



**KARIŞTIRMALI TANKLARDA KARIŞMA
SÜRESİNİN ELEKTROKİMYASAL SINIRLAYICI
DİFÜZYON AKIM TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ**

Özkan AYDIN

Doktora Tezi

**Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı
Prof. Dr. Sinan YAPICI**

2017

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**KARIŞTIRMALI TANKLARDA KARIŞMA SÜRESİNİN
ELEKTROKİMYASAL SINIRLAYICI DİFÜZYON AKIM
TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ**

Özkan AYDIN

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her Hakkı Saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAY FORMU

**KARIŞTIRMALI TANKLARDA KARIŞMA SÜRESİNİN
ELEKTROKİMYASAL SINIRLAYICI DİFÜZYON AKIM TEKNİĞİ İLE
BELİRLENMESİ**

Prof. Dr. Sinan YAPICI danışmanlığında, Özkan AYDIN tarafından hazırlanan bu çalışma 24/03/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı – Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı’nda doktora tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Sinan YAPICI

İmza :

Üye : Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU

İmza :

Üye : Prof. Dr. Oral LAÇİN

İmza :

Üye : Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA

İmza :

Üye : Prof. Dr. Cengiz ÖZMETİN

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 20/04/2017 tarih ve 16/23 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma BAP, projeleri kapsamında desteklenmiştir.
Proje No: 2013/343

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Doktora Tezi

KARIŞTIRMALI TANKLARDA KARIŞMA SÜRESİNİN ELEKTROKİMYASAL SINIRLAYICI DİFÜZYON AKIM TEKNİĞİ İLE BELİRLENMESİ

Özkan AYDIN

Atatürk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Sinan YAPICI

Karışma prosesleri oldukça önemlidir ve kimya, petrokimya, biyokimya, ilaç ve gıda gibi birçok endüstri dalında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Birbiri ile karışabilen sıvıların karışması, doğal konveksiyon ve moleküler difüzyonla çok yavaş yürüdüğünden, daha hızlı bir şekilde homojenlik sağlanmak üzere zorlanmış akış uygulanır. Tek faz içeren karıştırılmalı tankların karışma performansının belirlenmesinde, yaygın olarak kullanılan ana parametrelerin en önemlilerinden birisi karışma süresidir. Karışma süresi, yalnızca kantitatif olarak sıvı homojenizasyonunu karakterize eden bir parametre olmakla kalmayıp, aynı zamanda karıştırılmalı tank tasarımında, karıştırıcı tipi ve geometrisi seçiminde ve boyutlandırılmasında da önemli bir parametredir. Karışma süresini ölçmek için akış hidrodinamiğini bozmayan, karmaşık ölçüm sistemleri gerektirmeyen, uygulanması kolay, reaktör muhtevası ile etkileşime girmeyen ve radyoaktif olmayan bir ölçüm tekniğinin geliştirilmesi önemlidir. Ölçüm teknikleri dikkate alındığında, özellikle kütle transferi ölçümlerinde oldukça hassas ve güvenilir sonuçlar vermekte olan elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı tekniği (Electrochemical Limiting Diffusion Current Technique, ELDCCT) uygulanmaktadır. Bu teknik, bir katı yüzey ile elektrolit arasındaki kütle transfer hızını ölçmek için kullanılmaktadır. Bu teknikte ölçülen büyüklük, elektrot yüzeyinde reaksiyon veren belirli iyonların transferi ile geçen akımdır.

Bu çalışmada, ferri-ferro siyanür çözeltisi elektrolit, potasyum karbonat çözeltisi ise destek elektrolit çözeltisi olarak kullanıldı. Karıştırılmalı tank sisteminde, geçiş bölgesi akış rejiminde elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı tekniğinin uygulanabilirliği, daha önce karışma süresi belirlemede kullanılan iletkenlik ölçüm tekniği ile eş zamanlı deneyler yapılarak test edildi. İletkenlik ölçüm probu ile yapılan ölçümler lokal olduğu için elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı tekniğinde de lokal katot kullanılarak karışma süreleri ölçüldü. Her iki yöntemin deney sonuçlarının %95 oranında benzerlik gösterdiği belirlendi. Elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı tekniğinin kullanıldığı karışma sisteminde akış saptırıcı dört nikel panelden biri katot (1B), diğer üçü anot (3B) olarak kullanıldı. '1B+3B' elektrot sisteminde bulunan karışma süresi değerinin, tankın beş farklı bölgesi için belirlenen ortalama karışma süresi ile aynı olduğu gözlemlendi. İlave olarak, farklı viskoziteli çözeltilerde, Re sayısı ile Rushton Türbini kanat sayısı ve kanat açısının karışma süresini nasıl etkilediği test edildi. Karışma süresinin bu parametrelere bağlılığını gösteren korelasyon $t_M = 7363750 Re^{-1,3} * \theta^{-0,42} * n^{-0,59}$ şeklinde bulundu. Son olarak, farklı viskozite değerlerinde ve farklı hacimlerde çözeltiler karıştırılarak karışma süresi hesaplandı.

2017, Sayfa 161

Anahtar Kelimeler: Karıştırılmalı Tank, Karışma Süresi, Elektrokimyasal Sınırlayıcı Difüzyon Akım Tekniği, Karışma Süresi Korelasyonu

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DETERMINATION OF MIXING TIME IN MECHANICALLY STIRRED TANK USING ELECTROCHEMICAL LIMITING CURRENT DIFFUSION TECHNIQUE

Özkan AYDIN

Atatürk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

Unit Operations and Thermodynamics

Supervisor: Prof. Dr. Sinan YAPICI

Mixing processes have vital importance and are commonly used in a lot of industrial fields such as, chemical, petrochemical, biochemical, pharmaceutical, and food. Since the mixing of miscible liquids by diffusion or natural convection takes a long time, forced flow is employed for rapid mixing to reach a desired homogenization degree faster. In the determination of mixing performance of single phase mixing processes, one of the most important parameters, which are used commonly, is mixing time. Mixing time is not only to characterize quantitatively liquid homogenization, but also it is very important parameter in tank design, in the selection of stirrer type and geometry, in scaling up.

It is important to develop a technique for mixing time measurement, which does not disturb the real hydrodynamic in the vessel, does not need complex and expensive measurement system, is practice, does not react chemically with original reactor content, and does not contain radioactive material.

When taking into consideration of measurement techniques, electrochemical limiting diffusion current technique (ELDCT) provides a quite sensitive and reliable measurement especially in mass transfer operation. This technique is employed to measure mass transfer rate between a solid surface and electrolyte. The measured quantity is the current by transferring some ions reacted on the electrode surface.

In this study, ferri-ferro cyanide solution was used as electrolyte, while potassium carbonate solution was used as a supported electrolyte. In a stirred tank system and in transition region, the applicability of electrochemical limiting diffusion current technique was tested by conducting simultaneous experiments with the conductivity measurement technique previously used to determine mixing time. Since the measurements made with the conductivity measurement probe were local, the mixing times were measured by using the local cathode for electrochemical limiting diffusion current technique. The findings of two methods were found to be in 95% similarity. In the mixing system with electrochemical limiting diffusion current technique, four nickel panels were used as a flow deflector (baffle). One of these panels (1B) was cathode, while the other three ones (3B) were anodes. The value of mixing time for measurement of “1B+3B” electrode system was observed to be the same with the average mixing time for five different zones in the tank. Additionally, it has been determined how the number of Re in solutions with different viscosities, the number of Rushton Turbine wings and wing angle influence the mixing time. Correlation showing the dependency of these parameters on mixing time was found as $t_M = 7363750 Re^{-1,3} * \theta^{-0,42} * n^{-0,59}$. Finally, mixing time was calculated for solutions with different volumes and viscosities.

2017, 161 pages

Keywords: Stirred Tank, Mixing Time, Elektrochemical Limiting Current Diffusion Technique, Mixing Time Correlation

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmalarım boyunca bana yol gösteren, değerli bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, karşılaştığım problemlerde her zaman yanımda olan, insani ve ahlaki değerleri ile örnek aldığım, birlikte çalışmaktan onur duyduğum, saygı değer danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sinan YAPICI'ya en içten duygularla teşekkür ediyorum.

Tez savunma jürisi, Sayın Prof. Dr. Recep BONCUKCUOĞLU'na, Sayın Prof. Dr. Oral LAÇIN'e, Sayın Prof. Dr. Cengiz ÖZMETİN'e, Sayın Prof. Dr. Osman Nuri ŞARA'ya doktora çalışmalarımındaki katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, laboratuvarını ve zamanını benimle paylaşan çok değerli Sayın Doç. Dr. Mehmet Emin ARZUTUĞ'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan TEMUR'a teşekkür ediyorum.

Tezimde kullandığım Origin programı için tecrübe ve bilgilerini benimle paylaşan, tezimi hazırlarken bana zaman ayırıp yardımlarını esirgemeyen, her zaman herşeyi paylaşabildiğim Sayın Dr. Arzu KANCA'ya teşekkür ediyorum.

Çok değerli tecrübe ve bilgilerini paylaşan başta Kimya Mühendisliği Bölümü hocalarıma, asistan arkadaşlarıma ve bölüm çalışanlarına teşekkür ediyorum.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen, bu günlere gelmem için şüphesiz ki üzerimde en büyük emeğe ve özveriye sahip olan, emekleri hiçbir şey ile ödenemeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ediyorum.

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi 2013/343 nolu Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

Özkan AYDIN

Nisan 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER	5
2.1. Karışma Prosesi	5
2.1.1. Karışma süresi	6
2.2. Karışma Süresi Ölçüm Teknikleri	7
2.2.1. Renklendirme veya renksizleştirme tekniği	8
2.2.1.a. Boyar madde ilavesi tekniği	8
2.2.1.b. Asit - baz nötralizasyon reaksiyonu tekniği	9
2.2.2. Elektriksel iletkenlik tekniği	10
2.2.3. Termal sinyal tekniği	14
2.2.4. Planar Laser - Induced Fluorescence (PLIF) tekniği	15
2.2.5. Partikül Hız Görüntüleme (PIV) tekniği	16
2.2.6. Elektriksel direnç tomografi tekniği	18
2.2.7. Partikül görüntüleme ve ölçme tekniği	19
2.3. Karışma Süresini Etkileyen Parametreler	20
2.3.1. Akış saptırıcılar	21
2.3.1.a. Akış saptırıcı tasarımı	23
2.3.2. Karıştırıcı tipi	25
2.3.3. Karıştırıcının konumu	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM	31
3.1. Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar	31
3.2. Kullanılan Elektrolit Çözeltiler ve Özellikleri	33
3.3. Elektrokimyasal Sınırlayıcı Difüzyon Akımı Tekniği	35

3.3.1. Dikkat edilmesi gereken hususlar.....	44
3.4. Karıştırma Sistemi	46
3.5. Tank Konfigürasyonu ve ELDCT'nin Uygulanması	50
3.6. Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi.....	55
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	58
4.1. Elektrolit Çözeltisinin Analizi.....	58
4.2. Elektrolit Çözeltilerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	59
4.3. Farklı Viskozite ve Yoğunluklu Çözeltiler İçin Re Aralığının Belirlenmesi	59
4.4. Elektrolit Konsantrasyonunun Belirlenmesi	60
4.5. Kullanılan Elektrolit Çözeltilerin Akım-Voltaj Platoları	62
4.6. ELDCT ile Karışma Süresinin Belirlenmesi	68
4.7. Kullanılan Referans Elektrotun Konumunun Belirlenmesi.....	74
4.8. ELDCT ve İletkenlik Ölçümü Verilerinin Karşılaştırılması	77
4.8.1. Gliserinsiz çözelti kullanılarak 1cm çaplı lokal katot ile ELDCT ve iletkenlik ölçümü verilerinin karşılaştırılması	77
4.9. 1 cm Çaplı Lokal Katot Beş Farklı Konumda Yerleştirilerek Farklı Viskozite Değerlerindeki Çözeltiler için ELDCT ile Karışma Süresinin Belirlenmesi.....	91
4.9.1. 1 cm çaplı lokal katot beş farklı konumda yerleştirilerek Re1 değerinde %30 gliserinli çözelti için ELDCT ile karışma süresinin belirlenmesi	92
4.9.2. 1 cm çaplı lokal katot beş farklı konumda yerleştirilerek re1 değerinde %50 gliserinli çözelti için ELDCT ile karışma süresinin belirlenmesi	97
4.10. Gliserinsiz Çözeltide ELDCT İle Kanat Sayısı 6 Olan 90°, 60°, 45° ve 30° Kanat Açılı Rushton Türbinleri Kullanılarak Farklı Karıştırma Hızlarında Karışma Süresinin Belirlenmesi	102
4.11. Gliserinsiz Çözeltide ELDCT ile Kanat Açısı 90° olan 3, 4, 5 ve 6 Kanat Sayılı Rushton Türbinleri Kullanılarak Farklı Karıştırma Hızlarında Karışma Süresinin Belirlenmesi	108
4.12. %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) Gliserinli Çözeltide ELDCT ile Kanat Sayısı 6 olan 90°, 60°, 45° ve 30° Kanat Açılı Rushton Türbinleri Kullanılarak Farklı Karıştırma Hızlarında Karışma Süresinin Belirlenmesi ..	114

4.13. %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) Gliserinli Çözeltide ELDCT İle Kanat Açısı 90° olan 3, 4, 5 ve 6 Kanat Sayılı Rushton Türbinleri Kullanılarak Farklı Karıştırma Hızlarında Karışma Süresinin Belirlenmesi ..	120
4.14. Farklı Hacim ve Konsantrasyonlarda Gliserinli Çözeltilerin Karıştırılması İle Durumunda Karışma Süresinin Eş Zamanlı Olarak ELDCT ve İletkenlik Ölçerle Belirlenmesi	126
4.15. Deneysel Verilerin İstatiksel Olarak Değerlendirilmesi	141
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	145
5.1. Elektrolit Konsantrasyonunun Belirlenmesi	145
5.2. Kullanılan Elektrolit Çözeltilerin Akım-Voltaj Platoları	145
5.3. ELDCT ile Karışma Süresinin Belirlenmesi	146
5.4. Kullanılan Referans Elektrotun Konumunun Belirlenmesi.....	147
5.5. ELDCT ve İletkenlik Ölçüm Tekniği Verilerinin Karşılaştırılması.....	149
5.6. ELDCT ile 1B+3B Elektrot Sistemi ve 1 cm Çaplı Lokal Katot Elektrot Sistemi Verilerinin Karşılaştırılması	150
5.7. Beş Farklı Konumda Yerleştirilen 1 cm Çaplı Lokal Katot ve iletkenlik Ölçer ile Alınan Veriler İçin Konum Değerlendirmesi	151
5.8. Rushton Türbini Kanat Açısı ve Kanat Sayısının Karışma Süresi Üzerine Etkisi.....	153
5.9. Farklı Hacim ve Konsantrasyonlarda Gliserinli Çözeltilerin Karıştırılması İle Durumunda Karışma Süresinin Eş Zamanlı Olarak ELDCT ve İletkenlik Ölçerle Belirlenmesi.....	154
5.10. Öneriler.....	155
KAYNAKLAR	156
ÖZGEÇMİŞ	162

SİMGELER DİZİNİ

Simgeler

A	Elektrot alanı, m^2
C	Pervanenin tank tabanından yüksekliği, m
C_A	A türünün konsantrasyonu, mol/m^3
C_{Ab}	Aktif türün çözelti içindeki yığılı konsantrasyonu, mol/m^3
C_{As}	Aktif türün elektrot yüzeyindeki konsantrasyon, mol/m^3
C_{b1}	Başlangıç çözelti konsantrasyonu (mol/L)
C_{b2}	Konsantre çözelti ilave edildikten sonra çözelti konsantrasyonu (mol/L)
D_{AB}	A türünün B çözücüsü içindeki difüzyon katsayısı, m^2/s
D_a	Pervane (çalkalayıcı çapı), m
D_d	Rushton türbini disk çapı, m
D_t	Tank çapı, m
F	Faraday sabiti, $96485\ C\ mol^{-1}$
f_t	Boyutsuz karışma faktörü
H	Tank yüksekliği, m
I	Akım
I_L	Sınırlayıcı akım, A
i	Elektrik akımı, A
J	Akış saptırıcı genişliği, m
k	Kütle transfer katsayısı, m/s
L	Rushton türbini kanatçıkların yatay genişliği, m
n	Kanat sayısı
N	Dönme hızı, devir/s
N_{Re}	Reynolds Sayısı (Geankoplis formatı)
N_A	Çözeltiden elektrot yüzeyine transfer edilen iyon miktarı (A akısı)
P	Güç (J/s ya da W)
Re	Reynolds Sayısı
t_M	Karışma süresi (s)
V	Voltaj

v/v	Hacimsel oran
v_y	Akışkanın y yönünde yığın hızı, m/s
V_1	Tank içerisindeki çözeltinin hacmi (ml)
V_2	İlave edilen çözeltinin hacmi (ml)
W	Rushton türbini kanatçıkların dikey genişliği, m
w/w	Ağırlıkça oran
z	Transfer edilen elektron sayısı
ρ	Akışkan yoğunluğu, kg/m ³
μ	Viskozite, (cP)
μ_1	Tank içerisindeki çözeltinin viskozitesi (cP)
μ_2	İlave edilen çözeltinin viskozitesi (cP)
$(\partial C_A / \partial y)$	Konsantrasyon gradienti, (mol/ m ³)/m
$(\partial \theta / \partial y)$	Elektrik potansiyel gradienti, V/m
(δ_N)	Nerst Difüzyon Tabakası
θ	Kanat açısı

Kısaltmalar

CA	Choronoamperometry
CE	Counter (karşı) Electrode (Anot)
ELDCT	Elektrokimyasal Sınırlayıcı Difüzyon Akımı Tekniği
ERT	Elektriksel Direnç Tomografi
Konst.	Konsantrasyon
LSV	Linear Sweep Voltammetry
PLIF	Planar Laser - Induced Fluorescence
PIV	Partikül Hız Görüntüleme
RE	Reference Elektrode (Referans Elektrot)
RT	Rushton Türbini
WE	Working (çalışma) Electrode (Katot)
(1B+3B)	Katot olarak 2 mm kalınlığında, 12,5 mm genişliğinde ve boyu 150 mm olan nikelden yapılmış bir akış saptırıcı kullanılmıştır. Anot olarak ise katotla aynı boyutlara sahip diğer 3 akış saptırıcı kullanılmıştır.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. (a) İz yapıcı kırmızı boya eklenmesi ve (b) Brom fenol mavisi kullanılarak asit-baz renksizleşmesidir	10
Şekil 2.2. Normalize edilmiş iletkenlik (fiziksel teknikle ve 200 rpm de)	11
Şekil 2.3. Normalize edilmiş iletkenlik (kimyasal teknikle ve 200 rpm de).....	12
Şekil 2.4. İletkenlik ölçüm problemleri yardımıyla karışma süresi ölçüm sistemi.....	13
Şekil 2.5. Deneysel ve simüle edilmiş boyutsuz konsantrasyonun zamanla değişimi. Semboller: deneysel veriler, çizgiler: simüle edilmiş sonuçlar. a) 1. Prob, b) 2. Prob, c) 3. Prob ve d) 4. Prob.....	14
Şekil 2.6. Yaygın olarak kullanılan iki tip lazer tabakasının şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.7. 325 rpm deki Rushton türbünü ile kaydedilen kaba görüntüler ($t=2s$, $t=5s$ ve $t=20s$).....	16
Şekil 2.8. Partikül yer değiştirmesinin belirlenmesi ve bunun gerçek akışkan hızı ile ilişkisi.	17
Şekil 2.9. Bir PIV sistemi için belli başlı işlemler	17
Şekil 2.10. ERT sistemi.	19
Şekil 2.11. Akış saptırıcı olmayan silindirik bir tank içinde merkeze yerleştirilmiş bir karıştırıcı	22
Şekil 2.12. Akış saptırıcılı silindirik bir tank içinde karışma	23
Şekil 2.13. Akış saptırıcılı tanklarda vorteks.	24
Şekil 2.14. Standart akış saptırıcı tasarımı.	25
Şekil 2.15. Eksenel akış pervaneleri.	26
Şekil 2.16. Radyal akış pervaneleri.....	27
Şekil 2.17. Hidrofil pervanelerden bazıları.....	28
Şekil 2.18. Hidrofil pervaneleri	29
Şekil 2.19. Açılı konumlandırma.	29
Şekil 2.20. Karıştırıcının eksantrik olarak yerleştirilmesi	30
Şekil 3.1. Altı kanatlı yatayla 30° , 45° , 60° ve 90° açılı Rushton Türbinleri.	31
Şekil 3.2. 90° açılı 3,4,5 ve 6 kanatlı Rushton Türbinleri.....	32
Şekil 3.3. İletkenlik ölçmek için kullanılan prob.	32

Şekil 3.4. Nikelden yapılmış 1 cm çaplı lokal katot.	33
Şekil 3.5. Sınırlayıcı akımı gösteren tipik akım-potansiyel eğrisi.	37
Şekil 3.6. Elektrot yüzeyinde reaksiyona giren bir maddenin şematik gösterimi (Nernst Difüzyon Tabakası).....	38
Şekil 3.7. Zıt ve eşit yüklü iki iletken levha arasında oluşan düzgün elektriksel alan....	39
Şekil 3.8. Kritik akış hızı.	43
Şekil 3.9. Standart tanklarda karışabilen sıvıların karıştırılması.	47
Şekil 3.10. Newtonian akışkanlarda farklı türbin karıştırıcı tasarımları için güç sayısı-Reynold sayısı korelasyonları.....	49
Şekil 3.11. Akış saptırıcılı panele sahip olan bir tank içinde türbin kullanarak karışabilir sıvılar için karışma süresi korelasyonu (düz bir türbin, diskli türbin ve eğik kanat türbin).	49
Şekil 3.12. Deney sistemi.	54
Şekil 3.13. Örnek Boltzmann eğrisi.....	56
Şekil 3.14. Örnek Boltzmann eğrileri	57
Şekil 4.1. Kalibrasyon eğrisi.....	58
Şekil 4.2. 100 rpm karıştırma hızında, gliserinsiz, 1, 2, 3, 4 ve 5. konsantrasyonlardaki ferri–ferrosiyanür çözeltileri için $I-V$ değerleri.....	62
Şekil 4.3. Gliserinsiz çözelti ile 1. konsantrasyon değerindeki ferri–ferrosiyanür çözeltisinde durgun–800 rpm karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları.	65
Şekil 4.4. %20 (w/w) gliserinli, 1. konsantrasyon değerindeki ferri–ferrosiyanür çözeltisinde 60–280 rpm arasında farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları.	65
Şekil 4.5. Sabit 100 rpm karıştırma hızında, %20 (w/w) gliserinli, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyonlardaki ferri–ferrosiyanür çözeltileri için sınırlayıcı akım platoları.	66
Şekil 4.6. %40 (w/w) gliserinli, 1. konsantrasyon değerindeki ferri–ferrosiyanür çözeltisinde 60–560 rpm arasında farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları.	66

Şekil 4.7. Sabit 100 rpm karıştırma hızında, %40 (w/w) gliserinli çözelti ile 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyonlardaki ferri–ferrosiyanür çözeltileri için sınırlayıcı akım platoları.	67
Şekil 4.8. %50 (w/w) gliserinli, 1. konsantrasyon değerindeki ferri–ferrosiyanür çözeltisinde, 60–890 rpm arasında farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları.	67
Şekil 4.9. 100 rpm karıştırma hızında, %50 (w/w) gliserinli çözelti ile 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyonlardaki ferri–ferrosiyanür çözeltileri için sınırlayıcı akım platoları.	68
Şekil 4.10. Gliserinsiz çözelti ile 30° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile 60 rpm’de karışma süresinin ölçülmesi	71
Şekil 4.11. Gliserinsiz çözelti ile 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile 60 rpm de karışma süresinin ölçülmesi	72
Şekil 4.12. Farklı üç konuma yerleştirilen RE	75
Şekil 4.13.a. Referans elektrodun konumunun belirlenmesi	76
Şekil 4.13.b. Referans elektrodun konumunun belirlenmesi	77
Şekil 4.14. 1 cm lokal katot ve iletkenlik probunun yerleştirildiği farklı beş konum.....	79
Şekil 4.15. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 1’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler	80
Şekil 4.16. Gliserinsiz çözelti ile İletkenlik ölçer konum 1’e yerleştirilerek alınan ölçümler.....	81
Şekil 4.17. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 2’de yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler	82
Şekil 4.18. Gliserinsiz çözelti ile iletkenlik ölçer konum 2’de yerleştirilerek alınan ölçümler.....	83
Şekil 4.19. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 3’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler	84
Şekil 4.20. Gliserinsiz çözelti ile iletkenlik ölçer konum 3’e yerleştirilerek alınan ölçümler.....	85
Şekil 4.21. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 4’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler	86

Şekil 4.22. Gliserinsiz çözelti ile iletkenlik ölçer konum 4'e yerleştirilerek alınan ölçümler.....	86
Şekil 4.23. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 5'e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler.....	87
Şekil 4.24. Gliserinsiz çözelti ile iletkenlik ölçer konum 5'e yerleştirilerek alınan ölçümler.....	88
Şekil 4.25. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2'de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot ve iletkenlik ölçer prob kullanılarak, Re1 değerinde ELDCT ve iletkenlik ölçüm yöntemi ile ölçülen karışma süresi değerleri	89
Şekil 4.26. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 1'de ELDCT ile alınan ölçümler.....	93
Şekil 4.27. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 2'de ELDCT ile alınan ölçümler.....	94
Şekil 4.28. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 3'de ELDCT ile alınan ölçümler.....	94
Şekil 4.29. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 4'de ELDCT ile alınan ölçümler.....	95
Şekil 4.30. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 5'de ELDCT ile alınan ölçümler.....	95
Şekil 4.31. %30 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2'de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri	96
Şekil 4.32. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 1'de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri.....	98
Şekil 4.33. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 2'de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri	98
Şekil 4.34. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 3'de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri	99

Şekil 4.35. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 4’de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri	99
Şekil 4.36. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 5’de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri	100
Şekil 4.37. %50 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri	101
Şekil 4.38. Gliserinsiz, %30 (w/w) gliserinli ve %50 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri	102
Şekil 4.39. Gliserinsiz çözelti ile 90° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi	104
Şekil 4.40. Gliserinsiz çözelti ile 60° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi	105
Şekil 4.41. Gliserinsiz çözelti ile 45° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi	106
Şekil 4.42. Gliserinsiz çözelti ile 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi	107
Şekil 4.43. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbinleri için Re–karışma süresi değişimi.....	108
Şekil 4.44. Gliserinsiz çözelti ile 3 kanatlı, 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi.....	110
Şekil 4.45. Gliserinsiz çözelti ile 4 kanatlı, 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi.....	111
Şekil 4.46. Gliserinsiz çözelti ile 5 kanatlı, 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi.....	112

Şekil 4.47. Gliserinsiz çözelti ile 6 kanatlı, 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi.....	113
Şekil 4.48. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2 de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton Türbinleri için Re–karışma süresi değerleri	114
Şekil 4.49. %10 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi.....	116
Şekil 4.50. %20 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re - karışma süresi değişimi.....	117
Şekil 4.51. %30 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi	118
Şekil 4.52. %40 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi	119
Şekil 4.53. %50 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re - karışma süresi değişimi	120
Şekil 4.54. %10 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi	122
Şekil 4.55. %20 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm	

çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi	123
Şekil 4.56. %30 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi	124
Şekil 4.57. %40 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi	125
Şekil 4.58. %50 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi	126
Şekil 4.59. Farklı hacim ve konsantrasyonlarda gliserinli çözeltilerin karıştırılması için 1 cm çaplı lokal katot ve iletkenlik ölçerin tank içerisinde konumlandırılması.....	127
Şekil 4.60. İlave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w) olduğu durumda ilave edilen çözelti hacmi 260 ml, 520 ml ve 780 ml için tank içindeki gliserin konsantrasyonuna göre karışma süresi değişimi	132
Şekil 4.61. İlave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu %30 (w/w) olduğu durumda ilave edilen çözelti hacmi 260 ml, 520 ml ve 780 ml için tank içindeki gliserin konsantrasyonuna göre karışma süresi değişimi	133
Şekil 4.62. İlave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu %50 (w/w) olduğu durumda ilave edilen çözelti hacmi 260 ml, 520 ml ve 780 ml için tank içindeki gliserin konsantrasyonuna göre karışma süresi değişimi	134
Şekil 4.63. Tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonu (%10 (w/w)) sabit olduğu durumda ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresi değişimi.....	135
Şekil 4.64. Tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonu (%30 (w/w)) sabit olduğu durumda ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30	

(w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresi değişimi.....	136
Şekil 4.65. Tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonu (%50 (w/w)) sabit olduğu durumda ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresi değişimi.....	137
Şekil 4.66. Tank içerisine ilave edilen çözelti hacmi 260 ml (%10 (v/v)) sabit olduğu durumda tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi.	138
Şekil 4.67. Tank içerisine ilave edilen çözelti hacmi 520 ml (%20 (v/v)) sabit olduğu durumda tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi.....	139
Şekil 4.68. Tank içerisine ilave edilen çözelti hacmi 780 ml (%30 (v/v)) sabit olduğu durumda tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi.....	140
Şekil 4.69. Tahmini karışma sürelerine karşı deneysel karışma süreleri.....	143

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan elektrolit çözeltileri hazırlamak için kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri.....	34
Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan farklı viskoziteli elektrolit çözeltileri ve bileşimleri.....	34
Çizelge 4.1. Farklı gliserin içerikli elektrolit çözeltilerinin yoğunluk ve viskozite değerleri.....	59
Çizelge 4.2. Farklı gliserin içerikli elektrolit çözeltileri için karıştırma hızı değerleri.....	60
Çizelge 4.3. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot ve iletkenlik ölçer prob kullanılarak ELDCT ve iletkenlik ölçüm yöntemi ile ölçülen karışma süresi değerleri.....	89
Çizelge 4.4. %30 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri	96
Çizelge 4.5. %50 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri.	100
Çizelge 4.6. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2 de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbinleri için Re - karışma süresi değerleri.	107
Çizelge 4.7. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton Türbinleri için Re–karışma süresi değerleri.	113
Çizelge 4.8. %10 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2 de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak, 90°, 60°, 45° ve 30° kanat	

açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbinleri için Re–karışma süresi değerleri.	115
Çizelge 4.9. %20 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re - karışma süresi değerleri.	116
Çizelge 4.10. %30 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re - karışma süresi değerleri.	117
Çizelge 4.11. %40 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri.	118
Çizelge 4.12. %50 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri.	119
Çizelge 4.13. %10 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2 de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri.	121
Çizelge 4.14. %20 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri.	122
Çizelge 4.15. %30 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri.	123
Çizelge 4.16. %40 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm	

çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri	124
Çizelge 4.17. %50 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri.	125
Çizelge 4.18. Farklı hacim ve konsantrasyonlarda gliserinli çözeltilerin karıştırılması için deney planı	130
Çizelge 4.19. Farklı hacim ve konsantrasyonlarda gliserinli çözeltilerin karıştırılması ile deneysel olarak elde edilen karışma süresi değerleri.	131
Çizelge 4.20. Gliserinsiz, %30 ve %50 Gliserinli çözeltilerde lokal katot ile alınan lokal beş karışma süresi ortalama değeri ve $1B+3B$ elektrot sistemi ile alınan karışma süresi ($t_M(s)$) değerleri	150

1. GİRİŞ

Karışma prosesleri, kimya endüstrisinin temelini oluşturan önemli proseslerden biridir. Karıştırma işlemleri, petrokimya, biyokimya, kimya, farmakoloji, içme suyu ve atıksu (çevre) işlemleri, polimer teknolojileri, madencilik prosesleri ve gıda gibi birçok endüstri dalında ve endüstriyel malzeme üretimi alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yüzden karıştırma sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için, reaktörlerin ve ekipmanların tasarımı, büyük bir önem arz etmektedir. Eğer istenilen ürün verimi, kalitesi ve maliyeti için gerekli karışma sistemi ölçeklendirilirken hata yapılırsa ya da yanlış bir ölçeklendirme yapılırsa maliyetler önemli bir ölçüde artabilir ve hatta maliyetlerin artması ya da ürünün istenilen sürede yetiştirilememesi, pazar kaybına neden olabilmektedir.

Yapılan araştırmalara göre; yetersiz karışmadan kaynaklanan maliyetlerin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Tatterson (1991)'a göre yalnızca Amerika da, karışmadan kaynaklanan enerji kayıplarının 1 yılda yaklaşık 1-20 milyar \$ olduğu tahmin edilmektedir (Bliem *et al.* 2014).

Karışma, genellikle bir akışkan ve toz halindeki bir katının veya ikisinde akışkan olan iki veya daha fazla fazın alınması ve onların birbiri içinde gelişi güzel dağılmasını ifade eder. Aynı zamanda bir tank içerisinde maddelerin bir yerden başka bir yere hareket ettirilmesi olarak da tanımlanabilir. Karışma işlemi, kristallendirme, ayırma ve kimyasal reaksiyon işlemlerinde, fazlar arasında kütle ve ısı transferini artırmak için ara yüzey oluşturma ve artırmada önemli bir rol oynar. Bu yüzden etkin bir karıştırma, kütle ve ısı transfer işlemlerinin iyileştirilmesi işlemlerinde de kullanılabilir.

Sıvı-sıvı karışma prosesleri, endüstride oldukça önemli bir yer tutar. Birbiri ile karışabilen sıvıların karışması, herhangi bir müdahale olmadan doğal konveksiyon ve moleküler difüzyon ile olur. Bu işlem için oldukça uzun bir zaman gerekir. Bundan dolayı sistemlerin karıştırılması ile daha hızlı bir şekilde homojenlik sağlanması için

zorlanmış konveksiyon uygulanır. Karışma sistemi üzerine zorlanmış konveksiyon uygulanabilmesi ve etkin bir karışma işlemi sağlamak amacıyla çeşitli alternatifler geliştirilmiştir. Bunların genel özelliği sistem içerisinde karışıklık oluşturarak tank muhtevasının daha hızlı ve daha iyi bir şekilde karışmasını sağlamaktır. Bu amaçla farklı tip ve geometrilerde karıştırma tankı, karıştırıcılar, akış saptırıcılar ve farklı karıştırma konfigürasyonları oluşturulmaktadır.

Sıvı-sıvı, gaz-sıvı ve gaz-sıvı-katı sistemlerinin olduğu karışma işlemlerinin başarısı, başlıca karıştırıcı ve tank geometrisi, işlem şartları ve sistem özelliklerine bağlıdır. Laboratuvar sonuçlarının ticari ölçeğe dönüştürülmesi, akış olgusunun karmaşıklığı, geometrik, kinematik ve dinamik benzerliklere dayanan muhafazakâr bir yaklaşımı benimseyerek ölçeklendirme büyütüldüğü için oldukça zordur (Triveni *et al.* 2010)

Reaktörlerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi, reaktör içeriğinin homojenlik derecesinin takibi ile mümkün olmaktadır. Bir sistemin içeriğinin homojenlik derecesi ise, karışma işleminin takip edilmesi ile mümkün olmaktadır. Bir sistemin homojenliğinin derecesi, yığın çözeltinin özelliklerin bir gradyenti olarak açıklanabilir. Sisteme sonradan ilave edilen ya da azaltılan bu özelliklere bağlı olarak oluşan etkinin, sistem içerisinde belli bir noktada ya da sistemin tamamında, tank konfigürasyonuna bağlı olarak değişimi veya homojen hale gelmesi, bu özelliklerin takip edilmesi ile mümkün olmaktadır.

Sistemin özelliklerinin, tankın her yerinde, istenilen oranda homojen hale getirilmesi için gerekli süre, karışma süresi (mixing time) olarak adlandırılır.

Bu süreçte, karışma süresinin ölçülmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Genellikle bu teknikler görsel ölçüme dayanmakla beraber, aynı zamanda kurulumu ve veri toplama prosesi zahmetli olup çok zaman alan işlemlerdir. Bu tekniklerin çoğunda, tank içinde lokal olarak incelenen kısımdaki anlık karışım bilgisi elde edilmektedir. Fakat bu bilgiler lokal değerler olduğundan tankın geneli için kullanılamaz. Kullanılan diğer tekniklerde ise, iletkenlik probu gibi ölçüm elemanları akış içerisine daldırılmak suretiyle ölçüm alınmaktadır. Bu tür ölçüm sistemlerinin kullanılması durumunda akış

hidrodinamiği gerçek tasarlanan ve istenilen dinamikten sapma gösterecektir. Özellikle renk ölçümüne dayanan teknikler, gıda ve biyokimyasal maddelerin yapısını bozması, renk ölçüm işlemlerinin gözle yapılması ve göz hassasiyetine bağlı olması, şeffaf reaktör kullanımı gerektirmesi ve ölçüm için pahalı ve kompleks donanımlar gerektirmesi vb. dezavantajlara sahiptir.

Yukarıda sıralanan ölçüm teknikleri dikkate alındığında, akış hidrodinamiğini bozmayan, kompleks ölçüm sistemleri gerektirmeyen ve uygulanması kolay, reaktör muhtevası ile etkileşime girmeyen ve saydam olmayan akışkanlar için de kullanılabilecek bir eşzamanlı ölçüm tekniğinin geliştirilmesi önemlidir.

Bu çalışmada karışma süresinin belirlenmesi için Elektrokimyasal Sınırlayıcı Difüzyon Akımı Tekniği kullanılmıştır. Elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı tekniği (Electrochemical limiting diffusion current technique, ELDCT) bir katı yüzey ile elektrolit arasındaki kütle transfer hızlarını (analoji ile ısı ve momentum transfer hızını) ölçmek için yaklaşık yarım asırdır kullanılan bir tekniktir. Bu teknik özellikle kütle transferi ölçümlerinde oldukça hassas ve güvenilir sonuçlar vermekte ve tekniğin uygulanması kompleks sistemler gerektirmemektedir. Bu teknik, yüksek Schmidt sayısına sahip akışkanlarda duvar akılarının belirlenmesinde de geniş bir uygulama alanına sahiptir. Burada ölçülen miktar, elektrot yüzeyinde reaksiyon veren belirli iyonların transferi ile geçen akımdır. Sınırlayıcı akım; belirli bir reaktan konsantrasyonunda, iyi belirlenmiş hidrodinamik şartlarda ve kararlı halde bir elektrokimyasal hücrede gerçekleşen bir elektrokimyasal reaksiyonla üretilen maksimum akım olarak ifade edilir.

Bu çalışmada bu işlem için Potansiyostat ve galvanostat cihazı kullanılarak sınırlayıcı difüzyon akım değerini veren potansiyel değer belirlenmiştir. Potansiyostat ve galvanostat cihazında, Cyclic Voltametri yöntemi kullanılarak Potasyum Ferri siyanür ve potasyum ferro siyanür çözeltisi için akım-voltaj grafiğinden indirgenme potansiyel değeri bulunmuştur. Linear Sweep Voltametri programı kullanılarak sınırlayıcı difüzyon akım platosu elde edilmiştir. Bu işlem ile belirlenen potansiyel değerde, sabit potansiyel

uygulanarak akım değişimini incelemek için Chronoamperometry yöntemi kullanılmıştır.

Dört adet akış saptırıcılı karışmalı bir tank içerisinde, potansiyostat cihazı kullanılarak elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım değerinin belirlenmesi ve uygulanması işleminde, referans elektrot olarak (Ag/AgCl), çalışma elektrodu olarak Ni elektrot ve karşıt elektrot olarak Ni elektrodu kullanılmıştır. Destek inert elektrolit çözeltisi olarak ise 0,1M K₂CO₃ kullanılmıştır.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Karışma Prosesi

Bir disiplin olarak karışma, 1950'lere uzanan temel bilgilerle gelişmeye başlamıştır. Uhl ve Grey (1966) ve Nagata (1975) tarafından yapılan çalışmaların yayınlanması ile zirveye ulaşmıştır (Uhl and Gray 1966; Nagata 1975). Son 30 yılda, bir çok mühendislik tasarım prensibi geliştirildi ve istenilen bir proses elemanı için karışma ekipmanının tasarımı mümkün hale geldi (Paul *et al.* 2004).

Bir sistemin tasarımı, değiştirilen ya da geliştirilen herhangi bir parametrenin etkisinin incelenmesi ile mümkün olmaktadır. Tasarımı ve kontrolü iyi bir şekilde yapılan karışma prosesi, önemli ölçüde ürün kirliliğini engeller, hammaddelerin daha etkin kullanımını sağlar ve prosesteki yan ürün oluşumunu engelleyerek pahalı ayırma maliyetlerini azaltır (Verschuren 2001).

Karışma, sistemlerin homojenliğini ve uniform dağılımını geliştirmek için yaygın bir şekilde kullanılan önemli bir prosestir (Ghotli *et al.* 2013). Bir sistemin homojenliği, konsantrasyon, sıcaklık, viskozite, renk ve faz gibi özelliklerin gradyeni olarak açıklanabilir (Paul *et al.* 2004).

Karışma işlemleri, gaz-sıvı, sıvı-sıvı ve sıvı-katı karışımları olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir. Sıvı-sıvı karışma, fazlar arasında kütle ve ısı transferini geliştirmek için asıl arayüzey alanı oluşturma ve geliştirmede önemli bir rol oynar (Paul *et al.* 2004; O'Rourke and MacLoughlin 2005). Sıvı-sıvı karışma, karışabilir ve karışmayan sıvıların karıştırılması olarak ikiye ayrılır (van de Vusse 1955). Sıvı-sıvı karıştırma prosesleri, endüstride oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sıvı-sıvı karışma prosesleri, ısıtma veya soğutma, çözücü ekstraksiyonu gibi özel proseslere uygulanabilir (Paul *et al.* 2004). Sıvı-sıvı karışımı için akışkan hidrodinamik karakteristikleri, damla parçalanması veya damla birleşmesi (Wang and Calabrese 1986;

Wichterle 1995; Sathyagal and Ramkrishna 1996), ana akış adımları ve türbülans (Norwood and Metzner 1960; Ibrahim and Nienow 1995) damla süspansiyonu, ara yüzey bölgesi, damlaların dağılımı (DSD) (Fernandes and Sharma 1967; Podgorska and Baldyga 2001), muhtemel faz dönüşümü (Norato *et al.* 1998), küçük miktardaki safsızlıklardan oluşan sistem bileşenlerinin etkisi ((Laurenzi *et al.* 2009) gibi birçok temel olguyu üretmektedir. Bu olgular, oldukça komplekstir ve birçok endüstri dalında en zor problemler olarak görülür. Diğer taraftan karışabilen sıvıların karıştırılması, ara yüzeyinde çözünme direnci olmayan ve birbiri içinde çözünebilen iki sıvının karıştırılması işlemidir (Paul *et al.* 2004). Genellikle karışabilen sıvıların karışması, moleküler difüzyon ve doğal taşınım ile yavaş bir şekilde olmaktadır. Bu nedenle karıştırma sistemleri, sistemin homojen hale daha hızlı bir şekilde gelmesi için zorlanmış taşınım uygulayabilmektedir (Rushton 1956; Ghotli *et al.* 2013).

Karışma işlemimin ne derece yeterli olup olmadığının açıklanabilmesi için ve zamanla sistemin özelliklerinin nasıl değiştiğinin belirlenmesi için geliştirilen parametrelerden birisi de karışma süresidir.

2.1.1. Karışma süresi

Karışma süresi çalışmalarının temeli, sisteme yığın çözeltinin özelliklerinden farklı bir madde ilave edilmesi ve sistemin özelliklerinin reaktörün her yerinde, istenilen oranda homojen hale getirilmesi olgusuna dayanmaktadır. Sistemin homojen hale gelmesi için gerekli süre karışma süresi (mixing time) olarak adlandırılır.

Karışma süresi, sıvı-sıvı karışma işlemlerinde, sistemin homojenlik derecesini belirlemede ve ölçeklendirme işlemlerinde kullanılan önemli parametrelerden biridir. Karışma süresinin belirlenmesinde; kullanılacak tank büyüklüğü ve tank geometrisi, uygun karıştırıcı tipi, geometrisi, boyutu ve karıştırıcının hızı, tank içerisinde akış yönünü saptıran akış saptırıcı kullanımı boyutlandırılması, yerleştirilmesi ve sayısı, akışkanın özellikleri en önemli parametrelerdir (Doran 1995; Montante *et al.* 2005; Jakobsen 2008).

Karışma süresi, konsantrasyon, sıcaklık ve diğer özelliklerin homojenlik derecelerinin uygun bir skala yardımıyla zamanla ilişkilendirilmesi ile açıklanabilir.

Karışmanın ne zaman yeterli olacağı, ürün verimliliğini ve ürün dağılımını nasıl etkilediği sistemden sisteme değişmektedir. Karışma süresi, ürünün saflık derecesinin ne olacağına, hassasiyet decesine, fiziksel özelliklerine ve zaman kısıtlamasının olup olmamasına göre farklılık göstermektedir.

Karıştırmalı tankların tasarımı ve boyutlandırılmasında anahtar parametrelerden biri olan karışma süresinin belirlenmesinde, evrensel bir tekniğin geliştirilmesi gerekir (Zhang *et al.* 2009).

Yığın çözelti üzerine bir etki uygulamak suretiyle yığın çözelti üzerinde değişiklik oluşturacak yöntemlerden bazıları aşağıda verilmiştir:

- İz yapıcı maddenin ilave edilmesi (Ochieng and Onyango 2008),
- Renklendirici ya da renksizleştirici (Hiraoka *et al.* 2001; Takahashi *et al.* 2012) bir maddenin veya çözeltinin ilave edilmesi,
- Konsantrasyonu değiştirici herhangi bir çözelti ilave edilmesi,
- İletkenliği değiştirici çözelti ilave edilmesi,
- Sıcaklığı değiştirici bir çözelti ilave edilmesi,
- Viskoziteyi değiştirici bir çözelti ya da madde ilave edilmesi

2.2. Karışma Süresi Ölçüm Teknikleri

Karışma süresini ölçmek için birçok ölçüm tekniği geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları akış şekillerini, akış içerisindeki düzensizlikleri ve sistem içerisindeki ölü bölgeleri gözlemlemek amacıyla geliştirilmiştir. Bu yüzden çoğu ölçüm yöntemi karışma süresi ile ilgili kabaca bilgi verir. Kolorimetrik ölçüm tekniği gibi ölçüm yöntemlerinde şeffaf reaktör kullanılması gerekmekte ve karışma süresi ise gözlemle belirlenmektedir. Bir

kısımında ise çok pahalı ve karmaşık sistemler gerektirmektedir. Çalışılacak sisteme göre kullanılacak yöntemlerde değişmektedir.

Karıştırmalı tanklarda karışma süresini ölçmek için birçok ölçüm tekniği geliştirilmiştir; iletkenlik tekniği, termal teknik, renklendirme veya renksizleştirme tekniği, radyoaktif iz tekniği, asit - baz nötralizasyon reaksiyonu tekniği, planar laser - induced fluorescence (PLIF) tekniği, elektriksel direnç tomografi tekniği (Selman and Tobias) ve partikül hız görüntüleme (PIV) tekniği (Ghotli *et al.* 2013). Karışma süresi ile ilgili birçok çalışma yapılmış ve farklı standart karıştırma tanklarında karıştırma süresini hesaplamak amacıyla birçok karıştırma süresi korelasyonu geliştirilmiştir (Coker 2001).

Asit - baz nötralizasyon tekniği her ne kadar ayrı bir yöntem gibi görünse de genellikle yapılan çalışmalarda renklendirme veya renksizleştirme tekniği altında kullanılmaktadır.

Ancak, karışma süresi, homojenlik derecesi ölçümlerinin çeşitli olması nedeni ile her bir teknik için değişebilir.

2.2.1. Renklendirme veya renksizleştirme tekniği

Renklendirme ya da renksizleştirme tekniği aslında akış adımlarının gözlemlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu teknik kendi arasında ikiye ayrılabilir; boyar madde ilavesi, asit - baz nötralizasyon tekniği.

2.2.1.a. Boyar madde ilavesi tekniği

Karışma süresi ölçüm yöntemlerinden biri, çözelti içerisine renkli bir madde ilave edilerek, çözeltideki farklı rengin homojen hale gelmesi için geçen sürenin belirlenmesi işlemidir. Böylece yeni ilave edilen çözeltinin, mevcut karışma şartlarında homojen hale gelinceye kadar geçen sürenin belirlenmesi ile karışma süresi elde edilmiş olacaktır.

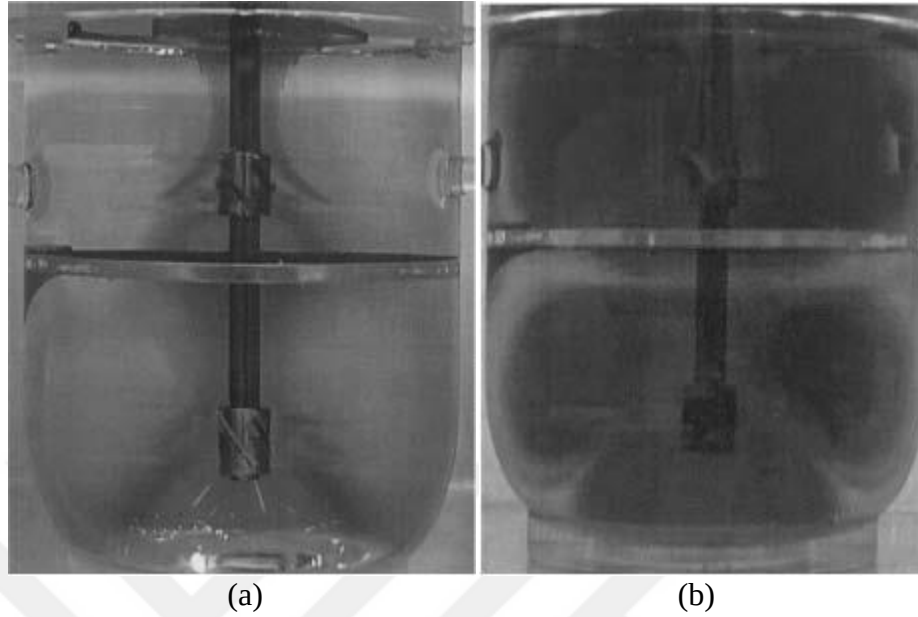
Bu yöntemde farklı bir uygulama ise, ilave edilen edilen çözeltinin ana çözelti ile farklı renkte yeni bir çözelti oluşturmalarını sağlamaktır. Böylece yeni ilave edilen çözeltinin, karışma şartlarında homojen hale gelinceye kadar geçen sürenin belirlenmesi ile karışma süresi elde edilmiş olacaktır. Bu çalışmaya en güzel örneklerden biri; Sodyum tiyosülfat ilave edildikten sonra oluşan çözelti renginin, iyot-nişasta ilave edilerek renksizleştirme işlemi ile karıştırma süresinin gözlemsel olarak belirlenmesidir (Kraume and Zehner 2001)

2.2.1.b. Asit - baz nötralizasyon reaksiyonu tekniği

Bu ölçüm yönteminde asidik bir çözelti içerisine indikatör ilave edilerek tank muhtevası homojen hale geldikten sonra uygun bir baz çözeltisi belirli bir miktar ilave edilerek renk değişimi ya da bazik bir çözelti içerisine indikatör ilave edildikten sonra homojen hale getirilen tank muhtevasının üzerine yeterli miktarda asidik bir çözelti ilave edildikten sonra, bir fotoğraf makinası ya da bir kamera yardımıyla renk değişimi homojen hale gelinceye kadar kayıt yapılır. Zamanla renk değişimi gözlenir. Elde edilen görüntü ya da video kaydı kullanılarak sistemin homojen hale gelip gelmediği belirlenir. Sistemin homojen hale geldiği zaman belirlenerek karışma süresi belirlenmiş olur. Bu işlem için şeffaf bir tank gereklidir. Bu yöntem de gözleme dayalı bir yöntemdir.

Pleksi glasdand yapılmış 20 cm çapında silindirik bir karışmalı tank kullanılarak yapılan bir çalışmada gliserin çözeltisi ana çözelti olarak kullanılmıştır. Daha sonra Bromothymol Blue indikadör çözeltisi ile 1 N NaOH ilave edilerek homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Sonra 2 ml 2 N HCl eklenerek renk dönüşümü kamera ile kaydedilerek karışma süresi belirlenmiştir (Lamberto *et al.* 1996).

Şekil 2.1a'da karışan bir çözelti içerisine renklendirici bir boya ilave edilmesi ile tank muhtevasının renk değişimi ve Şekil 2.1b'de ise bir indikatör yardımıyla asit - baz nötralizasyon işlemi video ile kaydedilerek akış adımları ve karışma süresi belirlenmiştir (Clark and Özcan-Taşkin 2001).



Şekil 2.1. (a) İz yapıcı kırmızı boya eklenmesi ve (b) Brom fenol mavisi kullanılarak asit-baz renksizleşmesidir (Clark and Özcan-Taşkin 2001)

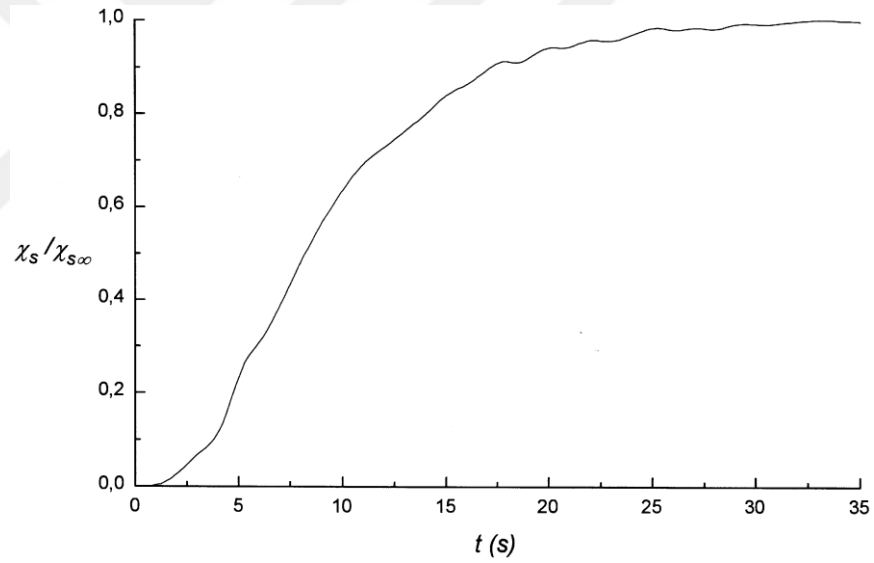
Karışmalı bir tankta, Rushton türbininin tank tabanından olan yüksekliğinin karışma süresi, akış alanı ve güç tüketimi üzerine etkisinin, bilgisayarlı akış simülasyonu (CFD) ve Laser Dopler Velocimetry yöntemi ile incelenmesi için yapılan uygulamaların deneysel olarak doğrulanması amacıyla kolorimetrik bir yöntem kullanılmıştır. Bunun için 2 M NaOH ve phenolphthalein çözeltisi içerisine HCl çözeltisi ilave edilerek çözeltinin renksizleşmesi takip edilerek karışma süresi hesaplanmıştır (Ochieng and Onyango 2008)

2.2.2. Elektriksel iletkenlik tekniği

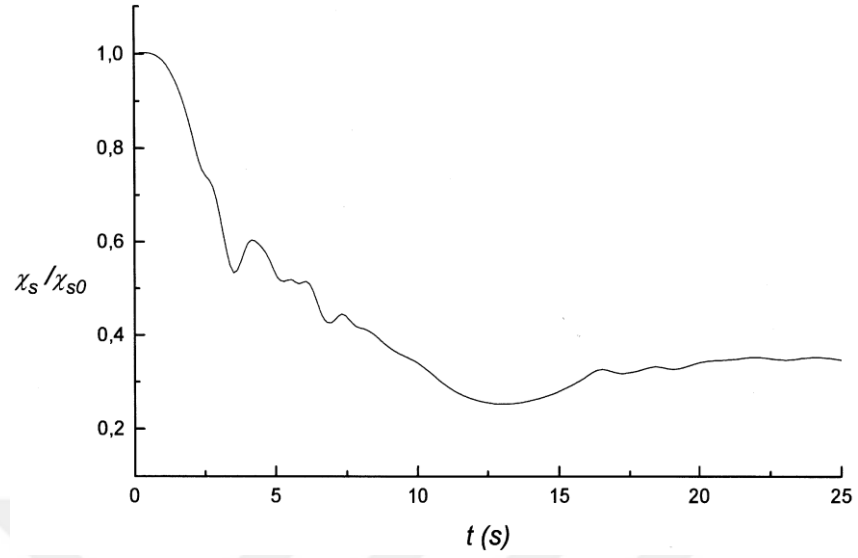
Bu yöntem, miktarı ve karışma şartları belli olan belirli bir iletkenliğe sahip çözelti içerisine belli bir miktar iletkenliği değiştirecek bir çözelti ilave edilerek, değişen iletkenliğin dengeye gelinceye kadar geçen sürenin belirlenmesine dayanan bir ölçüm yöntemidir. Bu işlem için iletkenlik ölçen prob lar kullanılmaktadır. Bu yöntemle daldırılan prob ile tankın belli noktalarında ölçüm alınabilmekle beraber daldırılan

problar akış geometrisine, akış saptırıcı etkisi yaparak akış geometrisini olumsuz olarak etkilemekte ve bu problar belli iletkenlik aralıklarında ölçüm yapabilmektedirler.

Manna (1997) tarafından yapılan çalışmada, saf su içerisine konsantre birkaç mililitre KCl çözeltisi ilave edilerek fiziksel iletkenlik ölçülmüştür. Seyreltik HCl çözeltisi içerisine yaklaşık 10 ml 8 N NaOH çözeltisi ilave edilerek kimyasal iletkenlik ölçülerek karışma süresi belirlenmiştir. Veriler normalize ya da smooth yapılarak anlamlandırılmaktadır. Fiziksel iletkenlik yöntemi ile elde edilmiş veriler Şekil 2.2’de, kimyasal iletkenlik tekniği ile elde edilmiş veriler Şekil 2.3’de normalize edilmiştir (Manna 1997).

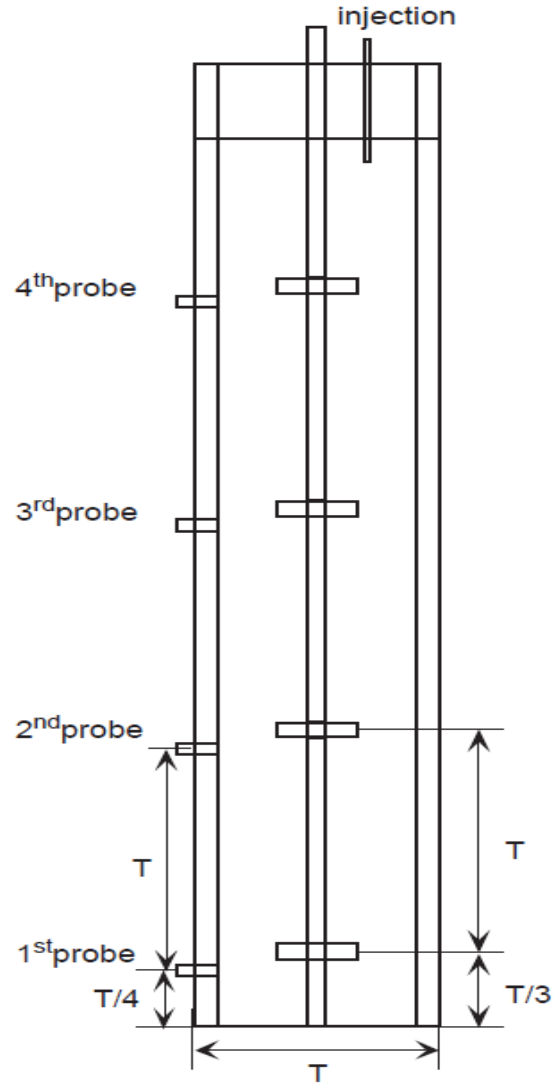


Şekil 2.2. Normalize edilmiş iletkenlik (fiziksel teknikle ve 200 rpm de) (Manna 1997)

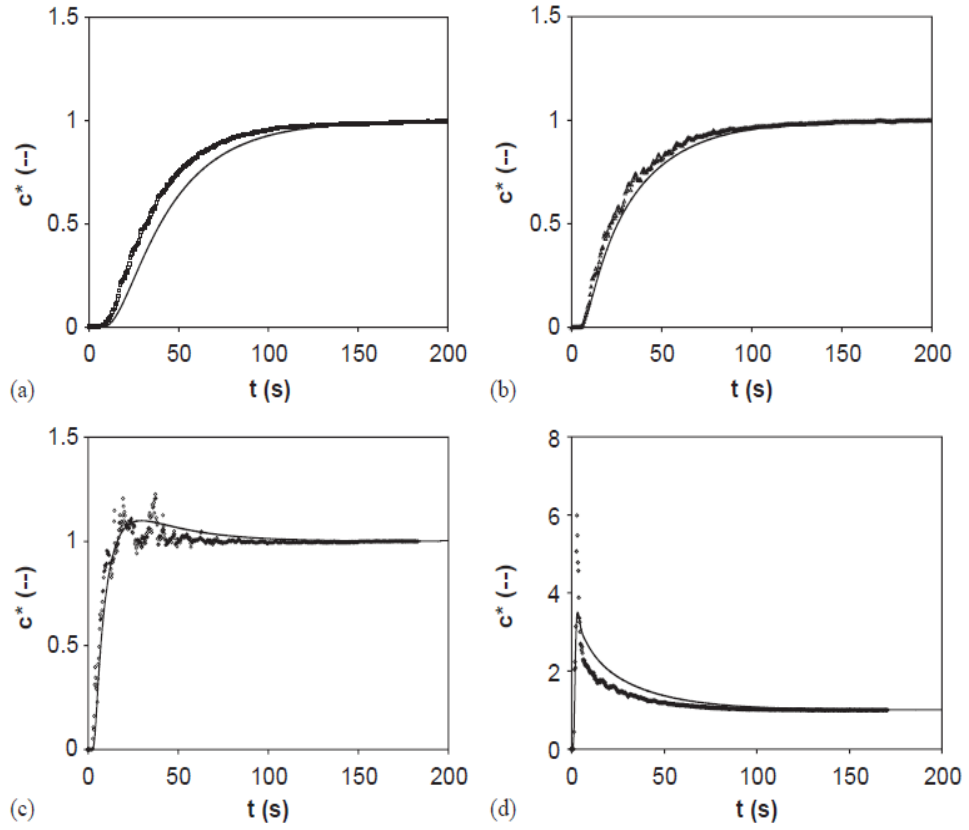


Şekil 2.3. Normalize edilmiş iletkenlik (kimyasal teknikle ve 200 rpm de) (Manna 1997)

Çözeltinin viskozite değeri 25-42 mPa. s olan ve tank yüksekliği tank çapının 4 katı olan silindirik bir tank kullanılarak yapılan başka bir çalışmada iki akış saptıcı ve üst üste 4 adet 6 kanatlı 45° lik Rushton türbini kullanılmıştır (Şekil 2.4). Tank tabanından itibaren farklı yüksekliklere yerleştirilen iletkenlik ölçüm problemleri yardımıyla karışma süresi ölçülmüştür (Şekil 2.5) (Montante *et al.* 2005).



Şekil 2.4. İletkenlik ölçüm probları yardımıyla karışma süresi ölçüm sistemi



Şekil 2.5. DeneySEL ve simüle edilmiş boyutsuz konsantrasyonun zamanla değişimi. Semboller: deneySEL veriler, çizgiler: simüle edilmiş sonuçlar. a) 1. Prob, b) 2. Prob, c) 3. Prob ve d) 4. Prob. (Montante *et al.* 2005)

2.2.3. Termal sinyal tekniği

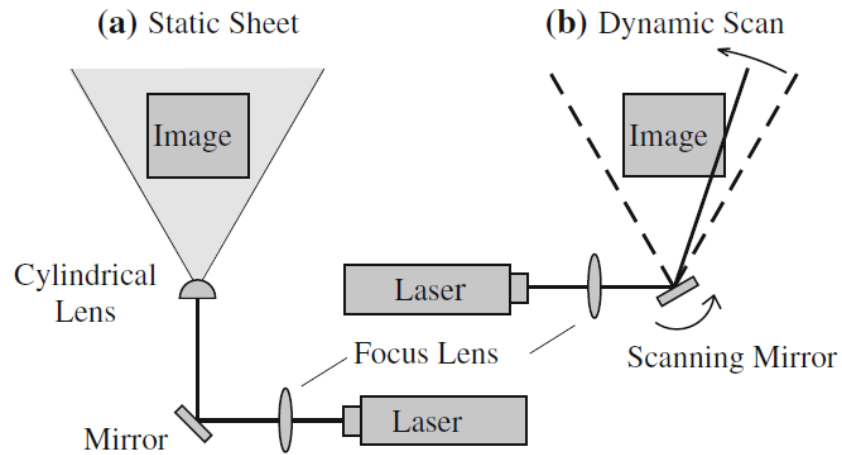
Karıştırmalı tanklarda, karışma süresinin ölçülmesi için kullanılan yöntemlerden biri de termal sinyal tekniğidir. Bu ölçüm tekniğinde çözeltinin iletken olmasına gerek yoktur. Bu tekniğe göre tank içerisinde ölçüm alınacak bölgeye sıcaklık ölçen prob daldırılır. Homojen olan sisteme, tankın belli bir enjeksiyon bölgesinden, termal dengeyi değiştirecek bir madde ilave edilir. Tank muhtevasının sıcaklık değişimi belli zaman aralıklarında ölçülerek kaydedilir. Sistemin istenilen seviyede homojen hale gelmesi için geçen sürenin ölçülmesiyle karışma süresi tesbit edilmiş olur.

Karıştırılmalı tanklarda termal sinyal tekniği ile newtonian bir sıvı kullanılarak türbülent bir rejimde, karıştırıcının konsantritesinin bir fonksiyonu olarak karışma süresi ölçülmüştür (Karcz *et al.* 2005).

2.2.4. Planar Laser - Induced Fluorescence (PLIF) tekniği

Uyarılmış florasan lazerin temel prensipleri, lazer alanında keşfedilen türlerin lokal konsantrasyonu ve florasan sinyalleri arasında ilişkiyi kullanan karmaşık veya basit etkileşim şemalarının gelişmiş bir şekilde sunumuyla tanımlanır (Cessou *et al.* 2000).

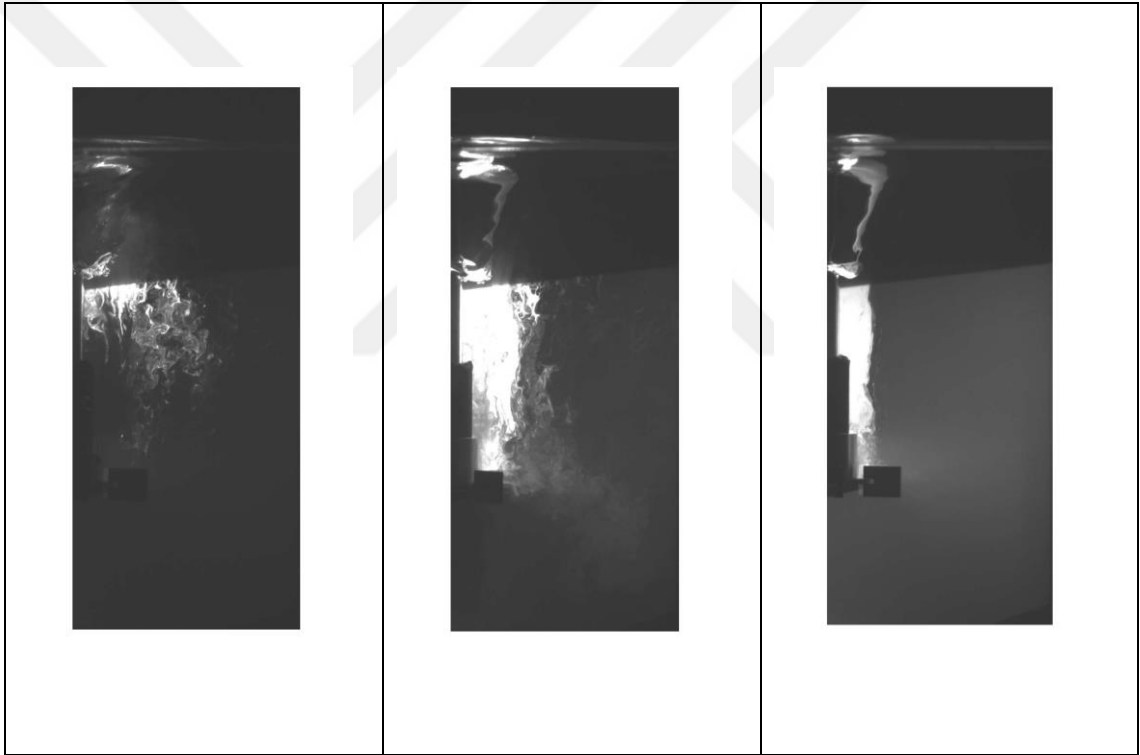
Bir lazer aydınlatma tekniği, karıştırılmalı bir tank içerisinde 2D boyutta karışma yapısını ortaya çıkarmak için kullanılır. Deneysel sistem karanlık bir odada lazer tabaka ile aydınlatılır ve florasan bir iz yapıcı madde ilave edilerek karışma yapısı ortaya çıkarılmış olur (Alvarez *et al.* 2002). Yaygın olarak kullanılan iki çeşit lazer tabakası vardır (Şekil 2.6). Bunlar sabit lazer tabakası ve hareketli taramalı lazer tabakalı sistemdir (Crimaldi 2008).



Şekil 2.6. Yaygın olarak kullanılan iki tip lazer tabakasının şematik gösterimi (Crimaldi 2008)

PLIF tekniğinin kullanıldığı sistemlerde florasan iz yapıcı madde olarak Rhodamine B, Rhodamine-590, Rhodamine 6G ve flordur (Crimaldi 2008; Zadghaffari *et al.* 2009).

PLIF tekniği kullanılarak yapılan bir çalışmada, akış saptırıcı kullanılmayan silindirik bir tank içerisinde, karıştırıcı olarak Rushton türbini kullanıldığı ve karıştırıcının tabandan açıklığı 1/3 olan bir sistemde iz yapıcı madde olarak Rhodamine B kullanılmıştır. Bu çalışma iz yapıcı madde ilave edildikten sonra deneyler bir kamera ile kaydedilmiştir (Şekil 2.7) (Busciglio *et al.* 2012) .

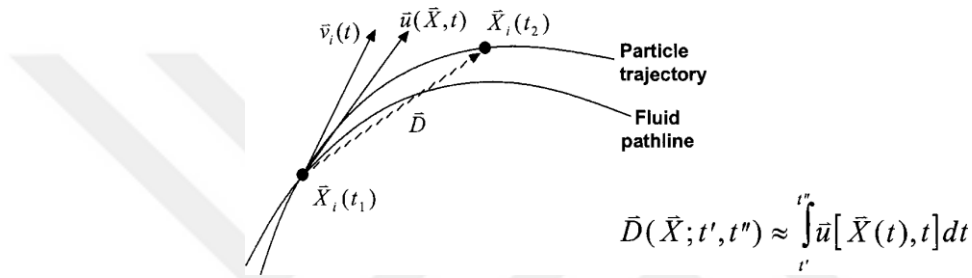


Şekil 2.7. 325 rpm deki Rushton türbünü ile kaydedilen kaba görüntüler ($t=2s$, $t=5s$ ve $t=20s$) (Busciglio *et al.* 2012)

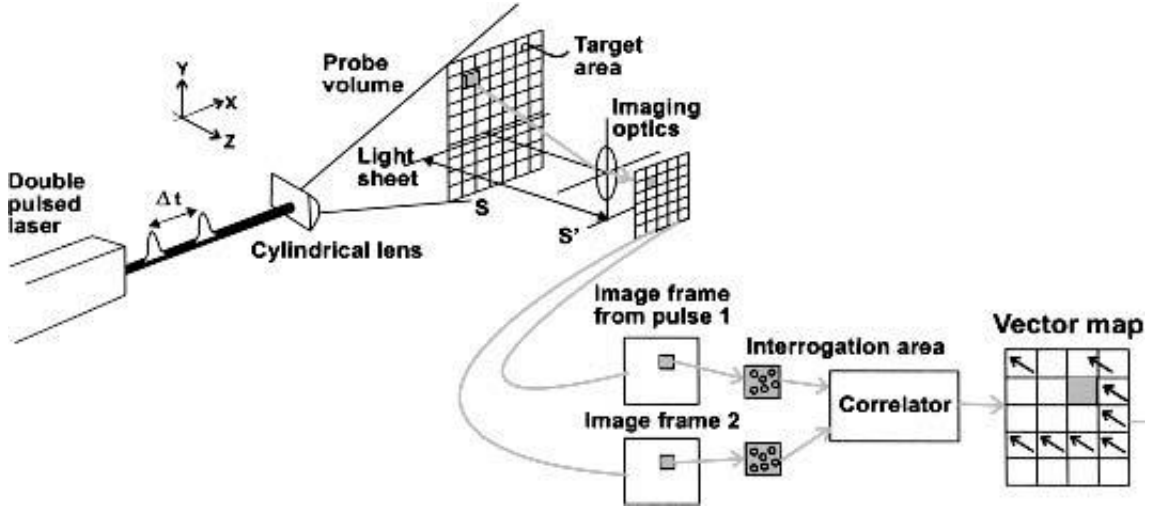
2.2.5. Partikül Hız Görüntüleme (PIV) tekniği

PIV, akış içerisinde askıda kalan partiküllerin eser miktarda çekirdeklenmesinin görüntülenmesi temeline dayanan bir hız ölçüm tekniğidir. İdeal bir çözeltide, bu partiküller akışta homojen bir şekilde dağılmış mükemmel iz bırakan akım olabilirler ve

bunların varlığı akış özelliklerini değiştirmez. Bu durumda, lokal akış hızı, pozlar arasındaki zaman fasılası ile yerdeğiştirmenin ayrılması ve akışkanın yerdeğiştirmesinin ölçülmesi ile belirlenebilir (Şekil 2.8). Tam anlık bir akış hızı elde etmek için, pozlar arasındaki süre, akıştaki süre skalasıyla kıyaslandığında küçük olmalı yani, PIV sensörlerinin uzamsal çözünürlüğü akıştaki skala uzunluğu ile kıyaslandığında küçük olmalı. Prensip olarak modern PIV sisteminin planı Şekil 2.9'da verilmektedir (Paul *et al.* 2004).



Şekil 2.8. Partikül yer değiştirmesinin belirlenmesi ve bunun gerçek akışkan hızı ile ilişkisi (Keane and Adrian 1993)



Şekil 2.9. Bir PIV sistemi için belli başlı işlemler (Paul *et al.* 2004)

PIV ölçümü, ışık tabakasına dik bir kamera kullanılarak ve yer değiştirme bilgileri için resimler analiz edilerek, akıştaki çekirdeklenen partiküllerin çoklu resimlerini

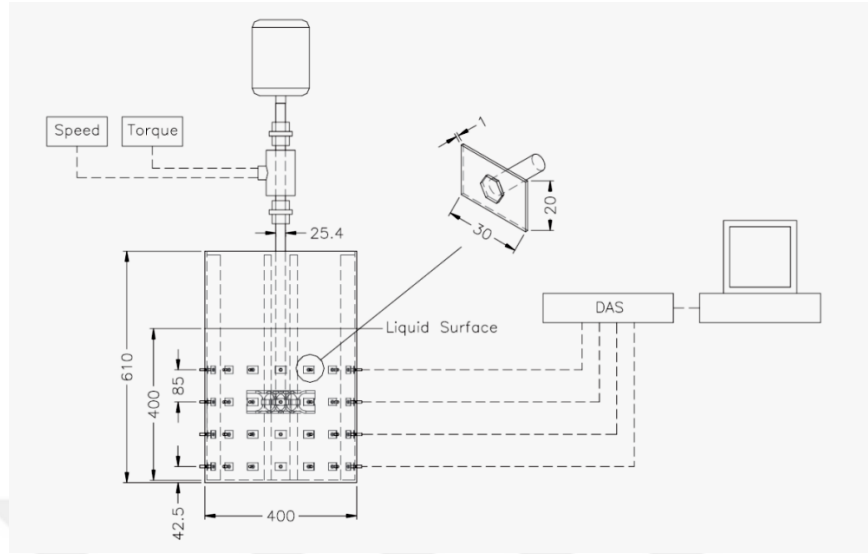
kaydetmek için tipik olarak ışıık tabakası g nderek çekirdeklenen akış alanı kesitinin aydınlatılması işleminden oluşmaktadır.

Bu tip uygulamalarda lazer kaynağından gelen ışıık dağıtmak için doğru çekirdeklenme malzemesinin seçimi, başarılı deneysel verilerin toplanması için  onemlidir. Sıvı akış uygulamalarında içi boş cam küreler, su akış uygulamalarında çekirdeklenen polimer parçacıklar ve florasan polimer parçacıklar gibi gönderilen ışıık yansıtacak maddelere ihtiyaç vardır. Aynı zamanda yüksek çözünürlüklü kameralar ve bu kameralardan elde edilen görüntüler ve bu görüntülerdeki partiküllerin görüntülerinin işlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu veriler değerlendirilerek akış alanının bir haritası çıkarılmaktadır.

Bu uygulama ile oluşturulan akış alanı içinde herhangi bir etki ile oluşacak akış sapması, girdap ve türbülans etkileri incelemek için kullanılmaktadır.

2.2.6. Elektriksel direnç tomografi tekniği

Bu teknik sadece karışma süresinin    lmesinde değil aynı zamanda endüstride özellikle non-newtonian akışkanlarda kritik karışma dinamiklerinin    lmesine imk n verir. Bu sistemin amacı ilgilenilen alandaki direnç dağılımının elde edilmesidir. Bu alandaki direnç dağılımı, tank cidarına belirli aralıklarla yerleştirilen elektrotlar yardımıyla, alana akım enjekte edilerek (veya voltaj uygulayarak) ve voltaj (veya akım)    l rek elde edilebilir. Bu sistemden 3 ana komponent vardır. Bunlar, elektrotlar, data toplama sistemi ve resimleme sistemidir (şekil 2.10) (Pakzad *et al.* 2008).



Şekil 2.10. ERT sistemi (Pakzad *et al.* 2008)

2.2.7. Partikül görüntüleme ve ölçme tekniği

Sıvı – sıvı dağılımını direkt olarak görüntüleme, damla büyüklüğü dağılımını ölçen popüler bir tekniktir. Bu yöntem birçok araştırmacı tarafından başarı ile gerçekleştirilmektedir (Pacek *et al.* 1994; Kuriyama *et al.* 1996; Baldyga *et al.* 2001). Ancak bu teknik, düşük hacim fraksiyonlarındaki (%1 den daha az) dispersiyonlarla sınırlıdır (O'Rourke and MacLoughlin 2005).

Son geliştirilen partikül görüntüleme ve ölçme (PVM) probu (Lasentec, USA), aslında partikül sistemlerini tam yerinde görüntülemek için kullanılan bir video mikroskoptur. Bu cihaz, geniş bir aralıktaki, bitki hücresi süspansiyon kültürü (McDonald *et al.* 2001), kristalleşen süspansiyonların çekirdekleşme ve çözünme davranışları (Barrett and Glennon 2002) ve emülsiyon polimerizasyon sistemlerinde partikül büyüklüğüne göre ayrılması (Hukkanen and Braatz 2003) gibi partikül sistemleri tanımlamak için kullanıldı.

2.3. Karışma Süresini Etkileyen Parametreler

Karışma süresi birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. Bunlar;

- Tank içeriğinin kimyasal bir reaksiyon verip vermemesi;

Karışma ortamında fiziksel bir karışma ya da kimyasal bir reaksiyon olması durumuna göre ikiye ayrılır. Fiziksel bir karışma olması durumunda karışma süresi, tank, karıştırıcı ve akış saptırıcı gibi tasarımlar karışma süresi üzerinde etkili olurken, kimyasal bir reaksiyonun varlığı aynı zamanda reaksiyon hızını da karışma süresi üzerinde etkili bir parametre haline getirecektir.

Örneğin, birbirini ile reaksiyon veren, düşük viskoziteli ve karışabilen iki sıvı bir kap içinde birleştirildiği zaman reaksiyon meydana gelecektir. Bununla birlikte iyi bir şekilde temas meydana gelmezse reaksiyon olmayacaktır. Bu yüzden karışma ve kimyasal reaksiyon birlikte yürürler; başlangıçta seri sonra paralel halde yürürler. Yarılanma ömrü bir kaç dakika olan ve yavaş yürüyen bir kimyasal reaksiyon durumunda, eğer karışma birkaç saniyede gerçekleşiyorsa, reaksiyon bitmeden karışma tamamen gerçekleşir. Yavaş yürüyen bir kimyasal reaksiyon üzerinde karışmanın etkisi yoktur. Bu durumda ideal karışan kesikli reaktör analizi kullanılabilir. Yarılanma ömrü 0,001 saniye olan bir asit-baz nötralizasyon reaksiyonunda olduğu gibi çok hızlı yürüyen bir kimyasal reaksiyon durumunda, karışma birkaç saniye içinde gerçekleşiyorsa, kimyasal reaksiyon hızı karışma hızına bağlıdır. Reaksiyon hızı ölçülseydi, sonuç moleküler kimyasal reaksiyon hızı değilde karışma hızı olacaktı. Yani bu sonuç görünen reaksiyon hızıdır (Paul *et al.* 2004).

Eğer reaksiyon sonucu bir ürün açığa çıkıyorsa, karışma ve kütle transferi sadece reaksiyon hızını etkiler. Eğer birden fazla ürün açığa çıkıyorsa, ortamdaki bileşenlerin teması ürün dağılımını da etkileyebilir. Dikkate alınan bu etkenler hem homojen hem de heterojen reaksiyon sistemleri üzerinde uygulanır (Paul *et al.* 2004).

- Karışma ortamının karışmalı tank ya da borusal bir ortam olması,

Bir tank içerisinde karıştırmada akış tipi, akışı yönlendiren tank ekipmanları, akış korelasyonları kendine özgü iken borusal bir karışma ortamında da kendine özgü akış özellikleri, ekipmanları, korelasyonları bulunmaktadır. Bunlara ek olarak boru içerisinde basınç düşüşü, sürtünme kayıpları gibi ekstra dikkate alınması gereken özelliklerde vardır.

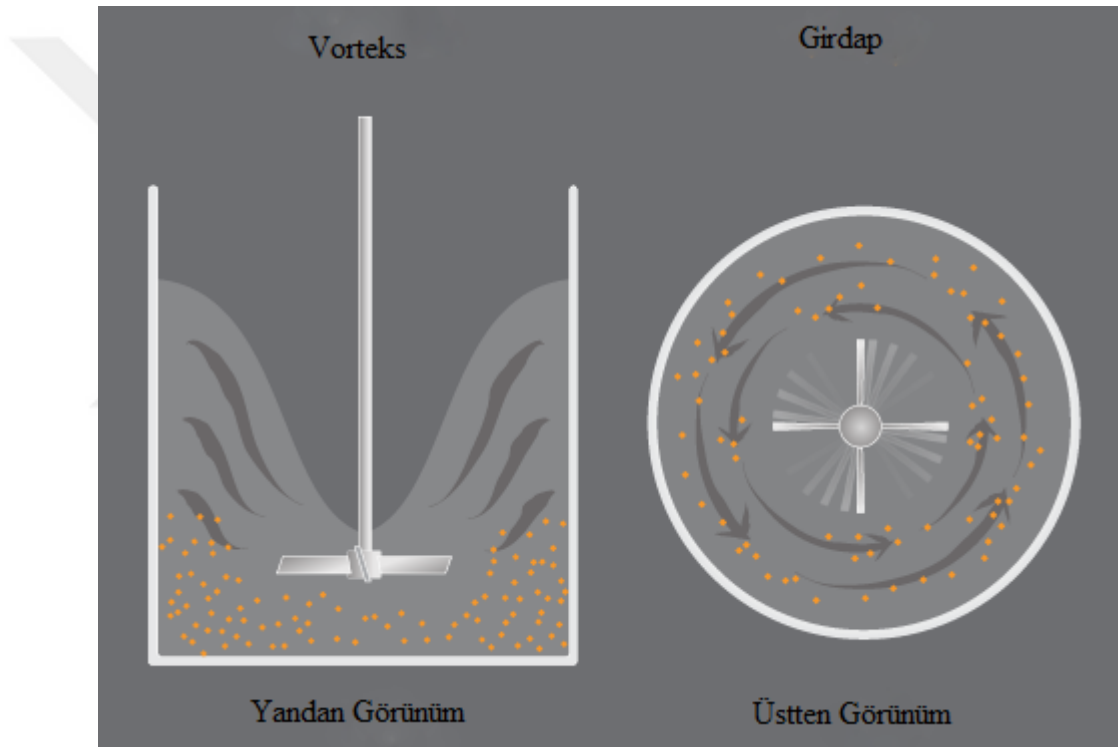
- Tank geometrisi (dikdörtgen, silindirik veya farklı bir şekilde olması),
- Karıştırıcı tipi (türbin tipi, çapa tipi, parçalayıcı tip karıştırıcılar vb.) ve boyutu,
- Çözeltinin fiziksel özellikleri (yoğunluk, viskozite ve sıcaklık vb.)
- Karıştırıcının konumu (tank merkezi ile eş merkezli (konsantrik) ya da merkezden farklı bir konumda olması, karıştırıcının açılı ya da dikey konumlandırılması, tank tabanından açıklığı vb.)
- Akış şekli (laminer, türbülent veya geçiş bölgesi)
- Tankın akış saptırıcı içerip içermediği, farklı geometrilerde akış saptırıcı tasarımı,
- Tankın bütününe yansıtan bir ölçüm olması ya da tankın herhangi bir bölgesinde lokal ölçüm olması,

Yukarıda bahsedilen özelliklere bağlı olarak karışma süresi, sistemden sisteme farklılıklar göstermektedir.

2.3.1. Akış saptırıcılar

Akış saptırıcılı tanklara kıyaslandığında daha zayıf karıştırma performansına sahip olmasına rağmen akış saptırıcı olmayan tanklar, birçok biyokimyasal, gıda ve ilaç sektörüne ait proseler için belli uygulamalarda önemli avantajları olduğu için artan bir endüstriyel ilgiye sahiptirler. Ancak daha fazla endüstriyel önemlerinden dolayı, dikkatlerin büyük bir kısmı karıştırmalı tanklara çevrilmiştir. Yani karışma süresi ile ilgili deneysel bilgiler ve ilgili korelasyonlar, bu sistemler için daha fazladır (Buscigliao *et al.* 2012).

Akış saptırıcı olmayan silindirik bir tank için yaygın tank konfigürasyonu Şekil 2.11’de gösterilmektedir. Karıştırıcı eğer tankın merkezine yerleştirilirse, ne kadar etkisiz bir akış yolu olduğunu görebiliriz. Karıştırıcının oluşturduğu açısız hızlar, bütün akışkan kütlesinin dönmesine neden olur. Bu tip akış şekli girdap akış olarak adlandırılır. Aslında, bütün sıvı (ve katılar) atlı karınca gibi hareket ederler. Katı süspansiyon çalışmalarında, katı partiküller, sıvı içinde askıda tutan ve yükselten eksenel akış oluşmadığı için tank tabanında çevresel olarak dönerler.



Şekil 2.11. Akış saptırıcı olmayan silindirik bir tank içinde merkeze yerleştirilmiş bir karıştırıcı (Anonymous 2017)

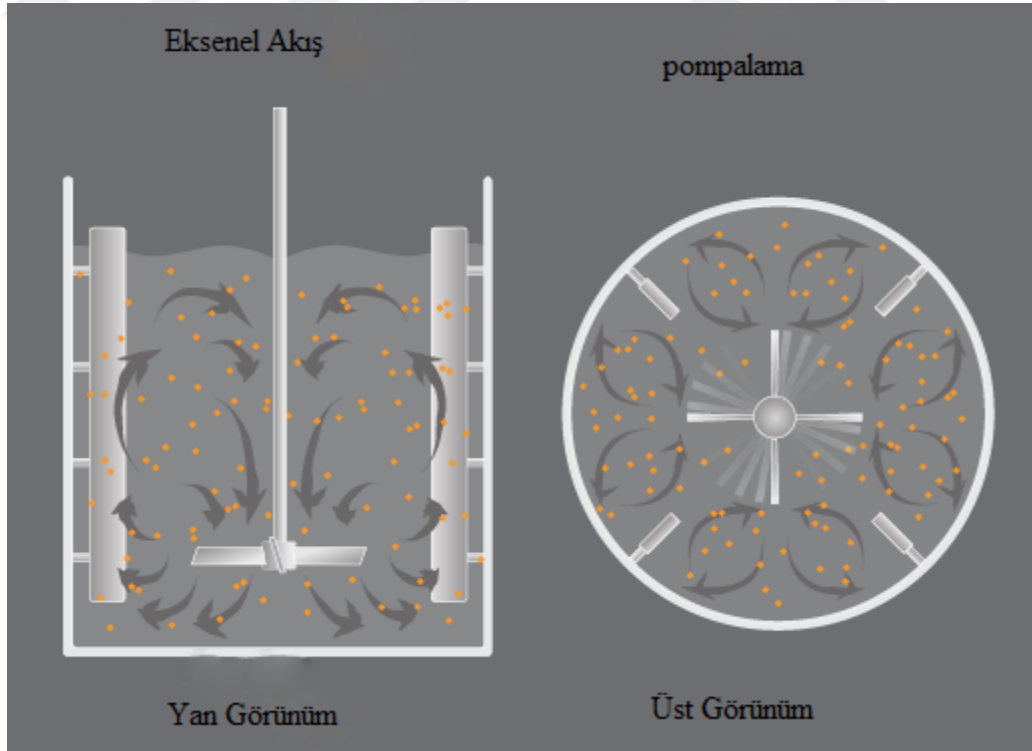
Girdap akışı engelleyebilmek için tercihen üç yol vardır;

1. Tankın içerisine akış saptırıcı yerleştirmek
2. Karıştırıcının açılı yerleştirilmesi
3. Karıştırıcının tank merkezinden kaydırılarak monte edilmesi

Akış saptırıcılar ve karıştırıcının merkezden saptırılarak yerleştirilmesi karıştırıcı şaftında dengesiz bir yüklenmeye neden olacaktır. Bu yüklenme, karıştırıcı şaftında ek dişli kutusu ve mil yatağı gibi ekstra maliyetler getiren ekipmanlar gerektirmektedir. Bu yüzden akış saptırıcı paneller daha çok tercih edilmektedir (Anonymous 2017).

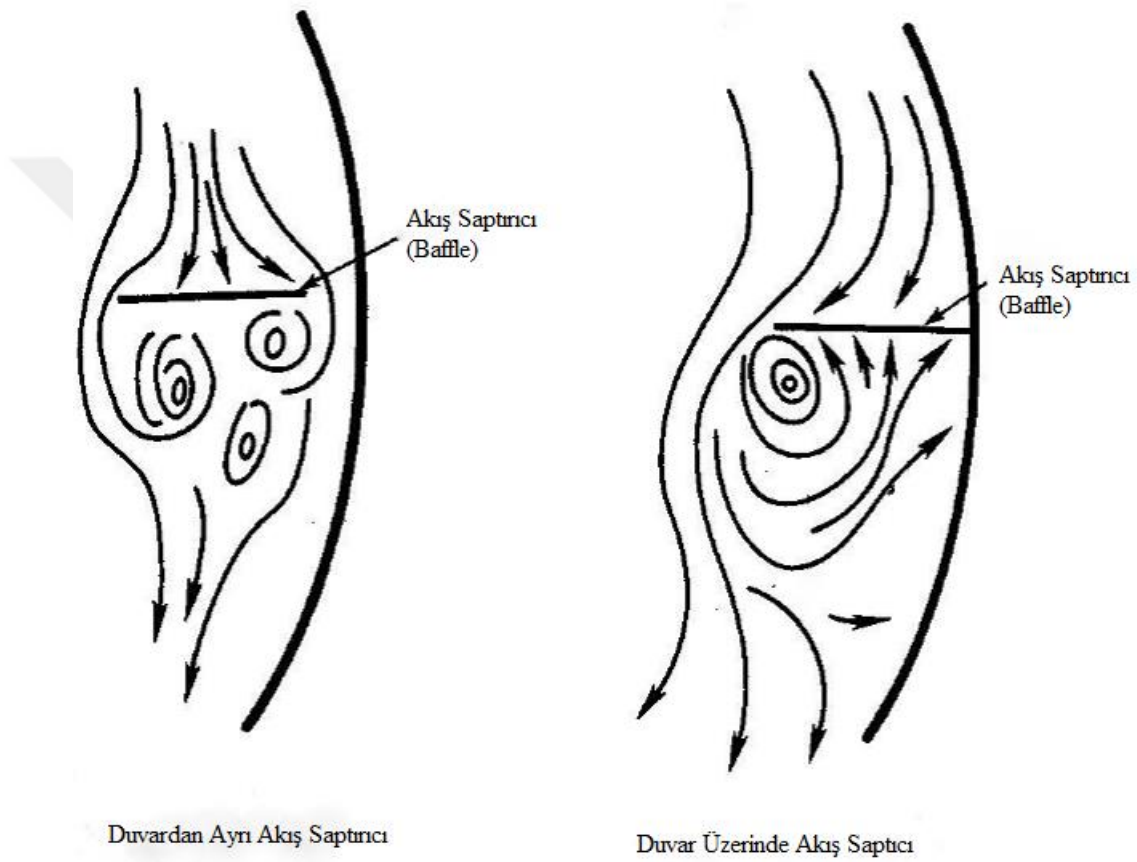
2.3.1.a. Akış saptırıcı tasarımı

Akış saptırıcılar, girdap akışı engellemek ve akışkan hareketinin tank tabanından yukarı doğru çıkmasını sağlamak için tank kenarlarına eklenen uzun ve düz levhalardır. Akış saptırıcılar, sıvı-sıvı karıştırma ve katı süspansiyonlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar, çünkü bu uygulamalar genelde düşeydir ve silindirik tanklar, karıştırıcı tipi ne olursa olsun, girdap akış oluşturma eğilimindedir. Şekil 2.12’de, akış saptırıcı kullanımının sonucu olarak, tankın tabanından üstüne doğru mükemmel bir sirkülasyon ve radyal karışım görülmektedir (Anonymous 2017).



Şekil 2.12. Akış saptırıcılı silindirik bir tank içinde karışma (Anonymous 2017)

Akış saptırıcı kullanıldığında belirlenen ölçülerde tank duvarından açık şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu şekilde akış saptırıcı ve tank arasında çözelti ya da katı madde birikmesi engellenmiş olacaktır. Oluşan vorteksler sayesinde karışma daha hızlı ve etkin olacaktır (Jakobsen 2008). Akış saptırıcı kullanıldığında tank duvarı ile açıklık olması ve olmaması durumu Şekil 2.13’de gösterilmektedir.

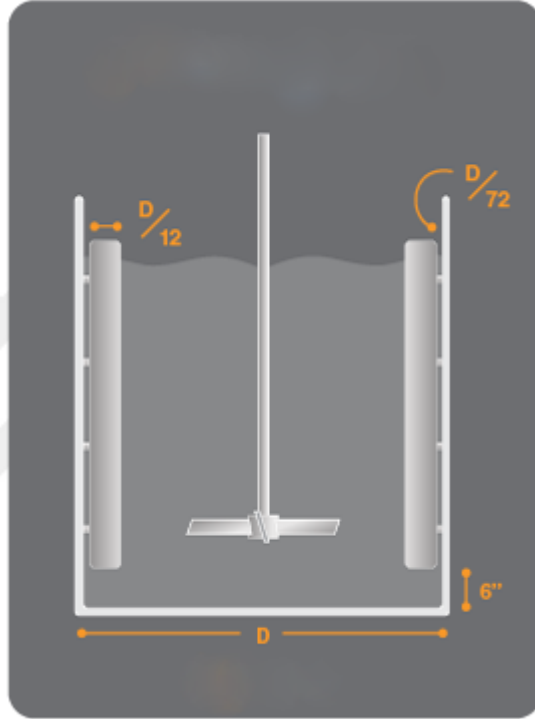


Şekil 2.13. Akış saptırıcılı tanklarda vorteks (Jakobsen 2008)

Akış saptırıcılar (Şekil 2.14) aşağıdaki prensiplere göre tasarlanırlar;

- 1) Akış saptırıcı sayısı; 3-4 (4 idealdir, ancak 3 yeterli karışım etkinliği sağlayacaktır), 4’den fazla akış saptırıcı eklenmesi önemli bir karışma etkinliği sağlamayacaktır.
- 2) Genişlik; tank çapının, 1/12 katı kadardır.
- 3) Tank tabanından yüksekliği yaklaşık 6 inç kadardır.
- 4) Tank kenarından açıklık yaklaşık olarak tank çapının 1/72 katı kadardır.

- 5) Ortalama viskoziteli karışım için (viskozitesi 3 Pa·s üzerinde veya Reynold sayısı, 10-10 000 ise) akış saptırıcıların genişliği yarıya düşürülür.
- 6) Çözünmeyen parçacıkların bulunduğu sıvı karışımlarda, duvar ve paneller arasında birikimi engellemek için tank duvarı ile arasındaki mesafe akış saptırıcı genişliğinin yarısı büyüklüğüne kadar çıkarılır.



Şekil 2.14. Standart akış saptırıcı tasarımı (Anonymous 2017)

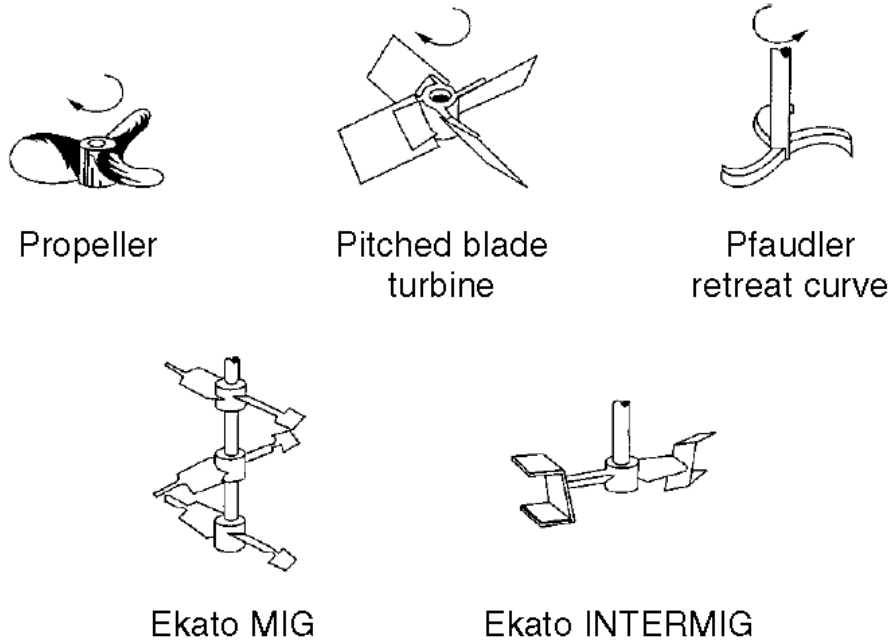
2.3.2. Karıştırıcı tipi

Akışkanın viskozitesi çalkalayıcı tipinin seçimini etkileyen birkaç faktörden biridir. Bu çalkalayıcıların viskozite aralıkları şu şekildedir. Yaklaşık 3 Pa·s' nin altındaki akışkan viskoziteleri için pervaneler kullanılır; yaklaşık 100 Pa·s' nin atında türbinler kullanılır; 50 Pa·s'nin üzerinde yaklaşık 500 Pa·s' ye kadar çapa çalkalayıcılar gibi değişiklik yapılmış paletler kullanılabilir. Bu aralığın üstünde yaklaşık 1000 Pa·s'ye kadar çoğunlukla helisel ve bant tipi çalkalayıcılar kullanılır.

Kesme seviyesi ve akış yoluna göre dört çeşit pervane türbin (türbine impeller) vardır. Bunlar, eksenel akış, radyal akış, hidrofil ve yüksek parçalayıcı pervanelerdir (Paul *et al.* 2004).

a) Eksenel Akış Pervaneleri

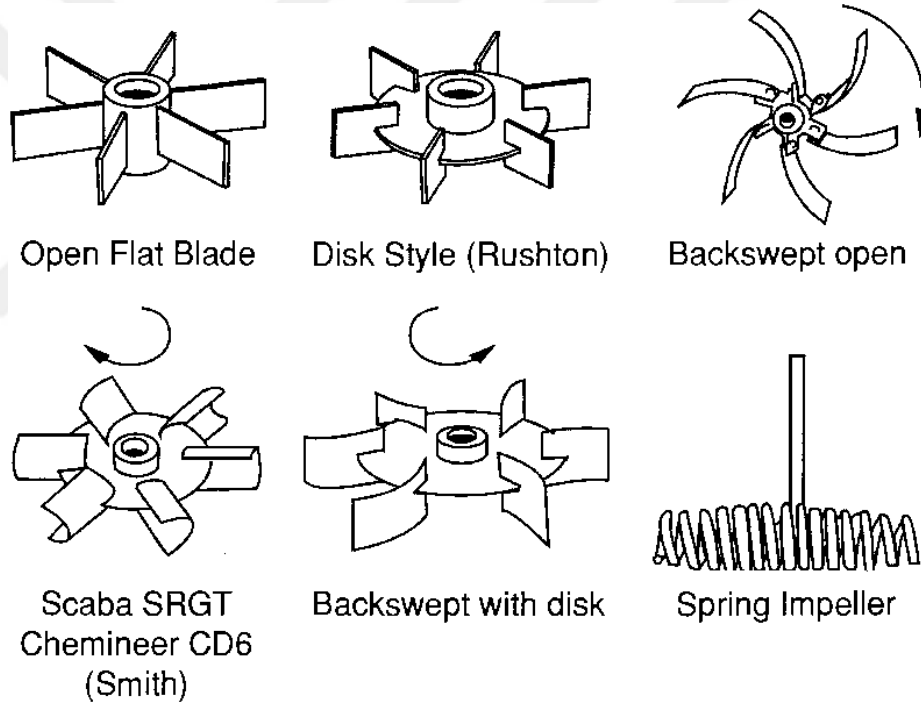
Bunlar, düşük ve orta viskoziteli sıvı uygulamaları, katı süspansiyonları, sıvı-sıvı emülsiyonları ve gaz dispersiyonlarında en geniş kullanıma sahiptir. Türbin pervanelerdeki kanat sayısı 2'den 12'ye kadar değişebilir. İki kanatlılar normalde mekanik olarak kararsızdır, hâlbuki bir göbeğin üzerinde altıdan fazla kanat tutturmak zordur. Eksenel akış pervaneleri genellikle üç veya dört, radyal akış pervaneleri de altı kanatlıdır. Bunlardan bazıları Şekil 2.15'de verilmektedir.



Şekil 2.15. Eksenel akış pervaneleri (Paul *et al.* 2004).

b) Radial Akış Pervaneleri

Rushton türbini, bir disk üzerine altı dikey kanadın monte edilmesi ile oluşur. Standart bağıl boyutlar, $D/4$ kanat uzunluğu, $D/5$ kanat genişliği ve $0,66-0,75D$ disk çapından oluşmaktadır. Geriye yatık türbinler, Rushton türbininden %20 daha az güç sayısına sahip altı eğik kanada sahiptir. Kanatların geriye yatık doğası, kanatlar üzerinde madde oluşmasını engeller. Aynı zamanda aşınma için daha az hassastır. Tipik uygulamaları, kâğıt ve kâğıt hamuru endüstrilerindeki fiber ve genel atık prosesindedir. Bunlardan bazıları Şekil 2.16'da verilmektedir.

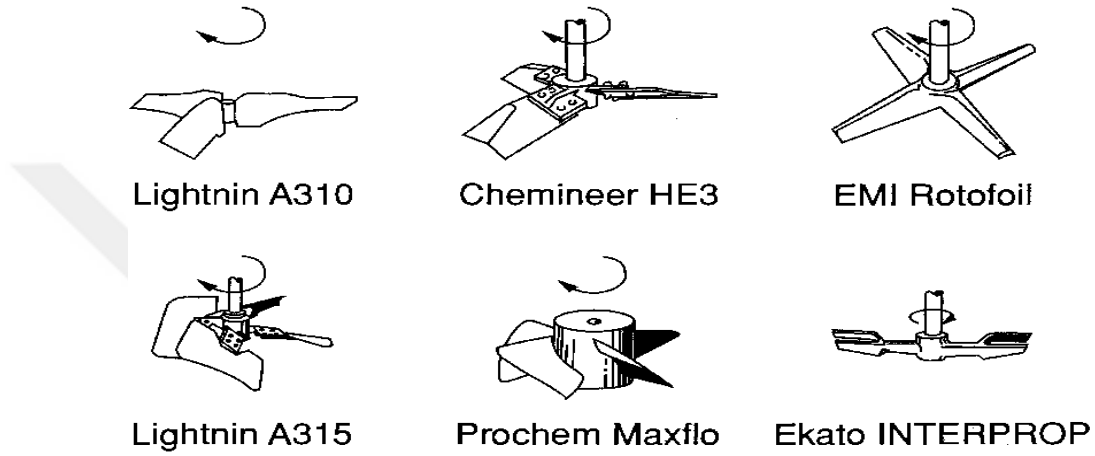


Şekil 2.16. Radyal akış pervaneleri (Paul *et al.* 2004)

c) Hidrofil Pervaneler

Hidrofil pervaneler, aksenal akışın önemli olduğu ve düşük kesmenin istenildiği yerlerdeki uygulamalar için geliştirilmiştir. Bunlar, üç veya dört incelen bükülmüş kanatlara sahiptir. Bu kanatlar bombeli, bazen de ön kenarlarından yuvarlatılmış olabilir. Uçdaki kanat açısı, kanat boyuna karşı, yaklaşık sabit bir fırlatmaya neden olan

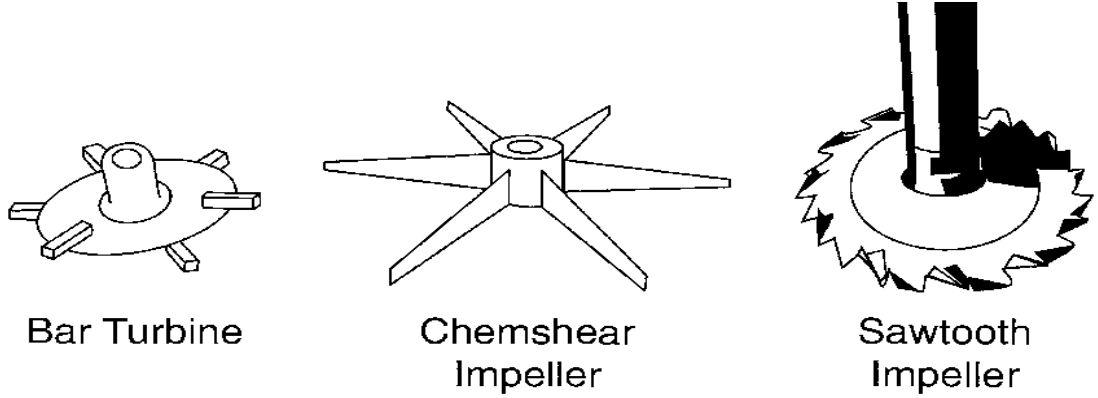
göbektekinden daha yüzeyseldir. Bu, boşaltım bölgesi girişine karşı daha homojen hız oluşturur. Bu kanat şekli daha az güç sayısı ve birim güç başına, eğik kanatlı bir türbinden daha yüksek akış sağlar. Akış pompalama yönünde daha aerodinamik ve pervanelerin vorteks sistemleri, eğik kanatlı türbinlerinki kadar güçlü değildir. Hidrofil pervanelerden bazıları Şekil 2.17’de verilmektedir.



Şekil 2.17. Hidrofil pervanelerden bazıları (Paul *et al.* 2004)

d) Yüksek Parçalama Pervaneleri

Yüksek parçalama pervaneleri, yüksek hızlarda çalışırlar ve öğütmede, pigmentlerin dispersiyonunda ve emülsiyon oluşturmada eklenen ikinci bir faz (örneğin, gaz, sıvı katı, toz) için kullanılır. Bu disperse edici pervaneler, düşük pompalama yaparlar ve bu yüzden hem yüksek parçalama hem de homojen dağılım sağlayan eksenel akış pervaneleri ile birlikte kullanılırlar. Yüksek parçalama pervanelerinin bazıları şekil 2.18’de verilmektedir.



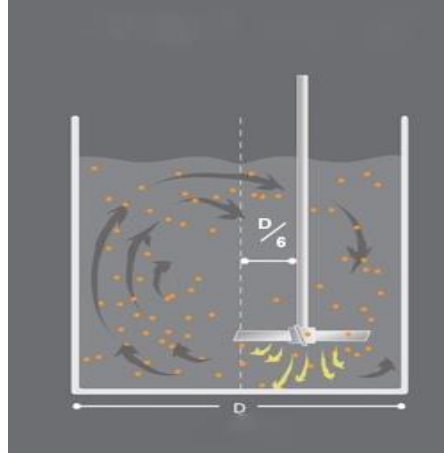
Şekil 2.18. Hidrofil pervaneleri (Paul *et al.* 2004)

2.3.3. Karıştırıcının konumu

Akış saptırıcıların kullanılmadığı eksenel yönde karıştırma yapan karıştırıcılar, tank içine merkezi ve dikey olarak yerleştirildiği zaman oluşan girdap akış etkisini azaltmak için, karıştırıcı farklı şekillerde yerleştirilir. Dikey ile farklı açılar yapacak biçimde Şekil 2.19'daki gibi yerleştirilir ve karıştırıcının tank merkezinden muhtelif uzaklıklarda dikey olarak yerleştirilmesi Şekil 2.20'de gösterilmiştir (Anonymous 2017).



Şekil 2.19. Açılı konumlandırma (Anonymous 2017)



Şekil 2.20. Karıştırıcının eksantrik olarak yerleştirilmesi (Anonymous 2017)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Kullanılan Cihazlar ve Ekipmanlar

ELDCT ölçümleri için GAMRY marka Interface 1000 model potansiyostat kullanılmıştır. Bu cihaz ile sınırlayıcı akım değerinin belirlenmesi için Linear Sweep Voltammetry (LSV) metodu ve karışma süresi ölçümleri için Chronoamperometry (CA) metodu kullanılmıştır.

Sistemde Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilen Rushton Türbinleri kullanılarak sabit karıştırma hızı sağlamak amacıyla Servodyne Marka, 50003-30 model mikser başlığı ve 50003-00 model takometre kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Altı kanatlı yatayla 30°, 45°, 60° ve 90° açılı Rushton Türbinleri



Şekil 3.2. 90° açılı 3,4,5 ve 6 kanatlı Rushton Türbinleri

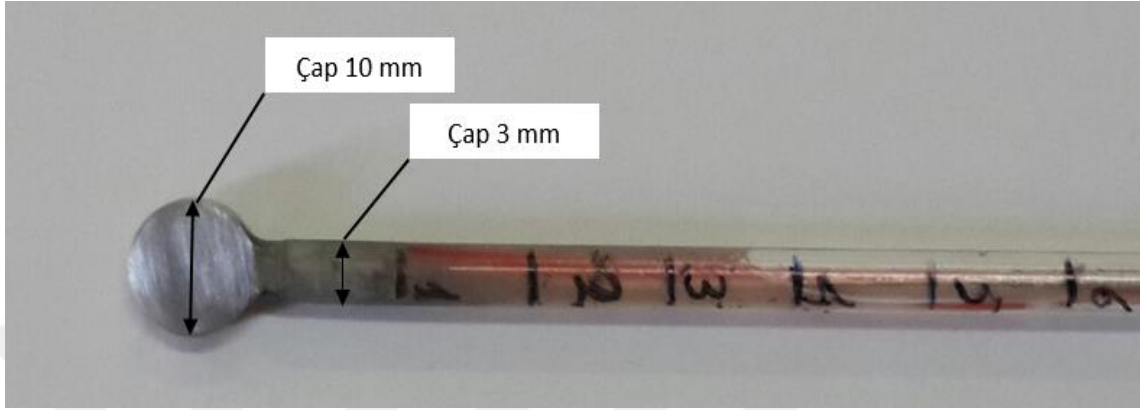
ELDCT ölçümlerini kıyaslamak için daha önceki çalışmalarda kullanılan iletkenlik değişiminin belirlenmesi yöntemi kullanılmıştır. Bunun içinde Şekil 3.3’de verilen ve saniyede 5 veri alabilen HAMILTON marka, Conducell 4USF Arc 120 model iletkenlik ölçer probu kullanılmıştır.



Şekil 3.3. İletkenlik ölçmek için kullanılan prob

Lokal ELDCT ölçümleri için Şekil 3.4’de verilen 1 cm çapında %99,9 saflıkta Nikel malzemeden imal edilmiş dairesel şekilli katot kullanılmıştır. Lokal katot akış hidrodinamiğini çok etkilemeyecek şekilde hem yerinin belirlenmesi ve hemde

belirlenen konumda sabit tutulması için 3 mm çapında silindirik pleksi glass borudan yapılmıştır.



Şekil 3.4. Nikelden yapılmış 1 cm çaplı lokal katot

Karışma ortamını sabit sıcaklık değerinde tutmak için JULABO marka F-25 model sabit sıcaklık sirkülatörü kullanılmıştır.

3.2. Kullanılan Elektrolit Çözeltiler ve Özellikleri

Deneylerde farklı viskozite ve yoğunlukta elektrolit çözeltileri kullanılmıştır. Bu çözeltiler hazırlanırken Çizelge 3.1’de özellikleri verilen kimyasal maddeler kullanılmıştır.

Çizelge 3.1’de verilen kimyasal maddeler kullanılarak Çizelge 3.2’de verilen farklı viskoziteli çözeltiler hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1. Deneylerde kullanılan elektrolit çözeltileri hazırlamak için kullanılan kimyasal maddeler ve özellikleri.

Kullanılan Kimyasallar	Özellikler
Gliserin	Tedarikçi Firma: Merck Saflık Derecesi $\geq$ %99,5 Yoğunluğu = 1,26 kg/l (20°C) Dinamik Viskozite: 1,412 Pa·s (20°C)
K ₂ CO ₃	Tedarikçi Firma: Sigma-Aldrich Saflık Derecesi $\geq$ %99,0
K ₃ [Fe(CN) ₆]	Tedarikçi Firma: Merck Saflık Derecesi $\geq$ %99,0 Molekül Ağırlığı: 329,26g/mol
K ₄ [Fe(CN) ₆]·3H ₂ O	Tedarikçi Firma: Merck Saflık Derecesi $\geq$ %99,0 Molekül Ağırlığı: 422,39g/mol

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan farklı viskoziteli elektrolit çözeltileri ve bileşimleri.

Çözelti Adı	Çözelti Bileşimi
Gliserinsiz çözelti	0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K ₂ CO ₃ çözeltisi,
%10 gliserinli çözelti	0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür, destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K ₂ CO ₃ ve %10 (w/w) gliserin
%20 gliserinli çözelti	0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür, destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K ₂ CO ₃ ve %20 (w/w) gliserin
%30 gliserinli çözelti	0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür, destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K ₂ CO ₃ ve %30 (w/w) gliserin
%40 gliserinli çözelti	0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür, destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K ₂ CO ₃ ve %40 (w/w) gliserin,
%50 gliserinli çözelti	0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür, destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K ₂ CO ₃ ve %50 (w/w) gliserin
Konsantre çözelti	0,1M K ₃ FCN ₆ , 0,4M K ₄ FCN ₆ ve 0,1MK ₂ CO ₃

3.3. Elektrokimyasal Sınırlayıcı Difüzyon Akımı Tekniği

Çalışmada kullanılan ölçüm tekniği, hem zorlanmış hem de doğal taşınım kütle transfer çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmakta olan elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım tekniğidir (ELDCT). Bu teknikle sadece lokal ve ortalama kütle transfer ölçümleri yapılmamakta, aynı zamanda akışkan hızı, kesme gerilimi ve türbülent çalkantı ölçümleri kolay ve daha hızlı bir şekilde yapılabilmektedir (Doan *et al.* 2001; Burns and Jachuck 2005; Emin Arzutuğ *et al.* 2005). Kütle transferi ve kesme gerilimi ölçümleri için farklı geometrilerde ve laminar, türbülent, zorlamalı ve doğal akış gibi farklı akış şartlarında ELDCT'nin teorisi, detaylı olarak bildirilmiştir (Newman 1968; Selman and Tobias 1978). Bu teknik, özellikle kütle transferi ölçümlerinde oldukça hassas ve güvenilir sonuçlar vermekte ve tekniğin uygulanması kompleks ölçüm sistemleri gerektirmemektedir. Bu yöntem, yüksek Schmidt sayısına sahip akışkanlarda duvar akılarının belirlenmesinde de geniş bir uygulama alanına sahiptir. Burada ölçülen miktar, elektrot yüzeyinde reaksiyon veren belirli iyonların transferi ile geçen akımdır. Sınırlayıcı akım; belirli bir reaktan konsantrasyonunda, iyi belirlenmiş hidrodinamik şartlarda ve kararlı halde bir elektrokimyasal hücrede gerçekleşen bir elektrokimyasal reaksiyonla üretilen maksimum akım olarak ifade edilir.

Bu teknikle, anot reaktanı olarak potasyum ferrosiyanür fazlası ve katot reaktanı olarak ferrisiyanür iyonlarının yaygın bir şekilde kullanıldığı elektrolitik sistemler için çalışılmıştır.

Ferri-ferro çifti indirgeme sonucunda herhangi bir katı ürün vermediğinden dolayı bu tür çalışmalarda yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Berger and Ziai 1983).

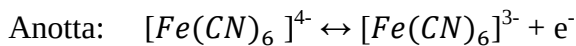
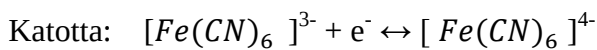
Kullanılan elektrolit içinde, ferri-ferro siyanür çifti yanında sodyum hidroksit (Lesage *et al.* 2000; Sedahmed *et al.* 2000) ve potasyum hidroksit destekleyici elektrolit olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yüzden ferri-ferro siyanür elektrolitlerinin farklı alkalilerle, farklı sıcaklık ve konsantrasyonlardaki fiziksel özellikleri, birçok araştırmacı tarafından çalışılmış ve rapor edilmiştir (Eisenberg *et al.* 1956; Bazán and Arvia 1965;

Gordon *et al.* 1966; Hiraoka *et al.* 1981; Bourne *et al.* 1985; Sarac *et al.* 1993). Bununla birlikte, yukarıda adı geçen bu destekleyici elektrolitler, kirletici ve korrozif olduklarından dolayı son zamanlarda bunların yerine daha az korrozif olan potasyum karbonat (Tzanetakis *et al.* 2004), potasyum sülfat (Barbeau *et al.* 2002; Gaucher *et al.* 2002; Wein *et al.* 2006; Dib *et al.* 2008) ve sodyum karbonat (Griffiths *et al.* 2005) gibi destekleyici elektrolitler kullanılmaktadır. Genellikle kütle transfer ölçümlerinde sıklıkla kullanılan bir elektrolitik sistem içinde ferrisiyanür iyonlarının elektrokimyasal difüzyon katsayısı belirlenmiştir. Destekleyici elektrolit olarak potasyum karbonat kullanılan elektrolit içine gliserin eklemek suretiyle geniş bir Schmidt sayısı aralığında ve bir sıcaklık aralığında ferrisiyanür iyonlarının elektrokimyasal difüzyon katsayısını belirlemişlerdir (Eroglu *et al.* 2011). Ferri-ferro çiftini ihtiva eden ve destekleyici elektrolit olarak, potasyum klorür içeren elektrolit kullanılarak, elektrokimyasal difüzyon katsayısı ölçümleri yapılmıştır (Arvia *et al.* 1968; Roffel and Vandegraaf 1977).

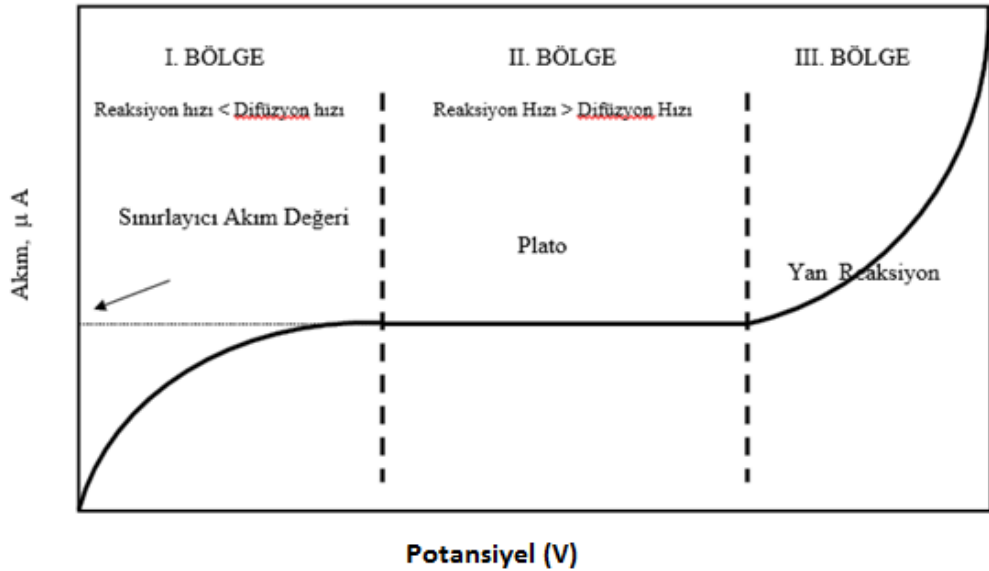
Bu teknik, kütle transferi ile sınırlanan ve maksimum hızda yürüyen bir elektrokimyasal reaksiyona dayanmakta olup, genellikle katodik indirgenme reaksiyonu ile ifade edilir:



ELDCT yöntemi kullanılarak yapılan bir çalışmada 1N destekleyici aktif olmayan elektrolit, 0,005N ferri siyanür, 0,1N ferro siyanür ve nikel veya platin elektrotlardan oluşan elektrokimyasal bir hücrede sınırlayıcı difüzyon akım değerleri ölçülmüştür. Elektrot yüzeylerinde aşağıdaki reaksiyonlar meydana gelmektedir (Gordon *et al.* 1966).



Böylesi bir elektrokimyasal sisteme ait akım-voltaj eğrisi Şekil 3.5’de gösterilmektedir. Bu şekildeki birinci bölgede reaksiyon hızı aktif iyonların yüzeye transfer hızından yavaş olduğundan, prosesin hızını yüzeyde meydana gelen elektrokimyasal reaksiyonun hızını kontrol eder ve potansiyel farkı arttırıldıkça reaksiyon hızı arttığından sistemden geçen akım artar. İkinci bölgeye ulaşıldığında, arttırılan potansiyel farkından dolayı, reaksiyon hızı kütle transfer hızını aşmış olup elektrokimyasal prosesin hızını sınır tabaka içinden aktif iyonların yüzeye kütle transfer hızı kontrol eder. Bu bölgede potansiyel farkının arttırılması sürecin hızını arttırmaz, ancak kütle transfer hızına etki eden faktörlerin değişmesi sürecin hızını yani okunan akım değerini etkiler. Dolayısıyla bu bölgede okunan sabit akım değerine elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akımı denir. Üçüncü bölge sistemde farklı bir elektrokimyasal reaksiyonun (genellikle çözücü ayrışması) başladığını gösterir. Bu teknikte, ikinci bölgede çalışılır ve bu aralıkta yüzeye ulaştığında hemen tüketildiğinden aktif türün yüzeydeki konsantrasyonu pratik olarak sıfır olur.

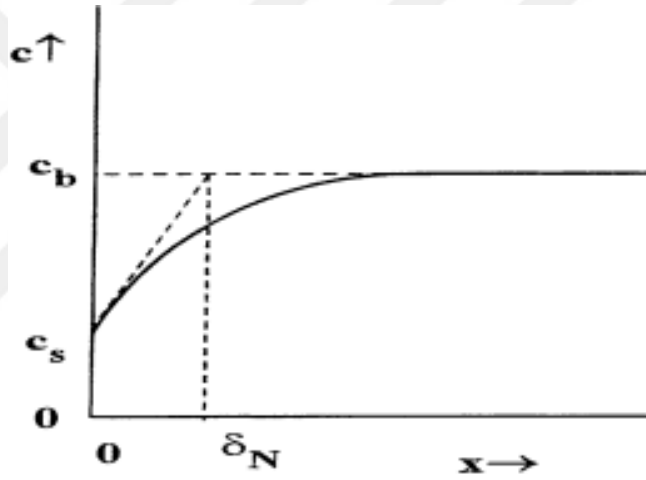


Şekil 3.5. Sınırlayıcı akımı gösteren tipik akım-potansiyel eğrisi (Berger and Ziai 1983)

Sınırlayıcı akım tekniği taşınım olayı ölçümlerine uygulandığı zaman, sistem anodik veya katodik kontrollü yapılabilir. Ferri-ferrosiyanür çifti kullanıldığında, katottaki indirgeme reaksiyonuna ait plato daha geniş ve düzgün olduğundan katodik kontrollü

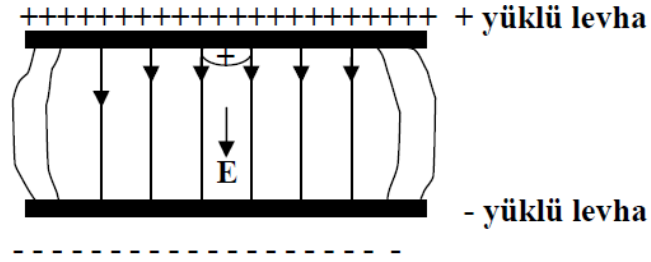
bir sistem tercih edilir. Bunu sağlamak için genellikle anot alanı katot alanından büyük alınarak hücre tasarlanır. İlave olarak prosesin katodik kontrollü olduğundan emin olmak için, ferrosiyanür konsantrasyonu ferrisiyanürden yüksek yapılır.

Elektrolit ana yığını ve elektrot arasında, konsantrasyon değişiminin gözlemlendiği, elektrot yüzeyine dik yönde ve belirli bir kalınlıkta (δ_N) “Nernst Difüzyon Tabakası” olarak adlandırılan çok ince olan bir tabakanın oluştuğu kabul edilir (Şekil 3.6). Elektrot-elektrolit sisteminde kütle transferine karşı oluşan direnç bu tabakadan kaynaklanmaktadır (Janssen and Koene 2002).



Şekil 3.6. Elektrot yüzeyinde reaksiyona giren bir maddenin şematik gösterimi (Nernst Difüzyon Tabakası) (Janssen and Koene 2002)

Elektrot yüzeyinde reaksiyon verecek iyonlar, elektrolit ana yığından elektrot yüzeyine ulaşmak için bu tabakadan geçmek zorundadır. Kütle transferine karşı oluşan bu direncin büyüklüğü, tabakanın kalınlığı ile doğru orantılıdır. Bu nedenle, tüm sistemin hızını, iyonun bu tabakadan transfer hızı belirlemekte ve kontrol etmektedir. Sınırlayıcı difüzyon akım tekniğinin uygulanması, iyon transferinin sadece difüzyon yolu ile sağlanması durumunda mümkün olmaktadır. Zıt ve eşit yüklü iki iletken levha arasında potansiyel fark uygulandığı zaman elektriksel alan oluşacaktır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Zıt ve eşit yüklü iki iletken levha arasında oluşan düzgün elektriksel alan

İyonlar çözelti yığınının elektrot yüzeyine 3 yolla transfer edilir:

- a) İyon Göçü:** Elektrokimyasal hücrede iki elektrot arasına uygulanan potansiyel farkı sebebi ile oluşan elektrik alanı etkisi altında iyonların transferi,
- b) Difüzyon:** Elektrot yüzeyi ve çözelti ana yığını arasında oluşacak konsantrasyon gradyenine bağlı olarak iyonların transferi,
- c) Konveksiyon:** İyonların elektrot yüzeyine bir akışkan akışı (konveksiyon) ile beraber gerçekleşen transferi. Genellikle tabii konveksiyon ve zorlamalı konveksiyon (Karışma, çarpma) sebebi ile oluşan akışkan akışları durumunda gerçekleşen taşınım.

Elektrokimyasal hücreden geçen toplam elektrik akımı, difüzyon, iyon göçü ve yığın akışı için harcanan akımların toplamına eşittir.

$$I_{\text{toplam}} = I_{\text{difüzyon}} + I_{\text{migrasyon}} + I_{\text{yığın}} \quad (1)$$

Bir elektroliz hücresi içinde transfer olayının, kararlı halde ve elektrolit yüzeyine dik y doğrultusunda ve tek yönlü olarak gerçekleştiğinin kabul edilmesiyle bir elektrot için tek boyutlu kütle transferi, Nernst-Planck eşitliği ile verilir. Reaksiyona giren türlerin transfer hızı, eşitlik (2) de verilmektedir.

$$N_A = \underbrace{-D_{AB}(\partial C_A / \partial y)}_{\text{(Difüzyon)}} + \underbrace{(zF/RT) D_{AB} C_A (\partial \theta / \partial y)}_{\text{(İyon göçü)}} + \underbrace{C_A v_y}_{\text{(Konveksiyon)}} \quad (2)$$

Elektrotta akım yoğunluğu (3) eşitliği ile verilir (Mizushina 1971).

$$N_A = i/AzF \quad (3)$$

(2) eşitliğinin sağ tarafındaki üç terim sırasıyla difüzyon, iyon göçü ve konveksiyonun katkısını göstermektedir. Uygulamada Nernst-Planck eşitliğinde yapılan kabuller şunlardır:

Eşitlikteki son terim olan konveksiyon, film tabaka içinde elektrot yüzeyine dik net yığın akışı olmadığından, ihmal edilebilir. Dolayısıyla (2) eşitliğindeki son terim sıfır olarak kabul edilebilir. İyon göçü terimi ise, elektrotta reaksiyon vermeyen ve reaksiyon veren iyon türleri ile kıyaslandığında oldukça yüksek iletkenliğe sahip olan bir destek elektrolitin çözelti içine ilave edilip iletkenliği artırıldığından, ihmal edilebilir düzeye düşürülür. İyon göçü ve konveksiyon terimlerinin ortadan kalkması ile elektrolitik hücreden geçen akımın hemen hemen hepsi difüzyonla elektrot yüzeyine varan iyonların reaksiyon vermesinden kaynaklanır. Bu durumda yüzeye kütle transferini ifade eden (2) eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$N_A = -D_{AB}(\partial C_A/\partial y) \quad (4)$$

Yüzeyde kütle transferini ifade eden (4) eşitliği aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$N_A = k (C_{Ab} - C_{As}) \quad (5)$$

(3) eşitliğinde N_A 'nın değeri (5) eşitliğinde yerine konup düzenlenirse (6) eşitliği elde edilir:

$$k = I_L/zFA (C_{Ab} - C_{As}) \quad (6)$$

Sistem sınırlayıcı difüzyon akım şartlarında, film içinden difüzyon kontrollü olduğu durumda, reaksiyon çok hızlı olduğundan dolayı, difüzyon tabakasını geçerek elektrot

yüzeyine ulaşan aktif iyon, reaksiyon vererek tükenecektir. Pratik olarak elektrot yüzeyinde reaksiyon veren aktif türün konsantrasyonu $C_{As} = 0$ olduğu dikkate alınır ve (6) eşitliği tekrar düzenlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$k = I_L / zFA C_{Ab} \quad (7)$$

veya,

$$I_L = kzFA C_{Ab} \quad (8)$$

Bu eşitliklerde

A: elektrot alanı, m^2

C_A : A türünün konsantrasyonu, mol/m^3

C_{Ab} : aktif türün çözelti içindeki yığın konsantrasyonu, mol/m^3

C_{As} : aktif türün elektrot yüzeyindeki konsantrasyon, mol/m^3

D_{AB} : A türünün B çözücüsü içindeki difüzyon katsayısı, m^2/s

F: Faraday sabiti, $(=96485 \text{ C} \cdot (e \cdot mol)^{-1})$

k: kütle transfer katsayısı, m/s

i: elektrik akımı, A

I_L : sınırlayıcı akım, A

$(\partial C_A / \partial y)$: konsantrasyon gradienti, $(mol/m^3)/m$

$(\partial \theta / \partial y)$: elektrik potansiyel gradienti, V/m

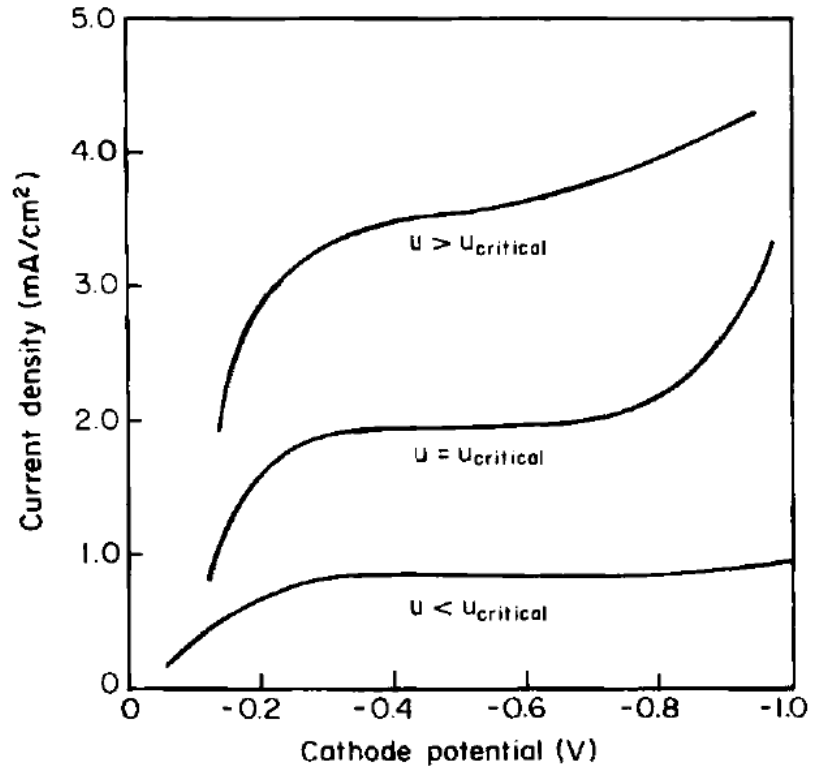
v_y : akışkanın y yönünde yığın hızı, m/s

z: transfer edilen elektron sayısı

ELDCT kullanılarak karışma süresinin belirlenmesi işleminde temel olarak Eşitlik (8) kullanılmaktadır. Burada belirli bir konsantrasyonda çözelti için sabit yüzey alanına sahip katot ve sabit hidrodinamik şartlar altında k, A ve I_L 'nin sabit olduğu görülmektedir. Böylesi bir durumda çözelti derişimi C_b değiştirildiğinde sınırlayıcı difüzyon akım değeri de değışecektir. Karışma süresi ölçümlerinde sabit bir C_{b1}

konsantrasyonunda çalışan bir sistemin aktif iyon derişimi (katodik kontrollü bir sistem olduğu için ferri iyon derişimi) artırılarak C_{b2} konsantrasyonuna getirilmektedir. C_{b2} konsantrasyonunda yeni kararlı hal oluşuncaya kadar sistemdeki değişimler kaydedilmektedir. Sınırlayıcı difüzyon akım değerindeki değişimler çözeltinin konsantrasyon değişimi ile orantılıdır. Bundan dolayı yeni kararlı hal oluşuncaya kadar sistemin akım değişimi kaydedilerek sistemdeki değişiklik yani yeni kararlı hal oluşuncaya kadar geçen süre belirlenmiştir. Bu süre bize karışma süresini verecektir.

Aynı elektroliz şartlarında akış hızının artması ile iyonların difüzyon hızı, artırıldığı için sınırlayıcı akım değeri artmıştır ve sonunda polarizasyon eğrilerinin düz bölgesi Şekil 3.8’de görüldüğü gibi daha yüksek belli bir akış sınırında kaybolur. Böyle durumlarda, elektrot yüzeyine ulaşan bütün iyonları uzaklaştırmak için reaksiyon oldukça yavaş olduğundan sınırlayıcı akım, daha küçük gösterilir. Akış hızının bu üst limiti, kritik akış hızı olarak adlandırılır. Daha yüksek akış hızında daha yüksek kritik akış elde edilir. Reaksiyon hız sabitleri sıcaklıkla üstel olarak değişirken difüzivite yaklaşık olarak sıcaklıkla doğrusal bir fonksiyonu olduğu için kritik akış hızı sıcaklığa karşı çok hassastır. Elektrot yüzeyindeki konsantrasyonlar sıfır olmadığı için, kritik akış hızının üstündeki veriler, korelasyonlarda kullanılmamalıdır (Mizushina 1971).



Şekil 3.8. Kritik akış hızı (Mizushina 1971)

Bu tekniğin karışma süresi ölçümünde kullanılmasının dayandığı mantık şu şekilde açıklanabilir. Elektrokimyasal sınırlayıcı akım koşullarında kütle transfer katsayısı k 'yı etkileyen herhangi bir parametre, sınırlayıcı akımı da etkiler. k 'yı etkileyen parametreler, akışkan özellikleri, akış özellikleri ve sistem geometrisidir. Dolayısıyla sistem ilk halinde kararlı bir şekilde karıştırılıyorken, kararlı ve sabit bir sınırlayıcı akım değeri okunur. Bu sisteme farklı elektrolit konsantrasyonuna sahip bir çözelti veya farklı viskozitede bir çözelti ilave edildiğinde kararlı akım değeri değişecek ve sistem tamamıyla karışıp yeni bir kararlı hale ulaşmaya kadar, yani tank içeriği homojen bir hal alıncaya kadar, değişen bir sınırlayıcı akım değeri kaydedilir. Sistem homojen hale gelince sınırlayıcı akım değeri yeni ve sabit bir değere ulaşır. Bu iki değer arasındaki süreden yararlanarak karışma süresi belirlenebilir.

Bu yöntemin avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- ELDCT'de sistem kurulumu ve ölçüm yöntemi kompleks değildir.

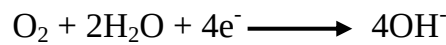
- Sistemde ölçülen büyüklük elektrik akımı olduğundan ölçülmesi, kaydedilmesi ve veri işlenmesi kolaydır.
- Hızlı cevap veren bir sistemdir.
- Elektrokimyasal sensör basit bir metal yüzeyinden ibarettir.
- Elektrokimyasal sensör tank iç yüzeyine düz bir şekilde monte edilebileceği gibi, sensör şeklinde tank içinde herhangi bir konuma da daldırılabilir.
- Sensör ihtiyaca göre esnek bir boyut aralığında imal edilebilir.
- Küçük boyutlu sensörlerle edi çalkantıları da kaydedilerek sistemin türbülent davranışı hakkında da bilgi edinilebilir.
- Birden fazla noktada ölçüm alınabilir.

Bu nedenle, tank içerisinde karışma süresinin ölçüleceği herhangi bir noktada elektrodun akışa göre konumu, hidrodinamik şartların değişmesine, bu ise elektrottan geçen akım değerinin değişmesine neden olacaktır.

3.3.1. Dikkat edilmesi gereken hususlar

Genellikle oksit indirgenmesi ve hidrojen oluşumunun olduğu deneysel çalışmalara başlamadan önce yüzeyde oluşan oksitlerin giderilmesi gerekir (Szanto *et al.* 2008).

Elektrolit ve elektrotların havayla temas etmelerinden dolayı oluşan etkiler komplekstir ve ölçümler üzerine havanın gerçek etkilerinin olup olmadığı belirsizdir. Havanın bozucu etkisi kanıtlanmış bileşeni oksijendir. Fakat H₂S gazı da muhtemelen çözeltinin alkalitesi nedeniyle absorbe edilebilir. Dolayısıyla H₂S de bir diğer potansiyel elektrot zehiridir. Katot üzerinde O₂ ile ilgili olması muhtemel yan reaksiyon Aggerwaal ve Talbot (1979) tarafından önerilmiştir.

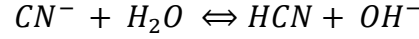
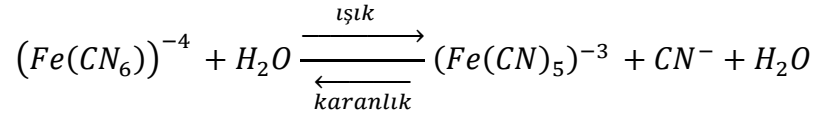


Fakat bu reaksiyon oluşmasına ihtimal verilmemektedir. Çünkü bu reaksiyonun deşarj potansiyeli, difüzyon kontrollü şartların mevcut olduğu normal voltaj aralığından oldukça yüksektir. Bununla birlikte, elektrolit içinde oksijenin bulunması elektrot yüzeyi üzerinde oksit filmi oluşumuna yol açabilir veya ferrosiyanürün oksidasyonunun olması daha muhtemeldir. Bu sebeplerden ötürü çözelti içinde bulunan çözünmüş oksijen, inert bir gaz (N_2) ile sürüklenip uzaklaştırılmalıdır. Havanın daha küçük yüzdeli diğer bileşenleri, çözelti kirleticileri ve elektrot zehirleyicileri olarak bazik çözeltide çözünebilir. Mesela H_2S 'ün elektrodu pasifleştirmek suretiyle absorbe edildiği düşünülmektedir. Elektrot zehirleri farklı şekillerde davranırlar. Genellikle ya kimyasal polarizasyonu arttırarak (yani yarışan reaksiyonlar, akımı artırdığı için difüzyon kontrollü şartlar hiçbir zaman gerçekleşmez) ya da alternatif olarak elektrot yüzeyinin bazı kısımlarını bloke etmek suretiyle, reaksiyon için elektrodu elverişsiz hale getirerek etkilerini gösterirler (Berger and Ziai 1983).

Redoks sistemlerinde çözünmüş oksijen reaksiyonu ve ferrosiyanürün oksidasyonunun etkisi az olmasına rağmen yine de bu etkiden kaçınmak için çalışmadan önce çözelti azot gazı ile yıkanmalıdır. Sutey ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada türbülent akış şartlarında, %50'ye kadar oksijence doyurulmuş şartlarda %3 hata, %70'e kadar oksijence doymuş ferri-ferrosiyanür çözeltisinde hesaplanan kütle transfer katsayılarında %5'e kadar hata olduğunu bulmuşlardır (Sutey and Knudsen 1967).

Potasyum hidroksit veya potasyum klorür, yaygın bir şekilde kullanılan destekleyici elektrolitler arasındadır. Ancak son çalışmalar potasyum karbonat kullanımının, uzun sürelerde daha kararlı sınırlayıcı akım ölçümleri sağladığını göstermektedir (Szanto *et al.* 2008).

Potasyum ferri siyanürün sulu çözeltisinden oluşan elektroliti kullanmanın dezavantajı ise ferrisiyanür ve daha çok ferrosiyanürün, HCN oluşumuyla gerçekleşen fotokimyasal bozunmasıdır.

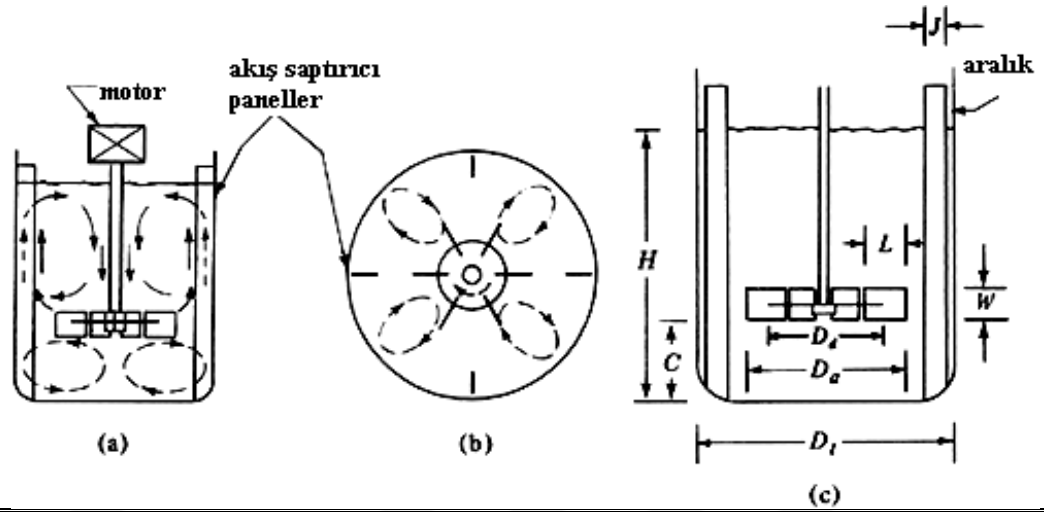


Oluşan HCN çözeltiyi kirletir ve elektrot yüzeyini zehirler. Bu nedenle çözelti, sistemin herhangi bir noktasında ışığa maruz bırakılmamalı, sistemin ışık geçiren bölümleri, bir opak malzeme ile kaplanarak ışığa karşı izole edilmelidir. Özellikle akış hattında saydam olan akış ölçer vb. ölçüm cihazlarını ve bağlantı elemanlarının kaplanması elektrolitin bozulmaması açısından büyük önem taşımaktadır (Berger and Ziai 1983).

Çözeltinin ışıktan etkilenmesi hemen meydana gelmez, bu işlem yavaşça oluşur. Çalışma çözeltileri uzun süre kullanılmayarak ve saydam olmayan reaktör ve stok çözelti depolama tankları kullanılarak bu sorun ortadan kaldırılabilir.

3.4. Karıştırma Sistemi

Burada belirli bir viskozitedeki sıvı içine enjekte edilen çözünmüş bir maddenin veya birbirini içinde çözünebilen iki farklı viskozitedeki sıvının karışma süresi ölçülecektir. Karıştırma tankı Şekil 3.9'da gösterilen standart tank ölçülerine göre imal edilmiştir (Geankoplis 2003).



$$\frac{D_a}{D_t} = 0.3 - 0.5$$

$$\frac{H}{D_t} = 1$$

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{D_d}{D_a} = \frac{2}{3}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Şekil 3.9. Standart tanklarda karışabilen sıvıların karıştırılması (Geankoplis 2003)

Karıştırma sistemlerinde akış rejimi, aşağıdaki gibi tanımlanan karıştırıcı Reynolds sayısı ile korele edilebilir:

$$N'_{Re} = \frac{D_a^2 N \rho}{\mu} \quad (9)$$

Burada:

D_a : Pervane (çalkalayıcı çapı), m

N : Dönme hızı, devir/s

ρ : Akışkan yoğunluğu, kg/m³

μ : Viskozite, kg/m.s

Tank içinde $Re < 10$ için akış laminar, $Re > 1.10^4$ için türbülent ve 10 ile 1.10^4 aralığındaki akış ise, geçiş durumunda olup kabın pervaneye yakın kısımlarında

türbülent uzak kısımlarında ise laminerdir. Pervane yakınında hızlı karışma, dış bölgelerde ise pompalama dolaşım hızına bağlı olarak yavaş karışma meydana gelir.

Güç tüketimi, güç sayısı N_p 'ye karşı N_{Re} grafiği şeklinde ifade edilir (Şekil 3.10) ve akışkan yoğunluğu ρ , akışkan viskozitesi μ , dönme hızı N ve pervane çapı D_a 'ya bağlıdır. Buna göre; güç sayısı

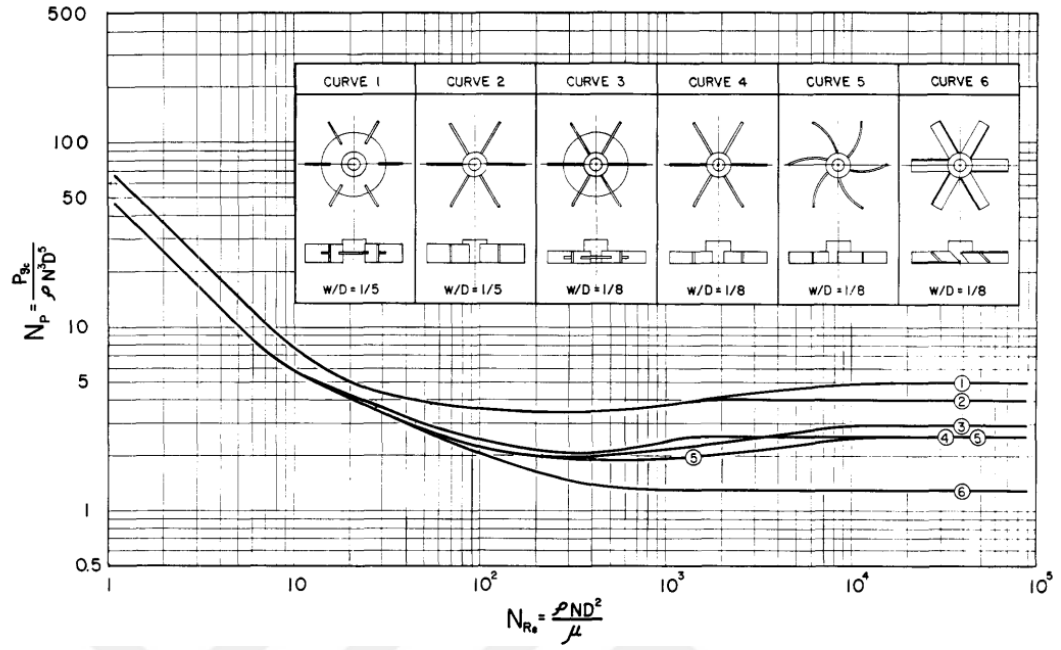
$$N_p = \frac{P}{\rho N^3 D_a^5} \quad (10)$$

P : güç (J/s yada W)

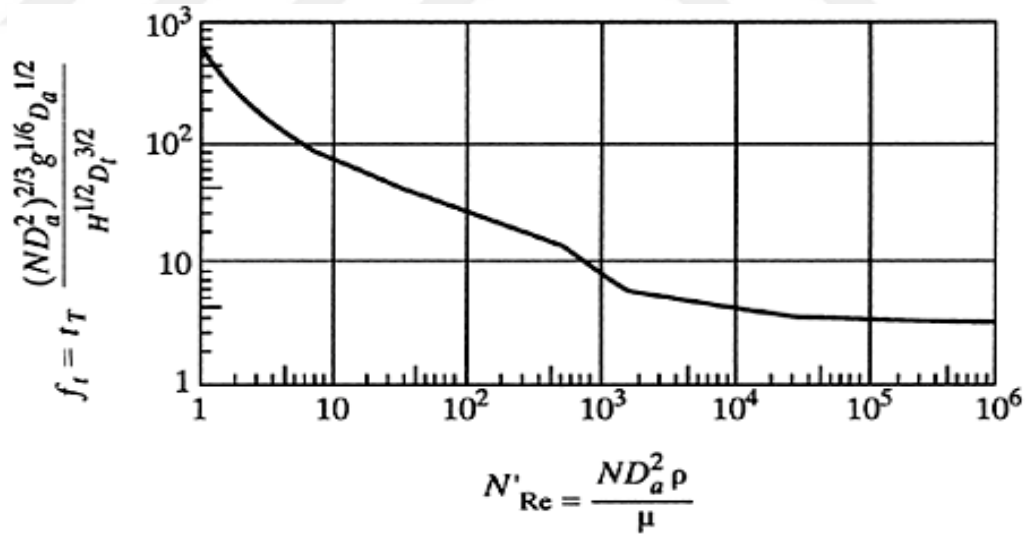
Karışabilen sıvılarda karışma süresi korelasyonu, Reynolds sayısının bir fonksiyonu olarak verilir. Şekil 3.11'de, bir türbin karıştırıcı için karışma süresi korelasyonu verilmektedir (Geankoplis 2003). Boyutsuz karışma faktörü f_t aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f_t = t_M \frac{(ND_a^2)^{2/3} g^{1/6} D_a^{1/2}}{H^{1/2} D_t^{3/2}} \quad (11)$$

Burada, t_T saniye olarak karışma süresi, $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ 'dir. $Re > 1000$ için, f_t yaklaşık olarak sabit olduğundan, $t_T N^{2/3}$ 'de sabittir. Bazı diğer karıştırıcılar için, $t_T N$ 'nin yaklaşık olarak sabit olduğu gösterilmiştir. Herhangi bir kaba, benzer geometriye sahip olan ve türbülent bölgede aynı “güç/birim hacim” değerine sahip ikinci bir kaba boyut büyütmek için, karışma süreleri aşağıdaki gibi ilişkilendirilir:



Şekil 3.10. Newtonian akışkanlarda farklı türbin karıştırıcı tasarımları için güç sayısı-Reynold sayısı korelasyonları (Bates *et al.* 1963)



Şekil 3.11. Akış saptırıcılı panele sahip olan bir tank içinde türbin kullanarak karışılabilir sıvılar için karışma süresi korelasyonu (düz bir türbin, diskli türbin ve eğik kanat türbin) (Geankoplis 2003)

$$\frac{t_{T2}}{t_{T1}} = \left(\frac{D_{a2}}{D_{a1}} \right)^{11/18} \quad (12)$$

Bundan dolayı, karışma süresi daha büyük kaplar için artar. Aynı karışma süresini koruyarak boyut büyütme yapmak için, güç/hacim önemli derecede artar:

$$\frac{(P_2/V_2)}{(P_1/V_1)} = \left(\frac{D_{a2}}{D_{a1}} \right)^{11/4} \quad (13)$$

Genellikle daha büyük boyutlu kaplara boyut büyütme için, güç/birim hacim önemli derecede artmasın diye biraz daha büyük karışma süresi kullanılır.

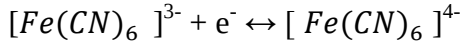
Çok viskoz bir sıvı için, aynı (güç/ birim hacim)'de, helisel bant karıştırıcı türbinden çok daha küçük bir karışma süresi verir. Fakat viskoz olmayan sıvılar için daha uzun süreler verir.

Akış saptırıcı panelli bir tankta, bir pervane için karışma süresi korelasyonu Biggs (Biggs 1963) ve panelsiz bir tank için Fox ve Gex (Fox and Gex 1956) tarafından verilmiştir. Akış saptırıcı panelli bir tankta, daha yüksek etkinlikli bir pervane için karışma süresi korelasyonları literatürde verilmiştir (Fasano *et al.* 1994). Karışma sürelerinin eğik kanatlı çalkalayıcılardakinden daha düşük olduğunu göstermektedir.

3.5. Tank Konfigürasyonu ve ELDCT'nin Uygulanması

Çalışmada kullanılacak ceketli, tank tipi karıştırılmalı reaktör, Şekil 3.9'da verilen standartlara uygun olarak 150 mm çapında silindirik, tank tabanı düz olacak şekilde pleksiglass malzemeden yapılmıştır. Tank çapı (D) 150 mm olduğu için tank içindeki çözelti yüksekliği (H) tank çapına eşit olacak şekilde çözelti ile doldurulmuştur ($H = D$).

Ferrisiyanür iyonlarının indirgenmesi;



kütle transfer işlemlerinde konvektif-difüzyon kontrollü şartlar altında klasik bir sistemdir. Platin veya altın elektrot yüzeyler tercih edilmektedir. Fakat bunlar mühendislik sistemleri için kullanılabilirliği ve maliyetlerin sürekliliği açısından mümkün değildir (Pletcher 1993; Walsh 1993). Daha geniş yüzey alanı ve geliştirilmiş kütle transferi sağlamak için erimiş ve köpük nikel katot kullanılan çalışmalar yapılmıştır (Marracino *et al.* 1987; Montillet *et al.* 1994; Szanto *et al.* 2008). ELDCT'nin kullanıldığı döner disk ve çarpan jet yöntemi ile elektrokimyasal kütle transferi çalışmasında nikel elektrotlar kullanılmıştır (Şara *et al.* 2008).

Bu çalışmada kullanılan elektrotlar, kullanılan çözeltiye karşı inert, nispeten ucuz olmalarından dolayı platin yerine nikelden yapılmıştır. Bu deney sisteminde kullanılan tank içerisine eşit aralıklarla konumlandırılmış, 2 mm kalınlığında ve 12,5 mm $D_t/12$ genişliğinde nikelden yapılmış dört akış saptırıcı panel bulunmaktadır. Bu akış saptırıcılar Şekil 2.14'de verilen ölçülere uygun olarak tank duvarından 2,1 mm ($D_t/72$) açıklıkla tank içerisine yerleştirilmiştir. Bu akış saptırıcı panellerden bir tanesi katot (working electrode, WE) olarak ve diğer üç tanesi anot (counter electrode, CE) olarak kullanılmıştır (1B+3B). Bu şekilde tank içerisine, akış hidrodinamiğini bozacak dışardan ilave bir aparat konulmayacaktır. Bu akış saptırıcıların bütün yüzeyleri aktif olarak kullanılmıştır. Çözelti yüksekliği 150 mm olduğu için akış saptırıcılarında kullanılan yüksekliği 150 mm dir. Deneyler yapılmadan önce anot ve katot olarak kullanılan akış saptırıcı elektrot yüzeyleri çalışma öncesinde 1200 numara zımpara ile temizlenmiştir. Fiziksel olarak zımpara yardımıyla ve kimyasal olarak önce asetonla sonra HCl çözeltisi ile iyice temizlenmiştir.

Çözeltiler her bir deneyden önce taze olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler içerisinden 5 dakika boyunca azot gazı geçirilerek çözeltideki çözünmüş oksijen sistemden uzaklaştırılmaktadır.

Referans elektrot (RE) olarak Ag/AgCl kullanılmıştır. Referans elektrot 3 mm çapında camdan yapılmış silindirik bir borudan ibarettir. Akışı bozmaması ya da daha az etkilemesi için akış yönü ile aynı yönde olacak şekilde katot olarak seçilen akış saptırıcının arkasına yerleştirilmiştir. Referans elektrodun tank tabanından yüksekliği yapılan deneylerle belirlenmiştir.

Çözelti tank merkezinden ve karıştırıcı milin 10 mm yanından çözelti yüzeyine 5,2 ml ilave edilmiştir.

Karıştırıcının tabandan yüksekliği ($H/3$) 50 mm olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Karıştırıcı tank merkezinde konsantrik (tank merkezli) olarak yerleştirilmiştir. Karıştırıcı milin uç kısmında yer alan farklı kanat açılı (kanat sayısı 6, yatayla 30°, 45°, 60° ve 90°) ve farklı kanat sayılı (yatayla 90° açılı, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı) Rushton Türbünü değiştirilerek farklı akış şartları incelenmiştir.

Karıştırıcı milin uç kısmına takılan Ruston Türbünü tasarlanırken, Türbin çapı (D_a), Şekil 3.9'da verilen ölçülere göre $D_a/D=0,3 - 0,5$ olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu tank ölçülerine göre 45 mm–75 mm aralığında olması gerekmektedir. Bu ölçüler dikkate alınarak 60 mm çapında RT kullanılmıştır.

Tank muhtevası olarak kullanılan elektrolit çözeltisi, deneyler sırasında 20°C'de sabit tutulmuştur. Bunun için termostatlı sabit sıcaklık sirkülatörü kullanılmıştır.

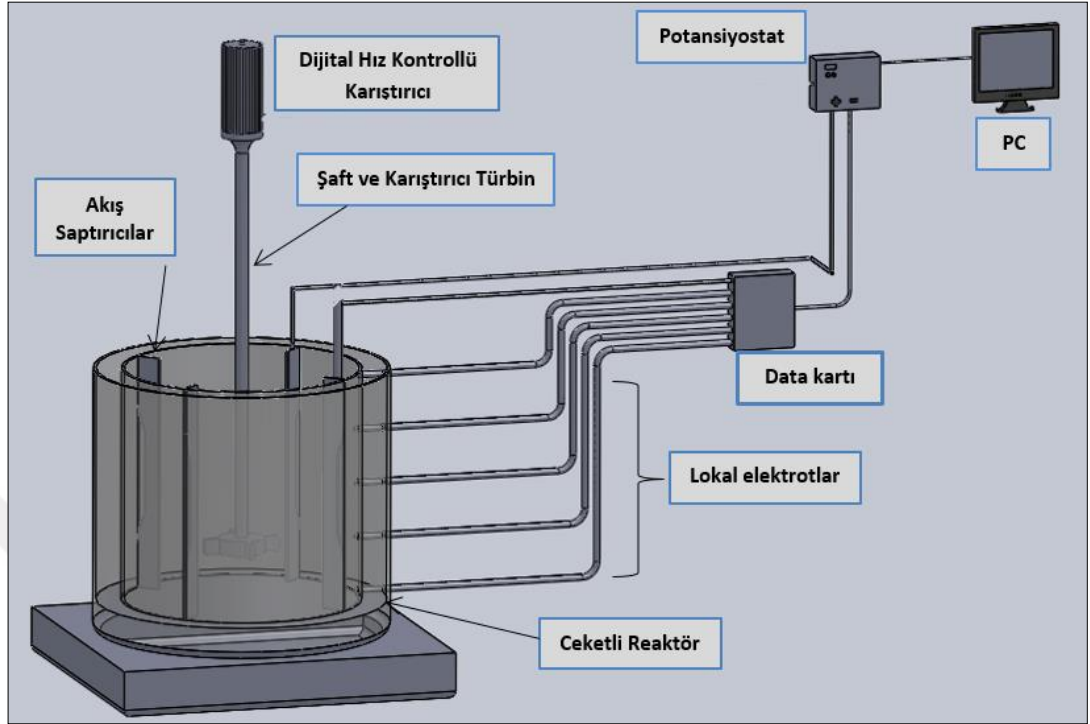
Servodyne marka dijital olarak hız kontrolü ayarlanabilen mikser kullanılarak karışma hızları ayarlanmıştır. Hız artış derecesi 10 rpm dir. Bunun için belirlenen Re değerlerine karşılık gelen hızlar buna göre ayarlanmıştır.

Karıştırma ölçümlerinin yapıldığı deney düzeneyi, Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Sistemin potansiyostat ve ölçüm sistemleri ile bağlantısının yapılmasından sonra, tank ferri-ferro

siyanür elektrolit çözeltisi ile 150 mm yüksekliğe kadar doldurulmuştur. Bundan sonra deney tasarımında belirlenen şartlara uygun olarak belirli bir çalışma sıcaklığına (20°C) getirilen elektrolit, belli bir karıştırma hızına dijital takometre ile ayarlanır ve süreç kararlı (steady-state) hale gelene kadar karıştırmaya devam edilir. Bunun için her deneyden önce hangi şartta çalışılacaksa o şartlarda 5 dakika kadar ön karıştırma yapılarak sistemin o şartlar için kararlı hale gelmesi sağlanır.

Potansiyostat cihazında Kronoamperometri metodu kullanılarak elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım tekniği ile karışma süresinin belirlenebilmesi için, çalışma elektrodu (katot) ve referans elektrot arasına sabit potansiyel uygulanarak çalışma elektrodu ile anot arasındaki sınırlayıcı difüzyon akım değişimi ölçülmüştür. Bu akım değişimi incelenerek karışma süresi belirlenmiştir.

Bu amaçla durgun şartlarda, farklı karıştırma hızlarında ve farklı konsantrasyonlar için akım-gerilim verilerinden sınırlayıcı difüzyon akım değeri ve buna tekabül eden gerilim (potansiyel) değeri tespit edilmiştir.



Şekil 3.12. Deney sistemi

Sınırlayıcı akım şartları sağlandıktan sonra, tankın üzerinde koordinatı bilinen bir noktadan belli bir miktarda farklı özelliklere sahip akışkan tanka ilave edildiğinde elektrolitin bileşimi ve iletkenlik özellikleri değişir. Bu değişime bağlı olarak okunan sınırlayıcı akım değeri değişir. Kullanılan türdeki karıştırıcı başlığının özelliklerine göre açıl ve eksenel yönde akış üretebilme kabiliyetine bağlı olarak elektrolit özellikleri belli bir zaman sonra kararlı hal şartlarına yaklaşmaya başlar. Sınırlayıcı akımın ilk sağlandığı andan ikinci kez sağlandığı ana kadar geçen süre Kronoamperometri yöntemi ile hassas bir şekilde ölçülür. Bu süre bize karışma süresi hakkında bilgi verecektir.

ELDCT ile yapılan ölçümlerde iki farklı ölçüm sistemi kullanılmıştır.

Birincisi: Akış saptırıcı nikel panellerden birinin katot olarak kullanıldığı ve diğer üç tanesinin anot olarak kullanıldığı $1B+3B$ elektrot sistemidir. Bu sistemde tank içerisine dışardan akışı bozacak herhangi bir ölçüm probu vs. ilave edilmemektedir. Bu sistemde ölçülen karışma süresi, tankın ortalama karışma süresi değeridir.

İkincisi: Katot olarak 1 cm çaplı lokal bir katot kullanıldığı ölçüm sistemidir. ELDCT ile yapılan ölçümlerin doğruluğunu kıyaslamak için kullanılan 1 cm çaplı lokal katot sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde Şekil 3.4’de verilen 1 cm çaplı dairesel nikel levha katot, diğer üç nikel akış saptırıcı panel anot olarak kullanılmıştır. Lokal katot kullanılmasının nedeni ise ELDCT ölçümlerini kıyaslamak için iletkenlik ölçüm tekniği kullanılmasıdır. İletkenlik ölçüm tekniği, tankın herhangi bir bölgesine daldırılan iletkenlik ölçüm probu ile lokal ölçümlere dayanmaktadır. ELDCT ile yapılan ölçümlerinde lokal olması gerekmektedir. Bu nedenle lokal katot kullanılmıştır.

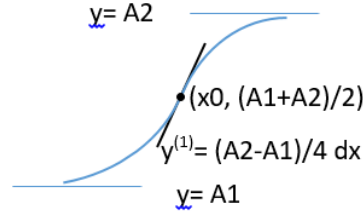
1B+3B elektrot sisteminde referans elektrot, katot olarak kullanılan akış saptırıcı panelin arkasına, 1cm lokal katot kullanılan ölçüm sisteminde ise anot olarak kullanılmayan akış saptırıcı panelin arkasına, akış yönünde yerleştirilmiştir.

3.6. Deneysel Verilerin Değerlendirilmesi

Deneysel veriler, Origin programı kullanılarak grafik edilmiştir. Sisteme konsantre çözelti ilavesi ile pulse etkisi oluşturulmaktadır. Tankın karışma şartlarına göre grafikte belli bir dalgalanma beklenmektedir. Bu şekilde normal ölçümler devam ederken tank içerisine sınırlayıcı akımı değiştiren bir miktar konsantre çözelti ilave edilince konsantrasyona bağlı olarak sınırlayıcı akım değerinde de artma yada azalma gözlenecektir. Bu değişim tankın hangi bölgesinde ölçüm yapıldığına ya da ortalama değer ölçülmesine göre değişim göstermektedir. Hangi durum olursa olsun ikinci durumda sistem dengeye gelecektir. Bu durumu Origin programında en iyi yansıtan fonksiyon, Boltzmann fonksiyonudur.

Boltzmann fonksiyonu, ‘S’ eğrisi olup Eşitlik (13) fonksiyonu ile ifade edilir. Deney sırasında elde edilen veriler grafik edildiğinde elde edilen eğriler S eğrisi olduğu için Boltzmann eğrisine uydurulmuştur. Boltzmann eğrisini temsil eden fonksiyon Eşitlik (13)’de ve temsili gösterimi Şekil 3.13’de verilmektedir.

$$y = \frac{A_1 - A_2}{1 + e^{(x-x_0)/dx}} + A_2 \quad (13)$$



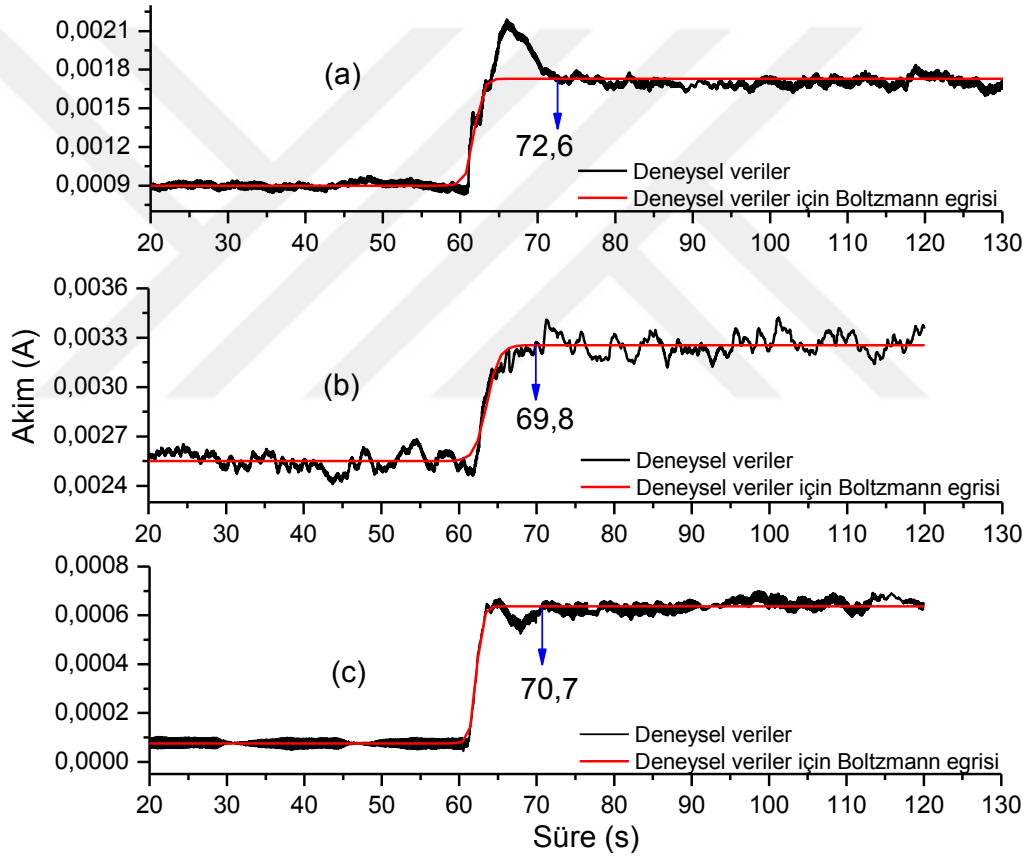
Şekil 3.13. Örnek Boltzmann eğrisi

Bu fonksiyonda yer alan dört parametre; **A1** (Başlangıç değeri) = 0, **A2** (Son değer) = 1, x_0 (merkez değeri) = 0, dx (zaman sabiti) = 1 şeklinde tanımlanmaktadır.

Bu işlem örnek bir çizimle deneysel verilerin ve bu verilere Boltzmann eğrisi uydurulduktan sonra farklı durumlar için nasıl yorumlanacağı Şekil 3.14’de gösterilerek açıklanmıştır. Şekil 3.14’de verildiği gibi siyah çizgilerle deneysel veriler grafik edilmiştir. Origin programı kullanılarak bu veriler Boltzmann eğrisine uydurulmuştur ve bu yeni Boltzmann eğrisi kırmızı çizgilerle gösterilmiştir. Bu, 60. saniyede karışma sistemine bir miktar konsantre çözelti ilave edilmesi ile sınırlayıcı akımda meydana gelen değişiklikten kaynaklanmaktadır. Karışma sistemi tekrar homojen hale gelinceye kadar sınırlayıcı akımda meydana gelen değişimler Şekil 3.14’de görülmektedir. Boltzmann eğrisine göre basamak şeklinde olan bu grafikte birinci durumdaki ortalama akım ve ikinci durumdaki ortalama akım değeri alınarak doğru çizilmiştir. Deneysel verilerden oluşan çizgi ile ikinci basamağın ortalama değerini veren Boltzmann eğrisinin kesişmesi ile karışma süresi tespit edilmiştir. Ancak Şekil 3.14’de görüldüğü gibi bu üç farklı şekilde olmaktadır. Şekil 3.14.a’da görüldüğü gibi 60. saniyede konsantre çözelti ilave edildikten sonra çok hızlı bir şekilde yükselip sonra ikinci durumda mavi ok işareti ile gösterilen 72,6. saniyede dengeye ulaşıyor. 60 ve 72,6. saniye arasındaki basamak değişimi haricindeki dalgalanmalar karıştırma ortamından kaynaklanan kararsızlıklardır. Şekil 3.14.b’de düzgün bir şekilde tank içerisine dağılım olmakta ve tankın içerisindeki sınırlayıcı akım değerinin yükselmesine neden olan konsantrasyon değeri düzgün bir şekilde artmaktadır. Şekil 3.14.c’de ise 65. saniyede

dengeye ulaşmış gibi görünse de ikinci basamaktaki normal akıştan kaynaklanan dalgalanmalardan daha büyük bir dalgalanma görülmektedir ve 70,7. saniye sistem dengeye gelmektedir.

Konsantre çözelti ilave edildiği zamandan, deneysel verilerden oluşan çizgi ile ikinci basamakta ortalama değerlerin kesiştiği nokta arasında geçen süre karışma süresi olarak değerlendirilmiştir.

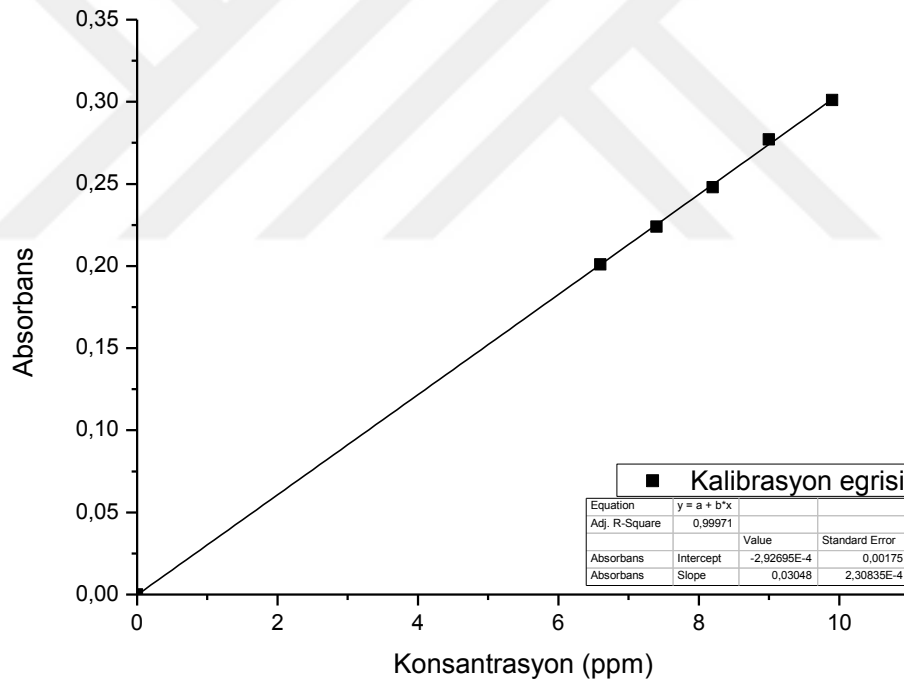


Şekil 3.14. Örnek Boltzmann eğrileri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Elektrolit Çözeltisinin Analizi

Araştırmada kullanılacak ferri- ferro elektrolit çözelti konsantrasyonları, farklı konsantrasyonlarda standart potasyum ferri siyanür çözeltileri hazırlanarak ve UV-spektrofotometresinde 410 nm dalga boyunda (Arzutug 2003) ölçüm yapılarak elde edilen kalibrasyon eğrisinden (Şekil 4.1) faydalanılarak bulunmuştur.



Şekil 4.1. Kalibrasyon eğrisi

Farklı konsantrasyonlarda hazırlanan Ferri çözeltilerin konsantrasyonları, UV-spektrofotometrede kontrol edilmiştir.

4.2. Elektrolit Çözeltilerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, Çizelge 3.1’de verilen kimyasallar kullanılarak Çizelge 3.2’de verilen konsantrasyonlarda hazırlanan elektrolit çözeltilerinin 20°C deki yoğunluk ve viskozite değerleri ölçülmüş ve Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Farklı gliserin içerikli elektrolit çözeltilerinin yoğunluk ve viskozite değerleri

Çözelti	Viskozite, cP	Yoğunluk g/ml
Gliserinsiz çözelti	1,0545	1,0115
%10(w/w) gliserinli çözelti	1,31	1,022
%20(w/w) gliserinli çözelti	1,817	1,055
%30(w/w) gliserinli çözelti	2,5687	1,082
%40(w/w) gliserinli çözelti	3,728	1,105
%50(w/w) gliserinli çözelti	6,107	1,1393

Çizelge 4.1’de verilen çözeltilerin viskozite değerleri Ostwald viskozimetresi ile yoğunlukları ise hidrometre kullanılarak ölçülmüştür.

4.3. Farklı Viskozite ve Yoğunluklu Çözeltiler İçin Re Aralığının Belirlenmesi

Fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de verilen gliserinsiz ve farklı gliserin içerikli çözeltiler için çalışılacak Re değerleri Eşitlik 9 kullanılarak belirlendi. Karıştırmalı tanklarda tank içinde $Re < 10$ için akış laminar, $Re > 1.10^4$ için türbülent ve 10 ile 1.10^4 aralığındaki akış ise, geçiş bölgesindedir. Türbülent şartlarda taşma gözlemlendiği ve karıştırıcının minimum dönme hızı 60 rpm olduğu için laminar ve türbülent şartlarda çalışılmamıştır. Bu çalışma, geçiş bölgesi sınırları içerisinde Re değerleri dikkate alınarak karıştırma hızları belirlendi.

Elektrolit çözeltilerinin viskozite ve yoğunluklarına göre Eşitlik 9 kullanılarak karıştırma hızları belirlenmiştir. Gliserinsiz çözelti için 60, 90, 120, 150 ve 180 rpm değerleri alınmıştır. Diğer %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) gliserinli çözeltiler için bu karıştırma hızlarına karşılık gelen Re değerlerindeki karıştırma hızları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Farklı gliserin içerikli elektrolit çözeltileri için karıştırma hızı değerleri

Re		Gliserinsiz çözelti için karıştırma hızı (rpm)	%10 gliserinli çözelti için karıştırma hızı (rpm)	%20 gliserinli çözelti için karıştırma hızı (rpm)	%30 gliserinli çözelti için karıştırma hızı (rpm)	%40 gliserinli çözelti için karıştırma hızı (rpm)	%50 gliserinli çözelti için karıştırma hızı (rpm)
Re1	3500	60	70	100	140	200	310
Re2	5200	90	110	150	210	290	460
Re3	6900	120	150	190	270	390	620
Re4	8600	150	180	240	340	480	770
Re5	10000	180	210	280	400	560	890

Geçiş bölgesi için Re değeri hesaplanırken Ruston Türbin çapı 60 mm olarak alınmıştır. Bununla birlikte yoğunluk ve viskozite değerleri ise herbir çözelti için Çizelge 4.1’de bulunan değerler kullanılmıştır.

4.4. Elektrolit Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Öncelikle kullanılacak çözeltinin konsantrasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla, daha önce döner disk yöntemi ile elektrokimyasal difüzyon katsayısının, ELDCT ile belirlenmesi için yapılan çalışmada, 0,005M ferrisiyanür, 0,04M ferrosiyanür ve 0,5M K₂CO₃ konsantrasyonuna sahip çözelti kullanılmıştır (Eroglu *et al.* 2011). Bu çalışmada, Eroglu *et al.* (2011)’nin kullandığı aktif iyon konsantrasyon (ferrisiyanür konsantrasyonu) değerinin 5 kat seyreltilmiş hali (0,001M ferrisiyanür, 0,004M ferrosiyanür ve 0,1M K₂CO₃) ve bu konsantrasyon değerinin de 5 kat daha seyreltik hali (0,0002M ferrisiyanür, 0,0008M ferrosiyanür ve 0,1M K₂CO₃)

konsantrasyon aralığı alınarak, bu iki değer arasında 5 konsantrasyon değeri kullanılmıştır.

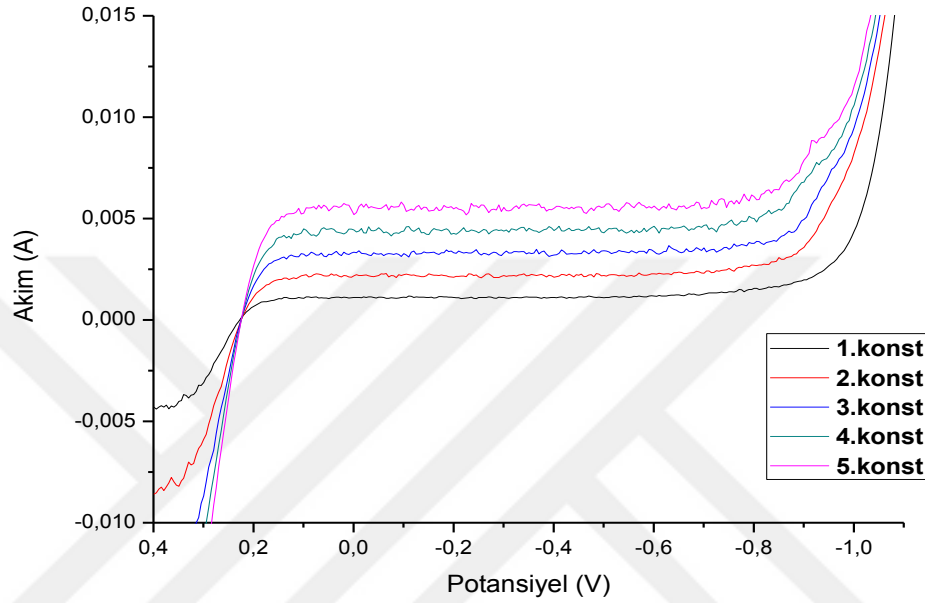
Tank çapı (D) 150 mm olduğu için tank içindeki çözelti yüksekliği (H) tank çapına eşit olacak şekilde çözelti ile doldurulmuştur ($H=D$). Bunun için 2600 ml çözelti kullanılmıştır. Karıştırıcının tabandan yüksekliği ($H/3$) 50 mm olacak şekilde tank merkezine yerleştirilen 6 kanatlı, 90° kanat açılı ve 60 mm çaplı Rushton türbini ile 100 rpm sabit karıştırma hızında elde edilen akım-potansiyel değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir.

ELDCT’de $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılmıştır.

Burada;

1. **Konsantrasyon** değeri olarak 0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K_2CO_3 çözeltisi,
2. **Konsantrasyon** için 0,0004M Potasyum ferrisiyanür, 0,0016 M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K_2CO_3 çözeltisi,
3. **Konsantrasyon** için 0,0006M Potasyum ferrisiyanür, 0,0024M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K_2CO_3 çözeltisi,
4. **Konsantrasyon** için 0,0008M Potasyum ferrisiyanür, 0,0032M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K_2CO_3 çözeltisi,
5. **Konsantrasyon** için 0,0010M Potasyum ferrisiyanür, 0,0040M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K_2CO_3 çözeltisi ve

6. Konsantrasyon için 0,0012M Potasyum ferrisiyanür, 0,0048M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K_2CO_3 çözeltisi kullanılmıştır.



Şekil 4.2. 100 rpm karıştırma hızında, gliserinsiz, 1, 2, 3, 4 ve 5. konsantrasyonlardaki ferri-ferrosiyanür çözeltileri için $I-V$ değerleri

Şekil 4.2 incelendiğinde 1. konsantrasyon değerinde (0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K_2CO_3 çözeltisi) sınırlayıcı difüzyon akım platosu elde edildiğinden dolayı başlangıç elektrolit konsantrasyonu olarak 1. konsantrasyon değeri kullanılmıştır.

4.5. Kullanılan Elektrolit Çözeltilerin Akım-Voltaj Platoları

Linear Sweep Voltammetry (LSV) yöntemi uygulanarak mevcut kullanılan çözelti ve akış şartları için elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım şartlarında Akım-Potansiyel ($I-V$) grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerdeki platolar kullanılarak sınırlayıcı difüzyon akım ve potansiyel değerleri belirlenmiştir.

Tank içerisindeki çözeltinin karıştırılması için 6 kanatlı, 60 mm çapında, 90 derece kanat açılı ve Şekil 3.9’da verilen standartlara uygun bir şekilde paslanmaz çelikten imal edilmiş Rushton türbini kullanılmıştır.

ELDCT’de $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılmıştır. Voltaj tarama işlemi, $0,4V-(-1,1)V$ arasında ve 5 mV/s tarama hızında gerçekleştirilmiştir.

Karıştırma hızı, farklı konsantrasyondaki çözeltiler için konsantrasyon değişimi ile sınırlayıcı difüzyon akım platolarının nasıl değiştiğini belirlemek için 100 rpm de sabit olacak şekilde ayarlanmıştır. Bölüm 4.4’de verilen konsantrasyonlardaki çözeltiler için ayrı ayrı sınırlayıcı difüzyon akım platoları elde edilmiştir.

Elektrolit çözelti konsantrasyonu, Çizelge 3.2’de verilen gliserinsiz, %20 gliserinli, %40 gliserinli ve %50 gliserinli olacak şekilde her bir çözelti için, çözelti konsantrasyonu sabit tutularak farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı difüzyon akım platolarının karıştırma hızı ile nasıl değiştiğini belirlenmiştir.

Çizelge 3.2’de verilen gliserinsiz çözelti, temel elektrolit çözeltisi olarak kullanılmıştır. Çözelti konsantrasyonu sabit tutularak potansiyostat cihazı ile LSV (Linear Sweep Voltammetry) yöntemi ile farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları Şekil 4.3’de verilmiştir.

Bölüm 4.4’de verilen 1, 2, 3, 4 ve 5. konsantrasyon değerindeki çözeltiler kullanılarak sabit 100 rpm karıştırma hızında, farklı konsantrasyonlarda sınırlayıcı difüzyon akım platoları Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2’de verilen %20 (w/w) gliserinli çözelti kullanılarak, sabit çözelti konsantrasyonunda, farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları, Şekil 4.4’de verilmiştir.

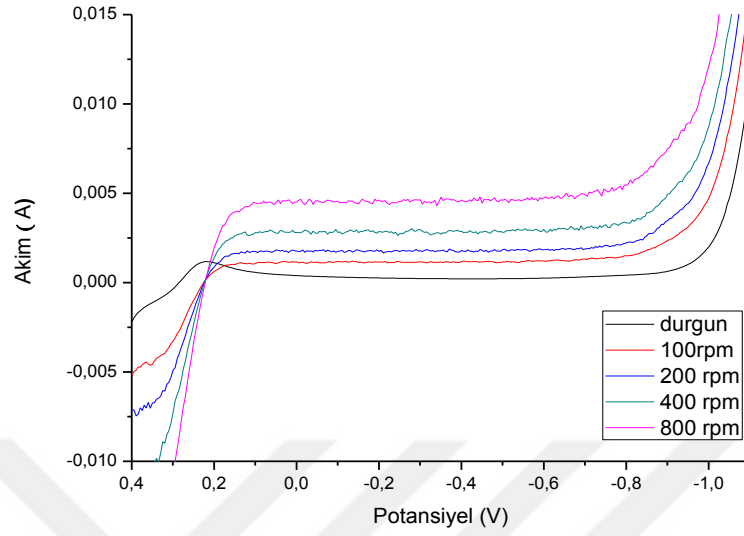
Bölüm 4.4’de verilen farklı konsantrasyon değerindeki çözeltiler, %20 (w/w) gliserinli olacak şekilde hazırlanarak, %20 (w/w) gliserinli 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyon değerindeki çözeltiler için sabit 100 rpm karıştırma hızında, farklı konsantrasyonlarda sınırlayıcı difüzyon akım platoları Şekil 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.2’de verilen %40 (w/w) gliserinli çözelti kullanılarak, sabit çözelti konsantrasyonunda, farklı karıştırma hızlarında Şekil 4.6’de verilmiştir.

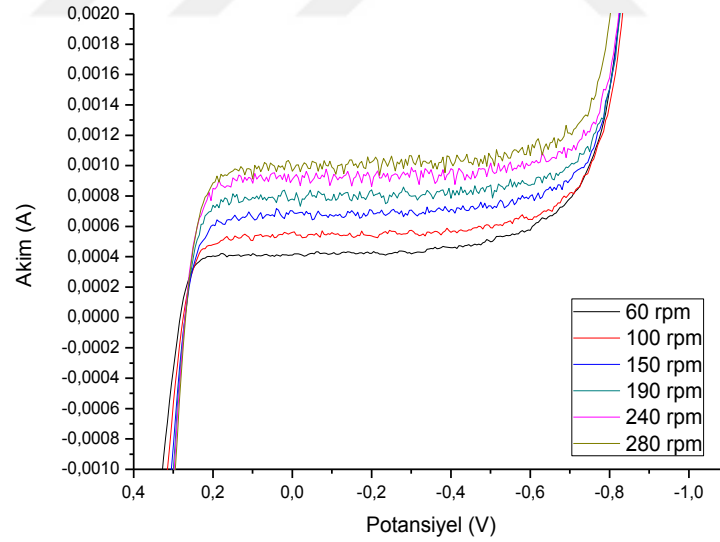
Bölüm 4.4’de verilen farklı konsantrasyon değerindeki çözeltiler, %40 (w/w) gliserinli olacak şekilde hazırlanarak, %40 (w/w) gliserinli 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyon değerindeki çözeltiler için, sabit 100 rpm karıştırma hızında, farklı konsantrasyonlarda sınırlayıcı difüzyon akım platoları Şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.2’de verilen %50 (w/w) gliserinli çözelti kullanılarak, sabit çözelti konsantrasyonunda, farklı karıştırma hızlarında Şekil 4.8’de verilmiştir.

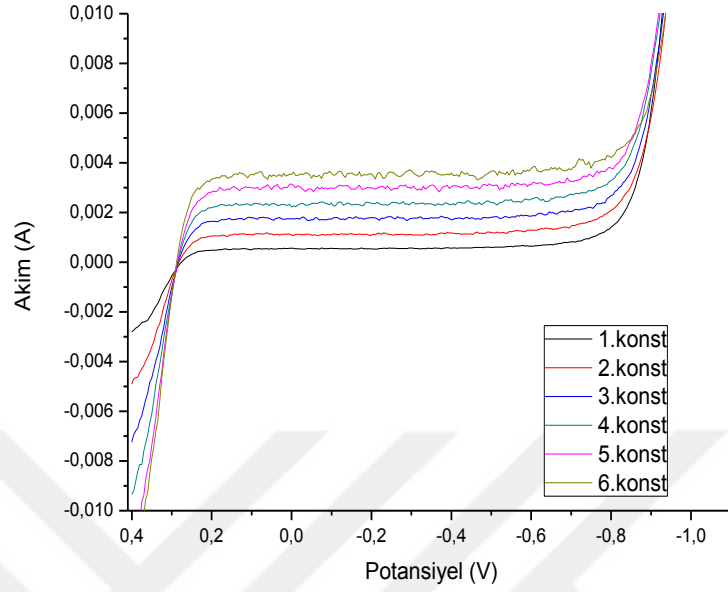
Bölüm 4.4’de verilen farklı konsantrasyon değerindeki çözeltiler, %50 (w/w) gliserinli olacak şekilde hazırlanarak, %50 (w/w) gliserinli 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyon değerindeki çözeltiler için, sabit 100 rpm karıştırma hızında, farklı konsantrasyonlarda sınırlayıcı difüzyon akım platoları Şekil 4.9’da verilmiştir.



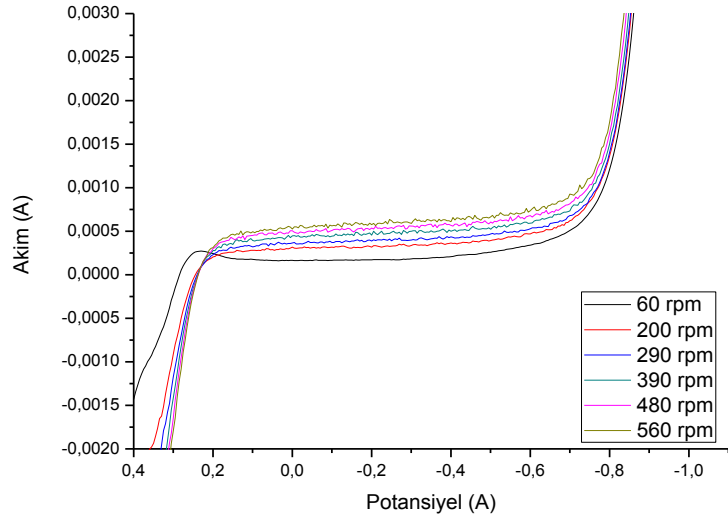
Şekil 4.3. Gliserinsiz çözelti ile 1. konsantrasyon değerindeki ferri–ferrosiyanür çözeltisinde durgun–800 rpm karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları



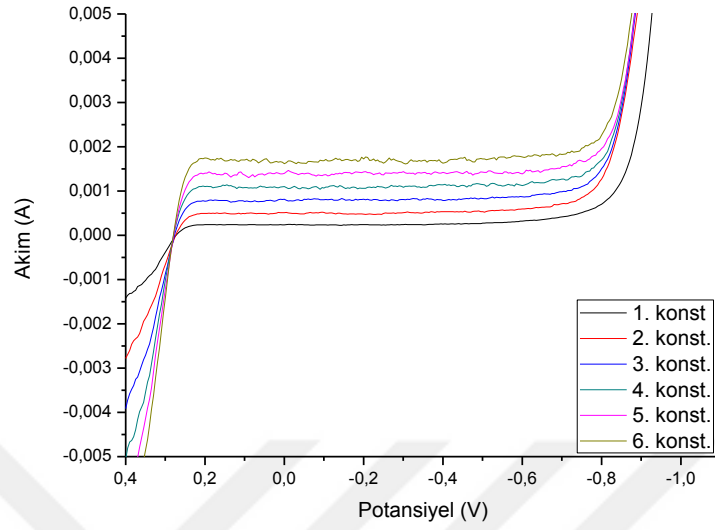
Şekil 4.4. %20 (w/w) gliserinli, 1. konsantrasyon değerindeki ferri–ferrosiyanür çözeltisinde 60–280 rpm arasında farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları



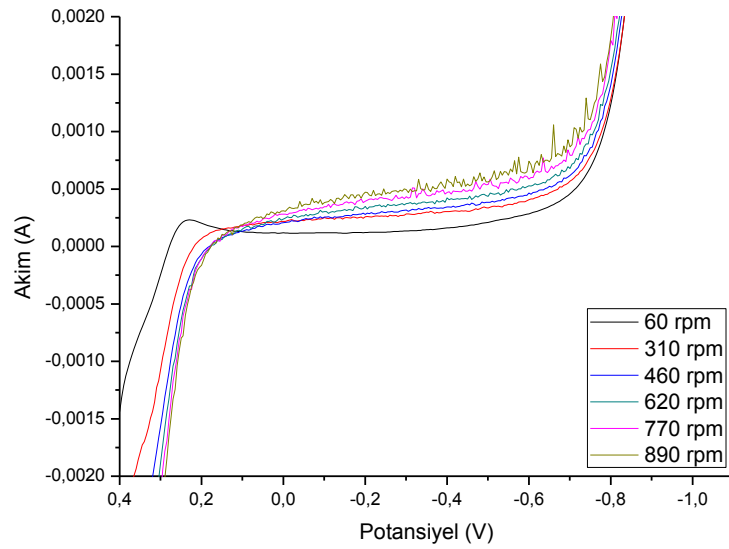
Şekil 4.5. Sabit 100 rpm karıştırma hızında, %20 (w/w) gliserinli, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyonlardaki ferri-ferrosiyanür çözeltileri için sınırlayıcı akım platoları



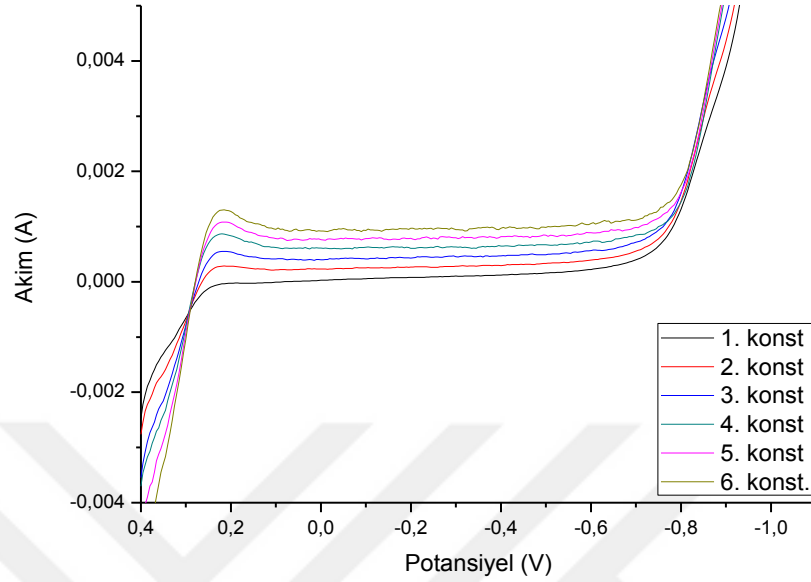
Şekil 4.6. %40 (w/w) gliserinli, 1. konsantrasyon değerindeki ferri-ferrosiyanür çözeltilisinde 60–560 rpm arasında farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları



Şekil 4.7. Sabit 100 rpm karıştırma hızında, %40 (w/w) gliserinli çözelti ile 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyonlardaki ferri-ferrosiyanür çözeltileri için sınırlayıcı akım platoları



Şekil 4.8. %50 (w/w) gliserinli, 1. konsantrasyon değerindeki ferri-ferrosiyanür çözeltisinde, 60–890 rpm arasında farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı akım platoları



Şekil 4.9. 100 rpm karıştırma hızında, %50 (w/w) gliserinli çözelti ile 1, 2, 3, 4, 5 ve 6. konsantrasyonlardaki ferri-ferrosiyanür çözeltileri için sınırlayıcı akım platoları

Yukarıda farklı karıştırma hızlarında ve farklı çözelti konsantrasyonlarında (farklı aktif iyon konsantrasyonlarında) Akım–Potansiyel grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler kullanılarak sistemin difüzyon kontrollü olduğu bölge yani plato bölgeleri belirlenmiştir. Bu plato bölgelerinde en uygun elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım değeri elde etmek için sabit potansiyel değeri, -0,4 V olarak belirlenmiştir.

4.6. ELDCT ile Karışma Süresinin Belirlenmesi

Kullanılan farklı konsantrasyon, viskozite ve yoğunluktaki çözeltiler için elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım şartlarının oluşturulmasından sonra bu yöntem kullanılarak karışma süresinin belirlenmesi için aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

Öncelikle oluşturulan elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım şartlarında çözelti içerisinde karışma devam ederken oluşturulan pulse etkisinin meydana getirdiği değişimin gözlenebilirliği incelenmiştir. Bölüm 3.5’de verilen tank konfigürasyonu

kullanılarak deneyler yapılmıştır. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterildiği gibi deneyler iki kere yapılmıştır. Bu deneylerde karışma süresi belirlemek amacıyla potansiyostat cihazında Kronoamperometri yöntemi ile -0,4 V sabit potansiyel şartları altında sistemdeki akım değişimi zamanla kaydedilmiştir. Kronoamperometri yöntemi ile sabit potansiyel altında meydana gelen akım değişimi 0,01 saniyede bir ölçüm almak suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Elektrolit çözeltisi olarak, kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’de ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de verilen 2600 ml **gliserinsiz** çözelti kullanılmıştır. Bu çözelti birinci deneyde başlangıçta gliserinsiz, 0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008 M Potasyum ferrosiyanür ve 0,1M K_2CO_3 çözeltisi içermektedir. 60. saniyede 5,2 ml **konsantre** çözelti ilave edildikten sonra, 0,0004 M Potasyum ferrisiyanür, 0,0016 M Potasyum ferrosiyanür ve 0,1M K_2CO_3 olmaktadır. İkinci deney (tekrar deneyi) başlangıç konsantrasyonu, 0,0004 M Potasyum ferrisiyanür, 0,0016 M Potasyum ferrosiyanür ve 0,1M K_2CO_3 ’dür. Ölçüm alınmaya başlandıktan sonra 60. saniyede 5,2 ml **konsantre** çözelti ilave edildikten sonra, 0,0006M Potasyum ferrisiyanür, 0,0024 M Potasyum ferrosiyanür ve 0,1 M K_2CO_3 olmaktadır.

Ölçüm almaya başlamadan 5 dakika önce karıştırılmaya başlanan sistemde, tank karıştırılırken, Potansiyostat cihazı ile Kronoamperometri kullanılarak daha önce LSV ile belirlenen 0,4 V sabit potansiyel uygulanarak akım değerleri kaydedilmiştir. Ölçüm alınmaya başlandıktan sonra 60. saniyede 5,2 ml **konsantre** (0,1 M K_3FCN_6 , 0,4 M K_4FCN_6 ve 0,1 M K_2CO_3) çözelti tank merkezinde, karıştırıcının yanından ilave edilmiştir ve akış şartları değiştirilmeden akımda meydana gelen değişim 200 saniye boyunca ölçülmüştür. Fakat 120. saniyeden sonra akım değişimi aynı olduğu için ve 60. saniyeden sonra akım değişiminin daha net görülebilmesi için 20–120. saniyeler arasındaki değişim grafik edilmiştir.

Şekil 4.10’da verilen siyah çizgi ile gösterilen ölçüm alınmıştır. Ölçüm alındıktan sonra aynı çözelti kullanılarak sistem 5 dakika daha hızlı bir şekilde karıştırıldı ve daha sonra 60 rpm’de 5 dakika karıştırılarak sistemin ölçüm yapılacak karıştırma hızında homojen

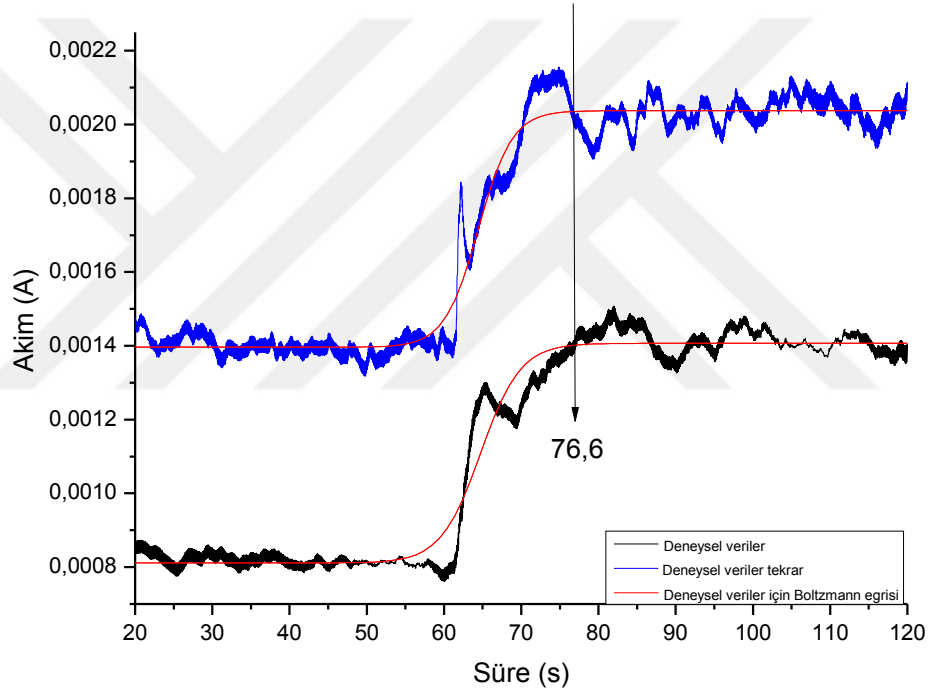
hale gelmesi sağlandı. Beşinci dakikadan sonra ölçüm alınmaya başlandı. Ölçümün başlamasını takip eden 60. saniyede 5,2 ml konsantre çözelti ilave edildi. Aynı tank ve karıştırma şartlarında tekrarlanan bu konsantrasyon değişimi için sabit potansiyel şartları altında akım değişimi Şekil 4.10'da verilen mavi çizgi (tekrar) ile gösterilmektedir.

Şekil 4.10'da siyah çizgi ile gösterilen ölçümün ikinci basamağının ortalama değeri ile mavi çizgi ile gösterilen ikinci ölçümün (tekrar deneyi) birinci basamağının ortalama akım değerlerinin birbirine çok yakın değerler olması, bu ölçüm sisteminin aynı şartlarda aynı akım değerlerini ölçebildiğini ve ölçümün tekrarlanabilirliğini göstermektedir. Bu diğer deneylerde de açık bir şekilde gösterilmektedir. Birinci deney ve tekrar deneyinin ölçümleri aynı grafikte üst üste gösterilmek suretiyle hem kullanılan deney sistemi ile aynı şartlarda aynı ölçüm değerlerinin ölçülebildiği hem de aynı şartlarda elde edilen karışma süresi değerlerinin kıyaslanabildiği gösterilmektedir.

Şekil 4.10'da aynı akış şartlarında alınan ölçümün tekrarlanabilirliği gösterilirken, tankın karıştırılması için kullanılan Rushton türbini kanat açısı değiştirildiğinde ölçülen karışma süresinin nasıl değiştiği Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Karıştırma hızı, deney sistemi içinde karıştırıcının ve diğer akış elemanlarının yerleştirilmesi aynı kalmak şartı ile Şekil 4.10'da 30° kanat açılı Rushton türbünü kullanılmış, Şekil 4.11'de ise 90° kanat açılı Rushton türbünü kullanılmıştır.

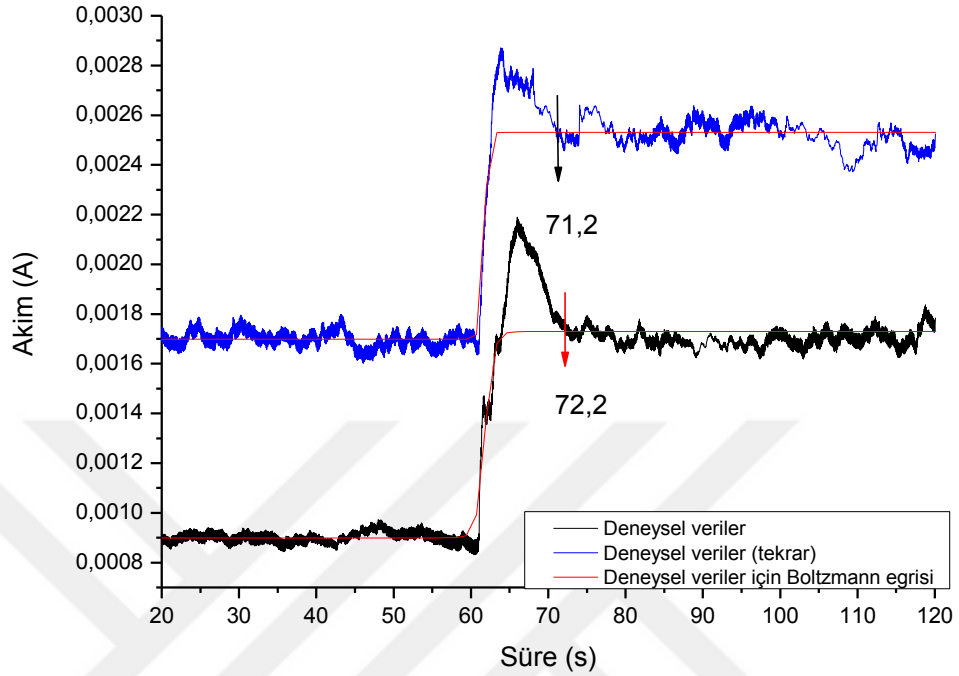
Şekil 4.11'de verilen ölçümler Şekil 4.10'da verilen ölçümlerle aynı şekilde yapılmıştır. Benzer şekilde birinci deneyde kullanılan gliserinsiz elektrolit çözeltisi kullanılmıştır. Aynı tank ve karıştırıcı konumu şartlarında karıştırıcı olarak Şekil 3.1'de verilen 90° Rushton türbini kullanılarak sabit potansiyel şartları altında çözelti sistemindeki akım değişimi kaydedildi. Uygulanan ön karıştırma işlemleri 30° kanat açılı Rushton türbini için yapılan işlemlerle aynıdır. 90° Rushton türbini kullanılarak yapılan deneyde ön karıştırma işlemi uygulandıktan sonra 60 rpm karıştırma hızında karışma devam ederken ölçüm alınmaya başlandı ve ölçüm devam ederken 60. saniyede 5,2 ml **konsantre** çözelti ilave edildi. Şekil 4.11'de siyah çizgi ile gösterilen ölçüm alındı.

Ölçüm alındıktan sonra sistem 5 dakika daha hızlı bir şekilde karıştırıldı ve daha sonra 60 rpm'de 5 dakika karıştırılarak sistemin homojen hale gelmesi sağlandı. Beşinci dakikadan sonra ölçüm alınmaya başlandı ve ölçüm devam ederken 60. saniyede 5,2 ml konsantre çözelti tank merkezinden karıştırıcının 10 mm yanından ilave edildi. Aynı tank ve karışma şartlarında tekrarlanan bu konsantrasyon değişimi için sabit potansiyel şartları altında akım değişimi Şekil 4.11'de verilen mavi çizgi (tekrar) ile gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Gliserinsiz çözelti ile 30° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile 60 rpm'de karışma süresinin ölçülmesi

Sistemin homojen hale gelmesi sağlandı. Beşinci dakikadan sonra ölçüm alınmaya başlandı ve ölçüm devam ederken 60. saniyede 5,2 ml konsantre çözelti tank merkezinden karıştırıcının 10 mm yanından ilave edildi. Aynı tank ve karışma şartlarında tekrarlanan bu konsantrasyon değişimi için sabit potansiyel şartları altında akım değişimi Şekil 4.11'de verilen mavi çizgi (tekrar) ile gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Gliserinsiz çözelti ile 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile 60 rpm de karışma süresinin ölçülmesi

0–60. saniyeler arasındaki akım değerleri, C_{b1} derişimindeki çözelti için yukarıda belirtilen tank konfigürasyonunda ve 60 rpm karıştırma hızında elde edilen değerlerdir. Bu kısımda yer alan ölçüm değerlerindeki dalgalanmalar, akış şartlarından kaynaklanan dalgalanmalardır. 60. saniyeden sonra konsantre çözelti ilave edilmesi ile C_{b2} derişiminde yeni bir çözelti elde edilmektedir ve dolayısıyla konsantrasyonla orantılı olan yeni bir sınırlayıcı akım değeri elde edilmektedir. Belirtilen akış ve karıştırma şartlarında Şekil 4.10’da siyah çizgi ile akım değerlerindeki değişimler gösterilmektedir. Akım değişimleri incelendiğinde 76,6. saniyede tank içerisinde C_{b2} derişiminde sistem tekrar kararlı hale ulaşmıştır.

Sistemin birinci ve ikinci konsantrasyon değerleri için elde edilen akım değerlerinin ortalamaları Origin programında Boltzmann fonksiyonu kullanılarak bulunmuştur. Bu tip grafiklerde Boltzmann eğrisi en uygun şekilde iki durum için ortalama değerlerini göstermektedir. Elde edilen akım değerleri için Boltzmann fonksiyonu kullanılarak elde

edilen yeni ortalama değerler bize sistemin kaçıncı saniyeden sonra dengeye ulaştığı noktasında yardımcı olmaktadır.

76,6. saniyeden sonra da dalgalanma devam etmektedir. Bu dalgalanma da akış şartlarından kaynaklanan dalgalanmalardır.

şekil 4.10’da mavi çizgi ile gösterilen deneyde ise konsantre çözelti ilave edildikten sonra tank içerisinde katot çevresinde konsantrasyon yoğunluğu artmış, buna bağlı olarak akım değerinde aşırı bir yükselme meydana gelmiştir. Daha sonra katot çevresindeki bu konsantrasyon yoğunluğu tank içerisinde dağılmış ve akım değeri de bu konsantrasyona yoğunluğuna bağlı olarak azaltığı ve ikinci halde ortalama değer ile kesiştiği gözlenmektedir.

şekil 4.11’de aynı gliserin konsantrasyonunda (aynı viskozite değerinde), ancak karıştırıcı olarak 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT kullanılarak aynı deneyler yapılmıştır. İki tekrar yapılan bu deneyde de öncelikle 60. saniyede ilave edilen konsantre çözelti ile konsantrasyona bağlı olarak akım değerinde aşırı bir artma meydana gelmiş ve daha sonra karışma etkisiyle tank içerisindeki çözeltinin homojen hale gelmesi ile akımdaki değişimde ilk deneyde 72,2. saniyede, tekrar deneyinde ise 71,2. saniyede ikinci halde sistem kararlı hale gelmektedir.

Yukarıda verilen şartlar altında, 30°, 60 mm çaplı ve 6 kanatlı Rushton türbünü kullanılarak yapılan ilk deneyde 76,6. saniyede ikinci sınırlayıcı akım değerinde sabitlendiği gözlenmektedir. Tekrar deneyinde de aynı sonuç bulunmuştur.

Bu sistem şartlarında karışma süresi;

$$76,6 - 60 = 16,6 \text{ saniye olarak bulunmuştur.}$$

90°, 60 mm çaplı ve 6 kanatlı Rushton türbünü kullanılarak yapılan deneyde 60. saniyede ilave edilen konsantre çözeltiden sonra sınırlayıcı difüzyon akım şartlarında akımdaki değişim önce hızlı bir artış göstermiş sonra 72,2 saniyede ikinci sınırlayıcı akım değerinde sabitlenmiştir. Tekrar deneyinde de 71,2 saniyede sabitlendiği gözlenmiştir. Buna göre;

Birinci deneyde karışma süresi = $72,2 - 60 = 12,2$ saniye

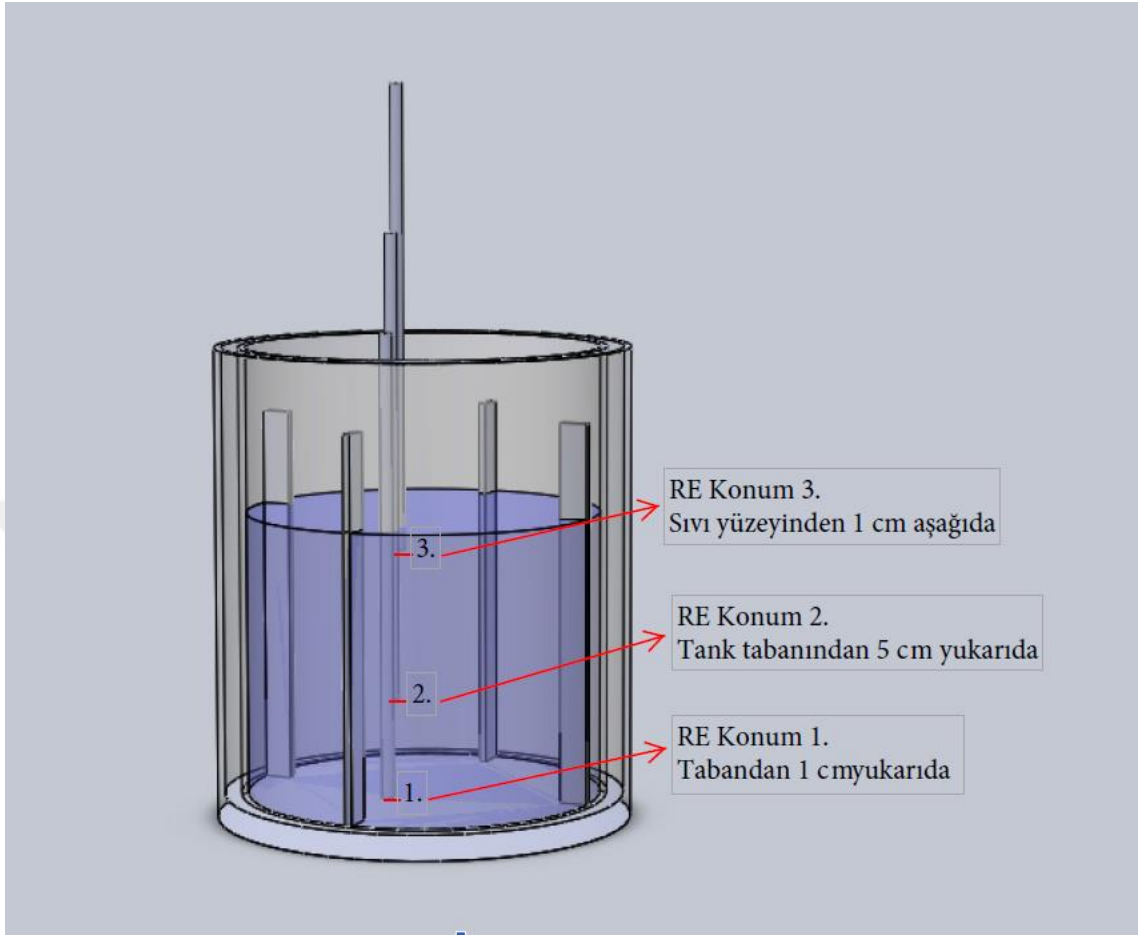
İkinci deneyde karışma süresi = $71,2 - 60 = 11,2$ saniye olarak bulunmuştur.

90°, 60 mm çaplı ve 6 kanatlı Rushton türbünü için ortalama karışma süresi, 11,7 saniye olarak bulunmuştur.

Yapılan bu iki deneyde aynı karıştırıcı ve karışma şartlarında birbirine çok yakın sonuçlar alındığı gözlenmiştir. 90° ve 30° Rushton türbünü kullanıldığında bu iki türbin için farklı karışma süreleri elde edilmiştir.

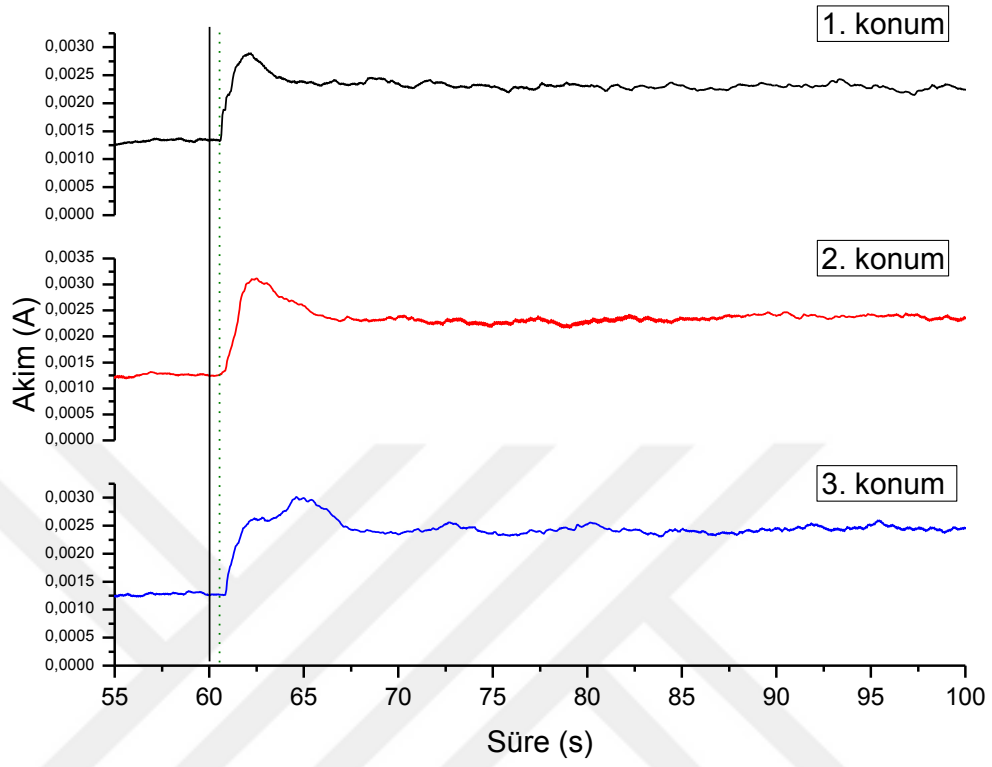
4.7. Kullanılan Referans Elektrotun Konumunun Belirlenmesi

Deneylerde referans elektrot olarak 3 mm çapında silindirik camdan yapılmış Ag/AgCl probu kullanılmıştır. Ancak probun tank içerisindeki konumunun belirlenmesi gerekmektedir. Prob hem akışı bozmayacak ya da daha az etkileyecek bir konuma yerleştirilmeli hem de ölçümde daha az dalgalanmanın olduğu (sinyal gürültüsünün daha az olduğu) bir konuma yerleştirilmelidir. Bunun için referans elektrot (RE), katot (WE) olarak kullanılan akış saptırıcının arkasında kalacak şekilde akışla aynı yönde yerleştirildi. Bu sayede akış saptırıcının arkasında kalan ölü bölgede kalan referans elektrot akışı etkilemeyecektir. Tank içerisinde tabandan yüksekliğinin ne kadar olacağına karar vermek için, Şekil 4.12’de gösterildiği gibi referans elektrot farklı üç konuma yerleştirilerek ölçüm alınmıştır. ELDCT’de 1B+3B elektrot sistemi kullanılmıştır.



Şekil 4.12. Farklı üç konuma yerleştirilen RE

Deneysel ölçümlerde tank merkezinde konsantrik olarak yerleştirilmiş altı kanatlı 60 mm çaplı Rushton türbünü kullanılmıştır. Karıştırıcının tank tabanından yüksekliği 50 mm dir. Karıştırma hızı 100 rpm ve elektrolit çözeltisi olarak Çizelge 3.2’de özellikleri verilen gliserinsiz, 0,0002 M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008 M Potasyum ferrosiyanür ve 0,1 M K_2CO_3 elektrolit çözeltisi kullanılmıştır. Karışma ortamı 20°C de sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Farklı üç konumda alınan ölçümler Şekil 4.13 a ve b’de verilmektedir.

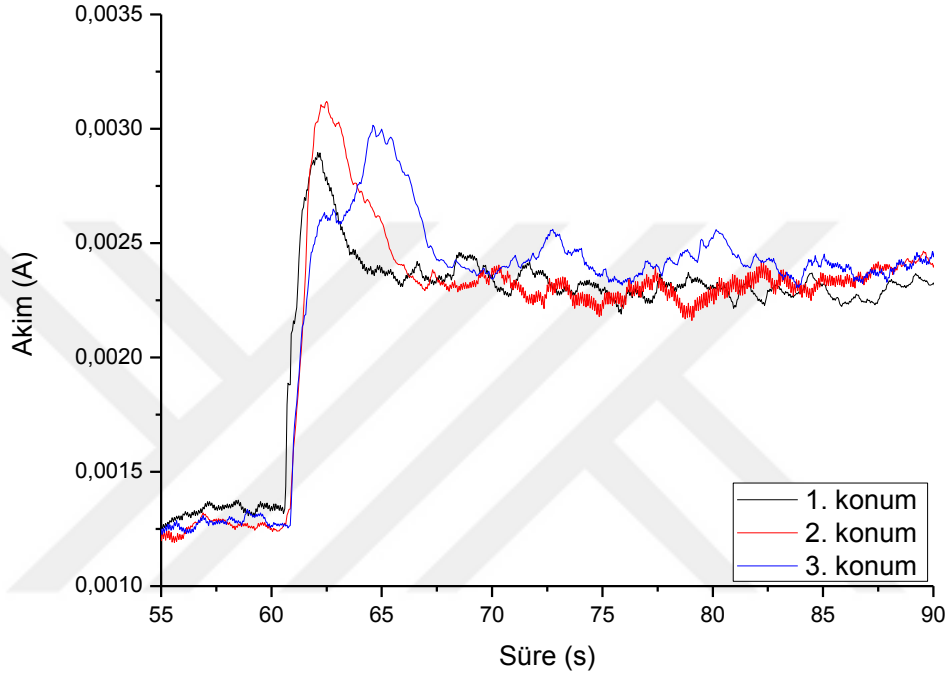


Şekil 4.13.a. Referans elektrodun konumunun belirlenmesi

Şekil 4.13.a’da görüleceği gibi mavi renkli çizgi ile gösterilen sürede oluşturulan impulse etkisine cevap verme süresinin 1. konumda çok hızlı, 2. konumda biraz daha yavaş ve 3. konumda diğerlerinden daha yavaş olduğu görülmektedir.

Şekil 4. 13. b.’de bu üç ölçüm değeri üst üste çakıştırılmıştır. 90 derece kanat açılı Rushton türbünü karıştırıcı olarak kullanıldığı için ve türbin radyal yönde akış oluşturduğundan konum 2’de dalgalı bir ölçüm alınmaktadır. Konum 1 tank tabanına yakın ve konum 3, çözelti yüzeyine yakın olduğundan konum 1’de alınan ölçüm, konum 3’e göre daha az karmaşıktır. Çünkü tank tabanında, akışkan tank tabanı ile temasta olduğundan belirli bir büyüklükte kesme gerilimine maruz kalmaktadır. Buna karşın, konum 3’te referans elektrot, akış yüzeyine daha yakındır. Ve bu bölgede yüzeyde serbest akış gerçekleşmekte olup hızdaki dalgalanmalar tabandakine kıyasla daha fazla gerçekleşmektedir. Bu ise konum 3’te daha fazla türbülans karakterine sahip

akış oluşturmaktadır. Dolayısı ile tank tabanında hızdaki değişim tank üstündeki bölgeye kıyasla daha kararlı olmaktadır. Bundan dolayı akım ölçümlerinde daha fazla dalgalanmaya neden olur.



Şekil 4.13.b. Referans elektrodun konumunun belirlenmesi

İmpulse etkiye daha hızlı cevap vermesi ve ölçümlerde daha az dalgalanma olduğundan dolayı referans elektrot, konum 1'deki gibi katot olarak kullanılan akış saptırıcının akış yönünde arkasına ve tank tabanının 10 mm yukarısına yerleştirilmiştir.

4.8. ELDCT ve İletkenlik Ölçümü Verilerinin Karşılaştırılması

4.8.1. Gliserinsiz çözelti kullanılarak 1cm çaplı lokal katot ile ELDCT ve iletkenlik ölçümü verilerinin karşılaştırılması

Bu deneylerde tankın herhangi bir bölgesinde lokal olarak ölçüm yapan Şekil 3.3'de verilen iletkenlik ölçen prob ile Şekil 3.4'de verilen 1 cm çaplı nikel katot aynı bölgede

konumlandırılmıştır. Deneyler sırasında iki ölçüm sisteminde aynı anda ölçüm almaya başlanmış ve eş zamanlı ölçümler yapılmıştır.

Deneylerde elektrolit çözeltisi olarak Çizelge 3.2’de verilen 2600 ml gliserinsiz çözelti kullanılmıştır. Karışma süresi ölçümlerinde farklı iki elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım değeri elde etmek için **ön işlem** olarak hangi konsantrasyon ve karıştırma hızında çalışılacaksa, 5 dakika boyunca karıştırılarak tank sisteminin o şartlar altında kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Bu bölümde 60 rpm karıştırma hızında çalışılmıştır. Karışma işlemi gerçekleşirken beşinci dakikadan sonra hem ELDCT yöntemi hem de iletkenlik ölçer prob ile aynı anda ölçüm alınmaya başlanmıştır. Ölçümün 60. saniyesinde bu çözeltiye Çizelge 3.2’de verilen 5,2 ml **konsantre** çözelti karıştırıcı milin 10 mm yanından ilave edilmiştir.

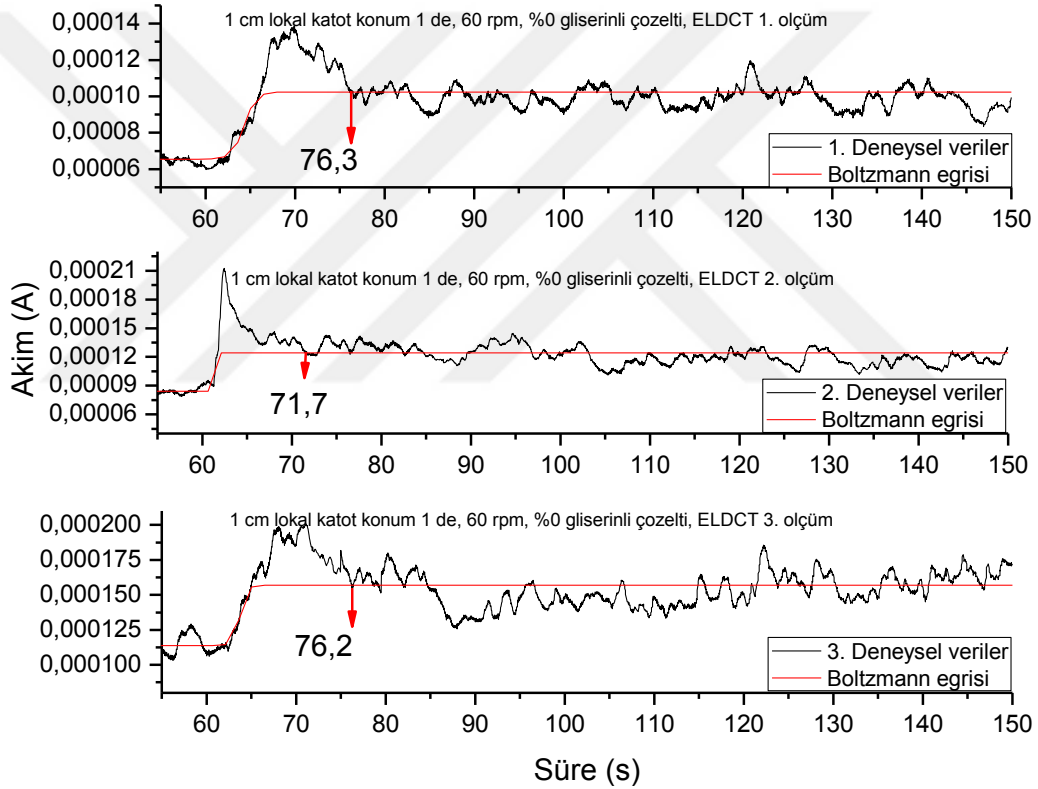
Karıştırıcı olarak 90 derece kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbünü kullanılmış ve tank merkezine tank tabanından 50 mm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Yukarıda çözelti özellikleri ve tank konfigürasyonu verilen sistemde 1 cm çaplı lokal katot ve iletkenlik ölçer prob için farklı 5 konum, Şekil 4.14’de gösterilmektedir.

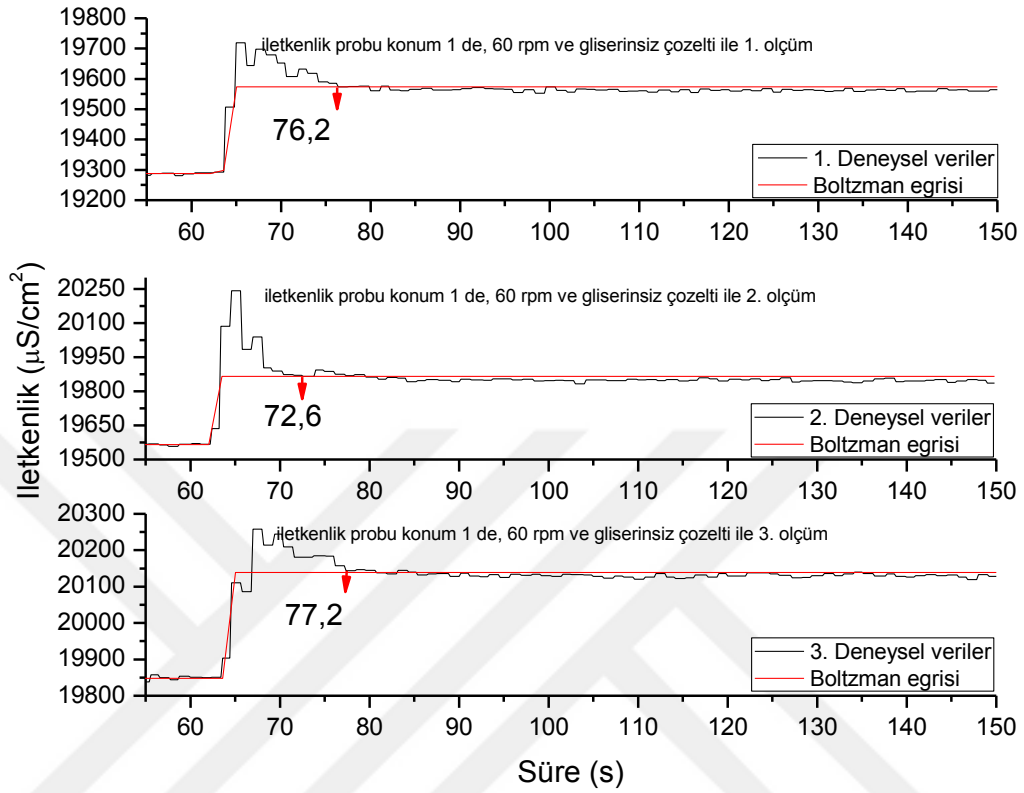
Şekil 4.14. 1 cm lokal katot ve iletkenlik probunun yerleştirildiği farklı beş konum

Buna göre;

Gliserinsiz çözelti kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot, Şekil 4.14’de verildiği gibi konum 1’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler Şekil 4.15’de ve aynı konumda yerleştirilen iletkenlik ölçer ile eş zamanlı olarak alınan ölçümler Şekil 4.16’da verilmektedir. Deneyler üç tekrar olacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 4.15. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 1’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler

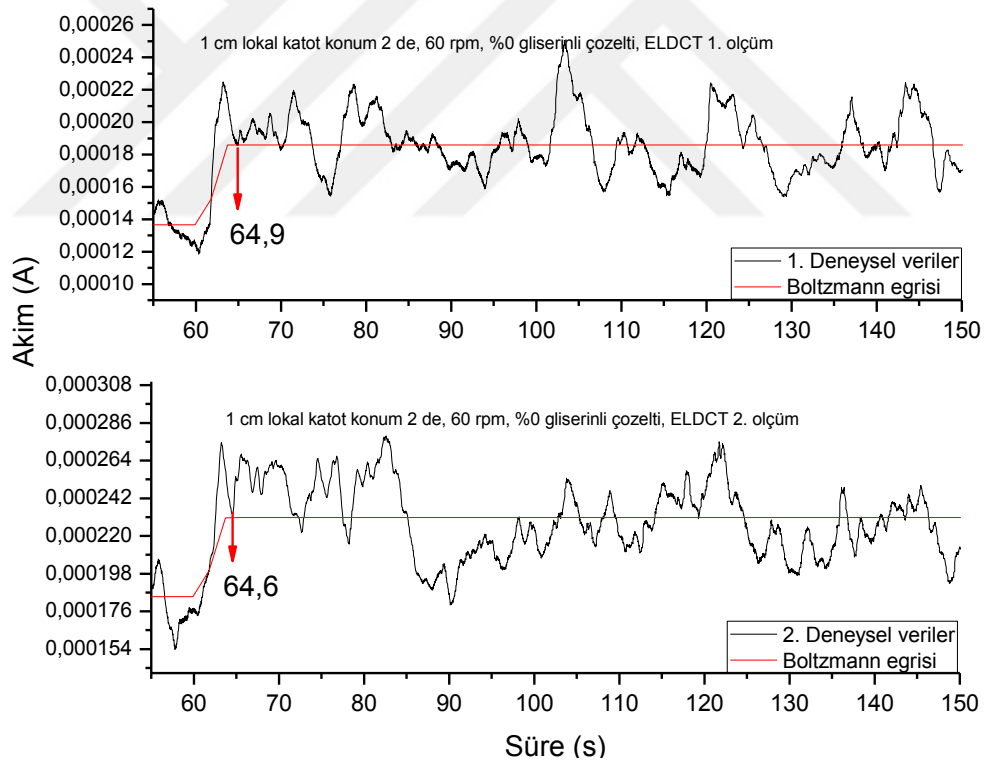


Şekil 4.16. Gliserinsiz çözelti ile İletkenlik ölçer konum 1'e yerleştirilerek alınan ölçümler

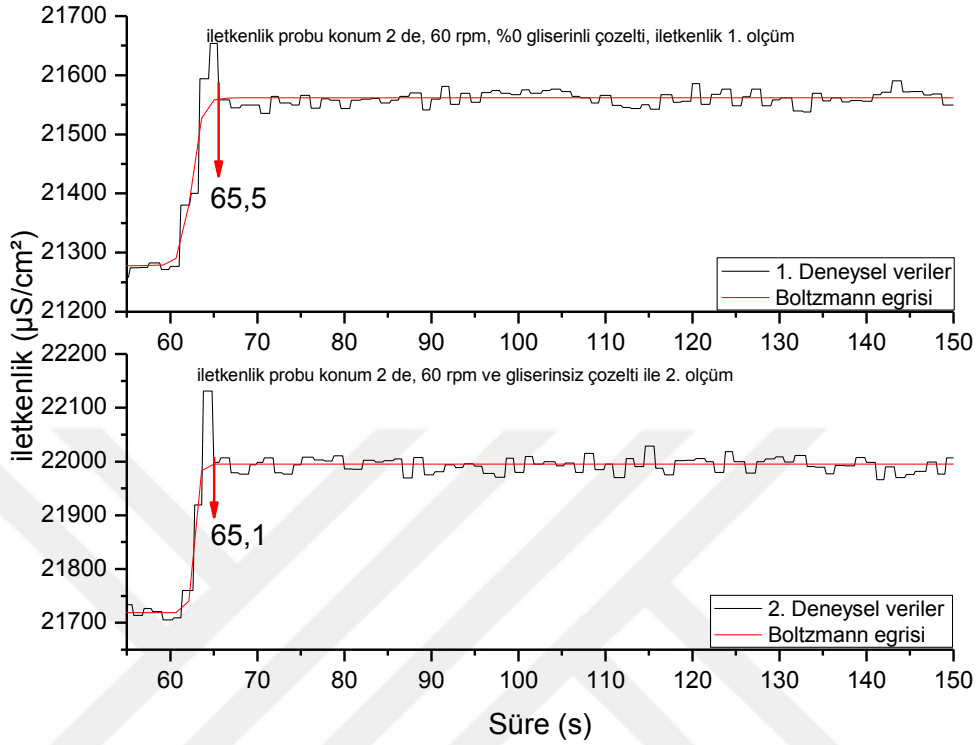
Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görüleceği gibi 60. saniyede konsantre çözelti ilave edildikten sonra iletkenlik ve akım değeri hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Ok işareti ile belirtilen noktalardan sonra tank içerisindeki çözeltinin ikinci (C_{b2}) konsantrasyon değerinde istenilen seviyede homojen hale gelmesi ile hem akım değeri hem de iletkenlik değeri ikinci kararlı hal ortalama değerine ulaşmıştır. İkinci deneyde, birinci ve üçüncü deneyden farklı bir sonuç elde edilmiştir. Hem ELDCT hem de iletkenlik ölçüm yönteminde birbirine yakın sonuçlar çıkmasına rağmen böyle bir farklılığın olması, deney şartlarına ya da akış şartlarına dayandırılabilir. Bu durum aynı ortamda, aynı şartlar altında bu iki yöntem ile elde edilen sonuçların birbirine yakın sonuçlar verdiğini ortaya koymaktadır. Karıştırma işleminde kullanılan 90° kanat açılı Rushton türbini radyal yönde akış üreterek, oluşturduğu akış yolu ile tanka ilave edilen konsantre çözeltiyi türbinin karşısına gelecek şekilde konum 1'e sevk eder ve böylelikle lokal

katot ve iletkenlik probunun olduğu noktada anlık bir konsantrasyon yoğunluğunun oluşmasına sebep olur. Buna bağılı olarak akım ve iletkenlik değeriinde de artış gözlenir. Bu yoğunluk karıştırma etkisiyle azalarak sistem homojen hale gelir. Böylelikle akım ve iletkenlik değeri de belirtilen noktalarda ikinci kararlı halde ortalama değere ulaşır.

Gliserinsiz çözelti kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot Şekil 4.14’de verildiğı gibi konum 2’de yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler Şekil 4.17’de ve eş zamanlı olarak iletkenlik ölçer ile alınan ölçümler Şekil 4.18’de verilmektedir. Deneyler iki tekrar olacak şekilde yapılmıştır.



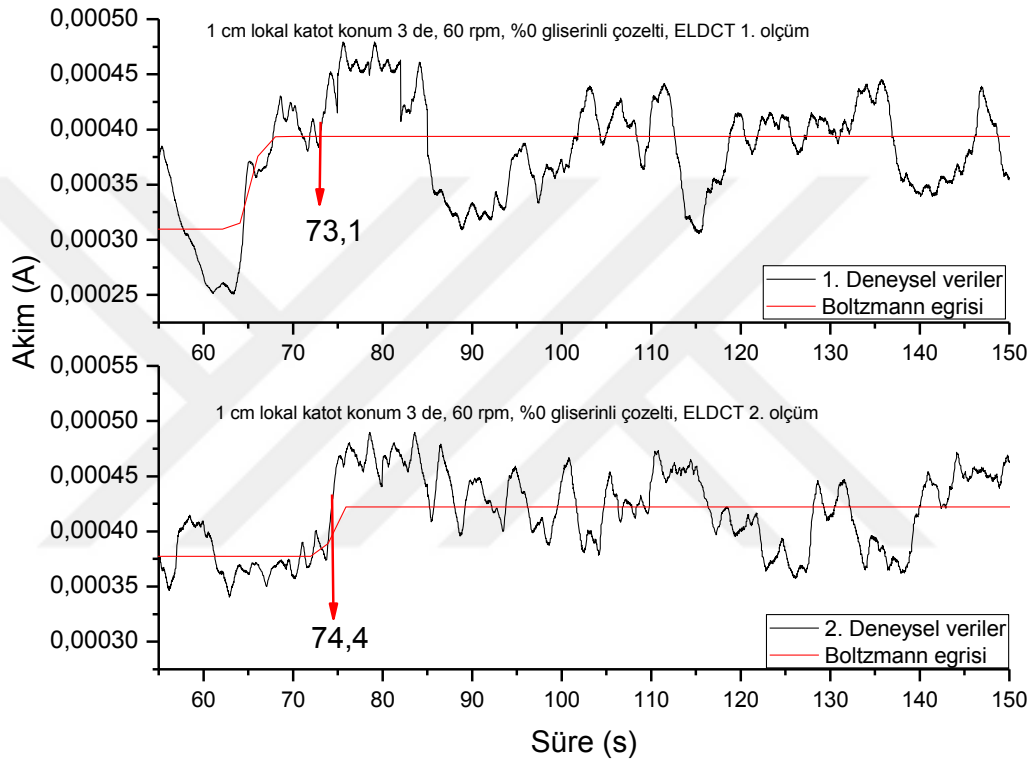
Şekil 4.17. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 2’de yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler



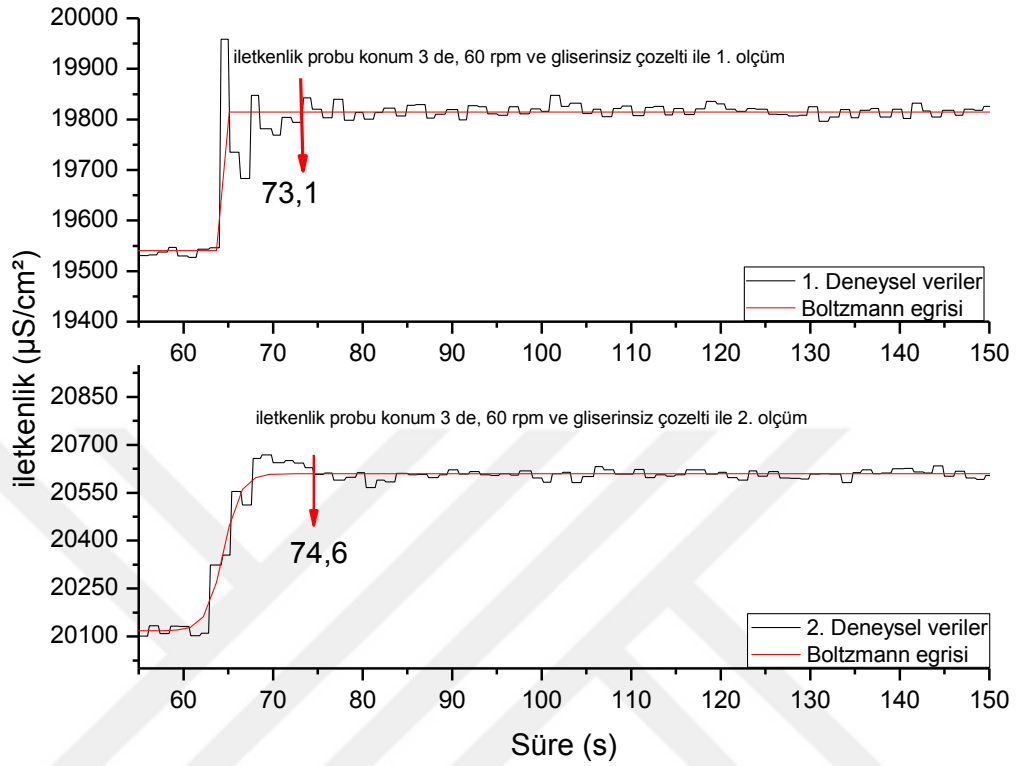
Şekil 4.18. Gliserinsiz çözelti ile iletkenlik ölçer konum 2’de yerleştirilerek alınan ölçümler

Konum 2’de Rushton türbini ile iletkenlik ölçer prob ve 1 cm çaplı lokal katot arasındaki mesafe konum 1’e göre daha azdır. Daha kısa zamanda dengeye ulaştığı görülmektedir. Dalgalanma konum 1’e göre daha fazladır. Hem iletkenlik hemde ELDCT ölçümleri karşılaştırılarak akım verileri ve iletkenlik verilerinden oluşan grafikte, bu değerler için oluşturulan Boltzmann eğrisini ilk kestiği nokta kararlı hale ulaştığı nokta olarak alınmıştır.

Gliserinsiz çözelti kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot Şekil 4.14’de verildiği gibi konum 3’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler Şekil 4.19’da ve eş zamanlı olarak iletkenlik ölçer ile alınan ölçümler Şekil 4.20’de verilmektedir. Deneyler iki tekrar olacak şekilde yapılmıştır.



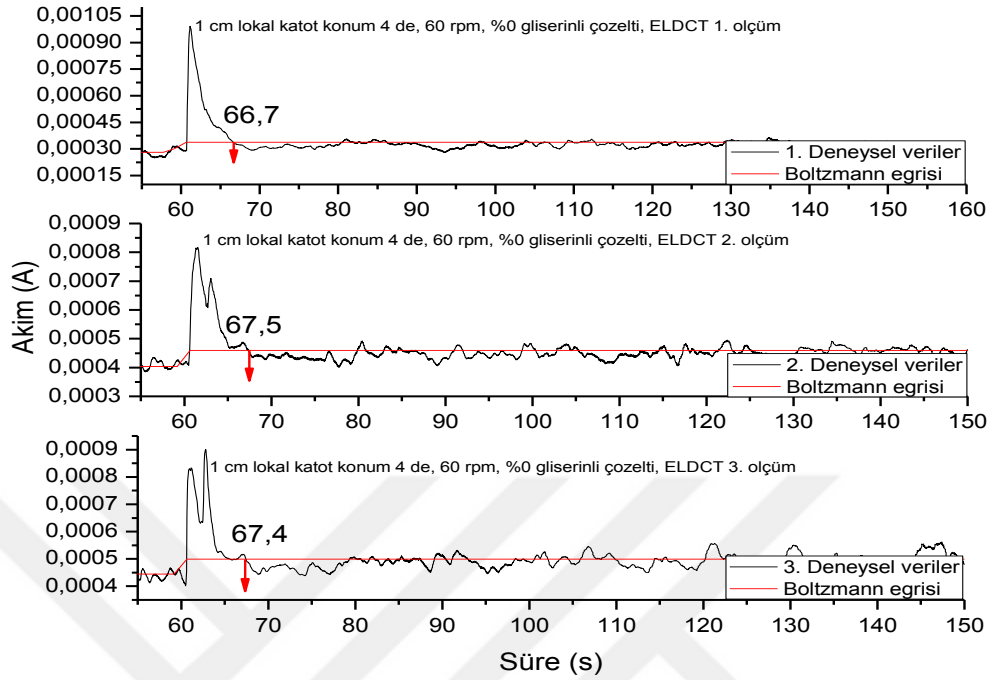
Şekil 4.19. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 3’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler



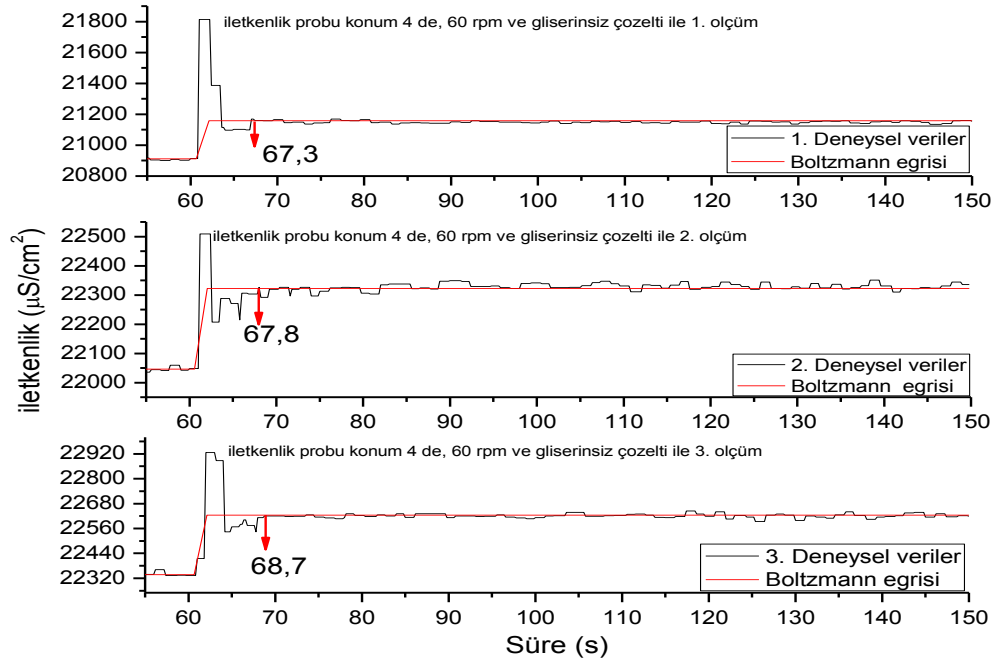
Şekil 4.20. Gliserinsiz çözelti ile iletkenlik ölçer konum 3'e yerleştirilerek alınan ölçümler

Konum 3'de konum 2'den daha uzun bir karışma süresi tespit edilmiştir. Ölçümlerdeki dalgalanma konum 1'e göre daha fazladır. Konum 3, Rushton Türbinine konum 1'e kıyasla daha uzak olmasına rağmen, konum 3'de daha karmaşık ve düzensiz bir akış meydana geldiği için karışma süresi konum 1'den daha kısa olmuştur.

Gliserinsiz çözelti kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot Şekil 4.14'de verildiği gibi konum 4'de yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler Şekil 4.21'de ve eş zamanlı olarak iletkenlik ölçer ile alınan ölçümler Şekil 4.22'de verilmektedir. Deneyler üç tekrar olacak şekilde yapılmıştır.



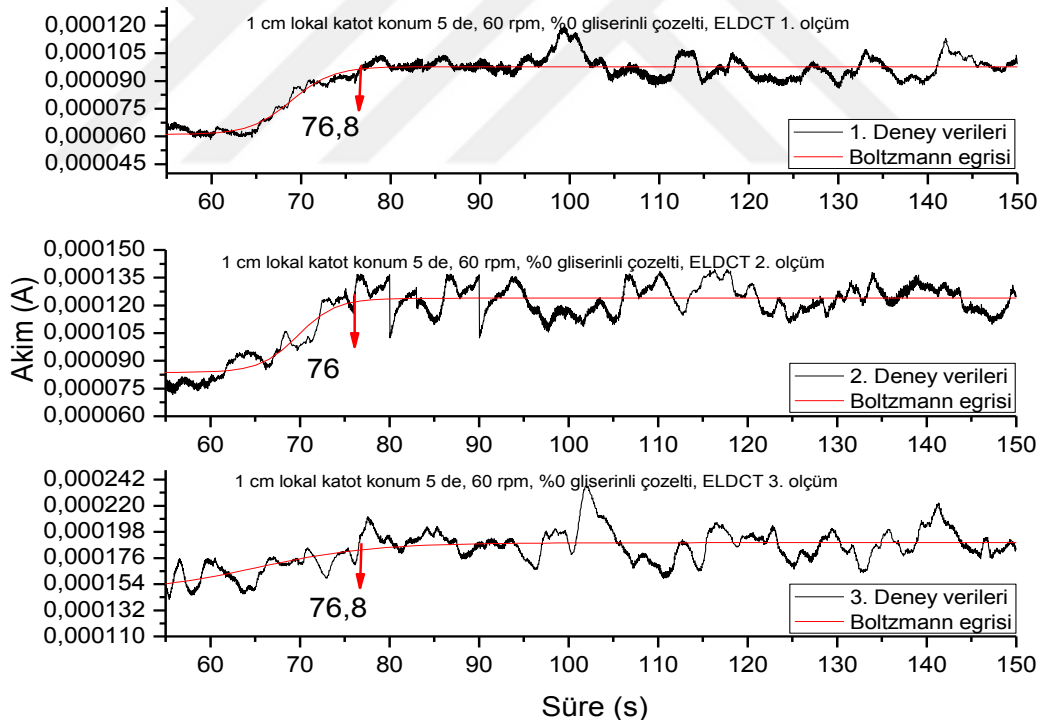
Şekil 4.21. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 4'e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler



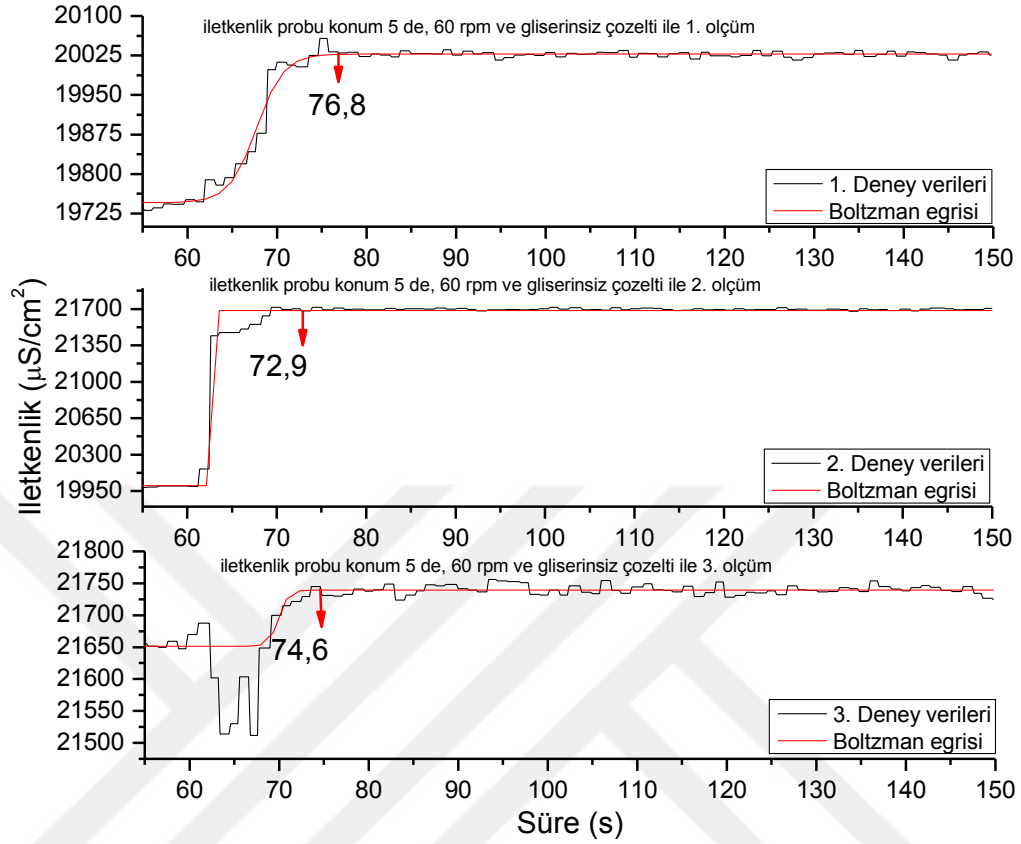
Şekil 4.22. Gliserinsiz çözelti ile iletkenlik ölçer konum 4'e yerleştirilerek alınan ölçümler

Konum 4’de tank merkezinden karıştırıcı Rushton türbini milinin hemen yanından ilave edilen konsantre çözelti, oluşan girdapla aşağı yönde tank tabanına doğru hareket etmekte ve türbinin kanatçıklarına doğru ilerlemektedir. İlave edilen çözelti akış yolu üzerindeki prob ve lokal katot tarafından hemen algılanmıştır. Buna bağlı olarak akım ve iletkenlik değerlerinde ani bir artış gözlenmiştir. Akış saptırıcı panellere çarptıktan sonra oluşan girdap etkisiyle karışma süresi konum 2’den daha fazla ancak konum 1 ve konum 3’den daha az olarak kaydedilmiştir.

Gliserinsiz çözelti kullanılarak 1cm çaplı lokal katot Şekil 4.14’de verildiği gibi konum 5’de yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler Şekil 4.23’de ve eş zamanlı olarak iletkenlik ölçer ile alınan ölçümler Şekil 4.24’de verilmektedir.



Şekil 4.23. Gliserinsiz çözelti ile 1 cm lokal katodun konum 5’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler



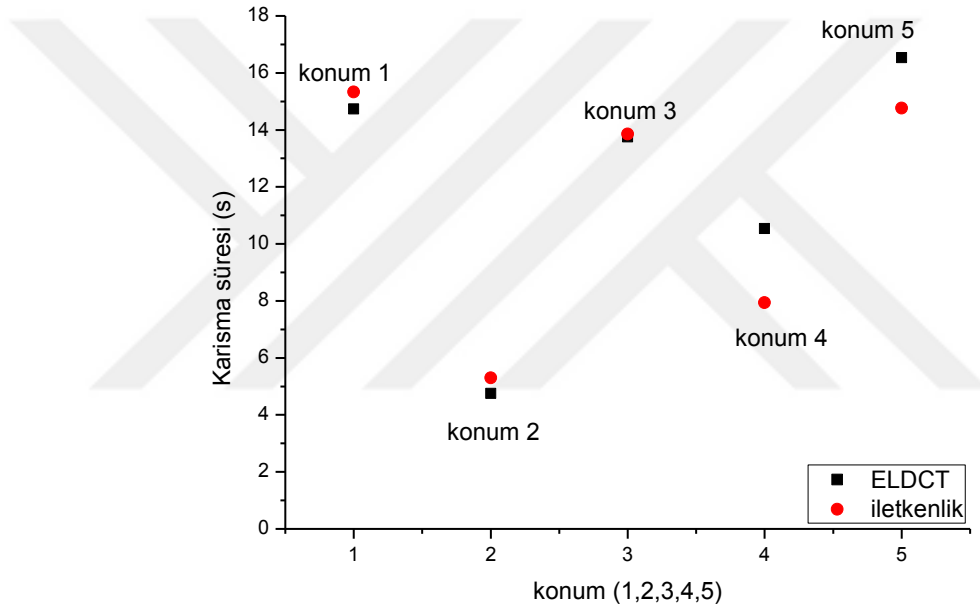
Şekil 4.24. Gliserinsiz çözelti ile iletkenlik ölçer konum 5'e yerleştirilerek alınan ölçümler

Tank merkezinden ilave edilen konsantrasyonlu çözelti, hızlı bir şekilde tank dibine doğru gönderildiği için, konum 5'de bulunan prob ve lokal katot tarafından önce algılanamamış, daha sonra bu çözelti tank içinde dağılmaya başladığı için, tank muhtevasının konsantrasyonunun yavaş yavaş artmasına ve buna bağlı olarak da akım ve iletkenlik değerlerinin artmasına neden olmuştur. Yavaş ve düzenli bir şekilde artış görülmektedir. Konum 3'den daha fazla bir karışma süresi değeri elde edilmiştir.

İmpulse değeri oluşturulduktan sonra ikinci halde dengeye gelinceye kadar geçen ortalama karışma süresi değerleri Çizelge 4.3'de verilmektedir. Çizelge 4.3'de verilen değerler Şekil 4.25'de grafiksel olarak gösterilmektedir. Çizelge 4.3'de verilen değerlerin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot ve iletkenlik ölçer prob kullanılarak ELDCT ve iletkenlik ölçüm yöntemi ile ölçülen karışma süresi değerleri

Ölçüm yöntemi	Konum 1 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 2 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 3 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 4 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 5 Ortalama Karışma süresi (s)	Ortalama
ELDCT	14,73	4,75	13,75	10,53	16,53	12,06
İLETKENLİK	15,33	5,30	13,85	7,93	14,77	11,44
% Fark	3,91	10,38	0,72	32,77	11,96	



Şekil 4.25. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot ve iletkenlik ölçer prob kullanılarak, Re1 değerinde ELDCT ve iletkenlik ölçüm yöntemi ile ölçülen karışma süresi değerleri

ELDCT ve iletkenlik ölçer ile belirlenen karışma süresi değerleri arasındaki yüzde fark değerinin büyük olması, karışma süresinin kısa olmasından dolayıdır. Yukarıdaki tekrar deneylerinde görüldüğü üzere aynı ölçüm yönteminde bütün akış şartları aynı olmasına rağmen farklı değerler okunmaktadır. Tekrar deneylerinde, her iki yöntemle alınan ölçümlerde, bir önceki deneyde alınan ölçümde gözlenen azalma ya da artma aynı gözlemlenmektedir. Bunun akış ortamındaki değişiklikten kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tank içerisinde karışma süresi ölçümlerinde farklı konumlarda farklı karışma süreleri elde edilmiştir. Tank geometrisine, tank içerisinde kullanılan ekipmanlara, karıştırıcı tipi ve özelliklerine bağlı olarak oluşan akış şekline göre tank içindeki herhangi bir konumda elde edilen karışma süreleri farklı olacaktır. Burada, Rushton türbininin oluşturduğu radyal akış ve akış saptırıcı panellerin oluşturduğu girdapların akışı nasıl etkilediği görülmektedir. Tankın ortasından karıştırıcı milin 10 mm yanından ilave edilen konsantre çözelti, türbinin tankın ortasında oluşturduğu girdapla önce tank dibine doğru çekilmektedir. Daha sonra türbinin oluşturduğu radyal yöndeki akışla çözelti, türbin seviyesinden tank kenarına doğru itilmektedir. Akış saptırıcıların etkisiyle oluşan karmaşık akış sayesinde girdap (swirl) akış engellenmektedir. Bu sayede karışma daha hızlı meydana gelmektedir. Tankın dip kısmında tabana çarpan akış daha düzenli olurken, tankın üst kısmına gönderilen akış daha serbest bir akış olduğundan, bu akışın daha karmaşık olduğu ve karışma süresinin bu nedenle daha kısa olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3’de lokal katodun farklı beş konuma yerleştirildiği zaman alınan karışma süresi ölçüm değerlerinin ortalama değeri alınır;

$$\text{ELDCT ile } (14,73 + 4,75 + 13,75 + 10,53 + 16,53) / 5 = \mathbf{12,06} \text{ saniye}$$

ve

$$\text{iletkenlik ölçümü ile } (15,33 + 5,3 + 13,85 + 7,93 + 14,77) / 5 = \mathbf{11,44} \text{ saniye}$$

olarak tespit edilmiştir.

$$\mathbf{\text{İki yöntem arasındaki \% fark}} = (12,06 - 11,44) / 11,44 \cong 5,4$$

ELDCT’de, 1B+3B elektrot sisteminin kullanıldığı gliserinsiz çözelti ile 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile 60 rpm’de karışma süresinin ölçüldüğü Şekil 4.11’de gösterildiği gibi ölçülen iki değer ortalaması;

$$(11,2 + 12,2) / 2 = 11,7 \text{ dir.}$$

$$\% \text{ Fark} = ((12,06-11,7)/12,06) * 100 \cong 3$$

Yukarıda, tankın beş farklı bölgesinde, hem ELDCT hem de iletkenlik ölçüm yöntemi ile alınan ölçümler birbirinin hemen hemen aynısı ya da birbirine yakın değerler olarak bulunmuştur. ELDCT’de lokal katot kullanıldığında elde edilen karışma süresi değerleri ile daha önceden karışma süresi ölçümü için kullanılan iletkenlik ölçüm tekniği ile elde edilen değerlerin yaklaşık %95 benzerlik göstermesi, bu iki yöntemin birbirinin ölçümlerini desteklediğini göstermektedir.

Bununla birlikte, tankın farklı konumlarında alınan lokal karışma süresi değerlerinin ortalaması ile $1B+3B$ ölçüm sisteminin kullanıldığı durumda alınan karışma süresi değerinin yaklaşık %97 oranında birbirine yakın çıkması, $1B+3B$ ölçüm sistemi ile ölçülen karışma süresi değerinin, tankın ortalama karışma süresi değerini verdiğini ispatlamaktadır.

4.9. 1 cm Çaplı Lokal Katot Beş Farklı Konumda Yerleştirilerek Farklı Viskozite Değerlerindeki Çözeltiler için ELDCT ile Karışma Süresinin Belirlenmesi

Bölüm 4.8.1’de, Çizelge 3.2’de özellikleri verilen gliserinsiz elektrolit çözeltisi kullanılarak hem iletkenlik hem de ELDCT yöntemi ile karışma süresi belirlenmiştir. Gliserinsiz elektrolit çözeltisinin viskozite ve yoğunluk değeri Çizelge 4.1’de verildiği gibi sırasıyla 1,0545 cP ve 1,0115 g/ml’dir. Bu yoğunluk ve viskozite değerleri kullanılarak 60 rpm karıştırma hızında ve altı kanatlı 60 mm çaplı Rushton türbini için Eşitlik 9 ile belirlenen Reynolds değeri 3500 dür. Bu değer, Re1 olarak alınmıştır.

Farklı viskozite değerlerinde çözeltiler kullanılarak, karışma süresinin aynı Reynolds sayısında nasıl değişimin belirlenmesi için, ağırlıkça %30 ve %50 gliserin içeren elektrolit çözeltiler kullanılmıştır. Bu çözeltilerin yoğunluk ve viskozite değerleri Çizelge 4.1’de sırasıyla 1,082 g/ml, 2,5687 cP ve 1,1393 g/ml, 6,107 cP olarak

verilmiştir. Yoğunluk ve viskozite değerleri verilen çözeltiler için Re_1 değerine karşılık gelen karıştırma hızı sırasıyla 140 rpm ve 310 rpm dir.

4.9.1. 1 cm çaplı lokal katot beş farklı konumda yerleştirilerek Re_1 değerinde %30 gliserinli çözelti için ELDCT ile karışma süresinin belirlenmesi

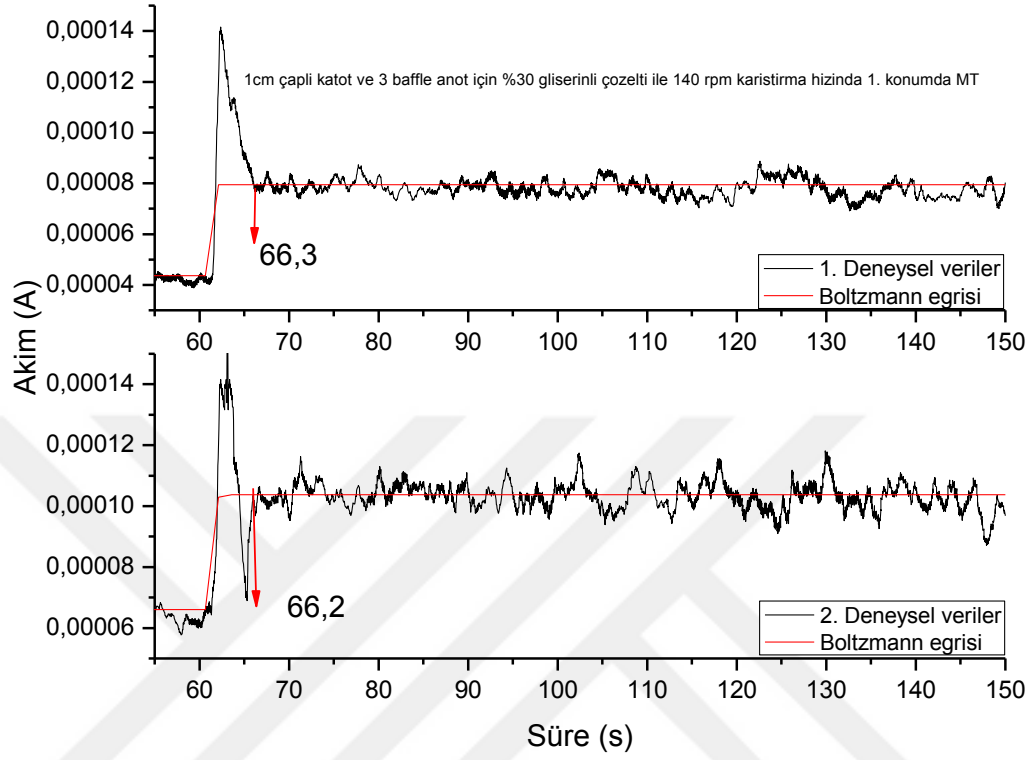
Deneyler de elektrolit çözeltisi olarak Çizelge 3.2’de verilen 2600 ml %30 (w/w) gliserinli çözelti kullanılmıştır. Karışma süresi ölçümlerinde Bölüm 4.8.1’de belirtildiği üzere ön işlemler yapılarak tank sisteminin o şartlar altında kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Çizelge 3.2’de verilen 5,2 ml **konsantre** çözelti karışma işlemi gerçekleşirken ölçümün 60. saniyesinde ilave edilmiştir.

Karıştırıcı olarak 90 derece kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbünü kullanılmış ve tank merkezine tank tabanından 5 cm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir.

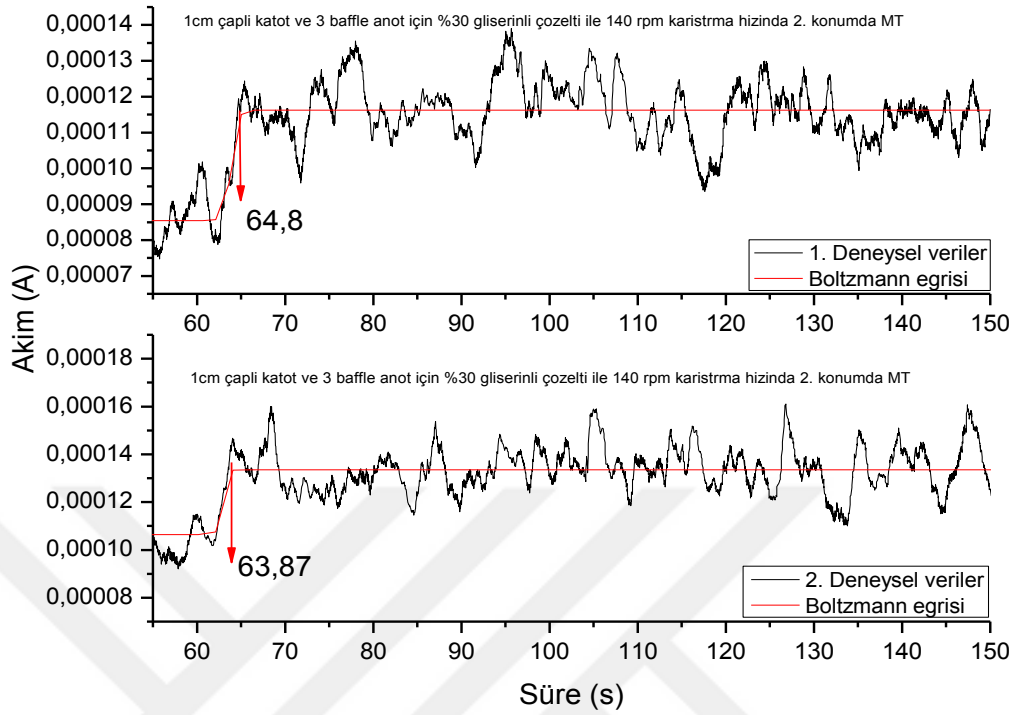
ELDCT’de ölçüm sistemi olarak 1 cm lokal katot kullanılmıştır.

Yukarıda çözelti özellikleri ve tank konfigürasyonu verilen sistemde Re_1 değeri için belirlenen 140 rpm karıştırma hızında %30 (w/w) gliserinli çözelti ile Şekil 4.14’de verilen farklı 5 konumda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot ile alınan ölçümler aşağıda verilmektedir.

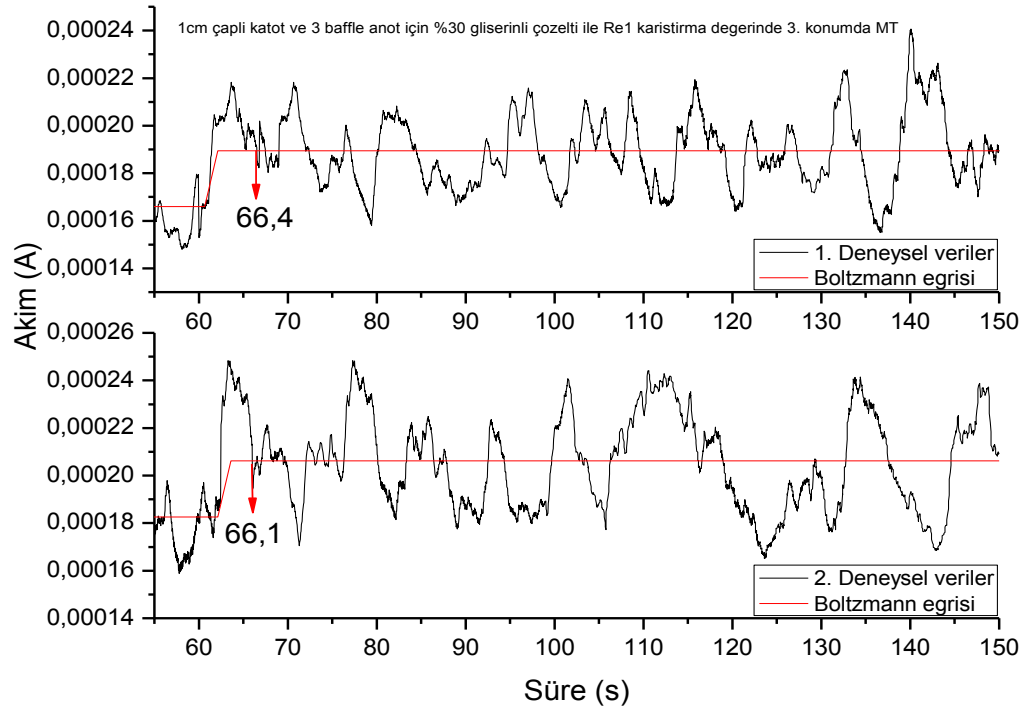
%30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılan ve 1 cm çaplı lokal katot, Şekil 4.14’de verildiği gibi konum 1’e yerleştirilerek ELDCT ile alınan ölçümler Şekil 4.26’da, konum 2’ye yerleştirilerek Şekil 4.27’de, konum 3’e yerleştirilerek Şekil 4.28’de, konum 4’e yerleştirilerek Şekil 4.29’da ve konum 5’e yerleştirilerek alınan ölçümler Şekil 4.30’da verilmektedir. Deneyler iki tekrar olacak şekilde yapılmıştır.



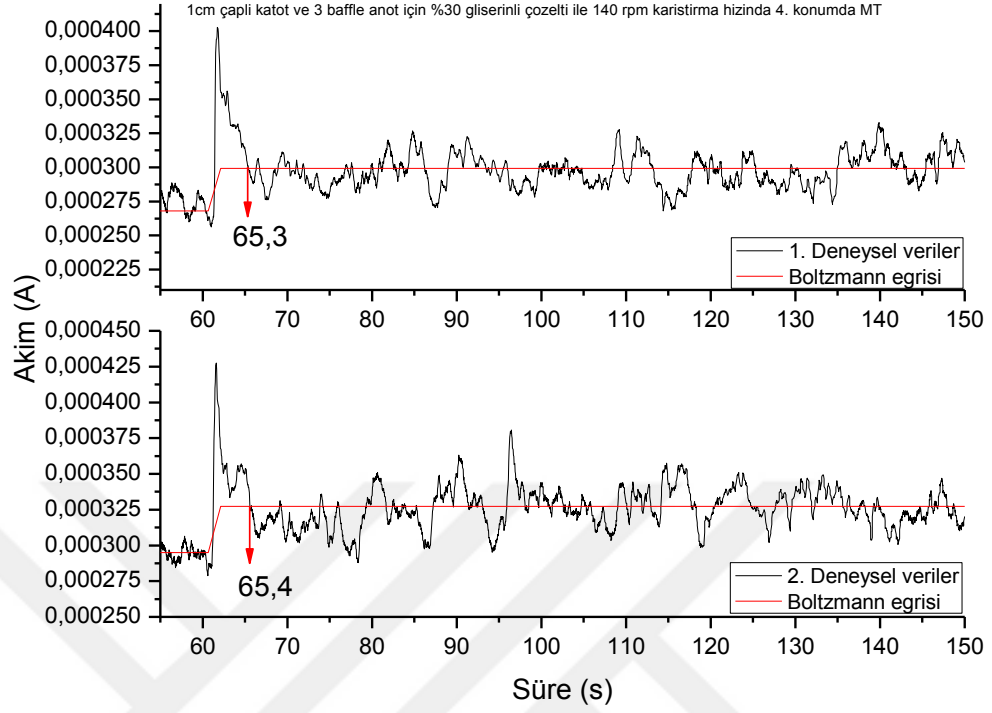
Şekil 4.26. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 1’de ELDCT ile alınan ölçümler



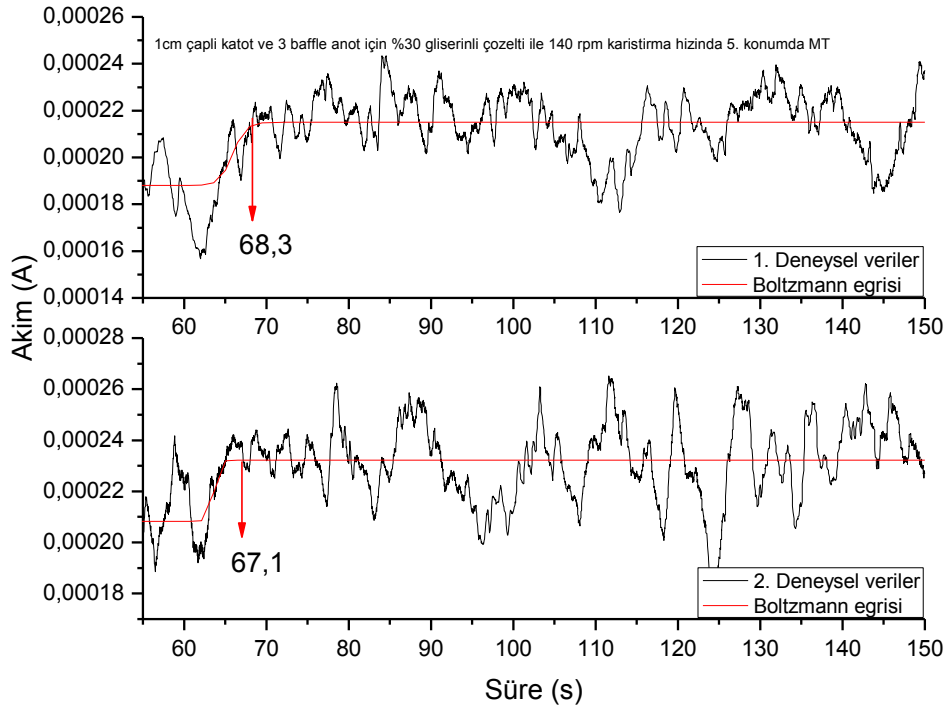
Şekil 4.27. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 2’de ELDCT ile alınan ölçümler



Şekil 4.28. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 3’de ELDCT ile alınan ölçümler



Şekil 4.29. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 4’de ELDCT ile alınan ölçümler

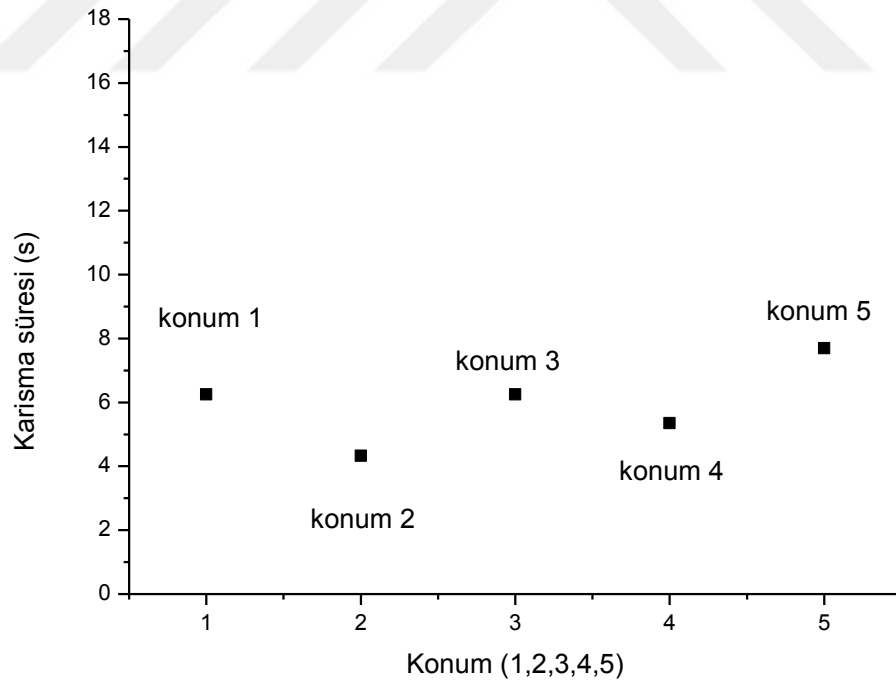


Şekil 4.30. %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılarak 1 cm çaplı lokal katot ile konum 5’de ELDCT ile alınan ölçümler

Şekil 4.14’de gösterilen beş farklı konum için, %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisinin ve 1 cm’lik lokal katotun kullanıldığı karışma sisteminde, ELDCT ile alınan ölçümlerden karışma süreleri belirlenmiştir. Şekil 4.26’dan Şekil 4.30’a kadar olan beş grafikte, ilk sınırlayıcı akım değerinden ikinci sınırlayıcı akım değerine ulaşıldığı süreler kırmızı çizgiler ile gösterilmektedir. Bu değerlerin ortalamaları Çizelge 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.4’de verilen değerler Şekil 4.31’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. %30 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri

Ölçüm yöntemi	Konum 1 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 2 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 3 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 4 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 5 Ortalama Karışma süresi (s)
ELDCT	6,25	4,33	6,25	5,35	7,70



Şekil 4.31. %30 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri

4.9.2. 1 cm çaplı lokal katot beş farklı konumda yerleştirilerek Re_1 değerinde %50 gliserinli çözelti için ELDCT ile karışma süresinin belirlenmesi

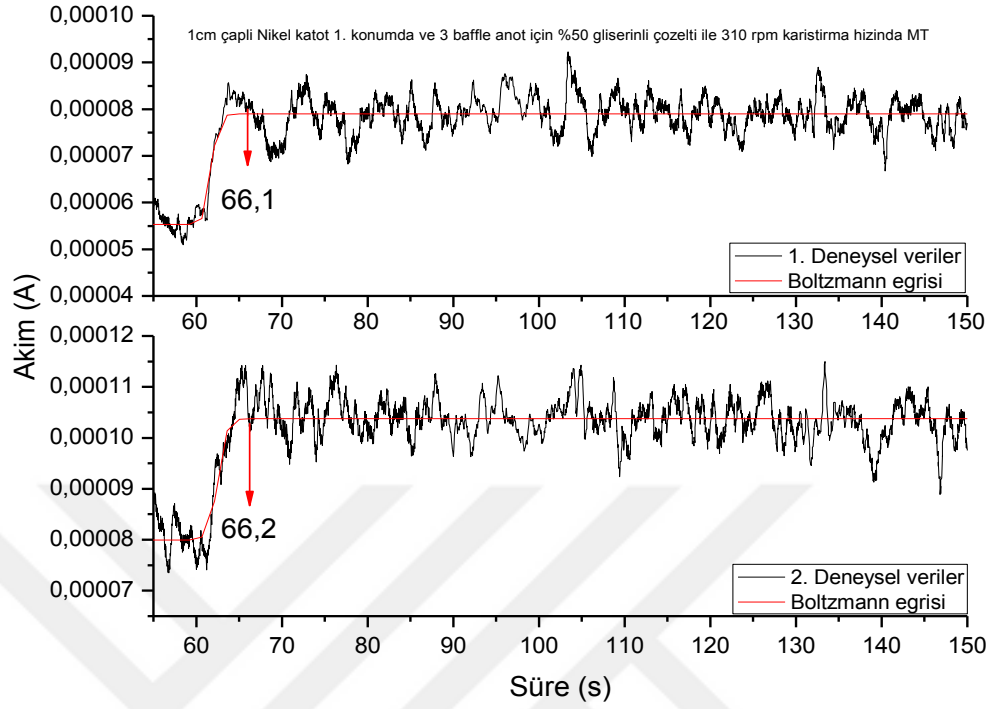
Deneylerde elektrolit çözeltisi olarak Çizelge 3.2’de verilen 2600 ml %50 (w/w) gliserinli çözelti kullanılmıştır. Karışma süresi ölçümlerinde Bölüm 4.8.1’de belirtildiği üzere ön işlemler yapılarak tank sisteminin o şartlar altında kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Karışma işlemi gerçekleşirken ölçümün 60. Saniyesinde bu çözeltiye Çizelge 3.2’de verilen 5,2 ml **konsantre** çözelti karıştırıcı milin 10 mm yanından ilave edilmiştir.

Karıştırıcı olarak 90 derece kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbünü kullanılmış ve tank merkezine tank tabanından 50 mm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir.

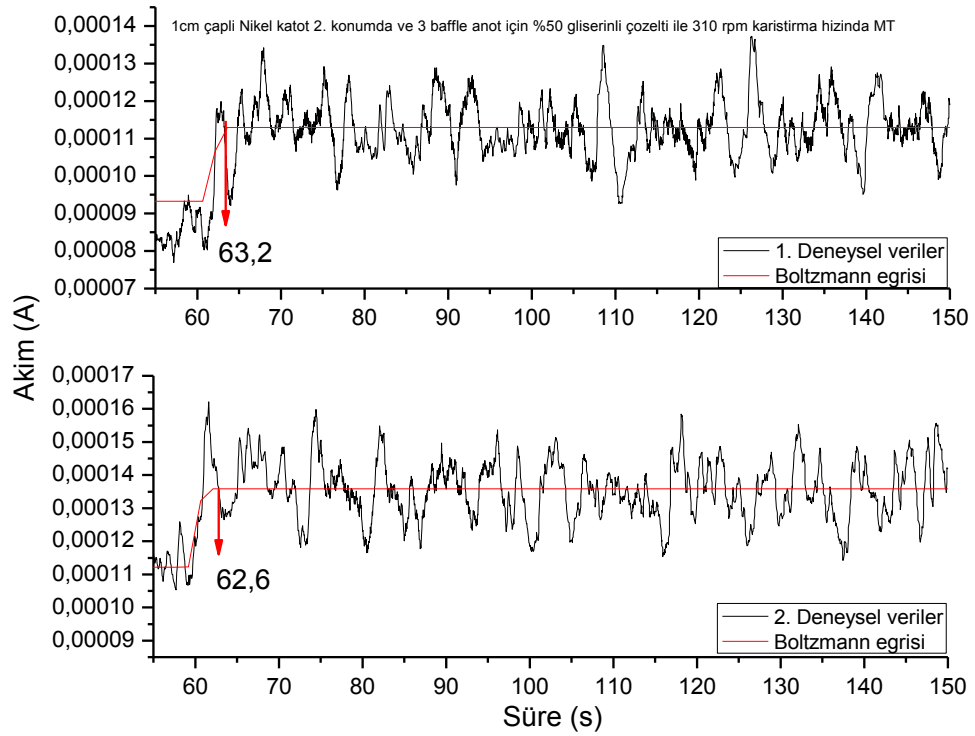
ELDCT’de ölçüm sistemi olarak 1 cm lokal katot kullanılmıştır.

Yukarıda çözelti özellikleri ve tank konfigürasyonu verilen sistemde Re_1 değeri için belirlenen 310 rpm karıştırma hızında %50 (w/w) gliserinli çözelti ile Şekil 4.14’de gösterilen farklı 5 konuma yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot ile alınan ölçümler aşağıda verilmektedir.

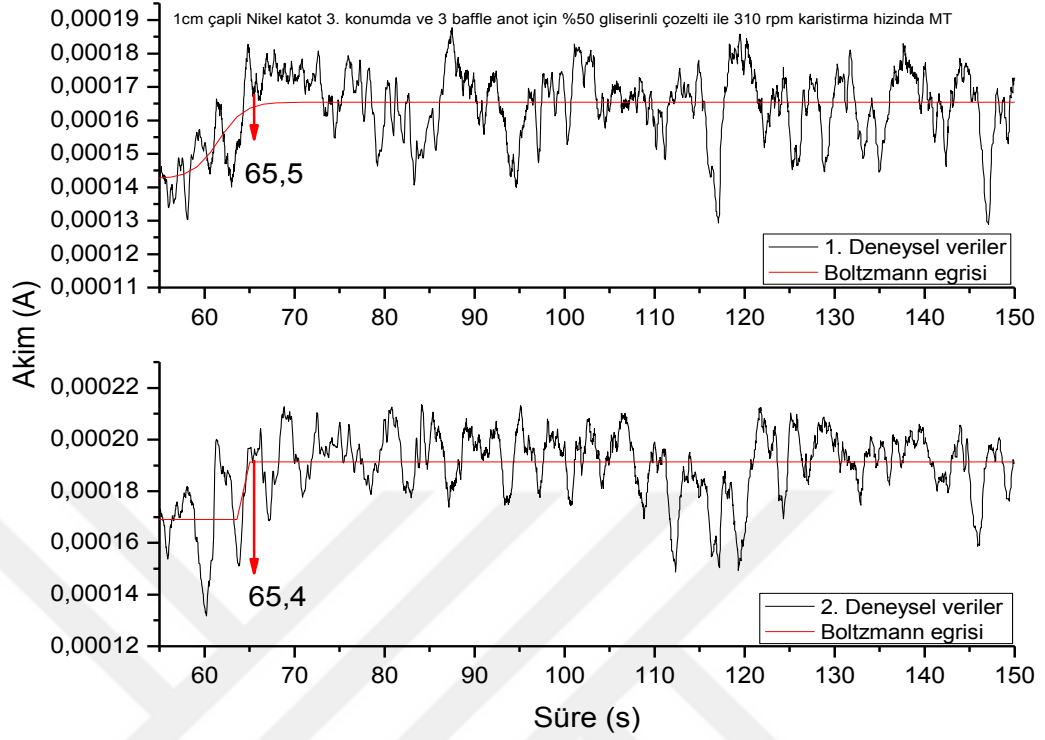
% 50(w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi kullanılan ve 1 cm çaplı lokal katotun ilgili konumlara yerleştirilmesiyle ELDCT ile alınan ölçümler Şekil 4.32’de konum 1 için, Şekil 4.33’de konum 2 için, Şekil 4.34’de konum 3 için, Şekil 4.35’de konum 4 için ve Şekil 4.36’da konum 5 için verilmektedir. Deneyler iki tekrar olacak şekilde yapılmıştır.



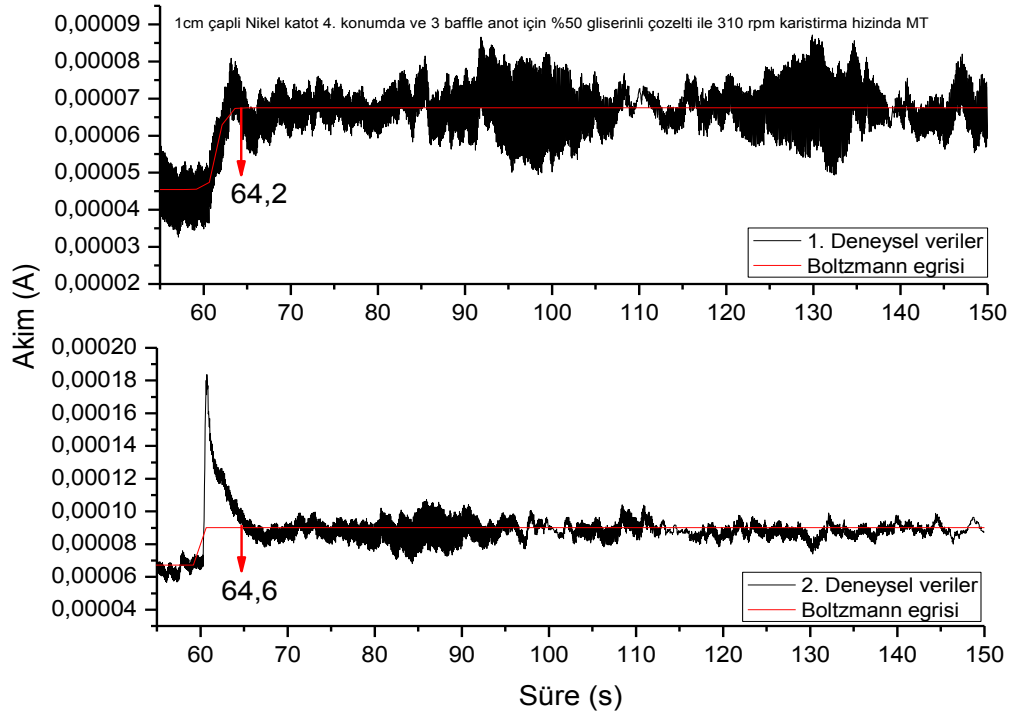
Şekil 4.32. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 1’de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri



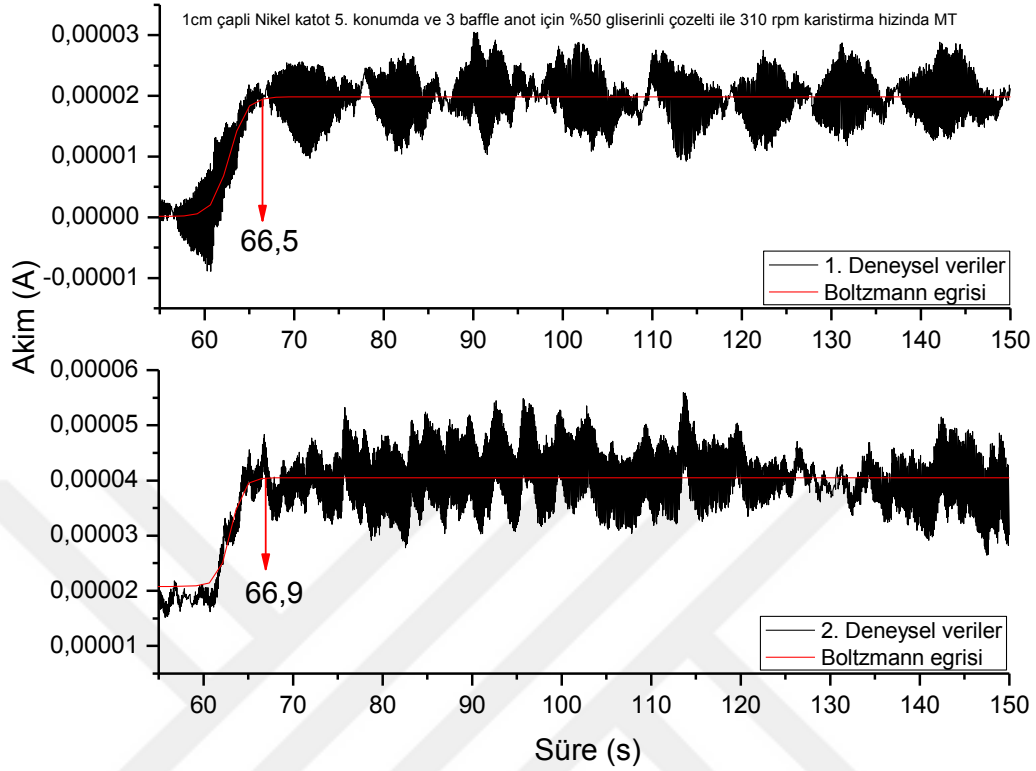
Şekil 4.33. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 2’de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri



Şekil 4.34. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 3’de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re_1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri



Şekil 4.35. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 4’de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re_1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri

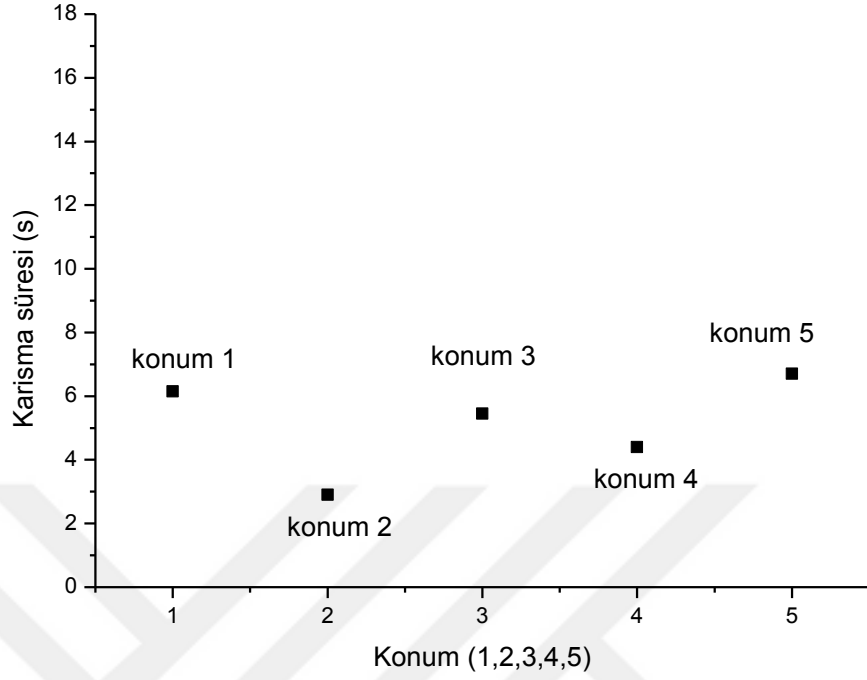


Şekil 4.36. %50 (w/w) gliserinli çözelti ile konum 5’de yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri

Yukarıdaki grafiklerden bulunan değerlerin ortalamaları alınarak karışma süreleri belirlenmiştir. Bu değerlerin ortalaması Çizelge 4.5’de verilmektedir. Çizelge 4.5’de verilen değerler Şekil 4.37’de grafiksel olarak gösterilmektedir.

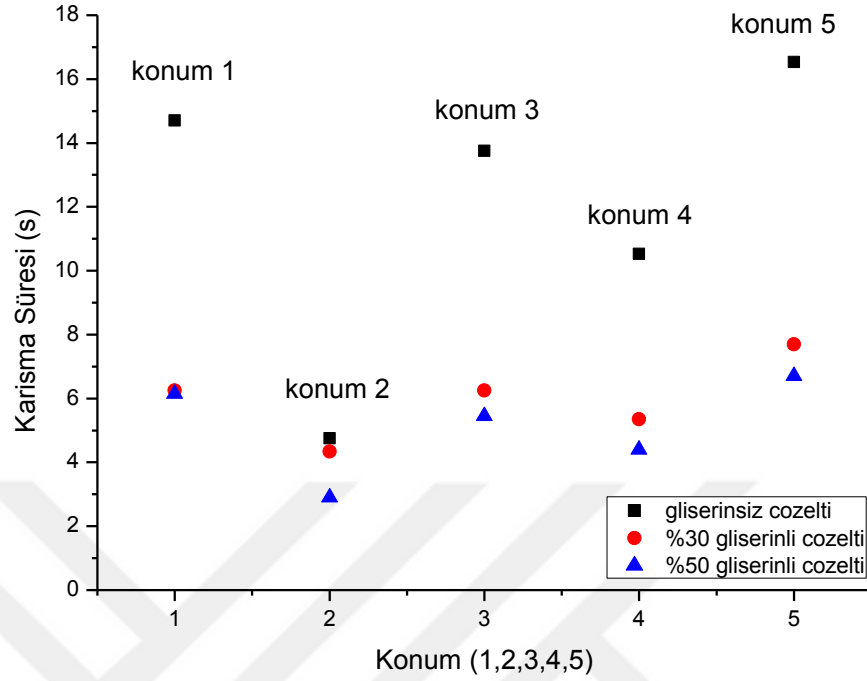
Çizelge 4.5. %50 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri

Ölçüm yöntemi	Konum 1 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 2 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 3 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 4 Ortalama Karışma süresi (s)	Konum 5 Ortalama Karışma süresi (s)
ELDCT	6,15	2,90	5,5	4,40	6,70



Şekil 4.37. %50 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri

Bölüm 4.9.1 ve 4.9.2’deki veriler kullanılarak gliserinsiz, %30 (w/w) gliserinli ve %50 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltileri ile elde edilen farklı viskozite değerlerindeki çözeltilerle karışma süreleri belirlenmiştir. Bu çözeltiler ve yukarıda belirtilen şartlar için Re1 değerinde ölçülen karışma süresi değerleri Şekil 4. 38’de verilmektedir.



Şekil 4.38. Gliserinsiz, %30 (w/w) gliserinli ve %50 (w/w) gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen) ile farklı konumlarda yerleştirilen 1 cm çaplı lokal katot kullanılarak Re_1 değerinde ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri

Farklı viskozite değerlerinde aynı Re_1 değerini elde etmek için karışma hızları gliserinsiz elektrolit çözeltisi için 60 rpm, %30 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi için 140 rpm ve %50 (w/w) gliserinli elektrolit çözeltisi için 310 rpm olarak belirlenmiştir. Şekil 4.38’den de görüleceği gibi aynı Reynolds değerinde, karışma süresi üzerinde karıştırma hızının çözelti viskozitesinden daha etkili olduğu görülmektedir.

4.10. Gliserinsiz Çözeltide ELDCT İle Kanat Sayısı 6 Olan 90° , 60° , 45° ve 30° Kanat Açılı Rushton Türbinleri Kullanılarak Farklı Karıştırma Hızlarında Karışma Süresinin Belirlenmesi

Bu deneylerde, 90° , 60° , 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılarak her bir türbin için geçiş bölgesinde, Çizelge 4.2’de verilen beş farklı Reynolds değerinde karışma süreleri hesaplanmıştır. Bu şekilde her bir türbin için Reynolds sayısı ile karışma süresinin nasıl değiştiği bulunmuştur. Aynı zamanda Rushton türbini çapı sabit

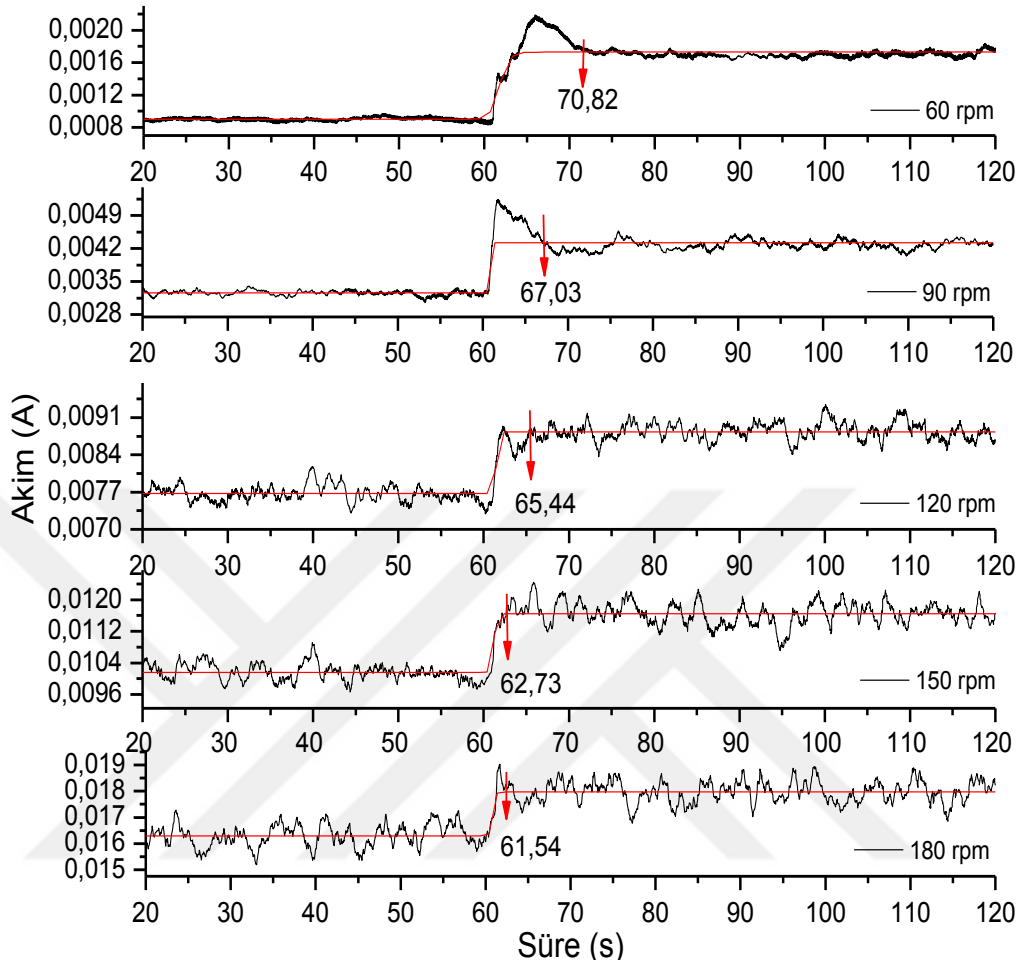
tutularak aynı Reynolds değerinde, kanat açısının karışma süresini nasıl etkilediği incelenmiştir.

Deneylerde elektrolit çözeltisi olarak Çizelge 3.2’de verilen 2600 ml gliserinsiz çözelti kullanılmıştır. Karışma sisteminde çözelti sıcaklığı 20°C de sabit tutulmuştur. Karışma süresi ölçümlerinde bölüm 4.8.1’de belirtildiği üzere ön işlemler yapılarak tank sisteminin o şartlar altında kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Karışma işlemi gerçekleşirken beşinci dakikadan sonra ELDCT yöntemi ile ölçüm alınmaya başlanmıştır. ELDCT’de 1B+3B elektrot sistemi kullanılmıştır. Ölçümün 60. saniyesinde bu çözeltiye Çizelge 3.2’de verilen 5,2 ml **konsantre** çözelti bölüm 3.5’de verildiği gibi ilave edilmiştir.

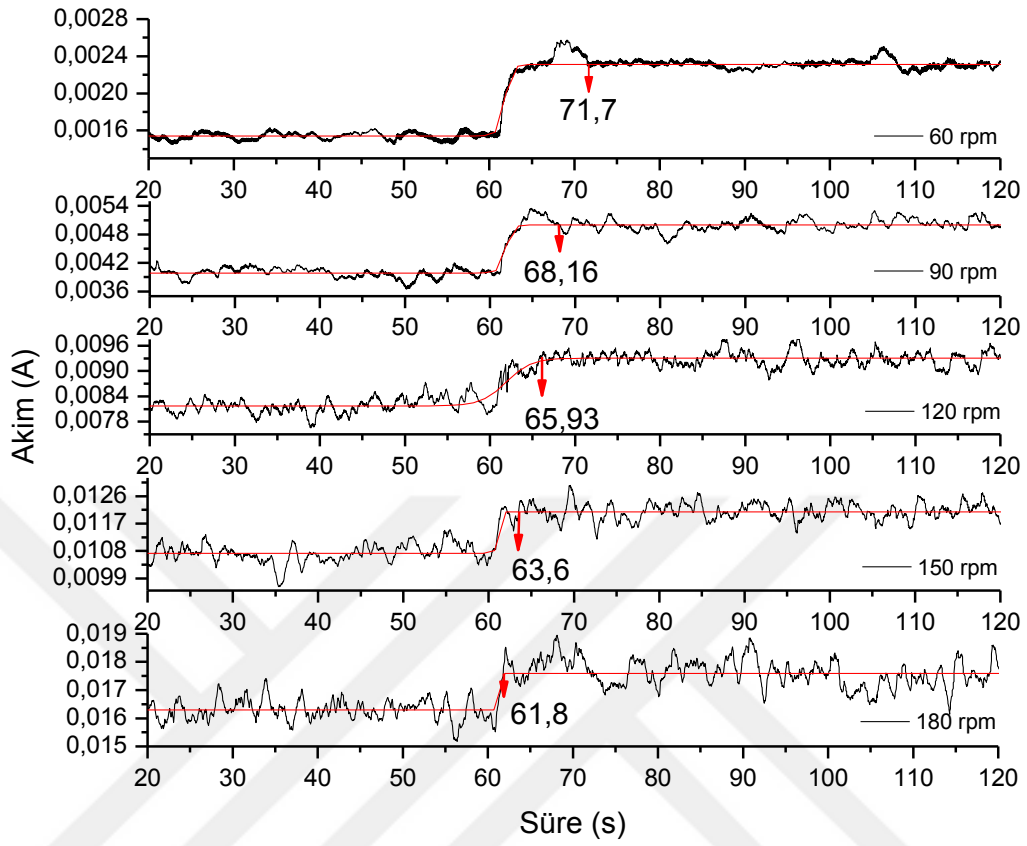
Karıştırıcı olarak 6 kanatlı ve 60 mm çapında, 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbini, tabandan 5 cm (H/3) yukarıda ve tank merkezinde yerleştirildi.

Gliserinsiz çözelti için verilen yoğunluk, viskozite, Rushton türbini çapı ve karıştırıcının minimum karıştırma hızı (karıştırıcının minimum dönme hızı 60 rpm’dir) parametreleri dikkate alınarak Re1, Re2, Re3, Re4 ve Re5 için belirlenen geçiş bölgesi karıştırma hızı değerleri 60 rpm, 90 rpm, 120 rpm, 150 rpm ve 180 rpm’dir.

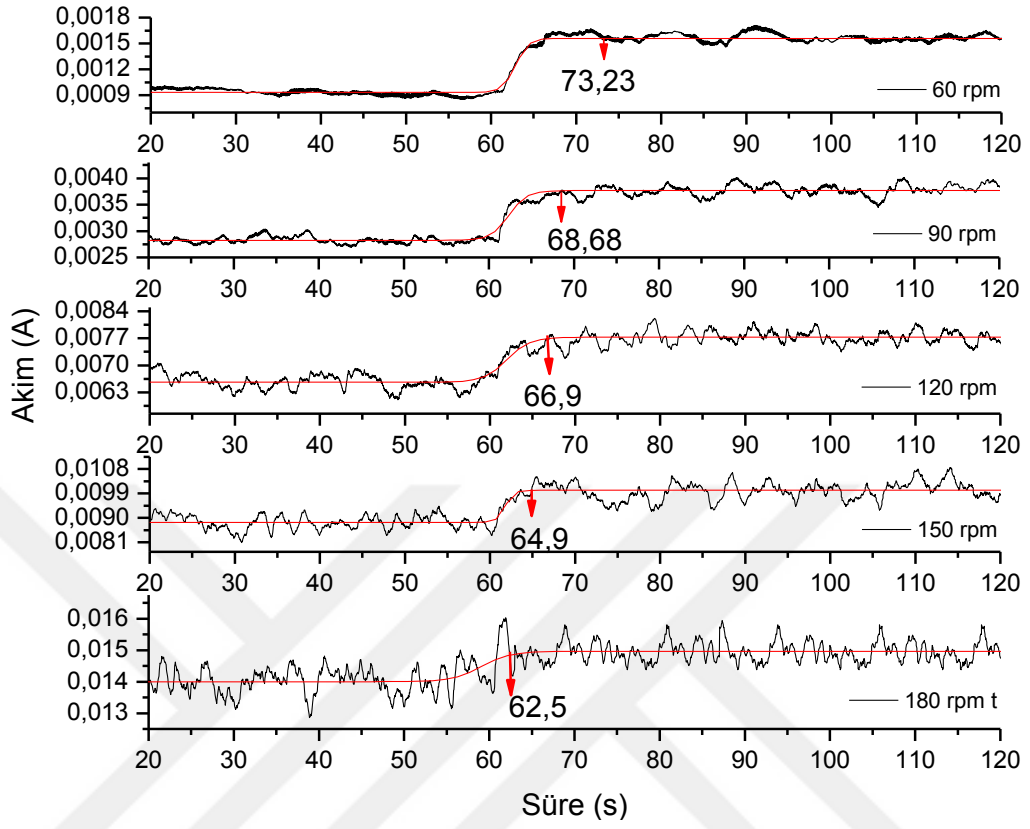
Geçiş bölgesinde beş farklı Reynolds değerlerinde karışma süresi değerlerinin nasıl değiştiğini belirlemek için, Şekil 3.1’de verilen 90° kanat açılı Rushton türbini kullanılarak karışma süresi ölçümleri Şekil 4.39’da verilmiştir. Şekil 3.1’de verilen, 60° kanat açılı Rushton türbini kullanılarak farklı Reynolds değerlerinde alınan karışma süresi ölçümleri Şekil 4.40’da verilmiştir. Şekil 3.1’de verilen, 45° kanat açılı Rushton türbini kullanılarak farklı Reynolds değerlerinde alınan karışma süresi ölçümleri Şekil 4.41’de verilmiştir. Şekil 3.1’de verilen, 30° kanat açılı Rushton türbini kullanılarak farklı Reynolds değerlerinde alınan karışma süresi ölçümleri Şekil 4.42’de verilmektedir.



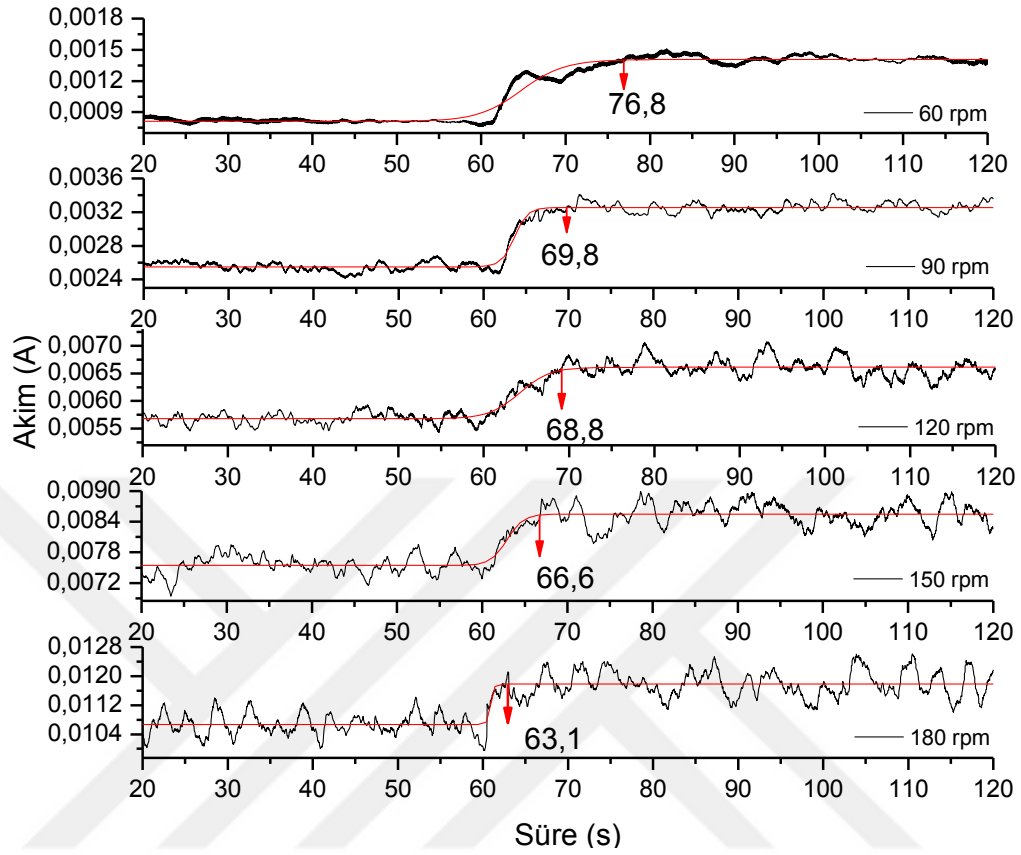
Şekil 4.39. Gliserinsiz çözelti ile 90° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi



Şekil 4.40. Gliserinsiz çözelti ile 60° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi



Şekil 4.41. Gliserinsiz çözelti ile 45° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi



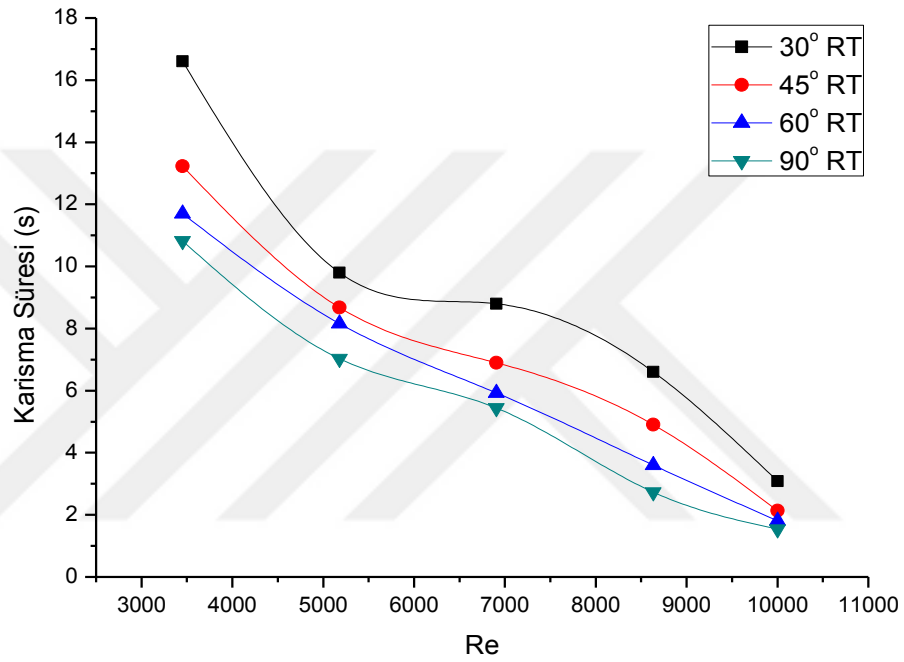
Şekil 4.42. Gliserinsiz çözelti ile 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi

Yukarıdaki ölçüm grafiklerindeki karışma süresi değerleri kullanılarak herbir Rushton Türbini için Re1, Re2, Re3, Re4 ve Re5 değerleri için karışma süresinin nasıl değiştiği Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2 de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbinleri için Re - karışma süresi değerleri

Re	30° için RT için $t_M(s)$	45° için RT için $t_M(s)$	60° için RT için $t_M(s)$	90° için RT için $t_M(s)$
Re1 = 3500	16,6	13,23	11,7	10,82
Re2 = 5200	9,8	8,68	8,16	7,03
Re3 = 6900	8,8	6,9	5,93	5,44
Re4 = 8600	6,6	4,9	3,6	2,73
Re5 = 10000	3,08	2,13	1,81	1,54

Çizelge 4.6’da verilen değerler kullanılarak her bir Re için Rushton türbini kanat açısının değişimi ile karışma süresinin nasıl değiştiği Şekil 4.43’de verilmiştir.



Şekil 4.43. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbinleri için Re–karışma süresi değişimi

4.11. Gliserinsiz Çözeltide ELDCT ile Kanat Açısı 90° olan 3, 4, 5 ve 6 Kanat Sayılı Rushton Türbinleri Kullanılarak Farklı Karıştırma Hızlarında Karışma Süresinin Belirlenmesi

Bu deneylerde, 90° kanat açılı ve kanat sayısı 3, 4, 5 ve 6 olan Rushton türbinleri kullanılarak her bir türbin için geçiş bölgesinde, Çizelge 4.2’de verilen beş farklı Reynolds değerinde karışma süreleri hesaplanmıştır. Bu şekilde her bir türbin için Reynolds sayısı ile karışma süresinin nasıl değiştiği bulunmuştur. Aynı zamanda

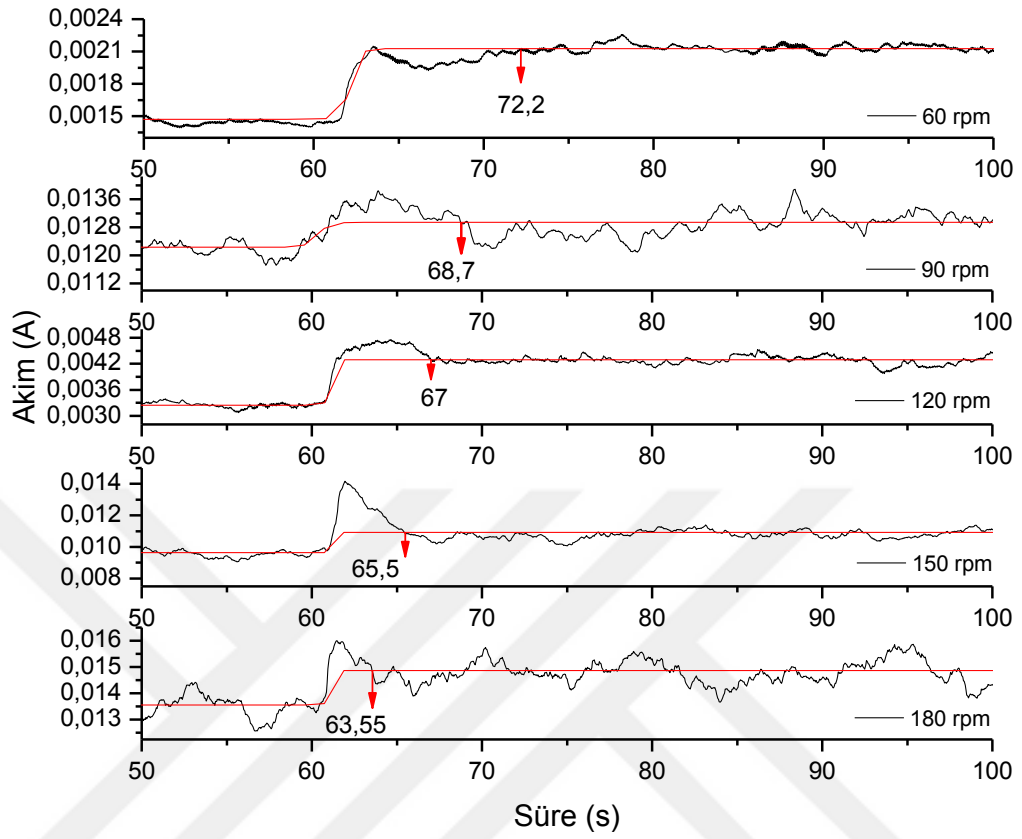
Rushton türbini çapı sabit tutularak aynı Reynolds değerinde, kanat sayısının karışma süresini nasıl etkilediği incelenmiştir.

Deneylerde elektrolit çözeltisi olarak Çizelge 3.2’de verilen 2600 ml gliserinsiz çözelti kullanılmıştır. Karışma süresi ölçümlerinde Bölüm 4.8.1’de belirtildiği üzere ön işlemler yapılarak tank sisteminin o şartlar altında kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Karışma işlemi gerçekleşirken beşinci dakikadan sonra ELDCT yöntemi ile ölçüm alınmaya başlanmıştır. ELDCT’de $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılmıştır. Ölçümün 60. Saniyesinde bu çözeltiye Çizelge 3.2’de verilen 5,2 ml **konsantre** çözelti ilave edilmiştir.

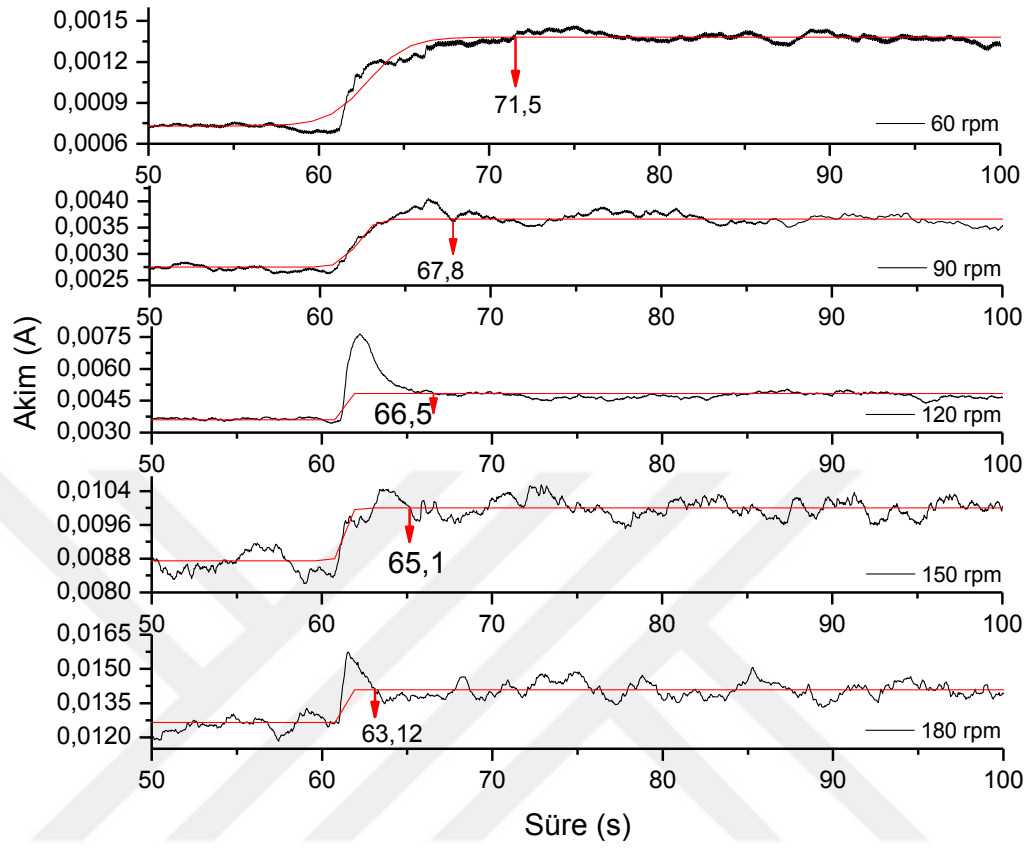
Karıştırıcı olarak 90° kanat açılı 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanat sayılı Rushton türbinleri, tabandan 5 cm ($H/3$) yukarıda ve tank merkezinde (konsantrik) yerleştirilerek her bir türbin için karışma süreleri belirlenmiştir.

Gliserinsiz çözelti için Çizelge 4.2’de verilen geçiş bölgesi karıştırma hızı değerleri 60 rpm, 90 rpm, 120 rpm, 150 rpm ve 180 rpm dir.

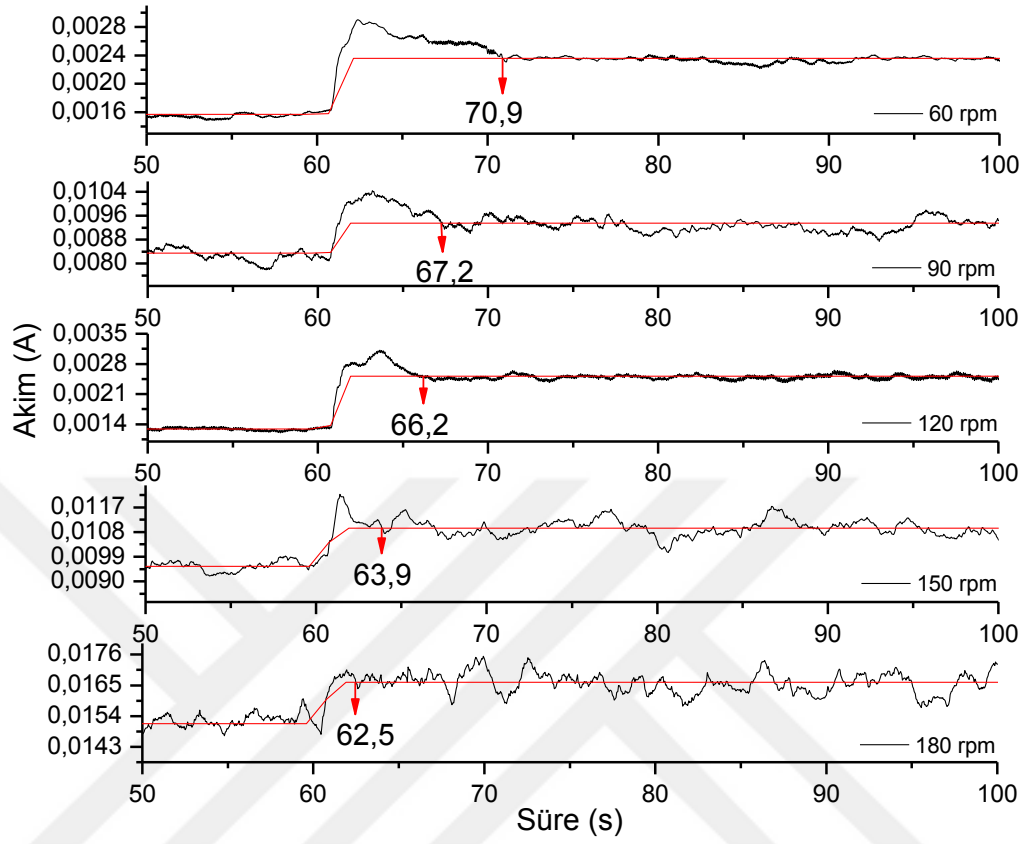
Geçiş bölgesinde beş farklı Reynolds değerlerinde karışma süresi değerlerinin nasıl değiştiği belirlenmiştir. Bunun için, Şekil 3.2’de verilen 3 kanatlı Rushton türbini kullanılarak farklı Reynolds değerlerinde alınan karışma süresi ölçümleri Şekil 4.44’de verilmiştir. Şekil 3.2’de verilen, 4 kanatlı Rushton türbini kullanılarak farklı Reynolds değerlerinde alınan karışma süresi ölçümleri Şekil 4.45’de, 5 kanatlı Rushton türbini kullanılarak farklı Reynolds değerlerinde alınan karışma süresi ölçümleri Şekil 4.46’da ve 6 kanatlı Rushton türbini kullanılarak farklı Reynolds değerlerinde alınan karışma süresi ölçümleri Şekil 4.47’de verilmektedir.



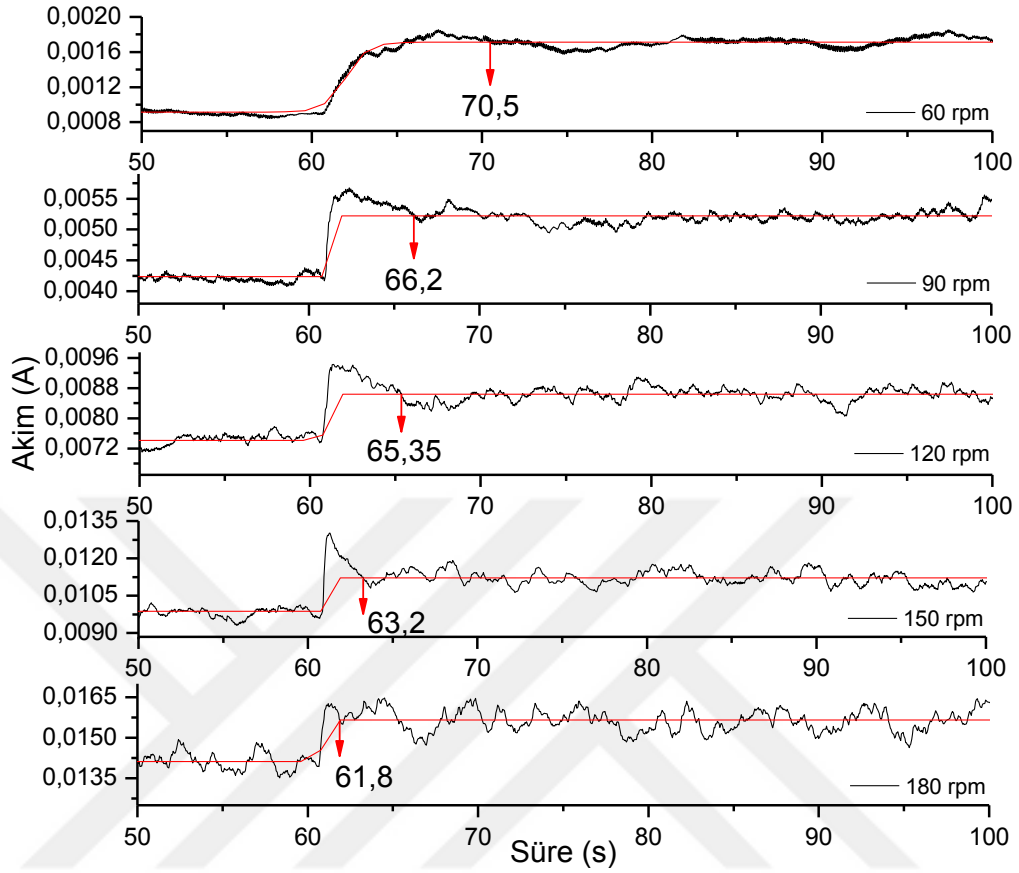
Şekil 4.44. Gliserinsiz çözelti ile 3 kanatlı, 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi



Şekil 4.45. Gliserinsiz çözelti ile 4 kanatlı, 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi



Şekil 4.46. Gliserinsiz çözelti ile 5 kanatlı, 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi



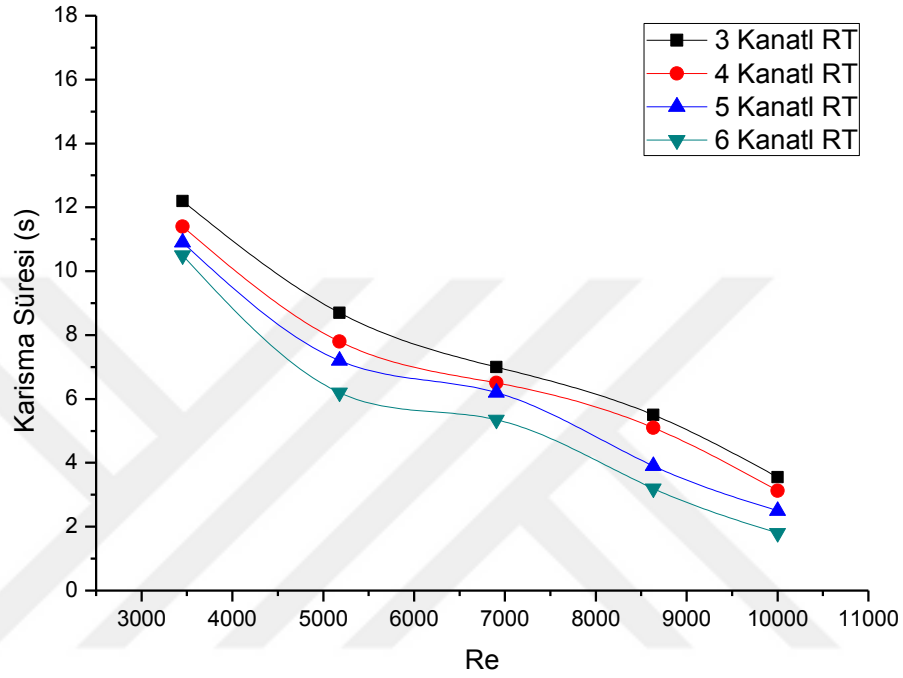
Şekil 4.47. Gliserinsiz çözelti ile 6 kanatlı, 90° kanat açılı 60 mm çaplı RT ile farklı karıştırma hızlarında karışma süresi

Yukarıdaki ölçüm grafiklerindeki karışma süresi değerleri kullanılarak herbir Rushton türbini için Re1, Re2, Re3, Re4 ve Re5 değerleri için karışma süresinin nasıl değiştiği Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton Türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

Re	3 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	4 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	5 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	6 Kanatlı RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	12,2	11,4	10,9	10,5
Re2 = 5200	8,7	7,8	7,2	6,2
Re3 = 6900	7	6,5	6,2	5,35
Re4 = 8600	5,5	5,1	3,9	3,2
Re5 = 10000	3,55	3,12	2,5	1,8

Çizelge 4.7’de verilen değerler kullanılarak her bir Re için Rushton türbini kanat sayısı değişimi ile karışma süresinin nasıl değiştiği Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.48. Gliserinsiz çözelti (Çizelge 3.2 de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton Türbinleri için Re –karışma süresi değerleri

4.12. %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) Gliserinli Çözeltide ELDCT ile Kanat Sayısı 6 olan 90° , 60° , 45° ve 30° Kanat Açılı Rushton Türbinleri Kullanılarak Farklı Karıştırma Hızlarında Karışma Süresinin Belirlenmesi

Bu deneylerde, %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) gliserinli çözeltilerle (faklı viskoziteli çözeltilerle), 90° , 60° , 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılarak her bir türbin için geçiş bölgesinde, Çizelge 4.2’de verilen beş farklı Reynolds değerinde karışma süreleri hesaplanmıştır. Bu şekilde her bir türbin için beş farklı viskoziteli elektrolit çözeltisi kullanılarak Reynolds sayısı ile karışma süresinin nasıl değiştiği bulunmuştur. Aynı zamanda Rushton türbini çapı sabit tutularak aynı Reynolds değerinde, kanat açısının karışma süresini nasıl etkilediği incelenmiştir. Bununla birlikte

aynı Rushton türbini ile aynı Re sayısında farklı viskozite değerlerinde karışma süresinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

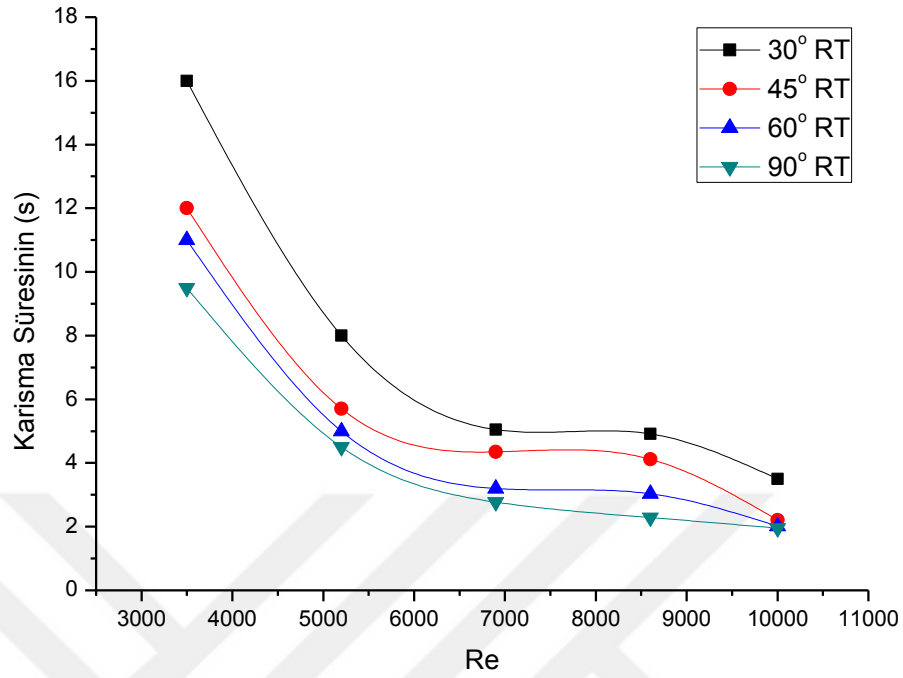
Deneylerde elektrolit çözeltisi olarak Çizelge 3.2’de verilen 2600 ml, %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) gliserinli çözeltiler kullanılmıştır. Karışma süresi ölçümlerinde Bölüm 4.8.1’de belirtildiği üzere ön işlemler yapılarak tank sisteminin o şartlar altında kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Karışma işlemi gerçekleşirken beşinci dakikadan sonra ELDCT yöntemi ile ölçüm alınmaya başlanmıştır. 1B+3B elektrot sistemi kullanılmıştır. Ölçümün 60. Saniyesinde bu çözeltiye Çizelge 3.2’de verilen 5,2 ml **konsantre** çözelti ilave edilmiştir.

Karıştırıcı olarak 6 kanatlı ve 60 mm çapında, 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılmıştır. Karıştırıcı tabandan 5 cm ($H/3$) yukarıda ve tank merkezinde yerleştirildi.

Bunun için %10 gliserinli çözelti kullanılarak Şekil 3.1’de verilen 60 mm çaplı ve 6 kanatlı, 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılarak farklı karıştırma hızlarında herbir Rushton türbini için Re ile karışma zamanının nasıl değiştiği ve aynı Re sayılarında kanat açısı ile karışma süresinin nasıl değiştiği Çizelge 4.8’de verilmiş ve Şekil 4.49’da grafik edilmiştir.

Çizelge 4.8. %10 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2 de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak, 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton Türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

	rpm	30° RT ile $t_M(s)$	45° RT ile $t_M(s)$	60° RT ile $t_M(s)$	90° RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	70	16	12	11	9,5
Re2 = 5200	110	8	5,7	5	4,5
Re3 = 6900	150	5,05	4,35	3,2	2,77
Re4 = 8600	180	4,91	4,12	3,03	2,29
Re5 = 10000	210	3,5	2,2	2,01	1,95

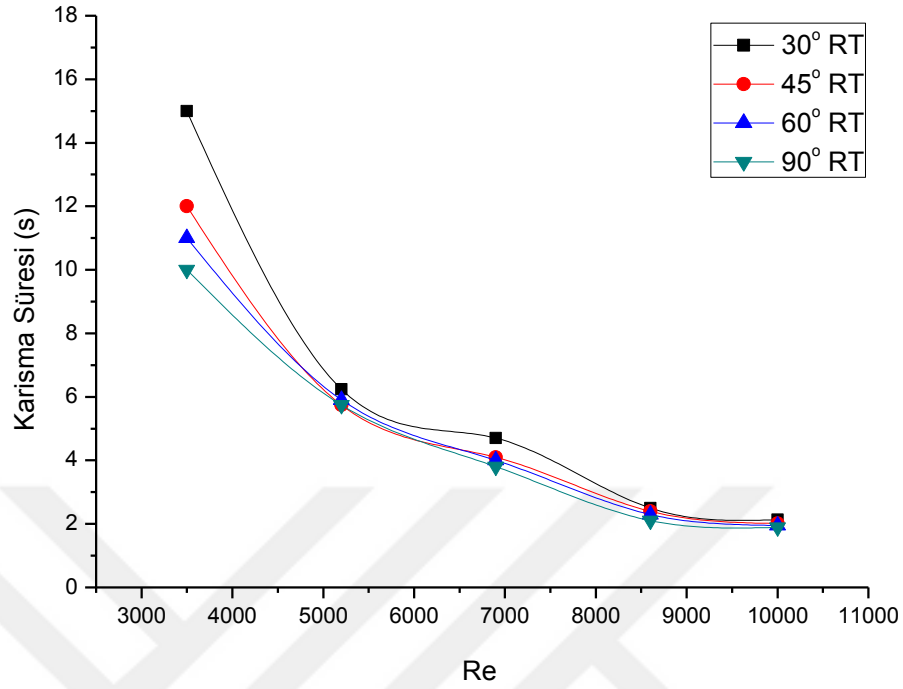


Şekil 4.49. %10 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi

%20 Giserinli çözelti kullanılarak Şekil 3.1’de verilen 60 mm çaplı ve 6 kanatlı, 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılarak farklı karıştırma hızlarında ölçülen karışma süresi değerleri Çizelge 4.9’da verilmiş ve Şekil 4.50’de grafik edilmiştir.

Çizelge 4.9. %20 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re - karışma süresi değerleri

	rpm	30° RT ile $t_M(s)$	45° RT ile $t_M(s)$	60° RT ile $t_M(s)$	90° RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	100	15	12	11	10
Re2 = 5200	150	6,24	5,74	5,91	5,74
Re3 = 6900	190	4,7	4,1	4	3,8
Re4 = 8600	240	2,5	2,4	2,3	2,1
Re5 = 10000	280	2,13	2,01	1,95	1,89

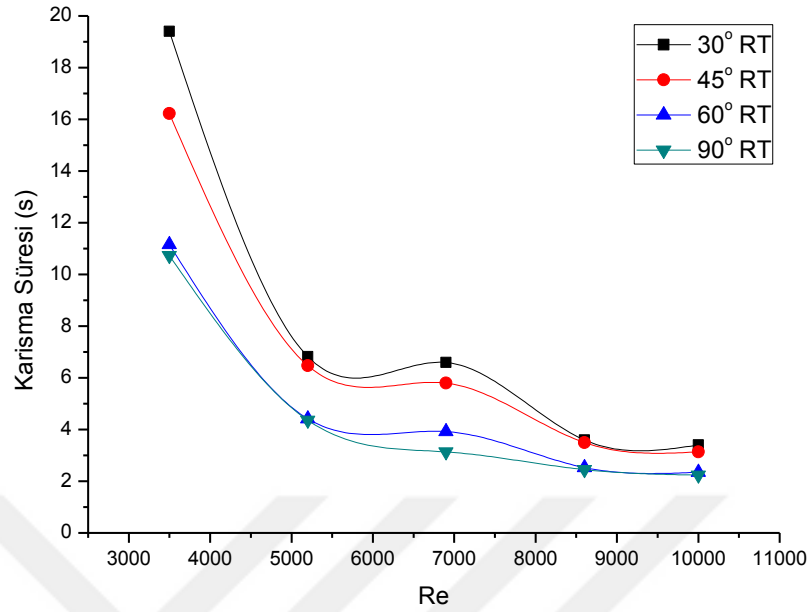


Şekil 4.50. %20 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re - karışma süresi değişimi

%30 Gliserinli çözelti kullanılarak Şekil 3.1’de verilen 60 mm çaplı ve 6 kanatlı, 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılarak farklı karıştırma hızlarında ölçülen karışma süresi değerleri Çizelge 4.10’da verilmiş ve Şekil 4.51’de grafik edilmiştir.

Çizelge 4.10. %30 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re - karışma süresi değerleri

	rpm	30° RT ile $t_M(s)$	45° RT ile $t_M(s)$	60° RT ile $t_M(s)$	90° RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	140	19,4	16,23	11,16	10,73
Re2 = 5200	210	6,82	6,47	4,42	4,36
Re3 = 6900	270	6,6	5,8	3,92	3,14
Re4 = 8600	340	3,6	3,5	2,53	2,45
Re5 = 10000	400	3,4	3,14	2,35	2,24

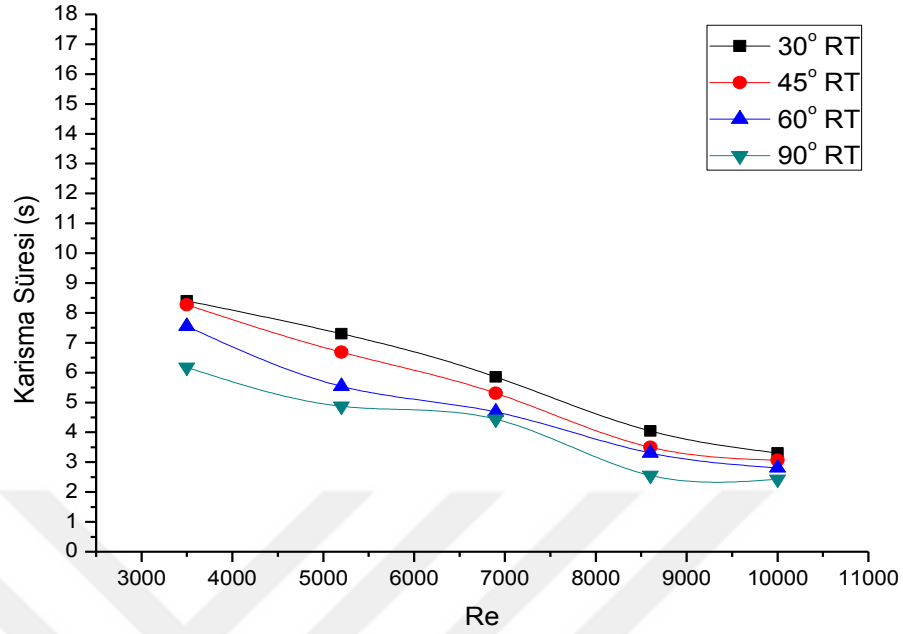


Şekil 4.51. %30 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° , 60° , 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi

%40 Gliserinli çözelti kullanılarak Şekil 3.1’de verilen 60 mm çaplı ve 6 kanatlı, 90° , 60° , 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılarak farklı karıştırma hızlarında ölçülen karışma süresi değerleri Çizelge 4.11’de verilmiş ve Şekil 4.52’de grafik edilmiştir.

Çizelge 4.11. %40 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° , 60° , 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

	rpm	30° RT ile $t_M(s)$	45° RT ile $t_M(s)$	60° RT ile $t_M(s)$	90° RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	200	8,4	8,27	7,55	6,18
Re2 = 5200	290	7,3	6,68	5,54	4,87
Re3 = 6900	390	5,86	5,31	4,68	4,44
Re4 = 8600	480	4,04	3,5	3,31	2,56
Re5 = 10000	560	3,31	3,06	2,81	2,43

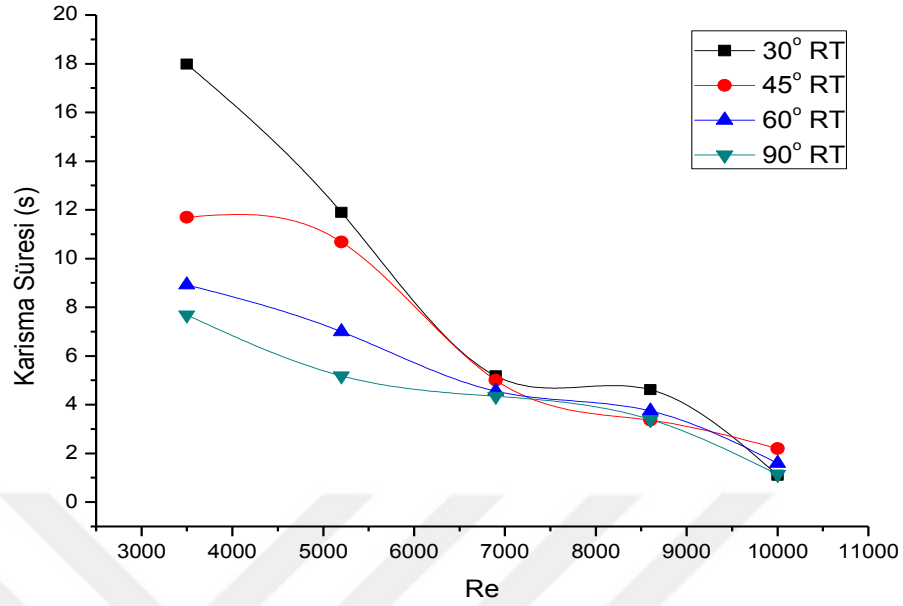


Şekil 4.52. %40 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° , 60° , 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi

%50 Gliserinli çözelti kullanılarak Şekil 3.1’de verilen 60 mm çaplı ve 6 kanatlı, 90° , 60° , 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılarak farklı karıştırma hızlarında ölçülen karışma süresi değerleri Çizelge 4.12’de verilmiş ve Şekil 4.53’de grafik edilmiştir.

Çizelge 4.12. %50 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° , 60° , 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

	rpm	30° RT ile $t_M(s)$	45° RT ile $t_M(s)$	60° RT ile $t_M(s)$	90° RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	310	17,98	11,69	8,92	7,68
Re2 = 5200	460	11,89	10,68	7	5,18
Re3 = 6900	620	5,18	5,01	4,56	4,34
Re4 = 8600	770	4,61	3,36	3,74	3,39
Re5 = 10000	890	1,1	2,2	1,6	1,14



Şekil 4.53. %50 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı, 6 kanatlı ve 60 mm çapında Rushton türbinleri için Re - karışma süresi değişimi

4.13. %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) Gliserinli Çözeltide ELDCT ile Kanat Açısı 90° olan 3, 4, 5 ve 6 Kanat Sayılı Rushton Türbinleri Kullanılarak Farklı Karıştırma Hızlarında Karışma Süresinin Belirlenmesi

Bu deneylerde, Çizelge 3.2’de verilen 2600 ml, %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) gliserinli çözeltilerle (farklı viskoziteli çözeltilerle), 3, 4, 5 ve 6 kanat sayılı Rushton türbinleri kullanılarak her bir türbin için geçiş bölgesinde, Çizelge 4.2’de verilen beş farklı Reynolds değerinde karışma süreleri hesaplanmıştır. Herbir çözelti için belirtilen şartlar altında belirlenen geçiş bölgesi karıştırma hızı değerleri Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Bu şekilde her bir türbin kanat sayısında beş farklı viskoziteli elektrolit çözeltisi kullanılarak Reynolds sayısı ile karışma süresinin nasıl değiştiği bulunmuştur. Aynı zamanda Rushton türbini çapı sabit tutularak aynı Reynolds değerinde, kanat sayısının karışma süresini nasıl etkilediği incelenmiştir. Bununla birlikte aynı Rushton türbini ile

aynı Re sayısında farklı viskozite değerlerinde karışma süresinin nasıl değiştiği incelenmiştir.

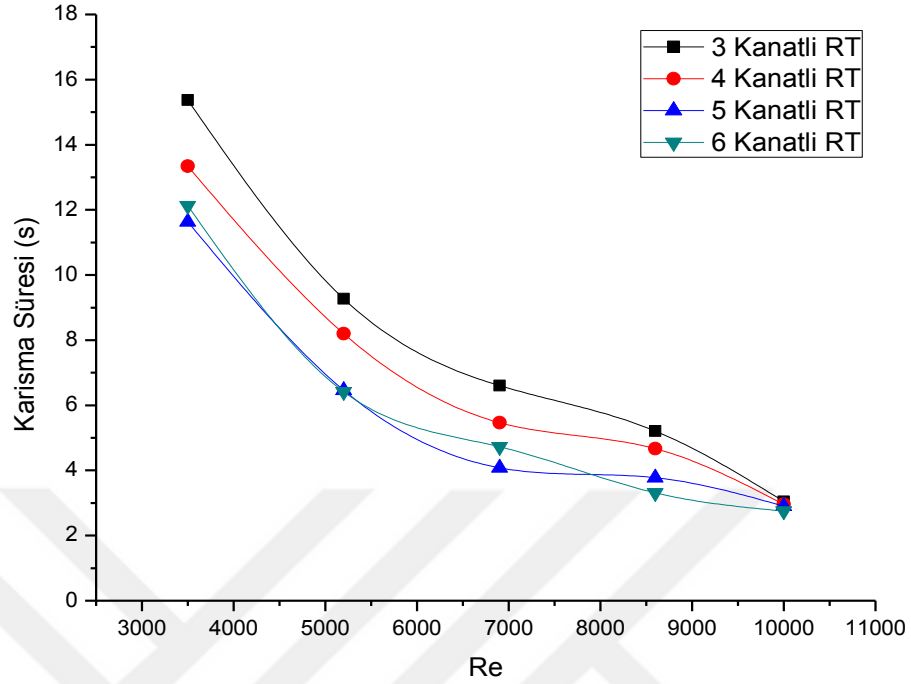
Karışma süresi ölçümlerinde Bölüm 4.8.1’de belirtildiği üzere ön işlemler yapılarak tank sisteminin o şartlar altında kararlı hale gelmesi sağlanmıştır. Karışma işlemi gerçekleşirken beşinci dakikadan sonra ELDCT ile $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ölçüm alınmaya başlanmıştır. Ölçümün 60. Saniyesinde bu çözeltiye Çizelge 3.2’de verilen 5,2 ml **konsantre** çözelti ilave edilmiştir.

Karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanat açılı Rushton türbini, tabandan 5 cm (H/3) yukarıda ve tank merkezinde yerleştirildi.

Bunun için %10 gliserinli çözelti ile 60 mm çaplı ve 90° kanat açılı 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri kullanılarak geçiş bölgesinde farklı beş Re değerinde her bir Rushton türbini için değişen Re ile karışma zamanının nasıl değiştiği Çizelge 4.13’de verilmiştir. Bununla birlikte bu deneylerle aynı Re sayılarında kanat sayısı ile karışma süresinin nasıl değiştiği belirlenmiştir ve Şekil 4.54’de grafik edilmiştir.

Çizelge 4.13. %10 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2 de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

Re	rpm	3 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	4 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	5 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	6 Kanatlı RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	70	15,4	13,3	11,6	12,1
Re2 = 5200	110	9,3	8,2	6,5	6,4
Re3 = 6900	150	6,6	5,5	4,1	4,7
Re4 = 8600	180	5,2	4,7	3,8	3,3
Re5 = 10000	210	3,1	3,0	2,9	2,8

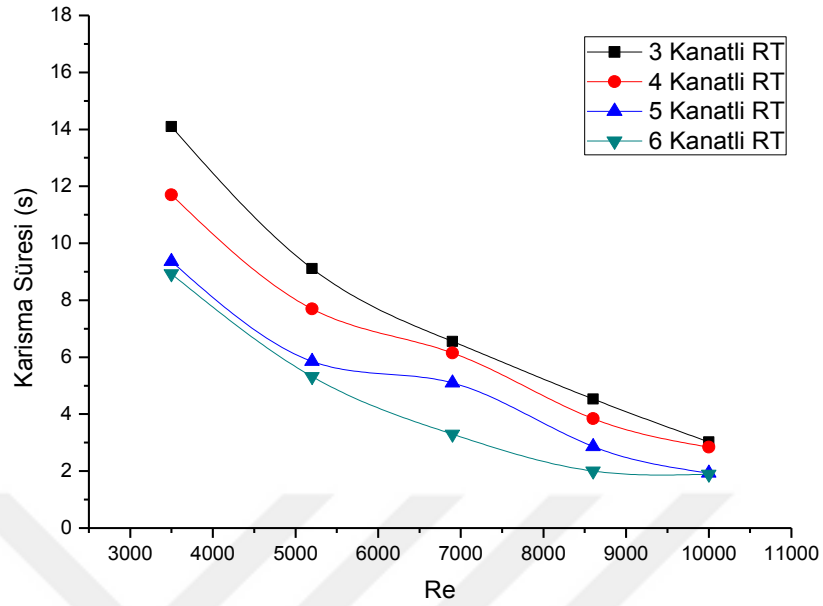


Şekil 4.54. %10 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi

%20 Giserinli çözelti kullanılarak 60 mm çaplı ve 90° kanat açılı 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri kullanılarak geçiş bölgesinde farklı beş Re değerinde ölçülen karışma süresi değerleri Çizelge 4.14’de verilmiş ve Şekil 4.55’de grafik edilmiştir.

Çizelge 4.14. %20 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

Re	rpm	3 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	4 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	5 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	6 Kanatlı RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	100	14,09	11,70	9,37	8,93
Re2 = 5200	150	9,11	7,70	5,86	5,32
Re3 = 6900	190	6,55	6,15	5,10	3,30
Re4 = 8600	240	4,53	3,84	2,86	2,00
Re5 = 10000	280	3,02	2,84	1,93	1,89

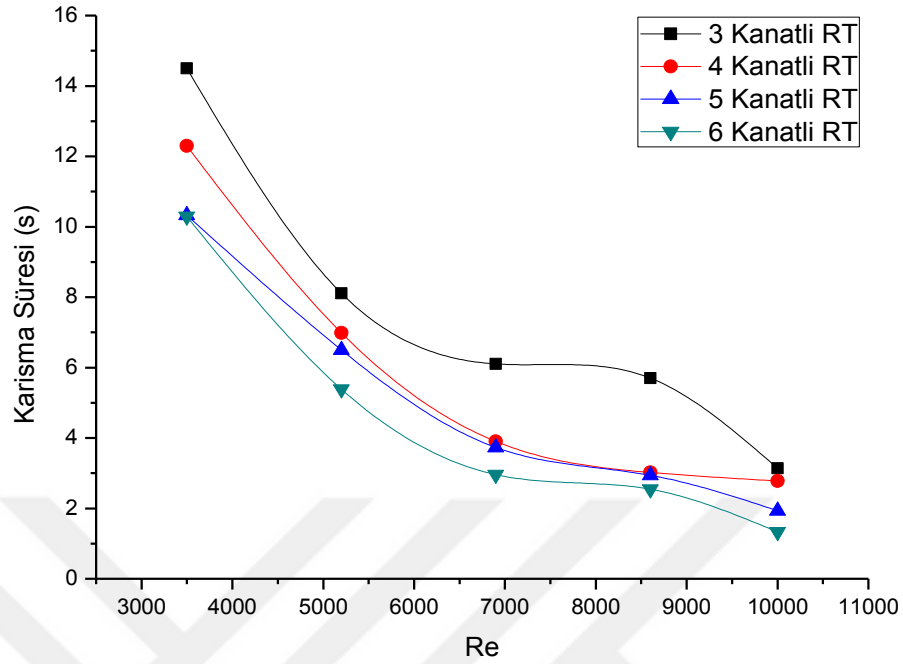


Şekil 4.55. %20 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi

%30 Giserinli çözelti kullanılarak 60 mm çaplı ve 90° kanat açılı 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri kullanılarak geçiş bölgesinde farklı beş Re değerinde ölçülen karışma süresi değerleri Çizelge 4.15’de verilmiş ve Şekil 4.56’da grafik edilmiştir.

Çizelge 4.15. %30 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

Re	rpm	3 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	4 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	5 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	6 Kanatlı RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	140	14,09	11,70	9,37	8,93
Re2 = 5200	210	9,11	7,70	5,86	5,32
Re3 = 6900	270	6,55	6,15	5,10	3,30
Re4 = 8600	340	4,53	3,84	2,86	2,00
Re5 = 10000	400	3,02	2,84	1,93	1,89

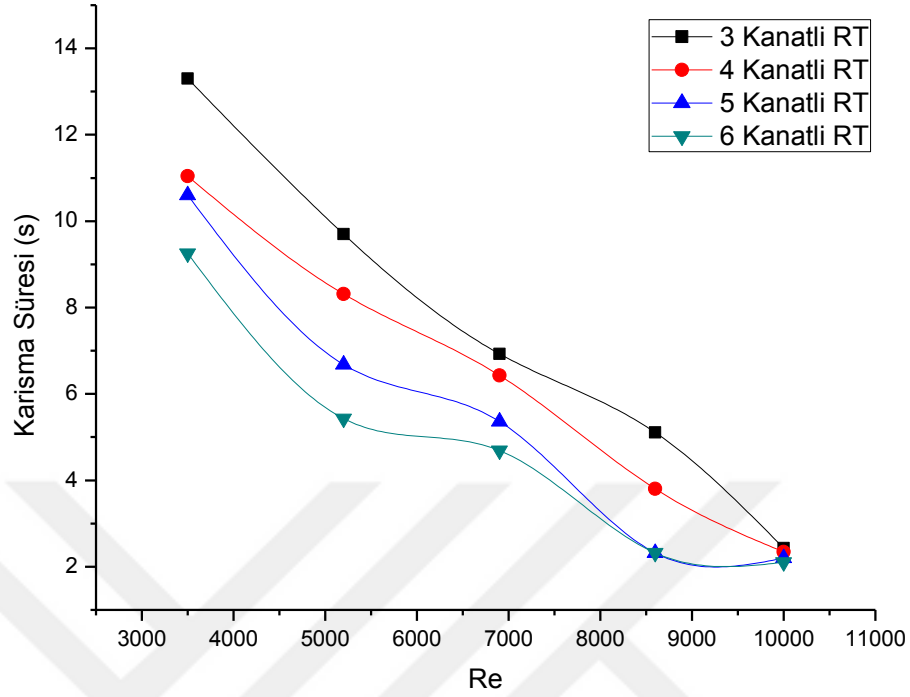


Şekil 4.56. %30 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi

%40 Gliserinli çözelti kullanılarak 60 mm çaplı ve 90° kanat açılı 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri kullanılarak geçiş bölgesinde farklı beş Re değerinde ölçülen karışma süresi değerleri Çizelge 4.16’da verilmiş ve Şekil 4.57’de grafik edilmiştir.

Çizelge 4.16. %40 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

Re	rpm	3 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	4 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	5 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	6 Kanatlı RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	200	13,3	11,04	10,6	9,25
Re2 = 5200	290	9,7	8,31	6,68	5,43
Re3 = 6900	390	6,93	6,43	5,36	4,69
Re4 = 8600	480	5,11	3,8	2,32	2,32
Re5 = 10000	560	2,43	2,34	2,2	2,1

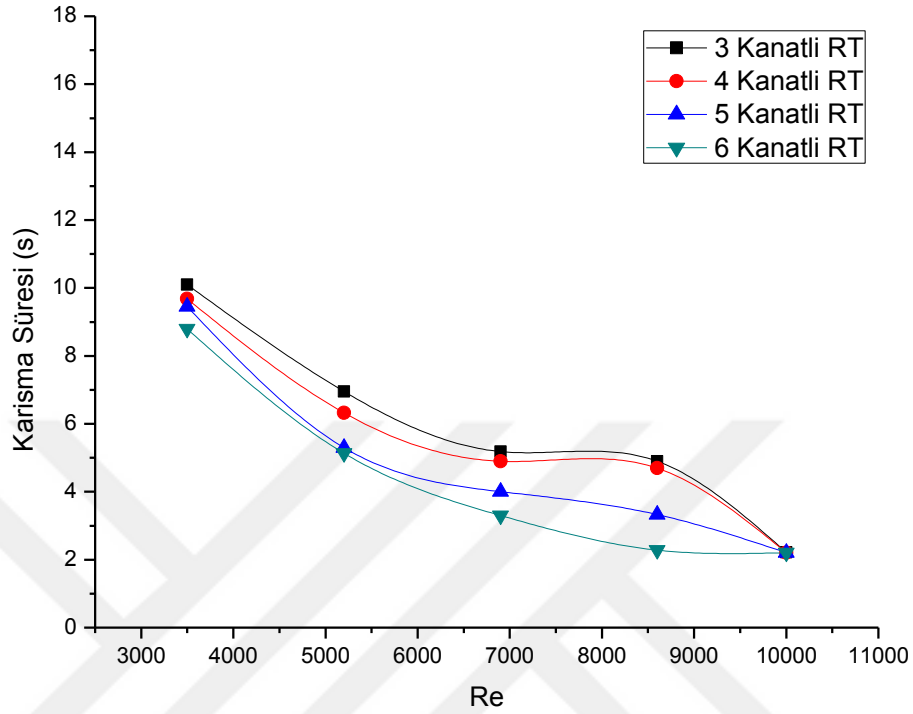


Şekil 4.57. %40 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değişimi

%50 Gliserinli çözelti kullanılarak 60 mm çaplı ve 90° kanat açılı 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri kullanılarak geçiş bölgesinde farklı beş Re değerinde ölçülen karışma süresi değerleri Çizelge 4.17’de verilmiş ve Şekil 4.58’de grafik edilmiştir.

Çizelge 4.17. %50 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı, 60 mm çapında 3 kanatlı, 4 kanatlı, 5 kanatlı ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re–karışma süresi değerleri

Re	rpm	3 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	4 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	5 Kanatlı RT ile $t_M(s)$	6 Kanatlı RT ile $t_M(s)$
Re1 = 3500	310	10,1	9,68	9,45	8,8
Re2 = 5200	460	6,95	6,32	5,3	5,13
Re3 = 6900	620	5,18	4,9	4	3,3
Re4 = 8600	770	4,9	4,7	3,33	2,28
Re5 = 10000	890	2,22	2,21	2,21	2,21



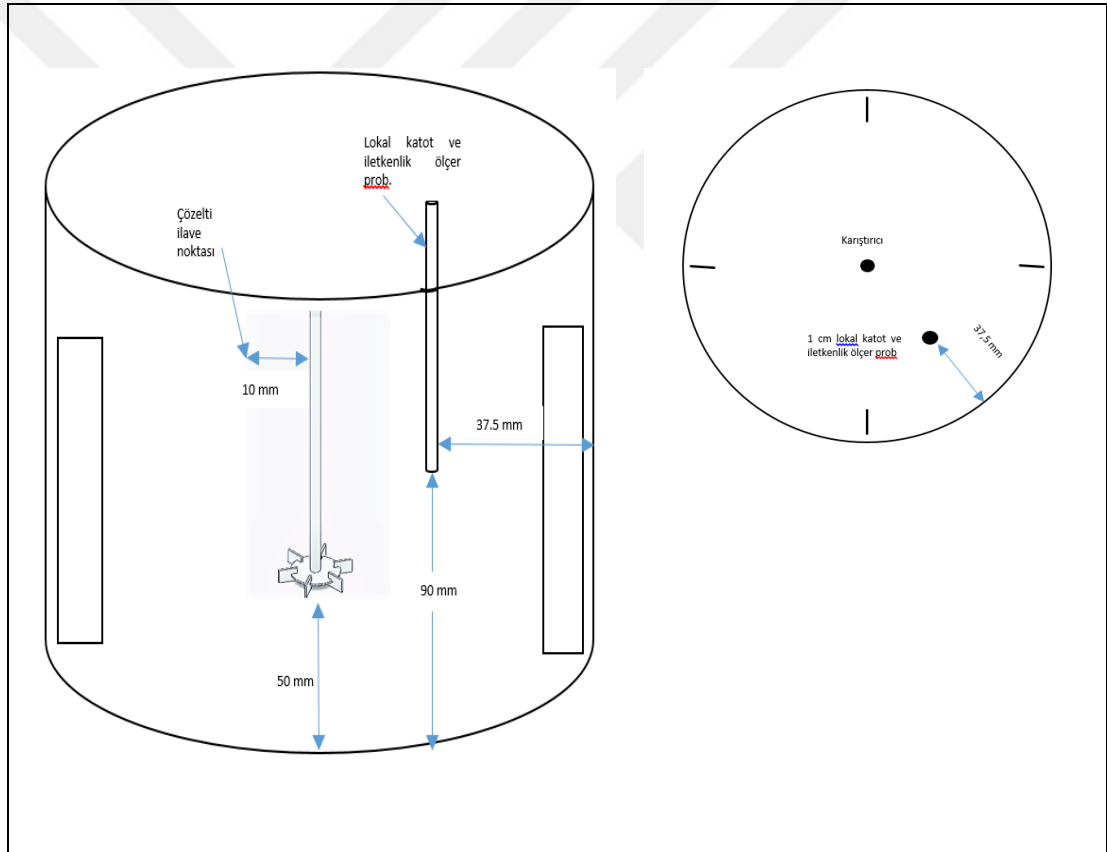
Şekil 4.58. %50 gliserinli çözelti (Çizelge 3.2’de verilen), $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılarak ELDCT ile karıştırıcı olarak 90° kanat açılı ve 60 mm çapında, 3, 4, 5 ve 6 kanatlı Rushton türbinleri için Re –karışma süresi değişimi

4.14. Farklı Hacim ve Konsantrasyonlarda Gliserinli Çözeltilerin Karıştırılması İle Durumunda Karışma Süresinin Eş Zamanlı Olarak ELDCT ve İletkenlik Ölçerle Belirlenmesi

Tank içerisindeki çözelti hacminin değiştirilmediği ya da ihmal edilebilir seviyede değiştirildiği deneylerin yanısıra endüstride, farklı viskozite değerlerinde çözeltilerin farklı hacimlerde karıştırılması suretiyle yürüyen karışma prosesleri sıklıkla görülmektedir. Bunun için, bu tip proseslerde ELDCT kullanılarak, karışma süresinin ölçülebilirliğini gözlemlemek amacıyla bu bölümdeki deneyler tasarlanmıştır.

Bu deneylerde ELDCT ile Şekil 3.4’de verilen 1 cm çaplı lokal katot elektrot sistemi kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Şekil 3.3’de verilen iletkenlik ölçer probda aynı konumda yerleştirilerek ölçümler eş zamanlı olarak alınmıştır. Tank içerisinde iletkenlik

ölçer ve lokal katotun yerleştirilmesi Şekil 4.59’da verilmiştir. Bunun nedeni bu tip sistemlerde daha önce kullanılan iletkenlik ölçüm tekniği ile ELDCT’den elde edilen verilerin benzerliğini karşılaştırmaktır. İletkenlik ölçüm tekniğinde ve 1 cm lokal katot elektrot sisteminin uygulandığı ELDCT’de tank içerisinde akış hidrodinamiğini etkileyen prob ve lokal katot bulunmaktadır. İletkenlik ölçüm tekniği ile lokal ölçüm yapıldığından ELDCT’nin doğruluğunu kıyaslamak için lokal ölçüm alınan lokal katot elektrot sistemi kullanılmıştır. Bu sayede bu tip karışma proseslerinde yöntemin uygulanabilirliği test edilmiştir.



Şekil 4.59. Farklı hacim ve konsantrasyonlarda gliserinli çözeltilerin karıştırılması için 1 cm çaplı lokal katot ve iletkenlik ölçer prob. tank içerisinde konumlandırılması

Şekil 4.59’da görüleceği gibi iletkenlik ölçer prob. ve 1 cm çaplı lokal katot tank cidarından radyal yönde 37,5 mm içeride, tank tabanından 90 mm yukarıda olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Karışma sisteminde 6 kanatlı 90° kanat açılı ve 60 mm çaplı Rushton türbini kullanılmıştır. Tank tabanından 50 mm yüksek ve tank merkezinde konsantrik olarak yerleştirilmiştir. Tank içerisinde dört adet akış saptırıcı panel eşit uzaklıkta yerleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda çözelti yüksekliği ile tank çapı eşit olacak şekilde çözelti kullanılmıştır. Karıştırma tankı silindirik ve tank çapı 150 mm olduğu için çözelti yüksekliği de 150 mm olarak ayarlanmıştır. Bu çözelti yüksekliğine ulaşmak için 2600 ml elektrolit çözeltisi kullanılmıştır. Toplam çözelti hacmi 2600 ml alındığı için ilave edilen çözelti miktarları, toplam çözelti miktarının %10 (260 ml), %20 (520 ml) ve %30 (760 ml) u olacak şekilde ayarlanmıştır. Toplamda 2600 ml olacak şekilde hacimsel oran belirlenmiştir.

Öncelikle tank içerisine Çizelge 3.2’de konsantrasyonları verilen çözeltiler kullanılmıştır. Aynı ferri konsantrasyonunda olan deneyler için ilave edilen çözeltinin ferri konsantrasyonu kaptaki çözeltinin ferri konsantrasyonunun beş katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu şekilde tank konfigürasyonuna ve çözelti özelliklerine bağlı olarak ikinci elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım değeri elde edilmiştir. Bu iki sınırlayıcı akım değeri arasında geçen süre hesaplanarak karışma süresi belirlendi.

Herbir deneyde ilave edilen ve tank içerisindeki çözelti sıcaklığı 20°C ’de sabit tutulmuştur. Karıştırma hızı ise 100 rpm dir.

Çözeltiler büyük küresel bir vana açılarak birden ilave edilmiştir. Bütün deneylerde çözelti aynı yöntem kullanılarak ilave edilmiştir. Bu şekilde çözelti ilavesinden kaynaklanan deneysel hata azaltılmaya çalışılmıştır. Ancak ilave edilen çözelti hacmi ve viskozite değerleri farklı olduğu için anlık ilave süresinden kaynaklanan hata olacaktır.

Deney 1’de yukarıda belirtilen tank ve karıştırıcı konfigürasyonunda, tank içerisine %50 (w/w) gliserinli 2340 ml elektrolit çözeltisi konularak 20°C ’de sabit sıcaklık şartları sağlandıktan sonra tank muhtevası 5 dakika boyunca 100 rpm’de sürekli

karıştırılmaktadır. Karıştırma işleminin beşinci dakikasından sonra karıştırma devam ederken Şekil 4.59’da verilen konumda yerleştirilen iletkenlik ölçer prob ve lokal katot ile ölçüm alınmaya başlanmıştır. Ölçüm alınırken 60. saniyede tank içerisine 20°C sabit sıcaklıkta, toplam çözelti hacminin %10 u olacak şekilde 260 ml %50 (w/w) gliserinli çözelti ilave edilmiştir. Karışma şartlarında sınırlayıcı difüzyon akımdaki değişim ve çözelti iletkenliğindeki değişim eş zamanlı ölçülerek karışma süresi belirlenmiştir.

Yukarıda Deney 1’in nasıl yapıldığı ve deney şartları anlatılmaktadır. Diğer 27 Deney içinde sistem şartları aynıdır. İlave edilen ve tank içerisindeki çözelti özellikleri ve miktarları Çizelge 4.18’de verilmektedir.

Çizelge 4.18. Farklı hacim ve konsantrasyonlarda gliserinli çözeltilerin karıştırılması için deney planı

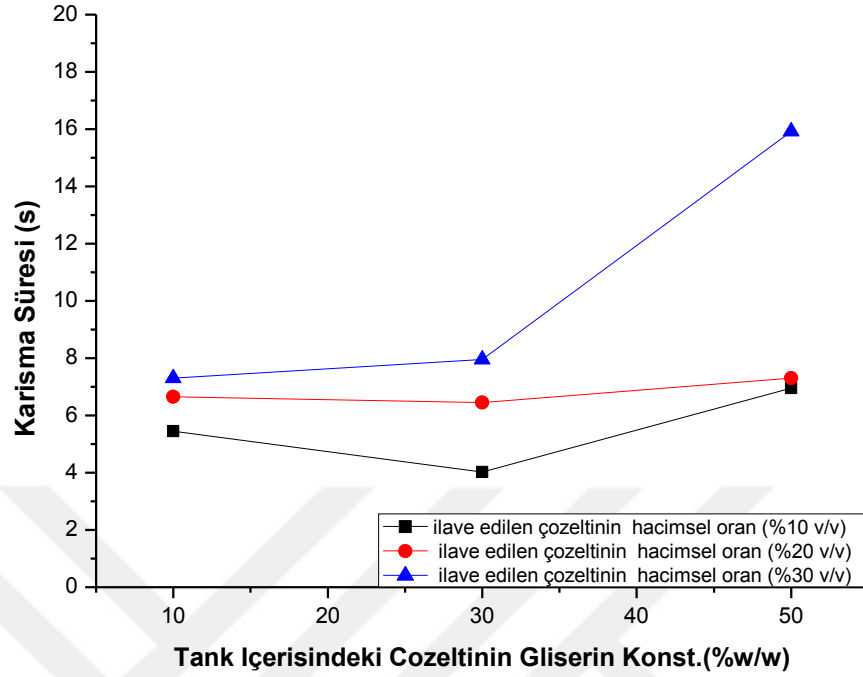
	Kaptaki Çözeltilerin gliserin Yüzdesi % (w/w)	İlave edilen Çözeltilerin gliserin Yüzdesi % (w/w)	İlave edilen çözeltilerin hacimsel oranı % (v/v)	İlave edilen çözelti hacmi (ml)	Kaptaki çözelti % hacim (ml)	Toplam Çözelti hacmi (ml)
Deney 1	50	50	%10	260 (%50 w/w)	2340 (%50 w/w)	2600
Deney 2	50	50	%20	520 (%50 w/w)	2080 (%50 w/w)	2600
Deney 3	50	50	%30	780 (%50 w/w)	1820 (%50 w/w)	2600
Deney 4	50	30	%10	260 (%30 w/w)	2340 (%50 w/w)	2600
Deney 5	50	30	%20	520 (%30 w/w)	2080 (%50 w/w)	2600
Deney 6	50	30	%30	780 (%30 w/w)	1820 (%50 w/w)	2600
Deney 7	50	10	%10	260 (%10 w/w)	2340 (%50 w/w)	2600
Deney 8	50	10	%20	520 (%10 w/w)	2080 (%50 w/w)	2600
Deney 9	50	10	%30	780 (%10 w/w)	1820 (%50 w/w)	2600
Deney 10	30	50	%10	260 (%50 w/w)	2340 (%30 w/w)	2600
Deney 11	30	50	%20	520 (%50 w/w)	2080 (%30 w/w)	2600
Deney 12	30	50	%30	780 (%50 w/w)	1820 (%30 w/w)	2600
Deney 13	30	30	%10	260 (%30 w/w)	2340 (%30 w/w)	2600
Deney 14	30	30	%20	520 (%30 w/w)	2080 (%30 w/w)	2600
Deney 15	30	30	%30	780 (%30 w/w)	1820 (%30 w/w)	2600
Deney 16	30	10	%10	260 (%10 w/w)	2340 (%30 w/w)	2600
Deney 17	30	10	%20	520 (%10 w/w)	2080 (%30 w/w)	2600
Deney 18	30	10	%30	780 (%10 w/w)	1820 (%30 w/w)	2600
Deney 19	10	50	%10	260 (%50 w/w)	2340 (%10 w/w)	2600
Deney 20	10	50	%20	520 (%50 w/w)	2080 (%10 w/w)	2600
Deney 21	10	50	%30	780 (%50 w/w)	1820 (%10 w/w)	2600
Deney 22	10	30	%10	260 (%30 w/w)	2340 (%10 w/w)	2600
Deney 23	10	30	%20	520 (%30 w/w)	2080 (%10 w/w)	2600
Deney 24	10	30	%30	780 (%30 w/w)	1820 (%10 w/w)	2600
Deney 25	10	10	%10	260 (%10 w/w)	2340 (%10 w/w)	2600
Deney 26	10	10	%20	520 (%10 w/w)	2080 (%10 w/w)	2600
Deney 27	10	10	%30	780 (%10 w/w)	1820 (%10 w/w)	2600

Çizelge 4.18’de verilen deneysel planlama için deneysel sonuçlar Çizelge 4.19’da verilmektedir. Deneyler iki kere yapılmıştır.

Çizelge 4.19. Farklı hacim ve konsantrasyonlarda gliserinli çözeltilerin karıştırılması ile deneysel olarak elde edilen karışma süresi değerleri.

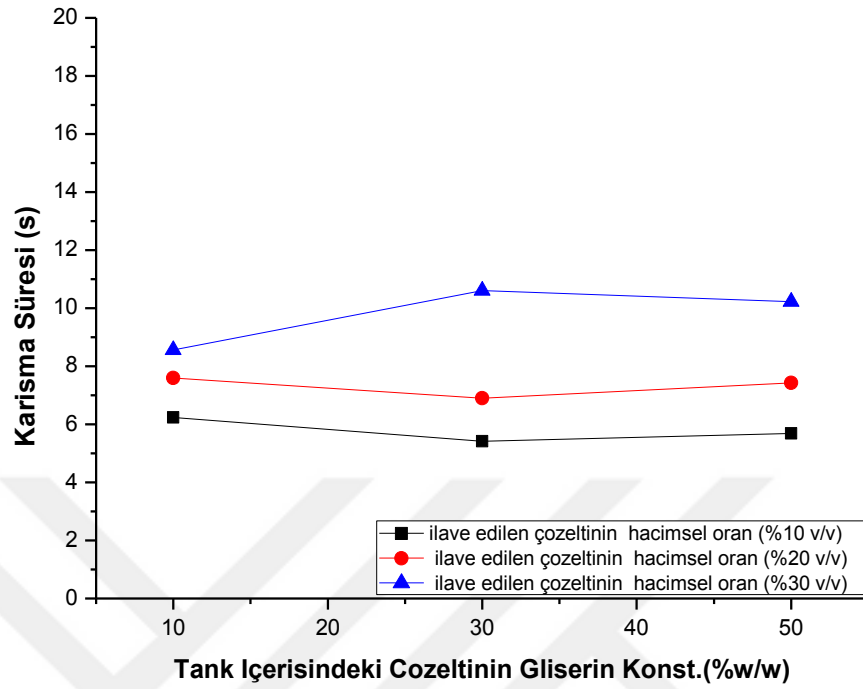
	1 cm lokal katot kullanıldığı ELDCT ile Karışma süresi (s)	1 cm lokal katot kullanıldığı ELDCT ile Karışma süresi (s)	İletkenlik tekniği ile Karışma süresi (s)	İletkenlik Tekniği ile Karışma süresi (s)	1 cm lokal katot kullanıldığı ELDCT ile Karışma süresi (s)	İletkenlik tekniği ile Karışma süresi (s)
	1. deney	2. deney	1. deney	2. deney	Ortalama	Ortalama
Deney 1	13,3	10,80	12,81	11,60	12,05	12,21
Deney 2	15,6	15,30	14,93	14,93	15,45	14,93
Deney 3	16,8	17,60	16,90	16,68	17,2	16,79
Deney 4	6,68	6,81	5,81	6,81	6,75	6,31
Deney 5	7,80	7,80	7,68	7,93	7,80	7,81
Deney 6	14,10	14,10	15,50	15,30	14,10	15,4
Deney 7	6,12	5,68	6,20	5,81	5,90	6,01
Deney 8	7,43	7,93	8,31	8,68	7,68	8,50
Deney 9	8,20	7,80	9,20	8,70	8,00	8,95
Deney 10	5,94	5,43	6,18	7,55	5,69	6,87
Deney 11	7,30	7,55	8,60	8,20	7,43	8,40
Deney 12	9,90	10,56	12,3	10,55	10,23	11,43
Deney 13	5,40	5,43	6,20	5,40	5,42	5,80
Deney 14	7,18	6,61	7,43	10,16	6,90	8,80
Deney 15	11,67	9,55	11,31	10,43	10,61	10,87
Deney 16	5,68	6,80	6,40	6,80	6,24	6,60
Deney 17	7,50	7,70	7,18	7,30	7,60	7,24
Deney 18	8,43	8,70	9,10	8,70	8,57	8,90
Deney 19	7,20	6,70	7,30	6,20	6,95	6,75
Deney 20	7,30	7,30	8,20	9,43	7,30	8,82
Deney 21	15,92	15,92	17,30	18,50	15,92	17,9
Deney 22	4,10	3,95	4,93	5,40	4,03	5,17
Deney 23	6,81	6,10	6,90	6,80	6,46	6,85
Deney 24	7,70	8,20	7,40	8,40	7,95	7,90
Deney 25	5,40	5,50	4,90	5,10	5,45	5,00
Deney 26	6,80	6,50	7,20	8,40	6,65	7,80
Deney 27	7,20	7,40	7,50	8,90	7,30	8,20

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, ilave edilen çözelti konsantrasyonunun (%10 (w/w)) sabit olduğu durumda, ilave edilen çözelti hacmi %10 (260 ml), %20 (520 ml) ve %30 (780ml) (v/v) iken kaptaki çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresinin değişimi incelenmiş ve Şekil 4.60’da verilmiştir.



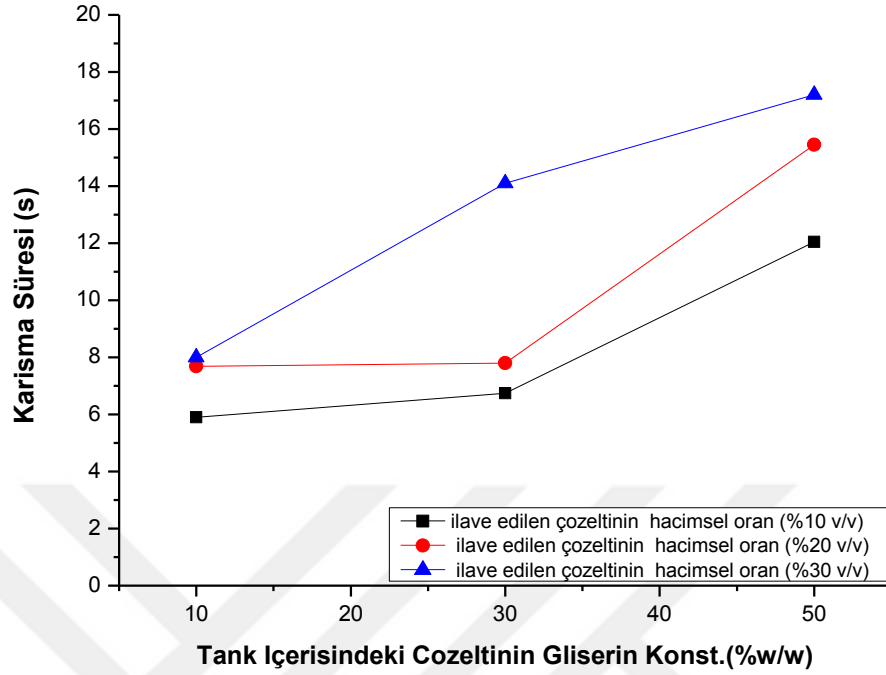
Şekil 4.60. İlave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w) olduğu durumda ilave edilen çözelti hacmi 260 ml, 520 ml ve 780 ml için tank içindeki gliserin konsantrasyonuna göre karışma süresi değişimi

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, ilave edilen çözelti konsantrasyonunun (%30 (w/w)) sabit olduğu durumda, ilave edilen çözelti hacmi %10 (260 ml), %20 (520 ml) ve %30 (780ml) (v/v) iken kaptaki çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresinin değişimi incelenmiş ve Şekil 4.61’de verilmiştir.



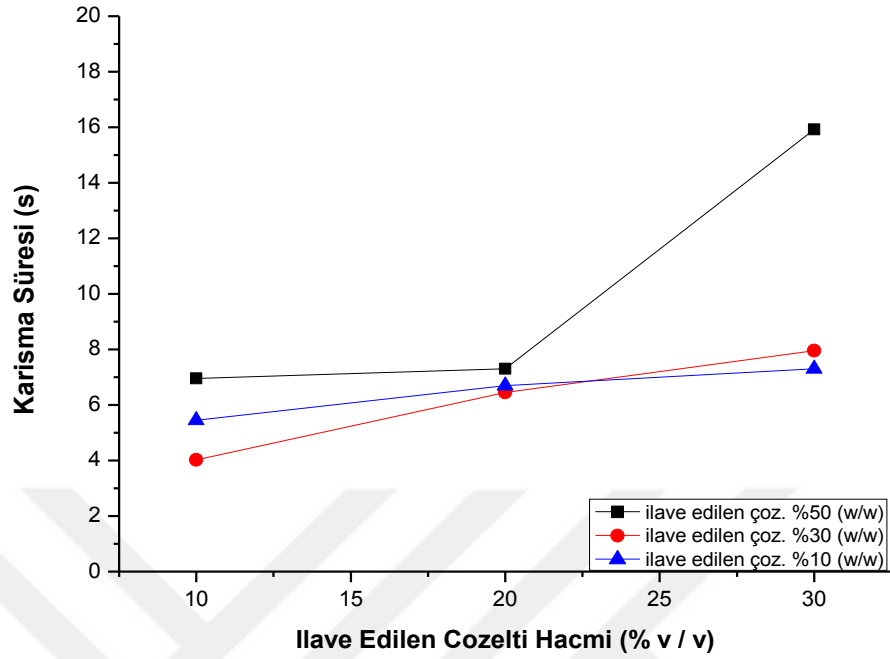
Şekil 4.61. İlave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu %30 (w/w) olduğu durumda ilave edilen çözelti hacmi 260 ml, 520 ml ve 780 ml için tank içindeki gliserin konsantrasyonuna göre karışma süresi değişimi

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, ilave edilen çözelti konsantrasyonunun (%50 (w/w)) sabit olduğu durumda, ilave edilen çözelti hacmi %10 (260 ml), %20 (520 ml) ve %30 (780ml) (v/v) iken kaptaki çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresinin değişimi incelenmiş ve Şekil 4.62’de verilmiştir.



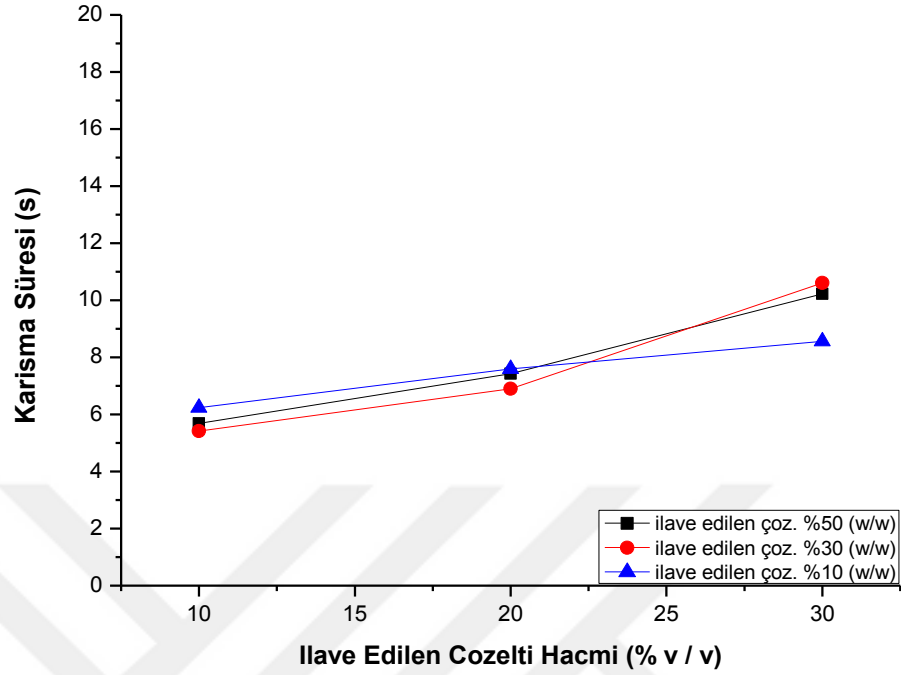
Şekil 4.62. İlave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu %50 (w/w) olduğu durumda ilave edilen çözelti hacmi 260 ml, 520 ml ve 780 ml için tank içindeki gliserin konsantrasyonuna göre karışma süresi değişimi

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonunun (%10 (w/w)) sabit olduğu durumda, ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) iken ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresinin değişimi incelenmiş ve Şekil 4.63’de verilmiştir.



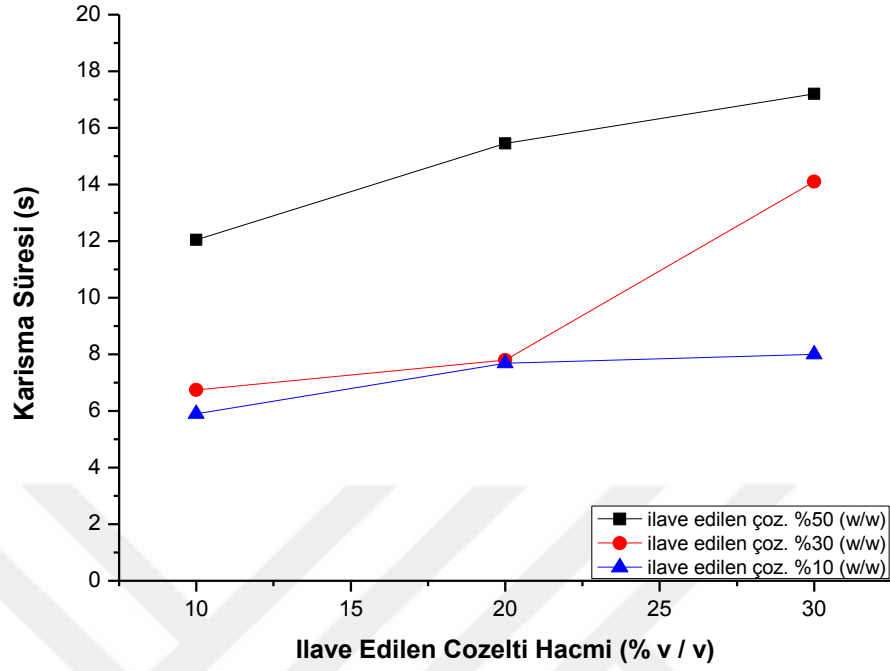
Şekil 4.63. Tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonu (%10 (w/w)) sabit olduğu durumda ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresi değişimi.

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonunun (%30 (w/w)) sabit olduğu durumda, ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) iken ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresi değişimi incelenmiş ve Şekil 4.64’de verilmiştir.



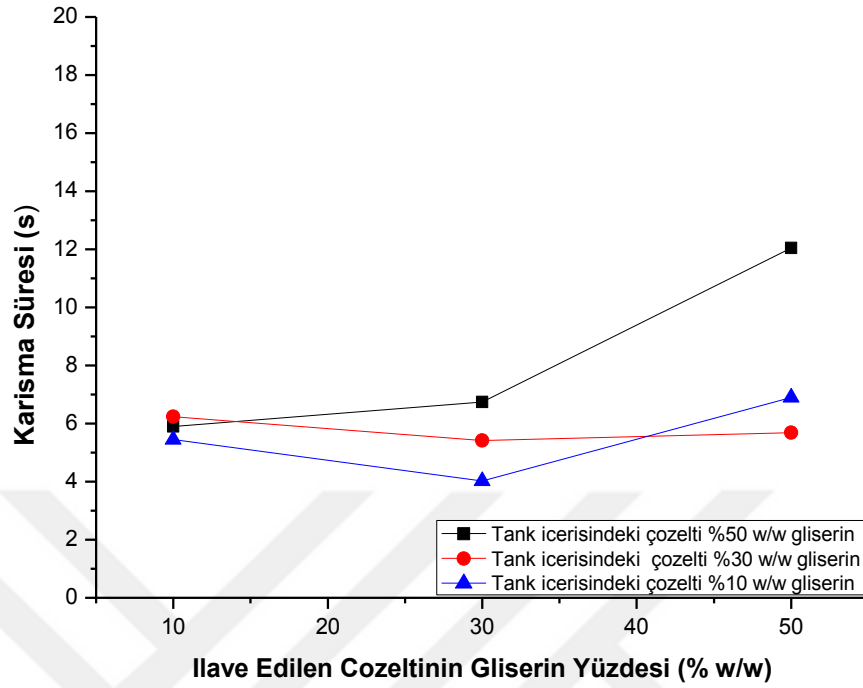
Şekil 4.64. Tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonu (%30 (w/w)) sabit olduğu durumda ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresi değişimi.

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonunun (%50 (w/w)) sabit olduğu durumda, ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) iken ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresi değişimi incelenmiş ve Şekil 4.65’de verilmiştir.



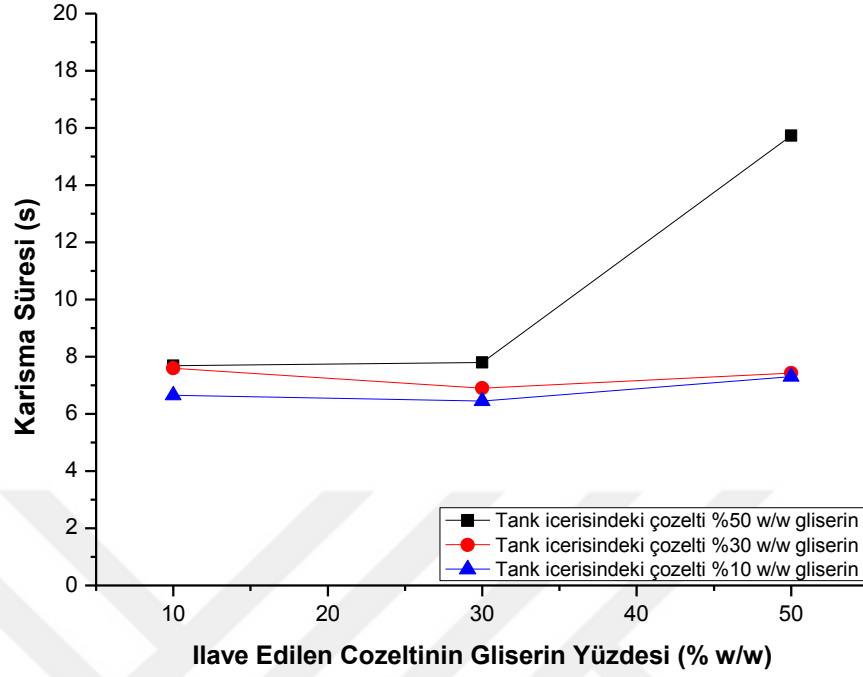
Şekil 4.65. Tank içerisinde bulunan çözelti konsantrasyonu (%50 (w/w)) sabit olduğu durumda ilave edilen çözelti konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözelti hacmi (%10, %20 ve %30 (v/v)) ile karışma süresi değişimi.

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, tank içerisine ilave edilen çözelti hacminin (%10 (v/v)) sabit olduğu durumda, tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) iken ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi incelenmiş ve Şekil 4.66’da verilmiştir.



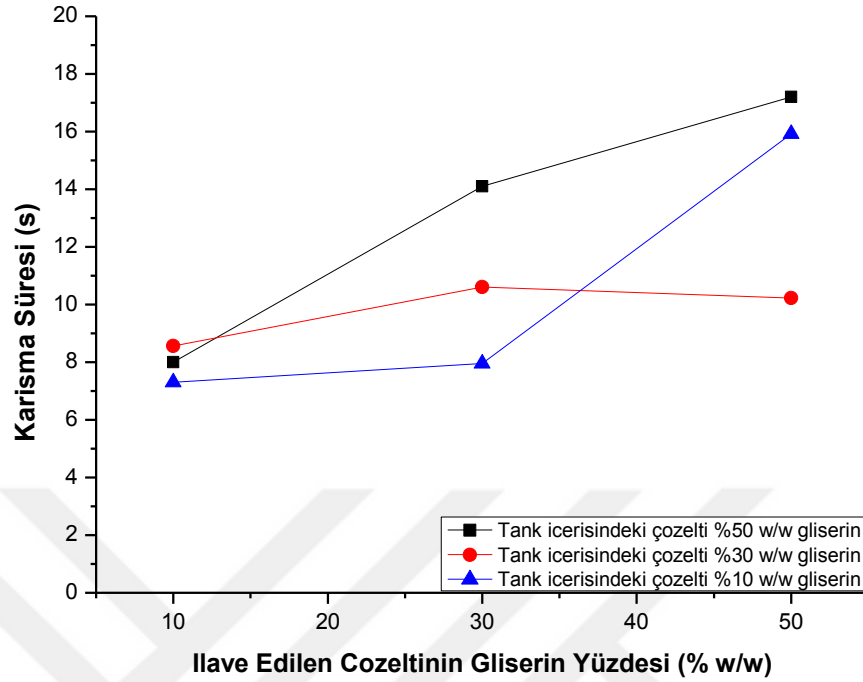
Şekil 4.66. Tank içerisine ilave edilen çözelti hacmi 260 ml (%10 (v/v)) sabit olduğu durumda tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi.

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, tank içerisine ilave edilen çözelti hacminin (%20 (v/v)) sabit olduğu durumda, tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) iken ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi incelenmiş ve Şekil 4.67’de verilmiştir.



Şekil 4.67. Tank içerisine ilave edilen çözelti hacmi 520 ml (%20 (v/v)) sabit olduğu durumda tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi

Çizelge 4.19’da verilen değerler için, tank içerisine ilave edilen çözelti hacminin (%30 (v/v)) sabit olduğu durumda, tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) iken ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi incelenmiş ve Şekil 4.68’de verilmiştir.



Şekil 4.68. Tank içerisine ilave edilen çözelti hacmi 780 ml (%30 (v/v)) sabit olduğu durumda tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu %10 (w/w), %30 (w/w) ve %50 (w/w) için ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu ile karışma süresi değişimi

Çizelge 4.19 incelendiğinde, 27 deney için eş zamanlı olarak hem iletkenlik hem de ELDCT ile ölçülen karışma süresi değerleri arasındaki fark %5,3 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.60, 4.61 ve 4.62’ de görüldüğü gibi ilave edilen çözeltinin ve tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu sabit olduğu durumda, ilave edilen çözelti hacminin artması ile karışma süresinin arttığı gözlenmiştir. Aynı şekilde ilave edilen çözeltinin hacmi ve gliserin konsantrasyonunun sabit olduğu durumda, tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonunun artması ile karışma süresinin arttığı gözlenmiştir.

Şekil 4.63, 4.64 ve 4.65’de görüldüğü gibi, ilave edilen çözelti hacmi ve tank içerisinde bulunan çözeltinin gliserin konsantrasyonu sabit olduğu durumda ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonunun artması ile karışma süresinin arttığı gözlenmiştir. Benzer şekilde tank içerisindeki ve ilave edilen çözeltinin gliserin konsantrasyonu sabit

olduğunda, ilave edilen çözelti hacminin artması ile karışma süresinin arttığı gözlenmiştir.

Şekil 4.66, 4.67 ve 4.68’de görüldüğü gibi, ilave edilen çözelti hacmi ve tank içerisindeki çözeltinin gliserin konsantrasyonu sabit olduğu durumda ilave edilen çözeltinin gliserin yüzdesinin artması ile karışma süresinin arttığı gözlenmiştir. Aynı şekilde ilave edilen çözeltinin hacmi ve gliserin yüzdesi sabit olduğu durumda tank içerisindeki çözeltinin gliserin yüzdesinin artması ile karışma süresinin arttığı gözlenmiştir.

4.15. Deneysel Verilerin İstatiksel Olarak Değerlendirilmesi

Bölüm 4.10 ve 4.12’de farklı viskozite değerlerindeki çözeltilerle yapılan deneylerde 6 kanatlı, 60 mm çaplı, farklı kanat açısına sahip Rushton türbinleri için geçiş bölgesinde beş farklı Reynolds sayısında karışma süreleri belirlenmiştir. Öte yandan Bölüm 4.11 ve 4.13’de farklı viskozite değerlerindeki çözeltilerle yapılan deneylerde 60 mm çaplı, 90° kanat açılı, farklı kanat sayısına sahip Rushton türbinleri için geçiş bölgesinde beş farklı Reynolds sayısında karışma süreleri belirlenmiştir. Bu deneysel veriler kullanılarak Statistica programı yardımıyla %95 güven aralığında karışma süresi için Eşitlik (14)’de verilen korelasyon türetilmiştir. $R=0,941$ olarak bulunmuştur.

$$t_M = 7\,363\,750\,Re^{-1,3} * \theta^{-0,42} * n^{-0,59} \quad (14)$$

Burada;

- t_M : Karıştırma süresi (s)
- θ : Kanat açısı (°)
- n : Kanat sayısı
- Re : Reynolds sayısı

Birbiri ile karışabilir sıvılar için geçiş bölgesinde karışma süresi korelasyonu Eşitlik (15)’de verilmektedir (Paul *et al.* 2004). Paul *et al.* tarafından oluşturulan bu eşitlik

karışma süresinin; güç sayısı, Reynolds sayısı, tank çapı ve karıştırıcı çapına bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermektedir.

$$t_M = \frac{183^2}{(Po)^{2/3} \times Re} \left(\frac{D}{D_a} \right)^2 \quad (15)$$

Burada;

D : Tank çapı (m)

D_a : Karıştırıcı çapı (m)

Po : Güç sayısı (N_p)

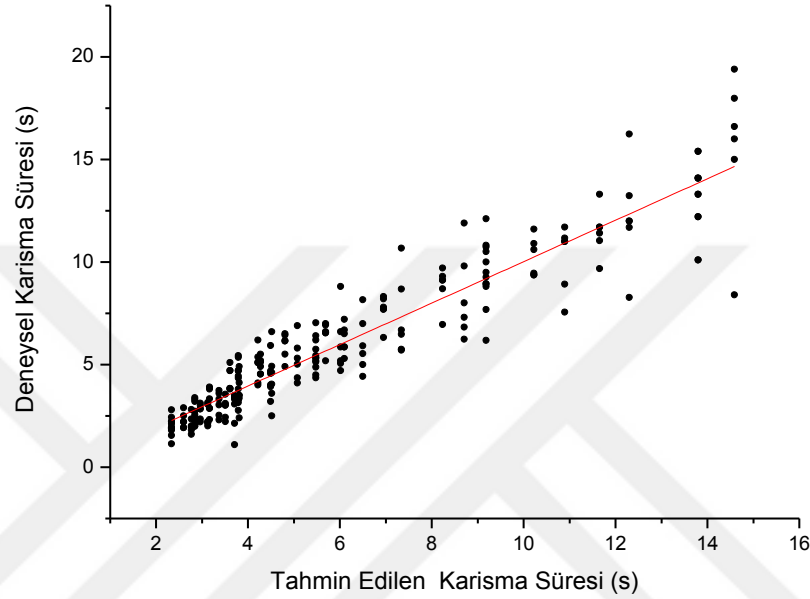
Eşitlik (15)'de, korelasyon katsayısı 33 489 (183^2), Eşitlik (14)'de ise 7 363 750 olarak bulunmuştur. Her iki eşitlik için verilen korelasyon katsayısının farklı oluşu hem deney şartları, hem de eşitliklerde yer alan parametrelerin farklı olması düşünüldüğünde beklenen bir sonuçtur. Eşitlik (15)'de verilen korelasyonda güç sayısı, tank çapı ve karıştırıcının çapı yer alırken, Eşitlik (14)'de güç sayısı, tank çapı parametreleri kullanılmamış, karıştırıcının çapı (D_a) yerine, hem karıştırıcı kanat sayısı hem de kanat açısı kullanılmıştır.

Korelasyonların Re sayısına bağlılığı, Eşitlik (15)'de Re^{-1} , Eşitlik (14)'de ise $Re^{-1,3}$ olarak bulunmuştur. Her iki eşitlikte Reynolds sayısının karışma süresini azaltıcı etkisi görülmektedir. Aynı zamanda Reynolds sayılarının üssel olarak katsayıları da birbirine yakındır.

Eşitlik (15)'de yer alan karıştırıcı çapına (D_a^{-2}) benzer şekilde Eşitlik (14)'deki karıştırıcı kanat sayısı ($n^{-0,59}$) ve kanat açısı ($\theta^{-0,42}$) da karışma süresini azaltıcı yönde etki etmektedir.

Eşitlik (14) ile ortaya koyulan korelasyon kullanılarak tahmin edilen karışma süresi değerleri ve deneysel karışma süreleri Şekil 4.69'da verilmektedir. Şekilden de

anlaşılacağı gibi deneysel datalar tahmin edilen karışma süreleriyle %88,5 oranında doğrulanmaktadır.



Şekil 4.69. Tahmini karışma sürelerine karşı deneysel karışma süreleri

Kanat sayısı ve kanat açısının karışma süresine etkisinin incelendiği Bölüm 4.15’de son olarak elde edilen Eşitlik (14), Eşitlik (11) ile birleştirilmiştir. Eşitlik (11)’de verilen karışma süresi t_M yerine Eşitlik (14) kullanılırsa, boyutsuz karışma faktörü f_t ; karışma hızı, tank çapı, karıştırıcı çapı, çözelti yüksekliği, kinematik viskozite, Rushton türbini kanat sayısı ve kanat açısına bağlı olarak Eşitlik (16)’daki gibi elde edilir.

$$f_t = 7\,363\,750 \frac{N^{1/3} D_a^{7/6} g^{1/6} \nu^{1/3}}{H^{1/2} D_t^{3/2} \theta^{0,42} n^{0,59}} \quad (16)$$

Burada;

ν : Kinematik viskozite (m^2/s)

Böylece geçiş bölgesinde Rushton türbini kullanıldığında, Eşitlik 16’da formüle edilen boyutsuz karışma faktörü (f_t), karışma dinamiğini etkileyen parametrelere ilaveten karıştırıcı kanat çapı ve kanat açısı etkileri tek eşitlikte birleştirilmiş olacaktır.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Elektrolit Konsantrasyonunun Belirlenmesi

ELDCT ile ölçüm yapılabilmesi için öncelikle kullanılan elektrolit çözeltisinin konsantrasyonunun belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için literatürde (Eroglu *et al.* 2011) daha önce kullanılan 0,005M ferri-siyanür, 0,020M ferro-siyanür ve 0,5M K₂CO₃ çözeltisindeki konsantrasyon oranları temel alınmıştır. Bu çözeltinin beş kat seyreltilmiş hali (0,001M Potasyum ferrisiyanür, 0,004M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K₂CO₃) ve 25 kat seyreltilmiş hali (0,0002M Potasyum ferrisiyanür, 0,0008M Potasyum ferrosiyanür ve destek elektrolit çözeltisi olarak 0,1M K₂CO₃) arasındaki konsantrasyon değerleri alınmıştır. Bu iki konsantrasyon arasındaki beş farklı konsantrasyonda elektrolit çözeltisi için LSV yöntemi kullanılarak akım potansiyel grafikleri elde edilmiştir. Şekil 4.2'den görüleceği gibi en düşük aktif iyon konsantrasyonunda da sınırlayıcı difüzyon akım değerleri düzgün bir şekilde elde edilmiştir. Bu sayede yüksek konsantrasyonlarda çalışmak yerine daha az kimyasal madde kullanılarak deney yapma fırsatı elde edilmiştir.

5.2. Kullanılan Elektrolit Çözeltilerin Akım-Voltaj Platoları

Elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım tekniği kullanılarak, karışma süresinin belirlenmesi işleminde öncelikle sınırlayıcı akım platolarının elde edilmesi gerekmektedir. Lineer Sweep Voltammetry Yöntemi kullanılarak Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.6 ve Şekil 4.8'de sabit çözelti konsantrasyonunda farklı karıştırma hızlarında sınırlayıcı difüzyon akım platoları ve Şekil 4.2, Şekil 4.5, Şekil 4.7 ve Şekil 4.9'da sabit 100 rpm karıştırma hızında farklı konsantrasyonlar için sınırlayıcı difüzyon akım platoları düzgün bir şekilde elde edilmiştir. Bu platolar kullanılarak sınırlayıcı difüzyon akım değerini veren potansiyel değeri -0,4V olarak bulunmuştur.

5.3. ELDCT ile Karışma Süresinin Belirlenmesi

Karıştırmalı tanklarda, karışma süresinin ELDCT ile belirlenebilmesi için tank içerisindeki çözelti aktif iyon konsantrasyonunda (C_{b1}) ve belirlenen sabit potansiyel altında düzgün bir akım değişimi elde edilmelidir. Ayrıca belli bir miktar konsantre çözelti ilave edildikten sonra ikinci aktif iyon konsantrasyon değerinde de (C_{b2}) düzgün bir akım değişimi elde edilmelidir. Tank içerisinde elektrokimyasal sınırlayıcı difüzyon akım şartları sağlandıktan sonra online olarak sabit potansiyel altında C_{b1} konsantrasyonu için akım değişimi ölçülmeye başlanmış ve 60. saniyede anlık olarak konsantre çözelti ilave edilmiştir. Çözeltinin C_{b2} konsantrasyonunda dengeye ulaşma süresi, online olarak kaydedilen akım değerindeki değişim takip edilerek belirlenmiştir. Bölüm 3.5’de verilen tank konfigürasyonu kullanılarak yapılan deneyler Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gösterildiği gibi iki tekrar yapılmıştır. Aynı deney şartlarında Şekil 3.1’de verilen farklı iki kanat açılı (30° ve 90°) Rushton türbini kullanılmıştır.

30° kanat açılı Rushton türbini kullanılarak Şekil 4.10’da siyah çizgi ile gösterilen ölçüm alınmış ve tekrar deneyinde Şekil 4.10’da mavi çizgi ile gösterilen ölçüm alınmıştır. Aynı deney şartlarında 90° kanat açılı Rushton türbini kullanılarak Şekil 4.11’de verilen ölçümler alınmıştır.

ELDCT’de $1B+3B$ elektrot sistemi kullanılmıştır. Buna göre 60 rpm karıştırma hızında 30° kanat açılı Rushton türbini kullanılarak yapılan iki deneyde de karışma süresi 16,6 saniye bulunmuştur. Aynı tank konfigürasyonu altında 90° kanat açılı Rushton türbini kullanılarak yapılan iki deneyde de karışma süresi $(12,2+11,2)/2=11,7$ saniye bulunmuştur.

Karışma sisteminin ikinci konsantrasyon değerine ulaşıp ulaşmadığını ise konsantre çözelti ilave edildikten sonra akım değişimi takip edilerek karar verilmiştir. Ölçüm süresi 200 saniyedir. Ancak 60. saniyeden sonra tank içerisine konsantre çözelti ilave edildiğinden dolayı bu aradaki değişimi daha net görebilmek için ölçüm grafiğinde 20. saniye ile 120. saniye arasındaki değişim verilmiştir. 0–60. saniyeler arasındaki akım

değerlerindeki değişim, C_{b1} derişimindeki çözelti için karıştırma şartlarından kaynaklanan dalgalanmadır. Şekil 4.10'da tekrar deneyinde 60. saniyede çözelti ilavesinden sonra karıştırma etkisiyle oluşan dalgalanmadan farklı olarak daha geniş bir dalgalanma mevcuttur. Bu akım değişimi 76,6. saniyede, akım değişimlerinin, iki konsantrasyon değeri için ayrı ayrı ortalama değerleri bulan Boltzmann eğrisi ile kesiştiği nokta karışma süresi olarak alınmıştır. Şekil 4.11'de her iki deneyde de 60. saniyede çözelti ilavesinden sonra benzer şekilde, karıştırma etkisiyle oluşan dalgalanmadan farklı olarak daha geniş ve büyük bir dalgalanma mevcuttur. Bu akım değişimi, ilk deneyde 72,2. saniyede, tekrar deneyinde ise 71,2. saniyede, akım değişimini gösteren siyah çizginin Boltzmann eğrisi ile kesiştiği nokta yani ikinci halde sistemin kararlı hale geldiği noktadır. Bu aralık karışma süresi olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, karıştırmalı tank sisteminde, tank içerisindeki akış şartlarında, sınırlayıcı difüzyon akım tekniği ile online olarak ölçüm alınmaktadır. Tank içerisindeki elektrolit konsantrasyonunu değiştirecek konsantre çözelti ilave edilmesi gibi bir etki uygulandığında, elektrolit konsantrasyonunun ikinci konsantrasyon değerlerinde dengeye gelmesine kadar geçen süre, tank içindeki sınırlayıcı difüzyon akımının online olarak ölçülmesi ile belirlenmiştir.

5.4. Kullanılan Referans Elektrotun Konumunun Belirlenmesi

Referans elektrot olarak 3 mm çapında silindirik camdan yapılmış Ag/AgCl probu kullanılmıştır. Ancak probun tank içerisindeki konumunun belirlenmesi gerekmektedir. Prob, hem akışı bozmayacak ya da daha az etkileyecek bir konuma yerleştirilmeli hem de ölçümde daha az dalgalanmanın olduğu (sinyal gürültüsünün daha az olduğu) bir konuma yerleştirilmelidir. Bunun için referans elektrot (RE), katot olarak kullanılan akış saptırıcının arkasında kalacak şekilde akışla aynı yönde yerleştirilmiştir. Bu sayede akış saptırıcının arkasında kalan ölü bölgede kalan referans elektrot akışı etkilemeyecektir. Tank içerisinde tabandan yüksekliğinin ne kadar olacağına karar vermek için Şekil 4.12'de gösterildiği gibi farklı üç konumda yerleştirilerek ölçüm

alınmıştır. Referans elektrodun yakınındaki Nikel akış saptırıcı çalışma elektrodu (WE) olarak kullanılırken diğer üç Nikel akış saptırıcı panel karşıt (CE) elektrot olarak kullanılmıştır.

Deneysel ölçümlerde tank merkezinde konsantrik olarak yerleştirilmiş altı kanatlı 60 mm çaplı Rushton türbünü kullanılmıştır. Karıştırıcının tank tabanından yüksekliği 50 mm dir. Karıştırma hızı 100 rpm ve elektrolit çözeltisi olarak Çizelge 3.2’de özellikleri verilen gliserinsiz elektrolit çözeltisi kullanılmıştır. Karışma ortamı 20°C sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Farklı üç konumda alınan ölçümler Şekil 4.13a. ve b.’de verilmektedir.

Şekil 4.13.a’da görüleceği gibi mavi renkli çizgi ile gösterilen sürede oluşturulan impulse etkisine cevap verme süresi 1. konumda çok hızlı, 2. konumda biraz daha yavaş ve 3. konumda diğerlerinden daha yavaştır.

Şekil 4.13.b’de bu üç ölçüm değeri üst üste karşılaştırılmıştır. 90 derece kanat açılı Rushton türbünü karıştırıcı olarak kullanıldığı için ve türbin radyal yönde akış oluşturduğundan konum 2’de dalgalı bir ölçüm alınmaktadır. Konum 1 tank tabanına yakın ve konum 3 çözelti yüzeyine yakın olduğundan, konum 1’de alınan ölçüm, konum 3’e göre daha az karmaşıktır. Çünkü tank tabanında, akışkan tank tabanı ile temasta olduğundan, belirli bir büyüklükte kesme gerilimine maruz kalmaktadır. Buna karşın, konum 3’te referans elektrot, akış yüzeyine daha yakındır. Ve bu bölgede yüzeyde serbest akış gerçekleşmekte olup hızdaki dalgalanmalar tabandakine kıyasla daha fazla gerçekleşmektedir. Bu ise konum 3’te daha fazla türbülans karakterine sahip akış oluşturmaktadır. Dolayısı ile tank tabanında hızdaki değişim tank üstündeki bölgeye kıyasla daha kararlı olmaktadır. Bundan dolayı akım ölçümlerinde daha fazla dalgalanmaya neden olur.

İmpulse etkiye daha hızlı cevap vermesi ve ölçümlerde daha az dalgalanma olduğundan dolayı referans elektrot, konum 1’deki gibi, katot olarak kullanılan akış saptırıcının akış yönünde arkasına ve tank tabanına 10 mm yukarıda yerleştirilmiştir.

5.5. ELDCT ve İletkenlik Ölçüm Tekniği Verilerinin Karşılaştırılması

Çizelge 4.3’de lokal katodun farklı beş konumda yerleştirilerek alınan karışma süresi ölçüm değerleri verilmektedir. Tankın beş farklı bölgesinde, hem ELDCT hemde iletkenlik ölçüm tekniği ile alınan ölçümler konum 1’de %3,91, konum 2’de %10,8, konum 3’de %0,72, konum 4’de %32,77 ve konum 5’de %11,96 farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu ölçümlerin ortalama değeri alınırsa;

ELDCT ile $(14,73 + 4,75 + 13,75 + 10,53 + 16,53) / 5 = \mathbf{12,06}$ saniye

ve

İletkenlik ölçümü ile $(15,33 + 5,3 + 13,85 + 7,93 + 14,77) / 5 = \mathbf{11,44}$ saniye

olarak tespit edilmiştir.

İki yöntem arasındaki % fark = $(12,06 - 11,44) / 11,44 \cong 5,4$

Bu iki yöntem ile tankın farklı noktalarında alınan karışma süresi değerlerinin ortalama değerleri alınırsa bu iki yöntem arasındaki fark yaklaşık %5,4 olarak bulunmaktadır. Bu iki yöntemin arasındaki yaklaşık %95’lik benzerlik, bu iki yöntemin birbirinin ölçümelerini desteklediğini göstermektedir.

Çizelge 4.19 incelendiğinde yapılan 27 deney için ELDCT ve iletkenlik ölçüm sonuçlarının birbirine ortalama %91,7 oranında benzerlik gösterdiği söylenebilir.

5.6. ELDCT ile 1B+3B Elektrot Sistemi ve 1 cm Çaplı Lokal Katot Elektrot Sistemi Verilerinin Karşılaştırılması

Bölüm 4.8’de gliserinsiz çözelti kullanılarak Çizelge 4.15’de gösterilen farklı beş konumda, Bölüm 4.9.1’de %30 gliserinli çözelti kullanılarak Çizelge 4.15’de gösterilen farklı beş konumda ve Bölüm 4.9.2’de %50 gliserinli çözelti kullanılarak kullanılarak Çizelge 4.15’de gösterilen farklı beş konumda lokal karışma süresi ölçümleri alınmıştır. Bu ölçümlerin ortalaması ve %30 ve %50 gliserinli çözelti kullanılarak kanat sayısının etkisinin belirlendiği deneysel veriler kullanılarak gliserinsiz, %30 gliserinli ve %50 gliserinli çözeltiler için hem 1B+3B elektrot sistemi hem de lokal katot elektrot sistemi için alınan veriler Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.20. Gliserinsiz, %30 ve %50 Gliserinli çözeltilerde lokal katot ile alınan lokal beş karışma süresi ortalama değeri ve 1B+3B elektrot sistemi ile alınan karışma süresi ($t_M(s)$) değerleri

	1B+3B elektrot sistemi ile $t_M(s)$	Lokal katot elektrot sistemi ile ortalama $t_M(s)$	% fark
Gliserinsiz çözelti ile	11,7	12,06	0,03
%30 Gliserinli çözelti ile	8,93	6	0,33
%50 Gliserinli çözelti ile	7,68	5,13	0,33

Gliserinsiz çözelti ile yapılan deneylerde %3 fark ile, %30 gliserinli çözelti ile yapılan deneylerde %33 ve %50 gliserinli çözeltiler ile yapılan deneylerde %33 farklı sonuçlar elde edilmiştir. %30 ve %50 gliserinli çözeltilerde yapılan deneylerde zaman değeri olarak birbirine çok yakın değerler olmasına rağmen değerler küçük olduğu için % fark miktarı büyük çıkmaktadır. Buna rağmen ELDCT ile 1B+3B elektrot sistemi kullanılarak tankın ortalama değerini verdiğini söyleyebiliriz. Çünkü gliserinsiz çözelti ile yapılan deneylerde %3 farklı sonuçlar bulunmuştur. %3 ihmal edilebilecek seviyede bir farktır.

5.7. Beş Farklı Konumda Yerleştirilen 1 cm Çaplı Lokal Katot ve iletkenlik Ölçer ile Alınan Veriler İçin Konum Değerlendirmesi

Şekil 4.14’de gösterildiği gibi beş farklı konuma yerleştirilen 1cm çaplı lokal katot ile ve iletkenlik ölçer ile alınan ölçümler tank içerisindeki lokasyona göre farklılık göstermektedir. Konum 1’de yerleştirilen prob ve lokal katot ile alınan ölçümler Şekil 4.15 ve Şekil 4.16’da verilmiştir. Buna göre 60. saniyede konsantre çözelti ilave edildikten sonra iletkenlik ve akım değeri hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Ok işareti ile belirtilen noktalardan sonra tank içerisindeki çözeltinin ikinci konsantrasyon değerinde istenilen seviyede homojen hale gelmesi ile hem akım değeri hem de iletkenlik değeri, ikinci kararlı hal ortalama değerine ulaşmıştır. Karıştırma işleminde kullanılan 90° kanat açılı Rushton türbininin radyal yönde akış üretmesi nedeniyle ilave edilen konsantre çözeltiyi oluşturduğu akış yolu ile türbinin karşısına gelecek şekilde çözeltiyi sevk etmesi Konum 1’de yerleştirilen lokal katot ve iletkenlik probunun olduğu noktada anlık bir konsantrasyon yoğunluğu oluşturmuştur. Buna bağlı olarak akım ve iletkenlik değerlerinde de artış gözlenmiştir. Bu yoğunluk karıştırma etkisiyle azalarak sistem homojen hale gelmektedir. Buna bağlı olarak akım ve iletkenlik değerleride belirtilen noktalarda ikinci kararlı halde ortalama değere ulaşmaktadır.

Konum 2 de Rushton türbini ile iletkenlik ölçer prob ve 1 cm çaplı lokal katot arasındaki mesafe konum 1’e göre daha azdır ve burada akımın daha kısa zamanda dengeye ulaştığı görülmektedir. Dalgalanma konum 1’e göre daha fazladır. Hem iletkenlik hem de ELDCT ölçümleri karşılaştırılarak akım verileri ve iletkenlik verilerinden oluşan grafikte, akım değişimini veren eğrinin, bu değerler için oluşturulan Boltzmann eğrisini ilk kestiği nokta, kararlı hale ulaştığı nokta olarak alınmıştır. Bu noktadan sonraki dalgalanmalar karıştırmanın etkisiyle oluşan dalgalanmalardır.

Konum 3’de Konum 2’den daha uzun bir karışma süresi tespit edilmiştir. Ölçümlerdeki dalgalanma konum 1’e göre daha fazladır. Konum 3, Rushton türbinine Konum 1’e göre uzak olmasına rağmen, konum 3’de daha karmaşık ve düzensiz bir akış meydana geldiği için konum 1’den daha kısa bir karışma süresi elde edilmiştir.

Konum 4’de tank merkezinden karıştırıcı Rushton türbini milinin hemen yanından ilave edilen konsantre çözelti oluşan girdapla aşağı yönde tank tabanına doğru hareket etmekte ve türbinin kanatçıklarına doğru ilerlemektedir. İlave edilen çözelti akış yolu üzerindeki prob ve lokal katot tarafından hemen algılanmıştır. Buna bağlı olarak akım ve iletkenlik değerlerinde ani bir artış gözlenmiştir. Akış saptırıcı panellere çarptıktan sonra oluşan girdap etkisiyle karışma süresi konum 2’den daha fazla ancak konum 1 ve konum 3’den daha az olarak kaydedilmiştir.

Konum 5’de, tank merkezinden ilave edilen konsantre çözelti, hızlı bir şekilde tank dibine doğru gönderildiği için konum 5’de bulunan prob ve lokal katotla önce algılanamamış sonra tank muhtevasının konsantrasyonunun yavaş yavaş artmasına ve buna bağlı olarak akım ve iletkenlik değerlerinin de artmasına neden olmuştur. Yavaş ve düzenli bir şekilde artış görülmektedir. Konum 3’den daha fazla bir karışma süresi değeri elde edilmiştir.

Yukarıdaki deneylerde gliserinsiz çözelti kullanılarak anot (CE) olarak kullanılan elektrotların konumu sabitken Şekil 3.4’de verilen 1cm çaplı katot (WE), tank içerisinde beş farklı konuma yerleştirilerek ELDCT yöntemi ve aynı konuma yerleştirilen iletkenlik ölçer ile alınan ölçüm değerleri verilmektedir. Aynı şekilde %30 (w/w) ve %50 (w/w) gliserinli çözeltiler kullanılarak yapılan deneylerde de benzer davranış görülmektedir. Şekil 4.38 incelendiğinde her bir çözelti için Re_1 değerinde yapılan karışma süresi ölçümleri verilmiştir. Grafiğe göre gliserin konsantrasyonu artınca karışma süresinin artması beklenir. Ancak her bir Reynolds değeri için karıştırma hızı farklıdır. Çünkü aynı Re sayısını elde etmek için viskozite değeri yüksek olan çözeltilerde karıştırma hızı da yüksek olacaktır. Şekil 4.38 incelendiğinde karıştırma hızının Re sayısından daha etkili olduğu görülmektedir.

5.8. Rushton Türbini Kanat Açısı ve Kanat Sayısının Karışma Süresi Üzerine Etkisi

Gliserinsiz, %10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) gliserinli çözeltilerde ELDCT ile kanat sayısı 6 olan 90°, 60°, 45° ve 30° kanat açılı Rushton türbinleri kullanılarak farklı karıştırma hızlarında karışma süreleri belirlenmiştir.

Bu deneylere göre farklı viskozite değerindeki çözeltilerde hepsinin ortak özelliği en uzun karışma süresi 30° kanat açılı RT ile, sonra 45° kanat açılı RT ile, daha sonra 60° kanat açılı RT ile ve en az karışma süresi 90° kanat açılı RT ile elde edilmiştir. Yani kanat açısının artması karışma süresini azaltmaktadır.

Gliserinsiz, % 10, %20, %30, %40 ve %50 (w/w) gliserinli çözeltilerde ELDCT ile kanat açısı 90° olan 3, 4, 5, ve 6 kanat sayılı Rushton türbinleri kullanılarak farklı karıştırma hızlarında karışma süreleri belirlenmiştir.

Bu deneylere göre farklı viskozite değerindeki çözeltilerde hepsinin ortak özelliği en uzun karışma süresi 3 kanat sayılı RT ile, sonra 4 kanat sayılı RT ile, daha sonra 5 kanat sayılı RT ile ve en az karışma süresi 6 kanat sayılı RT ile elde edilmiştir. Yani kanat sayısının artması karışma süresini azaltmaktadır.

Belirli viskozite değerindeki çözeltiler için Re sayısının artması karışma süresini azaltmaktadır.

Viskozite değerlerinin artması, aynı Re sayısı için karıştırma hızını artırmakta ve karıştırma hızı Re değerinden daha etkin olduğu için karışma süresi azalmaktadır.

Karışma süresinin, Re, kanat açısına(θ) ve kanat sayısına(n) bağlı olarak değişimi, Eşitlik (14)'de bir korelasyonla verilmektedir.

$$t_M = 7\,363\,750\,Re^{-1,3} * \theta^{-0,42} * n^{-0,59} \quad (14)$$

Bu korelasyon bu çalışmanın önemli bir sonucu olup, korelasyonu oluşturan parametrelerden Re sayısının, kanat açısı ve sayısına göre daha etkili olduğu görülmektedir. Buna ilaveten, kanat sayısının karışma süresi üzerine etkisi kanat açısından daha fazladır.

Elde edilen bir diğer korelasyon ise karışma süresine bağlı boyutsuz karışma faktörü f_t korelasyonudur. Bu eşitlikteki karışma süresi t_M , yerine elde edilen Eşitlik (14) yazılarak Eşitlik (16) elde edilir.

$$f_t = 7\,363\,750 \frac{N^{1/3} D_a^{7/6} g^{1/6} v^{1/3}}{H^{1/2} D_t^{3/2} \theta^{0,42} n^{0,59}} \quad (16)$$

Eşitlik (16) ile boyutsuz karışma faktörü f_t , karışma hızı, tank çapı, karıştırıcı çapı, çözelti yüksekliği, kinematik viskozite, Rushton türbini kanat sayısı ve kanat açısına bağlı olarak elde edilmiştir.

5.9. Farklı Hacim ve Konsantrasyonlarda Gliserinli Çözeltilerin Karıştırılması İle Durumunda Karışma Süresinin Eş Zamanlı Olarak ELDCT ve İletkenlik Ölçerle Belirlenmesi

Sanayide oldukça fazla kullanılan proseslerden biri olan birbiri içerisinde karışabilen farklı viskozite değerindeki sıvıların farklı oranlarda karıştırma prosesi için karışma süreleri belirlenmiştir. Çizelge 4.19 incelendiğinde bahsedilen proseslerde aynı karıştırma ortamında, hem iletkenlik ölçer ile belirlenen karışma süresi değerlerinin hem de lokal katot kullanılarak ELDCT ile belirlenen karışma süresi değerlerinin birbirine ortalama %91,7 oranında benzerlik gösterdiği bulunmuştur.

Bu benzerlik, ELDCT'nin, endüstride kullanılan farklı viskozitedeki çözeltilerin farklı oranlarda karıştırılmasından oluşan prosesler için de karışma süresi ölçüm tekniği olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

5.10. Öneriler

Bu çalışmada, ELDCT kullanılarak karıştırılmalı tanklarda karışma süresinin ölçülebilirliği ispat edilmiştir. ELDCT'ye uygun şartlar oluşturacak şekilde akış saptırıcı paneller anot ve katot olarak kullanılmak şartı ile akış ortamına dışardan herhangi ölçüm aparatı ilave edilmemiştir. Bu şekilde akış hidrodinamiği bozulmadan tankın bütünü için geçerli olan karışma süresi belirlenmiştir. Benzer şekilde akış hidrodinamiğini etkilemeyen ölçüm sistemleri anot ve katot olarak kullanılarak ELDCT ile karışma süresi belirlenebilir. Bu şekilde akış saptırıcı panellerin kullanılmadığı sistemlerde ELDCT ile karışma süresi ölçülebilir.

Karışma süresini etkileyen parametrelerden biri olan karıştırıcı Rushton türbini kanat açısı ve kanat sayısının etkisi incelenmiştir. Bu ölçüm sistemi kullanılarak karıştırılmalı tanklar için geliştirilen farklı karıştırıcılar ve farklı tank geometrileri ya da akış şartlarında, geliştirilen bu özelliğin tankın karışma performansını nasıl etkilediği belirlenebilir.

ELDCT ile karışma ortamında online ölçüm alınabildiği için, ELDCT, akış özelliklerinin belirlenmesi için kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Alvarez, M., Zalc, J., Shinbrot, T., Arratia, P. and Muzzio, F., 2002. Mechanisms of mixing and creation of structure in laminar stirred tanks. *Aiche Journal*, 48(10), 2135-2148.
- Anonymous, 2017. Dynamix, How baffle configuration can optimize industrial mixing. <http://www.dynamixinc.com/baffled-by-baffles>, 05.03.2017.
- Arvía, A.J., Bazán, J.C. and Carrozza, J.S.W., 1968. The diffusion of ferro- and ferricyanide ions in aqueous potassium chloride solutions and in solutions containing carboxy-methylcellulose sodium salt. *Electrochimica Acta*, 13(1), 81-90.
- Arzutug, M.E., 2003. Çarpan swirl jetlerde kütle transferi. PhD, Atatürk University, Erzurum/Türkiye.
- Baldyga, J., Bourne, J.R., Pacek, A.W., Amanullah, A. and Nienow, A.W., 2001. Effects of agitation and scale-up on drop size in turbulent dispersions: Allowance for intermittency. *Chemical Engineering Science*, 56(11), 3377-3385.
- Barbeau, F., Gbahoue, L. and Martemianov, S., 2002. Energy cascade in a tornado wise flow generated by magnetic stirrer. *Energy Conversion and Management*, 43(3), 399-408.
- Barrett, P. and Glennon, B., 2002. Characterizing the metastable zone width and solubility curve using lasentec fbrm and pvm. *Chemical Engineering Research & Design*, 80(A7), 799-805.
- Bates, R., Fondy, P.L. and Corpstein, R., 1963. Examination of some geometric parameters of impeller power. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 2(4), 310-314.
- Bazán, J.C. and Arvia, A.J., 1965. The diffusion of ferro- and ferricyanide ions in aqueous solutions of sodium hydroxide. *Electrochimica Acta*, 10(10), 1025-1032.
- Berger, F.P. and Ziai, A., 1983. Optimization of experimental conditions for electrochemical mass-transfer measurements. *Chemical Engineering Research & Design*, 61(6), 377-382.
- Biggs, R.D., 1963. Mixing rates in stirred tanks. *Aiche Journal*, 9(5), 636-640.
- Bliem, V., Schultz, H.J., #xfc and rgen, 2014. Investigation of horizontal velocity fields in stirred vessels with helical coils by piv. *International Journal of Chemical Engineering*, 2014, 8.
- Bourne, J.R., Dellava, P., Dossenbach, O. and Post, T., 1985. Densities, viscosities, and diffusivities in aqueous sodium-hydroxide potassium ferricyanide and ferrocyanide solutions. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 30(2), 160-163.
- Burns, J.R. and Jachuck, R.J.J., 2005. Determination of liquid-solid mass transfer coefficients for a spinning disc reactor using a limiting current technique. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48(12), 2540-2547.
- Busciglio, A., Grisafi, F., Ippolito, F., Scargiali, F. and Brucato, A., 2012. Mixing time in unbaffled stirred tanks. In *Proceedings of 14th European Conference of Mixing*, Warszawa, Poland.

- Busciglio, A., Grisafía, F., Ippolito, F., Scargialia, F. and Brucato, A., 2012. Mixing time in unbaffled stirred tanks. 14th European Conference on Mixing, Warszawa.
- Cessou, A., Meier, U. and Stepowski, D., 2000. Applications of planar laser induced fluorescence in turbulent reacting flows. *Measurement Science and Technology*, 11(7), 887.
- Clark, H. and Özcan-Taşkin, N.G., 2001. A study of drop break up and deformation in the laminar regime. AICHE Meeting, Reno, Nevada.
- Coker, A.K., 2001. Chapter seven - fluid mixing in reactors. *Modeling of chemical kinetics and reactor design*, A. K. Coker and C. A. Kayode. Gulf Professional Publishing, Woburn: pp: 552-662.
- Crimaldi, J., 2008. Planar laser induced fluorescence in aqueous flows. *Experiments in fluids*, 44(6), 851-863.
- Dib, A., Martemianov, S., Makhloufi, L. and Saidani, B., 2008. Thermo-compensation of electrodiffusional wall velocity gradient measurements. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29(1), 219-228.
- Doan, H.D., Fayed, M.E. and Trass, O., 2001. Measurement of local and overall mass-transfer coefficients to a sphere in a quiescent liquid using a limiting current technique. *Chemical Engineering Journal*, 81(1-3), 53-61.
- Doran, P.M., 1995. *Bioprocess engineering principles*. Academic press, pp. 129-163.
- Eisenberg, M., Tobias, C.W. and Wilke, C.R., 1956. Selected physical properties of ternary electrolytes employed in ionic mass transfer studies. *Journal of The Electrochemical Society*, 103(7), 413-416.
- Emin Arzu, M., Yapıcı, S. and Muhtar Kocakerim, M., 2005. A comparison of mass transfer between a plate and submerged conventional and multichannel impinging jets. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32(6), 842-854.
- Eroglu, E., Yapıcı, S. and Sara, O.N., 2011. Some transport properties of potassium ferri/ferro-cyanide solutions in a wide range of schmidt numbers. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 56(8), 3312-3317.
- Fasano, J.B., Bakker, A. and Penney, W.R., 1994. Advanced impeller geometry boosts liquid agitation. *Chemical Engineering*, 101(8), 110-116.
- Fernandes, J.B. and Sharma, M.M., 1967. Effective interfacial area in agitated liquid—liquid contactors. *Chemical Engineering Science*, 22(10), 1267-1282.
- Fox, E.A. and Gex, V.E., 1956. Single-phase blending of liquids. *Aiche Journal*, 2(4), 539-544.
- Gaucher, C., Jaouen, P., Legentilhomme, P. and Comiti, J., 2002. Suction effect on the shear stress at a plane ultrafiltration ceramic membrane surface. *Separation Science and Technology*, 37(10), 2251-2270.
- Geankoplis, C.J., 2003. *Transport processes and separation process principles: Includes unit operations*. Prentice Hall Professional Technical Reference, pp. 154-169.
- Ghotli, R.A., Raman, A.A.A., Ibrahim, S. and Baroutian, S., 2013. Liquid-liquid mixing in stirred vessels: A review. *Chemical Engineering Communications*, 200(5), 595-627.
- Gordon, S.L., Newman, J.S. and Tobias, C.W., 1966. The role of ionic migration in electrolytic mass transport; diffusivities of $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ and $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ in koh

- and naoh solutions. *Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie*, 70(4), 414-420.
- Griffiths, M., de Leon, C.P. and Walsh, F.C., 2005. Mass transport in the rectangular channel of a filter-press electrolyzer (the fm01-lc reactor). *Aiche Journal*, 51(2), 682-687.
- Hiraoka, S., Kato, Y., Tada, Y., Ozaki, N., Murakami, Y. and Lee, Y.S., 2001. Power consumption and mixing time in an agitated vessel with double impeller. *Chemical Engineering Research and Design*, 79(8), 805-810.
- Hiraoka, S., Yamada, I., Ikeno, H., Asano, H., Nomura, S., Okada, T. and Nakamura, H., 1981. Measurement of diffusivities of ferricyanide and ferrocyanide ions in dilute-solution with koh supporting electrolyte. *Journal of Chemical Engineering of Japan*, 14(5), 345-351.
- Hukkanen, E.J. and Braatz, R.D., 2003. Measurement of particle size distribution in suspension polymerization using in situ laser backscattering. *Sensors and Actuators B-Chemical*, 96(1-2), 451-459.
- Ibrahim, S. and Nienow, A.W., 1995. Power curves and flow patterns for a range of impellers in newtonian fluids - 40-less-than-re-less-than-5x10(5). *Chemical Engineering Research & Design*, 73(A5), 485-491.
- Jakobsen, H., 2008. Agitation and fluid mixing technology. *Chemical reactor modeling*. Springer Berlin Heidelberg: pp: 679-755.
- Janssen, L.J.J. and Koene, L., 2002. The role of electrochemistry and electrochemical technology in environmental protection. *Chemical Engineering Journal*, 85(2-3), 137-146.
- Karcz, J., Cudak, M. and Szoplik, J., 2005. Stirring of a liquid in a stirred tank with an eccentrically located impeller. *Chemical Engineering Science*, 60(8-9), 2369-2380.
- Keane, R. and Adrian, R., 1993. Theory of cross-correlation analysis of piv images. *Flow visualization and image analysis*, F. T. M. Nieuwstadt. Springer Netherlands: pp: 1-25.
- Kraume, M. and Zehner, P., 2001. Experience with experimental standards for measurements of various parameters in stirred tanks: A comparative test. *Chemical Engineering Research & Design*, 79(A8), 811-818.
- Kuriyama, M., Ono, M., Tokanai, H. and Konno, H., 1996. Correlation of transient sizes of highly viscous drops in dispersion process in liquid-liquid agitation. *Chemical Engineering Research & Design*, 74(A4), 431-437.
- Lamberto, D.J., Muzzio, F.J., Swanson, P.D. and Tonkovich, A.L., 1996. Using time-dependent rpm to enhance mixing in stirred vessels. *Chemical Engineering Science*, 51(5), 733-741.
- Laurenzi, F., Coroneo, M., Montante, G., Paglianti, A. and Magelli, F., 2009. Experimental and computational analysis of immiscible liquid-liquid dispersions in stirred vessels. *Chemical Engineering Research & Design*, 87(4A), 507-514.
- Lesage, F., Latifi, M.A. and Midoux, N., 2000. Boundary element method in modelling of momentum transport and liquid-to-wall mass transfer in a packed-bed reactor. *Chemical Engineering Science*, 55(2), 455-460.
- Manna, L., 1997. Comparison between physical and chemical methods for the measurement of mixing times. *Chemical Engineering Journal*, 67(3), 167-173.

- Marracino, J.M., Coeuret, F. and Langlois, S., 1987. A first investigation of flow-through porous electrodes made of metallic felts or foams. *Electrochimica Acta*, 32(9), 1303-1309.
- McDonald, K.A., Jackman, A.P. and Hurst, S., 2001. Characterization of plant suspension cultures using the focused beam reflectance technique. *Biotechnology Letters*, 23(4), 317-324.
- Mizushina, T., 1971. The electrochemical method in transport phenomena. *Advances in Heat Transfer*, 7, 87-161.
- Montante, G., Mostek, M., Jahoda, M. and Magelli, F., 2005. Cfd simulations and experimental validation of homogenisation curves and mixing time in stirred newtonian and pseudoplastic liquids. *Chemical Engineering Science*, 60(8-9), 2427-2437.
- Montillet, A., Comiti, J. and Legrand, J., 1994. Application of metallic foams in electrochemical reactors of the filter-press type: Part ii mass transfer performance. *Journal of Applied Electrochemistry*, 24(5), 384-389.
- Nagata, S., 1975. *Mixing: Principles and applications*. Wiley,pp., New York.
- Newman, J., 1968. Engineering design of electrochemical systems. *Industrial & Engineering Chemistry*, 60(4), 12-27.
- Norato, M.A., Tsouris, C. and Tavlarides, L.L., 1998. Phase inversion studies in liquid-liquid dispersions. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 76(3), 486-494.
- Norwood, K.W. and Metzner, A.B., 1960. Flow patterns and mixing rates in agitated vessels. *Aiche Journal*, 6(3), 432-437.
- O'Rourke, A.M. and MacLoughlin, P.F., 2005. A comparison of measurement techniques used in the analysis of evolving liquid-liquid dispersions. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 44(8), 885-894.
- Ochieng, A. and Onyango, M.S., 2008. Homogenization energy in a stirred tank. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(9-10), 1853-1860.
- Pacek, A.W., Moore, I.P.T., Nienow, A.W. and Calabrese, R.V., 1994. Video technique for measuring dynamics of liquid-liquid dispersion during phase inversion. *Aiche Journal*, 40(12), 1940-1949.
- Pakzad, L., Ein- Mozaffari, F. and Chan, P., 2008. Measuring mixing time in the agitation of non- newtonian fluids through electrical resistance tomography. *Chemical Engineering & Technology*, 31(12), 1838-1845.
- Paul, E.L., Atiemo-Obeng, V.A. and M., K.S., 2004. *Handbook of industrial mixing: Science and practice*. Handbook of industrial mixing: Science and practice. A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, United States of America.
- Pletcher, C., 1993. *A first course in electrochemical engineering*. Electrochemical consultancy,pp.
- Podgorska, W. and Baldyga, J., 2001. Scale-up effects on the drop size distribution of liquid-liquid dispersions in agitated vessels. *Chemical Engineering Science*, 56(3), 741-746.
- Roffel, B. and Vandegraaf, J.J., 1977. Diffusion-coefficient of ferricyanide ions in aqueous potassium-chloride solutions with and without polyethylene oxide addition. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 22(3), 300-302.
- Rushton, J.H., 1956. Principles of mixing in the fatty oil industries. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 33(11), 598-604.

- Sarac, H., Patrick, M.A. and Wragg, A.A., 1993. Physical-properties of the ternary electrolyte potassium ferri-ferrocyanide in aqueous sodium-hydroxide solution in the range 10-90-degrees-c. *Journal of Applied Electrochemistry*, 23(1), 51-55.
- Sathyagal, A.N. and Ramkrishna, D., 1996. Droplet breakage in stirred dispersions. Breakage functions from experimental drop-size distributions. *Chemical Engineering Science*, 51(9), 1377-1391.
- Sedahmed, G.H., Al-Abd, M.Z., El-Taweel, Y.A. and Darwish, M.A., 2000. Liquid-solid mass transfer behaviour of rotating screen discs. *Chemical Engineering Journal*, 76(3), 247-252.
- Selman, J.R. and Tobias, C.W., 1978. Mass-transfer measurements by the limiting-current technique. *Advances in chemical engineering*, G. R. C. J. W. H. Thomas B. Drew and V. Theodore. Academic Press: pp: 211-318.
- Sutey, A.M. and Knudsen, J.G., 1967. Effect of dissolved oxygen on redox method for measurement of mass transfer coefficients. *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 6(1), 132-139.
- Szanto, D.A., Cleghorn, S., Ponce-De-Len, C. and Walsh, F.C., 2008. The limiting current for reduction of ferricyanide ion at nickel: The importance of experimental conditions. *Aiche Journal*, 54(3), 802-810.
- Şara, O., Erkmén, J., Yapıcı, S. and Çopur, M., 2008. Electrochemical mass transfer between an impinging jet and a rotating disk in a confined system. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(3), 289-298.
- Takahashi, K., Sugo, Y., Takahata, Y., Sekine, H. and Nakamura, M., 2012. Laminar mixing in stirred tank agitated by an impeller inclined. *International Journal of Chemical Engineering*, 2012.
- Triveni, B., Vishwanadham, B., Madhavi, T. and Venkateshwar, S., 2010. Mixing studies of non-newtonian fluids in an anchor agitated vessel. *Chemical Engineering Research and Design*, 88(7), 809-818.
- Tzanetakis, N., Scott, K., Taama, W.M. and Jachuck, R.J.J., 2004. Mass transfer characteristics of corrugated surfaces. *Applied Thermal Engineering*, 24(13), 1865-1875.
- Uhl, V.W. and Gray, J.B., 1966. *Mixing: Theory and practice*. Academic Press, pp.
- van de Vusse, J.G., 1955. Mixing by agitation of miscible liquids part i. *Chemical Engineering Science*, 4(4), 178-200.
- Verschuren, I.L.M., 2001. Feed stream mixing in stirred tank reactors. Department of Chemical Engineering, Eindhoven University of Technology, Department of Chemical Engineering.
- Walsh, F.C., 1993. *A first course in electrochemical engineering*. Electrochemical consultancy, pp.
- Wang, C.Y. and Calabrese, R.V., 1986. Drop breakup in turbulent stirred-tank contactors .2. Relative influence of viscosity and interfacial tension. *Aiche Journal*, 32(4), 667-676.
- Wein, O., Tovcigrecko, V.V. and Sobolik, V., 2006. Transient convective diffusion to a circular sink at finite peclet number. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49(23-24), 4596-4607.
- Wichterle, K., 1995. Drop breakup by impellers. *Chemical Engineering Science*, 50(22), 3581-3586.

- Zadghaffari, R., Moghaddas, J. and Revstedt, J., 2009. A mixing study in a double-rushton stirred tank. *Computers & chemical engineering*, 33(7), 1240-1246.
- Zhang, Q.H., Yong, Y.M., Mao, Z.S., Yang, C. and Zhao, C.J., 2009. Experimental determination and numerical simulation of mixing time in a gas-liquid stirred tank. *Chemical Engineering Science*, 64(12), 2926-2933.



ÖZGEÇMİŞ

Özkan AYDIN, 1981 yılında Şiran’ da doğdu. İlk öğrenimini Telme Köyü’nde, orta ve lise öğrenimini Şiran’da tamamladı. 1998 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümüne girdi. 2002 yılında mezun oldu. 2002 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2006 yılında yüksek lisans öğrenimini tamamladı. 2006-2010 yılına kadar özel sektörde sentetik ve su bazlı boya fabrikasında çalıştı. 2010 yılında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi’nde Kimya Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak başladı. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilimdalı, Temel İşlemler ve Termodinamik Bilim Dalı’nda doktora eğitimine başladı. 2017 yılında doktorasını tamamladı.