Sonneveld *et al.* (1990) tarafından araştırılmıştır. Difüzyon tabakasının kalınlığının, bu tabakadaki taneciklerin dönmesiyle azalmasına dayalı, artan kütle transferi için bir model geliştirdiler. Süspansiyonların farklı hacim oranlarıyla yapılan deneylerde, dönme hızı ve hacim oranı için bir kritik değerin olduğunu belirlemektedirler. Bu kritik değerlerin orjini üzerine hidrodinamik şartlar, yer çekimi, tanecik boyutu ve taneciklerle elektrot arasındaki birleşmenin etkisi yazarlar tarafından araştırılmıştır. SiC partiküllerinin kütle transferini artırdığı, bu artışın miktarının partiküllerin hacimsel orana bağlı olduğu belirtilmektedir. Partikül boyutunun, difüzyon tabaka kalınlığından büyük partiküller hariç, önemli bir etki göstermediği belirtilmiştir.

Ellison and Cornet (1971) tarafından deneysel oranları $\%3\frac{1}{2}$ (0,6M) olan NaCl çözeltisinde oksijen için dönen bir disk yardımıyla kütle transferi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan Reynolds sayısı 10^4 ile $1,18 \times 10^7$ aralığında, Sc sayısı 34-1300 aralığında seçilmiştir. Çalışmada laminer akış sonuçlarının, Levich eşitliğine uyduğu, laminerden türbülanslı akışa geçişin 3.10^5 Reynolds sayısında olduğu tespit edilmiş ve türbülanslı akış için ise aşağıdaki korelasyon verilmiştir.

$$Sh = 1,17 \times 10^{-2} Re^{0,896} Sc^{0,249} \quad (2.2)$$

Isıtılmış dönen bir disk üzerinde ince sıvı bir filmde ısı transferi üzerine deneysel bir çalışma Ozar *et al.* (2004) tarafından verilmiştir. Sabit film kalınlığı ve üniform radyal hıza sahip ısıtılmış, yatay bir diskin merkezine deiyonize suyun yerleştirilmiş, disk yüzey sıcaklıkları radyal termoçift yardımı ile ölçülmüştür. Diskin açısal hızının 0- 500 dev/dak arasında değiştiği sistemde sıvı akış hızı 3-15 L/dak arasında değiştirilmiştir. Çalışmada, yerel ısı transfer katsayısının, dönme hızının ve sıvı akış hızının artması ile arttığı belirtilmiştir. Dönme hızının ısı transferine etkisinin düşük sıvı hızlarından daha fazla olduğu kaydedilmektedir.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

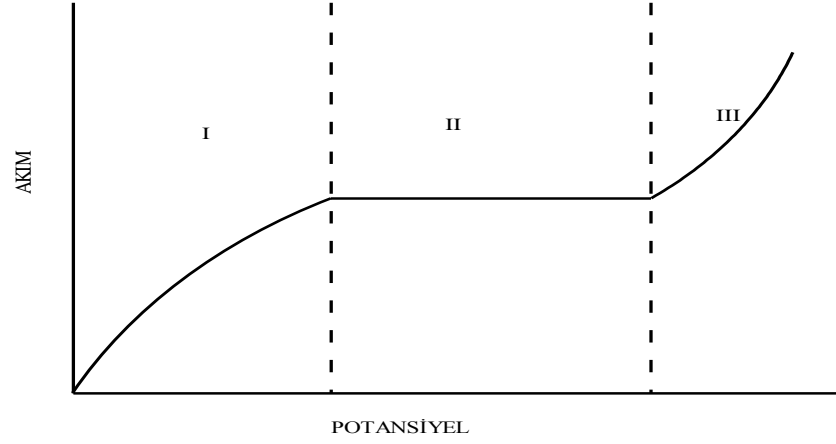
3.1. Kütle Transferi Ölçüm Yöntemi

Bu çalışmada kütle transfer ölçüm tekniği olarak sınırlayıcı difüzyon akım tekniği kullanılmıştır. Bu teknik elektrot yüzeyinde difüzyon kontrollü reaksiyonun gerçekleştiği bir yönteme dayanmaktadır. Aktif iyonlar ihtiva eden bir elektrolit içerisine iki elektrot daldırıldığında ve bu iki elektrot arasına artan bir şekilde potansiyel farkı uygulandığında elde edilen potansiyel-akım eğrisi üç bölge içermektedir (Yazıcı 1995).

I. İlk bölge içerisinde, olayı reaksiyon hızı kontrol etmektedir ve artan potansiyel farkıyla akım artmaktadır.

II. Potansiyel fark arttırıldığında, bu artışa rağmen akımın sabit kaldığı bir plato bölgesi elde edilir. Bu durumda elektrot yüzeyinde iyonların konsantrasyonu yaklaşık sıfırdır. Çünkü, reaksiyonla iyonların tüketilme hızı, konsantrasyon sınır tabakasında iyonların ulaşma hızından fazladır. Yüzey reaksiyonu yani akımın büyüklüğü, sınır tabakasında iyonların difüzyonunun hızı ile kontrol edilir. Bu bölgede akıma “Elektrokimyasal Sınırlayıcı Difüzyon Akımı” adı verilir. Bu yöntemle kütle transferi ölçümleri bu plato bölgesinde belirlenen bir potansiyel farkı ile çalışılır.

III. Üçüncü bölge diğer ikincil bir reaksiyonun varlığını, genellikle çözücü ayrışmasını, katotta hidrojen oluşumunu içerir. Akım tekrar artan potansiyel farkı ile artar.



Şekil 3.1. Tipik akım-potansiyel eğrisi

Tek boyutlu koşullar için molar akı aşağıdaki Nernst-Planck denklemi ile tanımlanmaktadır (Bard and Faulkner 1980).

$$J = -D \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{zFdc}{RT} \frac{\partial \Phi}{\partial x} + cv \quad (3.1)$$

Bu denklemde sağ taraftaki terimler sırası ile difüzyon akısı, migrasyon molar akı ve konvektif molar akıyı göstermektedir. Burada D difüzyon katsayısı, C konsantrasyon, v hidrodinamik hız, $\frac{\partial c}{\partial x}$ ve $\frac{\partial \Phi}{\partial x}$ sırası ile konsantrasyon ve potansiyel gradyanıdır. Kütle transferine migrasyon, difüzyon ve konveksiyon olmak üzere üç farklı kütle transfer tipinin katkısı vardır. Migrasyon etkisi çözelti içerisinde elektrotlar arasına uygulanan potansiyelin etkisi altında anyon ve katyonun çözelti içerisinde hareketinden kaynaklanmaktadır. Çözeltiye aktif olmayan elektrolitten fazlaca eklenerek elektrik alanının varlığına dayanan migrasyon etkisini ortadan kaldırılabılır ya da ihmal edilebilir bir seviyeye indirilir. Difüzyon elektrot yüzeyinde oluşan reaksiyondan dolayı yükseltgen veya indirgenin konsantrasyon gradyanından dolayı yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye kütle transferidir. Konvektif kütle transferi ise akışkan yığın hareket katkısıdır.

Eş.(3.1)'de migrasyon ve konvektif terimler ihmal edildiğinde sadece difüzyon terimi kalır. Diğer taraftan molar akı aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Wragg 1977).

$$J = k(C_{i\infty} - C_{is}) \quad (3.2)$$

Burada k kütle transfer katsayısı, $C_{i\infty}$ aktif iyonun yığın konsantrasyonu ve C_{is} ise yüzeydeki konsantrasyonudur. Eğer sınır tabaka kalınlığını δ ile gösterilirse $k \equiv D/\delta$ şeklindedir.

Diğer taraftan elektrot yüzeyine hareket eden aktif iyonlar içeren bir sistem için molar akı aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Wragg 1977).

$$J = \frac{I_L}{nFA} \quad (3.3)$$

Burada I_L akım, n elektron sayısı, F Faraday sabiti ve A elektrot yüzey alanıdır. Eşitlik (3.2) ve (3.3) birleştirilirse kütle transfer katsayısı için aşağıdaki denklem elde edilir.

$$k = \frac{I_L}{nFA(C_{i\infty} - C_{is})} \quad (3.4)$$

Sınırlayıcı akım koşullarında $C_{is} = 0$ olduğundan Eşitlik (3.4) aşağıdaki şekle dönüşür.

$$k = \frac{I_L}{nFAC_{i\infty}} \quad (3.5)$$

Sınırlayıcı difüzyon akım tekniği için çok farklı elektrolitler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı; destek elektrolitin aşırısını içeren Ferri-

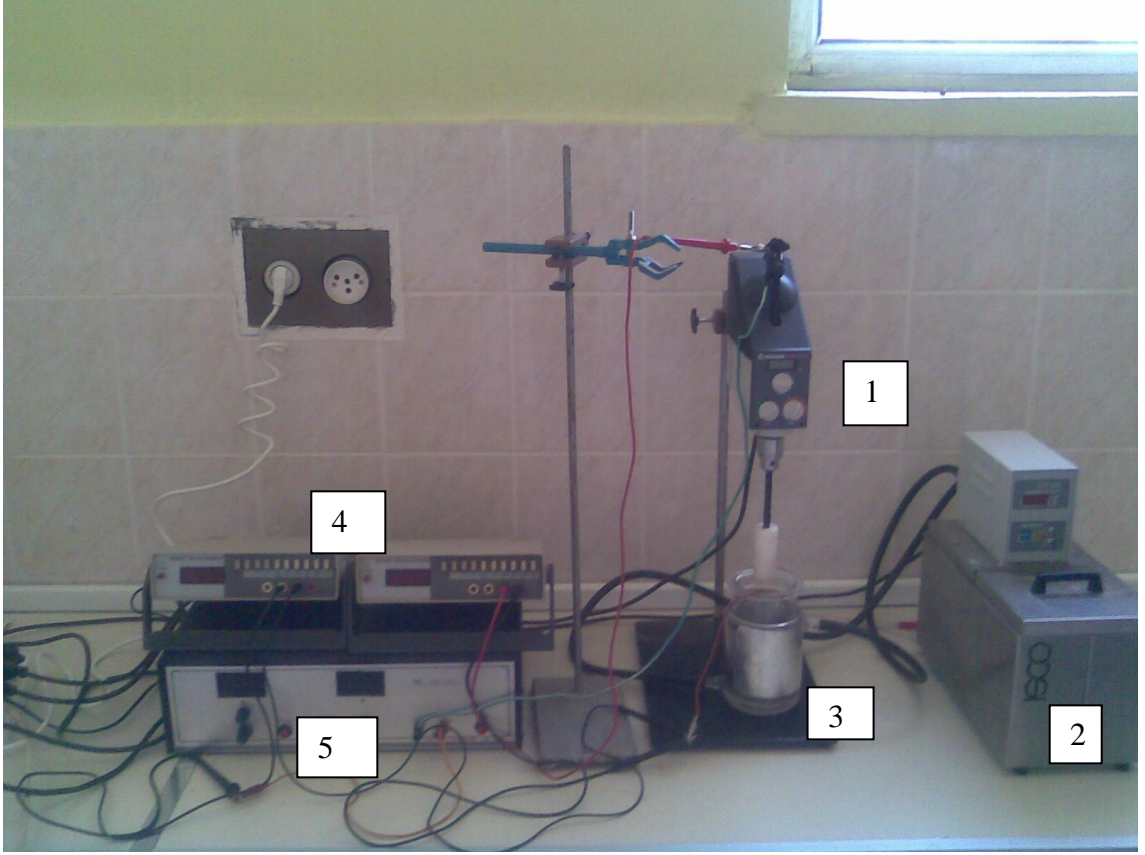
Ferrosiyandır ($\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ - $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$) çözeltisidir. Destek elektroliti olarak NaOH, KOH gibi çözeltiler kullanılmaktadır. Bu çalışmada elektrolit olarak aşırı miktarda K_2CO_3 içeren $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ ve $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ karışımı kullanılmıştır.

3.2. Deney Sistemi ve Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmanın yapıldığı deney düzeneği Şekil 3. 2’de gösterilmiştir. Deney düzeneği başlıca, ısıtma ceketli çözelti kabı, mekanik karıştırıcı, DC güç kaynağı, sabit sıcaklık sirkülatörü ve multimetrelerden oluşmaktadır. Dönen disk sisteminin dönme hızı mekanik karıştırıcının dönme hızı ayarlanarak sağlanmıştır. Şekil 3. 3’de kullanılan dönen disk sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Dönen disk olarak 2,03 mm kalınlığında ve %99,9 saflıkta nikel tel kullanılmıştır. Disk dönme hızları 100-1000 rpm aralığında değiştirilmiştir. Çözelti sıcaklığı sabit sıcaklık sirkülatörü yardımı ile $25 \pm 0,2^\circ \text{C}$ ’de sabit tutulmuştur. Dönen disk ile elektrokimyasal devrenin bağlantısı, diskin üst kısmında bulunan civa haznesi yardımı ile sağlandı.

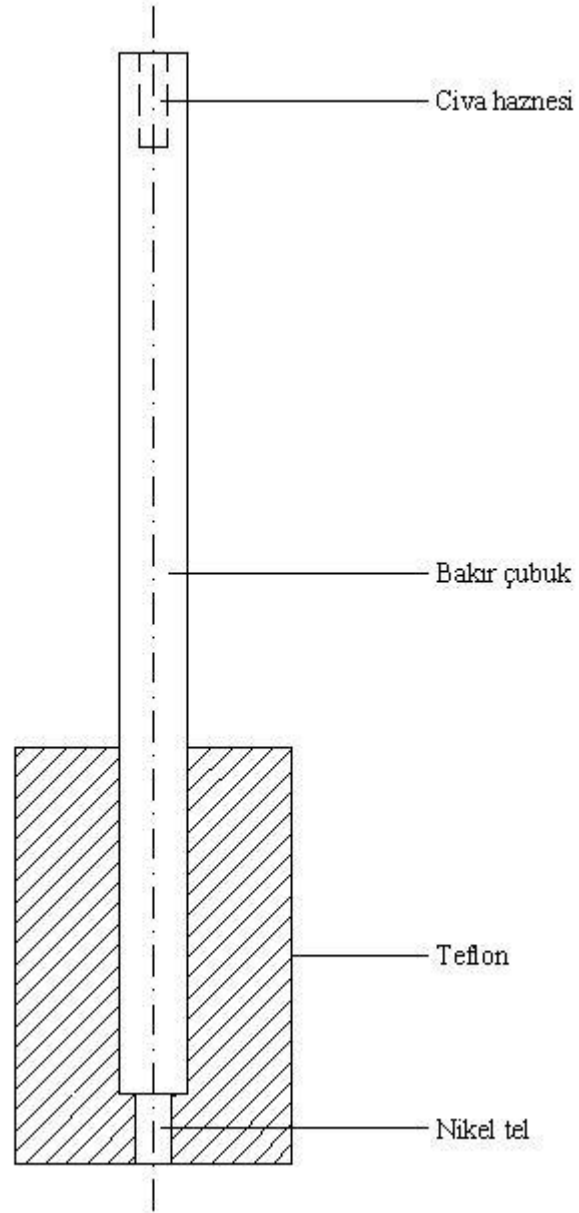
Dönen diskin konumu, disk ile çözelti kabı alt yüzeyi arasındaki mesafeyi 5cm olarak sabit ve tam ortaya gelecek şekilde ayarlanarak tüm deneyler için aynı düzenleme kullanıldı.

Deneysel partikül olarak Sigma-Aldrich firmasından temin edilen CuO partikülleri kullanıldı. Partiküllerin ortalama çapları 33nm olarak firma tarafından verilmektedir. Deney düzeneğine çözelti ilave edildikten sonra, partiküller ilave edilerek mekanik karıştırıcı çalıştırıldı, partiküllerin süspansiyon olması sağlandıktan sonra kütle transferi ölçümleri yapıldı. Aynı yöntem tüm ölçümlerde kullanıldı.



Şekil 3. 2. Deney düzeneği

1. Devri ayarlanabilir mekanik karıştırıcı
2. Sabit sıcaklık sirkülatörü
3. Ceketli çözelti kabı
4. Multimetreler
5. DC Güç kaynağı



Şekil 3. 3. Döner disk

Çözelti olarak 0.005M potasyum Ferri siyanür, 0.02M potasyum Ferro siyanür ve 0.5M Potasyum Karbonat çözeltisi kullanıldı. Çözeltinin yoğunluğu $1057,064 \text{ kg/m}^3$, kinematik viskozitesi $0,953 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ şeklindedir.

Deneyle farklı hacimsel oranlarda CuO kullanarak yapıldı. Kullanılan hacim oranları ve çözeltinin fiziksel özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çözeltinin yoğunlukları aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplandı (Gherasim *et al.* 2009).

$$\phi = \frac{\rho_n - \rho_\zeta}{\rho_p - \rho_\zeta} \quad (3.6)$$

Burada, ϕ =hacimsel oran, ρ_n =çözeltiye partikül ilavesi sonucu oluşan yoğunluk, ρ_ζ =çözelti yoğunluğu, ρ_p =Partikül yoğunluğu. Hacimsel oran aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\phi = \frac{\text{Partikül hacmi}}{\text{Toplam hacim}} \quad (3.7)$$

Süspans partiküller içeren çözeltilerin viskozitelerini hesaplamak için farklı eşitlikler bulunmaktadır. Küresel partiküllerden oluşan düşük konsantrasyonlu çözeltiler için Einstein (1906) tarafından aşağıdaki basit bir model verilmektedir (Masoumi *et al.* 2009).

$$\mu_r = \frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = 1 + 2,5\phi \quad (3.8)$$

Burada μ_{eff} partikül ilavesi sonucu oluşan yeni çözelti viskozitesi ve μ_{bf} saf çözelti viskozitesidir. Bu denklem düşük partikül hacimsel oranları içindir ($\phi \cong 0.02$). Yüksek

konsantrasyonlar için farklı denklemler verilmektedir (Brinkman 1952; Frankel and Acrivos 1967; Batchelor 1977).

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{(1-\phi)^{2.5}} \quad (3.9)$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = \frac{9}{8} \left[\frac{\left(\frac{\phi}{\phi_m}\right)^{\frac{1}{3}}}{1 - \left(\frac{\phi}{\phi_m}\right)^{\frac{1}{3}}} \right] \quad (3.10)$$

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = 1 + 2,5\phi + 6,5\phi^2 \quad (3.11)$$

Diğer bir korelasyon Graham (1981) tarafından verilmiştir.

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = 1 + 2,5\phi + 4,5 \left[\frac{1}{\left(\frac{h}{d_p}\right) \left(2 + \frac{h}{d_p}\right) \left(1 + \frac{h}{d_p}\right)^2} \right] \quad (3.12)$$

Bu çalışmada (3.8), (3.9) ve (3.10) eşitliklerindeki yöntemler kullanılarak viskozite değeri hesaplanarak ortalaması alındı. Bu çalışmada kullanılan hacimsel oranlar düşük olduğu için sonuçlar birbirine yakın çıkmaktadır.

Çizelge 3. 1. Kullanılan çözeltilerin hacim oranları ve fiziksel özellikleri

Çözelti	ρ (kg/m ³)	μ (kg.m/s)	% ϕ (mL/mL)
400 mL + 0,0 g CuO	1057,064	0,0010073	0
400 mL + 0,01 g CuO	1057,084	0,00100731	0,0003949
400 mL + 0,05 g CuO	1057,168	0,00100735	0,001979
400 mL + 3,50 g CuO	1064,335	0,00101078	0,1383
400 mL + 4,50 g CuO	1066,412	0,00101178	0,1778
400 mL + 7,50 g CuO	1072,627	0,00101475	0,296
400 mL + 9,0 g CuO	1075,729	0,00101624	0,355

3.3. Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi

Deneysel sonuçlarda okunan akım değerleri aşağıda verilen denklem kullanılarak Sherwood sayılarına dönüştürüldü.

$$Sh = \left(\frac{I_{Lim}}{FnCA} \right) \frac{R}{D} \quad (3.13)$$

Dönme Reynolds Sayısı aşağıdaki denklem ile ifade edilmektedir.

$$Re_{\omega} = \frac{\omega R^2}{\nu} \quad (3.14)$$

Burada I_{lim} sınırlayıcı akım, F Faraday sabiti, n elektron sayısı, C çözelti derişimi, A kütle transfer alanı, ω açısal hız, R : Disk çapı ve ν çözeltinin kinematik viskozitesidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Potansiyel-Akım Eğrileri

Kütle transferi ölçümleri yapılmadan önce çalışma potansiyelini belirlemek amacıyla iki limit dönme hızı (200-1000 dev/dak) için devreye uygulanan potansiyel değiştirilerek akımlar ölçülerek akım-potansiyel değişim eğrileri elde edildi. Şekil 4.1’de akım-potansiyel eğrileri verilmiştir. Şekil 4.1 (a) ve (b) incelendiğinde 0,4-1 Volt arasında potansiyel ile akım değişiminin yaklaşık olarak sabit kaldığı plato belirgin bir şekilde görülmektedir. Bu bölgede sistem difüzyon kontrollüdür. Bu eğriler yardımı ile çalışma potansiyeli 0,6 Volt olarak tespit edilerek tüm kütle transferi ölçüm deneylerinde kullanılmıştır.

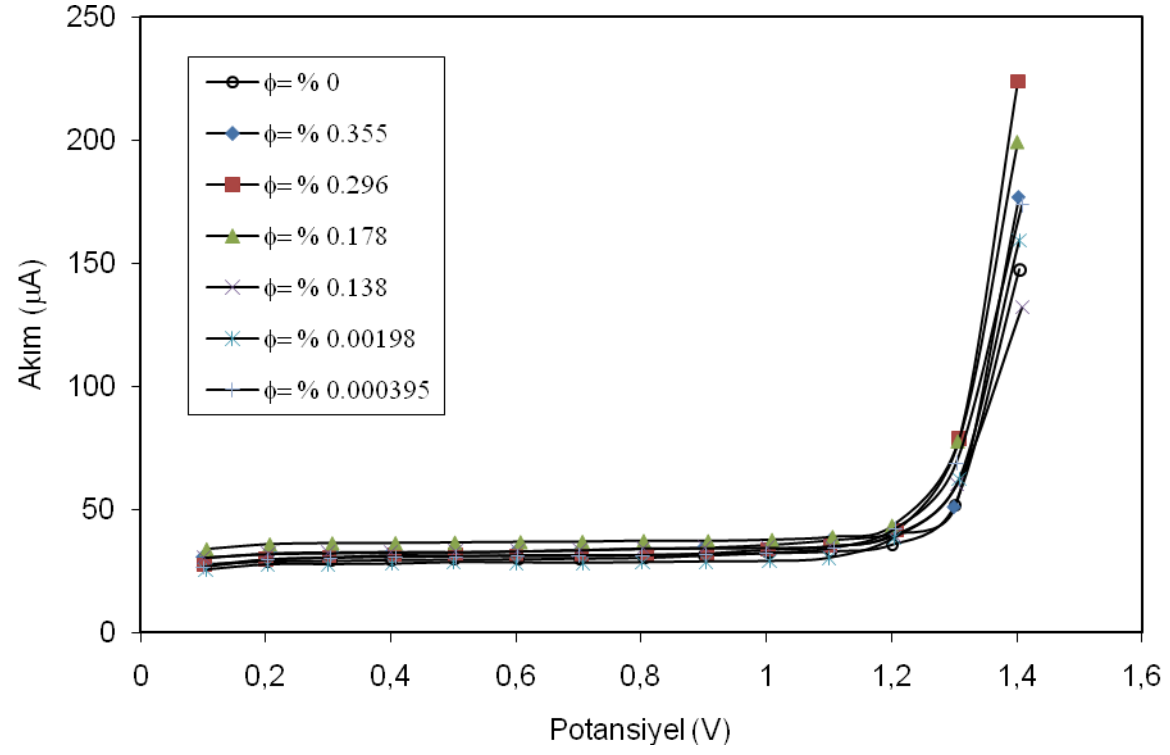
4.2. Akım- Açısal Hız Eğrileri

Aşağıda verilen Levich (4.1) eşitliğine göre katı partiküller içermeyen bir çözelti için sınırlayıcı akım koşulunda akım(I)-açısal hızın(ω) kareköküne karşılık grafik edildiğinde bir doğru elde edilir (Bard and Faulkner 1980).

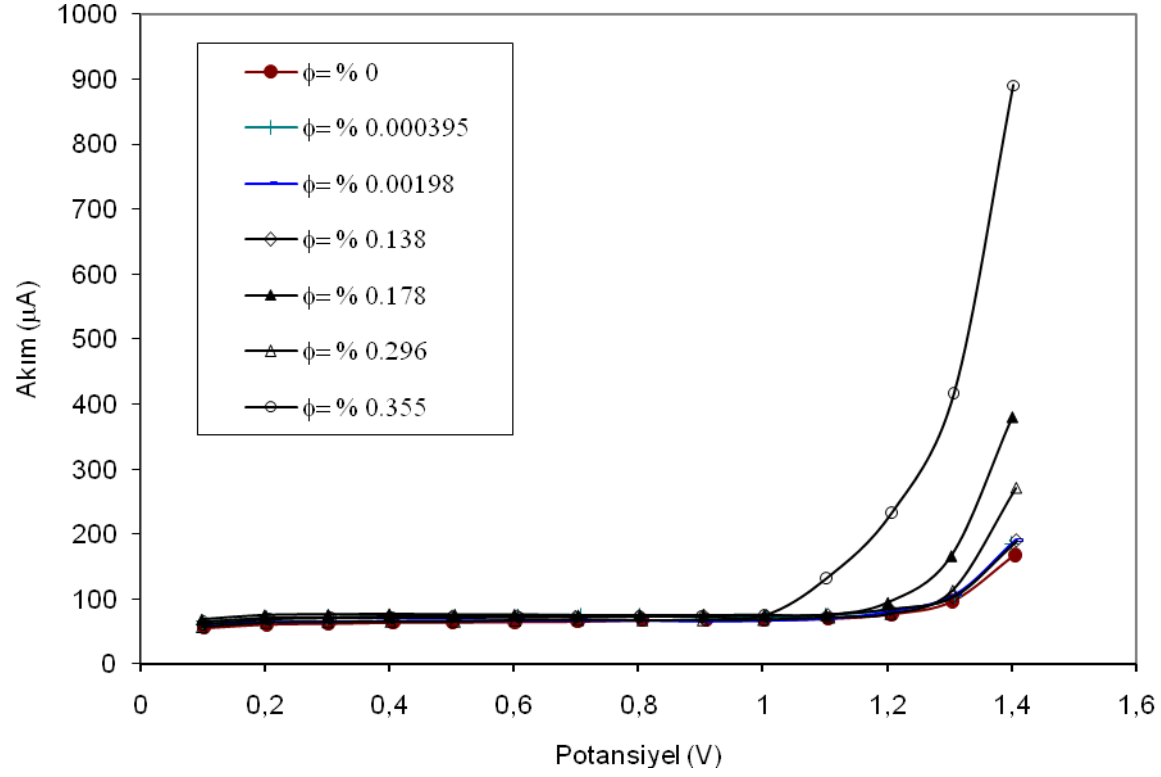
$$I_L = 0,620 n F A D^{2/3} \nu^{-1/6} C \omega^{1/2} \quad (4.1)$$

Burada I_L akım, n reaksiyonda transfer edilen elektron sayısı, F Faraday sabiti (96485 C/mol), A elektrot alanı, D difüzyon katsayısı, ν kinematik viskozite, C çözeltinin konsantrasyonu ve ω dönme hızı (rad.s^{-1}) dir. İnert, süspanse partiküller içeren çözeltiler için dönen disk sisteminde, farklı yaklaşımlar uygulanmaktadır. Andersen *et al.* (1989) tarafından akım yoğunluğu için aşağıdaki denklem verilmiştir.

$$I_L = 0,62048 f_D n F A D^{*2/3} \nu^{*-1/6} C \omega^{1/2} \quad (4.2)$$



Şekil 4. 1. (a) Potansiyel-Akım Eğrileri (200 rpm)



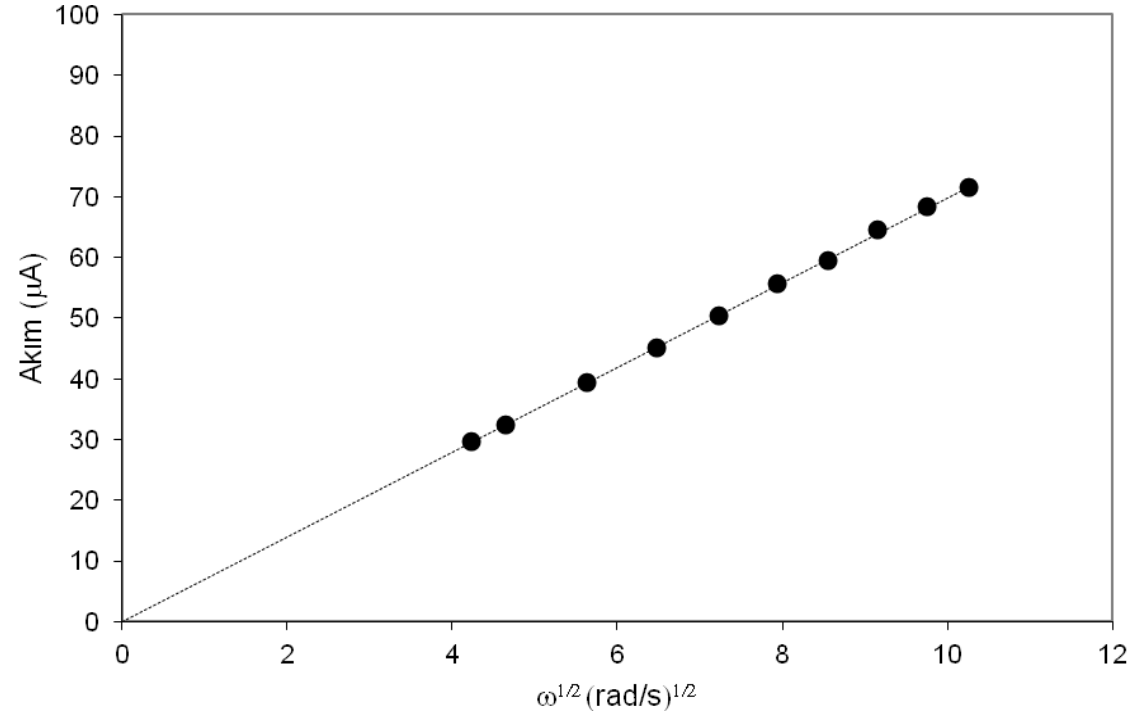
Şekil 4. 1. (b) Potansiyel-Akım Eğrileri (1000 rpm)

Burada D^* efektif difüzyon katsayısı, ν^* efektif viskozite ve f_D boyutsuz difüzyon fonksiyonudur. Sonneveld *et al.* (1990) tarafından ise aşağıdaki eşitlik verilmiştir.

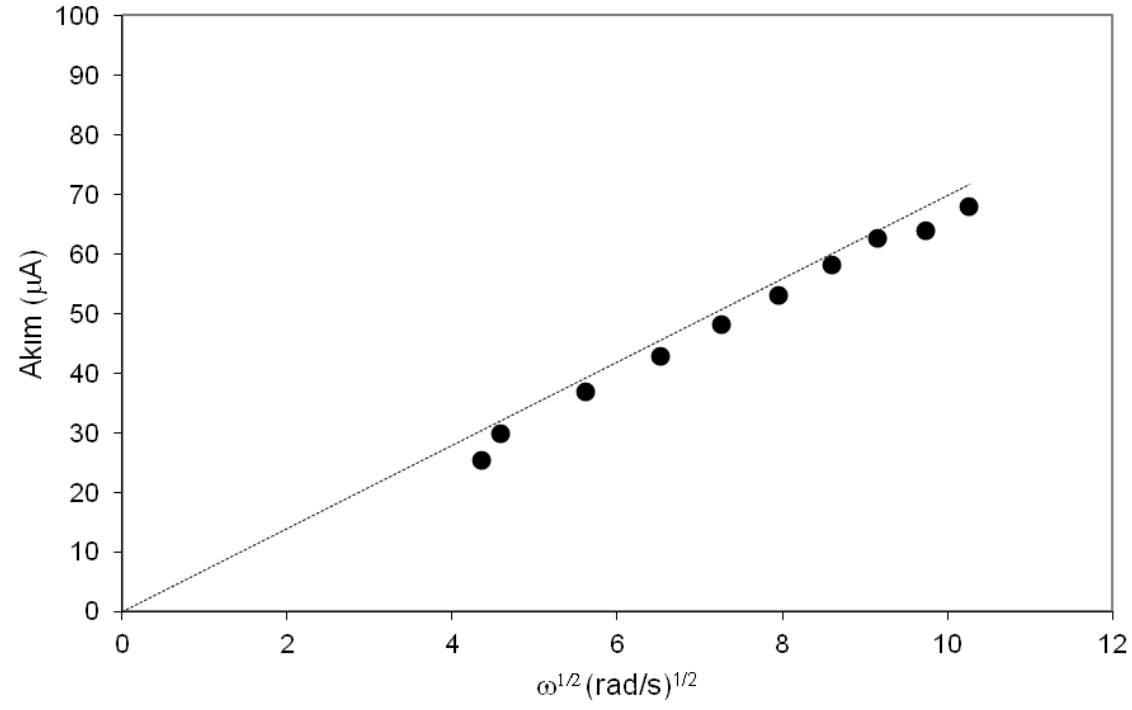
$$I_L = B\omega^{1/2} \left[1 + \left(\frac{r_o}{a} \right) \phi \right] \quad (4.3)$$

Burada $B = 0.620nFAD^{2/3}\nu^{-1/6}C$, ϕ hacimsel oran (%), r_o aktif film yarıçapı ve a partikül yarıçapıdır. Ayrıca Sonneveld *et al.* (1990) tarafından kinetik hız, dönme hızı ve hacimsel oran değeri olduğunda belirtilmektedir.

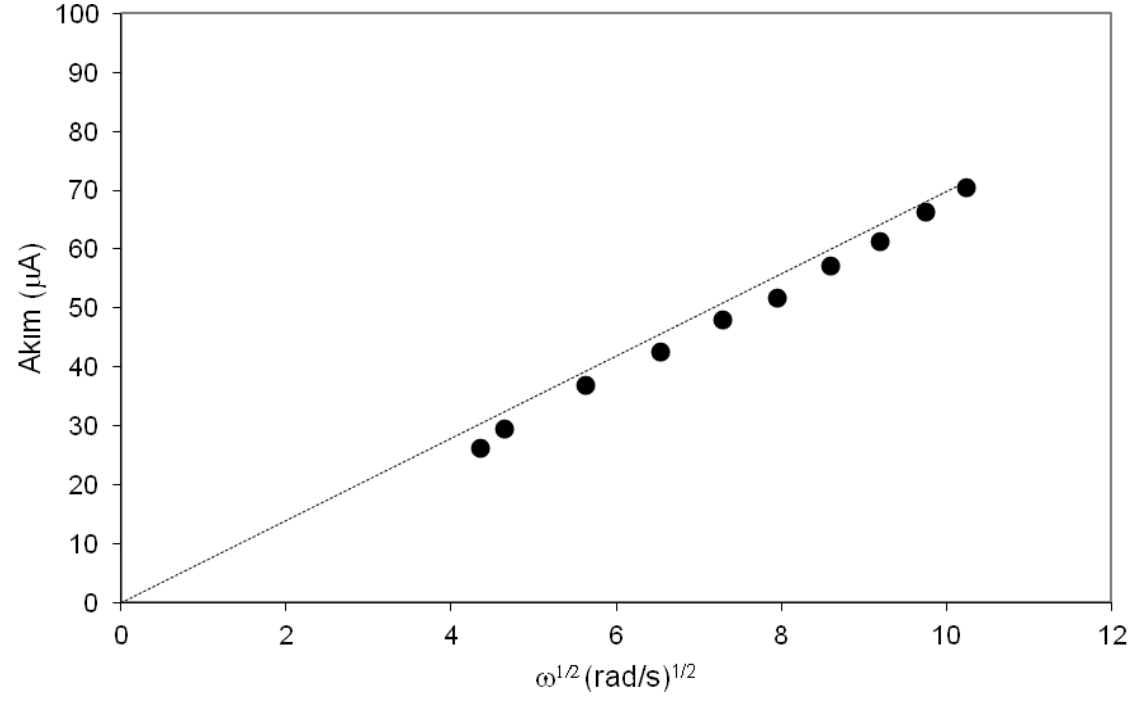
Şekil 4. 2.'de farklı hacimsel oranlar için Akım- $\omega^{0.5}$ grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde katı partiküller içermeyen çözeltinin Eş.(4.1) verilen Levich davranışına uygun değişim gösterdiği görülmektedir. Grafiklerdeki kesikli çizgiler katı partiküller içermeyen çözelti için deneysel verilerden elde edilen eğridir. Görüldüğü gibi elde edilen doğru için regrasyon katsayısı oldukça yüksektir. Katı partiküller içeren çözelti için elde edilen grafikler incelendiğinde, katı partiküller içermeyen çözeltilere göre sapmalar olduğu ve bazı durumlarda eğrinin altına düştüğü görülmektedir. Mikro partiküller içeren çözeltiler ile yapılan deneysel çalışmalarda da benzer davranış belirtilmiştir. Andersen *et al.* (1989) RDE ile ilgili çalışmada dönme hızının önemli olduğunu dönme hızının 2000 dev/dak'dan küçük olduğu hızlarda deneysel akım yoğunluğunun katı partikül içermeyen çözeltinin altına düştüğünü belirtmiştir. Bu çalışmada kullanılan maksimum dönme hızı 1000 dev/dak dır. Buna rağmen bu çalışmadaki deneysel sonuçlar Andersen *et al.* (1989) ile karşılaştırıldığında, düşük hızlarda bile katı partiküller için elde edilen sonuçların saf çözeltilere göre çok düşük olmadığı ve hatta bu çalışmada kullanılan maksimum hacimsel oran için ($\phi=0.35$) belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Bunun sebebi, bu çalışmada kullanılan partiküllerin nano boyutta olması olabilir. Diğer taraftan Sonneveld *et al.* (1990) tarafından katı partiküllerin kütle transferini iyileştirmesinde belli bir kritik hacimsel oran ve dönme hızı olduğu belirtilmektedir. Ayrıca katı partiküller çözeltinin viskozitesini de etkilediği için bu etkide göz önüne alınmalıdır.



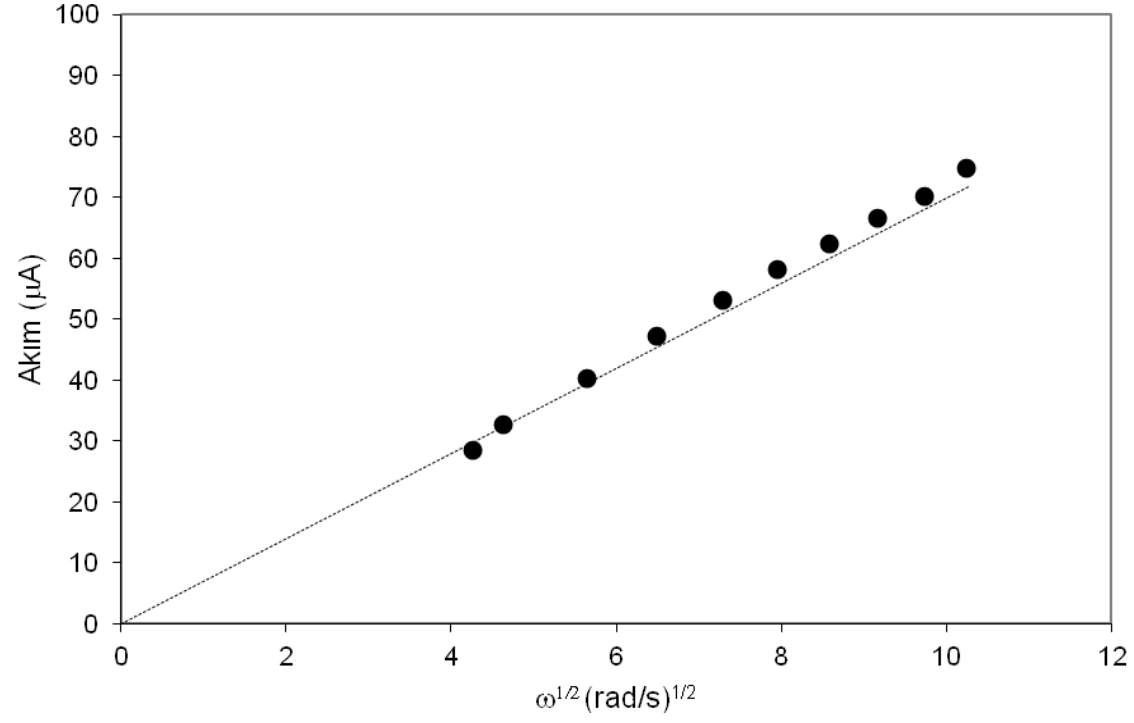
Şekil 4. 2. (a) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0$)



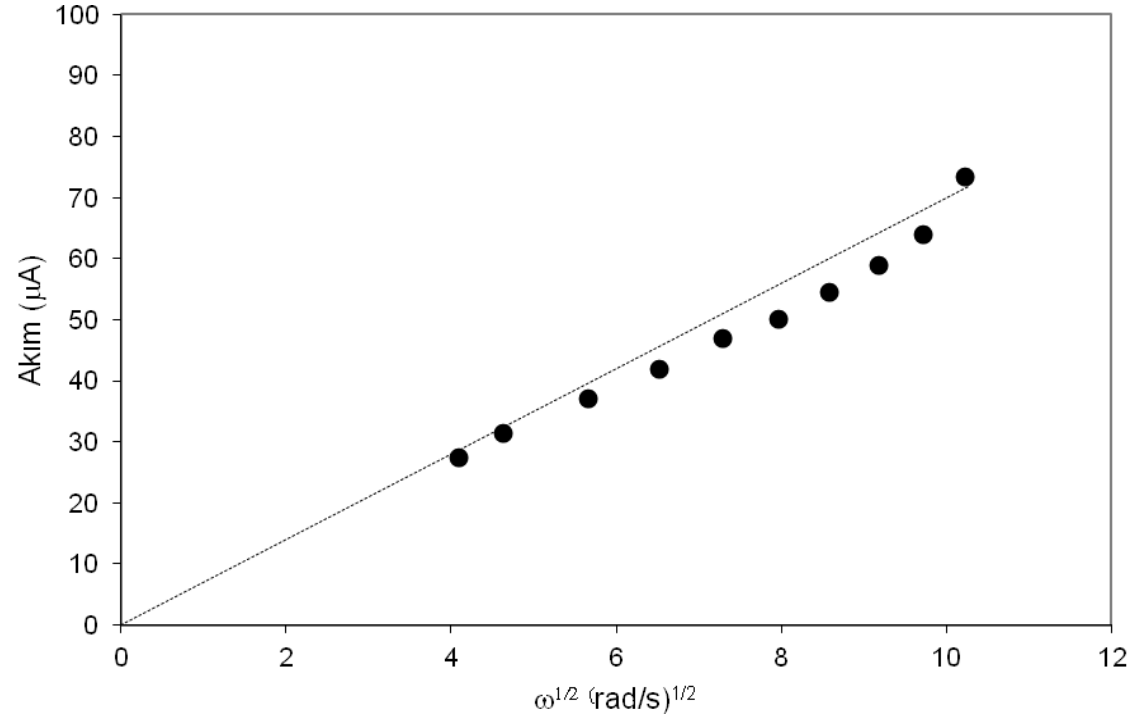
Şekil 4. 2. (b) Akım-dönme hızı değişimi ($\varnothing=0,0003949$)



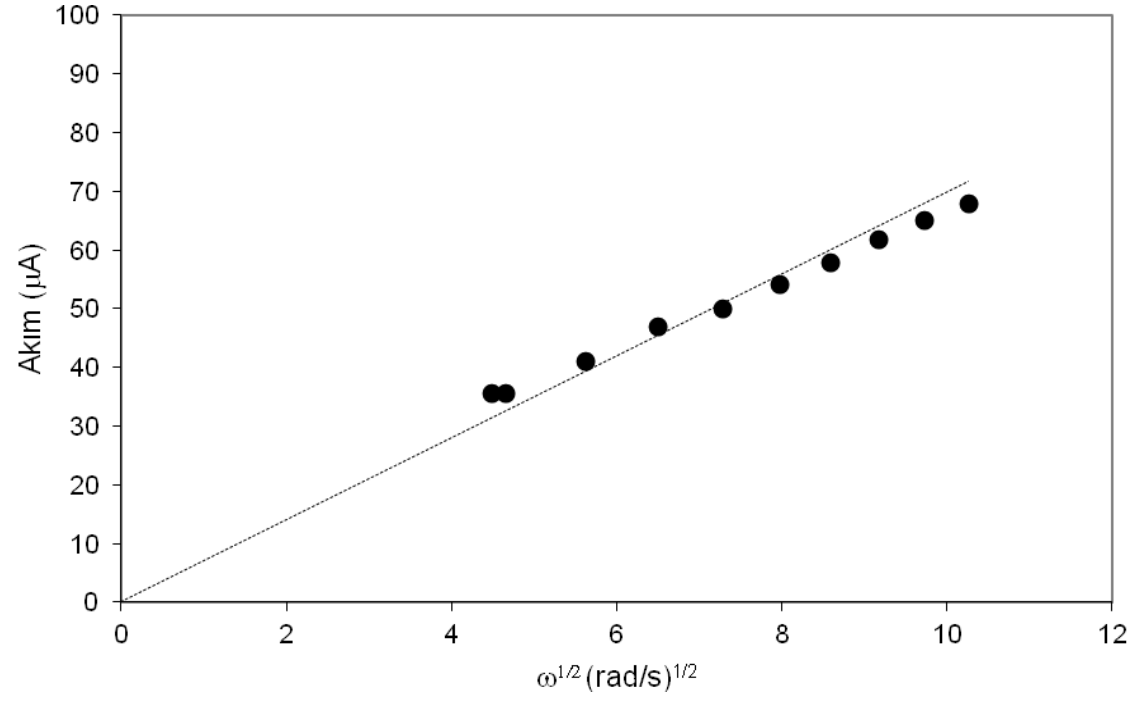
Şekil 4. 2. (c) Akım-dönme hızı değişimi ($\text{Ø}=0,001979$)



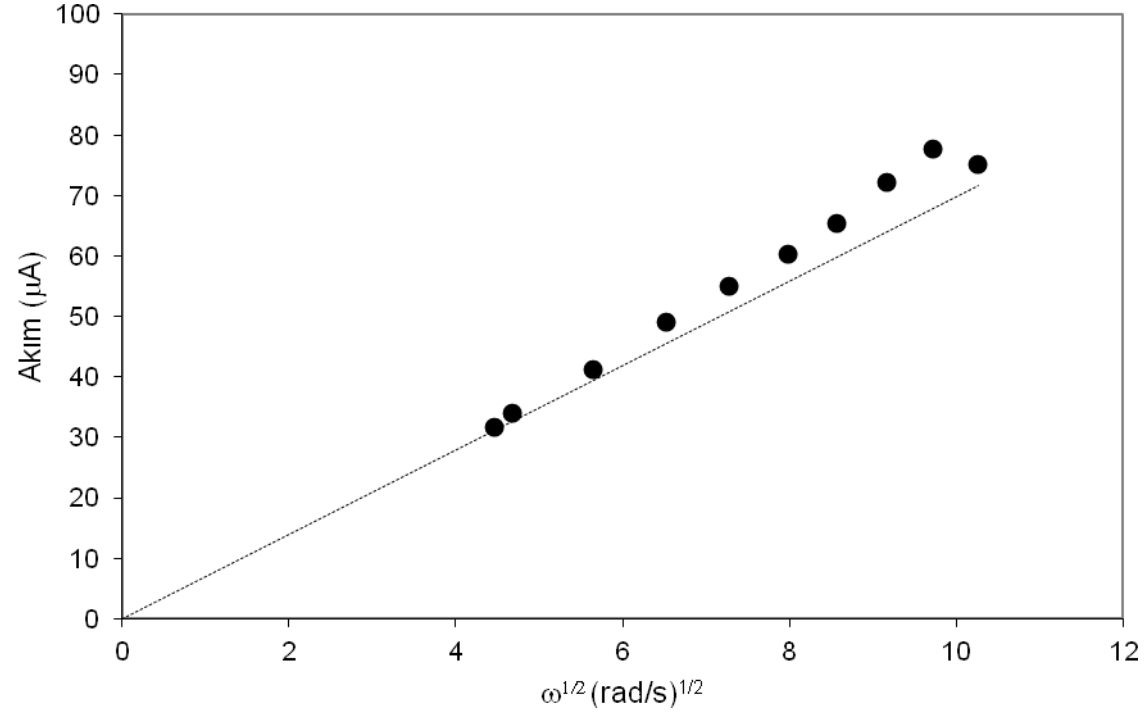
Şekil 4. 2. (d) Akım-dönme hızı değişimi ($\varnothing=0,1383$)



Şekil 4. 2. (e) Akım-dönme hızı değişimi ($\emptyset=0,1778$)



Şekil 4. 2. (f) Akım-dönme hızı değişimi ($\varnothing=0,296$)



Şekil 4. 2. (g) Akım-dönme hızı değişimi ($\varnothing=0,355$)

Şekil 4.3.'de deneysel çalışmada kullanılan tüm çözeltiler için Eş.(3.13)'den hesaplanan Sherwood sayıları Reynolds sayısının fonksiyonu olarak grafik edilmiştir. Grafikler üzerinde ayrıca regradasyon ile elde edilen deneysel değerler eğrilerde verilmiştir. Reynolds sayısının (dolayısıyla dönme hızının) artması ile Sherwood sayısı artmaktadır. Grafikler incelendiğinde Reynolds sayısının üssü 0,3982-0,5579 aralığında değişmektedir. Literatürde dönen disk sistemi için, laminer akışta, ortalama Sherwood sayısı aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Ellison and Cornet 1971).

$$\overline{Sh} = C Re^{1/2} Sc^{1/3} \quad (4.4)$$

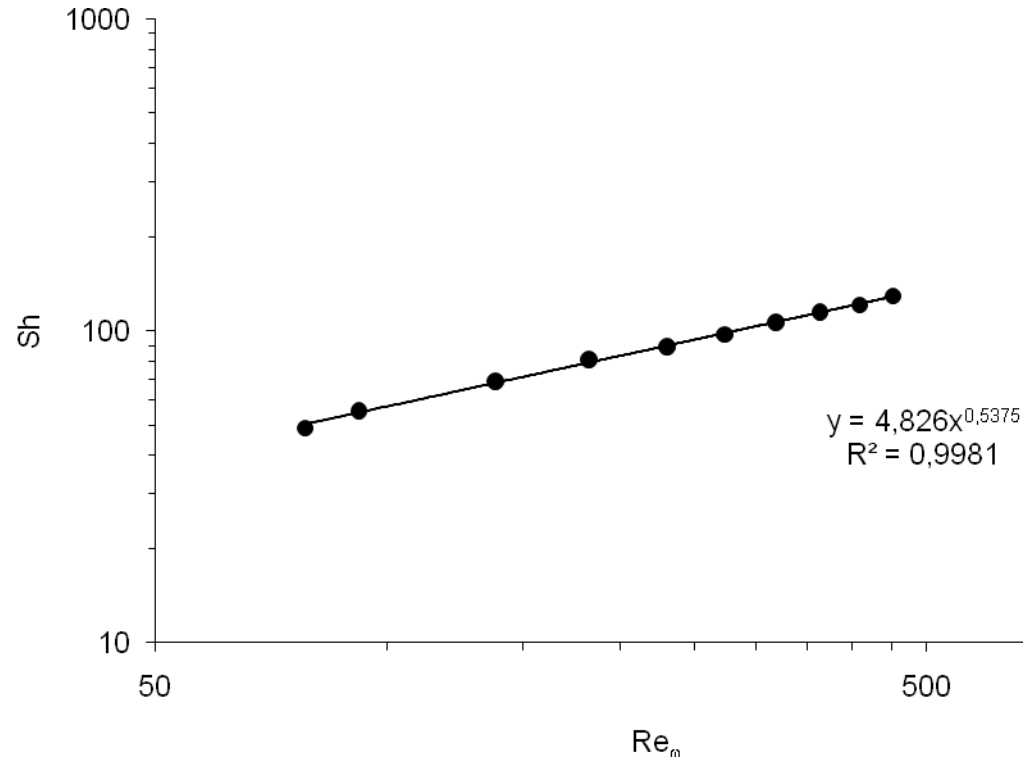
Burada C sabiti Schmidt sayısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. $Sc < 100$ için Sapparrow ve Gregg tarafından C sabitinin değeri 0,57, $Sc > 100$ için Newman tarafından C sabitinin değeri 0,582 şeklinde verilmiştir (Ellison and Cornet 1971). Yüksek Sc değerleri için bu değer Levich tarafından 0,62 olarak verilmiştir (Selman and Tobias 1978). Şekil 4. 3.'den de görüleceği gibi Reynolds sayısının üssü 0,5 değerine yakın değerlerdir. Bu çalışmada kullanılan tüm hacimsel oranlar için elde edilen Sherwood sayıları Reynolds sayısı ve hacimsel oranın fonksiyonu olarak korele edildiğinde aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$Sh = 0,5119 Re^{0,5064} \left(1 + \phi^{-0,2738} Sc^{1/3} \right) \quad r^2 = 0,9702 \quad (4.5)$$

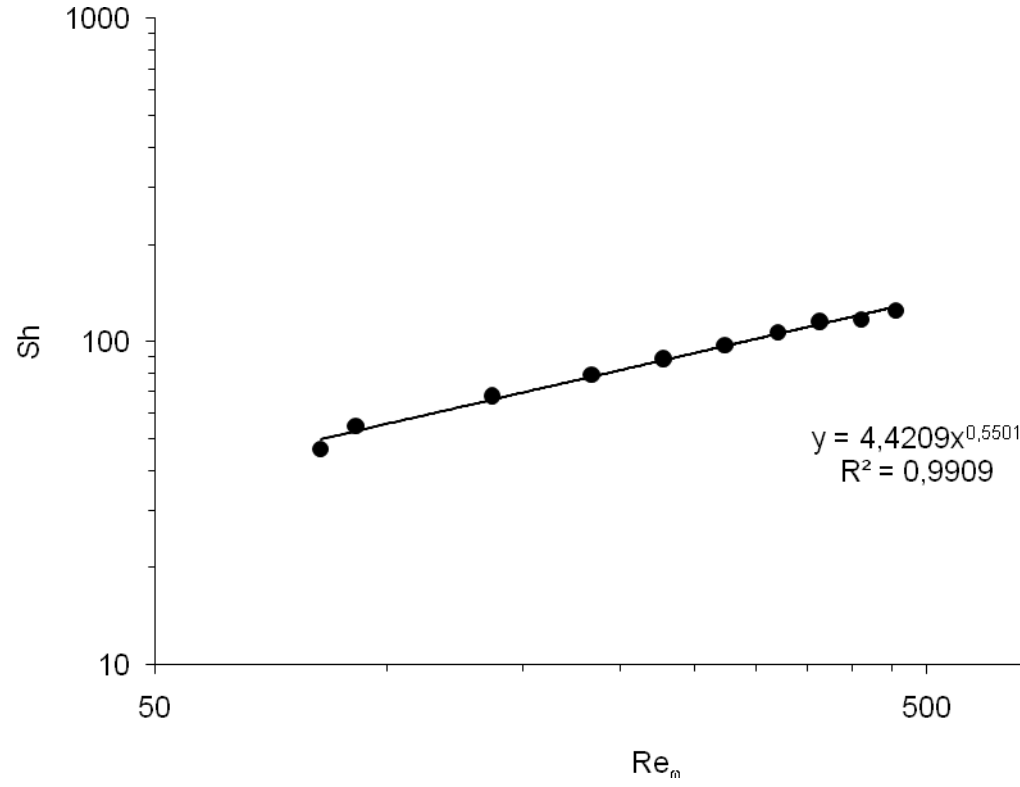
$$100 < Re < 500$$

Şekil 4.4.'de deneysel Sherwood sayıları ile Eş. (4.5)'den hesaplanan Sherwood sayıları karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi iki değer arasındaki uyum oldukça iyi görülmektedir. Diğer taraftan Eş. (4.5)'de Reynolds sayısının üssü literatürdeki değerlerle uyumaktadır. Ayrıca katı partiküller içermeyen çözelti için Eş. (4.4)'deki C sabiti değeri 0,5119 olmaktadır. Bu değer 0,62 ile karşılaştırıldığında küçük görülmektedir. 0,62 rakamı serbest disk için verilen değerdir. Daldırılmış sistemlerde kabın yan etkileri de kütle transferini etkilemektedir.

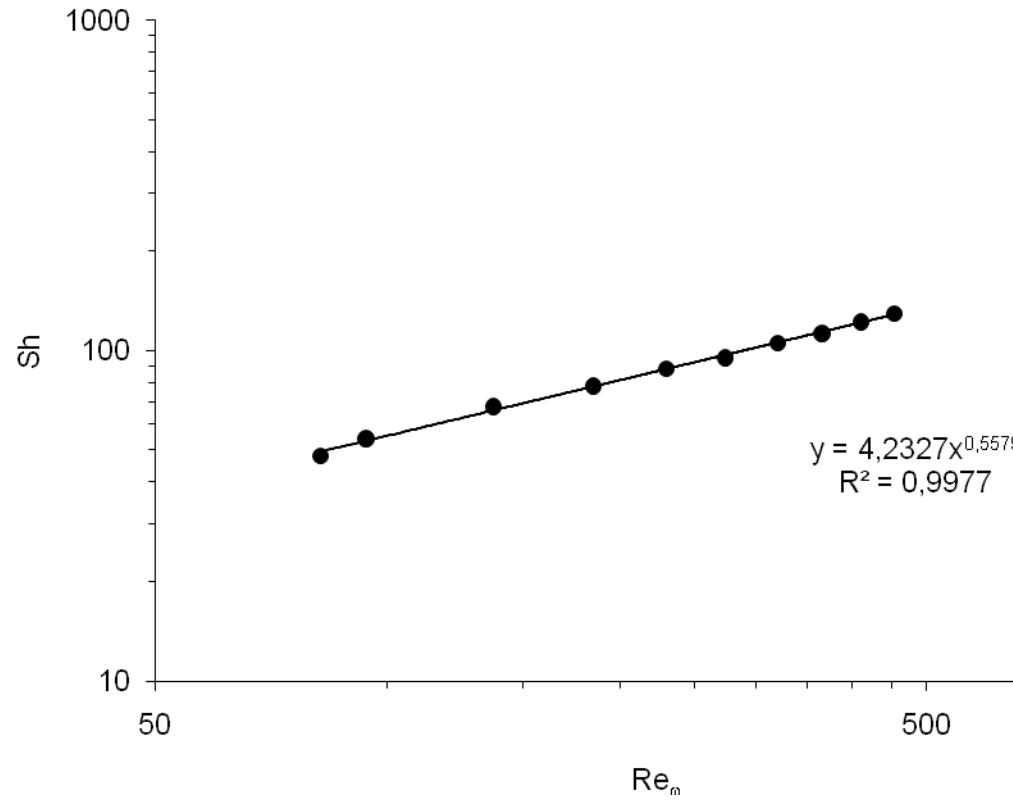
Şekil 4.5.'de farklı hacim oranları için Sherwood sayılarının katı partikül içermeyen saf çözeltili için elde edilen Sherwood sayıları oranı, Sh/Sh_o , Reynolds sayısının fonksiyonu olarak grafik edilmiştir. Bu oran 0,94 ile 1,19 aralığında değişmektedir. Bir kütle transferi iyileştirmesinden bahsedebilmek için bu oranın 1'den büyük olması gerekir. $\phi=0,35$ olduğu durum için tüm Reynolds sayıları için oran 1'in üzerindedir. Daha öncede belirtildiği gibi süspanse partiküller içeren RDE sisteminde kütle transferi iyileştirmesi için kritik bir Reynolds sayısı ve hacim oranı olduğu belirtilmiştir (Andersen *et al.* 1989; Sonneveld *et al.*1990).



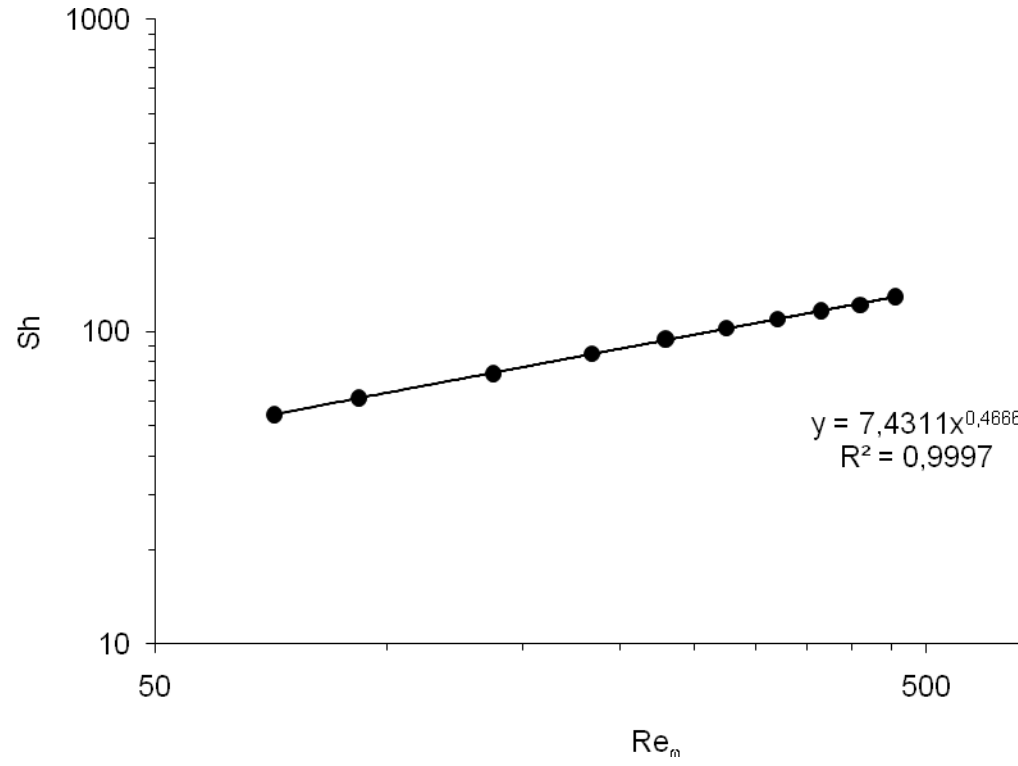
Şekil 4. 3. (a) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\phi=0$)



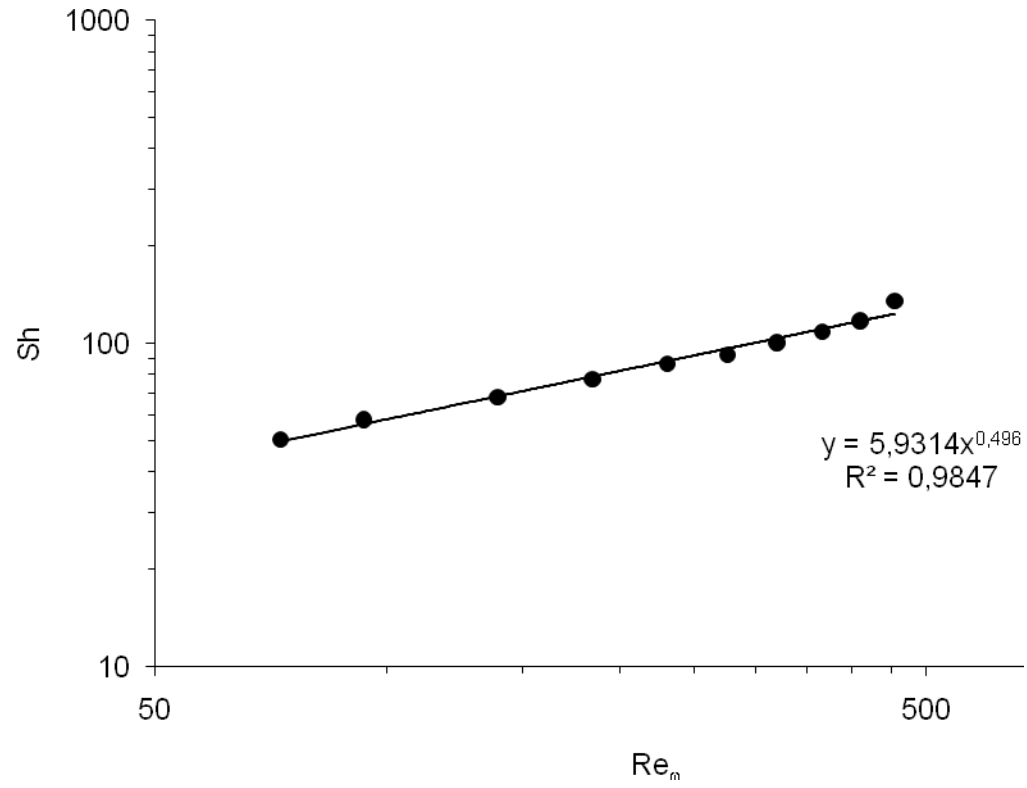
Şekil 4. 3. (b) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\varnothing=0,0003949$)



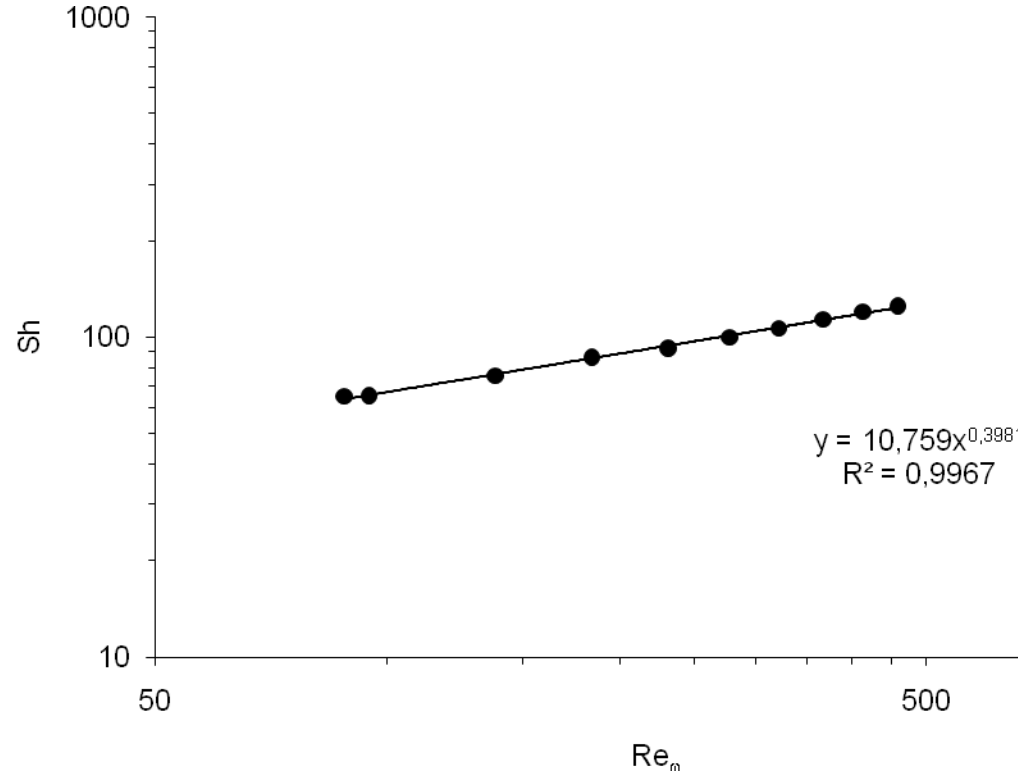
Şekil 4. 3. (c) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\varnothing=0,001979$)



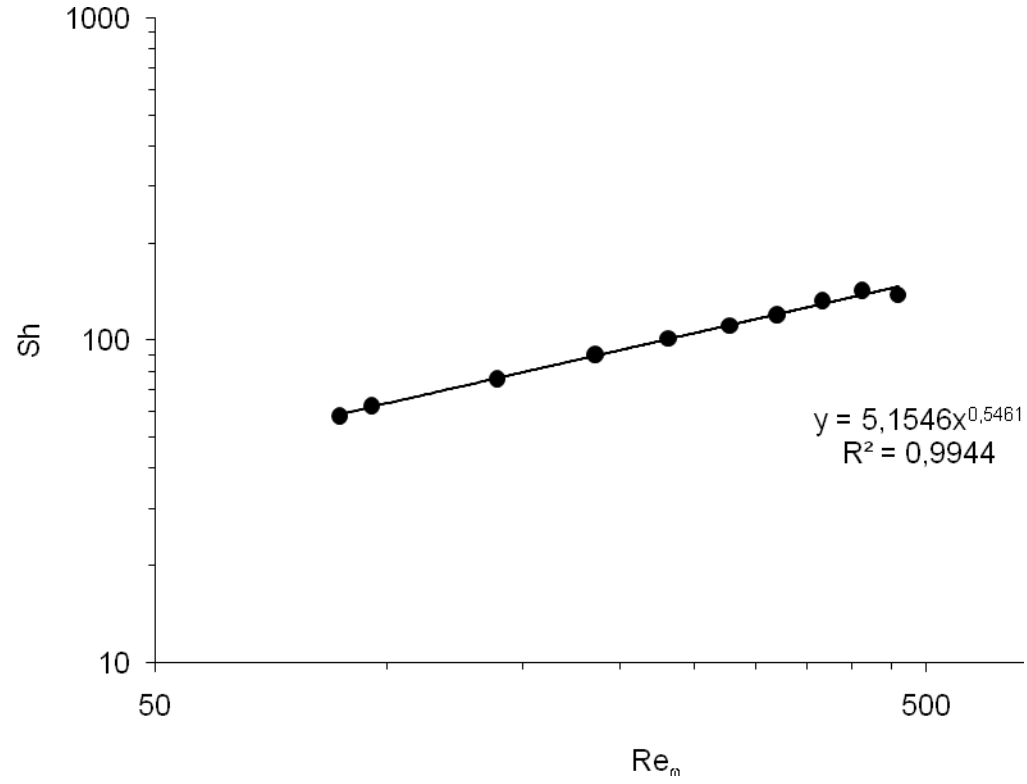
Şekil 4. 3. (d) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\varnothing=0,1383$)



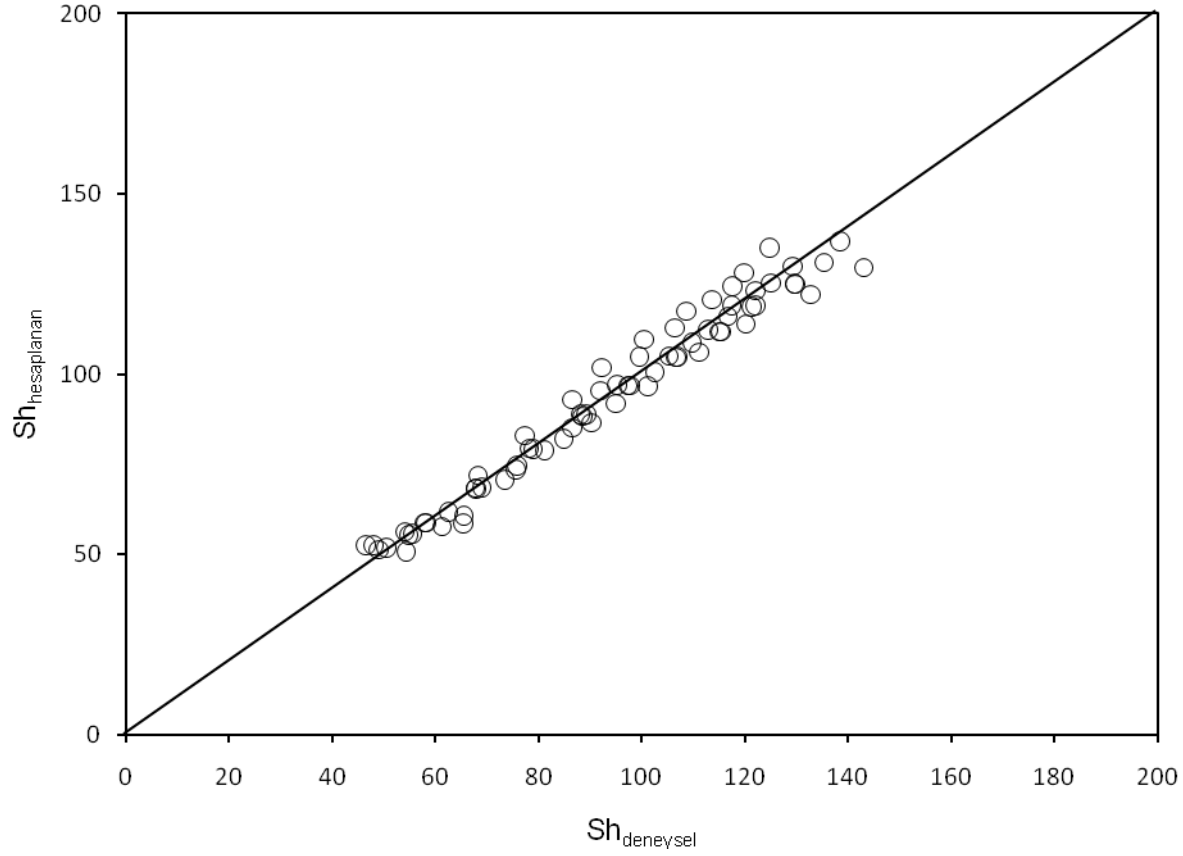
Şekil 4. 3. (e) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\emptyset=0,1778$)



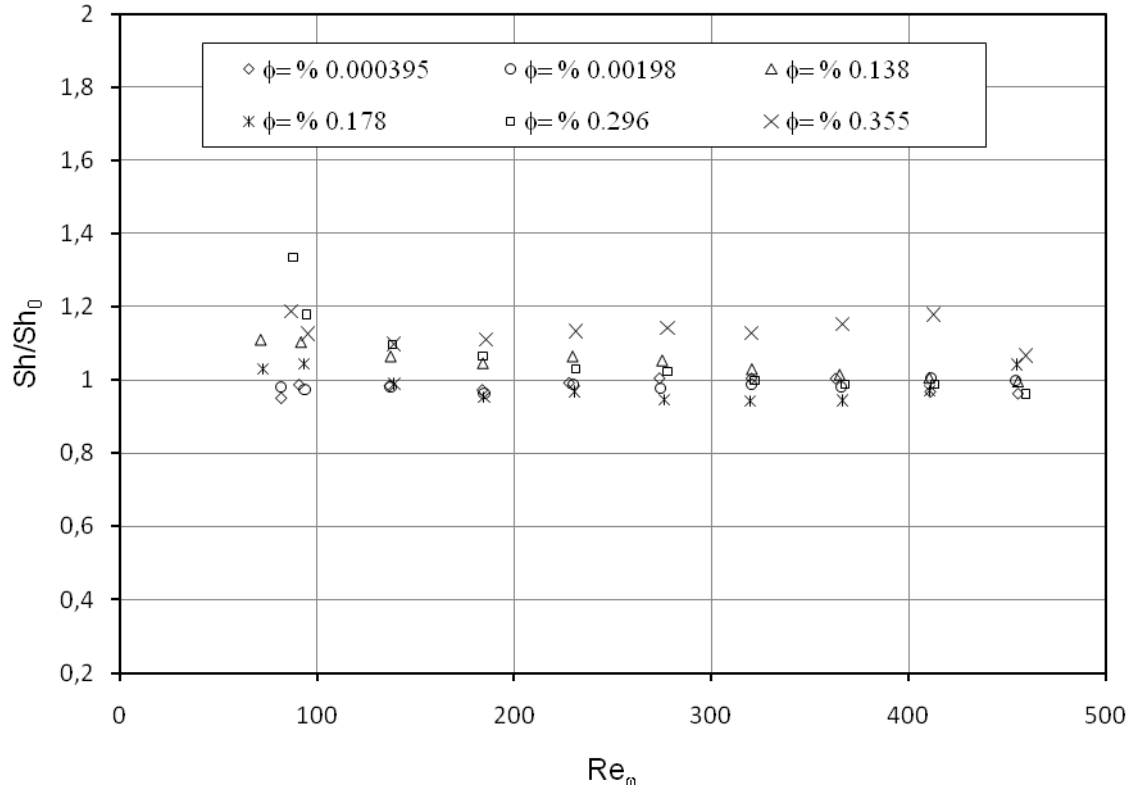
Şekil 4. 3. (f) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\varnothing=0,296$)



Şekil 4. 3. (g) Sherwood sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($\varnothing=0,355$)



Şekil 4. 4. Deneysel ve Eş.(4.4)'den hesaplanan Sherwood sayılarının karşılaştırılması



Şekil 4. 5. Sh/Sh_0 oranının Reynolds sayısı ile değişimi

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dönen disk sisteminde farklı hacimsel oranlarda (% 0-0,35) nano boyutta CuO partiküllerini içeren çözeltide kütle transferi deneysel olarak incelendi. Kütle transfer yöntemi olarak elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım tekniği kullanıldı. Dönme hızı 200-1000 rpm arasında değiştirildi. Bu dönme hızlarına karşılık gelen dönme Reynolds sayısı (aktif elektrot çapına göre tanımlanan) 100-500 rpm aralığında olup laminer akış koşullarındadır. Deneysel veriler ışığında aşağıdaki sonuçlar vurgulanabilir.

- Saf çözelti için deneysel sınırlayıcı akım değerleri Levich eşitliğine uymaktadır. Katı partiküller ilave edildiğinde bu davranıştan sapmalar görülmektedir.
- Çok düşük katı hacim oranları için kütle transferinde herhangi bir iyileşme gözlenmemektedir. Ancak yüzde hacimsel oranın 0,35 olduğu durumda kütle transferinde iyileşme gözlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan katı hacim oranları oldukça düşüktür. Sherwood sayılarının katı partikül içermeyen saf çözelti için elde edilen Sherwood sayıları oranı, Sh/Sh_0 , 0,94 ile 1,19 aralığında değişmektedir.
- Sherwood sayısı için Reynolds sayısı ve katı hacim oranının fonksiyonu olarak korele edilerek aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir.

$$Sh = 0,5119 Re^{0,5064} \left(1 + \phi\right)^{0,2738} Sc^{1/3} \quad r^2 = 0,9702$$

$$100 < Re < 500$$

Bu çalışmada yüzde katı hacim oranları 0,000395-0,355 aralığındadır. Düşük katı hacim oranlarında kütle transferinde belirgin bir iyileştirmenin olmadığı görülmüştür. Ancak katı hacim oranları arttıkça kütle transferindeki iyileşme artmakta, bu çalışmada çalışılan maksimum yüzde hacim oranı olan 0,355 için Sh/Sh_0 oranı 1,19 olmaktadır. Bundan dolayı daha yüksek katı oranlarında çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Andersen, P.K., Muller, R.H. and Tobias, C.W., 1989. The effect of suspended solids on mass transfer to a rotating disk. *Journal of the Electrochemical Society*, 136 (2), 390-399.
- Bard, A.J. and Faulkner, L.R., 1980. *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*.; Wiley: New York, USA.
- Batchelor, G.K., 1977. The effect of Brownian motion on the bulk stress in the suspension of spherical particles. *J. Fluid Mech.*, 83 97.
- Brinkman, H.C., 1952. The viscosity of concentrated suspensions and solution. *J. Chem. Phys.*, 20 571.
- Caprani, A., Deficquelmont-Loizos, M.M., Tamisier, L. and Peronneau, P., 1988. Mass transfer in laminar flow at a rotating disk electrode in suspensions of inert particles. *Journal of the Electrochemical Society*, 135 (3), 635-642.
- Deficquelmont-Loizos, M.M., Tamisier, L. and Caprani, A., 1988. Mass transfer in laminar flow at a rotating disk electrode in suspensions of inert particles. *Electrochemical Society Journal*, 135 (3), 626-634.
- Dreizin, E.L., 2008. Metal-based reactive nanomaterials. *Progress in Energy and Combustion Science*, 35 (2009), 141-167.
- Ellison, B.T. and Cornet, I., 1971. Mass transfer to a rotating disk. *Journal of the Electrochemical Society*, 118 (1), 68-72.
- Frankel, N.A. and Acrivos, A., 1967. On the viscosity of a concentrated suspension of solid spheres. *Chem. Eng. Sci.*, 22 847.
- Gherasim, I., Roy, G., Nguyen, C.T. and Vo-Ngoc, D., 2009. Experimental investigation of nanofluids in confined laminar radial flows. *International Journal of Thermal Sciences*, 48 (2009), 1486-1493.
- Graham, A.L., 1981. On the viscosity of suspension of solid spheres. *Appl. Sci. Res.*, 37 275.
- Gürmen, S. and Ebin, B., 2009. Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1. İ.T.Ü., Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi_150/d150_3138.pdf (11.07.2009).
- Heris, S.Z., Etemad, S.G. and Esfahany, M.N., 2006. Experimental investigation of oxide nanofluids laminar flow convective heat transfer. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33 (2006), 529-535.
- Holister, P., Weener, J.W., Roman, C. and Harper, T., 2003. Nanoparticles. *Cientifica*, <http://www.cientifica.com> (29.03.2010).
- Kakaç, S. and Pramuanjaroenkij, A., 2009. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52 (2009), 3187-3196.
- Masoumi, N., Sohrabi, N. and Behzadmehr, A., 2009. A new model for calculating the effective viscosity of nanofluids. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 42 (055501), 1-6.
- Ozar, B., Cetegen, B.M. and Faghri, A., 2004. Experiments on heat transfer in a thin liquid film flowing over a rotating disk. *Journal of Heat Transfer*, 126 (06269), 184-192.
- Selman, J.R. and Tobias, C.W., 1978. Mass Transfer Measurements by the Limiting-Current Technique. *Adv. In Chem. Eng.*, 10 211-229.

- Sonneveld, P.J., Visscher, W. and Barendrecht, E., 1989. The influence of suspended particles on the mass transfer at a rotating disc electrode. Non-conducting particles. *Journal of Applied Electrochemistry*, 20 (1990), 563-574.
- Wang, X. and Mujumdar, A.S., 2006. Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *International Journal of Thermal Sciences*, 46 (2007), 1-19.
- Webb, R. L., 1994. Principles of the enhanced heat transfer. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Wen, D., Lin, G., Vafaei, S. and Zhang, K., 2009. Review of nanofluids for heat transfer applications. *Particuology*, 7 (2009), 141-150.
- Wragg, A.A., 1977. Applications of the Limiting Diffusion Current Technique in Chemical Engineering. *The Chemical Engineer*, 316 39-44.
- Xuan, Y. and Roetzel, W., 2000. Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43 (2000), 3701-3707.
- Yazıcı, G., 1995. Borusal Akım Reaktöründe Kesme Gerilimi Üzerine Swirl Akımın Etkisi. Y. Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih İçer 1976 yılında Erzincan'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzincan'da tamamladıktan sonra 1995 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nü kazandı.

2000 yılında Kimya Mühendisliği Bölümü'nü bitirdikten sonra 2001 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı ve Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. 2004 yılında askerlik hizmetini tamamladıktan sonra ara verdiği yüksek lisans öğrenimine tekrar başladı.

2005 yılından itibaren gıda üretimi yapan işyerlerinde Sorumlu Yönetici olarak görev yapmaktadır. Ayrıca 2008 yılından itibaren ise LPG istasyonlarında Sorumlu Müdür olarak görev yapmaktadır.