



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Modifiye dod. bnn. sül. asit-su
sist. için küt. akt.

Yüksek Lisans Tezi

Hasan Ali

Ref
KMM
115
1992

KİM.

90000 TL

T.C.

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

106

MODİFİYE DODESİL BENZEN SÜLFONİK
ASİT - SU SİSTEMİ İÇİN KÜTLE
AKTARIM KATSAYISININ DENEYSEL
OLARAK BULUNMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA MÜHENDİSİ
HASAN ALİ

İSTANBUL - 1992

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot	: R 361 121
Alındığı Yer	: Y.T.Ü
Tarih	: 22.3.96
Fatura	:
Fiyatı	: 90.000,-
Ayniyat No	: 1-1
Kayıt No	: 51954
UDC	:
Ek	:

Y. T. Ü.

KÜTÜPHANE DOK. DAİRE BAŞKANLIĞI

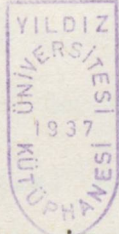
T.C.
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



S.61

20.29

MODİFİYE DODESİL BENZEN SÜLFONİK
ASİT - SU SİSTEMİ İÇİN KÜTLE
AKTARIM KATSAYISININ DENEYSEL
OLARAK BULUNMASI



121

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA MÜHENDİSİ
HASAN ALİ

İSTANBUL - 1992

TEŞEKKÜR

Araştırma konusunu öneren ve çalışmalarım sırasında beni sürekli destekleyerek yönlendiren tez danışmanım Prof.Dr.Edip Büyükkoca'ya, Kimya Mühendisliği Bölümü'nde gerekli araştırma ortamını ve olanaklarını sağlayan Bölüm Başkanımız Prof.Dr. Salih Dinçer'e, tez metninin bilgisayarla yazılmasına yardımcı olan Kim.Müh. Recep Akay'a, Uzman Nalan Adaşoğlu'na çalışmanın deneysel kısımları sırasında yardımcı olan Bingo Fabrikası mühendislerine, Jüri üyelerim Prof.Dr.Salih Dinçer'e, Doç.Dr. Z.Sema Baykara'ya, Yrd.Doç.Dr.Esen Bolat'a,

Kimya Mühendisliği bölümünde bana manevi destek veren öğretim üyelerine,

Yüksek Lisans çalışmalarım için burs vermiş olan T.C. Milli Eğitim Bakanlığı ve Suriye'deki Baas Üniversitesi'ne,

Manevi desteğini esirgemeyen aileme,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA NO</u>
ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
SEMBOL LİSTESİ.....	x
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	2
BÖLÜM 2.....	3
KÜTLE AKTARIM KATSAYILARININ DENEYSEL OLARAK BULUNMASI	4
2.1 ISLAK KOLON YÖNTEMİ.....	4
2.2 KÜRE YÖNTEMİ.....	5
2.3 KÜTLE AKTARIMINDA EN ÇOK KULLANILAN BOYUTSUZ	
SAYILAR.....	6
a) Reynolds Sayısı.....	6
b) Schmidt Sayısı.....	7
c) Sherwood Sayısı.....	7
d) Peclet Sayısı.....	7
e) Grashof Sayısı.....	7
f) Stanton Sayısı.....	7
g) Kütle Aktarım Faktörü.....	7
2.4 KÜTLE AKTARIM VERİLERİNİN NÜMERİK BİR METOTLA	
DENENMESİ VE KÜRE YÖNTEMİ İÇİN UYGULANMASI.	7
2.5 KORELASYON KATSAYISI.....	7
BÖLÜM 3.....	9
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	10

	<u>SAYFA NO</u>
3.1 DENEYDE KULLANILAN CİHAZ.....	10
3.2 KÜTLE AKTARIM KATSAYISININ TESBİTİNE AİT DENEYSEL ÇALIŞMA.....	12
3.3 DENEY SONUÇLARINDAN YARARLANARAK KÜTLE AKTARIM KATSAYISININ TESBİTİ.....	12
3.3.1 Anyonik Aktif Madde Miktarı.....	13
3.3.1.1 Cihaz ve Malzemeler.....	13
3.3.1.2 Reaktifler.....	13
3.4 MDDB ÇÖZELTİSİNE AİT ABSORBANS TAYİNİ.....	14
3.5 MDDB'NİN KALİBRASYON EĞRİSİNİN HAZIRLANMASI..	15
3.6 HESAPLAMA VE SONUÇLARIN GÖSTERİLMESİ.....	17
3.7 MDDB'NİN DOYGUNLUK KONSANTRASYONU TAYİNİ.....	17
3.8 MDDB'NİN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ.....	19
3.8.1 Anyonik Aktif Madde Miktarı Tayini.....	19
3.8.1.1 Hyamin Faktörü Tayini.....	19
3.8.1.2 Hyamin Çözeltisi Hazırlanması...	20
3.8.2 Viskozite Bakımından MDDB ve DDB Arasındaki Fark	20
3.8.3 Yüzey Gerilimi Bakımından (20°C) MDDB ve DDB Ara- sındaki Fark.....	21
3.9 DENEY SONUÇLARINDAN BOYUTSUZ SAYILARIN HESABI	21
3.10 ÇALIŞMA BULGULARI.....	26
BÖLÜM 4	36
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	37
KAYNAKLAR.....	39
EKLER.....	41
EK.1 DETERJAN ÖZELLİKLERİ.....	42
E1.1 SENTETİK DETERJANLARIN KİMYASAL YAPISI.....	42

E1.2 YÜZEY AKTİF MADDELER.....	42
a) Anyonik Deterjanlar.....	44
b) Katyonik Deterjanlar.....	44
c) İyonik Olmayan Deterjanlar.....	45
d) Amfoterik Deterjanlar.....	45
E1.3 YÜZEY AKTİF MADDELERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL DAVRANIŞLARI.....	45
a) Yüzey Gerilimi.....	45
b) Adsorbsiyon.....	46
c) Biyolojik Bozunma.....	46
EK.2 BOYUT ANALİZİ.....	48
E2.1 İNDİS YA DA RAYLEİGH YÖNTEMİ.....	48
E2.2 GRUPLANDIRMA YA DA BUCKİNGHAM TEOREMİ.....	48
EK.3 EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİ.....	52
EK.4 BİLGİSAYAR PROGRAMI.....	56

ÖZET

Bu çalışmada, küre yöntemi kullanılarak modifiye dodesil benzen sülfonik asit (MDDB)- Su sistemi için sıvı-sıvı kütle aktarım katsayısının bulunması amaçlanmıştır.

En önemli parametreler, doygunluk konsantrasyonu (C_s), anyon aktif madde miktarı (C_2) ve harcanan MDDB miktarı (Δw) dir. Daha sonra kütle aktarım faktörü (J_D), difüzyon katsayısı (D_{AB}) ve bazı boyutsuz sayıların (Re , Sc ve Sh) değerleri bulunmuştur.

Bu boyutsuz sayılar arasındaki bağıntının $Sh = \alpha Re^\beta Sc^\gamma$ şeklinde olduğu kabul edilerek katsayılar en küçük kareler yöntemi ile bulunarak lineer regresyon yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Korelasyon katsayısı (r) bire yakın bulunduğu için iyi sonuç alındığı kabul edilmektedir.

SUMMARY

In this study, liquid-liquid mass transfer coefficient is determined for the MDDDB-water system utilising the sphere method.

Values of saturation concentration (C_s), amounts of active anions (C_2) and MDDDB consumed (Δw) constitute some of the important parameters.

Mass transfer factor (J_D), diffusivity coefficient (D_{AB}) and some dimensionless numbers (Re, Sc and Sh) are obtained from the experimental data.

Assuming $Sh = \alpha Re^\beta Sc^\gamma$ holds, least squares method is employed to find α, β and γ . Since the correlation coefficient is found to be close to 1, the results are accepted as satisfacto

TABLO LİSTESİ

SAYFA NO

Tablo 3.1 MDDDB(1) ve DDB'nin (2) Damla Sayısı Yöntemiyle Yüzey Gerilimi Değerleri.....	22
Tablo 3.2 Birinci Çalışma Bulguları.....	26
Tablo 3.3 Birinci Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri.....	26
Tablo 3.4 İkinci Çalışma Bulguları.....	28
Tablo 3.5 İkinci Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri.....	28
Tablo 3.6 Üçüncü Çalışma Bulguları.....	29
Tablo 3.7 Üçüncü Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri.....	29
Tablo 3.8 Dördüncü Çalışma Bulguları.....	30
Tablo 3.9 Dördüncü Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri.....	30
Tablo 3.10 Beşinci Çalışma Bulguları.....	31
Tablo 3.11 Beşinci Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri.....	31
Tablo 3.12 Altıncı Çalışma Bulguları.....	32
Tablo 3.13 Altıncı Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri.....	32
Tablo 3.14 Yedinci Çalışma Bulguları.....	33
Tablo 3.15 Yedinci Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri.....	33
Tablo 3.16 Sh, Re ve Sc Sayıları ve Logaritmik Değerleri	34
Tablo E.1.1 Toz Deterjan İçindeki Maddeler.....	42
Tablo E.1.2 İyon Tipine Göre Yüzey Aktif Maddeler.....	48

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil 2.1 Islak Cidarlı Kolon.....	4
Şekil 2.2 Küre Yöntemi.....	5
Şekil 2.3 Kütle Aktarım Katsayısının Akış Hızı İle İlişkisi.....	6
Şekil 2.4 Sh ile $Re^{0.5} Sc^{0.33}$ Arasındaki İlişki.....	6
Şekil 3.1 Deney Cihazı.....	11
Şekil 3.2 MDDB'nin Kalibrasyon Eğrisi.....	16
Şekil 3.3 MDDB'nin Doygunluk Konsantrasyonu Eğrisi..	18
Şekil 3.4 MDDB ve DDB'nin Yüzey Gerilimi Eğrisi (Çeşitli Konsantrasyonlar İçin).....	23
Şekil 3.5 Sh Numarasının Re_p ve Sc 'ye Bağımlı Olarak Değişmesi (Regresyon Sonuçları).....	34
Şekil 3.6 Sh , Sc ve Re Sayılarının Regresyonla Bulun- nan Lorgaritmik Değerleri.....	35
Şekil E3.1 En Küçük Kareler Metodu.....	52

SEMBOL LİSTESİ

- a : Absorbans
- A,B : Bileşenler
- ABS : Alkil Benzen Sülfonat
- A_1 : Halka Boşluğu Kesiti Alanı
- A_C : Kolon Kesitinin Alanı
- A_p : Kürenin Yüzey Alanı
- C_A : A'nın Konsantrasyonu
- C_{AB} : Gaz veya Sıvı İçin Film Konsantrasyonu
- C_S : MDDB'nin Doygunluk Konsantrasyonu
- C_1 : MDDB Çözeltisinin Konsantrasyonu
- C_2 : Anyonik Aktif Madde Miktarı
- C_3 : Kalibrasyon Eğrisinden Alınan Anyon Aktif Madde Miktarı
- % C : MDDB İçinde Anyon Aktif Maddesi Yüzdesi
- d : Çap
- d_1 : Halka Boşluğu Çapı
- d_c : Kolon Çapı
- d_p : Küre Çapı
- D : Eğriden Sapma Değeri
- D_{AB} : Difüzyon Katsayısı
- DDB : Dodesil Benzen Sülfonik Asit
- E : MDDB'nin Eşdeğer Tartımı
- E_1 : MDDB Numunesinin Miktarı
- f : Hyamin Faktörü
- g : Yerçekim İvmesi
- Gr : Grashof Sayısı
- J_D : Kütle Aktarım Faktörü

k, k_C	: Zıt Yönlü Eşit Molar Akımlı Aktarım İçin Kütle Aktarım Katsay
k_G, k_y	: Gazlar İçin Kütle Aktarım Katsayısı
k_L, k_X	: Sıvılar İçin Kütle Aktarım Katsayısı
L	: Uzunluk Boyutu
LAB	: Lineer Alkil Benzen
LAS	: Lineer Alkil Benzen Sülfonat
LC ₅₀	: Zehirlilik Değeri
m	: Temel Fiziksel Büyüklüklerin Sayısı
M	: Ağırlık Boyutu
M'	: Piknometredeki Suyun Ağırlığı
M _B	: B'nin Molekül Ağırlığı
MDDB	: Modifiye Dodesil Benzen Sülfonik Asit
n	: Toplam Fiziksel Büyüklüklerin Sayısı
n ₀	: Suyun Damla Sayısı
n ₁	: MDDB Çözeltisinin Damla Sayısı
n ₂	: DDB Çözeltisinin Damla Sayısı
n _i	: Çözelti Damla Sayısı
N _A	: Kütlele Akı
N	: Normalite
P _A	: A Bileşenin Kısmi Basıncı
Pe	: Peclet Sayısı
r	: Korelasyon Katsayısı
R	: Alkil Grubu
Re	: Reynolds Sayısı
Re _c	: Reynolds Sayısı (Kolon Çapı İçin)
Re _p	: Reynolds Sayısı (Halka Boşluğu Çapı İçin)
S	: Hyamin Tüketim Miktarı
S ₂	: Hata Kareleri Toplamı

- Sc : Schmidt Sayısı
Sh : Sherwood Sayısı
St : Stanton Sayısı
t : Deney Süresi
t_O : Viskozimetreden Suyun Boşalma Süresi
t_n : MDDB veya DDB Çözeltisinin Viskozimetreden boşalma Süresi
T : Çözelti Sıcaklığı
T_O : Suyun Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarının Ortalama Değeri
T' : MDDB'nin Tartımı
u : Akış Hızı
u_C : Akış Hızı (Kolon Çapı İçin)
u_p : Akış Hızı (Halka Boşluğu Çapı İçin)
v : Deney Cihazı Çıkışından Alınan Numune Hacmi
V : Akış Debisi
V' : Piknometre Hacmi
V_A : A'nın Normal Kaynama Noktasındaki Molar Hacmi
ΔW : Deneyde Çözünen MDDB'nin Ağırlık Farkı
X^T : X'in Transpozesi
X_A : A Bileşenin Su Fazındaki Mol Kesri
Y_A : A Bileşenin Gaz Fazındaki Mol Kesri
Y_O : Deneyden Bulunan Değerlerin Ortalaması
Y_i : Deneyden Bulunan Değer
 \overline{Y}_i : Regresyon ile Bulunan Değer
α, β, γ : Katsayılar
α' : Grashof Sayısına Bağlı Bir Fonksiyon
γ₁ : MDDB Çözeltisinin Yüze Gerilimi
γ₂ : DDB Çözeltisinin Yüze Gerilimi
γ₁ : Çözelti Yüze Gerilimi

- ρ : Suyuna Yoğunluğu
- ρ_1 : MDDB Çözeltisinin Yoğunluğu
- ρ_2 : DDB Çözeltisinin Yoğunluğu
- ρ_l : Çözelti Yoğunluğu
- ρ_n : MDDB veya DDB Çözeltisinin Yoğunluğu
- $\Delta\rho$: Doğal Konveksiyon Halinde İki Faz Arasındaki Yoğunluk Farkı
- μ : Akışkan Viskozitesi
- μ_1 : MDDB Çözeltisinin Viskozitesi
- μ_2 : DDB Çözeltisinin Viskozitesi
- μ_n : Çözelti Viskozitesi
- ϕ : Çözücü İçin Birleşme Faktörü
- $\pi_1 - \pi_6$: Boyutsuz Sayılar
- τ : Zaman Boyutu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kütle aktarımı üzerine son 30 yıl içinde sıvılar ve gazlar ile geniş çapta araştırmalar yapılmıştır. Sıvılara ait bulguların pek çoğu bir sıvı akımında uygun katıların çözünme hızının ölçülmesi ile elde edilmiştir. Deneysel sonuçlar ise boyutsuz grupları içeren yaklaşımlarla açıklanmıştır. Boyutsuz gruplar Chilton-Colburn kütle aktarım faktörü, Sherwood sayısı, Schmidt sayısı ve Reynolds sayısını içermektedir. Değişik klasik boyutsuz sayılar, araştırmacılar tarafından farklı olarak tanımlanmıştır. Örneğin, kütle aktarım faktörü için genel tanımlama $Sc^{2/3}$ grubunu içerir (1). Bazı durumlarda bu katsayı 0,58'dir (2,3). İlk ciddi deneysel çalışma, Gamson, Thodos ve Hougen tarafından yapılmıştır. Bu araştırmacılar, suyla doyurulmuş küresel ve silindirik taneciklerden, çevrelerinde akmakta olan havaya kütle aktarımını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçları Chilton ve Colburn tarafından tarif edilen J_D faktörü ile açıklayarak kütle aktarım faktörü J_D ve Re sayısı arasında bağıntılar bulmuşlardır (4).

Re sayısı 250'den büyük olduğu takdirde aşağıdaki bağıntı geçerlidir (5):

$$Sh = 0.94 Re^{0.5} Sc^{0.33} \quad (1.1)$$

Küresel taneciklerle bir akışkan arasındaki ısı ve kütle aktarımı için

$$Sh = \alpha' + \beta' Sc^{0.33} Re^{0.5} \quad (1.2)$$

ilişkisi bilinmektedir (5).

α' sabiti Grashof sayısının bir fonksiyonu olarak değişmekle birlikte, Grashof sayısı sıfıra yakın olduğunda, yaklaşık 2'ye eşit olmaktadır (5).

BÖLÜM 2

KÜTLE AKTARIM KATSAYILARININ DENEYSEL OLARAK BULUNMASI

Kütle aktarım katsayılarının deneysel olarak bulunması konusunda başlıca iki yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

2.1 ISLAK CİDARLI KOLON YÖNTEMİ

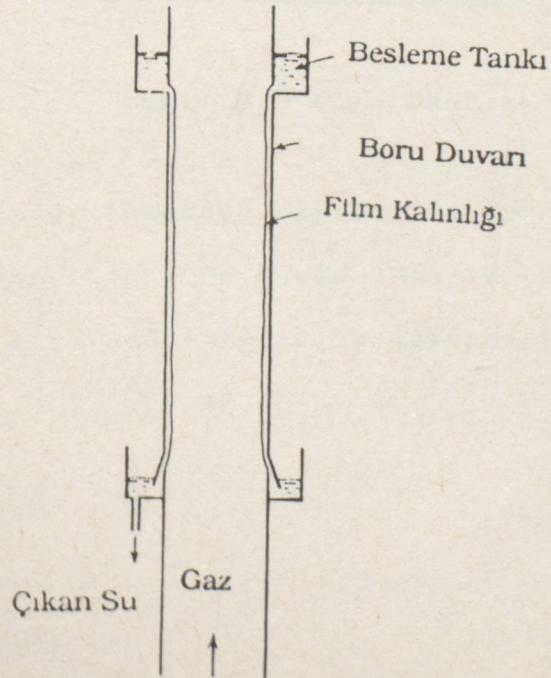
Bu yöntemde Şekil 2.1'de görüldüğü gibi sıvı, ince bir film halinde kolon çeperlerinden aşağıya doğru akarken buna ters yönde bir gaz yukarı doğru hareket etmektedir. Ters akım yöntemine göre çalışan bu sistemde gaz fazı için (6):

$$N_A = k_y (Y_{A1} - Y_{A2}) = k_G (P_{A1} - P_{A2}) \quad (2.1)$$

sıvı fazı için;

$$N_A = k_x (X_{A1} - X_{A2}) = k_L (C_{A1} - C_{A2}) \quad (2.2)$$

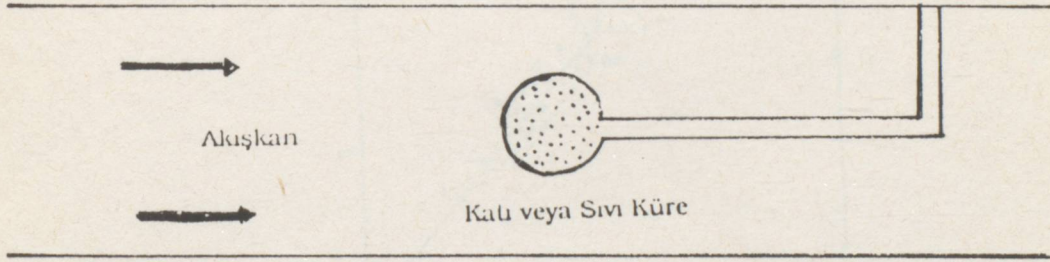
eşitlikleri kullanılarak N_A ve konsantrasyon ölçümlerinden film tipi kütle aktarım katsayısına geçilir.



Şekil 2.1 Islak Cidarlı Kolon (7)

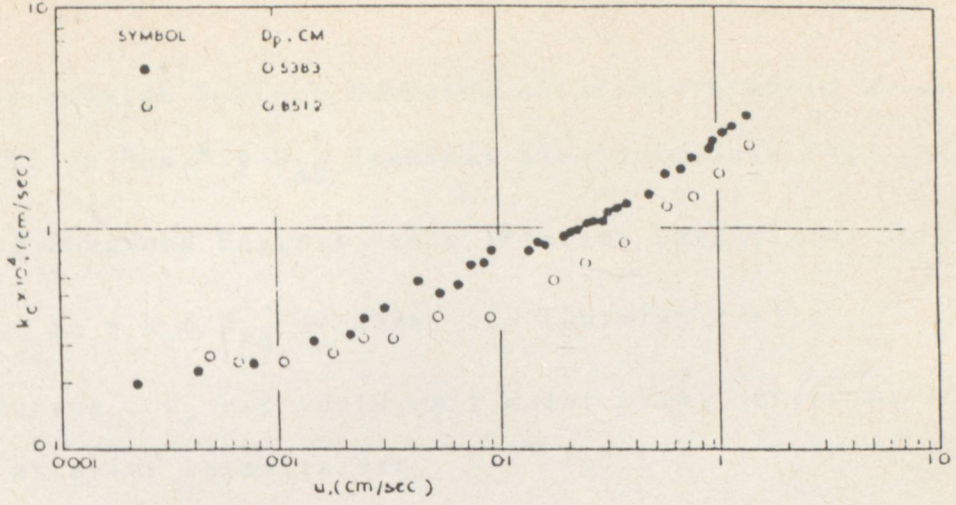
2.2 KÜRE YÖNTEMİ

Bu yöntemde (6.7) Şekil 2.2'de görüldüğü gibi katı veya sıvı bir kütle ağırlığı ölçüldükten sonra ölçümün yapılacağı bir gaz veya sıvı ortamına belirlenmiş şartlarda yerleştirilerek gaz veya sıvı akışı sağlanır. Belli bir süre sonra sistemden alınıp tartılarak kütlesi ölçülür. Kütle kaybından kütlelesel akıya geçilir ve gaz veya sıvı filmindeki film konsantrasyonu deney şartlarında bulunan (C_{AB}) ve pratik olarak sıfır olan ortalama konsantrasyon arasındaki farkla birlikte kütle aktarım katsayısına geçilir. Bu yolla katı-gaz, katı-sıvı, sıvı-gaz ve sıvı-sıvı sistemleri için kütle aktarım katsayısı ölçümleri yapmak mümkündür (7,8).

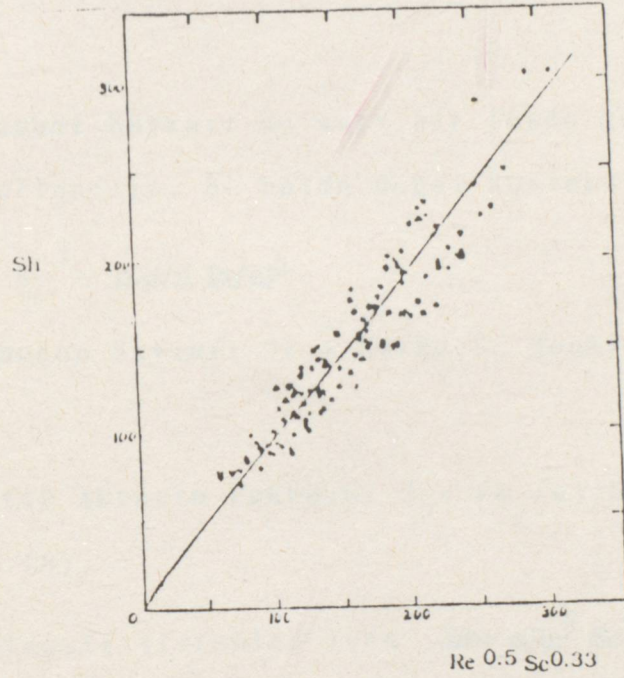


Şekil 2.2 Küre Yöntemi

Literatürde, Sherwood sayısı ile Reynolds - Schmidt sayıları arasındaki ilişki ve kütle aktarım katsayıları ile düşük akış hızları arasındaki ilişki aşağıdaki şekillerle gösterilmektedir (8).



Şekil 2.3 Kütle Aktarım Katsayısının Akış Hızı ile İlişkisi



Şekil 2.4 Sh ile $Re^{0.5} Sc^{0.33}$ Arasındaki İlişki (1)

2.3 KÜTLE AKTARIMINDA EN ÇOK KULLANILAN BOYUTSUZ SAYILAR

a) Reynolds Sayısı: Sistem içindeki akışın hareketlerini belirtir ve atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranıdır.

$$Re = \frac{du \rho}{\mu} \text{ olarak tanımlanır (3).} \quad (2.3)$$

Ağırlık kuvvetlerinin ihmal edildiği iki sistemde Re sayıları aynı ise dinamik benzerlik vardır yani hız dağılımları aynıdır (3).

b) Schmidt Sayısı: Momentum aktarımının kütle aktarımına oranıdır ve $Sc = \mu / \rho D_{AB}$ denklemi ile tanımlanır (4). (2.4)

c) Sherwood Sayısı: Kütle aktarımı katsayısını içerir.

$$Sh = k_c d / D_{AB} \text{ denklemi ile tanımlanır (5).} \quad (2.5)$$

Burada , k_c zıt yönlü eşit molar akımlı aktarımı için kütle aktarımı katsayısıdır.

d) Peclet Sayısı: $Pe = Re.Sc = du / D_{AB}$ denklemi ile tanımlanır (6). (2.6)

e) Grashof Sayısı: Bu sayı bir fazda yoğunluk farkı olduğu zaman kullanılır. Bu halde doğal konveksiyon vardır (7).

$$Gr = gl^3 \cdot \Delta\rho / \rho \cdot (\rho / \mu)^2 \quad (2.7)$$

f) Stanton Sayısı: $St = Sh / Re.Sc$ denklemi ile tanımlanır (4). (2.8)

g) Kütle Aktarım Faktörü: $J_D = (k_c / u) Sc^{2/3}$ bağıntısı ile tanımlanır (8). (2.9)

Türbülanslı sistemler için $Sh = \alpha Re^\beta Sc^\gamma$ ifadesi, özel şartlarda ise $ReSc = du / D_{AB}$ ifadesi geçerlidir.

2.4 KÜTLE AKTARIM VERİLERİNİN NÜMERİK BİR METOTLA DENENMESİ VE KÜRE YÖNTEMİ İÇİN UYGULANMASI

Veriler en küçük kareler yöntemi (10) ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar 3. Bölümde, yöntem Ek.3'te bulunmaktadır.

2.5 KORELASYON KATSAYISI

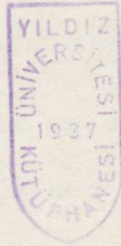
Değişkenler arasındaki korelasyon, korelasyon katsayısı adı verilen ve

$$r = \pm \sqrt{\frac{\sum (\bar{Y}_1 - Y_0)^2}{\sum (Y_1 + Y_0)^2}}$$

(2.10)

denklemleri ile tanımlanan katsayıları ile ölçülür. Korelasyon katsayısı, "r" + 1 ve -1 arasında değişik değerler olabilir. "r" -1 ya da + 1'e eşit olması halinde değişkenler arasında mükümmel bir korelasyonun olduğu; "r"nin sifıra eşit olması halinde ise değişkenler arasında herhangi bir korelasyon olmadığı söylenebilir (10).

BÖLÜM 3



DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan deneysel çalışmalar iki farklı biçimde gerçekleştirilmiştir.

- Sabit sıcaklıkta ve farklı debilerde,
- Sabit debide ve farklı sıcaklıklarda.

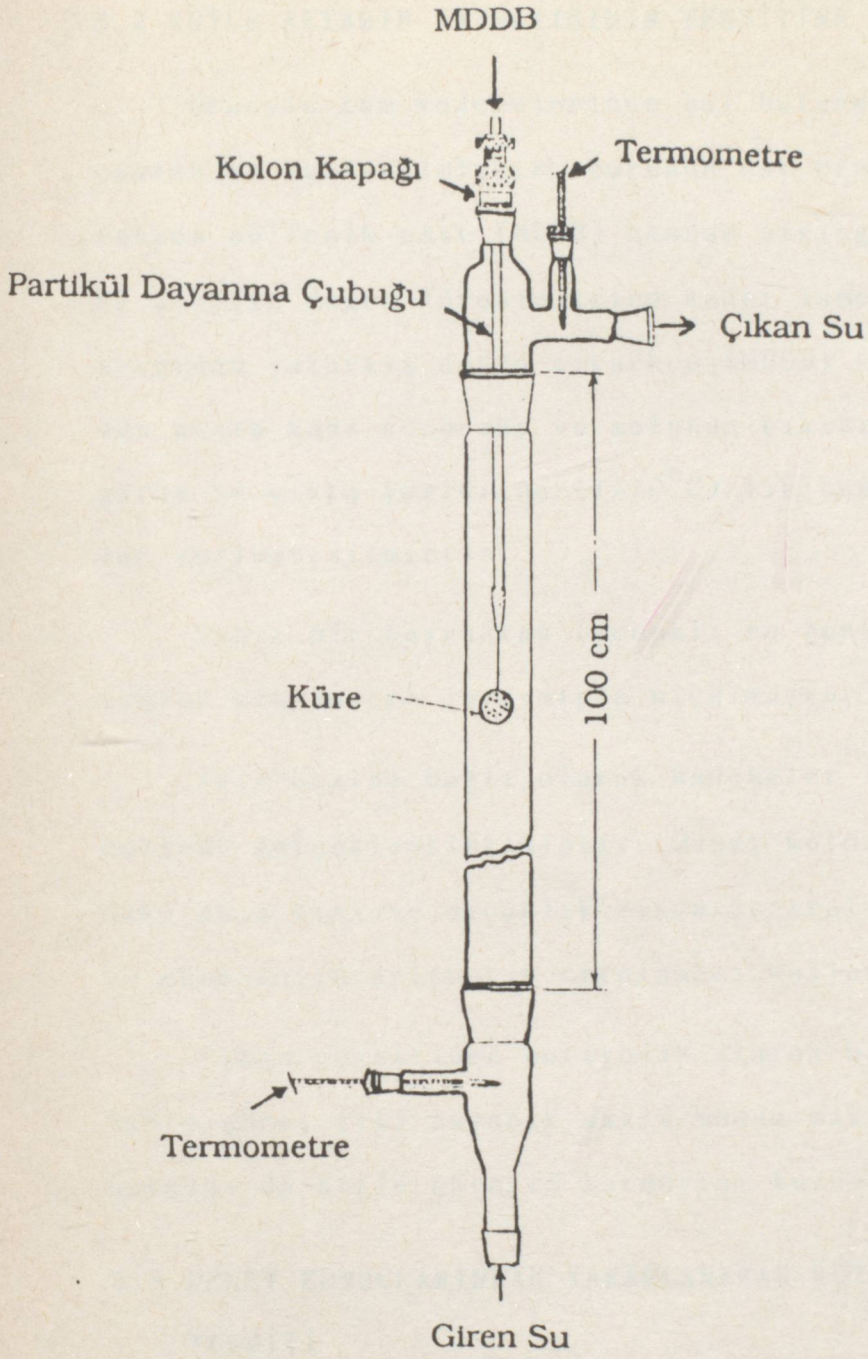
Bu deneysel çalışmalarda elde edilen çözeltilerin anyonik aktif madde miktarı (C_2) kalibrasyon eğrisi ile saptanmıştır. Bununla beraber, MDDB doygunluk konsantrasyonu deneysel olarak saptanmıştır.

Bunun ardından kütle aktarım katsayısı için boyut analizi gerçekleştirilmiş ve boyutsuz gruplar oluşturulmuştur. Oluşturulan modelin ($Sh = \alpha Re^\beta Sc^\gamma$) katsayıları α , β ve γ en küçük kareler yöntemiyle hesaplanmıştır.

Suyun yoğunluk ve viskozite değerleri Tablo 3.2 - 3.15'te verilmektedir. MDDB'nin yoğunluğu deneylerde 1.1 g/cm^3 olarak bulunmuştur.

3.1 DENEYDE KULLANILAN CİHAZ

Deneyde kullanılan cihaz, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi 4.3 cm iç çapında camdan bir kolon olup düzeneğe dikey olarak yerleştirilmiştir. Kolonun içinde 100 cm uzunluğunda ve 5 mm iç çapında paslanmaz çelik bir boru ve bunun ucunda da 1 mm gözeneklere sahip 2.41 cm dış çapında küçük alüminyum bir küre bulunmaktadır. Cihazdan geçen suyun sıcaklığı girişte ve çıkışta (1/10) luk hassasiyetli termometrelerle ölçülmüştür.



Şekil 3.1 Deney Cihazı

3.2 KÜTLE AKTARIM KATSAYISININ TESBİTİNE AİT DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyin tüm kademelerinde bol bulunması nedeniyle akışkan olarak su kullanılmıştır. Borunun üst ucundan modifiye dodesil benzen sülfonik asit (MDDB) hassas şırınga yardımıyla eklenmiş ve aşağıya doğru kürenin içine kadar inmesi sağlanmıştır. Su aşağıdan yukarıya doğru çıkarken (MDDB) kürenin gözeneklerinden sızıp suda çözülmüş ve kolonun çıkışından çıkmıştır. Suyun giriş ve çıkış yerlerine (1/10°C) lık hassaslıkta termometreler yerleştirilmiştir.

Sabit bir kaynaktan (pompalı su banyosu) pompalanan suyun debisi kronometre yardımıyla ölçülmüştür.

Akış hızına bağlı olarak kademeler 10 dakikalık süreler halinde gerçekleştirilmiştir. Deney kolonunun giriş ve çıkışındaki akış hızı ve sıcaklık sıkça kontrol edilmiş ve hesaplarda bu okumaların aritmetik ortalaması kullanılmıştır.

Çıkan çözeltiden periyodik olarak numuneler alınmış ve TS 518'e göre, (11) anyonik aktif madde miktarı tayin edilmiş, buradan da kütle aktarım katsayısı bulunmuştur.

3.3 DENEY SONUÇLARINDAN YARARLANARAK KÜTLE AKTARIM KATSAYISININ TESBİTİ

Kütle aktarım katsayısı her kademe için zaman ve çözünen miktardan hesaplanır (1).

$$k_c = \frac{\Delta W}{A_p t (C_s - C_2)} \quad (3.1)$$

k_c = Kütle aktarım katsayısı (cm/s)

A_p = Kürenin yüzey alanı (cm²)

t = Deneyin süresi (s)

ΔW = MDDB'in ağırlık farkı (g)

C_2 = Deney cihazından çıkan çözeltinin anyonik aktif madde konsantrasyonu (g/l)

C_s = MDDB'in doygunluk konsantrasyonu (g/l)

3.3.1 Anyonik Aktif Madde Miktarı Tayini

3.1.1.1 Cihaz ve Malzemeler

- a) Ayırma hunisi, 250 ml'lik,
- b) Ölçülü balonlar, 50,100 ve 500 ml'lik,
- c) Balon, dibi yuvarlak, traşlı,
- d) PH Metre,
- e) Fotometre 650 nm dalga boyunda ölçüm yapabilen, 1-5 cm optik yollu hücreleri olan,
- f) Kalitatif süzgeç kağıtları.

3.3.1.2 Reaktifler

- a) Tampon çözeltisi, PH=10

24 g sodyum bikarbonat ve 27 g susuz sodyum karbonat destile suda çözülür ve litreye tamamlanır.

- b) Metilen mavisi çözeltisi nötr

0,35 g metilen mavisi destile suda çözülür ve litreye tamamlanır. Bu çözelti kullanımdan en az 24 saat önce hazırlanmalıdır. Kloroforma karşı ölçülen tanık kloroform fazının absorbansı, 650 nm'de her 1 cm optik yol için 0,015'i geçmemelidir.

c) Metilen mavisi çözeltisi, asidik

0,35 g metilen mavisi 500 ml destile su ve 6,5 ml H_2SO_4 ($\rho = 1,84 \text{ g/cm}^3$) ile litreye tamamlanır. Bu çözelti kullanımdan en az 24 saat önce hazırlanmalıdır. Kloroforma karşı ölçülen tanık kloroform fazının absorbandsı 650 nm'de 1 cm optik yol için 0,015'i geçmemelidir.

d) Kloroform, yeni damıtılmış,

e) Modifiye dodesil benzen sülfonik asit,

f) Potasyum hidroksit çözeltisi, 0,1 Metanollü,

g) Etanol, mutlak ,

h) Sülfürik asit çözeltisi, 0,5 M, ayarlı,

i) Fenolftaleyn çözeltisi,

1 g fenolftaleyn, 50 ml etanolde çözülür, karıştırılarak 50 ml destile su ilave edilir. Herhangi bir çökelek oluşursa süzülür,

j) Metanollü hidroklorik asit çözeltisi

250 ml hidroklorik asit 750 ml metanol ile karıştırılır,

k) Deney numunesi,

Deney cihazının çıkışından periyodik olarak numuneler alınır.

3.4 MDDB ÇÖZELTİSİNE AİT ABSORBANS TAYİNİ

Belli hacimde numune (v), gerekirse nötrleştirilerek 250 ml'lik ayırma hunisine alınır. Numunede 20-150 mg civarında aktif madde bulunmalıdır. Anyonik aktif madde miktarı düşük ise, numune hacmi 100 ml'ye kadar artırılabilir. Numune hacmi (v) 100 ml'den az ise su ile 100 ml'ye tamamlanır. 10 ml

tampon çözeltisi, 5 ml nötr metilen mavisi ve 15 ml kloroform ilave edilir. Bir dakika süreyle çok şiddetli olmamak koşulu ile iyice karıştırılır. Faz ayrılması için beklenir ve kloroform fazı, içinde 110 ml su ve 5 ml asidik metilen mavisi bulunan ikinci bir ayırma hunisine alınır. 1 dakika süreyle çalkalanan kloroform fazı, temizlenmiş ve kloroform ile ıslatılmış bir pamuk süzgeçten 50 ml'lik ölçülü balona süzülür.

Her defasında 10'ar ml kloroform kullanılarak alkali ve asidik çözeltiler üç kez ekstrakte edilir ve birleştirilen kloroform ekstraktları aynı süzgeçten süzülerek 50 ml'lik balona eklenir ve süzgecin temizlenmesinde kullanılan kloroform ile 50 ml'ye tamamlanır.

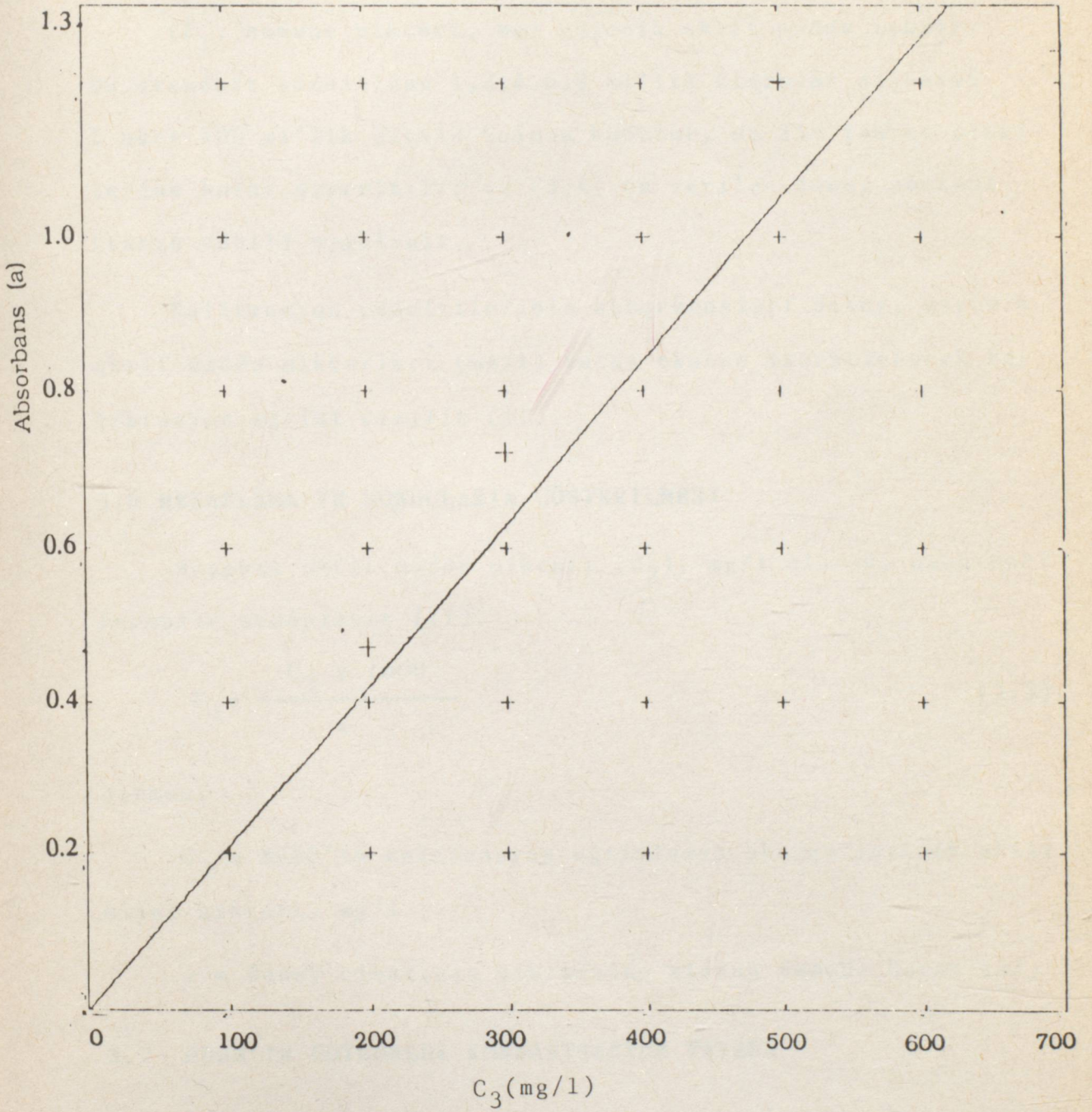
Kloroform fazının absorbanansı, kloroform ile sıfır ayarı yapılmış fotometrede 650 nm dalga boyunda 1-5 cm optik yollu hücreler kullanılarak ölçülür.

Aynı reaktifler kullanılarak bir tanık deney yapılır (11).

3.5 KALİBRASYON EĞRİSİNİN HAZIRLANMASI

Tartım pipeti kullanılarak 400-450 mg modifiye dodesil benzen sülfonik asit 0,1 g yaklaşımla tartılır, yuvarlak tabanlı balona alınır, 50 ml alkollü Potasyum hidroksit ilave edilerek 30 ml etanolle balon içinde yıkanır. Çözelti fenolftaleyn indikatörüne karşı sülfürik asit ile titre edilir. Çözelti 1000 ml'lik ölçülü balona alınarak su ile litreye tamamlanır ve karıştırılır.

Bu çözeltilerden 25 ml alınarak 500 ml'lik ölçülü balona aktarılır. Su ile işaret çizgisine kadar seyreltilir ve karıştırılır.



Şekil 3.2 MDDB'in Kalibrasyon Eğrisi (12)

Bu çözeltinin 1 ml'si;

$$\frac{E_1 \times 1,023}{20000}, \text{ mg} \quad (3.2)$$

(E_1 , numune miktarı, mg) anyonik aktif madde içerir. Bu standart çözeltiden 1,2,4,6,8 ml'lik kısımlar alınarak 5 adet 100 ml'lik ölçülü balona konular, su ile işaret çizgilerine kadar seyreltilir ve (3,4) de verilen deney yöntemi (tanık dahil) uygulanır.

Kalibrasyon çözeltilerinin absorbanları dikey, anyonik aktif madde miktarları (mg/l) yatay eksene işaretlenerek kalibrasyon eğrisi çizilir (11).

3.6 HESAPLAMA VE SONUÇLARIN GÖSTERİLMESİ

Anyonik aktif madde miktarı (C_2), mg/l olarak, aşağıdaki formülle hesaplanır (11).

$$C_2 = \frac{C_3 \times 1000}{v} \quad (3.3)$$

Burada;

C_3 = MDDB'in kalibrasyon eğrisinden okunan anyonik aktif madde miktarı, mg/l

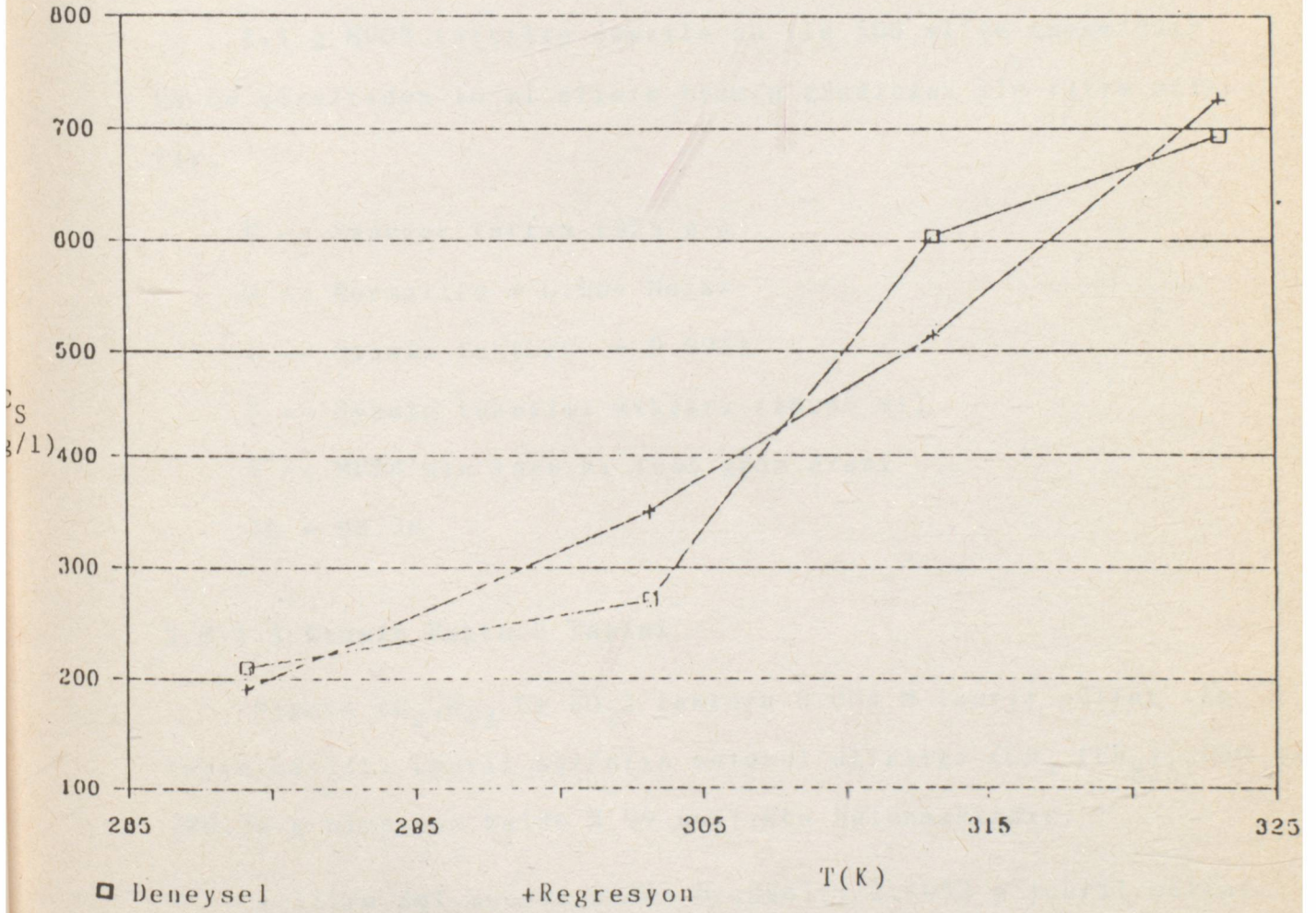
v = Deney cihazının çıkışından alınan numune hacmi (ml)

3.7 MDDB'İN DOYGUNLUK KONSANTRASYON TAYİNİ

Literatürde MDDB'in doygunluk konsantrasyonu bulunmadığı için deneysel olarak çeşitli sıcaklıklarda tespit edilmiş olan konsantrasyon değerleri regresyon analiziyle istenen ara sıcaklıklar için tespit edilmiş ve konsantrasyon (C_s) ile sıcaklık

arasında Şekil 3.3'de gösterildiği gibi bir grafik çizilmiştir. Böylece grafikten istenen sıcaklık için C_s doğrudan bulunmuştur. MDDB'nin doyumluk konsantrasyonu sıcaklık artmasıyla deneysel olarak aşağıdaki gibi bulunmuştur.

T(K)	289,16	303,16	313,16	323,16
C_s (g/l)	210,052	271,06	604,383	693,584



Şekil 3.3 MDDB İçin Doygunluk Konsantrasyonu Eğrisi

3.8 MDDB'IN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

3.8.1 Anyonik Aktif Madde Miktarı Tayini

Anyon aktif madde miktarı % C (Yüzde olarak) aşağıdaki gibi bulunur:

$$\% C = \frac{E \times N \times f \times S}{T'} \cdot \frac{500}{10} \cdot \frac{100}{1000} \quad (3.4)$$

1.1 g MDDB tartılıp destile su ile 500 ml'ye tamamlanır ve bu çözeltilerden 10 ml alınıp hyamin çözeltisi ile titre edilir.

E -- Eşdeğer tartım (324 g)

N -- Normalite = 0.004 Molar

f -- Hyamin faktörü = 0.9951

S -- Hyamin tüketimi miktarı (16.85 ml)

T' -- MDDB'nin tartımı 1-1.5 gram arası

%C = 98.76

3.8.1.1 Hyamin Faktörü Tayini

Hyamin ($C_{27}H_{42}ClNO_2$) faktörü 0.004 M louril sülfat ile tayin edilir. Louril sülfatın molekül ağırlığı ($CH_3(CH_2)_{11}OSO_3Na$) 288.38 g olup toz halde % 99 saflıkta bulunmaktadır.

1 litre saf sudaki 0,004 M çözelti 1.1652 g louril sülfat içerir. Tayin için üç adet titrasyon büretine 10 ar ml 0.004 M louril sülfat çözeltisi konur, üzerine 25 ml metilen mavisi, ve 15 ml kloroform ilave edilip hyamin çözeltisi ile titre edilir.

3.8.1.2 Hyamin Çözeltisi Hazırlanması

Hyaminin molekül ağırlığı 448.10 g olup % 99 saflıkta bulunmaktadır. 1 litre saf sudaki 0.004 M çözelti 1.8105 g hyamin içerir.

Titrasyon büretinde 25 ml metilen mavisi + 5 ml kloroform + 10 ml Louril sülfat çalkalanır. Çalkalama işleminde dikkat edilmesi gereken nokta; metilen mavisi ile kloroform fazları birbirine eşit olana kadar titrasyon yapılır. Fazlar eşit olduğu zaman titrasyona son verilir, ve tüketim kaydedilir.

3.8.2 Viskozite Bakımından MDDB ve DDB Arasındaki Fark

MDDB'in ve DDB'in viskozitesini doğrudan ölçmek mümkün olmadığından saf suda % 1'lik çözeltilerinin viskoziteleri 15 °C sıcaklıkta incelenmiştir.

Viskozite damla sayısı yöntemiyle aşağıdaki bağıntıdan hesaplanmıştır (13). Suyun yoğunluk ve viskozite değerleri literatürden (14) alınmıştır.

$$\mu_n = \mu \frac{\rho_n \cdot t_n}{\rho \cdot t_0} \quad (3.5)$$

Burada su için t_0 değeri 36,9 saniyedir.

% 1 MDDB için $t_1 = 39$ saniye

% 1 DDB için $t_2 = 38.05$ saniye

Bu veriler yukarıdaki bağıntıda kullanıldığı zaman viskozite değerleri şöyle bulunmuştur:

MDDB için $\mu_1 = 1.1908 \times 10^{-2}$ poise

DDB için $\mu_2 = 1,1561 \times 10^{-2}$ poise

3.8.3 Yüzey Gerilimi Bakımından (20°C) MDDB ve DDB Arasındaki Fark

Çeşitli konsantrasyonlarda çözeltiler hazırlanmış ve deney damla sayısı yöntemiyle (13) yapılmıştır.

Suyun damla sayısı = 281

Suyun yüzey gerilim = 72.5 dyn/cm

$$V' = \frac{M'}{\rho} \quad (3.6)$$

$$M' = 9,8607 \text{ g}$$

$$\rho = 0.9982 \text{ g/cm}^3$$

$$V' = 9.8783 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_i = \gamma \frac{n}{n_i} \cdot \frac{\rho_i}{\rho} \quad (3.7)$$

3.9. DENEY SONUÇLARINDAN BOYUTSUZ SAYILARIN HESABI

a) Reynolds Sayısı:

Çapa Göre İki Re Sayısı Vardır.

Pelete göre Re sayısı (Re_p)

$$Re_p = \frac{d_1 \cdot \rho \cdot u_p}{\mu} \quad (3.8)$$

$$u_p = \frac{V}{A_1} = \frac{4V}{\pi d_1^2} \quad (3.9)$$

A_1 = Halka boşluğu kesiti alanı (cm^2)

d_1 = $(d_c - d_p)$ Halka boşluğu çapı (cm)

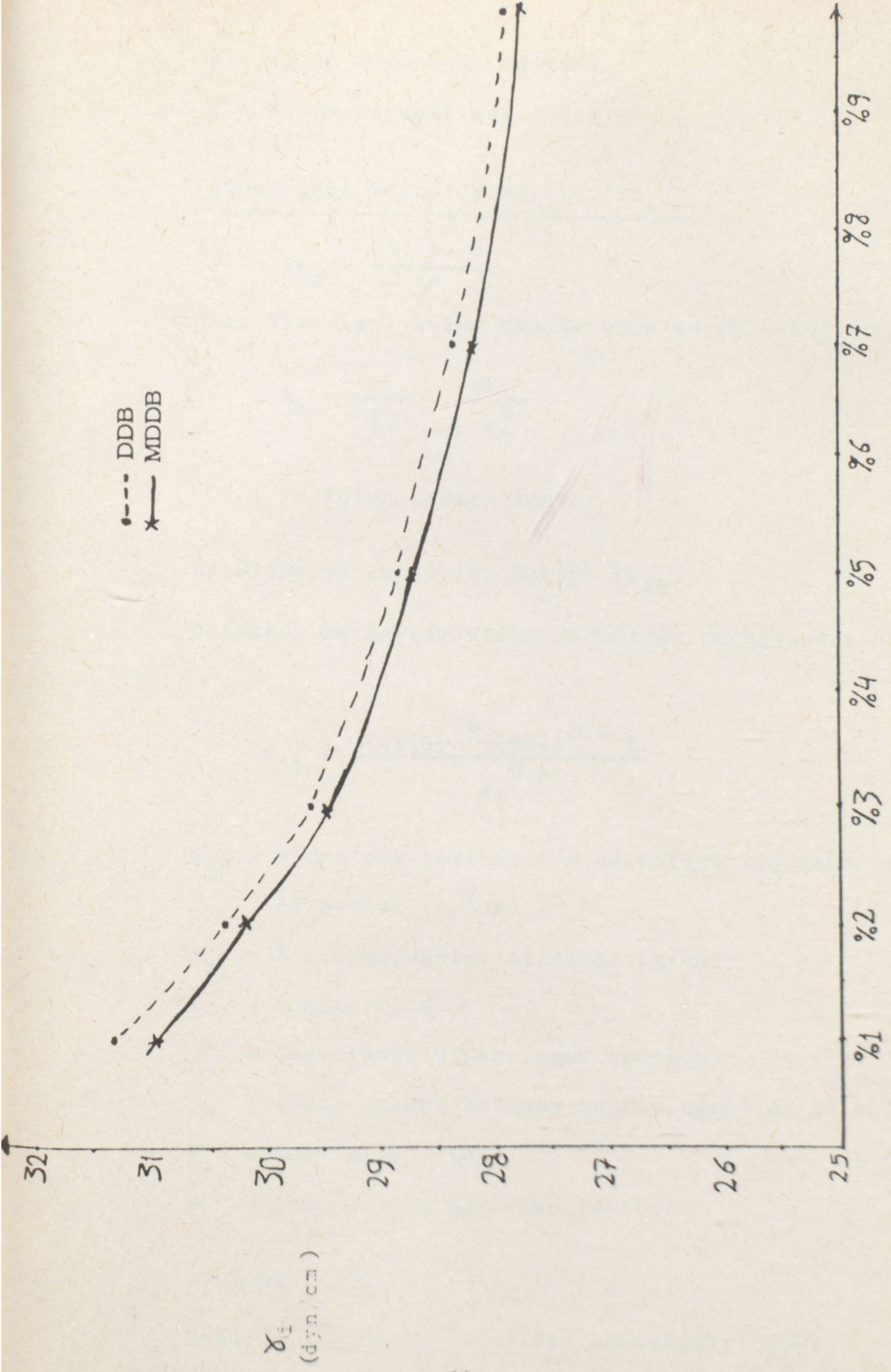
d_c = kolon çapı (cm)

d_p = Küre çapı (cm)

V = Akış debisi (ml/s)

Tablo (3-1) MDDB (1) ve DDB'nin (2) Damla Sayısı Yöntemiyle Yüzey Gerilim Değeri.

C_1 n, ρ ve γ değerleri (g/l)	% 1	% 2	% 3	% 5	% 7	% 10
n_1	660	678	695	714	730	742
n_2	649	674	681	712	726	740
ρ_1	0.9963	1.0010	1.0029	1.0048	1.0061	1.0085
ρ_2	1.0012	1.0021	1.0026	1.0041	1.0053	1.0115
γ_1	30.96	30.13	29.45	28.72	28.12	27.73
γ_2	31.33	30.34	30.04	28.78	28.26	27.89



Konsantrasyon (g / l)

Şekil 3.4 DDB ve MDDB'nun Yüzey Gerilimi Eğrisi (Çeşitli Konsantrasyonlar için).

ρ = Suyun yoğunluğu (g/cm³)

μ = Suyun viskozitesi (g/cm.s)

Kolona göre Reynolds sayısı (Re_c)

$$Re_c = \frac{d_c \rho \cdot u_c}{\mu} \quad (3.10)$$

Akış hızı (u_c) kolon çapına göre şöyle hesaplanır:

$$u_c = \frac{V}{A_c} = \frac{4V}{d_c^2} \quad (3.11)$$

A_c = Kolon kesiti alanı

b) Difüzyon katsayısı hesabı (D_{AB})

Difüzyon katsayısı Wilke ve Change formülünden hesaplanır

(9).

$$D_{AB} = \frac{7,4(10^{-8})(\phi M_B)^{0.5} T}{V_A^{0.6}} \quad (3.12)$$

D_{AB} = A'nın çok seyreltik B çözeltisi içindeki difüzyon katsayısı (cm²/s)

M_B = B'nin moleküler ağırlığı (g/mol)

T = Sıcaklık, K

μ = Çözeltinin viskozitesi (g/cm.s)

V_A = A'nın normal kaynama noktasındaki molal hacmi (m³/kmol)

V_A = 0,0756 su için

ϕ = Çözücü için birleşme faktörü

c) Schmidt Sayısı (Sc)

Schmidt sayısı şu formülden hesaplanır (1,9)

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} \quad (3.13)$$

d) Kütle aktarım faktörü (J_D)

Kütle aktarım faktörü şu formülden hesaplanır (1,9)

$$J_D = (K_c / u_p) Sc^{2/3} \quad (3.14)$$

k_c = Kütle aktarım katsayısı (cm/s)

e) Sherwood Sayısı (Sh)

Sherwood sayısı şu formülden hesaplanır (1,3,9)

$$Sh = k_c d_p / D_{AB} \quad (3.15)$$

k_c : Kütle aktarım katsayısı (cm/s)

d_p : Küre çapı (cm).

3.10 ÇALIŞMA BULGULARI

3.10.1. Birinci Çalışma

Sabit Sıcaklıkta ($T=15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Değişik debiler için (23.8-40 ml/s arasındadır)

Kürenin yüzey alanı (A_p)= 18.24 cm²

Deney süresi (t)= 10 dakika

Tablo (3-2) Birinci Çalışma Bulguları

DENEY NO:	a	C ₃ mg/l	T ₀ (°C)	V (ml/s)	C _s g/l	C ₂ g/l	u _c ×10 cm/s	u _p ×10 cm/s	ρ.10 ³ g/cm ³	μ cP	ΔW.10 ⁻² (ml)
1	0.1088	49.2	15.5	19.6	212.085	0.492	13.4	69.8	999.022	1.1242	11
2	0.116	12.3	15.6	23.80	212.492	0.123	16.38	84.8	999.024	1.1248	13
3	0.624	271.0	15.5	20.83	212.085	2.710	14.34	74.2	999.022	1.1242	12
4	0.116	12.3	15.5	25	212.085	0.123	17.21	89.1	999.022	1.1242	11
5	0.04	18.4	15.5	40	212.085	0.184	27.54	142.5	999.022	1.1242	13

Tablo (3-3) Birinci Çalışmanın k_c, D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri

DENEY NO	k _c ×10 ⁸ cm/s	D _{AB} ×10 ⁶	j _D ×10 ⁴	Re _c	Re _p	Sc	Sh×10 ⁴
1	5.911	3.442	301	512	1172	3269	413
2	6.957	3.440	292	625	1423	3272	487
3	6.539	3.441	314	547	1246	3269	457
4	5.899	3.442	235	657	1496	3269	413
5	6.974	3.442	174	1052	2393	3269	488

3.10.2. İkinci Çalışma

Sabit Sıcaklıkta ($T=30\text{ }^{\circ}\text{C}$)
Değişik debiler için (2.63 - 5.55 ml/s arasındadır)
Kürenin yüzey alanı (A_p)= 18.24cm²
Deney süresi (t)= 10 dakika

Tablo (3 - 4) İkinci Çalışma Bulguları

DENEY NO:	a	C ₃ mg/l	T _o (°C)	V (ml/s)	C _s g/l	C ₂ g/l	u _c x10 ³ cm/s	u _p x10 ² cm/s	ρ.10 ³ g/cm ³	μ cP	ΔWx10 ² (ml)
6	0.56	246.3	28.7	2.63	265.772	2.463	1.81	9.37	996.032	0.8234	14
7	0.84	394.2	29.5	2.77	269.026	3.942	1.9	8.97	995.797	0.8093	14
8	1.3	628.2	29.5	3.92	269.0264	6.282	2.69	13.9	995.797	0.8093	15
9	0.40	184.7	31.5	5	321.134	1.847	3.44	17.8	995.184	0.7759	17
10	0.84	394.2	31.6	5.55	324.472	3.942	3.82	19.7	995.153	0.7743	17

Tablo (3-5) İkinci Çalışmanın k_c, D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri

DENEY NO	k _c x10 ⁸ cm/s	D _{AB} x10 ⁶	j _D x10 ⁴	Re _c	Re _p	Sc	Shx10 ⁴
6	4.293	4.913	432	94	214	1682	210
7	4.169	5.012	407	100	208	1621	200
8	4.498	5.012	283	142	323	1621	216
9	4.633	5.262	190	189	431	1481	212
10	4.640	5.275	170	211	478	1474	211

3.10.3. Üçüncü Çalışma

Sabit Sıcaklıkta ($T=40\text{ }^{\circ}\text{C}$)
Değişik debiler için (1.22 - 8.19 ml/s arasındadır)
Kürenin yüzey alanı (A_p)= 18.24 cm^2
Deney süresi (t)= 10 dakika

Tablo (3 - 6) Üçüncü Çalışma Bulguları

DENEY NO:	a	C_3 mg/l	T_o ($^{\circ}\text{C}$)	V (ml/s)	C_s g/l	C_2 g/l	$u_c \times 10^3$ ucm/s	$u_p \times 10^2$ cm/s	$\rho \cdot 10^3$ g/cm 3	μ cP	$\Delta W \times 10^2$ (ml)
11	0.256	123.1	37.1	1.22	508.077	1.231	84	43.4	993.29	693.3	16
12	0.472	221.7	37.8	1.81	531.445	2.217	124	64.5	993.08	684.0	17
13	0.256	123.1	38.0	2.04	539.791	1.231	140	72.7	992.94	680.7	19
14	0.256	123.1	38.0	3.57	539.791	1.231	245	127	992.94	680.7	23.1
15	0.832	307.9	38.5	8.19	556.482	3.079	563	291	992.76	674.3	22

Tablo (3-7) Üçüncü Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri

DENEY NO	$k_c \times 10^8$ cm/s	$D_{AB} \times 10^6$	$j_D \times 10^4$	Re_c	Re_p	Sc	$Sh \times 10^4$
11	3.490	5.998	363	51	117	1163	140
12	3.619	6.573	176	83	190	971	132
13	3.998	6.127	229	87	200	1118	157
14	4.861	6.127	159	153	350	1118	191
15	4.561	6.195	62	356	809	1096	177

3.10.4. Dördüncü Çalışma

Sabit Sıcaklıkta ($T^{\circ}C=50$)

Değişik debiler için (2.08 - 10.86 ml/s arasındadır)

Kürenin yüzey alanı (A_p)= 18.24 cm²

Deney süresi (t)= 10 dakika

Tablo (3-8) Dördüncü Çalışma Bulguları

DENEY NO:	a	C ₃ mg/l	T _o (°C)	V (ml/s)	C _s g/l	C ₂ g/l	u _c ×10 ³ cm/s	u _p ×10 ² cm/s	ρ.10 ³ g/cm ³	μ cP	ΔW×10 ² (ml)
16	0.824	369.5	46.2	2.08	660.323	3.695	1.43	7.41	989.684	0.5857	22
17	1.3	628.2	50.3	7.40	696.244	6.282	5.09	26.3	987.901	0.5707	26
18	0.824	369.5	47.7	2.63	673.627	3.695	1.81	9.37	989.035	0.5649	25
19	0.912	431.1	48.3	5.55	678.727	4.311	3.82	19.7	988.772	0.5512	25
20	0.824	369.5	49.8	10.86	691.810	3.695	7.47	38.7	988.127	0.5466	27

Tablo (3-9) Dördüncü Çalışmanın k_c, D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri

DENEY NO	k _c ×10 ⁸ cm/s	D _{AB} ×10 ⁶	j _D ×10 ⁴	Re _c	Re _p	Sc	Sh×10 ⁴
16	3.468	7.309	102	103	236	809	114
17	3.597	7.596	26	378	860	760	114
18	3.747	7.614	75	136	310	750	118
19	3.676	7.817	31	294	667	713	113
20	3.783	7.919	15	580	1322	698	115

3.10.5. Beşinci Çalışma

Sabit debide ($V = 10 \text{ ml / s}$)

Değişik sıcaklıklar için ($24 \text{ }^\circ\text{C} - 50.2 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındadır)

Kürenin yüzey alanı (A_p)= 18.24 cm^2

Deney süresi (t)= 10 dakika

Tablo (3-10) Beşinci Çalışma Bulguları

DENEY NO:	a	C_3 mg/l	T_o ($^\circ\text{C}$)	V (ml/s)	C_s g/l	C_2 g/l	$u_c \times 10^3$ cm/s	$u_p \times 10^2$ cm/s	$\rho \cdot 10^3$ g/cm 3	μ cP	$\Delta W \times 10^2$ (ml)
21	0.824	369.5	50.2	9.25	695.375	3.695	6.36	32.9	987.946	0.5476	30
22	0.824	369.5	41	9.52	613.757	3.695	6.55	33.9	991.83	0.6439	22
23	0.835	381.8	35.2	9.09	446.319	3.818	6.25	32.3	993.948	0.719	20
24	0.612	258.6	31.4	10	284.413	2.586	6.88	35.6	995.216	0.7784	18
25	0.38	172.4	24	9.80	246.656	1.724	6.74	34.9	997.296	0.9142	16

Tablo (3-11) Beşinci Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri

DENEY NO	$k_c \times 10^8$ cm/s	$D_{AB} \times 10^6$	$j_D \times 10^4$	Re_c	Re_p	Sc	$Sh \times 10^4$
21	4.149	7.914	20	493	1121	700	126
22	4.171	6.539	40	433	986	992	153
23	4.714	5.749	77	371	843	1258	197
24	4.935	5.244	102	378	860	1491	226
25	5.986	4.356	253	316	719	2104	331

3.10.6. Altıncı Çalışma

Sabit debide ($V = 6.34 \text{ ml / s} = \text{Sabit}$)
Değişik sıcaklar için ($25.4 \text{ }^\circ\text{C} - 35.3 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındadır)
Kürenin yüzey alanı (A_p)= 18.24 cm^2
Deney süresi (t)= 10 dakika

Tablo (3-12) Altıncı Çalışma Bulguları

DENEY NO:	a	C_3 mg/l	T_o ($^\circ\text{C}$)	V (ml/s)	C_s g/l	C_2 g/l	$u_c \times 10$ cm/s	$u_p \times 10$ cm/s	$\rho \cdot 10^3$ g/cm ³	μ cP	$\Delta W \times 10^2$ (ml)
26	0.835	381.8	35.3	6.21	447.988	3.818	4.27	22.1	993.928	0.7183	22
27	1.3	628.2	32.05	6.25	339.494	6.282	4.30	22.2	994.557	0.7671	21
28	0.472	221.7	28.8	6.27	266.179	2.217	4.31	22.3	996.003	0.8216	20
29	0.38	172.4	27.3	6.17	260.281	1.724	4.24	21.9	996.41	0.8486	18
30	0.37	160.1	25.4	6.32	252.350	1.601	4.35	22.5	996.941	0.8857	17

Tablo (3-13) Altıncı Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri

DENEY NO	$k_c \times 10^8$ cm/s	$D_{AB} \times 10^6$	$j_D \times 10^4$	Re_c	Re_p	Sc	$Sh_x \times 10^4$
26	5.175	5.755	123	254	577	1255	216
27	5.663	5.332	177	239	543	1446	255
28	6.102	4.925	255	224	510	1674	298
29	5.830	4.746	285	214	486	1794	296
30	5.983	4.518	342	210	478	1966	319

3.10.7. Yedinci Çalışma

Sabit debide ($V = 3.99 \text{ ml / s} = \text{Sabit}$)

Değişik sıcaklar için ($15.55 \text{ }^\circ\text{C} - 38 \text{ }^\circ\text{C}$ arasındadır)

Kürenin yüzey alanı (A_p)= 18.24 cm^2

Deney süresi (t)= 10 dakika

Tablo (3-14) Yedinci Çalışma Bulguları

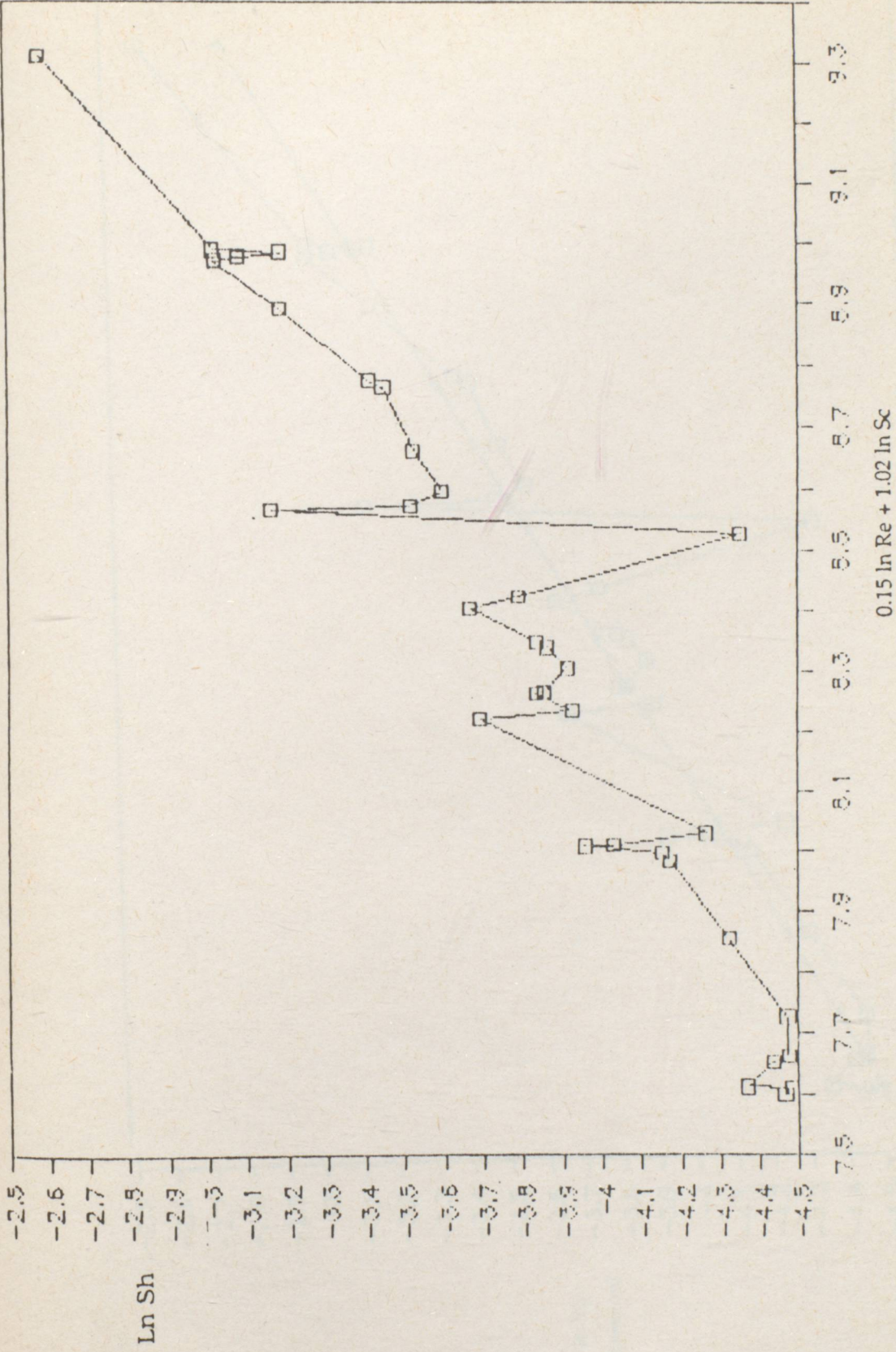
DENEY NO:	a	C_3 mg/l	T_o ($^\circ\text{C}$)	V (ml/s)	C_s g/l	C_2 g/l	$u_c \times 10$ cm/s	$u_p \times 10$ cm/s	$\rho \cdot 10^3$ g/cm ³	μ cP	$\Delta W \times 10^2$ (ml)
31	1.3	628.2	29.8	4.00	270.246	6.282	2.75	14.2	995.707	0.8041	30
32	0.256	123.1	38	3.90	531.445	1.231	2.68	13.8	992.965	0.6814	30
33	0.820	357.2	31.1	3.96	274.398	3.572	2.72	14.1	995.31	0.7823	10
34	0.136	61.5	15.5	4.03	212.288	0.615	2.77	14.3	999.022	1.1242	20
35	0.56	246.3	31.5	4.08	321.134	2.463	2.80	14.5	995.184	0.7759	22

Tablo (3-15) Yedinci Çalışmanın k_c , D_{AB} ve Boyutsuz Sayı Değerleri

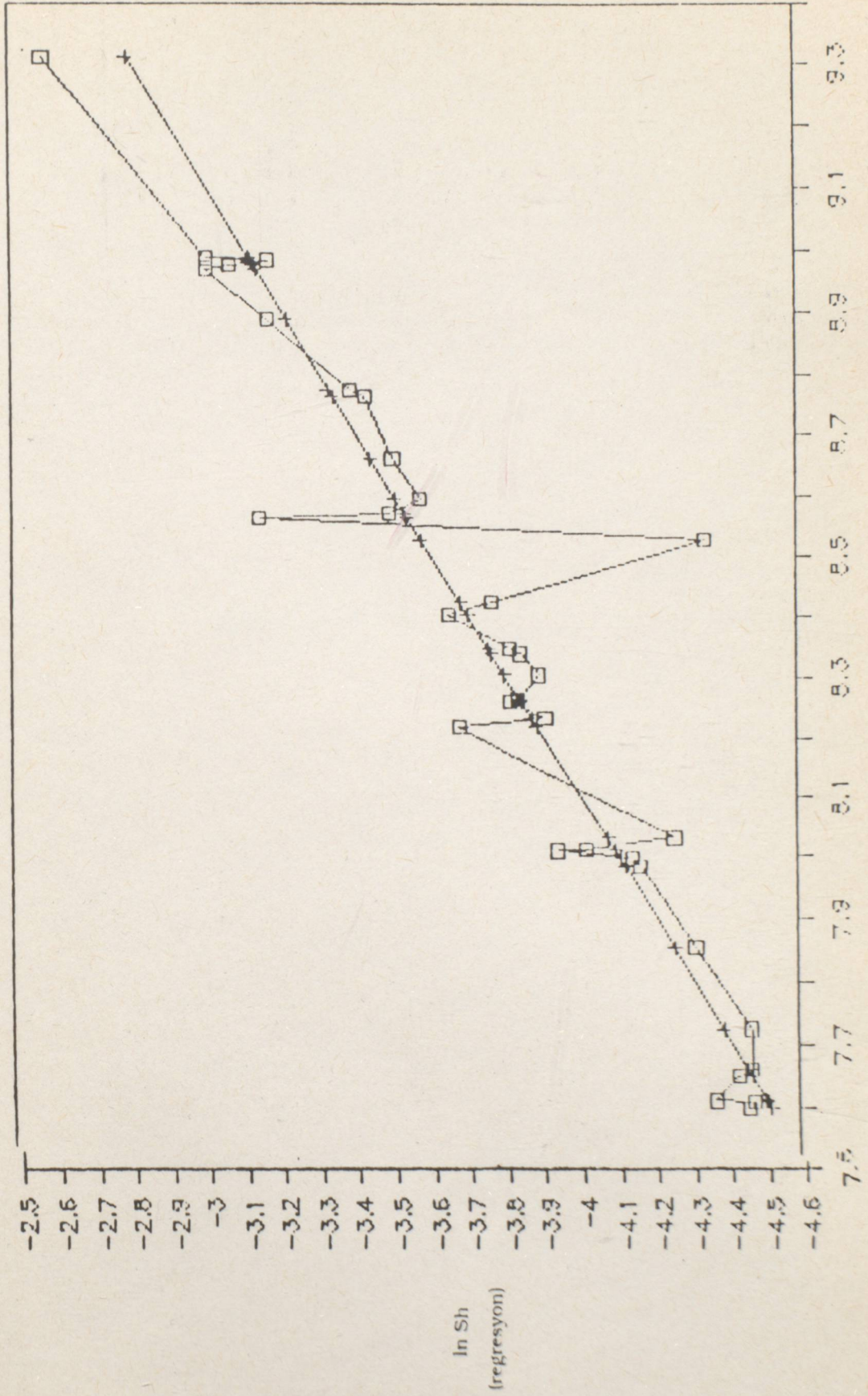
DENEY NO	$k_c \times 10^8$ cm/s	$D_{AB} \times 10^6$	$j_D \times 10^4$	Re_c	Re_p	Sc	$Sh \times 10^4$
31	8.883	5.049	533	146	332	1599	423
32	6.325	6.120	192	167	380	1121	249
33	2.783	5.212	149	148	339	1507	128
34	10.750	3.442	2679	105	240	3269	752
35	6.006	5.262	303	154	351	1481	275

Tablo (3-16) Sh, Sc ve Re Sayıları ve Logaritmik Değerleri

Deney No.	Sh .10 ⁴	ln Sh	Sc	lnSc	Re _p	ln Re _p	ln Sh (regresyon)
1	413	-3.186	3269	8.092	1172	7.066	-3.227
2	487	-3.022	3272	8.093	1423	7.260	-3.061
3	457	-3.085	3269	8.092	1246	7.127	-3.125
4	413	-3.186	3269	8.092	1496	7.310	-3.227
5	488	-3.020	3269	8.092	2393	7.780	-3.059
6	210	-3.863	1682	7.427	214	5.365	-3.913
7	200	-3.912	1621	7.390	208	5.337	-3.962
8	216	-3.835	1621	7.390	323	5.777	-3.885
9	212	-3.853	1481	7.300	431	6.066	-3.903
10	211	-3.858	1474	7.295	478	6.169	-3.871
11	140	-4.268	1163	7.058	117	4.762	-4.323
12	132	-4.327	971	6.878	190	5.247	-4.383
13	157	-4.154	1118	7.019	200	5.298	-4.208
14	191	-3.958	1118	7.019	350	5.857	-4.009
15	177	-4.034	1096	6.999	809	6.695	-4.086
16	114	-4.474	809	6.695	236	5.463	-4.532
17	114	-4.474	760	6.633	860	6.756	-4.532
18	118	-4.439	750	6.620	310	5.736	-4.496
19	113	-4.482	713	6.569	667	6.502	-4.540
20	115	-4.465	698	6.548	1322	7.186	-4.523
21	126	-4.374	700	6.551	1121	7.021	-4.430
22	153	-4.179	992	6.899	986	6.893	-4.233
23	197	-3.927	1258	7.137	843	6.736	-3.978
24	226	-3.789	1491	7.307	860	6.756	-3.383
25	331	-3.408	2104	7.650	719	6.577	-3.452
26	216	-3.835	1255	7.134	577	6.357	-3.884
27	255	-3.669	1446	7.276	543	6.297	-3.716
28	298	-3.513	1674	7.422	510	6.234	-3.558
29	296	-3.519	1794	7.492	486	6.186	-3.564
30	319	-3.445	1966	7.583	478	6.169	-3.489
31	423	-3.162	1599	7.377	332	5.805	-3.203
32	249	-3.692	1121	7.021	380	5.940	-3.743
33	128	-4.358	1507	7.317	339	5.826	-4.414
34	752	-2.58	3269	8.092	240	5.480	-2.613
35	275	-3.593	1481	7.300	351	5.860	-3.639



Şekil 3.5 Sh Numarasının Re_p ve Sc 'ye Bağımlılı Olarak Değişmesi (Regresyon Sonuçları)



Sekil 3.6 Sh, Sc ve Re Sayıların Regresyonla Bulunan Logaritmik Değerleri

BÖLÜM 4

TARTIŞMA VE SONUÇ

Deneyleerde, hatalar temel olarak pompadan kaynaklanmaktadır. Çünkü su banyosundaki su seviyesinin değişmesiyle suyun debisi değişir dolayısıyla akış hızı ve kütle aktarım katsayısında hatalar meydana gelir. Kolona giren suyun, sıcaklığı kararlı olmadığından ve difüzyon katsayısı sıcaklığa bağlı olduğu için değeri biraz değişir. Bu yüzden kolona sabit sıcaklıkta ve debide su verebilen bir pompa gerekmektedir.

Ayrıca, anyon aktif madde miktarı kalibrasyon eğrisinden alındığı için yapılan deneylerde okuma hatası vardır. Küre yöntemi ile yapılan $2,78 \cdot 10^{-8}$ cm/s - $10,75 \cdot 10^{-8}$ cm/s arasındadır ve bu sonuç literatürle uyumludur.

Yapılan hesaplarda Re sayısı 117-2393 aralığı içinde elde edilmiştir. Deneylerde yaklaşık 15-50°C sıcaklıkları arasında çalışılmıştır. Elde edilen neticeleri ifade edecek korelasyon $Sh = \alpha Re^{\beta} Sc^{\gamma}$ olarak kabul edilmiştir. Deney sonuçları lineer regresyon metoduyla incelenmiş ve bilgisayar programı yardımıyla α , β ve γ hesaplanmıştır. Bilgisayar programından elde edilen α , β ve γ değerleri ve elde edilen model aşığıdaki gibidir:

$$\ln \alpha = - 12.2031$$

$$\alpha = 5.4 \times 10^{-6}$$

$$\beta = 0.15$$

$$\gamma = 1.02 \text{ 'dir,}$$

$$Sh = 5.4 \times 10^{-6} Re^{0.15} Sc^{1.02}$$

Bu model matematiksel olarak daha düzgün bir şekilde modifiye edilmiştir,

$$Sh' = 5.4 \times 10^{-6} Re^{0.15} Sc$$

Korelasyon katsayısı $r = 0.94$ bulunduğu için Sherwood, Schmidt ve Reynolds sayıları arasındaki bağıntı olumlu bir sonuç vermiş kabul edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Upadhyay, S.N., Singh, M., Dwivedi, P.N. and Tripathi, G., "Material Transport from Nonspherical particles", Journal Chemical and Engineering Data, Vol. 21, No.2, 1976.
2. Steinberger, R.L. and Treybal, E., "Mass Transfer from Solid Soluble Sphere to a Flowing Liquid Stream", A.I.Ch.E Journal, Vol. 6, No.2, 1960 .
3. Dwivedi, P.N. and Upadhyay. S.N., "Particle-Fluid Mass Transfer in Fixed and Fluidized Beds", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., Vol. 16., No.2, 1977.
4. Bennett, C. O. and Myers. J.E., "Momentum, Heat and Mass Transfer", second edition, Mc Graw Hill, 1974.
5. TMMOB, Kimya Mühendisleri Odası Yayını, "Kimya Mühendisliğinde Momentum, Isı ve Kütle Aktarımı", Ferizli Ofset, İzmir, 1980.
6. Ekinci, E., Okutan, H., "Kütle İletimi", İ.T.Ü., İstanbul, 1987.
7. Alpay, E., "Kütle Aktarımı", Ege Üniv.Müh.Fak. Kimya Müh. Böl., İzmir, 1984.
8. Kumar, S., Upadhyay, S.N. and Mathur V.K., "Low Reynolds Number Mass Transfer in Packed Beds of Cylindrical Particles", Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., Vol. 16, No.1, 1977.
9. Treybal, R.E., "Mass Transfer Operations", Mc Graw Hill Book Company Inc., New York, 1955.
10. Barkana, A., "Basic Programlama ve Nümerik Hesap", 2. baskı, Eskişehir, 1983.

11. Türk Standartları - TS 518, "Sentetik Deterjanlar", 1990.
12. PU 8700 Series UV/VIS Spectrophotometers Pye Unicam Ltd.,
Cambridge, England, 1986.
13. Berkem, A., "Fiziko Kimya Kitabı", İstanbul, 1968.
14. Perry, R.H., Green, D., "Perry's Chemical Engineers Handbook",
6 th Ed., Mc Graw Hill, New York, 1984.
15. Standard Method For the Examination of Water and Waste
Water", Sixteen th Edition, American Public Health
Association, Washington, 1985.
16. Mişancı, S., "Sabun ve Deterjan Üretimi", İ.T.Ü., Kimya
Bölümü, Bitirme Ödevi, İstanbul, 1986.
17. Savaşçı, T., "Deterjanlar", Deterjan Kirliliği Sempozyum ve
Paneli , 30-31 Mart, İzmir, 1987.
18. Ersoy, Y., Mert, M., "Boyut Analizi ve Fiziksel Ölçüler",
Yayın No. 55, ODTÜ, Ankara, 1977.

EKLER

EK.1 DETERJAN ÖZELLİKLERİ

E.1.1 SENTETİK DETERJANLARIN KİMYASAL YAPISI

Sentetik deterjanlar ağırlıkça % 30 oranda yüzey aktif maddeler ve su sertliğini kontrol eden, kirlerin yeniden çökmesini önleyen, köpüğün kararlılığını temin eden katkı maddeleri içeren, organik maddelerin belli bir orandaki karışımından meydana gelmiş maddelerdir (15).

Aşağıdaki tabloda tipik bir toz deterjandaki maddeler ve ağırlık yüzdeleri gösterilmiştir.

Tablo E.1.1 Toz Deterjan İçindeki Maddeler (16)

Madde	Ağırlık %
Organik yüzey aktif madde	10-30
Anorganik katkılar	20-60
Korozyon önleyici	5-15
Kir çökmesini önleyiciler	0.5-2
Köpük kontrol eden maddeler	0-5
Parfüm	<1

E.1.2 Yüzey Aktif Maddeler

Yüzey aktif maddeler, sentetik deterjanların en önemli bileşenleridir ve düşük konsantrasyonda olsalar bile içinde buldukları çözeltilerin yüzey özelliklerini değiştirme yeteneğine sahip maddeler olarak tamamlanırlar. Bu özelliklerin sayesinde yüzey gerilimini azaltıp köpük oluştururlar. Yüzey aktif maddeler özellik ve davranışlarını moleküllerin çift

karakterine borçludur. Bunlar yapılarında bir hidrofob grup ile suda çözünürlüğü sağlayan bir hidrofil grup içerirler. Yüze aktif maddeler için petrol, geniş bir hidrofob grup kaynağıdır. Hidrofob grubu genelde 8-18 C atomlu bir alifatik hidrokarbon zinciridir (16).

Yüze aktif maddeler iyon tipine göre Tablo E.1.2'deki gibi şu şekilde sınıflandırılır (17).

Tablo E.1.2 İyon Tipine Göre Yüze Aktif Maddeler

İyon tipi	Örnek	Molekül formülü
Anyonik	Karboksilatlar (Sabunlar)	$R - CH_2 - C \begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow OX_3 \end{matrix}$ R = C ₁₀ - C ₁₆
	Akıl benzen sülfonatlar	$R - \text{benzen} - SO_3 Na$ R = C ₁₀ - C ₁₃
	Alken sülfonatlar	$R_1 \diagup \text{CH} - SO_3 Na$ $R_2 \diagdown$ R ₁ + R ₂ = C ₁₁ - C ₁₇
	Yağ alkoller sülfatları	$R - CH_2 - O - SO_3 Na$ R = C ₁₁ - C ₁₇
Katyonik	Birincil amin	$RN^+ (CH_3)_3 Cl^-$
	İkincil amin	$R_2N^+ (CH_3)_2 Cl^-$
	Üçüncül amin	$R_3N^+ (CH_3) Cl^-$
Nomanyonik	Gliserol monösterat	$CH_2OHCH(OH)CH_2 - O - C \begin{matrix} \nearrow O \\ \searrow O \end{matrix}$ $(CH_2)_{16} CH_3$
Amfoterik	Amino asit	$R - CH(NH_3^+) - COO^-$

a) Anyonik Deterjanlar: Deterjanların en büyük sınıfını teşkil etmektedirler. Bunların anyonları hidrofob ve yüksek molekül ağırlıklı alifatikler veya aromatiklerdir. Bu deterjanlar kendilerine suda eriyebilme özelliği kazandıran bir asit grubu içerirler.


Anyonik deterjanların gruplarından birisi aktif aril sülfonatlarıdır.

Genel formülleri : $R-C_6H_4-SO_3Na$


R : Alkil grubu

$-C_6H_4-$: Aril veya benzen halkası

Bu gruba en iyi örnek dodesilbenzen sülfonattır.

Formülü: $C_{12}H_{25}-C_6H_4-SO_3H$ veya $C_{12}H_{25}$  $-SO_3H$

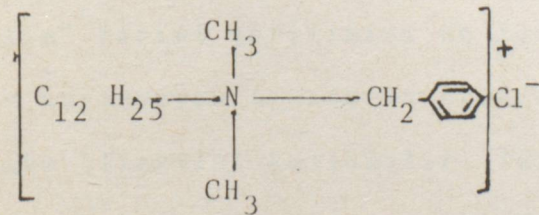
Diğer bir örnek lineer alkil benzen sülfonat (LAS) tır.

Formülü: $CH_3 (CH_2)_x$  $-SO_3H$

Burada $X=9-15$ arasında değişir. $X=11$ ve dallanmış ise dodesil benzen sülfonat olur (16).

b) Katyonik Deterjanlar: Katyonik deterjanlar nötrleştirilmeden üretilirler ve kuvvetli bir asitle nötrleştirilirler.

Katyonik deterjanlara örnek olarak kuaterner NH_4 karışımları gösterilebilir. Tipik yapıları şöyledir:



katyon

anyon

Katyonic deterjanlar genellikle değişmeyen amino bileşiklerdir. Bu bileşik substitue edilmiş NH_4Cl olarak tanımlanabilirler. Amonyum klorürdeki hidrojen atomlarının yerine değişik hidrokarbon grupları geçmiştir.

c) İyonik Olmayan Deterjanlar: Bunlar iyonik gruplar ihtiva etmezler. Bütün iyonik olmayan deterjanların büyük bir kısmı etilenoksit ile bir hidrofob kondenzasyon ürünüdür.

d) Amfoterik Deterjanlar: Bunlar asidik ve bazik grupların her ikisini de ihtiva ederler. Amfoterik bileşikler deterjan hammaddesi olarak her ne kadar fazla kullanılmıyorsa da bunlar kuaterner amonyum ve anyonik gruplar içermeleri nedeniyle dikkat çekerler. Amfoterik bileşiklerin yapıları çok karışıktır. Bazıları çok iyi köpük verdiklerinden ve pH nötr olduğundan saç şampuanları ve halı şampuanları yapımında kullanılır.

E.1.3 YÜZEY AKTİF MADDELERİN FİZİKSEL VE KİMYASAL DAVRANIşLARI

a) Yüzey Gerilimi: Bir hava su ara yüzeyindeki su molekülleri arasındaki ilgi yüzeydeki molekülleri suyun içine çekmeye çalışan bir durum gösterir ve yüzeyin mümkün olan en küçük alana sahip olacak şekle girmesi ayarlanır. Sıvının yüzeyinde olan ve yüzeyi kısıtlama eğilimi olan kuvvetlerin etkisi "Yüzey Gerilimi" olarak isimlendirilir. Birimi dyn/cm 'dir. "Ara yüzey gerilim" terimi gerilimini de içine alır. Genellikle birbirleriyle karışmayan sıvıların arasındaki veya katı ve sıvı arasındaki ilişkiler kullanılır. Yüzey gerilim ise genellikle gaz ve sıvı arasındaki ilişkiyi ifade eder. Sıcaklık artışıyla azalır. 1000 ppm derişimdeki yüzey aktif maddeler yüzey gerilimini % 50 azaltır. Yüzey geriliminin azalması köpük oluşumuna etki

eden etkenlerden biridir. Yüzey aktivitesinde amaç, emme, yayılma gibi, sistemin yüzey enerjisinin azaltılması ile ilgilidir (16).

b) Adsorbsiyon: Adsorbsiyon, faz sınır veya yüzeydeki derişim değişimini belirtir. Yüzeydeki derişim artışı "pozitif adsorpsiyon", azalması ise "negatif adsorbsiyon" olarak isimlendirilir. Sulu çözeltinin yüzey gerilimi saf suyunkinden küçükse pozitif adsorbsiyon sözkonusudur. Yüzey gerilim artarsa negatif adsorbsiyon görünür. Bu, çözelti moleküllerinin içe doğru hareket etmesi ve sıvının esas kısmında yüzeydekine oranla daha yüksek konsantrasyonda olmaları demektir. Birçok anorganik tuz negatif adsorblayıcıdır. Bu maddelerin çözeltilerinin yüzey gerilimi saf suyunkinden daha yüksektir. Diğer taraftan suda çözünebilen birçok organik madde pozitif adsorbsiyon özelliği göstererek suyun yüzey gerilimini azaltır. Yüzey aktif maddeler bu etkiyi hissedilir derecede gösterirler. Suyun yüzey geriliminde küçük miktarlardaki belli organik maddeler ile meydana gelen azalmanın önemi, aynı miktardaki anorganik madde ile sağlananınkinden daha büyüktür (16).

c) Biyolojik Bozunma Özelliği: DDB esaslı deterjan aktif maddelerinin biyolojik olarak parçalanma özellikleri BOD₅ testleriyle kısmen belirlenmiş olmakla birlikte, literatürde belirlenen test metotlarının uygulanabilmesi amacıyla "kesikli aktif çamur" ve "river die away" testlerine göre sonuçlar alınmıştır.

Aktif çamur sistemlerindeki havalandırma sürelerinin çok üzerindeki zamanlarda havalandırma yapılmasına rağmen LAB esaslı deterjan aktif maddelerinde istenilen oranlarda parçalanma

gerçekleştirilememiştir.

Deneylerde aktif çamur sistemlerindeki çamur, azot, fosfor ve havalandırma gibi parametreler ideale yakın koşullarda tutulmasına rağmen istenen parçalanma değerlerinin elde edilmemesi BOD₅ yorumlanabilmektedir. Bu durum ise LAB esaslı deterjan aktif maddelerinin her zaman değil de uygun bakteriyolojik ortamı bulması halinde parçalanabileceği şeklinde açıklanabilir (16).

EK. 2 BOYUT ANALİZİ

Fiziksel bir olaya tesir eden parametrelerin bilindiği fakat bu parametreler arasındaki matematiksel bağıntının bilinmediği bir durumda boyut analizi yapılarak olaya tesir eden parametreler arasında bir bağıntı kurulabilir. Boyut analizi bize sadece bu denklemde bulunacak boyutsuz sayıların arasındaki ilişkiyi verdiği için de denklemin tam tesbiti ancak deneysel olarak sağlanır. Böylece boyut analizi ile deney sayısı azaltılmış olur.

Boyut analizinde kullanılan en yaygın yöntemler aşağıdakiler. (4.18)

E2.1 İNDİS YA DA RAYLEIGH YÖNTEMİ:

Olaya tesir eden faktörlerden birisi diğerlerinin fonksiyonu olarak yazılır, iki tarafın boyutları karşılaştırılır.

E2.2 GRUPLANDIRMA YA DA BUCKİNGHAM Pİ TEOREMİ:

P tane temel büyüklük cinsinden ifade edilebilen n tane fiziksel büyüklüğü birbirine bağlayan ve boyutsal homojenliği tam olan bir fizik denklemi $k=n-m$ tane boyutsuz büyüklük arasında fonksiyonel bağıntıya indirger. [4]

n: toplam fiziksel büyüklüklerin sayısı

m: temel fiziksel büyüklüklerin sayısı

Örnek olarak kolon şeklindeki bir sistemde bir taneciğe olan kütle aktarım modelini oluşturalım.

Maddeye ait değişkenler:

ρ : yoğunluk $[M/L^3]$

μ : viskozite $[M/L \tau]$

d : kolon çapı $[L]$

Sisteme ait değişkenler:

k_c : kütle aktarım katsayısı $[L/\tau]$

$\Delta\rho$: yoğunluk farkı $[M/L^3]$

g : yerçekimi ivmesi $[M/L^2]$

u : akışkan hızı $[L/\tau]$

D_{AB} : difüzyon katsayısı olduğunda kütle aktarım modeli (cm^2/s)

$$k = (d)^{\alpha_1} (\rho)^{\alpha_2} (\mu)^{\alpha_3} (\Delta \rho)^{\alpha_4} (g)^{\alpha_5} (k_c)^{\alpha_6} (D_{AB})^{\alpha_7} (L)^{\alpha_8} \quad (E2-1)$$

Boyutsuz hale getirildiğinde Rayleigh çözümü

$$[L/\tau] = [L]^{\alpha_1} [M/L^3]^{\alpha_2} [M/L\tau]^{\alpha_3} [M/L^3]^{\alpha_4} [L/\tau^2]^{\alpha_5} [L/\tau]^{\alpha_6} [L^2/\tau]^{\alpha_7} [L]^{\alpha_8} \quad (E2-2)$$

Şeklinde oluşturup boyutsuz denklemlerin her boyut değerinin eşliği kullanıldığında

$$1 : M=0 \quad 0 = \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 \quad (E2-3)$$

$$2 : L=0 \quad 1 = \alpha_1 - 3\alpha_2 - \alpha_3 - 3\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + 2\alpha_7 + \alpha_8 \quad (E2-4)$$

$$3 : \tau = 0 \quad -1 = -\alpha_3 - 2\alpha_5 - \alpha_6 - \alpha_7 \quad (E2-5)$$

L/d sistem değişkeni ile ilgili boyutsuz sayılar için

$$\alpha_8 = \alpha_2 \quad (E2-6)$$

$$(E2-3) \text{ denkleminde; } \alpha_2 + \alpha_3 = -\alpha_4 \quad (E2-7)$$

$$(E2-4) \text{ denkleminde; } -\alpha_1 + 3\alpha_2 + \alpha_3 = -1 - 3\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + 2\alpha_7 + \alpha_8 \quad (E2-8)$$

$$(E2-5) \text{ denkleminde; } \alpha_3 = 1 - 2\alpha_5 - \alpha_6 - \alpha_7 \quad (E2-9)$$

(E2-5)'den α_3 , (E2-8)'te koyarsak:

$$\alpha_2 = \alpha_4 - [1 - 2\alpha_5 - \alpha_6 - \alpha_7] \quad (E2-10)$$

$$\alpha_2 = -1 - \alpha_4 + 2\alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7 \quad (E2-11)$$

α_2 değeri (E2-8)'de koyulursa:

$$-\alpha_1 + 3\alpha_2 + \alpha_3 = -1 - 3\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + 2\alpha_7 + \alpha_8 \quad (E2-12)$$

α_3 (E2-9)'den ve α_2 (E2-11)'den, (E2-8)'da koyulursa:

$$-\alpha_1 + 3(-1 - \alpha_4 + 2\alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_7) + (1 - 2\alpha_5 - \alpha_6 - \alpha_7) = -1 - 3\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + 2\alpha_7 + \alpha_8 \quad (E2-13)$$

$$-\alpha_1 - 3 - 3\alpha_4 + 6\alpha_5 + 3\alpha_6 + 3\alpha_7 + 1 - 2\alpha_5 - \alpha_6 - \alpha_7 = -1 - 3\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + 2\alpha_7 + \alpha_8 \quad (E2-14)$$

$$-\alpha_1 - 2 - 3\alpha_4 + 4\alpha_5 + 2\alpha_6 + 2\alpha_7 = -1 - 3\alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 + 2\alpha_7 + \alpha_8 \quad (E2-15)$$

$$\alpha_1 = -1 + 3\alpha_5 + \alpha_6 + \alpha_8 \quad (E2-16)$$

Sonuç denklemleri yerine koyarsak;

$$k = (d)^{\alpha_1} (\rho)^{\alpha_2} (\mu)^{\alpha_3} (\Delta P)^{\alpha_4} (g)^{\alpha_5} (k_c)^{\alpha_6} (D_{AB})^{\alpha_7} (L)^{\alpha_8} \quad (E2-17)$$

$$k = (d)^{(-1+3\alpha_5+\alpha_6-\alpha_8)} (\rho)^{(-1-\alpha_4-2\alpha_5+\alpha_6+\alpha_7)} (\mu)^{(1-2\alpha_5-\alpha_6-\alpha_7)} (\Delta P)^{\alpha_4} (g)^{\alpha_5} (u)^{\alpha_6} (D_{AB})^{\alpha_7} (L)^{\alpha_8} \quad (E2-18)$$

$$k = (\mu/\rho d) \cdot (\Delta \rho/\rho)^{\alpha_4} (d^3 \rho^2 g/\mu^2)^{\alpha_5} \cdot (d \rho u/\mu)^{\alpha_6} (D_{AB} \rho/\mu)^{\alpha_7} \cdot (L/d)^{\alpha_8} \quad (E2-19)$$

Boyutsuz sayılar [3,4,18]:

$$\pi_1 = \mu/\rho kd \quad (E2-20)$$

$$\pi_2 = \Delta \rho / \rho \quad (E2-21)$$

$$\pi_3 = d^3 \rho^2 g/\mu^2 \quad (E2-22)$$

$$\pi_4 = \rho ud/\mu = Re \quad (E2-23)$$

$$\pi_5 = \mu/\rho D_{AB} = Sc \quad (E2-24)$$

$$\pi_6 = L/d \quad (E2-25)$$

Buckingham pi teoremine göre çözümde ise;

$$\pi_1 = d^a \rho^b \mu^c k^d \quad \pi_1 = \mu/\rho kd \quad (E2-26)$$

$$\pi_2 = d^a \rho^b \mu^c (\Delta \rho)^d \quad \pi_2 = \Delta \rho / \rho \quad (E2-27)$$

$$\pi_3 = d^a \rho^b \mu^c (g)^d \quad \pi_3 = d^3 \rho^2 g/\mu^2 \quad (E2-28)$$

$$\pi_4 = d^a \rho^b \mu^c (u)^d \quad \pi_4 = du \rho / \mu = Re \quad (E2-29)$$

$$\pi_5 = d^a \rho^b \mu^c (D_{AB})^d \quad \pi_5 = \mu/\rho D_{AB} \quad (E2-30)$$

$$\pi_6 = L/d \quad (E2-31)$$

şeklinde bulunabilir.

$$\pi_2 = \alpha \pi_2^\beta \pi_3^\gamma \pi_4^\delta \pi_5^t \pi_6^\zeta \quad (E2-32)$$

Boyutsuz π sayılar şöyle düzenlenebilir:

$$\pi_5/\pi_1 = \alpha (\pi_2 \pi_3 \pi_6)^\zeta \pi_5^\beta \pi_4^\gamma \quad (E2-33)$$

$$Sh = \alpha Gr^\beta Sc^\gamma \quad (E2-34)$$

Doğal konveksiyon durumunda Re sifira yaklaşımaktadır.

Dolayısıyla yukarıda verilen $Sh=f(Gr, Sc)$ değeri geçerli olacaktır [4].

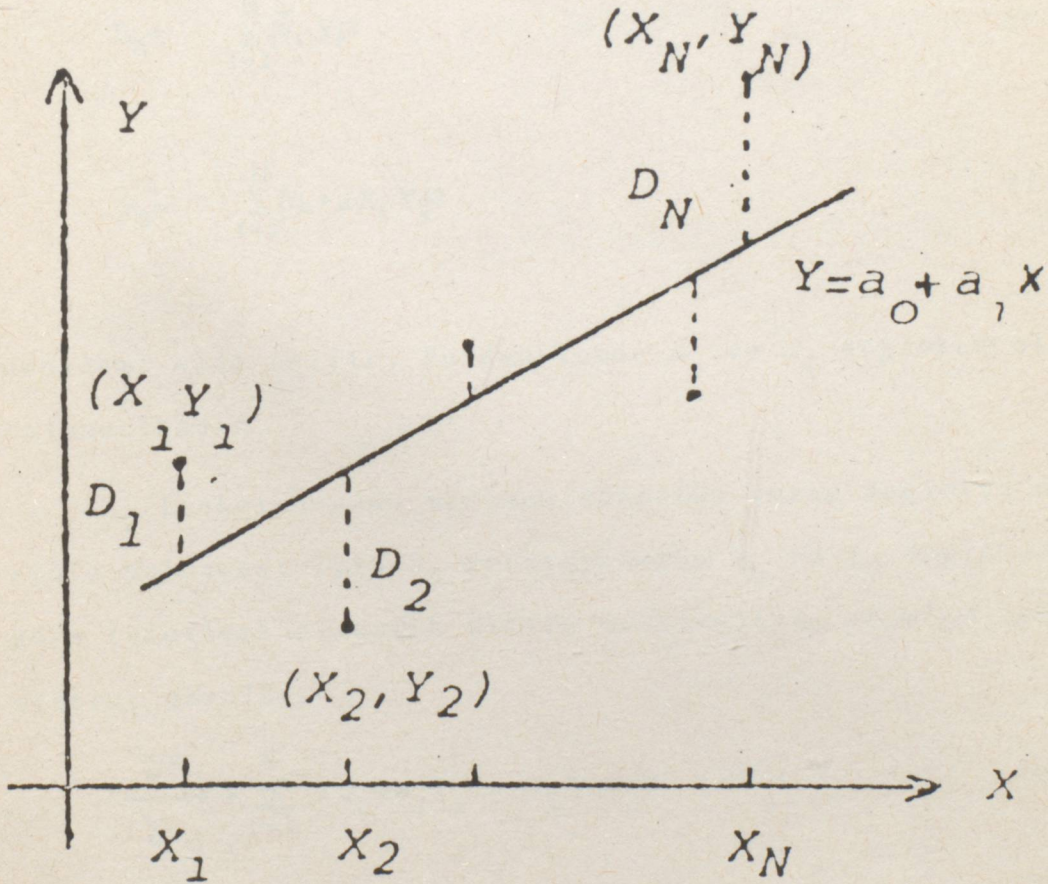
$$\pi_5 / \pi_2 = \alpha \pi_4^\beta \pi_5^\gamma \pi_6^\delta \quad (E2-35)$$

Boru uzunluğu çapa göre çok büyük olduğu durumlarda π_4 boyutsuz sayısı da elimine edilir. Böylece başlangıç noktasında başlayan türbülansli sistemler için geçerli olan aşağıdaki denklem bulunur:

$$Sh = \alpha Re^\beta Sc^\gamma \quad (E2-36)$$

Ek.3 EN KÜÇÜK KARELER YÖNTEMİ

Şekilde görülen ve $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$, notasyonu ile tanımlanan noktaları gözönüne alalım. Herhangi bir X_i değeri için iki Y değeri vardır. Bunlardan biri X_i değeri ile birlikte verilen Y_i değeri diğeri ise X_i değeri için regresyon doğrusundan bulunan Y_i değeridir. Y_i değeri ile Y_i değeri arasında farka "sapma", "hata" veya "artık değer" adı verilir. D_i ile gösterilen sapmalar pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Her bir X_i değeri için bir tek D_i sapması değeri vardır. Bu nedenle N sayısındaki nokta için D_1, D_2, \dots, D_N olmak üzere N adet sapma değeri vardır.



Şekil E.3.1 En Küçük Kareler Metodu

Hata kareleri toplamı

$$S_2 = \sum_{i=1}^N D_i^2 \tag{E3.1}$$

denklemleri ile gösterildiği takdirde seçilecek her bir regresyon doğrusu için farklı bir S_2 değeri elde edilir. Teorik olarak S_2 değeri minimum olan doğrunun, serpmeye diyagramındaki noktalara en iyi uyan doğru olduğu söylenebilir.

Bu düşünceden hareketle, regresyon doğrusunun katsayılarını hesaplama işlemine en küçük kareler metodu adı verilir(10).

(E3.1) nolu denklemin sağ tarafı daha açık yazılırsa

$$S_2 = \sum_{i=1}^N (\bar{Y}_i - Y_i)^2 \tag{E3.2}$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^N (a_0 + a_1 X_i - Y_i)^2 \tag{E3.3}$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemlerde a_0 ve a_1 değişkenler olarak bulunmaktadır.

S_2 fonksiyonunun minimum değerini veren değişken değerlerinin bulunması için S_2 fonksiyonunun a_0 ve a_1 değişkenlerine göre türevleri alınarak sıfıra eşitlenir ve elde edilen denklemler sistemi çözülür.

$$\frac{\partial S_2}{\partial a_0} = \sum_{i=1}^N (a_0 + a_1 X_i - Y_i) = 0 \tag{E3.4}$$

$$\frac{\partial S_2}{\partial a_1} = \sum_{i=1}^N (a_0 + a_1 X_i - Y_i) \cdot X_i = 0 \tag{E3.5}$$

denklem sistemi bulunur. Denklemler yeniden düzenlenerek

$$N a_0 + \left(\sum_{i=1}^N X_i \right) a_1 = \sum_{i=1}^N Y_i \quad (E3.6)$$

$$\left(\sum_{i=1}^N X_i \right) a_0 + \left(\sum_{i=1}^N X_i^2 \right) a_1 = \sum_{i=1}^N X_i Y_i \quad (E3.7)$$

denklem sistemi elde edilir. Denklem sistemi matris notasyonu ile gösterilirse;

$$\begin{pmatrix} N & \sum X_i \\ \sum X_i & \sum X_i^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum Y_i \\ \sum X_i Y_i \end{pmatrix} \quad (E3.8)$$

M A N

$$MA = N \quad (E3.9)$$

denklemini elde edilir. Serpme diagramındaki noktaların koordinatlarından faydalanarak

$$\begin{pmatrix} 1 & X_1 \\ 1 & X_2 \\ \cdot & \cdot \\ 1 & X_N \end{pmatrix} \text{ ve } \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ Y_N \end{pmatrix} \quad \text{matrisleri düzenlenirse}$$

X Y

(E3.10)

$$M = X^T X \text{ ve } N = X^T Y$$

şeklinde dönüşür. Denklem her iki tarafı $(X^T X)^{-1}$ ile çarpılarak

$$(X^T X)^{-1} (X^T X) A = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (E3.11)$$

I

$$IA = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (E3.12)$$

veya

$$A = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (E3.13)$$

denklemini elde edilir.

Denklemin sağ tarafındaki matris işlemleri tamamlandığında A kolon matrisinin elemanları olarak regresyon doğrusuna alt regresyon katsayıları hesaplanmış olur (10).

EK·4 BİLGİSAYAR PROGRAMI

```

10 REM *****
20 REM *****      En·Kucuk Kareler Yontemi ile      β  τ      *****
30 REM *****                                  Sh=α.Re.Sc      *****
40 REM *****      bagintisine ait      katsayılarının ve      *****
50 REM *****      korelasyon katsayısının bulunması      *****
60 REM *****
70 READ M,N,L
80 DEFDBL A-H :DEFDBL O-Z
90 DIM X(M,N),Y(M,1),XT(N,M)
100 DIM CR(N,N)
110 DIM XTX(N,N):DIM Y1(M)
120 DIM XTY(N,1),XTZ(N,1)
130 DIM YN(M,1)
140 DIM BN(N,1),BH1(N,1),BH2(N,1),BH3(N,1)
150 FOR I=1 TO M:FOR J=1 TO N:READ X(I,J):NEXT J:NEXT I
160 CLS: PRINT"Sh, Re ve Sc arasinda kurulacak olan modele ait";:
      PRINT" matrislerin elemanlari":PRINT
170 FOR I=1 TO M:FOR J=1 TO N:PRINT "X(";I;J;")=";X(I,J):
      NEXT J:NEXT I
180 FOR I=1 TO M:READ Y(I,1):NEXT I
190 FOR I=1 TO M:PRINT "Y(";I;1;")=";Y(I,1):NEXT I
200 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO M:XT(I,J)=X(J,I):NEXT J:NEXT I
210 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO N:FOR K=1 TO M:
      XTX(I,J)=XTX(I,J)+XT(I,K)*X(K,J):NEXT K:NEXT J:NEXT I
220 FOR I=1 TO N:FOR K=1 TO M:XTY(I,1)=XTY(I,1)+XT(I,K)*Y(K,1):
      NEXT K:NEXT I
230 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO N:PRINT "XTX(";I;J;")=";XTX(I,J):
      NEXT J:NEXT I
240 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO N:CR(I,J)=XTX(I,J):NEXT J:NEXT I
250 REM XTY=XT*Y:DIM XTH(N,1):XTS(N,1)
260 FOR I=1 TO N:FOR J=1 TO 1:PRINT "XTY(";I;J;")="XTY(I,J):
      NEXT J:NEXT I
270 FOR I=1 TO N-1
280   FOR J=I+1 TO N
290     QDG=XTX(J,I)/XTX(I,I)
300     XTY(J,1)=XTY(J,1)-QDG*XTY(I,1)
310     FOR K=I+1 TO N
320       XTX(J,K)=XTX(J,K)-QDG*XTX(I,K)
330     NEXT K:NEXT J:NEXT I
340 REM GERIYE DOGRU COZUM
350 XTY(N,1)=XTY(N,1)/XTX(N,N)
360 FOR I=2 TO N
370   K=N-I+1 :BG=0
380   FOR J=K+1 TO N:BG=BG+XTX(K,J)*XTY(J,1):NEXT J
390   XTY(K,1)=(XTY(K,1)-BG)/XTX(K,K)
400 NEXT I
410 PRINT "COZUM VEKTORU" :DIM BGC(N,1),EYN(M,1)
420 FOR I=1 TO N:PRINT "BETA(";I;1;")=";XTY(I,1):
      BN(I,1)=XTY(I,1):NEXT I
430 FOR I=1 TO M:FOR J=1 TO N:FOR K=1 TO L:
      EYN(I,K)=EYN(I,K)+X(I,J)*BN(J,L):NEXT K:NEXT J:NEXT I
440 FOR I=1 TO M:YORT=YORT+Y(I,1):NEXT I
450 YORT=YORT/M

```



```
460 FOR I=1 TO M:SSMTY=SSMTY+(Y(I,1)-YORT)^2:NEXT I
470 FOR I=1 TO M:SSMTYN=SSMTYN+(EYN(I,1)-YORT)^2:
  SSN=SSN+(EYN(I,1)-Y(I,1))^2:NEXT I
480 PRINT "SSMTY=";SSMTY
490 PRINT "R2N=";SSMTYN/SSMTY , "SSN=";SSN
500 DATA 35,3,1
510 DATA 1,4.766598,8.092323,1,5.252012,8.093215,1,5.300374,8.092497,
  1,5.340421,8.092323,1,5.367012,8.092323,1,5.466570,7.428010,1,
  5.481371,7.391055,1,5.736756,7.391055,1,5.778424,7.300792
520 DATA 1,5.806133,7.296367,1,5.826152,7.059359,1,5.858320,6.878483,
  1,5.862214,7.020067,1,5.940376,7.019966,1,6.067264,6.999657,1,
  6.170717,6.696623,1,6.170990,6.633938,1,6.186219,6.620276,1,
  6.736245,6.
530 DATA 1,6.504146,6.900502,1,6.578647,7.137477
540 DATA 1,6.696713,7.307522,1,6.738052,7.651649,1,6.757226,7.135387,
  1,6.757449,7.276806,1,6.894585,7.423331,1,7.022717,7.492405,1,
  7.066745,7.583963
550 DATA 1,7.127875,7.377262,1,7.187095,7.022165,1,7.260875,7.318409,
  1,7.310871,8.097373,1,7.780453,7.300792
560 DATA -3.18483,-3.02150,-3.08357,-3.18680,-3.01942,-3.86064,
  -3.90937,-3.83377,-3.85299,-3.85379,-4.26692,-4.32244,-4.15246,
  -3.95707,-4.03187,-4.47119,-4.47303,-4.43463
570 DATA -4.48004,-4.46430,-4.37127,-4.17522,-3.92403,-3.78619,
  -3.40777,-3.83182,-3.66544,-3.51144,-3.51990,-3.44464,-3.16071,
  -3.69263,-4.35297,-2.58633,-3.59349
580 STOP
590 END
```

Sh, Re ve Sc arasında kurulacak olan modele ait martislerin elemanlari

X(1 1)= 1
X(1 2)= 4.766598
X(1 3)= 8.092323
X(2 1)= 1
X(2 2)= 5.252012
X(2 3)= 8.093215
X(3 1)= 1
X(3 2)= 5.300374
X(3 3)= 8.092497
X(4 1)= 1
X(4 2)= 5.340421
X(4 3)= 8.092323
X(5 1)= 1
X(5 2)= 5.367012
X(5 3)= 8.092323
X(6 1)= 1
X(6 2)= 5.46657
X(6 3)= 7.42801
X(7 1)= 1
X(7 2)= 5.481371
X(7 3)= 7.391055
X(8 1)= 1
X(8 2)= 5.736756
X(8 3)= 7.391055
X(9 1)= 1
X(9 2)= 5.778424
X(9 3)= 7.300792
X(10 1)= 1
X(10 2)= 5.806133
X(10 3)= 7.296367
X(11 1)= 1
X(11 2)= 5.826152
X(11 3)= 7.059359
X(12 1)= 1
X(12 2)= 5.85832
X(12 3)= 6.878483
X(13 1)= 1
X(13 2)= 5.862214
X(13 3)= 7.020067
X(14 1)= 1
X(14 2)= 5.940376
X(14 3)= 7.019966
X(15 1)= 1
X(15 2)= 6.067264
X(15 3)= 6.999657
X(16 1)= 1
X(16 2)= 6.170717
X(16 3)= 6.696623
X(17 1)= 1

X(17 2)= 6.17099
X(17 3)= 6.633938
X(18 1)= 1
X(18 2)= 6.186219
X(18 3)= 6.620276
X(19 1)= 1
X(19 2)= 6.736245
X(19 3)= 6.569572
X(20 1)= 1
X(20 2)= 6.298934
X(20 3)= 6.548964
X(21 1)= 1
X(21 2)= 6.359516
X(21 3)= 6.551565
X(22 1)= 1
X(22 2)= 6.504146
X(22 3)= 6.900502
X(23 1)= 1
X(23 2)= 6.578647
X(23 3)= 7.137477
X(24 1)= 1
X(24 2)= 6.696713
X(24 3)= 7.307522
X(25 1)= 1
X(25 2)= 6.738052
X(25 3)= 7.651649
X(26 1)= 1
X(26 2)= 6.757226
X(26 3)= 7.135387
X(27 1)= 1
X(27 2)= 6.757449
X(27 3)= 7.276806
X(28 1)= 1
X(28 2)= 6.894585
X(28 3)= 7.423331
X(29 1)= 1
X(29 2)= 7.022717
X(29 3)= 7.492405
X(30 1)= 1
X(30 2)= 7.066745
X(30 3)= 7.583963
X(31 1)= 1
X(31 2)= 7.127875
X(31 3)= 7.377262
X(32 1)= 1

X(32 2)= 7.187095
X(32 3)= 7.022165
X(33 1)= 1
X(33 2)= 7.260875
X(33 3)= 7.318409
X(34 1)= 1
X(34 2)= 7.310871
X(34 3)= 8.097373
X(35 1)= 1
X(35 2)= 7.780453
X(35 3)= 7.300792
Y(1 1)=-3.18483
Y(2 1)=-3.0215
Y(3 1)=-3.08357
Y(4 1)=-3.1868
Y(5 1)=-3.01942
Y(6 1)=-3.86064
Y(7 1)=-3.90973
Y(8 1)=-3.83377
Y(9 1)=-3.85299
Y(10 1)=-3.85379
Y(11 1)=-4.26692
Y(12 1)=-4.32244
Y(13 1)=-4.15246
Y(14 1)=-3.95707
Y(15 1)=-4.03187
Y(16 1)=-4.47119
Y(17 1)=-4.47303
Y(18 1)=-4.43463
Y(19 1)=-4.48004
Y(20 1)=-4.4643
Y(21 1)=-4.37127
Y(22 1)=-4.17522
Y(23 1)=-3.92403
Y(24 1)=-3.78619
Y(25 1)=-3.40777
Y(26 1)=-3.83182
Y(27 1)=-3.66544
Y(28 1)=-3.51144
Y(29 1)=-3.5199
Y(30 1)=-3.44464
Y(31 1)=-3.16071
Y(32 1)=-3.69263
Y(33 1)=-4.35297
Y(34 1)=-2.58633
Y(35 1)=-3.59349
XTX(1 1)= 35

XTX(1 2)= 219.456067
XTX(1 3)= 254.893473
XTX(2 1)= 219.456067
XTX(2 2)= 1393.429277636849
XTX(2 3)= 1595.128147810831
XTX(3 1)= 254.893473
XTX(3 2)= 1595.128147810831
XTX(3 3)= 1864.067822768763
XTY(1 1)=-132.88484
XTY(2 1)=-833.76798234591
XTY(3 1)=-960.26759852667

COZUM VEKTORU

BETA(1 1)=-12.20316322938449
BETA(2 1)= .1504392609505525
BETA(3 1)= 1.024785222718755
SSMTY= 8.594176062943006
R2N= .8832430521457234 SSN= 1.00342967116535

ÖZGEÇMİŞ

1958 yılında, Suriye'de HOMS şehrinde dünya'ya geldi. 1984'te Baas Üniversitesi'nin Kimya Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1985-87 arasındaki vatani hizmetinden sonra aynı üniversite ve bölümde asistanlık görevinde bulundu.

T.C Milli Eğitim Bakanlığı'ndan ve Suriye'deki Baas Üniversitesi'nden burs alarak Yıldız Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü'nde Y.Lisans çalışmasını tamamladı.

