

3831

GÖZENEKLİ KATILARDA DİFÜZYON
ve VİSKOZ AKI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(KİMYA MÜHENDİSLİĞİ)

Ahmet PEKEDİZ

Mart, 1988

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

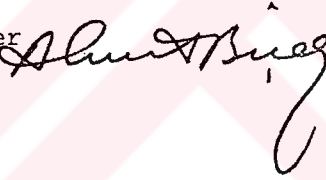


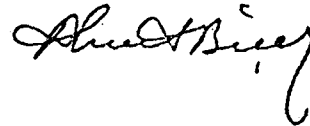
Danışman
Prof.Dr. Gülşen Doğu

Sınav Jürisi

Başkan : Doç.Dr. Canan Özgen 

Üye : Prof.Dr. Gülşen Doğu 

Üye : Yrd.Doç.Dr. Ahmet Biçer 

Bu Tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tez Yazım Esaslarına uygundur. 

GÖZENEKLi KATILARDA DİFÜZYON

ve VİSKOZ AKI

(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet PEKEDİZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 1988

ÖZ

Bu çalışmada gözenekli katı içindeki gaz difüzyonu ve viskoz akı, tek kataliz pellet moment yöntemiyle incelendi. Dinamik Wicke-Kallenbach tipi difüzyon hücresi kullanıldı. İzobarik olmıyan şartlarda, tablet üst yüzeyine enjekte edilen inert izleyici (He) gazının, sistem alt çıkışındaki dağılım eğrilerine karşı gelen moment ifadeleri türetildi. Taşıyıcı gaz N_2 kullanıldı. Deneyler, gözenekliliği 0.68 olan iki farklı uzunluktaki α -alümina pelletleri ile yapıldı. İzobarik şartlarda etkin difüzyon sabitinin, izleyici miktarına göre sabit kaldığı bulundu. Taşınım üzerine Knudsen ve moleküler difüzyon etkilerinin her ikisinin de önemli olduğu ve bükümlülük faktörü yaklaşık olarak 4 bulundu. İzobarik olmıyan şartlarda pellet üzerinde 2 cmHg'den 60 cmHg'ye kadar basınç farkı yaratılıp deneyler tekrarlandı. Bu çalışmada, fiziksel olarak, viskoz akının difüzif akıya oranını belirten boyutsuz yeni bir parametre (δ) türetilmiştir. Çalışılan aralıkta, bu parametre 0.05'ten 0.8'e kadar değerler alırken, etkin difüzyon sabiti $0.0233 \text{ cm}^2/\text{s}$ 'den $0.0201 \text{ cm}^2/\text{s}$ 'ye kadar değişmiştir. Darcy katsayısı $0.069 \times 10^{14} \text{ m}^2$ bulundu. Pelletin iki yüzeyi arasındaki basınç farkının 60 cmHg'a varmasıyla gözenekler içindeki viskoz akının difüzyon akısıyla aynı mertebede önem kazandığı gözlemlendi.

DIFFUSION and VISCOUS FLUX
in POROUS SOLIDS

(M.Sc. Thesis)

Ahmet PEKEDİZ
GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
March 1988

ABSTRACT

In this study, diffusion and viscous flow of gases through porous solids were investigated by single-pellet moment technique. A dynamic version of the Wicke-Kallenbach type of a diffusion cell was used. A pulse of an inert tracer (He) was injected to the carrier gas (N_2) following through the upper face of the pellet and the response peak leaving the other end face was detected. The moment expressions were derived for this system for non-isobaric conditions. The experiments were carried out with α -alumina pellets of two different lengths and of porosity 0.68. Under isobaric conditions, the effective diffusion coefficient was found to be constant and independent of the amount of the tracer injected. Both Knudsen and molecular diffusion regime was found to be important for the system studied and the tortuosity factor of 4 was evaluated. Under non-isobaric conditions, the pressure difference between two faces of the pellet was changed from 2 cmHg to 60 cmHg. In this study, a new dimensionless group (δ) introduced which gave the relative significance of viscous flow compared to the diffusion flow. The value of δ changed from 0.05 to 0.8 while the effective diffusion coefficient changed from $0.0233 \text{ cm}^2/\text{s}$ to $0.0201 \text{ cm}^2/\text{s}$. Darcy constant was determined as $0.069 \times 10^{14} \text{ m}^2$. It was shown that the relative importance of viscous flux was about the same as compared to the diffusion flux when the pressure difference between the two end faces was about 60 cmHg.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasında bilgi ve tecrübelerinden büyük ölçüde yararlandığım Hocalarım Sayın Prof.Dr. Gülşen Doğu ve Prof.Dr. Timur Doğu'ya teşekkürü bir borç bilir, ayrıca ilgi ve yardımlarını esirgemeyen bütün arkadaşlarıma da teşekkür ederim.



SEMBOLLER

<u>Sembol</u>	<u>Anlam</u>
a	: Gözenek yarıçapı, Å (veya cm).
A	: Pellet kesit alanı, cm^2 .
b	: Denklem 5.1'de tanımlanmış üs.
B_1, B_2	: İntegral sabitleri.
B_0	: Dusty gaz modelinde tanımlanmış faktör.
C, C_0	: Darcy katsayısı, m^2 .
C_A	: A maddesinin konsantrasyonu, kmol/m^3 .
C_T	: Toplam konsantrasyon, kmol/m^3 .
D_{AB}	: A'nın B içindeki difüzyon sabiti, cm^2/s .
D_e	: Etkin difüzyon sabiti, cm^2/s .
D_{K_A}	: A'nın Knudsen difüzyon sabiti, cm^2/s .
D_T	: Toplam difüzyon sabiti, cm^2/s .
F	: Vizkoz akı terimi, $\text{kmol}/\text{m}^2\text{s}$.
F_2	: Alt akım hızı, cm^3/s .
L	: Pellet uzunluğu, cm (veya m).
m	: Denklem 2.8'de tanımlanmıştır.
M	: Puls şiddeti, $\text{mol(s)}/\text{cm}^3$.
M_A, M_B	: A ve B'nin molekül ağırlıkları, mol/gr.
m_n	: Denklem 1.30'da tanımlanmış orijini göre n'nci moment.
m_0	: İzobarik olmıyan şartlarda tanımlanmış sıfırıncı moment.
m_{00}	: İzobarik şartlar için tanımlanmış sıfırıncı moment

N_A, N_B : İzobarik olmıyan şartlarda A ve B'nin molar akışı, $\text{kmol/m}^2\text{s}$ (veya $\text{grmol/cm}^2\text{s}$).
 N_A^0, N_B^0 : İzobarik şartlarda molar difüzyon akışı, $\text{kmol/m}^2\text{s}$ (veya $\text{grmol/cm}^2\text{s}$).
 N_{Ae} : Etkin molar akışı, $\text{kmol/m}^2\text{s}$.
 N_T : İzobarik olmıyan toplam molar akı, $\text{kmol/m}^2\text{s}$.
 P : Toplam basınç, atm (veya kPa).
 R : Evrensel gaz sabiti.
 s : Laplas değişkeni, s^{-1} .
 t : Zaman, s.
 T : Sıcaklık, K.
 Y_A : A maddesinin mol kesri.
 Z : Pellet içinde difüzyon yönündeki koordinat, m.
 z : Boyutsuz uzunluk.

Greek Harfleri:

α : Denklem 1.7'de tanımlanmış parametre.
 γ : Denklem 2.25'te tanımlanmış parametre, cm/s .
 δ : Denklem 2.32.'de tanımlanmış parametre, boyutsuz.
 $\delta(t)$: Dirac delta puls, s^{-1} .
 ϵ : Toplam gözeneklilik.
 κ : Denklem 5.1'de tanımlanmış bir sabite.
 μ : Vizkozite, kPa s (veya cP).
 μ_1 : Birinci mutlak moment, s.
 $\mu_{1, \text{den.}}$: Deneysel bulunan birinci mutlak moment, s.
 $\mu_{1, \text{hes.}}$: Değerler verilerek hesaplanmış birinci mutlak moment, s.

- $\mu_{1\infty}$: Yüksek alt akım hızına karşı gelen birinci mutlak moment, s.
- μ_2' : İkinci merkezi moment, s².
- σ_{AB} : A ve B arasındaki çarpışma yarıçapı, Å.
- τ : Bükümlülük faktörü, boyutsuz.
- U_A : A'nın moleküler hızı, cm/s.
- U_{Ad} : A'nın difüzyonel hızı, cm/s.
- U_M : Toplam gaz akış hızı, cm/s.
- ψ : Denklem 2.33'te tanımlanmış parametre.
- Ω_{AB} : Çarpışma integrali.

Alt indisler :

- o : İzobarik şartlar
- 1 : 1.pellet (L=1.3 cm).
- 2 : 2.pellet (L=0.3 cm).

TABLolarIN LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4.1. Kataliz pelletinin fiziksel özellikleri	49
Tablo 4.2. İzobarik şartlarda farklı izleyici hacminde hesaplanmış etkin difüzyon sabitleri	53
Tablo 4.3. İzobarik şartlarda farklı sıcaklıklarda hesaplanmış etkin difüzyon sabitleri	59
Tablo 4.4. Sıfırinci momentler oranı (m_{00}/m_0):	76
Tablo 4.5. İzobarik olmıyan şartlarda hesaplanan etkin difüzyon sabitleri	78
Tablo 4.6. İzobarik olmıyan taşınımına göre hesaplanmış parametreler	80
Tablo 5.1. Bükümlülük faktörünün sıcaklığa göre değişimi	83
Tablo A.1. Porozimetre verisi ve penetrasyon hacmi hesaplamaları	102
Tablo A.2. Diferansiyel gözenek dağılımı verisi	103
Tablo C.1. İzobarik şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort}=69$ cmHg)	109
Tablo C.2. İzobarik olmıyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort}=70$ cmHg)...	110
Tablo C.3. İzobarik olmıyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort}=71$ cmHg) :	111

Tablo C.4. İzobarik olmıyan şartlarda toplam	
difüzivite verisi ($P_{ort}=72$ cmHg) :	112
Tablo C.5. İzobarik olmıyan şartlarda toplam	
difüzivite verisi ($P_{ort}=74$ cmHg) :	113
Tablo C.6. İzobarik olmıyan şartlarda toplam	
difüzivite verisi ($P_{ort}=77$ cmHg) :	114
Tablo C.7. İzobarik olmıyan şartlarda toplam	
difüzivite verisi ($P_{ort}=83$ cmHg) :	115
Tablo C.8. İzobarik olmıyan şartlarda toplam	
difüzivite verisi ($P_{ort}=89$ cmHg) :	116
Tablo C.9. İzobarik olmıyan şartlarda toplam	
difüzivite verisi ($P_{ort}=99$ cmHg) :	117
Tablo C.10. İzobarik şartlarda değişik sıcak-	
lıklarda toplam difüzivite verisi	
($P_{ort}=69$ cmHg)	118
Tablo E.1. İzobarik şartlarda uzun pellet	
için hesaplanmış momentler	122
Tablo E.2. İzobarik şartlarda kısa pellet	
için hesaplanmış momentler	123
Tablo F.1. Değişik sıcaklıklarda uzun pellet	
için momentler	124
Tablo F.2. Değişik sıcaklıklarda uzun pellet	
için ölçümler ve sıfırinci moment	
hesaplamaları	126
Tablo F.3. Değişik sıcaklıklarda kısa pellet	
için momentler	128
Tablo F.4. Değişik sıcaklıklarda ölçümler ve	
sıfırinci moment hesaplamaları ...:	130

Tablo G.1. Değişik basınç farklarında uzun	
pellet için hesaplanmış momentler :	132
Tablo G.2. Değişik basınç farklarında uzun	
pellet için ölçümler ve sıfırinci	
momentler	134
Tablo G.3. Değişik basınç farklarında kısa	
pellet için hesaplanmış momentler :	136
Tablo G.4. Değişik basınç farklarında kısa	
pellet için ölçümler ve sıfırinci	
momentler	138
Tablo I.1. Örnek kromatogram okumaları	142

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Gözenekli yapının şematik gösterimi	10
Şekil 1.2. Yatışkın olmıyan halde kullanılan kataliz pelletinin şematik gösterimi	16
Şekil 2.1. Tek kataliz pelletinin şematik gösterimi	23
Şekil 3.1. Deney sisteminin şematik gösterimi	37
Şekil 3.2. Deney sisteminin fotoğrafı	39
Şekil 3.3. Difüzyon hücresi ve fırın içindeki gaz bağlantılarının fotoğrafı	41
Şekil 3.4. Deneysel çalışmada izlenen yolun akış şeması	43
Şekil 3.5. Pellet hazırlama kalıpları	45
Şekil 4.1. Diferansiyel gözenek dağılımı eğrisi ve penetrasyon eğrisi	50
Şekil 4.2. İki farklı pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (izleyici hacmi=0.1 ml) ..	54
Şekil 4.3. İki farklı pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (izleyici hacmi=1 ml)	55
Şekil 4.4. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak	

moment eğrileri (izleyici hacmi=2ml)	56
Şekil 4.5. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (izleyici hacmi=5ml)	57
Şekil 4.6. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (izleyici hacmi=10ml)	58
Şekil 4.7. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (T=45°C)	60
Şekil 4.8. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (T=60°C)	61
Şekil 4.9. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (T=70°C)	62
Şekil 4.10. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (T=80°C)	63
Şekil 4.11. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (T=95°C)	64
Şekil 4.12. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (T=105°C)	65
Şekil 4.13. Alt akım hızına karşı sıfırinci moment eğrisi ($\Delta P=2\text{cmHg}$)	67
Şekil 4.14. Alt akım hızına göre sıfırinci	

moment eğrisi ($\Delta P=4\text{cmHg}$)	68
Şekil 4.15.Alt akım hızına göre sıfırinci	
moment eğrisi ($\Delta P=6\text{cmHg}$)	69
Şekil 4.16.Alt akım hızına göre sıfırinci	
moment eğrisi ($\Delta P=10\text{cmHg}$)	70
Şekil 4.17.Alt akım hızına göre sıfırinci	
moment eğrisi ($\Delta P=16\text{cmHg}$)	71
Şekil 4.18.Alt akım hızına göre sıfırinci	
moment eğrisi ($\Delta P=28\text{cmHg}$)	72
Şekil 4.19.Alt akım hızına göre sıfırinci	
moment eğrisi ($\Delta P=40\text{cmHg}$)	73
Şekil 4.20.Alt akım hızına göre sıfırinci	
moment eğrisi ($\Delta P=60\text{cmHg}$)	74
Şekil 4.21.İzobarik şartlarda alt akım	
hızına göre sıfırinci moment	
eğrisi ($\Delta p=0$)	75
Şekil 4.22. Alt akım hızına göre sıfırinci	
moment oranı eğrileri	77
Şekil 4.23. $\Delta P/D_e$ oranlarına karşı δ -parametre-	
sinin değişimi	81
Şekil 5.1. İzobarik olmıyan şartlarda farklı	
uzunluktaki pelletlerde alt akım	
hızına göre birinci mutlak moment	
eğrileri ($\Delta P=2\text{cmHg}$)	87
Şekil 5.2. İzobarik olmıyan şartlarda farklı	
uzunluktaki pelletlerde alt akım	
hızına göre birinci mutlak moment	
eğrileri ($\Delta P=4\text{cmHg}$)	88

Şekil 5.3. İzobarik olmıyan şartlarda farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=6\text{cmHg}$)	89
Şekil 5.4. İzobarik olmıyan şartlarda farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=10\text{cmHg}$)	90
Şekil 5.5. İzobarik olmıyan şartlarda farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=16\text{cmHg}$)	91
Şekil 5.6. İzobarik olmıyan şartlarda farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=28\text{cmHg}$)	92
Şekil 5.7. İzobarik olmıyan şartlarda farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=40\text{ cmHg}$)	93
Şekil 5.8. İzobarik olmıyan şartlarda farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=60\text{ cmHg}$)	94
Şekil H.1. Teorik çizilmiş momentler grafiği :	140
Şekil I.1. Örnek kromatogram	141
Şekil J.1. Deneysel birinci fark momentlerin alt akım hızına göre değişimi ($\Delta P=0$, $T=45^\circ\text{C}$).....	144

İÇİNDEKİLER

ÖZ	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SEMBOLLER	vi
TABLoların LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
İÇİNDEKİLER	xvi

BÖLÜM I

GİRİŞ	1
1.1. Gözenekli katılarda difüzyon ve akış olayları	2
1.1.1. İzobarik şartlarda difüzyon	2
1.1.2. İzobarik olmıyan şartlarda difüzyon ve akış olayları	7
1.2. Gözenekli katılarda etkin akı ifadesi ...	9
1.3. Etkin difüzyon sabitinin bulunuşu- deneysel yöntemler	12
1.4. Genel moment teorisi	18
1.5. Yapılan çalışmanın amacı	19

BÖLÜM II

TEORİ	21
2.1. Tek pellet üzerinde madde denklıkları ...	22
2.2. Tek kataliz pelletinde izobarik olmıyan şartlarda difüzyon ve akış	24
2.3. Moment ifadelerinin türetilişi	30
2.3.1 sıfırinci momentin çıkarılışı	30
2.3.2. Birinci momentin çıkarılışı	33

2.3.3. Birinci mutlak momentin çıkarılması	34
BÖLÜM III	
DENEYSEL ÇALIŞMA	36
3.1. Deney sistemi'	36
3.2. Deneylerin yapılışı	42
BÖLÜM IV	
DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	49
4.1. Kataliz pelletinin fiziksel özellikleri :	49
4.2. İzobarik şartlarda taşınım parametrelerinin hesaplanması	51
4.2.1. İzleyici hacmi değiştirilerek hesaplanan etkin difüzyon sabitleri	51
4.2.2. Sıcaklık değiştirilerek hesaplanan etkin difüzyon sabitleri	59
4.3. İzobarik olmıyan taşınım parametrelerinin hesaplanması	59
4.3.1. m_0 eğrileri	66
4.3.2. m_{00} eğrisi	66
4.3.3. Sıfırıncı momentler oranı (m_{00}/m_0)	66
4.3.4. Difüzivite oranı (D_{e0}/D_e)	76
4.3.5. δ Değerlerinin hesaplanması	79
4.3.6. Darcy katsayısının hesaplanması ..	79
BÖLÜM V	
TARTIŞMALAR	82
5.1. İzobarik şartlarda Knudsen difüzyonun moleküler difüzyona göre bağlı önemi	82
5.2. Bükümlülük faktörü	83
5.3. Etkin difüzyon sabitinin konsantrasyona bağımlılığı	84
5.4. Vizkoz akının difüzif akıya göre bağlı önemi	84
BÖLÜM VI	
ÖNERİLER	95

KAYNAKLAR	96
EKLER	
EK-A. Civa porozimetresi veri analizi	100
EK-B. Porozimetre verisini deęerlendiren Basic programı	104
EK-C. Gözenek dağılım boyunca toplam difüzivite hesaplamaları	107
EK-D. Momentleri hesaplayan Basic programı	119
EK-E. İzleyici hacmi değiştirilerek yapılmış ölçümler ve moment hesaplamaları	122
EK-F. Sıcaklık değiştirilerek yapılmış ölçümler ve moment hesaplamaları	124
EK-G. İzobarik olmıyan şartlarda yapılmış ölçüm- ler ve moment hesaplamaları	132
EK-H. Teorik olarak çizilmiş momentler grafiği	140
EK-I. Örnek kromatogram	141
EK-J. Fark Momentler grafiği	144

BÖLÜM I

GİRİŞ

Kimyasal reaksiyon işlemlerinde gözenekli katı katalizörler büyük ölçüde kullanılmaktadır. Bu işlemlerde katalizör akışkan ile temasta olup reaktanların katalizör içine aktif merkezlere taşınıp reaksiyona girmesi ve açığa çıkan ürünlerin tekrar geri alınabilmesi gerekir. Dolayısıyla katalizörlerde maksimum seçiciliğe ulaşabilmek için, gözenekiçi taşınım hızı ile ideal reaksiyon hızı arasındaki ilişkinin çok iyi bilinmesi gerekir ve bu reaktör tasarımı kriter olarak alınır. Görüldüğü gibi gözenekli katalizörlerde sadece kimyasal reaksiyon değil; aynı zamanda bu çalışmaya da konu olan fiziksel gaz taşınımının incelenmesi ve anlaşılması gerekmektedir.

Gözenekli katılarda gazın taşınımı, literatürde önce kapiler tüp benzetmesi yapılarak analiz edilmiş, daha sonra gözenekli yapının karmaşıklığı gözönüne alınarak matematiksel modeller çıkartılmış ve kapiler tüp için bulunan ifadeler buna uygulanmıştır. Bu bölümde literatürde verilen bu analizler aynı sıraya göre işlenecektir.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

1.1. Gözenekli Katılarda Difüzyon ve Akış olayları

Kimyasal reaksiyon işlemlerinde kullanılan gözenekli katı, genellikle partikül veya pelletleştirilmiş haldedir ve yüzey kısmen veya tamamen akan akışkan tarafından kaplanır. Gözenekli partikül veya pellet etrafında basınç düşüşü ihmal edilecek kadar küçükse, etkileşen yüzeyler sabit toplam basınç altındadır. Bunun gibi izobarik işlemlerde gözenekiçi gaz taşınımı kısmi basınç farkından dolayı olur; Scott ve Dullien (1).

Çoğu zaman partikül veya pelletin akışkanla etkileşen yüzeyleri arasında ve dolayısıyla katalizörün dış yüzeyi ile merkezi arasında bir basınç farkı meydana gelir. Örneğin gaz-katı katalitik reaksiyonlarda molekül sayısında bir değişme olabildiğinden katalizör gözenekleri boyunca basınç farkı meydana gelir ve gözenek içinde kısmi basınç farkına ilaveten yüzeyler arasındaki basınç farkından dolayı ek bir akım doğar; Otani et.al. (2) , Scott ve Dullien (1) , Mason et.al. (3).

Literatürde bu iki taşınım olayı, izobarik (difüzyon) ve izobarik olmıyan (vizkoz akış) olmak üzere iki ayrı şekilde analiz edilmiştir.

1.1.1. İzobarik Şartlarda Difüzyon

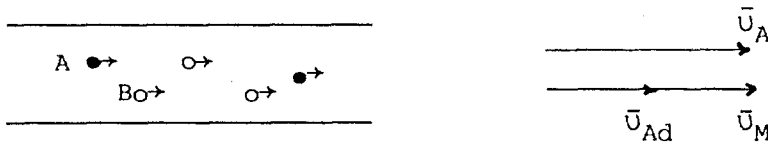
Gaz molekülleri, gözenek içinde birbirleriyle ve duvarla çarpışarak taşınırlar. Gazların sabit basınç altında gözenekli katılarda taşınımı, gözenek eşdeğer

yarıçapı ile ortalama serbest yol arasındaki ilgiye bağlı olarak; moleküler difüzyon veya Knudsen difüzyon mekanizmaları ile olur.

Gerçekte difüzyon işlemi bu iki bölgenin arasında; geçiş bölgesinde olduğu görülür. Kalitatif olarak bu bölge, gözenek yarıçapının ortalama serbest yola göre oranı 0.1 ile 10 değerleri arasındadır (4).

(a) Moleküler Difüzyon

A ve B gibi ikili bir gaz karışımının silindirik şeklindeki bir gözenek içinde normal molekül difüzyonu yoluyla taşındığı gözönüne alınırsa; A maddesi normal olarak difüzyonla taşınırken toplam gaz akışı (bulk flow)'nın da etkisi altındadır. Dolayısıyla A maddesinin gaz karışımı içindeki ortalama moleküler hızı ($\bar{U}_A$); difüzyon hızı ($\bar{U}_{Ad}$) ile gaz akışından dolayı ortalama moleküler hızı ($\bar{U}_M$) toplamına eşittir (5).



$$\bar{U}_A = \bar{U}_{Ad} + \bar{U}_M \quad (1.1)$$

Denklemin her iki tarafı C_A ile çarpılırsa homojen faz akılar elde edilir;

$$C_A \bar{U}_A = C_A \bar{U}_{Ad} + C_A \bar{U}_M \quad (1.2)$$

ve

$$y_A = C_A / C_T \quad (1.3)$$

olduğundan,

$$N_A^0 = N_{A_d}^0 + y_A (N_A^0 + N_B^0) \quad (1.4)$$

yazılabilir. A maddesinin Z eksenı yönündeki moleküler difüzyon akısı Fick'in 1. kanununa göre şöyledir;

$$N_{A_d}^0 = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} \quad (1.5)$$

Burada, D_{AB} , moleküler difüzyon sabitidir. Denklem 1.5 ve 1.4'ten;

$$N_A^0 = -D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} + y_A (N_A^0 + N_B^0) \quad (1.6)$$

olur. Sağ taraftaki ikinci terim N_A^0 parantezine alınıp ifade basitleştirilirse,

$$N_A^0 = - \frac{D_{AB}}{(1-\alpha y_A)} \frac{\partial C_A}{\partial Z} \quad (1.7)$$

elde edilir. Burada,

$$\alpha = \left(1 + \frac{N_B^0}{N_A^0}\right) \text{ dır.} \quad (1.7a)$$

A ve B maddeleri eş-moleküler karşı difüzyonla iletiliyorsa; $N_A^0 = -N_B^0$ olduğundan $\alpha=0$ ve Denklem 1.6'da $N_A^0 = -D_{AB}(\partial C_A / \partial Z)$ olur. Ortamda A maddesinin konsantrasyonu çok az ise ($y_A \rightarrow 0$), yine Denklem 1.6 Fick'in 1. kanununa dönüşür.

Moleküler difüzyon sabiti, D_{AB} , modern kinetik teoriye göre çıkarılan ampirik bir ifadeden; örneğin Chapman-Enskog eşitliğinden bulunabilir. Chapman-Enskog eşitliği ikili gaz karışımı için; Denklem 1.8'de verilmiştir.

$$D_{AB} = 0.0018583 \frac{T^{1.5} (1/M_A + 1/M_B)^{1/2}}{P \sigma_{AB}^2 \Omega_{AB}} \quad (1.8)$$

Burada;

D_{AB} = moleküler difüzyon sabiti, cm^2/s .

T = sıcaklık, K.

M_A, M_B = A ve B gazlarının molekül ağırlıkları

P = karışımın toplam basıncı, atm.

σ_{AB} = AB molekül çifti için Lennard-Jones potansiyel enerji sabiti, Å.

Ω_{AB} = çarpışma integrali, $k_B T / \epsilon_{AB}$ 'nin bir fonksiyonudur. (k_B =Boltzmann sabiti).

D_{AB} 'nin hesaplanması için gerekli değerler referans kitaplarda verilmiştir (4,6).

(b) Knudsen Difüzyon

Gözenekler, ortalama serbest yola göre küçükse, moleküller duvarla çarpışmalar yaparak taşınırlar. Fick'in 1. kanununa benzer olarak Knudsen difüzyon akısı;

$$N_A = -D_{KA} \frac{\partial C_A}{\partial z} \quad (1.9)$$

şeklinde ifade edilir.

Knudsen difüzyon sabiti (D_{KA})'nin hesaplanmasında, yine kinetik teoriden çıkartılan denklem referans kitaplarda verilmiştir (4,6).

$$D_{KA} = 9.70 \times 10^3 a \left(\frac{T}{M_A} \right)^{1/2} \quad (1.10)$$

Burada;

D_{K_A} = Knudsen difüzyon sabiti, cm^2/s

a = gözenek yarıçapı, cm

T = sıcaklık, $^{\circ}\text{K}$

Denklem 1.10'dan görüldüğü gibi Knudsen difüzyon sabiti basınca bağlı olmayıp gözenek yarıçapına ve sıcaklığa bağlıdır.

(c) Geçiş bölgesi difüzyonu

Geçiş bölgesinde hem normal moleküler difüzyon hem de Knudsen difüzyon etkindir. Moleküler difüzyon ve Knudsen difüzyon dirençleri $(1-\alpha y_A)/D_{AB}$ ve $1/D_{K_A}$ olarak düşünülürse; geçiş bölgesinde toplam direnç, bu iki direncin toplamına eşittir (1).

Toplam direnç = Moleküler difüzyon direnci + Knudsen difüzyon direnci,

$$\frac{1}{D_T} = \frac{1-\alpha y_A}{D_{AB}} + \frac{1}{D_{K_A}} \quad (1.11)$$

Burada, D_T , toplam difüzyon sabitidir. A maddesi karışım içinde seyreltikse ($y_A \rightarrow 0$) veya eşmoleküler karşı difüzyon varsa ($\alpha \rightarrow 0$) ifade Bosanquet interpolasyon formülüne dönüşür.

$$\frac{1}{D_T} = \frac{1}{D_{AB}} + \frac{1}{D_{K_A}} \quad (1.12)$$

Denklem 1.8 ve 1.10 gözönüne alınarak, denklem 1.11'e göre her iki direncin bağıl önemi karşılaştırılabilir. Yüksek basınçlarda ve geniş gözeneklerde $D_{K_A} \gg D_{AB}$

olduğundan moleküler difüzyon direnci önemlidir.

Görülüyor ki geçiş bölgesi için türetilen Denklem 1.11'in asintotları moleküler difüzyon veya Knudsen difüzyon dirençlerine eşittir. Bunların grafiksel açıklaması literatürde verilmiştir (7).

Geçiş bölgesinde bir kapilerden A'nın Z yönündeki akısı;

$$N_A^0 = -D_T \frac{\partial C_A}{\partial Z} = - \frac{1}{\frac{1-\alpha y_A}{D_{AB}} + \frac{1}{D_{KA}}} \frac{\partial C_A}{\partial Z}, \quad (1.13)$$

$$N_A^0 = \frac{-D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} + y_A (N_A^0 + N_B^0)}{(1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}})} \quad (1.14)$$

ifadeleri yazılabilir (2). Denklem 1.13 bir başka şekilde de gösterilebilir;

$$N_A^0 = \frac{-D_{AB} D_{KA}}{(D_{AB} + D_{KA})} \frac{\partial C_A}{\partial Z} + \frac{y_A D_{KA}}{(D_{AB} + D_{KA})} (N_A^0 + N_B^0). \quad (1.15)$$

Bu ifade Allawi ve Gunn (8) tarafından verilmiştir.

1.1.2 İzobarik Olmayan Şartlarda Difüzyon ve Akış Olayları

Gözenekli katı pelleti veya partikülü üzerinde bir basınç farkı oluştuğunda, gaz molekülleri gözeneklerden taşınırken normal difüzyona ilaveten bir zorlama etkisinde kalırlar. Basınç farkından dolayı oluşan bu vizkoz akış, gözeneklerde laminar akım şeklinde olur. Dolayısıyla bu akış şekli vizkozitenin de bulunduğu bir terimle

ifade edilmelidir. Halbuki normal difüzyon sabiti vizkozite katsayısını içermemektedir. Bundan dolayı vizkoz akış literatürde normal difüzyon mekanizmasına ek bir terim olarak analiz edilmiştir.

İzobarik olmıyan şartlarda, yani bir basınç farkı altında A'nın bir kapilerden difüzyonu, geçiş bölgesi difüzyonuna benzer olarak Evans et.al. (9) tarafından elde edilmiştir.

$$N_A = \frac{-D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} + Y_A (N_A + N_B)}{(1 + \frac{D_{AB}}{D_{K_A}})} \quad (1.16)$$

Toplam akı ise, net toplam difüzyon akısı ile vizkoz akının toplamıdır (2).

Toplam akı = Toplam difüzif akı + vizkoz akı,

$$N_T = N_A + N_B = N_A^0 + N_B^0 + F \quad (1.17)$$

Otani et.al. (2) analizlerinde vizkoz akımı,

$$F = - \left[\underbrace{\frac{a^2 P}{8 \mu}}_{\text{Poiseuille}} + \underbrace{\frac{4 a R T}{3 (M_A Y_A \bar{U}_A + M_B \bar{U}_B Y_B)}}_{\text{moleküler akım}} \right] \frac{1}{R T} \frac{dP}{dZ} \quad (1.18)$$

şeklinde tarif etmişlerdir. Düşük basınçlarda moleküler akımın, yüksek basınçlarda Poiseuille akımın etkin olduğu ve net difüzyona ilave edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Buna göre, Denklem 1.14, 1.16 ve 1.17'den

$$N_A = \frac{-D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} + (N_A^0 + N_B^0) Y_A}{(1 + \frac{D_{AB}}{D_{K_A}})} + \frac{F Y_A}{(1 + \frac{D_{AB}}{D_{K_A}})} \quad (1.19)$$

Difüzif akı vizkoz akı

yazılabilir. Burada N_A^0 ve N_B^0 izobarik akılardır. Denklem 1.19'da sağ taraftaki birinci terimin Denklem 1.14'e eşit olduğu görülmektedir. Dolayısıyla,

$$N_A = N_A^0 + \frac{F y_A}{(1 + \frac{D_{AB}}{D_{K_A}})} \quad (1.20)$$

olarak yazılabilir. Denklem 1.20'de vizkoz akıma karşı gelen terim Darcy eşitliği olarak da ifade edilebilir (8,10,11).

$$N_A = N_A^0 - \frac{CP}{\mu RT} y_A \frac{dP}{dz} \quad (1.21)$$

Denklem 1.21'in sağ tarafında N_A^0 difüzif akıyı, ikinci terim ise vizkoz akıyı göstermektedir. Difüzif akıma karşı gelen terim Denklem 1.15'e göre yazılırsa,

$$N_A = \frac{-D_{AB}D_{K_A}}{(D_{AB}+D_{K_A})} \frac{\partial C_A}{\partial z} + \frac{y_A D_{K_A}}{(D_{AB}+D_{K_A})} (N_A+N_B) \quad (1.22)$$

difüzif akı

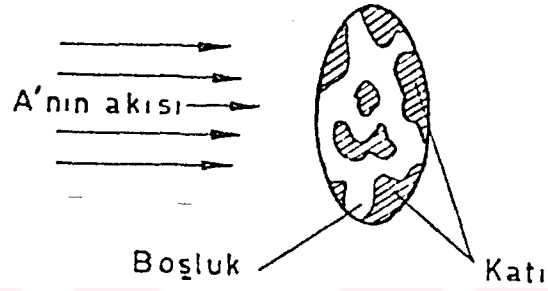
vizkoz akı

Allawi ve Gunn (8) tarafından verilen ifade elde edilmiş olur.

1.2. Gözenekli Katılarda Etkin Akı

Tek gözenek veya kapiler yaklaşımı yapılarak gaz difüzyonu ile ilgili ifadeler literatürle karşılaştırılarak bir önceki bölümde verilmiştir. Bu ifadelerde akılar boşluk kesit alanına göre analiz edilmiştir. Halbuki gözenekli katıda boşluk kesit alanına dayalı akının ölçülmesi

çok zordur. İşlemlerde ise sonuçların ölçülebilen parametreler cinsinden verilmesi istenir. Bunun için akı ifadelerinin de boşluk kesit alanı yerine toplam kesit alanına (boşluk+katı) göre tanımlanması daha uygundur. Toplam kesit alanına dayalı akıya, etkin akı; difüzyon hızına da etkin difüzyon sabiti denir.



Şekil 1.1. Gözenekli yapının şematik gösterimi.

Şekil 1.1'den görüldüğü gibi boşluk kesit alanına dayalı akıyı toplam akı şekline dönüştürmek zordur. Zira gözenekli ortamın yapısı çok karmaşıktır ve herhangi bir geometrik yapıya uymaz. Gazın difüzyon yolu da gözenek içinde katetilen gerçek mesafedir. Difüzyon sırasında moleküllerin katettiği gerçek mesafenin, difüzyon akısı yönünde lineer mesafeye oranı bükümlülük faktörü (τ) ile tanımlanır. Gözenekli katının karmaşık yapısı gözönüne alınarak literatürde birçok model türetilmiştir. Bunlardan en çok uygulananları;

- (a) Paralel gözenek modeli
- (b) Dağılım gözenek modeli
- (c) Dusty (tozlu) gaz modelidir.

Paralel gözenek modelinde Wheeler (12)'e göre, gözenekler birbirine paralel ve eşit çaplı kapiler şeklinde kabul edilerek yaklaşım yapılmıştır. Dağılım gözenek modeli Wakao ve Smith (13) tarafından iki dağılımlı gözenekli katılar için çıkartılmıştır. Bu model tek dağılımlı katıya indirgendiğinde paralel gözenek modeline benzer ifadeler elde edilir. Dusty gaz modelinde ise katı partiküllerin gaz fazı ile çoklu karışım yaptığı kabul edilerek Evans et.al. (9) tarafından analiz yapılmıştır. Dağılım gözenek modeli ve diğer modellerin özet tanımları ilgili referansta yapılmıştır (4).

Paralel gözenek modeline göre etkin akı,

$$N_{Ae} = N_A \frac{\epsilon}{\tau} \quad (1.23)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada, ϵ , gözeneklilik; τ ise bükümlülük faktörüdür. Denklem 1.13'de Z yönündeki homojen faz akısı izobarik şartlarda $N_A = -D_T(\partial C_A / \partial Z)$ olarak verilmişti. Denklem 1.23'de yerine konursa,

$$N_{Ae} = -D_T \frac{\epsilon}{\tau} \frac{\partial C_A}{\partial Z} \quad (1.24)$$

veya

$$N_{Ae} = -D_e \frac{\partial C_A}{\partial Z} \quad (1.25)$$

olur. Burada D_e , etkin difüzyon sabitidir.

Denklem 1.24, 1.25 ve 1.11'den

$$D_e = D_T \frac{\epsilon}{\tau} = \frac{\epsilon / \tau}{\frac{1 - \alpha y_A}{D_{AB}} + \frac{1}{D_{KA}}} \quad (1.26)$$

olduğu görölür. Knudsen difüzyon önemli ise toplam difüzyon; buna bağılı olarak da etkin difüzyon sabiti gözenek yarıçapının bir fonksiyonu olur. Küçük gözenekli katılarda Knudsen difüzyon sabiti ortalama gözenek yarıçapında hesaplanabilir. Gözenek dağılımı boyunca ortalama bir toplam difüzyon sabitinin de bulunabileceği Wang ve Smith (14) tarafından gösterilmiştir. Buna göre etkin difüzyon sabiti,

$$D_e = \frac{1}{\tau} \int_0^{\infty} D_T(a) f(a) da \quad (1.27)$$

şeklinde bulunur. Burada $f(a)$ da, a ve $a+da$ yarıçapındaki gözeneklerin birim toplam pellet hacmindeki boşluk hacmi-
dir. Bu yaklaşımda diferansiyel hacim boyunca moleküler ve Knudsen difüzyonun etkisi katılmış olur.

Etkin difüzyon sabitinin Denklem 1.26 veya 1.27'ye göre hesaplanabilmesi için bükümlülük faktörünün bilinmesi gerekmektedir. Halbuki daha önce de söylendiği gibi gözenekli ortamın yapısından dolayı τ doğrudan bulunamamaktadır. Bunun için etkin difüzyon sabitinin deneysel bulunması ile ilgili çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Dolayısıyla D_e ve ϵ deneysel bulunarak Denklem 1.26 veya 1.27'den bükümlülük faktörüne geçilebilir.

1.3. Etkin Difüzyon Sabitinin Bulunuşu-Deneysel

Yöntemler

Etkin difüzyon sabiti deneysel olarak iki yöntemle bulunabilir:

(a) Yatışkın hal

(b) Yatışkın olmayan hal veya dinamik yöntem

Her iki yöntemde de difüzyon hücrelerinin bulunuşunda Wicke-Kallenbach tipi difüzyon hücrelerinden yararlanılır.

Yatışkın hal yönteminde hücrenin üst ve alt tarafından iki farklı gaz, örneğin A ve B gazları gönderilir. Çıkış akımları dedektörlerde analiz edilir. Sistem yatışkın hale ulaştığında gazlar birbirini içinden ters yönde difüzlenirler. Konsantrasyonlar ve akım hızı ölçülerek;

$$N_{A_e} = -D_e \frac{C_{A_2} - C_{A_1}}{L} \quad (1.28)$$

denkleminde göre D_e bulunur. Burada; C_{A_2} , C_{A_1} , gözenekli katının her iki tarafındaki A konsantrasyonlarıdır.

Dinamik yöntemle ilk çalışmalarda Schneider ve Smith (15) dolgu kromatograf kolonunda hız parametrelerini incelediler. Burada pellet içi hız parametrelerinin yanı sıra pellet dışı hız parametreleri de görüldü. Eksenel dağılım ve pellet dışı kütle transfer dirençlerinin etkilerini ortadan kaldırmak için Doğu ve Smith (16), tek kataliz pellet moment tekniğini geliştirdiler. Bu sayede inert sistemde etkin difüzyon sabiti ikinci merkezi moment yerine birinci moment ifadesiyle belirlenmektedir. Tek kataliz pellet yöntemiyle adsorpsiyon hız sabitlerinin de bulunabileceği Doğu ve Smith (17) tarafından gösterildi. Dinamik yöntemin diğer yöntemle göre en büyük avantajlarından biri budur ve bir seri deney verisi ile birden fazla parametre bulunabilmektedir. Örneğin aynı yöntemle Uyanık ve Doğu (18), iki dağılımlı katıda mikro ve makro etkin difüzyon

sabitlerini; Doğu ve Ercan (19), iki dağılımlı katıda adsorbsiyon hızı sabitlerini; Doğu et.al. (20) aktif soda pelleti üzerinde SO_2 'nin reaksiyonunu incelediler.

Görüldüğü gibi dinamik tek kataliz pellet moment yöntemiyle tek dağılımlı veya iki dağılımlı katılarda;

- (a) Etkin difüzyon sabitleri,
- (b) Pellet içi adsorbsiyon hızı sabitleri,
- (c) Reaksiyon hızı sabitleri gibi parametreler hızlı ve güvenilir bir şekilde bulunabilmektedir.

Dinamik yöntemin avantajları şöyle sıralanabilir:

- (a) Difüzlenen madde puls şeklinde verildiğinden az miktarda izleyici madde harcanmaktadır.
- (b) Az sayıda ölçüm cihazına ihtiyaç vardır.
- (c) Az sayıda deneyle birden fazla parametre bulunabilir.
- (d) Difüzlenen madde ortamda seyreltik olduğundan etkin difüzyon sabitinin konsantrasyona bağımlılığı ihmal edilebilecek düzeyde olmaktadır.
- (e) Kapalı gözeneklerin etkisi görüldüğünden daha güvenilir bükümlülük faktörü hesaplanır.

Dinamik yöntemde teorilerin çözümü ve moment ifadelerinin bulunması için Laplas alanındaki çözümler yeterlidir. Tekrar zaman alanına geçilmediğinden avantaj sağlar. Fakat Laplas çözümü için denklemlerin lineer olması gerekir. Yöntem için bu dezavantajdır. Bazı uygulamalar için lineer olmıyan ifadeler de türetilmiştir. Örneğin,

lineer olmıyan adsorpsiyon sistemi için Doğu T.(21) tarafından iteratif bir yöntemle moment denklemleri çıkartılmıştır.

Dinamik yöntem ile etkin difüzyon sabitini bulabilmek için Wicke-Kallenbach tipi difüzyon hücresinin alt ve üst tarafından taşıyıcı (B) gazı geçirilir ve üst akıma izleyici (A) gazı puls olarak verilir. İzleyici gazı üst bölmeden alt bölmeye doğru kataliz pelleti içinden difüzlenerek geçer ve alt akım çıkışına konan bir dedektörde analiz edilir. Dedektöre bağlı bir kaydedicide dağılım eğrileri veya pikler elde edilir. Deneysel momentler bu piklerin yorumlanmasından bulunur(bir bölüm sonra anlatılacaktır). Birinci merkezi moment veya ortalama kalış süresi alt hücreden geçen gazın hızının yüksek olması halinde, teorik olarak;

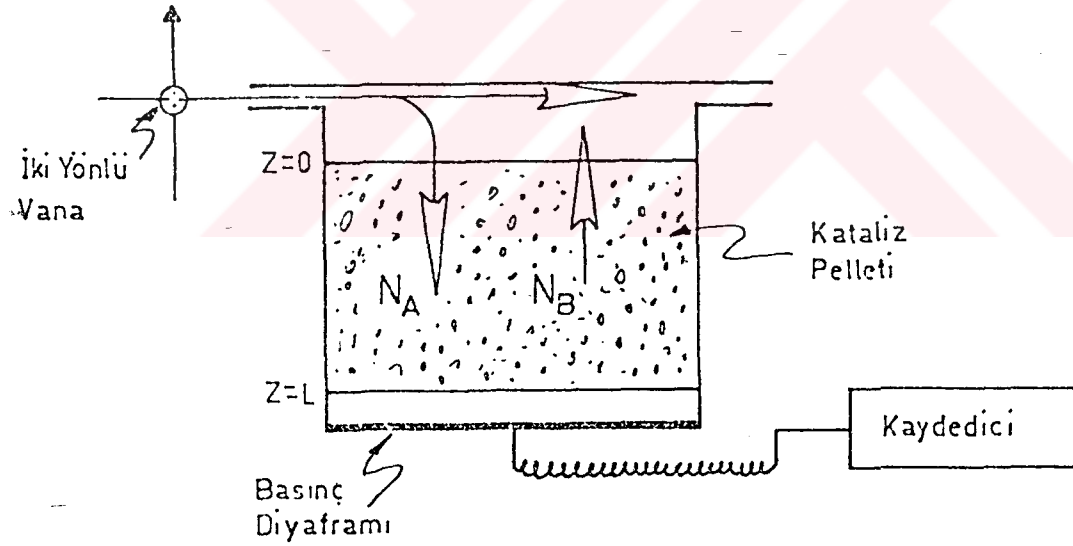
$$\mu_{1\infty} = \frac{\epsilon L^2}{6D_e} \quad (1.29)$$

denkleme eşittir. Buradaki $\mu_{1\infty}$ deneysel piklerden bulunduğundan D_e , Denklem 1.29'a göre hesaplanabilir(16).

Dinamik yöntemin uygulandığı ve yukarda söylenen araştırmaların hepsinde pellet içinde konvektif veya vizkoz akıyı elimine etmek için deneyler sabit basınçta yürütülmüştür. İzobarik olmıyan şartlarda meydana gelen vizkoz akıyı da dikkate alarak dinamik yöntemle bazı araştırmalar yapılmıştır.

Gözenekli katı içinde yatışkın olmıyan halde, toplam basınç gradyanının gaz difüzyon hızı üzerine etkisi Asaeda et.al.(22) tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada

kullanılan tek kataliz pelleti (6mm iç çapında ve 10 mm uzunluğunda) 0.297 gözeneklilikte cam tozundan hazırlanmıştır. Pelletin kapalı ucundan basınç ölçülürken, diğer uçtan geçirilen (B) gazı aniden (A) gazı ile değiştirilince (stepwise) gözenekli katıda oldukça hızlı ve önemli bir basınç gradyanının oluştuğu gözlenmiştir(Şekil 1.2). Gözlenen bu basınç dağılım eğrileri, dusty gaz modeline göre türetilen izobarik olmıyan ifadelerin nümerik çözümleri sonucu çizilen eğrilerle tutarlı oldukları bulunmuştur.



Şekil 1.2. Yatışkın olmıyan halde kullanılan kataliz pelletinin şematik gösterimi, Asaeda et.al. (22), Nakano et.al. (24).

McGreavy ve Asaeda (23), Wicke-Kallenbach tipi difüzyon hücresini kullanarak izobarik olmıyan difüzyonu, Asaeda et.al. (22)'in yaklaşımlarına benzer olarak analiz etmişlerdir. Yatışkın olmıyan halde izleyici puls olarak verilmiş ve gözlenen eğriler, model sonucu hesaplanarak çizilen eğrilerle karşılaştırılmıştır. Gözlenen 1 saniyelik pulsun izobarik modele uyduğunu, puls zamanı artırıldıkça eğrilerin izobarik olmıyan modele benzemeğe başladığını ifade etmişlerdir. Analizlerinde izobarik model olarak Doğu ve Smith (16)'in $y_A \ll 1$ için olan ifadeyi, izobarik olmıyan model için Mason et.al. (3) tarafından türetilen denklemleri kullanmışlardır.

Nakano et.al. (24) yine Asaeda et.al. (22) deney düzeninin benzerini kullanarak gözenekli adsorbent katıda izobarik olmıyan gaz difüzyonunu incelemişlerdir. Adsorplanan gazların; dış basınç sabit tutulsa dahi; karşıt difüzyonu boyunca basınç gradyanının oluştuğunu bulmuşlardır.

Yatışkın olmıyan halde tek kataliz pelleti üzerinde ikili gaz difüzyonunun çalışıldığı bu son üç makalede, uygulanan yöntem ve deney sistemi birbirinin benzeridir. Eş molal olmıyan karşıt difüzyondan dolayı pellet içinde bir basınç gradyanının oluştuğu bulunmuştur. İzobarik olmıyan difüzyon için Mason et.al. (3), Gunn ve King (10) tarafından türetilen denklemler kullanılmıştır (Denklem 1.22). Bu çalışmalarda etkin difüzyon sabiti ve vizkoz akış katsayısını bulmak için ayrıca yatışkın halde difüzyon

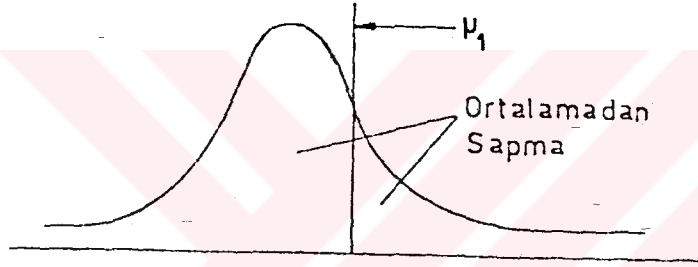
ve geçirgenlik (permeability) deneyleri yapılmıştır.

1.4 Genel Moment Teorisi

Moment teorisi detaylı olarak Uyanık (25) tarafından verilmiştir. Zaman alanındaki fonksiyon $(C(t))$ 'un n 'nci dereceden momenti;

$$m_n = \int_0^{\infty} C t^n dt \quad (1.30)$$

şeklinde ifade edilir. Genel olarak dağılım eğrisi aşağıdaki şekildedir.



Fiziksel olarak birinci mutlak moment, ortalama kalış süresi $(\bar{t})$ 'ne karşılık gelmektedir ve;

$$\mu_1 = \frac{m_1}{m_0} = \frac{\int_0^{\infty} C t dt}{\int_0^{\infty} C dt} \quad (1.31)$$

olarak tarif edilir. İkinci merkezi moment ise ortalama-dan fark kareler sapmasını veya istatistikte söylendiği gibi varyansı ifade etmektedir. İkinci merkezi moment;

$$\mu_2' = \frac{m_2}{m_0} - \left(\frac{m_1}{m_0} \right)^2 = \frac{\int_0^{\infty} C (t - \mu_1)^2 dt}{\int_0^{\infty} C dt} \quad (1.32)$$

denklemleri ile belirtilir. Zaman alanındaki C fonksiyonunun Laplas alanında gösterimi Denklem 1.33 ile verilmiştir.

$$\mathcal{L} \{C(t)\} = \bar{C}(s) = \int_0^{\infty} C e^{-st} dt \quad (1.33)$$

Laplas alanındaki bu fonksiyonun s'ye göre n defa türevi alınıp s'nin sıfıra yaklaştığı durum için limiti alınır- sa n'inci dereceden moment ifadesi elde edilir.

$$m_n = (-1)^n \lim_{s \rightarrow 0} \frac{d^n \bar{C}}{ds^n} = \int_0^{\infty} C t^n dt \quad (1.34)$$

Denklem 1.34'e bakılacak olursa, sağ tarafının zaman alanında sol tarafının ise Laplas alanında olduğu görülür.

Bu görüşten hareketle fiziksel sistemin matematiksel modeli kurulur ve Laplas alanına aktarılır. Öte yandan sistemde deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ve zaman alanında bulunan dağılım eğrilerinin nümerik yöntemlerle integraleri bulunabilir. Laplas alanında çözülmüş model buna eşitlenir. Dolayısıyla modeli tekrar zaman alanına aktarmaya gerek kalmadan aranan parametreler bulunur. Bu yöntemi uygulayabilmek için, modele göre türetilen denklemlerin Laplas alanına aktarılabilirmeleri gerekir.

1.5. Yapılan Çalışmanın Amacı

Wicke-Kallenback tipi tek kataliz pellet moment tekniği kullanılarak yapılan bu çalışmanın amacı maddeler halinde aşağıda belirtilmiştir;

(a) İzobarik şartlarda etkin difüzyon sabitinin konsantrasyona bağımlılığını incelemek (enjekte edilen izleyici miktarının etkisini incelemek).

(b) İzobarik şartlarda moleküler difüzyon ile Knudsen difüzyonunun birbirine göre bağıl önemini, sıcaklığa göre belirlemek,

(c) İzobarik olmıyan akışın izobarik difüzyona göre bağıl önemini incelemek, difüzyon sabitleri ile Darcy vizkoz akış sabitinin değerlerini dinamik yöntemle tespit etmektir.

BÖLÜM -II

T E O R İ

Dinamik tek kataliz pellet yönteminde, kataliz pelletinin üstünden ve altından taşıyıcı B gazı geçirilirken, aniden üst taşıyıcı gaz akımına izleyici A gazı puls olarak verilir. Üst akımdan alt akıma doğru gözenekli kataliz pelleti içinde taşınan izleyici molekülleri, pellet boyunca sistem parametrelerine bağlı olarak dağılırlar. Bu dağılım, gaz kromatografi dedektöründe; örneğin alt akım çıkışına konan termal iletkenlik dedektörü (TCD)'nde izleyici konsantrasyonuna karşı zaman eğrisi şeklinde gözlenebilir. Gözlenen dağılım eğrilerinin şekli tamamen sistem parametrelerine bağlıdır.

Gözlenen bu dağılım eğrilerinden sistem parametrelerini bulabilmek için bir model kurulması gereklidir. Bu amaçla tek kataliz moment tekniği geliştirilmiştir. Yöntemi uygulayabilmek için, teorik olarak sistem çıkışına karşı gelen ve Laplas alanındaki izleyici konsantrasyonu ifadesine ihtiyaç vardır. Bu da tek kataliz pelleti üzerinde madde denklikleri kurularak, denklemlerin Laplas alanındaki çözümünden bulunabilir.

Laplas alanında ifade edilmiş ve sistem çıkışına

karşı gelen izleyici konsantrasyonu denklemi kullanılarak, genel moment teorisine göre moment ifadeleri türetilir. Öte yandan deneysel hesaplanan momentler, teorik moment denklemlerine eşitlenerek aranan sistem parametreleri çekilir.

2.1. Tek Kataliz Pelleti Üzerinde

Madde Denklikleri

Dinamik tek kataliz pellet moment tekniğinde kullanılan, tek kataliz pelleti ve difüzyon hücresinin şematik gösterimi Şekil 2.1'de bütün ayrıntılarıyla görülmektedir.

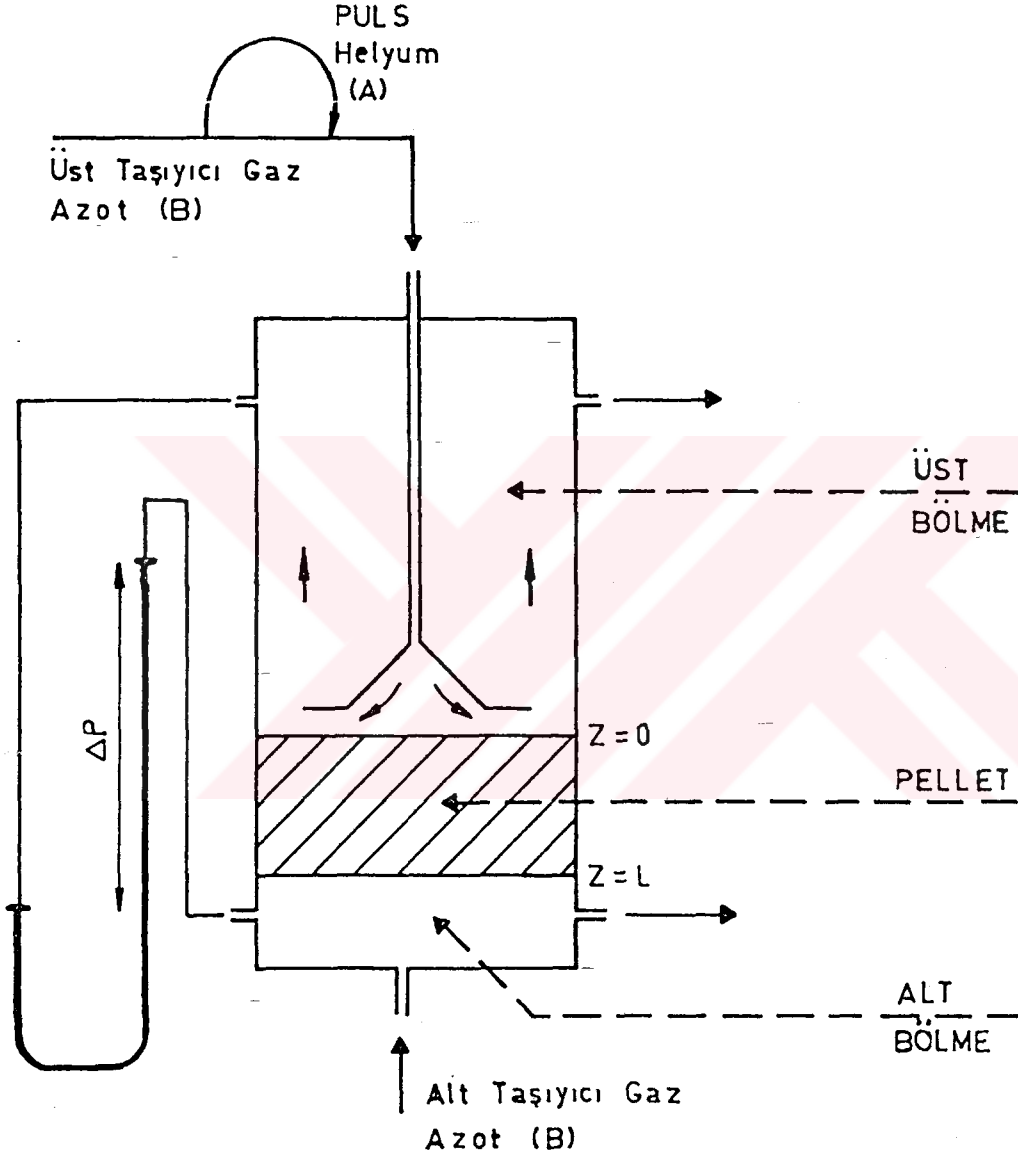
Difüzyon hücresi tasarımlanırken, difüzlenen izleyici gazın, kataliz pelletinin tüm yüzünü süpürecek şekilde geçirilmesine dikkat edilmiştir.

Pellet etrafında heterojen fazda izleyici için madde denkliği aşağıda verilmiştir:

$$\varepsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} = -\nabla N_{Ae} \quad (2.1)$$

İzobarik şartlarda Denklem 1.25 kullanılarak, Denklem 2.1 çözülmüş ve moment ifadeleri Doğu ve Smith (16) tarafından bulunmuştur.

Bu bölümde izobarik olmıyan şartlarda akış incelenerek etkin akı ifadesi bulunmuş ve denklemler türetilerek teorik momentler elde edilmiştir.



Şekil 2.1. Tek kataliz pelletinin şematik gösterimi.

2.2. Tek Kataliz Pelletinde İzobarik Olmıyan Şartlarda Difüzyon ve Akış

Gözenekli katıda izobarik olmıyan şartlarda gazın taşınımı birbirine paralel iki mekanizma ile olur (3,8,10,11);

(a) Normal difüzyon,

(b) Vizkoz akış

Bu iki mekanizma birbirinden bağımsız etkir. İzobarik olmıyan şartlarda izleyici A maddesinin kataliz pelleti içinden akışı bu iki mekanizmanın toplamına eşittir.

İzobarik olmıyan
(A'nın akışı) = (Difüzif akı) + (Vizkoz akı),

$$N_{Ae} = N_{Ae}(\text{difüzif akı}) + N_{Ae}(\text{vizkoz akı}). \quad (2.2)$$

Vizkoz akı terimi Darcy eşitliğine benzer olarak yazılabilir (8,10);

$$N_{Ae}(\text{vizkoz}) = \frac{C_o}{\mu} C_A \left(- \frac{\partial P}{\partial Z} \right). \quad (2.3)$$

Burada; C_o , vizkoz akı katsayısı; μ , gazın vizkozitesidir.

Difüzif akı terimi de Denklem 1.25 ve 1.26'ya göre ifade edilirse,

$$N_{Ae} = \underbrace{-D_e \frac{\partial C_A}{\partial Z}}_{\text{difüzif akı}} + \underbrace{\frac{C_o}{\mu} C_A \left(- \frac{\partial P}{\partial Z} \right)}_{\text{vizkoz akı}} \quad (2.4)$$

veya,

$$N_{Ae} = \frac{-\epsilon/\tau}{\frac{1-\alpha y_A}{D_{AB}} + \frac{1}{D_{KA}}} \frac{\partial C_A}{\partial Z} + \frac{C_o}{\mu} C_A \left(- \frac{\partial P}{\partial Z} \right) \quad (2.5)$$

şeklinde izobarik olmıyan etkin akı türetilmiş olur.

İzobarik olmıyan şartlar için literatürde yapılan çalışmalar temel olarak birbirinin benzeridir. Otani et.al. (2)'in analizlerine göre yazılan Denklem 1.19'a göre etkin akı;

$$N_{Ae} = \left(\frac{\epsilon}{\tau} \right) N_A^0 + \frac{F y_A}{\left(1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}} \right)} \left(\frac{\epsilon}{\tau} \right) \quad (2.6)$$

olur. Denklemin sağ tarafındaki birinci terim difüzyif akı, ikinci terim ise vizkoz akı terimine karşı gelmektedir. Denklem 2.6'daki F (Forced flow), poiseuille ve moleküler akımın toplamı olarak ilgili makalede tanımlanmıştır. Denklem 1.18. Moleküler akım terimi $1/M_A$ parantezine alınırsa;

$$F = - \left[\frac{a^2 p}{8 \mu} + \frac{4 a R T}{3 M_A (\bar{U}_A y_A + \frac{1}{m^{1/2}} \bar{U}_B y_B)} \right] \frac{1}{R T} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (2.7)$$

elde edilir. Burada;

$$m = - \frac{N_B^0}{N_A^0} = \left(\frac{M_A}{M_B} \right)^{1/2} = \frac{D_{KB}}{D_{KA}} \quad (2.8)$$

olarak tanımlanmıştır. Yine ilgili makalede gaz kinetik teoriye göre;

$$\bar{U}_A = \left(\frac{8 R T}{\pi M_A} \right)^{1/2} \quad (2.9)$$

$$D_{KA} = \frac{2}{3} \bar{U}_A a \quad (2.10)$$

olarak verilmiştir. Denklem 2.9 ve 2.10'a göre Denklem 2.7 yeniden düzenlenirse;

$$F = - \left(\frac{a^2 P}{8\mu} + \frac{\pi D_{KA} a^2}{4 \left(y_A + \frac{1-y_A}{m} \right)} \right) \frac{1}{RT} \frac{\partial P}{\partial Z} \quad (2.11)$$

elde edilir. Denklem 2.6'da sağ taraftaki ikinci terim Denklem 2.11'e göre yazılırsa,

$$\frac{F y_A}{\left(1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}} \right)} \frac{\epsilon}{\tau} = - \left(\frac{a^2 P}{8\mu} + \frac{\pi D_{KA} a^2}{4 \left(y_A + \frac{1-y_A}{m} \right)} \right) \cdot \frac{y_A}{RT} \frac{\partial P}{\partial Z} \left(\frac{\epsilon}{\tau} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}}} \right) \quad (2.12)$$

ifadesi bulunur. Denklem 2.12, Denklem 2.5 ile karşılaştırılırsa;

$$C_O = \left(\frac{a^2}{8} + \frac{a^2 \pi D_{KA} \mu}{4 P \left(y_A + \frac{1-y_A}{m} \right)} \right) \frac{\epsilon / \tau}{\left(1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}} \right)} \quad (2.13)$$

eşit olduğu görülür. Ortamda y_A ihmal edilebilecek düzeyde ise; Denklem 2.13;

$$C_O = \frac{a^2}{8} \left(1 + \frac{2\pi D_{KB} \mu}{P} \right) \frac{\epsilon / \tau}{(1 + D_{AB}/D_{KA})} \quad (2.14)$$

ifadesine dönüşür. Denklem 2.14'e bakıldığında 1'in yanında $(2\pi D_{KB} \mu / P)$ terimi de ihmal edilebilecek mertebededir.

Dolayısıyla bu çalışmada Denklem 2.5'te tanımlanan vizkoz akı katsayısı, Otani et.al.'in analizi ile karşılaştırılınca;

$$C_O = \frac{a^2}{8} \frac{\epsilon / \tau}{(1 + D_{AB}/D_{KA})}$$

olduğu görülür.

Evans et.al. (9) Dusty gaz modelinde, izobarik olma-
yan toplam akıyı, aşağıdaki şekilde ifade etmişlerdir:

$$N_{top} = \alpha N_A^0 - \frac{B_O P}{\mu} \frac{\partial P}{\partial Z} \quad (2.16)$$

Burada $\alpha = 1 + \frac{N_B^0}{N_A^0}$; B_O , gözenekli ortama bağlı ve deney-
sel bulunan bir faktör olarak tanımlanmıştır. Denklem
1.14 ve 2.16'dan

$$N_A = \frac{-D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial Z} + (N_A^0 + N_B^0) y_A - \frac{B_O}{RT} \frac{\partial P}{\partial Z} y_A}{(1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}})} \quad (2.17)$$

veya

$$N_A = - \frac{1}{\frac{1}{D_{KA}} + \frac{1 - \alpha y_A}{D_{AB}}} \frac{\partial C_A}{\partial Z} - \frac{B_O}{RT(1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}})} \frac{\partial P}{\partial Z} y_A \quad (2.18)$$

olur. Etkin akı cinsinden ifade edilirse,

$$N_{Ae} = - \frac{\epsilon/\tau}{\frac{1}{D_{KA}} + \frac{1 - \alpha y_A}{D_{AB}}} \frac{\partial C_A}{\partial Z} - \frac{B_O(\epsilon/\tau)}{RT(1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}})} \frac{\partial P}{\partial Z} y_A \quad (2.19)$$

elde edilir. Denklem 2.5 ve 2.19 karşılaştırılınca vizkoz
akı katsayısı,

$$C_O = \frac{B_O}{(1 + \frac{D_{AB}}{D_{KA}})} \left(\frac{\epsilon}{\tau} \right) \quad (2.20)$$

karşı geldiği görülür.

Allawi ve Gunn (8) tarafından türetilen denklemler
Evans et.al. tarafından verilen denklemlere benzemektedir.

Vizkoz akı terimi olarak Darcy eşitliği alınmıştır. Gözenekli katı için izobarik olmıyan akı ifadesini

$$N_{Ae} = N_{Ae}^0 - \frac{C}{\mu} \frac{P}{RT} \gamma_A \frac{\partial P}{\partial Z} \quad (2.21)$$

şeklinde türetmişlerdir. Burada; C, Darcy sabiti olarak tarif edilmiştir ve ortalama gözenek yarıçapının karesinin bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir. Denklem 2.5 ve 2.21 karşılaştırılınca;

$$C_0 = C \quad (2.22)$$

olduğu görülür.

Literatürde yapılan çalışmalarla Denklem 2.5'in karşılaştırılması sonucu bulunan Denklem 2.15, 2.20 ve 2.22'den görüldüğü gibi; Denklem 2.5'te tanımlanan vizkoz akı katsayısı;

$$C_0 = f(a^2, \epsilon, T); \quad (2.23)$$

gözenekli ortamın yapısına bağlı bir sabite olduğu görülür. Birim analizinden C_0 'ın birimi, m^2 bulunur.

Denklem 2.1'de verilen maddenin korunum denklemi ve izobarik olmıyan etkin akı (Denklem-2.5) kullanılarak,

$$\epsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} = -\nabla \cdot (D_e \frac{\partial C_A}{\partial Z} + \gamma C_A), \quad (2.24)$$

denklemini bulunur. Burada;

$$\gamma = \frac{C_0}{\mu} \left(- \frac{\partial P}{\partial Z} \right), \text{ m/s} \quad (2.25)$$

olarak tarif edilmiştir. Denklem 2.24'ün sağ tarafının türevini alabilmek için;

1. Dinamik yöntemde izobarik şartlarda yapılan çalışmalarda, ortamda izleyici konsantrasyonu çok az olduğundan $\alpha y_A \rightarrow 0$ kabul edilerek D_e sabit alınmıştır. İzobarik olmıyan şartlar için de aynı kabul yapılabilir.

2. Vizkoz akı teriminde C_0 ortama bağlı bir sabitedir. İzleyici miktarı ortamda az olduğundan vizkozite pek fazla değişmez. Toplam basınç gradyanı $(-\partial P/\partial Z)$, pellet boyunca sabit olduğu kabul edilirse, γ sabit alınabilir.

Yapılan bu kabullere bağlı olarak Denklem 2.24;

$$\epsilon \frac{\partial C_A}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C_A}{\partial Z^2} - \gamma \frac{\partial C_A}{\partial Z} \quad (2.26)$$

ifadesine dönüşür. Şekil 2.1'de verilen tek kataliz pelleti etrafında başlangıç ve sınır şartları Doğu ve Smith (15)'in analizine benzer olarak aşağıda verilmiştir:

$$\text{B.Ş:} \quad t=0, \quad 0 < Z < L, \quad C_A = 0; \quad (2.27)$$

$$\text{S.Ş.1:} \quad t > 0, \quad Z = 0, \quad C_A = M\delta(t); \quad (2.28)$$

$$\text{S.Ş.2:} \quad t > 0, \quad Z=L, \quad A \left(-D_e \frac{\partial C_A}{\partial Z} + \gamma C_A \right) \Big|_{Z=L} = F_2 C_A \Big|_{Z=L}. \quad (2.29)$$

Denklem 2.26, boyutsuz $z=Z/L$ kullanılarak değişken değiştirilirse ve Laplas alanına aktarılıp düzenlenirse,

$$\frac{d^2 \bar{C}_A}{dz^2} - \frac{\gamma L}{D_e} \frac{d \bar{C}_A}{dz} - \frac{\epsilon s L^2}{D_e} \bar{C}_A = 0 \quad (2.30)$$

karakteristik denklemi elde edilir. Denklemin genel çözümü;

$$\bar{C}_A = e^{\delta z} (B_1 \cosh \psi z + B_2 \sinh \psi z) \text{ 'dir.} \quad (2.31)$$

Burada;

$$\delta = \frac{\gamma L}{2D_e}, \quad (2.32)$$

$$\psi = \left[\left(\frac{\gamma L}{2D_e} \right)^2 + \frac{\epsilon_s L^2}{D_e} \right]^{1/2} \quad (2.33)$$

olarak tarif edilmiştir.

Sınır şartları Laplas alanına aktarılıp, Denklem 2.30'a uygulanırsa, integral sabitleri şöyle bulunur;

$$B_1 = M, \quad (2.34)$$

$$B_2 = - \frac{M \left(1 + \frac{A D_e}{(F_2 - \gamma A)L} \delta \right) \cosh \psi + \frac{A D_e}{(F_2 - \gamma A)L} M \psi \sinh \psi}{\frac{A D_e}{(F_2 - \gamma A)L} \psi \cosh \psi + \left(1 + \frac{A D_e}{(F_2 - \gamma A)L} \delta \right) \sinh \psi} \quad (2.35)$$

integral sabitleri genel çözümde yerlerine konulursa;

$$\bar{C}_A = e^{\delta z} \left\{ M \cosh \psi z - \frac{M \left(1 + \frac{A D_e}{(F_2 - \gamma A)L} \delta \right) \cosh \psi + \frac{A D_e}{(F_2 - \gamma A)L} M \psi \sinh \psi}{\frac{A D_e}{(F_2 - \gamma A)L} \psi \cosh \psi + \left(1 + \frac{A D_e}{(F_2 - \gamma A)L} \delta \right) \sinh \psi} \sinh \psi z \right\} \quad (2.36)$$

ve pellet çıkışında,

$$\bar{C}_A \Big|_{z=1} = \frac{M e^{\delta}}{\cosh \psi + \left(\frac{F_2 L}{A D_e} - \delta \right) \frac{\sinh \psi}{\psi}} \quad (2.37)$$

şekline dönüşür.

2.3. Moment İfadelerinin Türetilişi

2.3.1. Sıfıncı Moment'in Çıkarılışı

Denklem 1.34'e göre sıfıncı moment,

$$m_0 = \lim_{s \rightarrow 0} (\bar{C}_A)_{z=1} \quad (2.38)$$

Burada $\bar{C}_A = f(\psi)$ ve $\psi = f(s)$ 'dir. Dolayısıyla,

$$\lim_{s \rightarrow 0} \psi = \lim_{s \rightarrow 0} \left[\left(\frac{\gamma L}{2D_e} \right)^2 + \frac{\epsilon s L^2}{D_e} \right]^{1/2} = \frac{\gamma L}{2D_e} \quad (2.39)$$

veya,

$$\lim_{s \rightarrow 0} \psi = \delta \quad (2.40)$$

olduğu görülür. Denklem 2.37'ye göre limit alınır,

$$m_o = \lim_{\substack{s \rightarrow 0 \\ \psi \rightarrow \delta}} (\bar{C}_A)_{z=1} = \lim_{\substack{s \rightarrow 0 \\ \psi \rightarrow \delta}} \frac{M e^\delta}{\cosh \psi + \left(\frac{F_2 L}{A D_e} + \delta \right) \frac{\sinh \psi}{\psi}} \quad (2.41)$$

veya

$$m_o = \frac{M e^\delta}{\cosh \delta + \left(\frac{F_2 L}{A D_e} + \delta \right) \frac{\sinh \delta}{\delta}} \quad (2.42)$$

elde edilir.

Sıfırıncı moment birimsiz parametre δ 'nın bir fonksiyonu olarak türetilmiştir. Bu parametre Denklem 2.32'ye göre tarif edilmiştir. Fiziksel olarak bakılacak olursa bu denklemde payın vizkoz akı, paydanının ise difüzyon akı parametrelerine karşı geldiği görülür. Pellet üzerinde herhangi bir basınç farkı yoksa ($\Delta P=0$) vizkoz akı terimi sıfır olur ve taşınım difüzyon akı ile olur. Buna göre izobarik olmayan taşınım için bulunan sıfırıncı moment, $\delta \rightarrow 0$ 'ye göre limiti alınır izobarik taşınım için türetilen sıfırıncı moment bulunmalıdır.

Belirsizlik yapan terime L'hospitals kuralı uygulanıp limit alınır, Denklem 2.43 elde edilir.

$$\lim_{\substack{\delta \rightarrow 0 \\ -\partial P / \partial Z \rightarrow 0 \\ \gamma \rightarrow 0}} m_o = m_{oo} = \frac{M}{1 + \frac{F_2 L}{AD_{e_o}}} \quad (2.43)$$

Burada m_{oo} ve D_{e_o} ; sırasıyla $\Delta P=0$ 'da bulunan sıfırıncı moment ve etkin difüzyon sabitidir. Her iki sıfırıncı moment denkleminde puls konsantrasyonu (M) belirlemektedir. Denklem 2.42 ve 2.43 birbirine oranlanırsa M yokedilmiş olur.

$$\frac{m_{oo}}{m_o} = \frac{M / (1 + (F_2 L / AD_{e_o}))}{Me^{\delta} (\cosh \delta + (F_2 L / AD_{e_o} - \delta) \sinh \delta / \delta)} \quad (2.44)$$

$$\left(\frac{m_{oo}}{m_o} \right) = \frac{\cosh \delta + \left(\frac{F_2 L}{AD_e} + \delta \right) \frac{\sinh \delta}{\delta}}{\left(1 + \frac{F_2 L}{AD_{e_o}} \right) e^{\delta}} \quad (2.45)$$

Yüksek alt akım hızına göre ($F_2 \rightarrow \infty$) bu oranın limiti alınabilir:

$$\lim_{F_2 \rightarrow \infty} \frac{m_{oo}}{m_o} = \left(\frac{m_{oo}}{m_o} \right)_{\infty} = \left(\frac{D_{e_o}}{D_e} \right) \frac{\sinh \delta}{\delta e^{\delta}} \quad (2.46)$$

Alt akım hızının limiti alınarak elde edilen bu denklemde difüziviteler oranı bulunmaktadır. İzobarik şartlarda etkin difüzyon sabiti;

$$D_{e_o} = \frac{\varepsilon}{\tau} (D_T)_o \quad (2.47)$$

ve $(\alpha_{y_A} \rightarrow 0)$ 'a göre,

$$(D_T)_o = \frac{1}{\left(\frac{1}{D_{AB}} \right)_o + \frac{1}{D_{K_A}}} \quad (2.48)$$

yazılabilir.

izobarik olmıyan şartlarda ise,

$$D_e = \frac{\varepsilon/\tau}{\left[\left(\frac{1}{D_{AB}} \right)_P + \frac{1}{D_{KA}} \right]} \quad (2.49)$$

şeklinde tarif edilebilir.

Moleküler difüzyon sabiti basınca bağlı olduğundan izobarik olmıyan şartlarda ortalama bir basınçta hesaplanabilir.

$$P_{\text{ort}} = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{(P_2 + \Delta P) + P_2}{2} \quad (2.50)$$

Burada; ΔP manometreden okunan basınç farkı, P_2 ise atmosferik basınçtır.

Denklem 2.47, 2.48 ve 2.49'a göre difüziviteler oranı,

$$\frac{D_{eO}}{D_e} = \frac{\left[\left(\frac{1}{D_{AB}} \right)_P + \frac{1}{D_{KA}} \right]}{\left[\left(\frac{1}{D_{AB}} \right)_O + \frac{1}{D_{KA}} \right]} \quad (2.51)$$

veya,

$$D_e = D_{eO} \left[\left(1/D_{AB} \right)_O + 1/D_{KA} \right] / \left[\left(1/D_{AB} \right)_P + 1/D_{KA} \right], \quad (2.52)$$

$$D_e = D_{eO} \frac{D_T}{D_{T_O}} \quad (2.53)$$

olduğu görülür.

2.3.2. Birinci Moment'in Çıkarılışı

Denklem 1.34'e göre birinci moment,

$$m_1 = (-1) \lim_{\substack{s \rightarrow 0 \\ \psi \rightarrow \delta}} \frac{d(\bar{C}_A)_{z=1}}{ds} \quad (2.54)$$

$\psi = f(s)$ olduğundan zincir kuralı ile değişken değiştirilirse,

$$\frac{d(\bar{C}_A)_{z=1}}{ds} = \frac{d(\bar{C}_A)_{z=1}}{d\psi} \frac{d\psi}{ds} \quad (2.55)$$

Denklem 2.33'e göre,

$$\frac{d\psi}{ds} = \frac{\epsilon L^2}{2D_e \psi} \quad (2.56)$$

ve Denklem 2.37'den

$$\frac{d(\bar{C}_A)_{z=1}}{d\psi} = \frac{-Me\delta \left[\sinh\psi + \left(\frac{F_2 L}{AD_e} - \delta \right) \frac{\psi \cosh\psi - \sinh\psi}{\psi^2} \right]}{\left[\cosh\psi + \left(\frac{F_2 L}{AD_e} + \delta \right) \frac{\sinh\psi}{\psi} \right]^2} \quad (2.57)$$

ifadesi bulunur. Denklem 2.54, 2.55, 2.56 ve 2.57 kullanılarak;

$$m_1 = \frac{M e \delta \left[\sinh\delta + \left(\frac{F_2 L}{AD_e} - \delta \right) \frac{\delta \cosh\delta - \sinh\delta}{\delta^2} \right] \frac{\epsilon L^2}{2D_e \delta}}{\left[\cosh\delta + \left(\frac{F_2 L}{AD_e} - \delta \right) \frac{\sinh\delta}{\delta} \right]^2} \quad (2.58)$$

birinci moment ifadesi türetilmiştir.

2.3.3. Birinci Mutlak Moment'in Çıkarılışı

Denklem 1.31'de birinci mutlak moment, $\mu_1 = (m_1/m_0)$ olarak tarif edilmiştir. Buna göre Denklem 2.42 ve 2.58 oranlanırsa birinci mutlak moment ifadesi aşağıdaki şekilde bulunur:

$$\mu_1 = \frac{\frac{\epsilon L^2}{2D_e} \left[\frac{\sinh\delta}{\delta} + \left(\frac{F_2 L}{AD_e} - \delta \right) \frac{\delta \cosh\delta - \sinh\delta}{\delta^3} \right]}{\left[\cosh\delta + \left(\frac{F_2 L}{AD_e} - \delta \right) \frac{\sinh\delta}{\delta} \right]} \quad (2.59)$$

izobarik olmıyan şartlar için elde edilen bu denklemin limiti izobarik birinci mutlak momenti vermelidir.

$$\lim_{\substack{\delta \rightarrow 0 \\ \gamma \rightarrow 0 \\ -\frac{dP}{dz} \rightarrow 0}} \mu_1 = \frac{\frac{\epsilon L^2}{6De_0} \left(3 \frac{A}{L} De_0 + F_2 \right)}{\left(\frac{A}{L} De_0 + F_2 \right)} = (\mu_1)_0 \quad (2.60)$$

Denklem 2.60 izobarik şartlarda literatürde Doğu ve Smith (16) tarafından türetilen denklem (9) ile tutarlıdır.

Yüksek alt akım hızı ($F_2 \rightarrow \infty$)'na göre Denklem 2.59'un limiti alınır;

$$\lim_{F_2 \rightarrow \infty} \mu_1 = (\mu_1)_\infty = \frac{\epsilon L^2}{2De} \frac{\delta \cosh \delta - \sinh \delta}{\delta^2 \sinh \delta} \quad (2.61)$$

elde edilir. Basınç farkının olmadığı izobarik şartlara bu denklemi indirgemek için $\delta \rightarrow 0$ limiti alınmalıdır.

$$\lim_{\delta \rightarrow 0} \mu_{1\infty} = (\mu_{1\infty})_0 = \frac{\epsilon L^2}{6De_0} \quad (2.62)$$

elde edilir. Denklem 2.62, Doğu ve Smith (16) tarafından izobarik şartlarda çıkarılan ve yüksek alt akış hızları için verilen denklemdir.

Sıfırıncı momentler gibi birinci mutlak momentler de oranlanırsa;

$$\frac{\mu_{1\infty}}{(\mu_{1\infty})_0} = \left(\frac{De_0}{De} \right) \left(\frac{\delta \coth \delta - 1}{\delta^2} \right) \quad (2.63)$$

ifadesi bulunmuş olur.

BÖLÜM III

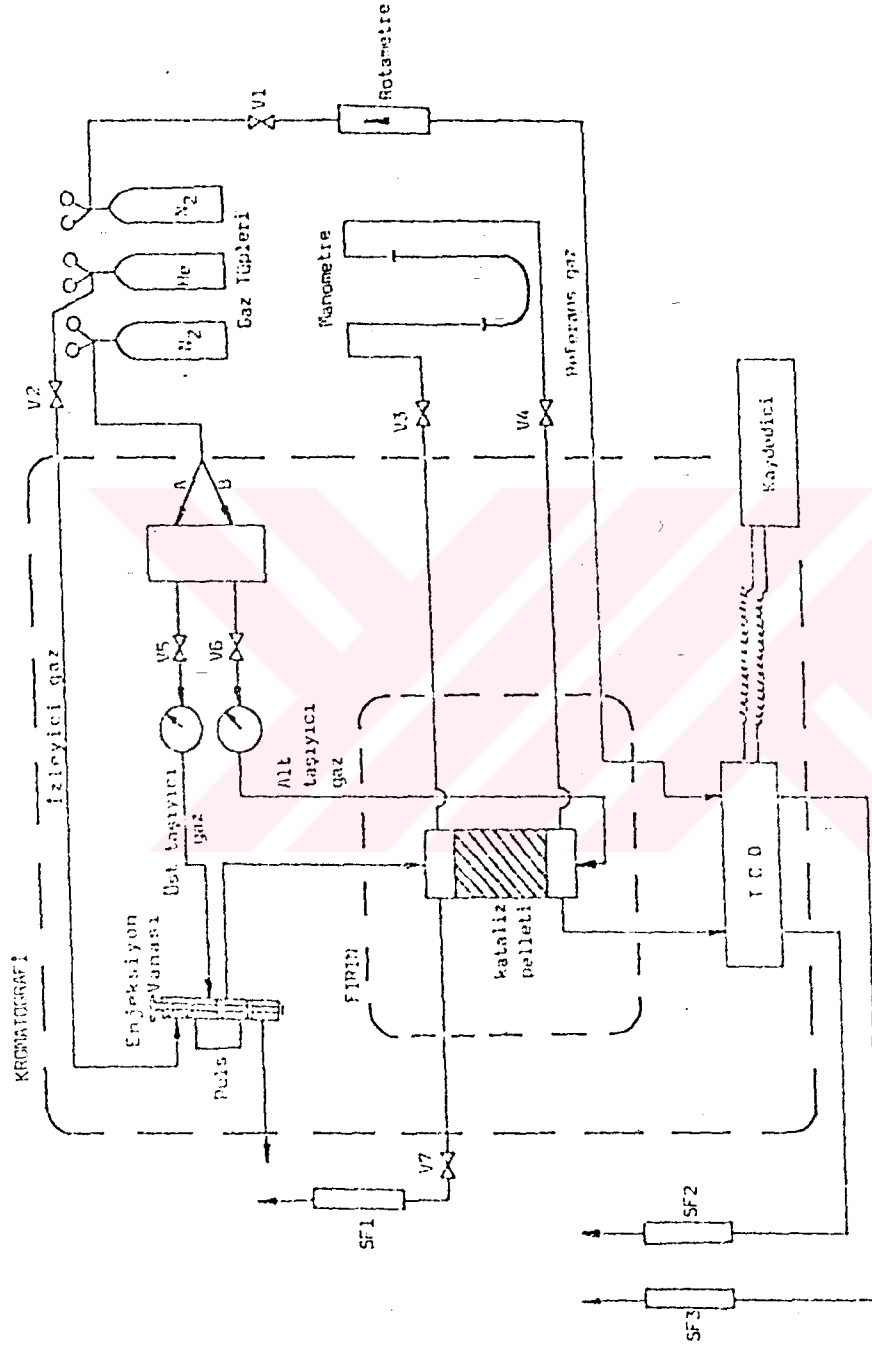
DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deneysel çalışmada yöntem olarak Doğu ve Smith (16) tarafından geliştirilen tek kataliz pellet moment tekniği uygulandı. Deneyin ana hatları ilgili makalede detaylı olarak anlatılmaktadır.

Yapılan çalışmanın amacına yönelik olarak bu çalışmada deneyler üç ayrı bölümde yürütüldü. Önce konsantrasyon etkisini incelemek üzere fırın sıcaklığı (45°C) ve pellet üzerindeki basınç farkı ($\Delta P=0$) sabit tutularak izleyici puls hacmi 0.1 cm^3 'ten 10 cm^3 'e kadar değiştirildi. İkinci bölüm deney setlerinde izleyici puls hacmi (1 cm) ve fırın sıcaklığı (45°C) sabit tutularak, pellet üzerinde 2 cm Hg 'den 60 cm Hg 'ye kadar basınç farkı yaratıldı. Üçüncü bölüm deney setlerinde ise izleyici puls hacmi ve basınç sabit tutularak fırın sıcaklığı 45°C den 105°C ye kadar değiştirildi. Aynı işlemler farklı uzunluktaki ikinci bir pelletle de tekrar edildi. Bir deney setinde alt akım hızı 10 defa değiştirilerek 10 defa puls verildi.

3.1. Deney Sistemi

Deney sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.1'de ve fotoğrafı Şekil 3.2'de görülmektedir. Sistemde kullanılan cihaz ve malzemeler genel olarak difüzyon hücresi, pellet



Şekil 3.1. Deney sisteminin şematik gösterimi.

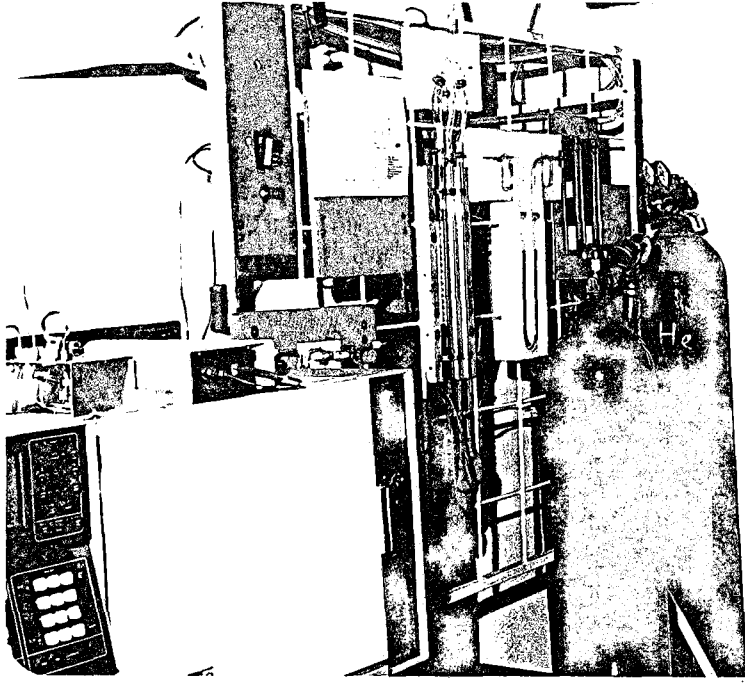
ve pellet hazırlama kalıpları, gaz kromatografi cihazı (GC), gaz enjeksiyon vanası, gaz kontrol vanaları ve gaz akış ölçerlerdir.

Difüzyon hücresinin şematik gösterimi Şekil 2.1'de ve detaylı ölçüleri Doğu ve Smith (16) tarafından verilmiştir. Difüzyon hücresi ve fırın içindeki bağlantıları Şekil 3.3'te görülmektedir. Hücreye gaz bağlantıları 6 adet çelik 1/8" x 1/8" MPT ile yapılmaktadır. Hücrenin TCD ve enjeksiyon vanası arasındaki boru bağlantılarını mümkün olduğu kadar kısa tutmak için (ölü hacim azaltılmış oldu), difüzyon hücresi bir ayaklık üstünde fırının tavanına yakın (bağlantılar tavandadır) yerleştirildi.

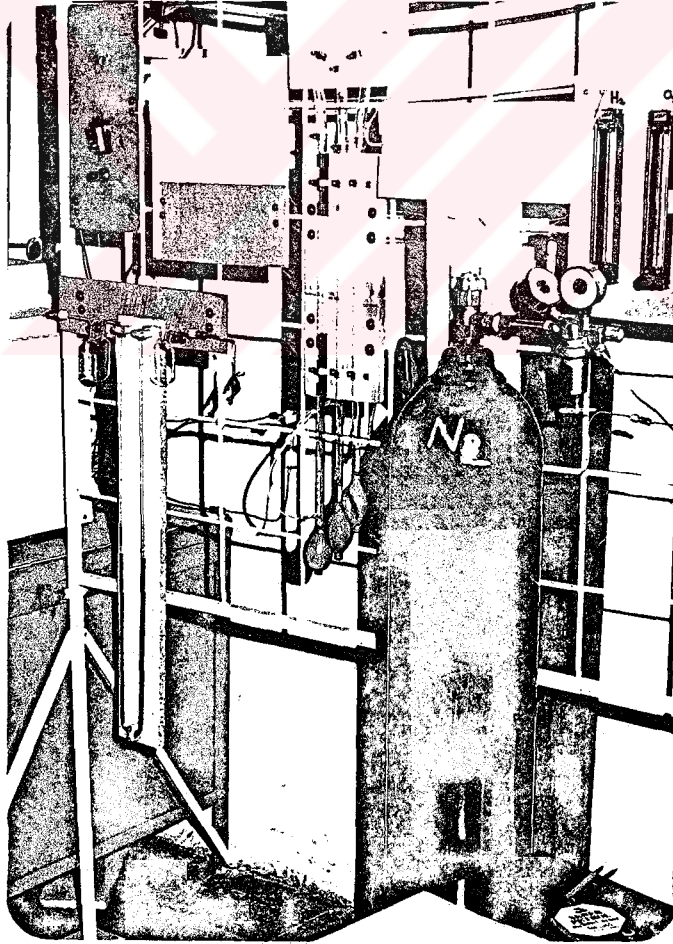
Sistemde kullanılan GC (Varian vista 6000 modeli) tamamen mikro işlemci tarafından kontrol edilmektedir. Cihazın üzerinde analiz için dedektör olarak TCD(Temperature Conductivity Detector) ve FID (Flame Ionization Detector) takılıdır. Bu çalışmada TCD kullanılmıştır. Şekil 3.3'ten görüldüğü gibi taşıyıcı gaz cihazın girişinde A ve B kollarına ayrılmaktadır. A kanalı üst taşıyıcı gaz, B kanalı alt taşıyıcı gaz hattı olarak kullanılmıştır.

Gaz enjeksiyon vanası A hattına, fırın girişine monte edildi. Enjeksiyon vanasına Helyum tüpünden 1/8" lik çelik boru çekildi. İzleyici gazın akış hızı V2 vanası ile kontrol edilmektedir.

GC'den gelen sinyaller kaydedicide pik haline dönüştürülmektedir. Linear 1200 marka çift kanallı kaydedici kullanıldı. Kaydedicide 20 cm genişliğinde ve milimetrik



(a)



(b)

Şekil 3.2. Deney sisteminin fotoğrafı;
(a) soldan görünüş,
(b) sağdan görünüş.

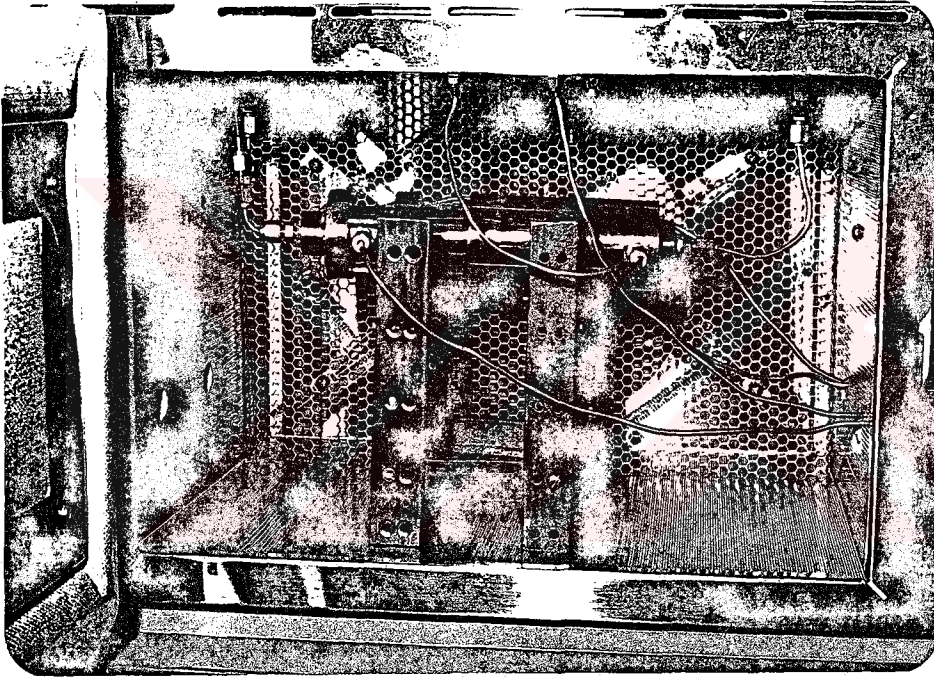
taksimatl  rulo kağıt kullanılmaktadır.

Sistemde 1/8" lik bakır borular (yaklaşık 50 ft harcandı) kullanıldı. Ayrıca 1/8" lik  elik ve pirinç bağılantı elemanları ile 1/8" lik 1000 psig (70 C) basınca dayanıklı 0-400 ml/dak gaz akışı sağılayan iğne vanalar kullanıldı. Standard boyutlarda ve % 99.5 saflıkta 2 adet Azot ve 1 adet Helyum tüpü sisteme bağılandı.

Cam manometre 8 mm'lik camdan ve 85 cm uzunluğunda A. . Fen Fakültesi cam atelyesinde yapıldı. Camdan bakır b ruya 1/8" lik bağılantı, teflon fitting (ferrule-n t) yardımıyla yapıldı ( ekil 3.2.b).

Sistemde akış hızlarını ölçmek amacıyla    adet sabun köpüğü akış ölçer (soap bubble flowmeter) kullanılmıştır. Bunlar (SF1, SF2, SF3), sırasıyla üst akım çıkışına, alt akım çıkışına ve referans gazı çıkışına konmuştur. Her ne kadar GC monitöründen alt ve üst akış hızlar okunabiliyorsa da kalibrasyon gerektiğinden, okumalar sabun köpüğü akış ölçerlerden yapılmıştır. Bu  l erler 50 ml'lik cam b retlerden; b retlerin alt kısmı puarla sabun köpüğü fışkırtılacak ve yandan gazın girişı sağılanacak şekilde cam atelyesinde hazırlanmıştır.

Elektrik şebekesinden gelen voltaj salınımlarını engellemek amacıyla, 10 kVA'lık Burç marka voltaj düzenleyici elektrik hattına bağılandı. Bu sayede GC ve kaydedici için gerekli olan sabit 220V(+ 10) sağılanmış oldu. Ayrıca GC ve kaydedicide oluşan sinyal salınımlarını (noise)  nlemek için toprak hattı çekilmiştir.



Şekil 3.3. Difüzyon hücresi ve fırın içindeki gaz bağlantılarının fotoğrafı.

3.2. Deneylerin Yapılışı

Deneysel çalışmada izlenen yol Şekil 3.4'de verilen akış şemasında görüldüğü gibidir. Yapılan işler sırasıyla özetlenirse;

(a) Pellet hazırlama,

(b) Hazırlanmış pelletin difüzyon hücreğine yerleştirilmesi,

(c) Gazların sistemden geçirilmesi, cihazın çalıştırılması ve sistemin dengeye getirilmesi,

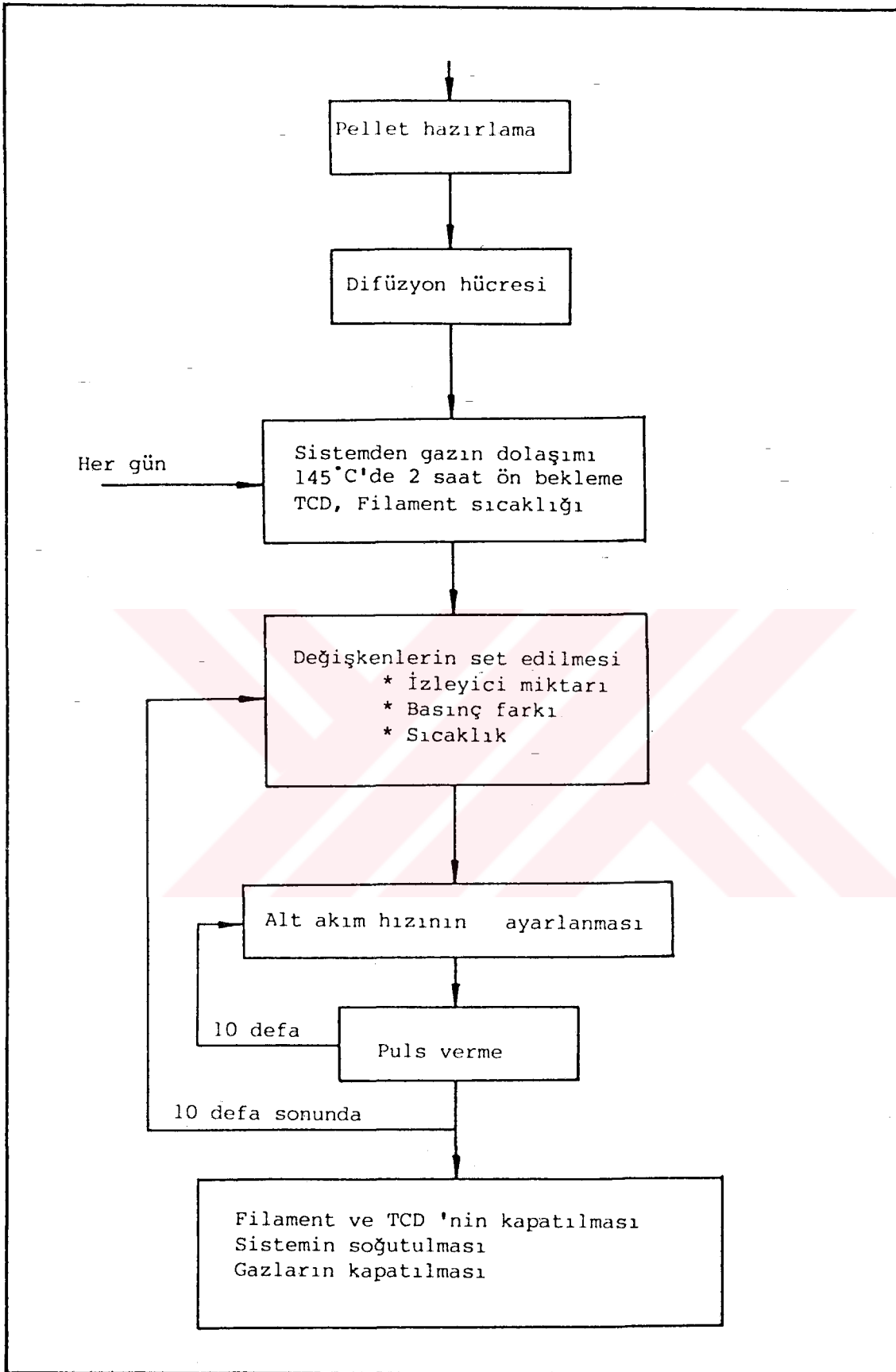
(d) Basıncın ayarlanması, gaz akış hızlarının ölçülmesi, puls verme ve pik (kromatogram) alma.

(a) Pellet Hazırlama

Fark momentler hesabı için iki farklı uzunlukta ve aynı görünür yoğunluğa sahip iki pellet hazırlanacaktır. Bu amaçla silindirik uzun pellet (uzunluğu 1.3 cm) ve kısa pellet (uzunluğu 0.3 cm) kalıpları Cr-Ni ve ST 70 çeliğinden yapıldı. Kalıpların dışçapı 2cm, iççapları 14mm'dir.

Katalizör maddesi olarak α -alümina tozu (American Cyanamid Co.) kullanıldı. Katalizör tozu, Ercan (26) tarafından yapıldığı gibi, 300°C'de 18 saat etüvde bekletildi ve pellet yapmaya hazır hale getirildi.

Pellet yapımında kullanılan kalıp takımı Şekil 3.5'de görülmektedir. Koruyucu ceket (yüksekliği 8cm, iççapı 2cm, et kalınlığı 16mm) sert çelik alaşımından yapılmıştır. Piston ve gömleği (yüksekliği 7cm, iççapı 14mm, dışçapı 2cm) ST 70 çeliğinden yapıldı (ODTÜ Kimya Müh. Böl. ve G.Ü. Teknik Eğitim F.).



Şekil 3.4. Deneysel çalışmada izlenen yolun akış şeması.

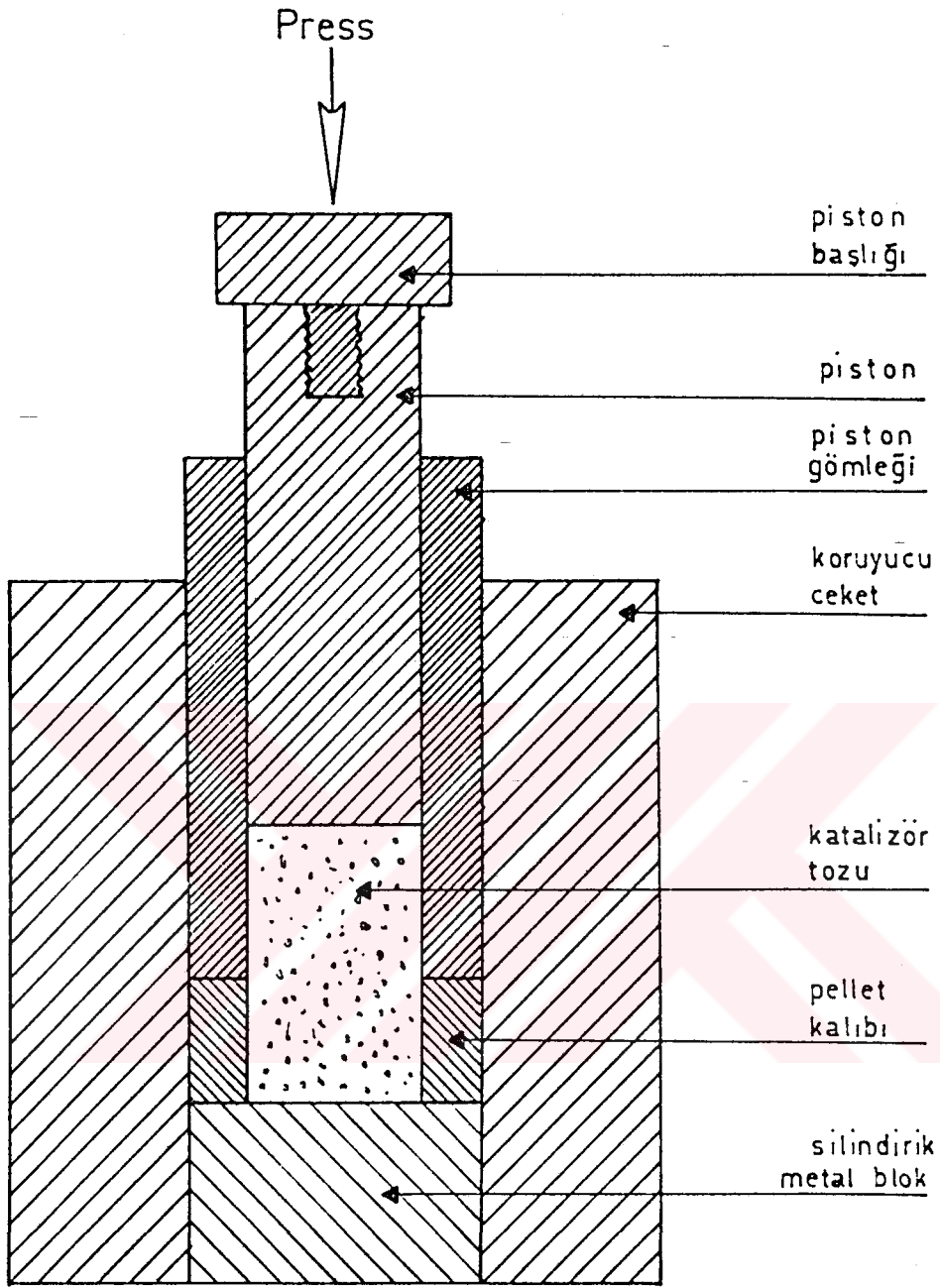
Şekil 3.5'ten görüldüğü gibi içi boş pellet kalıbı koruyucu ceketin içine, metal silindirik bir blok üzerine yerleştirildi. Pellet kalıbı üzerine aynı iç ve dış çapa sahip piston gömleği kondu ve istenen görünür yoğunluğu verecek şekilde tartılarak hazırlanmış α -alümina tozu buraya dikkatlice boşaltıldı. Katalizör tozu, önce elle daha sonra pressle piston kapanıncaya kadar sıkıştırıldı. Pistonun tam kapanması için ($3500 \text{ lb}_f/\text{in}^2$) basınç uygulandı. İşlem sonunda press gevşetilerek pellet çıkarıldı.

Aralarında kalan tozdan dolayı piston ve piston gömleği sıkışabilmektedir. Bunları birbirinden ayırabilmek için piston başlığı sökülüp alınabilecek şekilde vidalı yapıldı. Böylece başlıksız piston ve piston gömleği tekrar koruyucu ceketin içine yerleştirilerek bir piring çubukla üstten çakıldığında, pistonun gömlekten alttaki boş bir silindire düşmesi sağlanmış oldu.

Aynı işlemler diğer pellet için de tekrar edildi. Özellikle bu safhada tozun kuru olmasına dikkat edildi. Bunun için etüvde kurutulup tartılan toz, desikatörde muhafaza edildi. Hazırlanmış pelletler de deney süresi boyunca desikatörde bekletildi.

(b) Pelletin Difüzyon Hücrelerine Yerleştirilmesi

Pellet desikatörden alınarak difüzyon hücrelerine yerleştirildi. Gaz kaçaklarını önlemek amacıyla pelletin her iki tarafına teflon contalar kondu. Teflon contalar pellet kalıbıyla aynı iç ve dış çapta ve 1 mm kalınlığında



Şekil 3.5. Pellet hazırlama Kalıpları.

olacak şekilde tornada kesildi. Difüzyon hücresinin vidaları iyice sıkıştırılarak fırının içine Şekil 3.3'te görüldüğü gibi yerleştirildi.

(c) Sistemin Açılması

Bütün gaz bağlantıları yapıldıktan sonra taşıyıcı gaz tüpü (N_2) ve referans gaz tüpü (N_2) açıldı. Gaz regülatörleri yaklaşık 2 kg/cm^2 basınca ayarlandı. Sistemin bütün bağlantı yerlerinde gaz kaçaqları sabun çözeltisi ile (Snoop gas leak detector) kontrol edildi. Üst taşıyıcı gaz ve alt taşıyıcı gaz sırasıyla yaklaşık $60 \text{ cm}^3/\text{dak}$ ve $30 \text{ cm}^3/\text{dak}$ başlangıç hızlarına; V5 ve V6 vanaları ile SF1, SF2 akış ölçerler kullanılarak ayarlandı. Referans gaz da Rotametreden 30 okunacak şekilde ayarlandı.

GC cihazı, voltaj düzenleyicisinden elektriğin 220 V olduğu görüldükten sonra açıldı. Fırın sıcaklığı (kolon sıcaklığı) 145°C 'ye ve TCD sıcaklığı 120°C 'ye ayarlandı. Yaklaşık yarım saat sonra da (taşıyıcı gazların ve referans gazın açık olduğundan emin olduktan sonra) filament sıcaklığı 220°C 'ye ayarlandı. Toplam 2 saat önbekleme (conditioning)'den sonra fırın sıcaklığı çalışılacak sıcaklığa, örneğin 45°C 'ye getirildi. Tekrar yaklaşık 1 saat beklemeden sonra sistem dengeye getirilmiş oldu.

(d) Pik Alma

Pik alma safhasında deneyler üç ayrı bölümde yürütüldü. Genelde yapılan işler birbirinin benzeridir. Fakat hepsinde (c) şikkında anlatılan işlemler başlangıç olarak yapılmıştır.

Konsantrasyon deneylerinde önbeklemeden sonra, bütün deney setlerinde fırın sıcaklığı 45°C 'de ve pellet üzerindeki basınç farkı sabit (manometrede cıva seviyesi eşit) tutuldu. İzleyici hacmi sırasıyla 0.1, 1, 2, 5 ve 10 cm^3 olacak şekilde değiştirilerek her pellet için toplam 5 deney seti yapıldı. Her bir deney setinde alt akım hızı 10 defa artırılarak 10 defa puls verildi ve 10 pik alındı.

Basınç deneylerinde fırın sıcaklığı 45°C 'de ve izleyici hacmi 1 cm^3 'te sabit tutularak, pellet üzerinde değişik basınç farkları yaratıldı. Şekil 3.1'de görülen V7 vanası kısılarak pellet üzerinde bir basınç farkı oluşması sağlandı. Basınç farkları sırasıyla 2, 4, 6, 10, 16, 28, 40 ve 60 cm Hg olacak şekilde toplam 8 deney seti yapıldı. Yaratılan basınç farkı manometreden okundu ve bir deney seti boyunca bu fark sabit tutuldu. Herbir deney seti için alt akım hızı 10 defa değiştirilerek 10 puls verildi ve 10 pik alındı. Aynı işlemler ikinci pellet için de yapıldı.

Sıcaklık deneylerinde ise izleyici hacmi (1 cm^3) ve basınç sabit tutularak ($\Delta P=0$) fırın sıcaklığı, dolayısıyla pellet sıcaklığı değiştirildi. Bunun için sırasıyla 45, 60, 70, 80, 95 ve 105°C 'de olmak üzere her pellet için toplam 6 deney seti yapıldı. Yine diğer deneylerde olduğu gibi alt akım hızı 10 defa artırılarak 10 pik alındı.

Bütün deney setleri boyunca üst akım hızı sabit tutuldu. Bunun için monitörden A kanalında 50 ml/dak akış hızı okunacak şekilde V5 vanasından ayarlamalar yapıldı.

Alt akım hızı ise V6 vanasından ayarlandı ve akış ölçümleri çıkışa konan SF1 sabun köpüğü akış ölçerden okunarak kaydedildi.

Herhangi bir deney setinde alt akım hızı ayarlandıktan ve üst akım hızı sabit değerde olduğu görüldükten sonra manometre kolları girişindeki V3 ve V4 vanaları kapatılarak enjeksiyon vanasından puls verildi. Bir elle puls verilirken diğer elle aynı anda kaydedici çalıştırıldı.

(e) Sistemin Kapatılması

O güne ait deney seti veya setleri tamamlandıktan sonra sırasıyla, Filament ve TCD OFF pozisyonuna; Heater, Fan Only pozisyonuna set edildi. Helyum tüpü kapatıldı. Üst, alt ve referans gazları sistemden 1 saat kadar geçirilerek sistem soğutuldu. Cihaz ve voltaj düzenleyici, en son gaz tüpleri kapatıldı.

BÖLÜM IV

DENEYSEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

4.1. Kataliz Pelletinin Fiziksel Özellikleri

Kataliz pelleti, fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla civa porozimetresinde teste tabi tutulmuştur. Civa porozimetresinde (Micromeritics Pore-Sizer 9305) 30000 psi'ye kadar basınç uygulanabilmekte ve en küçük 30 Angström yarıçapındaki gözenekler tayin edilebilmektedir.

Civa porozimetresi veri analizi Ek-A'da verilmiştir. Bu analiz sonucunda gözenek yarıçapına karşılık kümülatif gözenek hacmi eğrisi ve diferansiyel gözenek dağılım eğrisi çizilmiştir. Her iki eğri bir grafik üzerinde Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Ek-A'da verilen hesaplamalara göre pelletin fiziksel özellikleri Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Kataliz Pelletinin fiziksel Özellikleri

Toplam gözeneklilik = 0.68

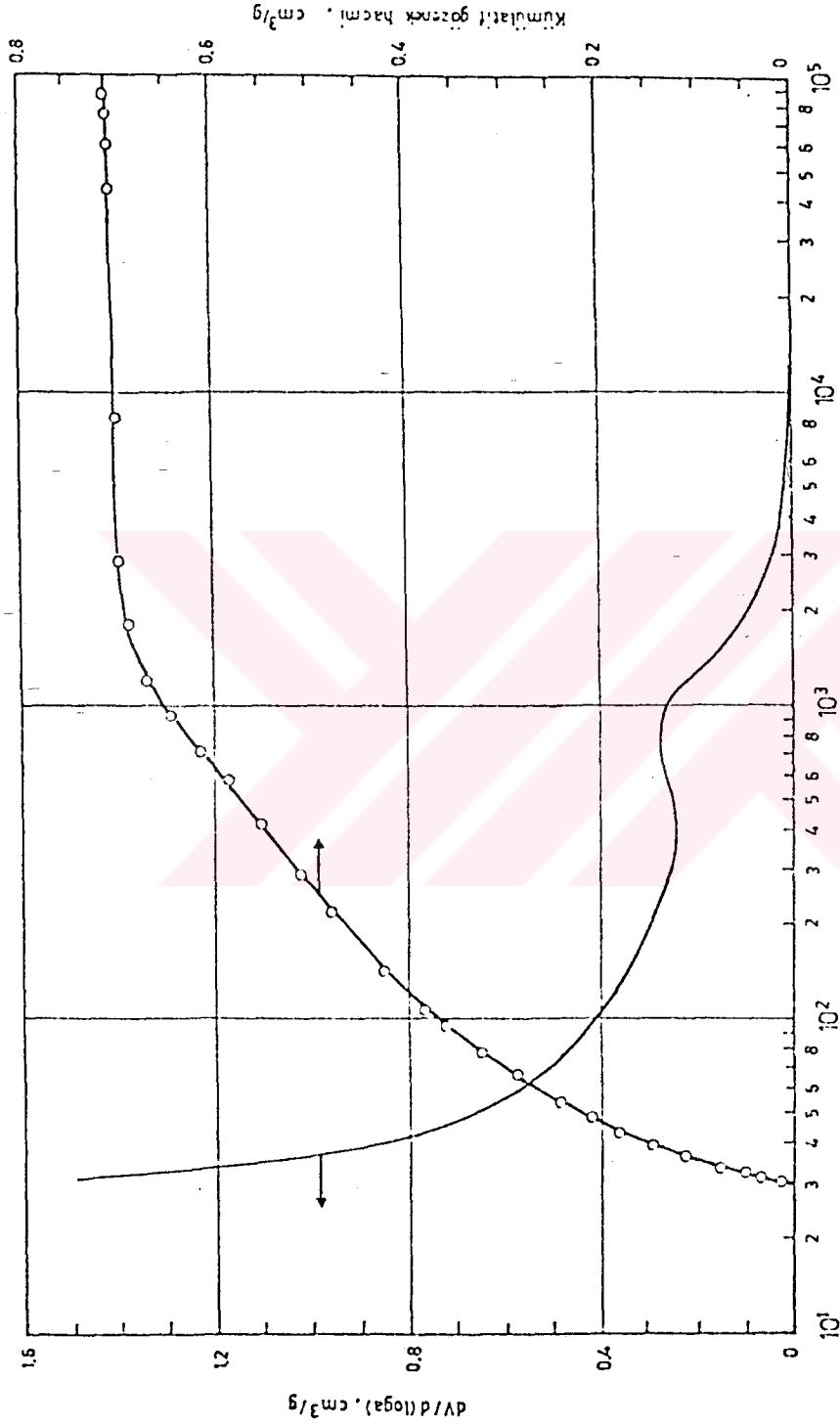
Gözeneklilik[¶] = 0.57

Görünür yoğunluk = 0.80 gr/cm³

Katı yoğunluğu = 2.5 gr/cm³ ^σ

¶ Yarıçapı 30 Å'den büyük gözenekler.

σ Ercan C. (26).



Şekil 4.1. Diferansiyel gözenek dağılım eğrisi ve penetrasyon eğrisi.

4.2. İzobarik Şartlarda Taşınım

Parametrelerinin Hesaplanması

4.2.1 İzleyici Miktarı Değiştirilerek Hesaplanan

Etkin Difüzyon Sabitleri

Bu bölümde izobarik basınçta izleyici miktarı değiştirilerek etkin difüzyon sabiti tesbiti için yapılan deney sonuçları verilmektedir. İzobarik basınçta etkin difüzyon sabiti birinci mutlak moment ifadesinde belirmektedir (16), (Denklem 2.60).

Birinci mutlak moment, fiziksel olarak ortalama kalış süresine karşı geldiğinden; deneysel ölçümlerden bulunan birinci mutlak moment, taneciğin enjeksiyon vanası ile dedektör arasında geçen ortalama kalış süresine eşittir. Bu süreye pellet ve pellet haricindeki ölü hacimlerde geçen süreler dahildir.

Teorik olarak türetilen birinci mutlak moment ifadesi ise sadece pellet hacmine karşı gelen ortalama kalış süresidir. Dolayısıyla teorik türetilen ifade ile deneysel sonuçlardan hesaplanan momentlerin birbirine eşitlenebilmesi için ölü hacimlerin elimine edilmesi gerekir. İlk olarak Doğu ve Smith (16), Burghardt ve Smith (28), Uyanık (25), Wang ve Smith (14) tarafından yapılan çalışmalarda ölü hacimler tek tek hesaplanarak deneysel gözlenen momentlerden çıkartılmıştır. En son Keskin (29), Doğu et.al. (30) tarafından yapılan çalışmada, aynı gözeneklilikte hazırlanmış farklı uzunlukta iki pelletle, deneyler aynı şartlarda, ayrı ayrı yapılmış ve gözlenen

momentler birbirinden çıkarılarak bir fark moment hesaplanmıştır. Buna göre ölü hacimlerden gelen katkılar her iki deney setinde de aynı olacağından, bunların farkı alınarak bu katkılar elimine edilmiş olur. Keskin'in analizi özetlenirse;

$$(\mu_1)_1 = (\mu_{1,den.})_1 - (\text{ölü hacimlerde kalış süresi}) , \quad (4.1)$$

$$(\mu_1)_2 = (\mu_{1,den.})_2 - (\text{ölü hacimlerde kalış süresi}) , \quad (4.2)$$

Burada;

(μ_1) : modelden türetilen teorik moment ifadesi,

$(\mu_{1,den.})$: deneysel sonuçlardan hesaplanan moment,

ve alt indisler 1,2; sırasıyla L_1 uzunluğundaki 1.pellet ve L_2 uzunluğundaki 2.pelleti göstermektedir.

Yukardaki iki eşitlik taraf tarafa çıkarılırsa;

$$(\mu_1)_1 - (\mu_1)_2 = (\mu_{1,den.})_1 - (\mu_{1,den.})_2 \quad (4.3)$$

veya,

$$\Delta\mu_1 = \Delta\mu_{1,den.} \quad (4.4)$$

olarak ifade edilebilir. Burada; $\Delta\mu_1$, modelden bulunan momentler farkını; $\Delta\mu_{1,den.}$ ise deneysel hesaplanan momentler farkını göstermektedir.

Yüksek alt akım hızı için;

$$\Delta\mu_{1,\infty} = \frac{\varepsilon (L_1^2 - L_2^2)}{6 D_{e0}} \quad (4.5)$$

Olarak türetilmiştir (20).

Deneysel birinci mutlak momentler, deney setleri

sonucunda elde edilen piklerin, Denklem 1.30 ve 1.31'e göre Simpson sayısal integrasyonu sonucu hesaplanmıştır. Deneysel momentler tablolar halinde Ek-E'de verilmiştir.

Alt akım hızına karşılık birinci mutlak moment eğrileri grafiğe alınmıştır (Şekil 4.2-4.6). Her grafik, bir izleyici hacmi için yapılan deneylere karşı gelmektedir ve grafik üzerinde iki farklı uzunluktaki pellet için iki eğri çizilmiştir. Çizilen bu eğrilerin farkları alınarak birinci mutlak momentler farkı eğrisi elde edilmiştir. Denklem 4.5 düzenlenirse,

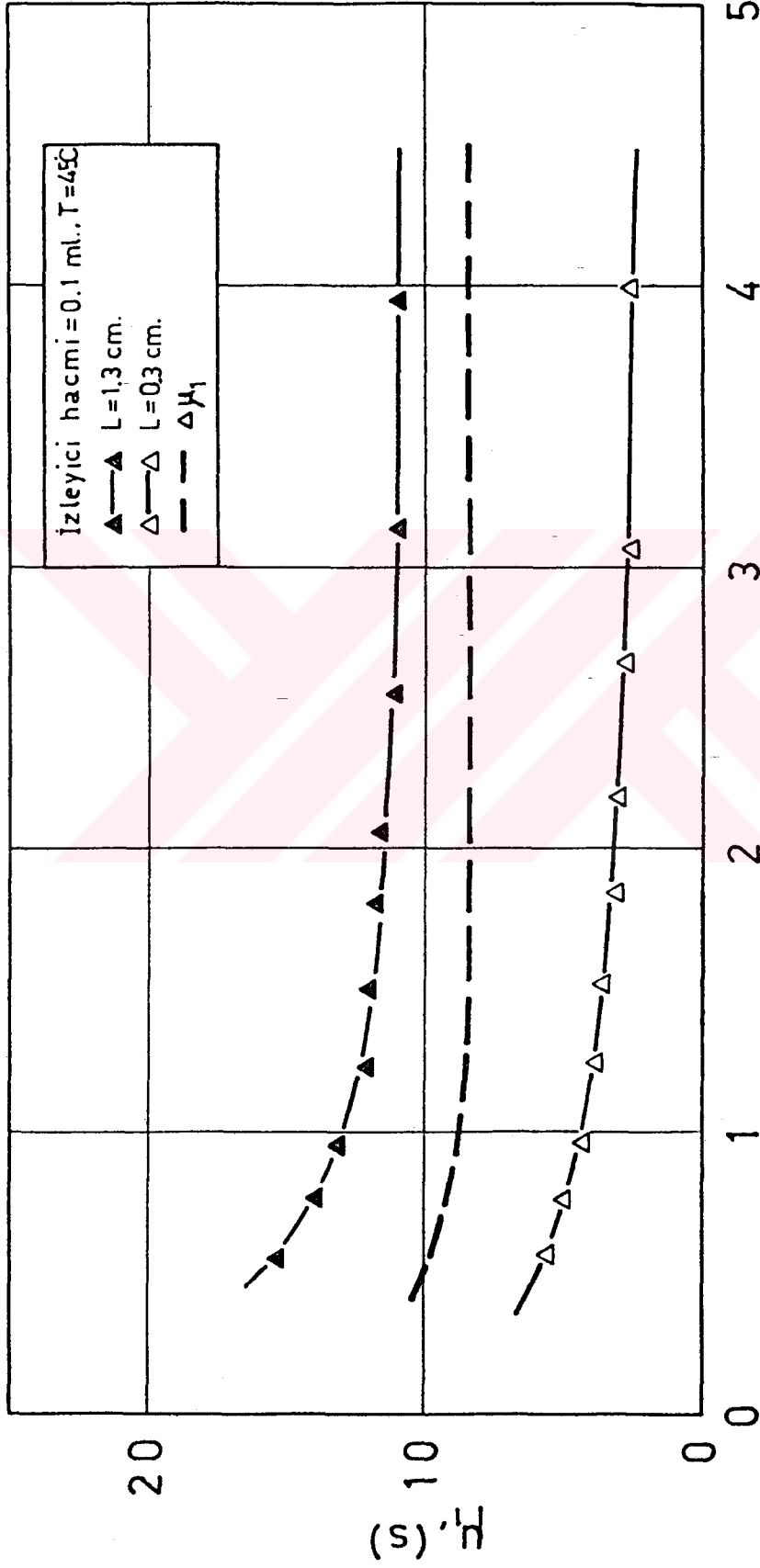
$$D_{eO} = \frac{\varepsilon(L_1^2 - L_2^2)}{6\Delta\mu_{1,\infty}} = \frac{0.1813}{\Delta\mu_{1,\infty}} \quad (4.6)$$

yazılabilir. Şekil 4.2-4.6'dan $\Delta\mu_{1,\infty}$ okunmuş ve Denklem 4.6'ya göre etkin difüzyon sabitleri hesaplanarak Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

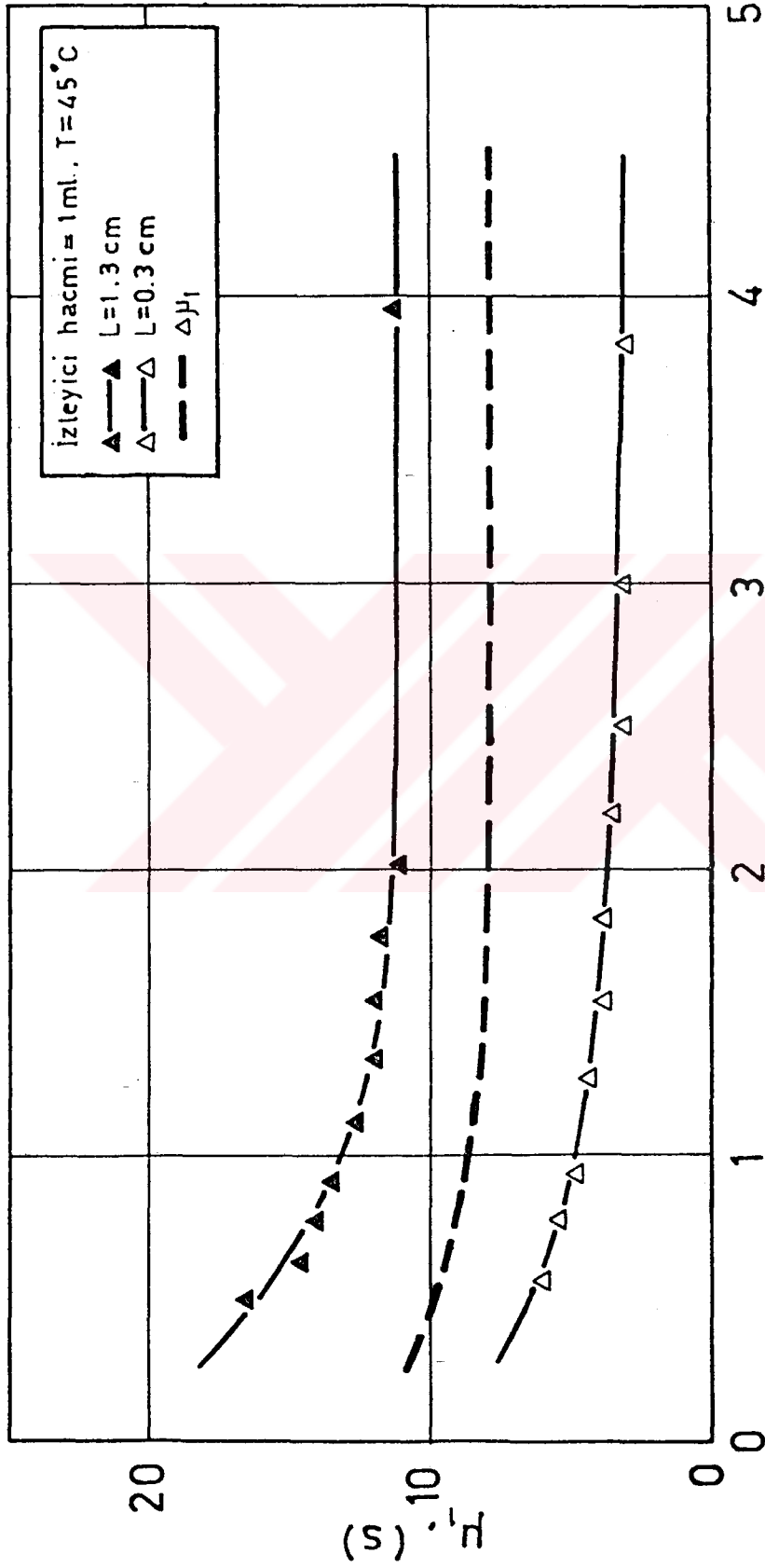
Tablo 4.2. İzobarik şartlarda farklı izleyici hacminde hesaplanmış etkin difüzyon sabitleri.

İzleyici hacmi (cm ³)	$\Delta\mu_{1,\infty}$ (s)	D_{eO} (cm ² /s)
0.1	8.37	0.0218
1.0	7.75	0.0234
2.0	8.0	0.0226
5.0	7.87	0.0230
10.0	7.75	0.0234

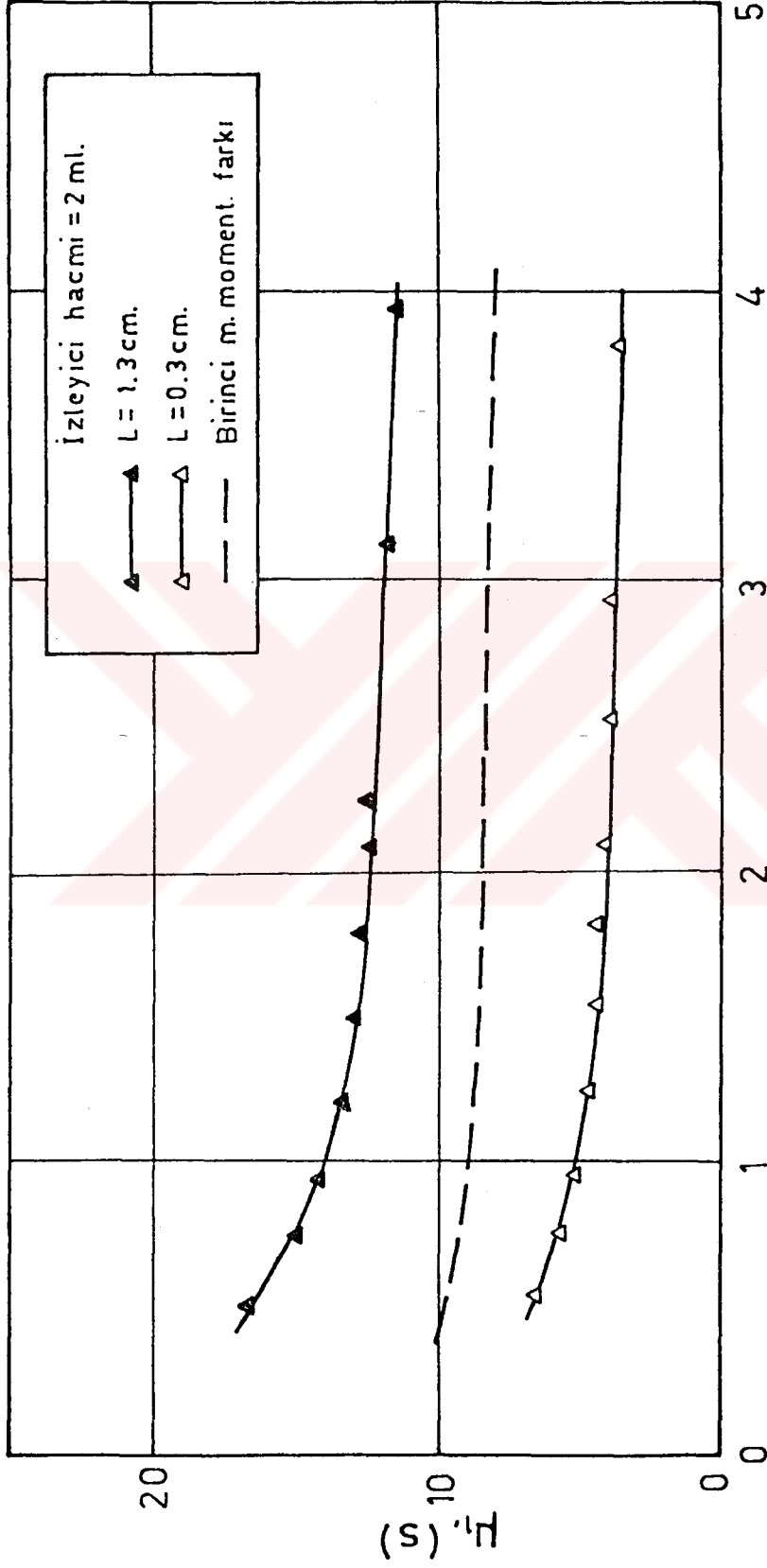
Tablo 4.2 oluşturulurken okumalar eğrilerden yapılmıştır.



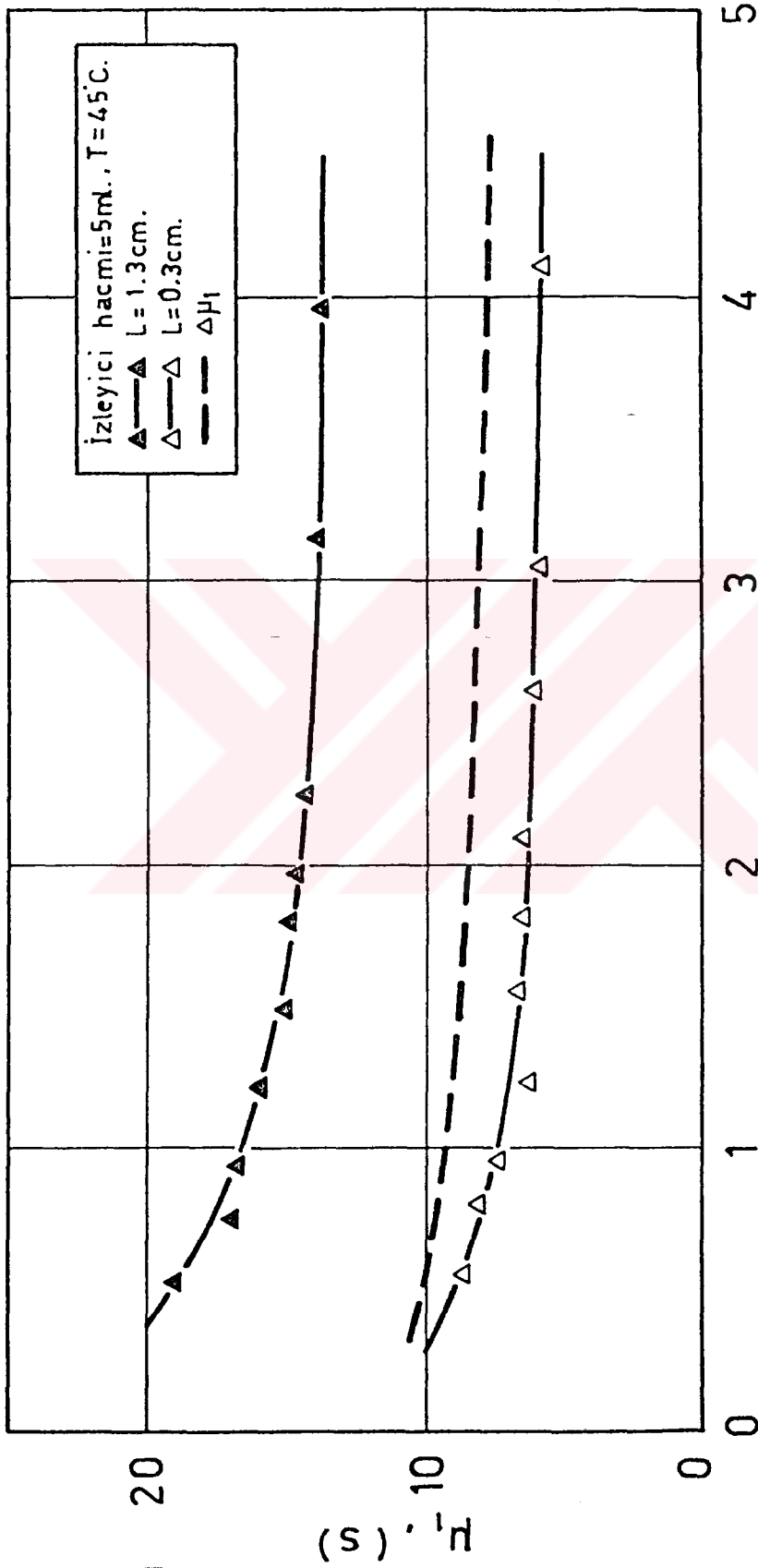
Şekil 4.2. İki farklı pelletlerde, alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri (İzleyici hacmi=0.1 ml, T=45°C, ΔP=0).



Şekil 4.3. İki farklı pelletlerde, alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, izleyici hacmi=1 ml, $T=45^\circ\text{C}$, $\Delta p=0$).

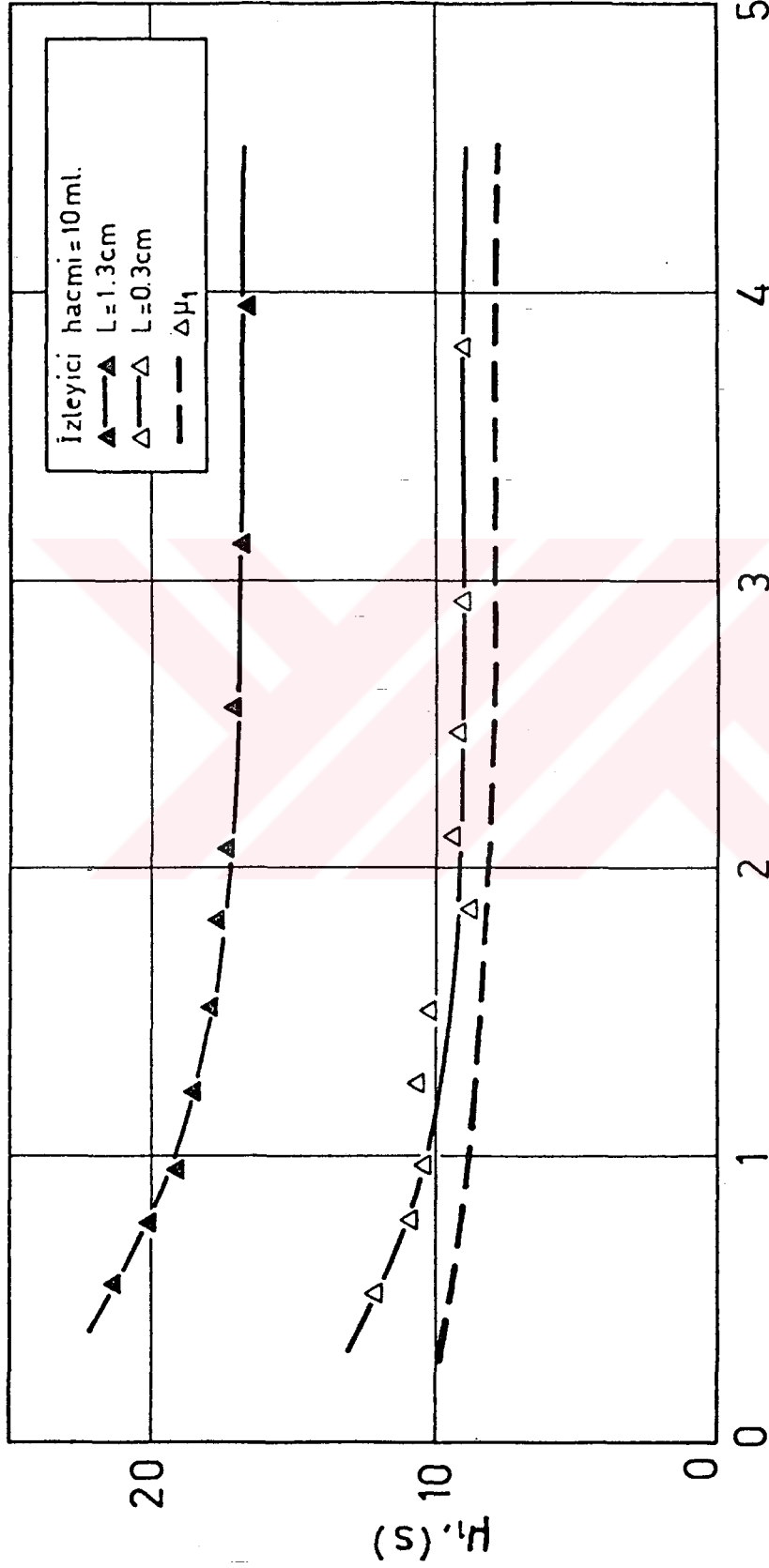


Şekil 4.4. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, izleyici hacmi=2 ml, $T=45^\circ\text{C}$, $\Delta P=0$).



Alt akım hızı, F_2 , (cm^3/s)

Şekil 4.5. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, izleyici hacmi=5 ml, $T=45^{\circ}\text{C}$, $\Delta P=0$).



Şekil 4.6. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, izleyici hacmi=10 ml, $T=45^\circ\text{C}$, $\Delta P=0$).

4.2.2. Değişik Sıcaklıklarda Etkin

Difüzyon Sabitleri

İzobarik şartlarda sıcaklık değiştirilerek yapılmış deney setlerinin verileri Ek-F'de verilmiştir. Bu bulgulara göre çizilen alt akım hızına karşı birinci mutlak moment eğrileri Şekil 4.7-4.12'de görülmektedir. Eğrilerin farkları alınarak momentler farkı eğrisi çizilmiş ve bu eğriden $\Delta\mu_{1,\infty}$ okunmuştur. Okunan bu değerlere göre Denklem 4.6'dan D_{e0} hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.3'de gösterilmiştir.

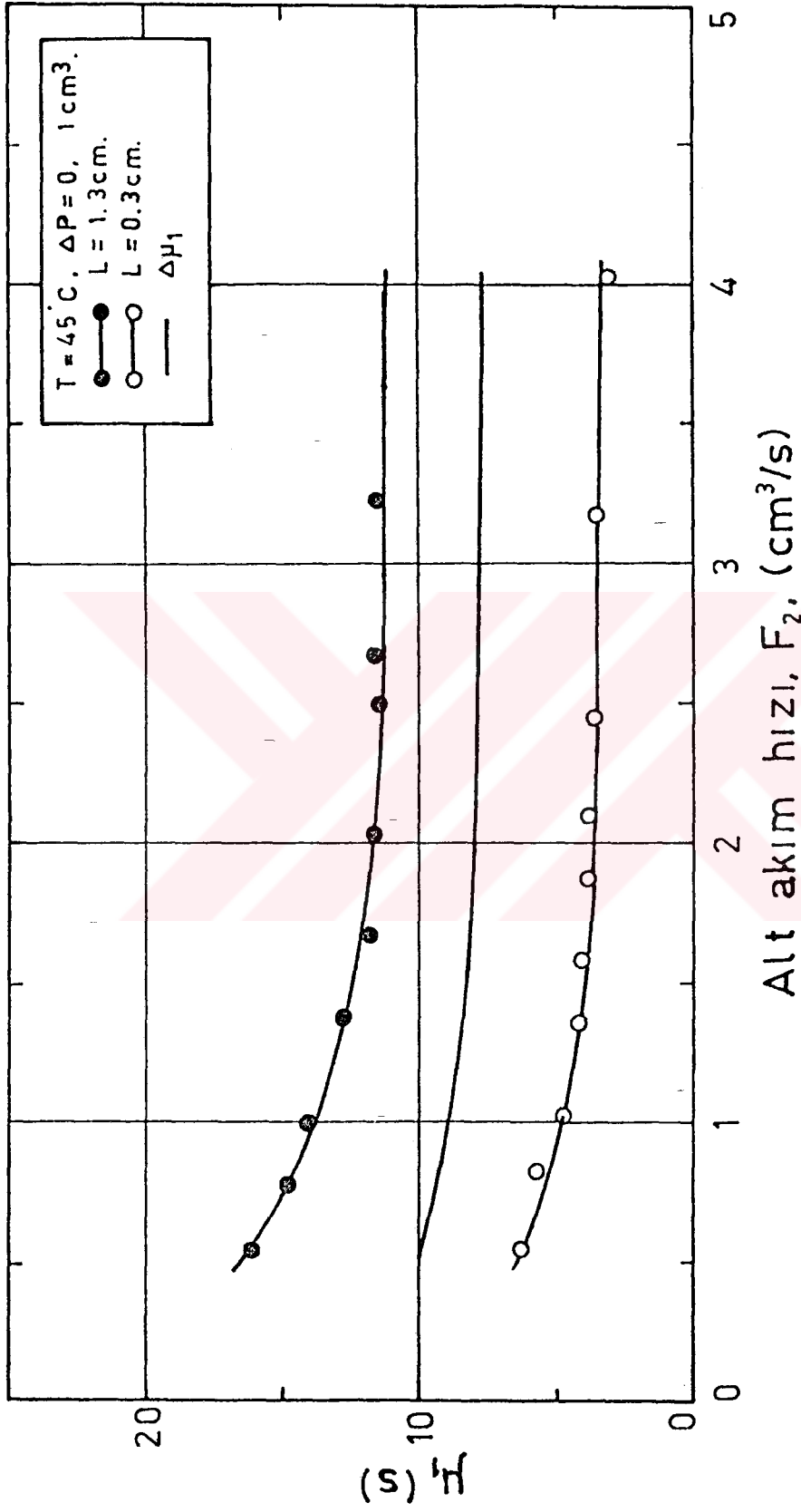
Tablo 4.3. İzobarik şartlarda farklı sıcaklıklarda hesaplanmış etkin difüzyon sabitleri.

Sıcaklık (°C)	$\Delta\mu_{1,\infty}$ (s)	D_{e0} (cm ² /s)
45	7.75	0.0234
60	7.0	0.0259
70	7.5	0.0242
80	7.0	0.0259
95	7.0	0.0259
105	6.5	0.0279

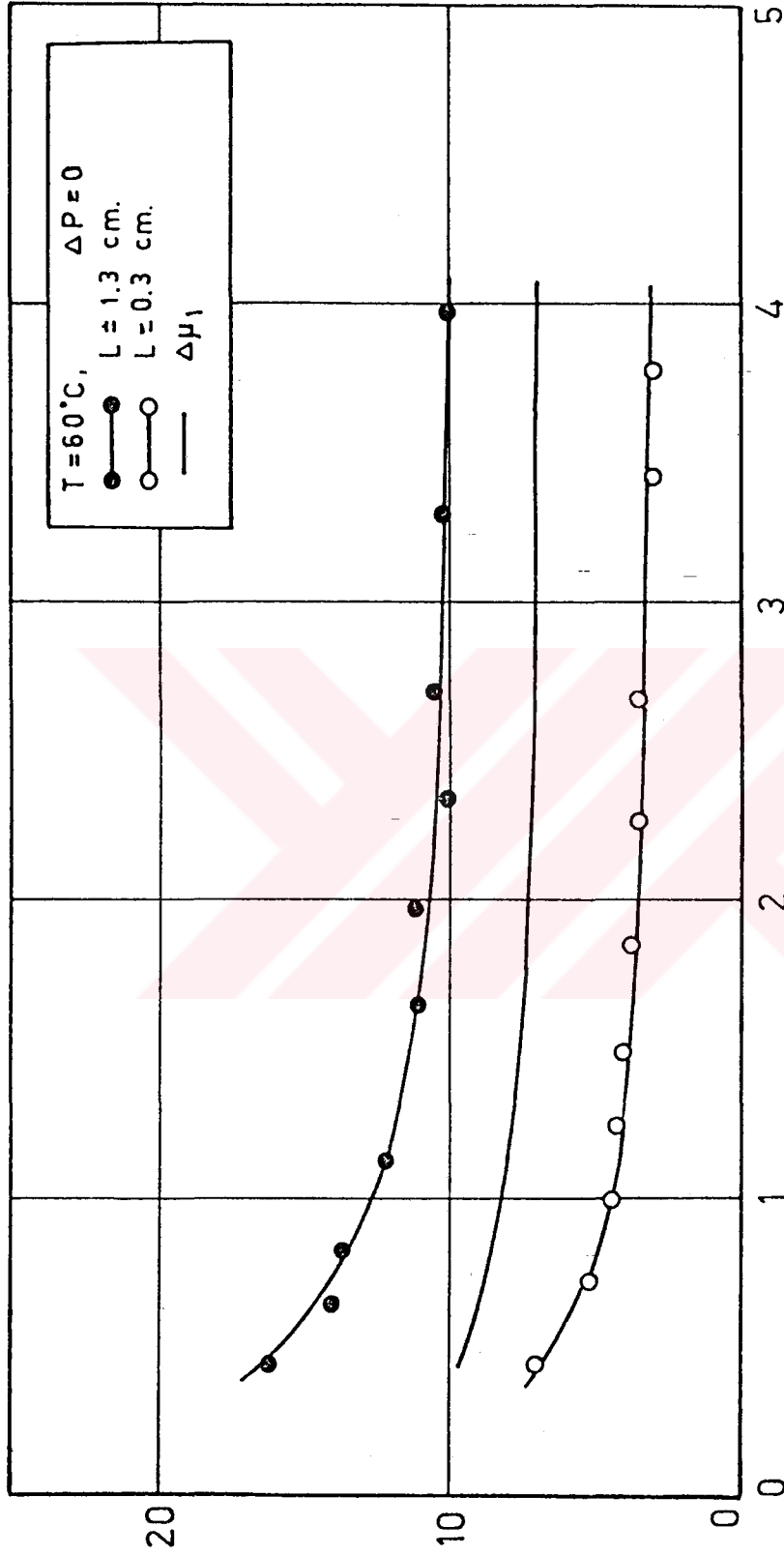
4.3. İzobarik Olmayan Şartlarda Taşınım

Parametrelerinin Hesaplanması

Basınç farkı değiştirilerek elde edilen deneysel veriler ve hesaplanan momentler Ek-G'de tablolar halinde verilmiştir.

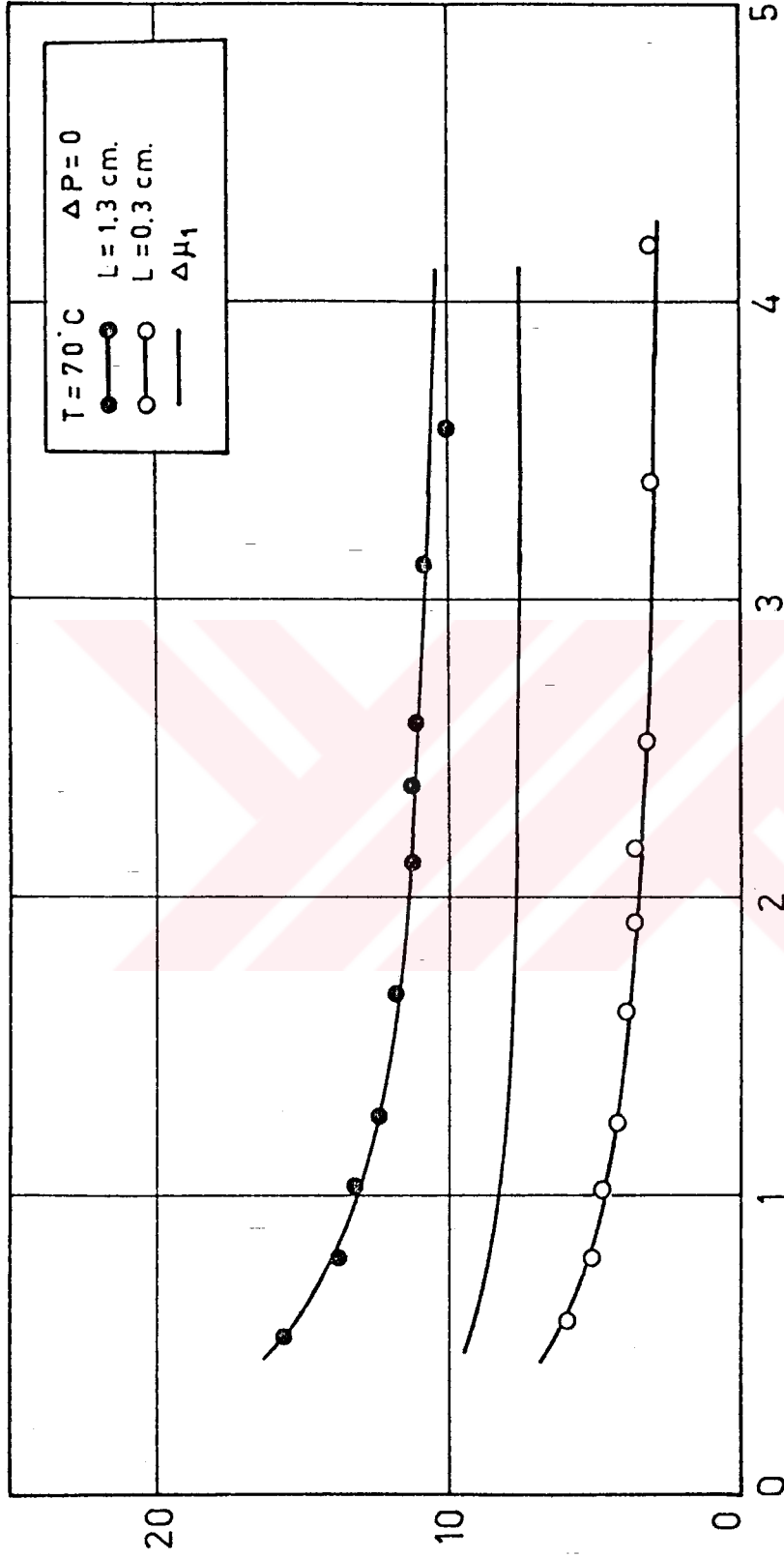


Şekil 4.7. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, $T=45^\circ\text{C}$, $\Delta P=0$).



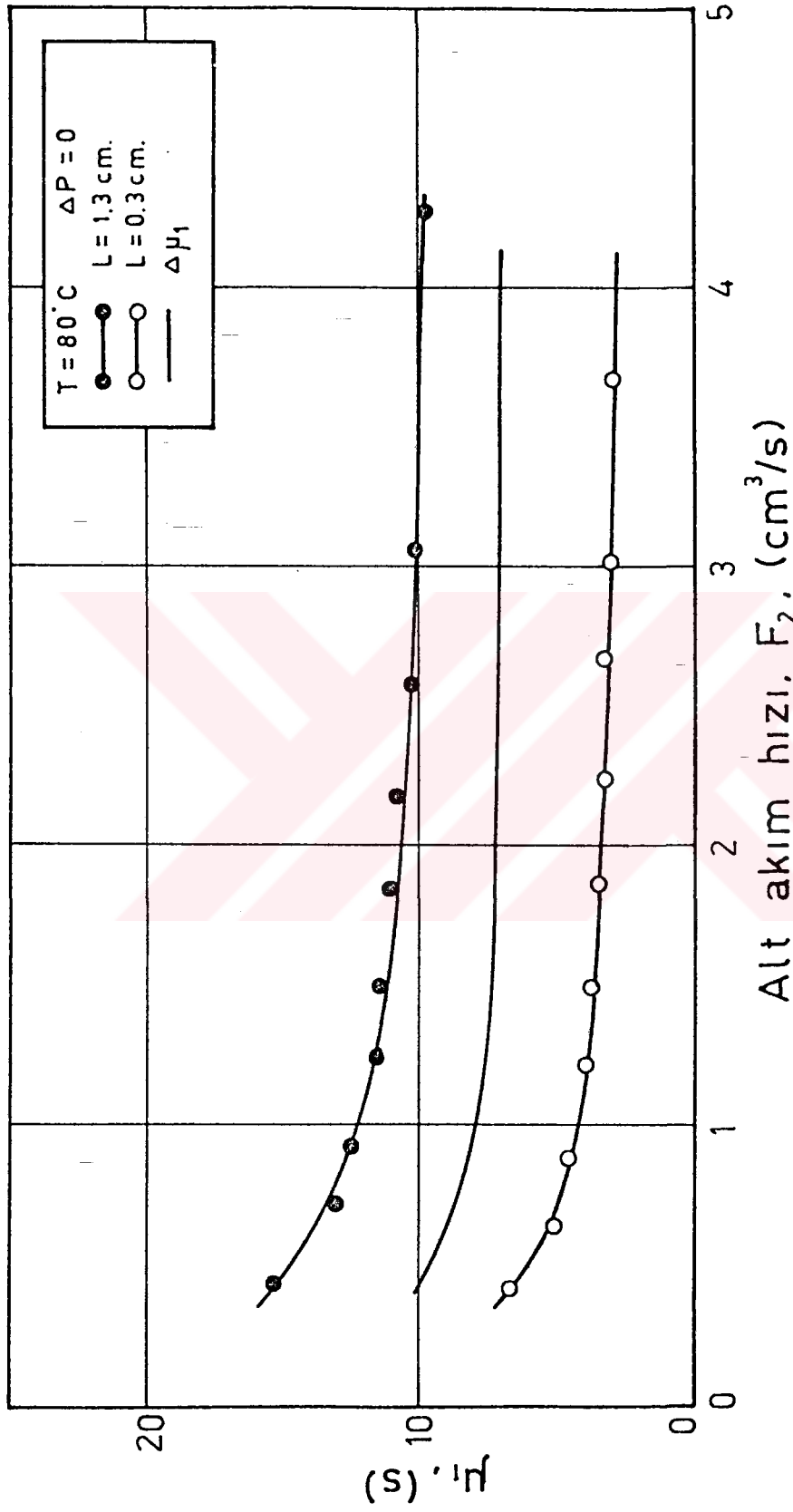
Alt akım hızı, F_2 , (cm³/s)

Şekil 4.8. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, $T=60^\circ\text{C}$, $\Delta P=0$).

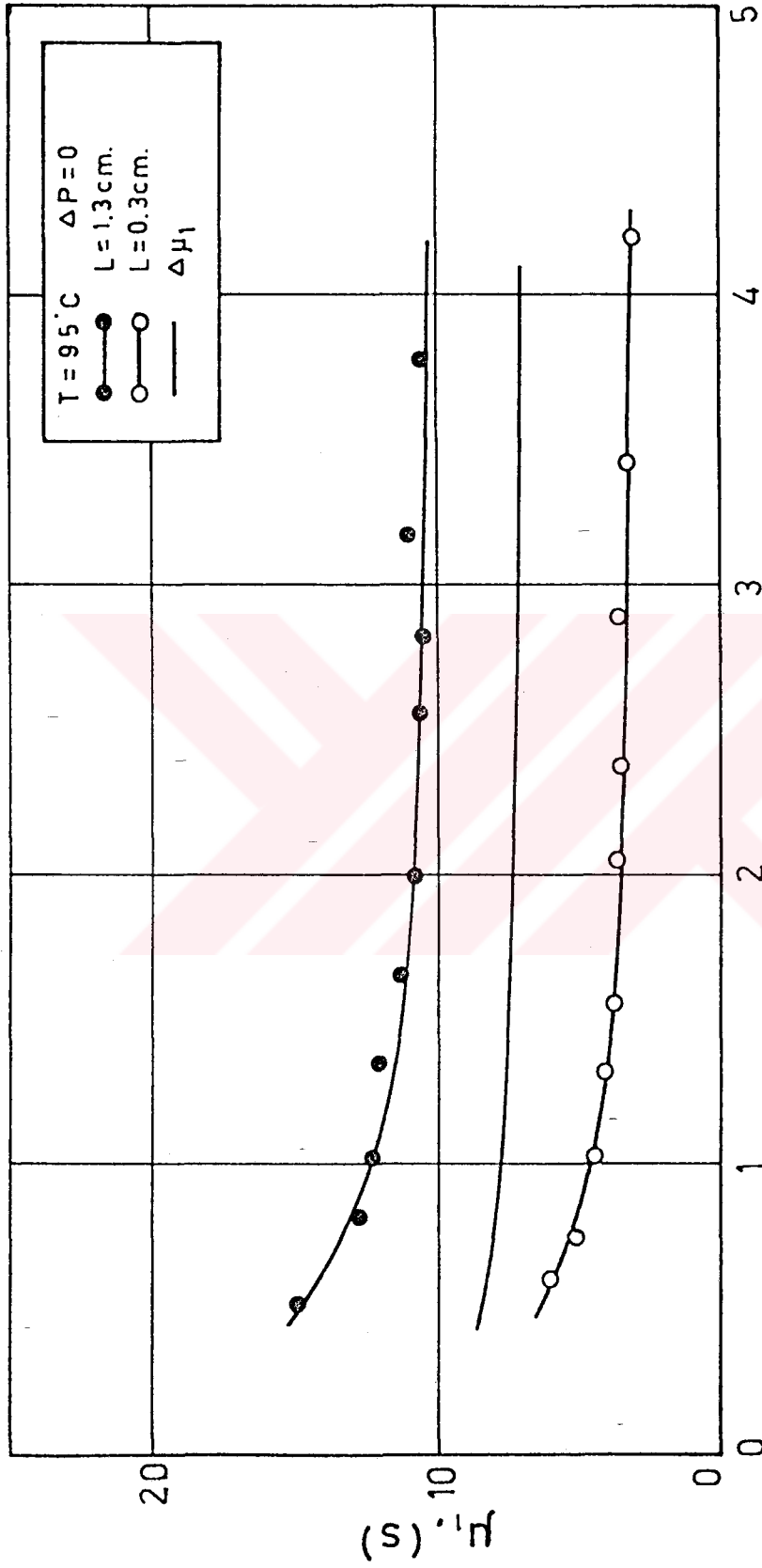


Alt akım hızı, F_z , (cm^3/s)

Şekil 4.9. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, $T=70^\circ\text{C}$, $\Delta P=0$).

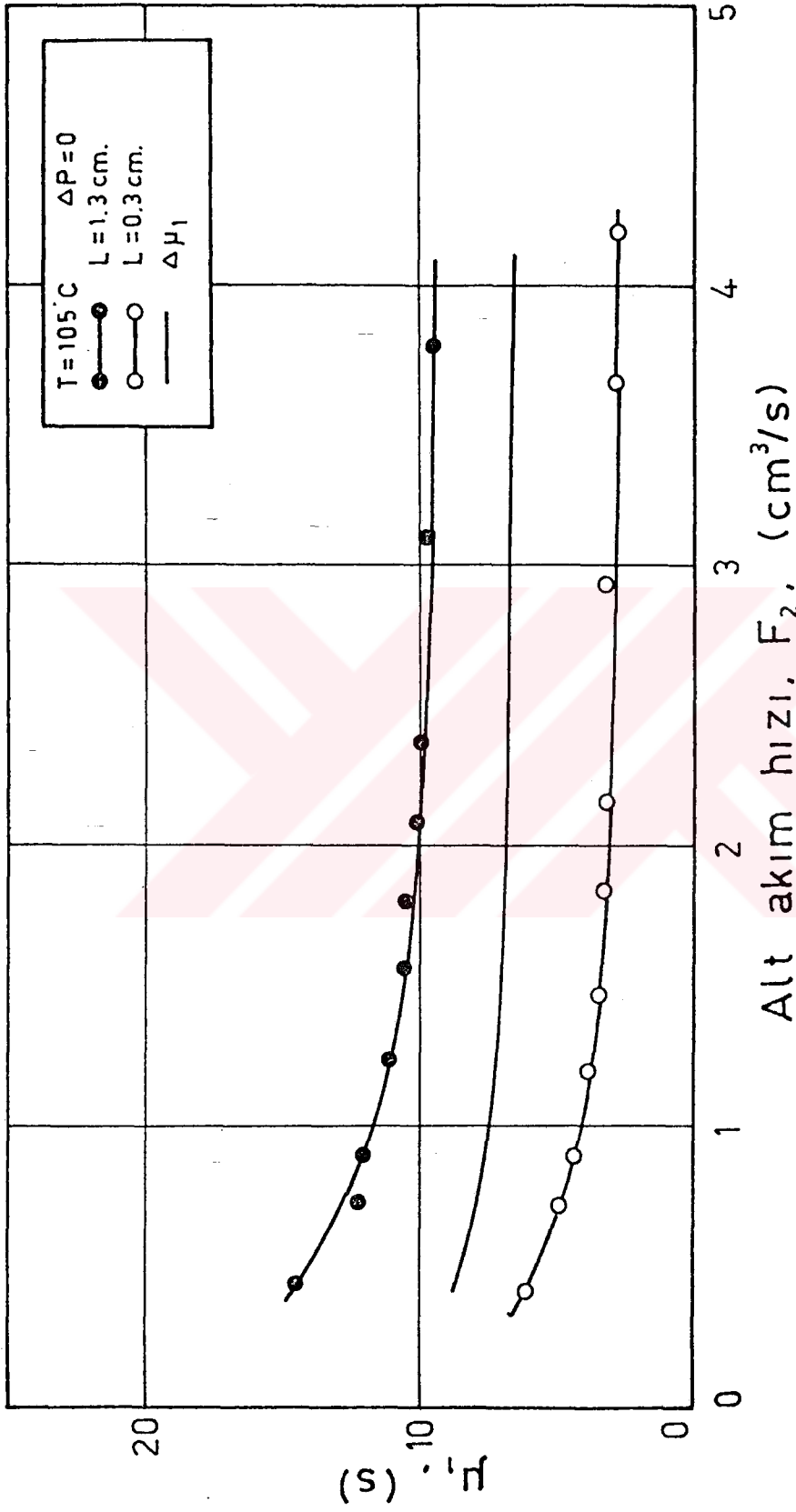


Şekil 4.10. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, $T=80^\circ\text{C}$, $\Delta P=0$).



Alt akım hızı, F_2 . (cm^3/s)

Şekil 4.11. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon=0.68$, $T=95^\circ\text{C}$, $\Delta P=0$).



Şekil 4.12. İki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\epsilon = 0.68$, $T = 105^\circ\text{C}$, $\Delta P = 0$).

Denklem 2.46'dan birimsiz parametre δ 'nın hesaplanabilmesi için izobarik ve izobarik olmıyan şartlardaki sıfırinci momentler oranı ve etkin difüzyon sabitlerinin oranına ihtiyaç vardır.

4.3.1. m_0 Eğrileri

İzobarik olmıyan basınçta, elde edilen deneysel sonuçlara göre alt akım hızına karşı sıfırinci momentler grafiğe alındı. Her bir basınç farkında alt akım hızına göre sıfırinci momentin değişimi grafik üzerinde gösterildi. Uzun pellet (uzunluğu=1.3cm) için çizilen sıfırinci moment grafikleri Şekil 4.13-4.20'de verilmiştir.

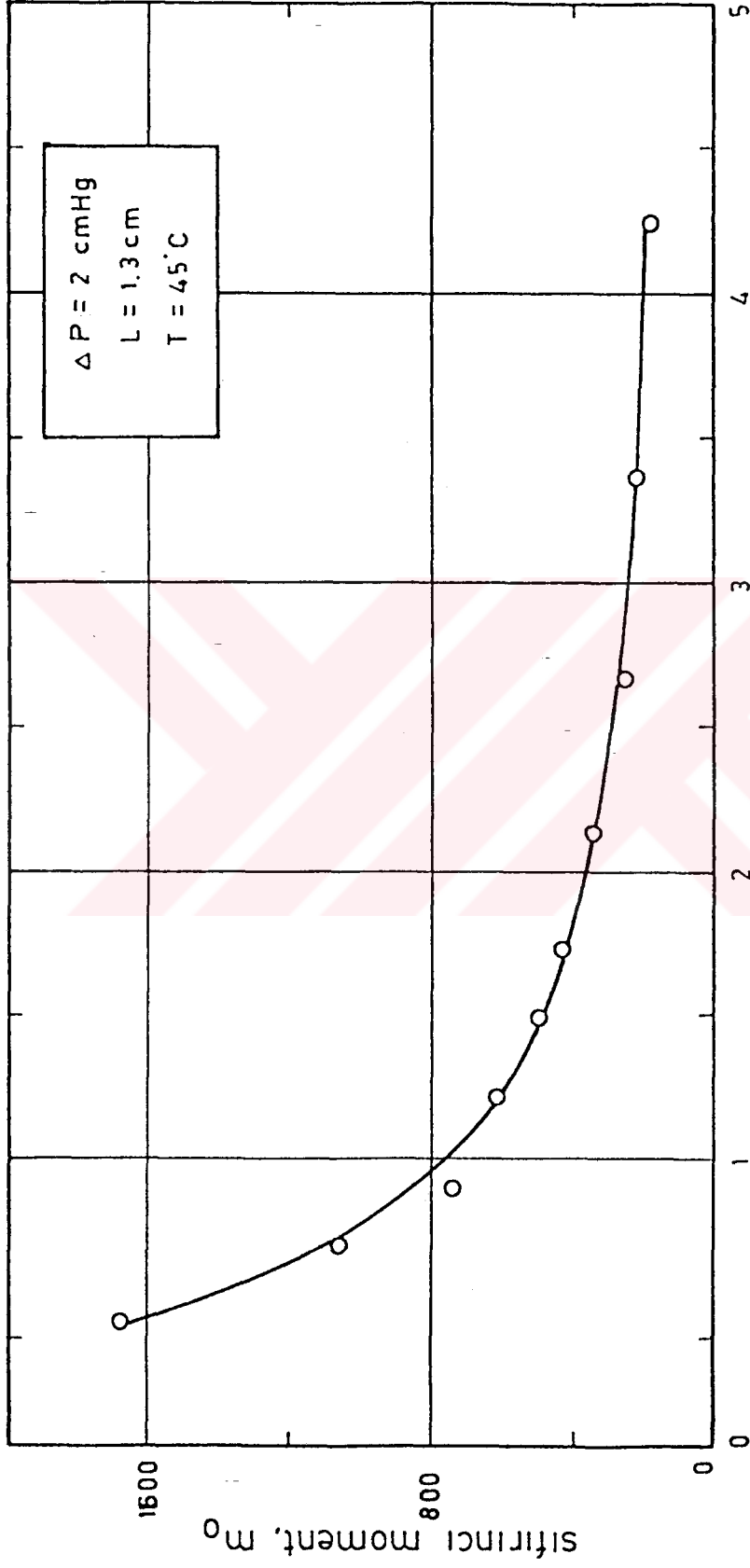
4.3.2. m_{00} Eğrisi

İzobarik basınçta, 1 cm^3 izleyici hacminde uzun pellet ($L=1.3 \text{ cm}$) için gözlenen sıfırinci moment verisi alt akım hızına karşı grafiğe alındı. m_{00} eğrisi Şekil 4.21'de görülmektedir.

4.3.3. Sıfırinci Momentler Oranı (m_{00}/m_0)

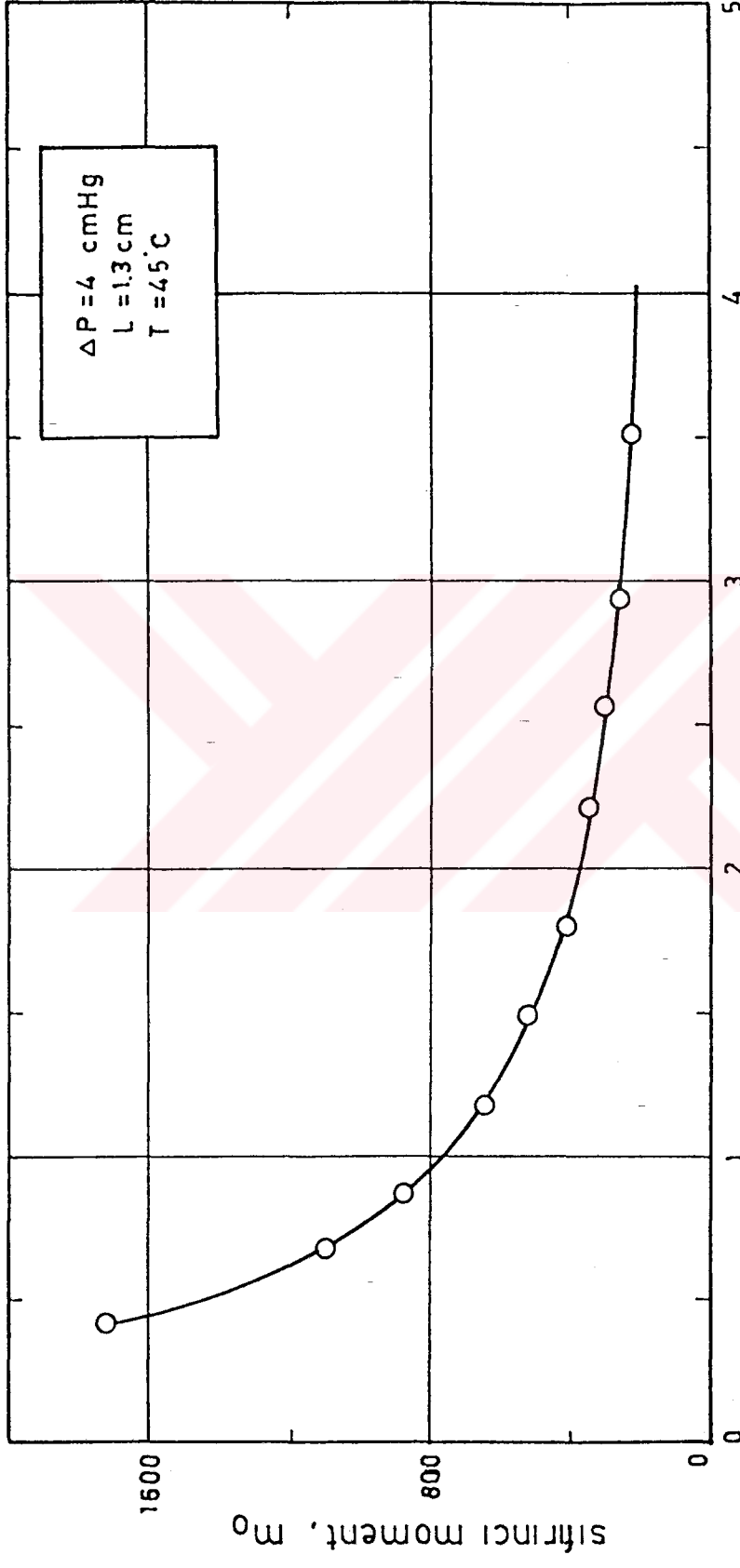
Alt akım hızına karşı sıfırinci moment değerleri Şekil 4.13-4.21'in eğrilerinden okundu. Okunan sıfırinci momentler oranlanarak Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4'e göre alt akım hızına karşı sıfırinci moment oranları grafiğe alındı. Şekil 4.22'den görüldüğü gibi noktaların birer doğruya uyduğu görüldü. $E_2 \rightarrow \infty$ için moment oranları Şekil 4.22'den okundu ve Tablo 4.4'ün en son satırında gösterildi.



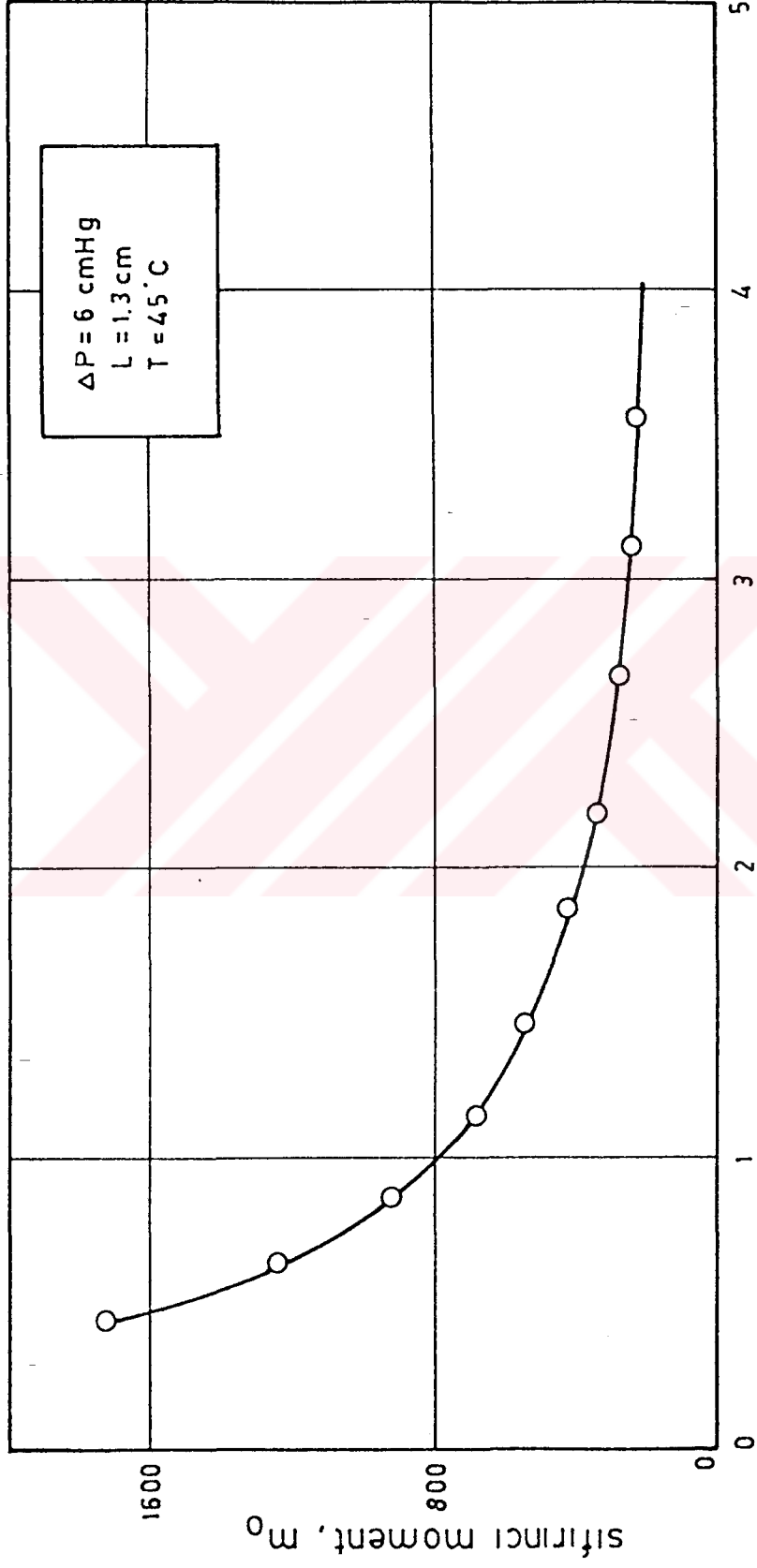
Alt akım hızı, F_2 , (cm³/s)

Şekil 4.13. Alt akım hızına karşı sıfıncı moment eğrisi
($\Delta p=2\text{cmHg}$, $L=1.3 \text{ cm}$).

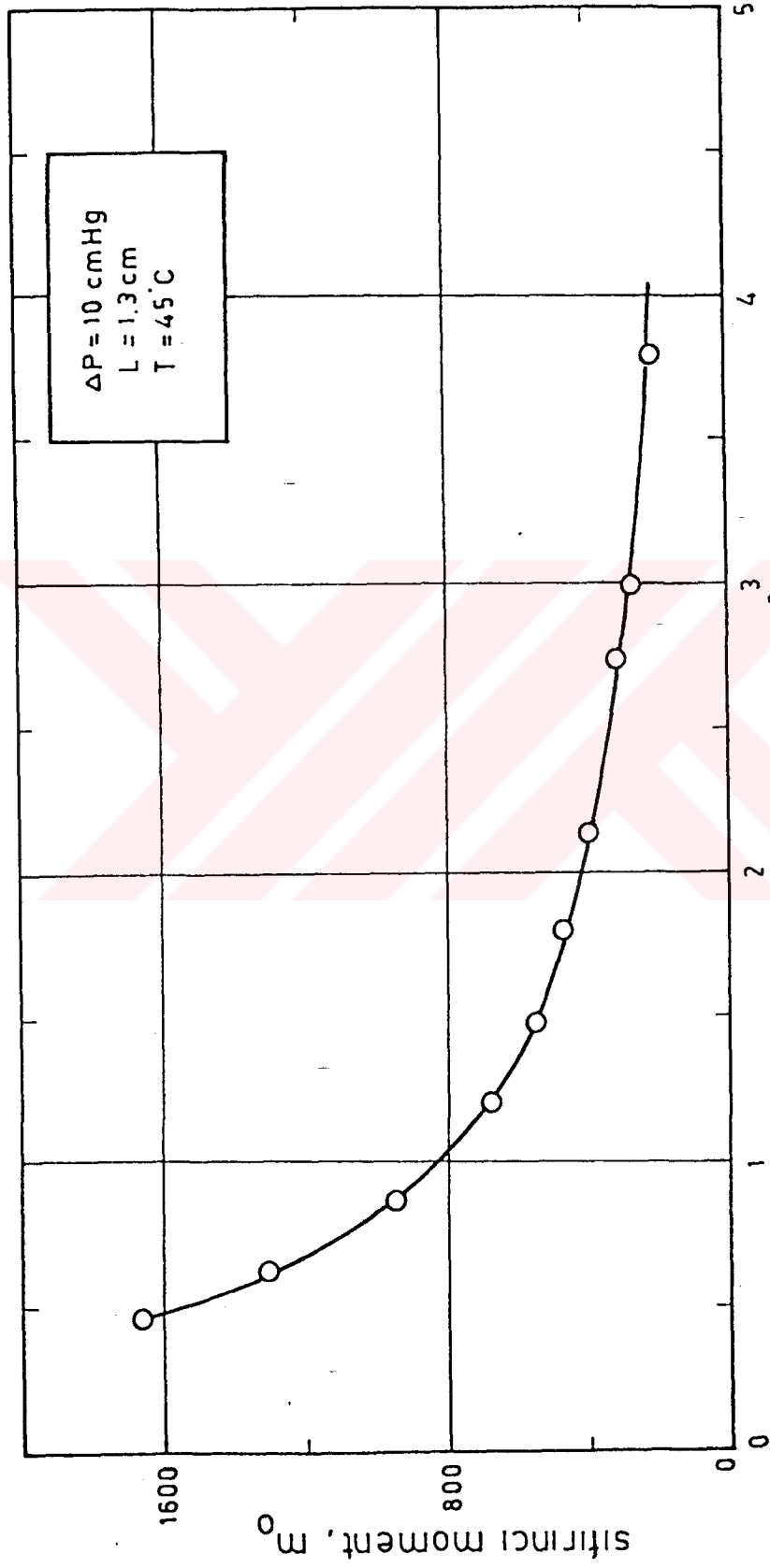


Alt akım hızı, F_2 , (cm^3/s)

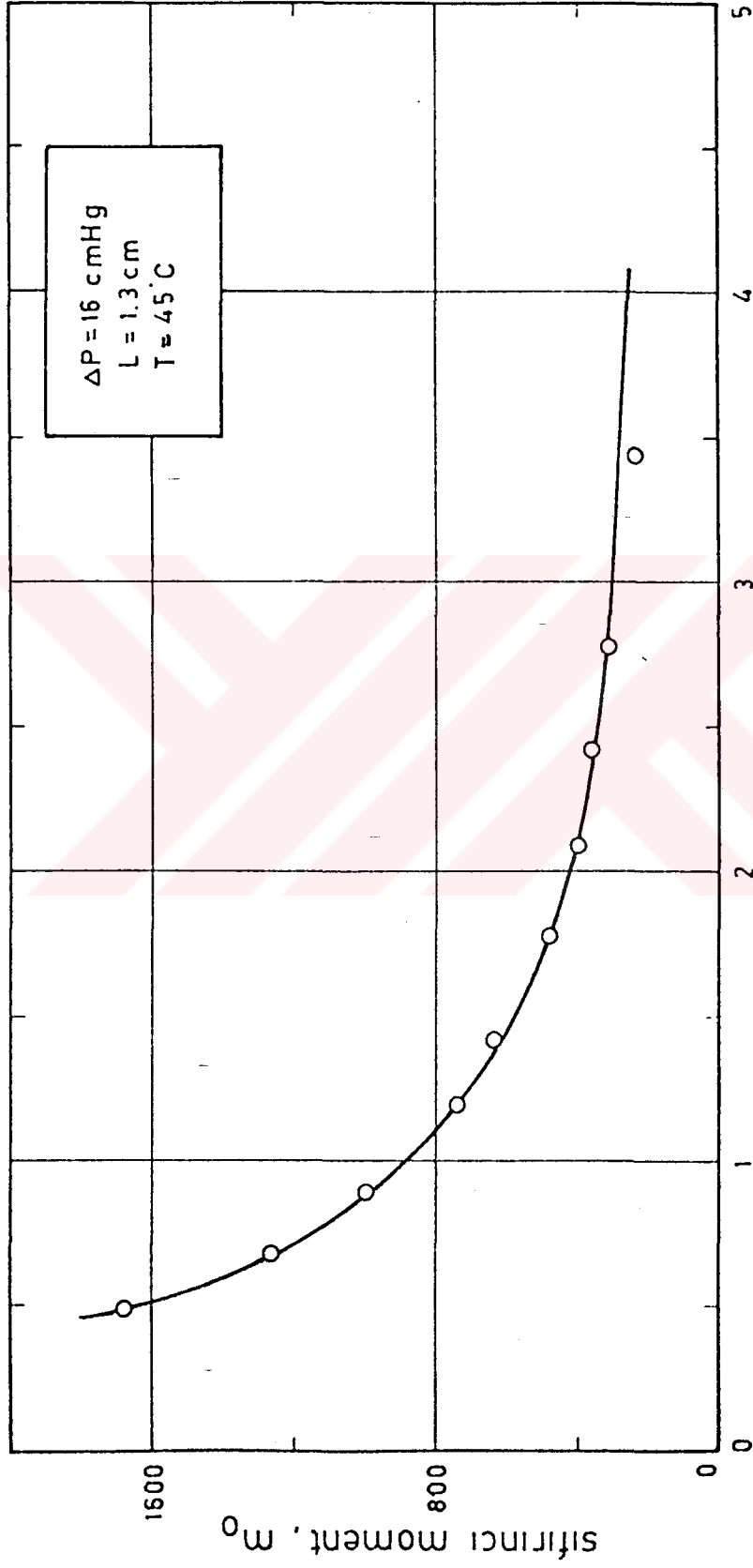
Şekil 4.14. Alt akım hızına göre sıfıncı moment eğrisi ($\Delta P=4$ cmHg, $L=1.3$ cm).



Şekil 4.15. Alt akım hızına göre sıfırinci moment eğrisi
($\Delta P = 6 \text{ cmHg}$, $L = 1.3 \text{ cm}$).

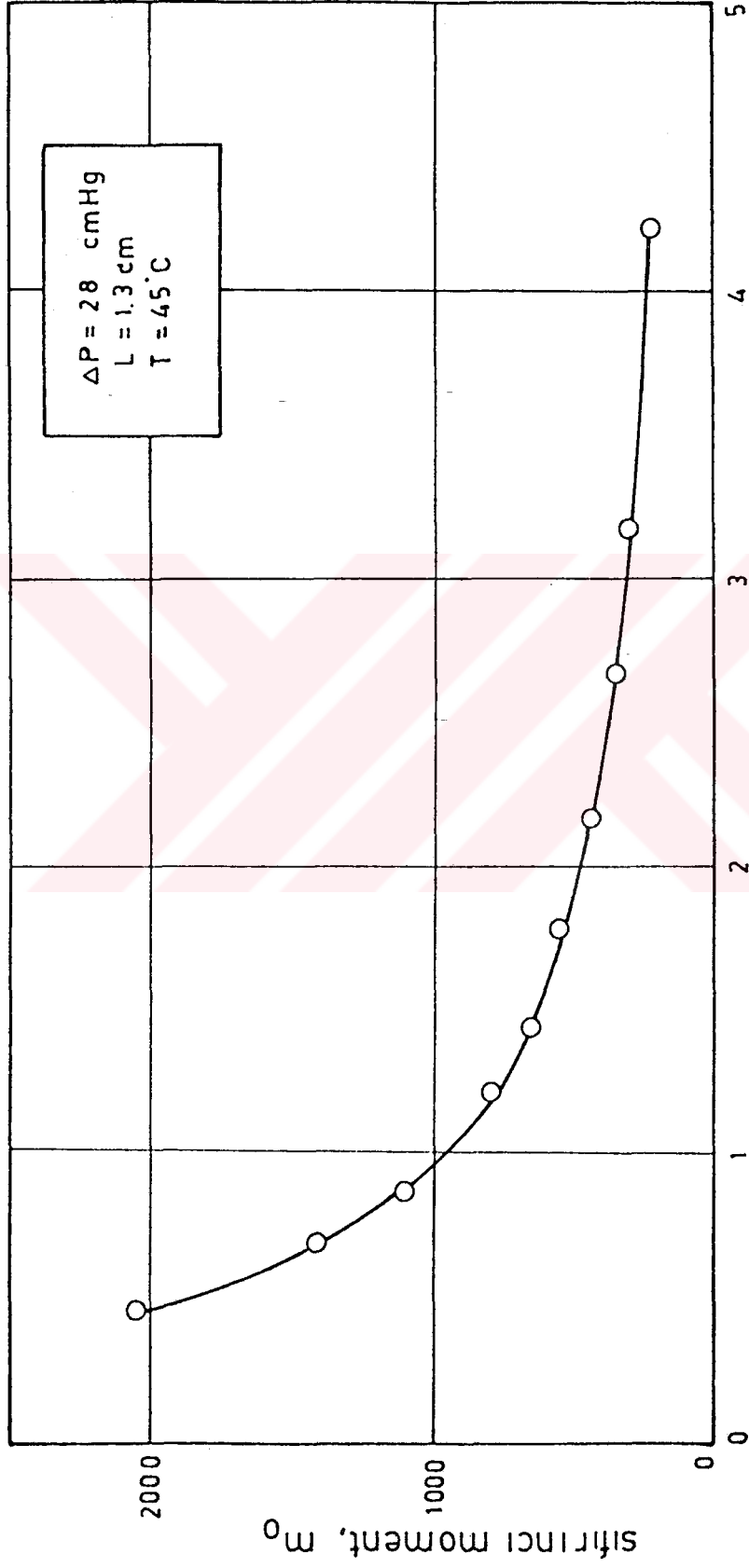


Şekil 4.16. Alt akım hızına göre sıfıncı moment eğrisi
($\Delta P = 10$ cmHg, $L = 1.3$ cm).



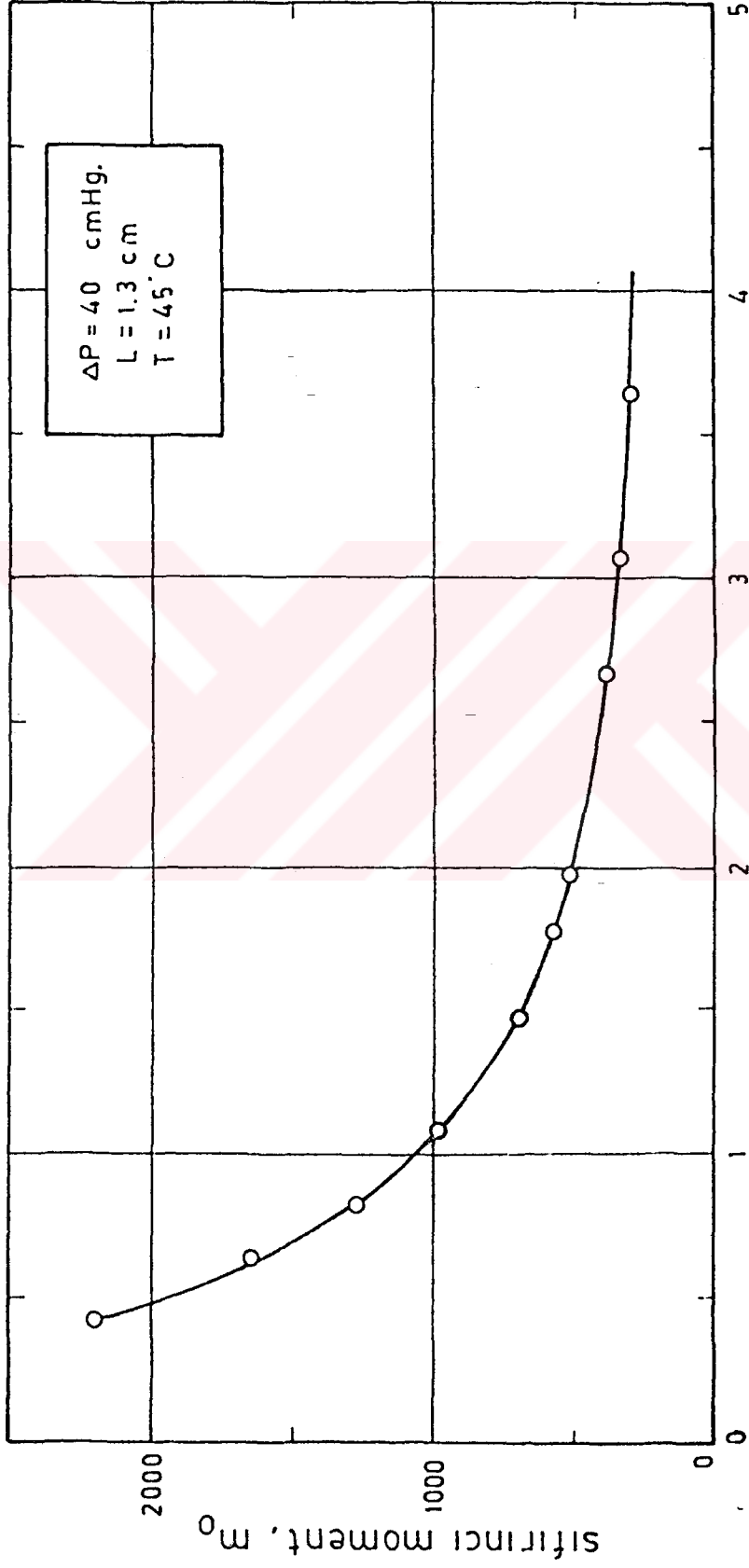
Alt akım hızı, F_2 , (cm^3/s)

Şekil 4. 17. Alt akım hızına göre sıfırcı moment eğrisi
($\Delta P = 16 \text{ cmHg}$, $L = 1.3 \text{ cm}$).



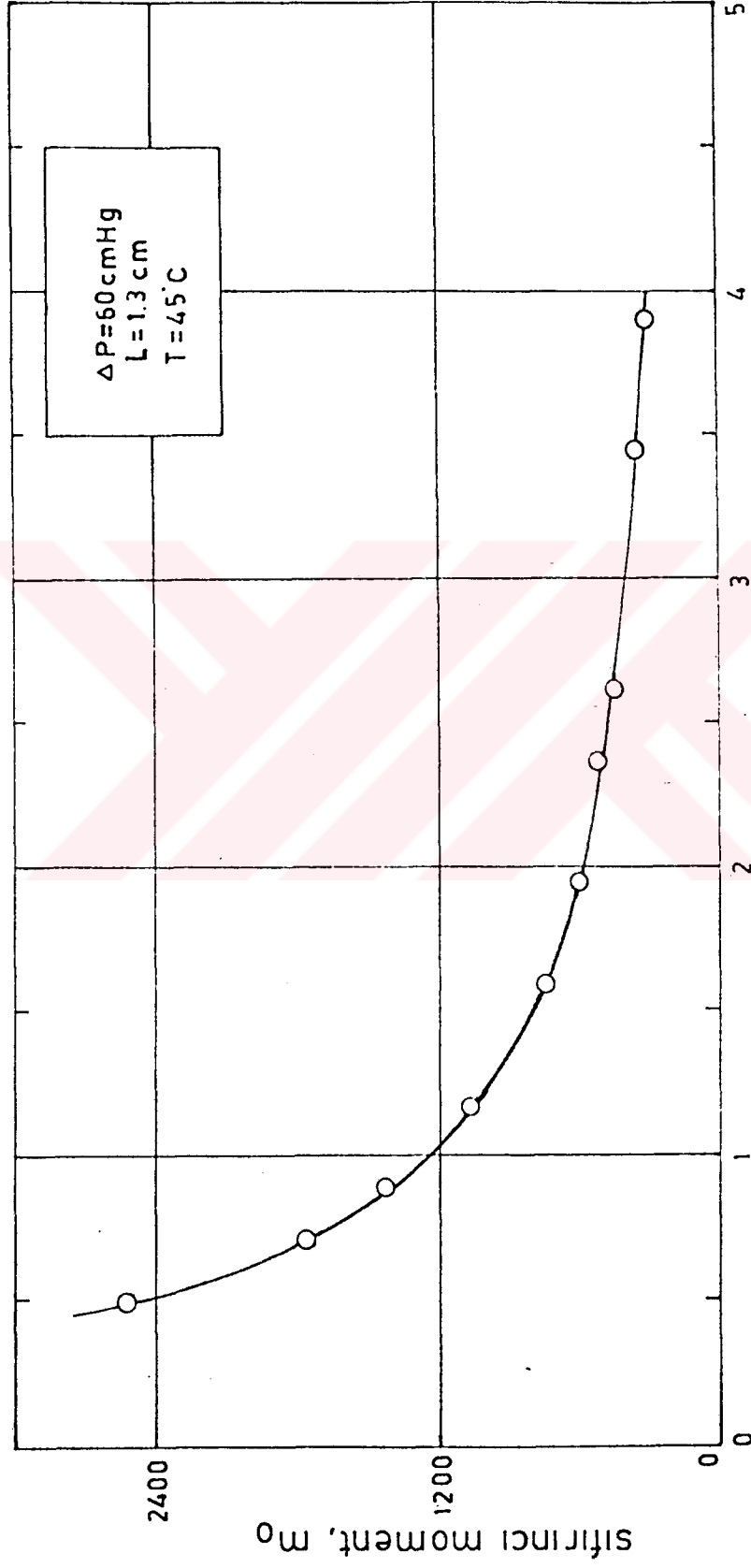
Alt akım hızı, F_2 , (cm^3/s)

Şekil 4.18. Alt akım hızına göre sıfıncı moment eğrisi
($\Delta P=28 \text{ cmHg}$, $L=1.3 \text{ cm}$).



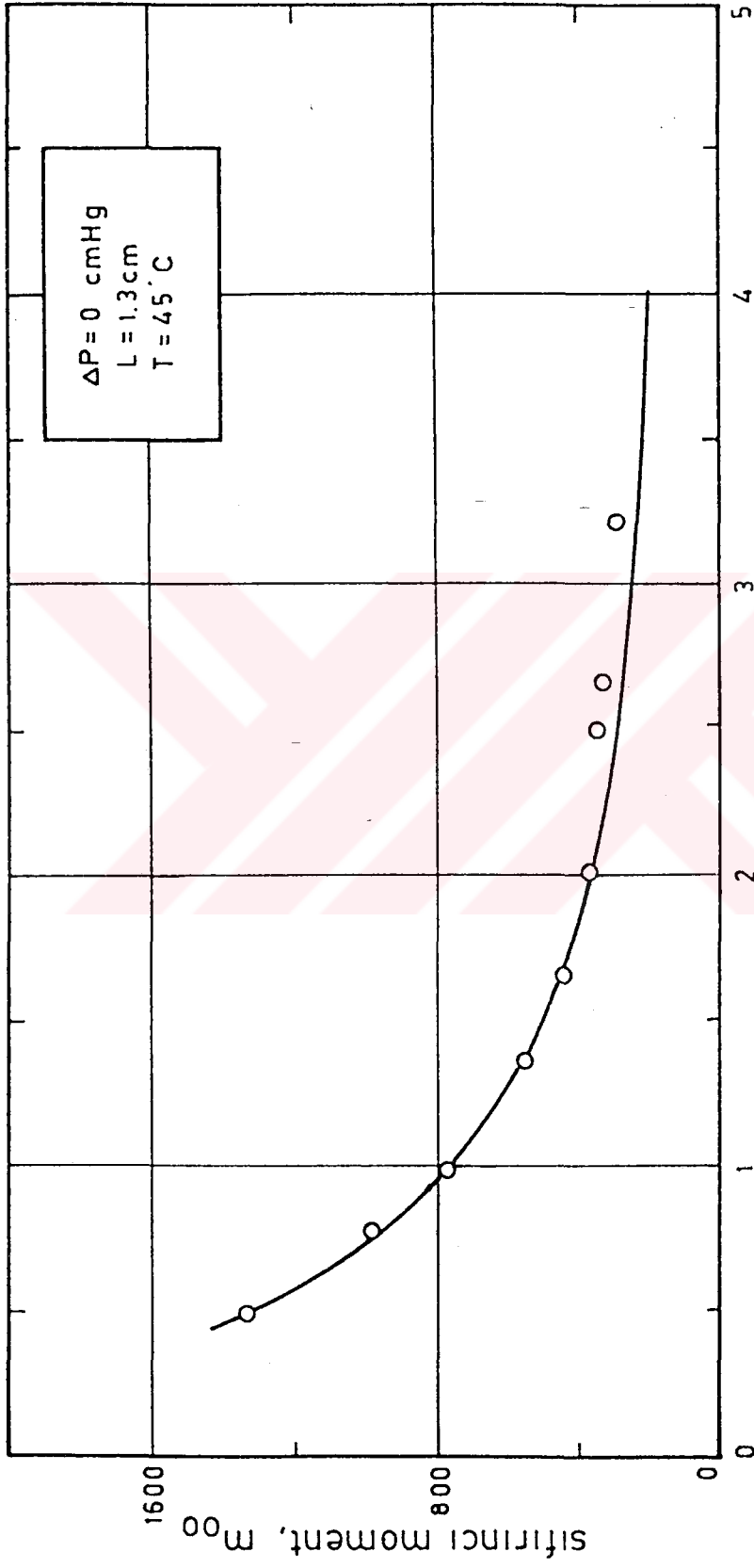
Alt akım hızı, F_2 , (cm^3/s)

Şekil 4.19. Alt akım hızına göre sıfıncı moment eğrisi ($\Delta P = 40$ cmHg, $L = 1.3$ cm).



Alt akım hızı, F_2 (cm³/s)

Şekil 4.20. Alt akım hızına göre sıfıncı moment eğrisi
($\Delta P=60$ cmHg, $L=1.3$ cm).



Alt akım hızı, F_2 , (cm^3/s)

Şekil 4.21. İzobarik şartlarda alt akım hızına göre sıfırncı moment eğrisi ($\Delta P=0$, $L=1.3 \text{ cm}$).

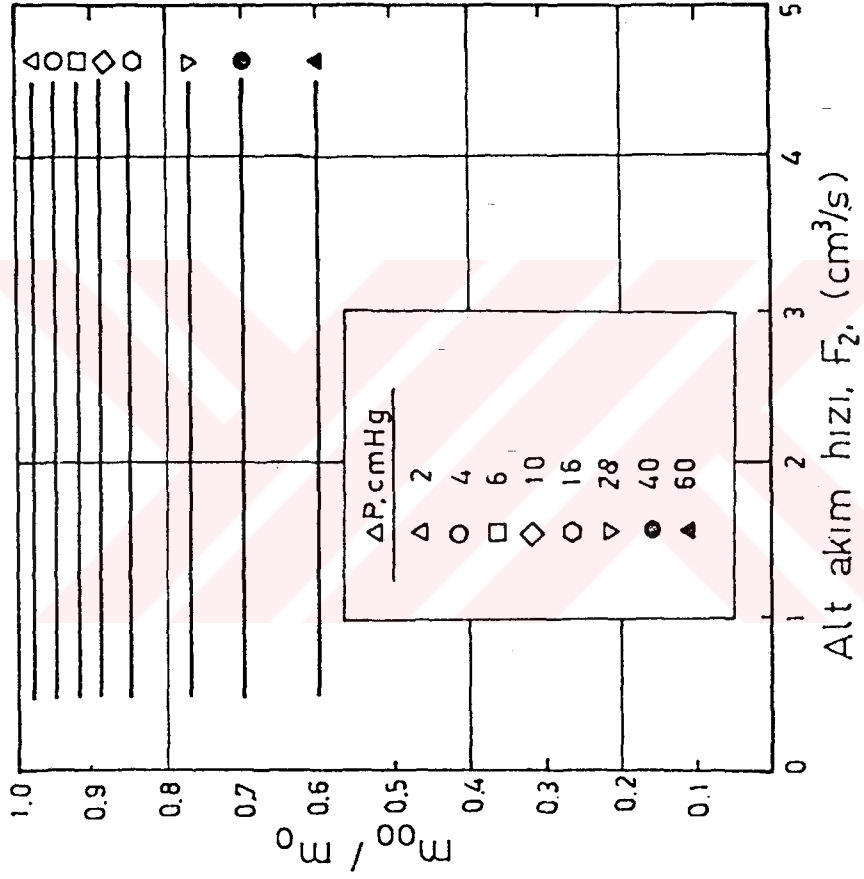
Tablo 4.4. Sıfırinci momentler oranı
(m_{00}/m_0).

F_2	$\Delta P=0$	$\Delta P=2$	$\Delta P=4$	$\Delta P=6$	$\Delta P=10$	$\Delta P=16$	$\Delta P=28$	$\Delta P=40$	$\Delta P=60$
$(\frac{cm^3}{s})$	m_{00} / m_0								
0.5	1.0	0.97	0.97	0.935	0.91	0.857	0.70	0.738	0.57
1.0	1.0	0.98	0.96	0.94	0.895	0.85	0.77	0.7	0.60
1.5	1.0	0.99	0.96	0.92	0.89	0.85	0.78	0.72	0.61
2.0	1.0	0.97	0.95	0.90	0.85	0.85	0.75	0.70	0.60
2.5	1.0	0.98	0.93	0.935	0.85	0.85	0.763	0.70	0.60
3.0	1.0	0.98	0.92	0.96	0.85	0.80	0.76	0.69	0.60
3.5	1.0	0.99	0.94	0.97	0.88	0.78	0.77	0.69	0.60
4.0	1.0	0.97	0.95	0.91	0.87	0.80	0.78	0.70	0.61
∞	1.0	0.98	0.95	0.92	0.89	0.85	0.77	0.70	0.60

4.3.4. Difüziviteler Oranı (D_{e0}/D_e) ve Bükümlülük Faktörünün Hesaplanması

Bükümlülük faktörü Denklem 2.47'den hesaplanabilir.

Bunun için de D_{e0} , ϵ ve D_{T0} değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. D_{e0} ve ϵ deneysel verilerden hesaplanmıştır. D_{T0} ise D_{AB} ve D_{KA} 'nın bir fonksiyonu olarak Denklem 2.48'de tanımlanmıştır. Denklemden de görüldüğü gibi D_{KA} 'dan dolayı D_{T0} gözenek yarıçapının bir fonksiyonudur. Wang ve Smith (14) yaptıkları deneyler sonucunda en güvenilir bükümlülük faktörünün ortalama bir $D_{T0}(a)$ değerinden bulunabileceğini ifade etmişlerdir. Bu analize göre, porozimetre verisine dayanarak D_{T0} ve D_T değerleri için yapılan hesaplamalar Ek-C'de verilmiştir. Bulunan sonuçlar Tablo 4.5'te özetlenmiştir.



Şekil 4.22. Alt akım hızına göre sıfırcı moment oranı eğrileri ($\epsilon=0.68$, $L=1.3$ cm, $T=45^\circ\text{C}$).

Tablo 4.5. İzobarik olmıyan şartlarda hesaplanan etkin difüzyon sabitleri.

ΔP (cmHg)	D_{AB}^{η} (cm ² /s)	D_T^{ξ} (cm ² /s)	D_T/D_{T_0}	D_e (cm ² /s)
0	0.8557	0.1360	1.0000	0.0234 [♀]
2	0.8435	0.1352	0.9941	0.0233 [*]
4	0.8316	0.1344	0.9883	0.0231 [*]
6	0.8201	0.1336	0.9826	0.0230 [*]
10	0.7979	0.1321	0.9715	0.0227 [*]
16	0.7668	0.1299	0.955	0.0224 [*]
28	0.7114	0.1258	0.9256	0.0217 [*]
40	0.6634	0.1221	0.8981	0.0210 [*]
60	0.5964	0.1165	0.8571	0.0201 [*]

^η Chapman-Enskog eşitliğinden hesaplanmıştır.

^ξ Denklem 2.53 kullanılarak hesaplanmıştır.

[♀] Deneysel verilerden izobarik şartlarda hesaplanmıştır.

^{*} Hesaplamalar Ek-C'de tüm gözenek dağılımı boyunca yapılmıştır.

Bükümlülük Faktörünün Hesaplanması:

Denklem 2.47 ve Tablo 4.5 kullanılarak, bükümlülük faktörü aşağıda hesaplanmıştır:

$$\tau = \epsilon \frac{D_{T_0}}{D_{e_0}} = 0.68 \frac{0.1360}{0.0234} ,$$

$$\tau = 3.95$$

4.3.5. δ Değerlerinin Hesaplanması

δ parametresi sıfırcı moment verilerine göre Denklem 2.45 veya Denklem 2.46'dan hesaplanabilir. Yüksek alt akım hızında;

$$\left(\frac{m_{OO}}{m_O}\right)_{\infty} = \frac{D_{eO}}{D_e} \frac{\sinh \delta}{\delta e^{\delta}} \quad (4.7)$$

yazılabilir. Tablo 4.4'ün en son satırında verilen sıfırcı moment oranları ve Tablo 4.5'te verilen difüzivite teler kullanılarak, Denklem 4.7'den deneme yanılma ile δ değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen δ değerleri Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

4.3.6. Darcy Katsayısının Hesaplanması

Darcy katsayısı, birimsiz δ parametresinden bulunabilir. Denklem 2.25 ve 2.32'den;

$$\delta = \left(\frac{C_O}{2\mu}\right) \left(\frac{\Delta P}{D_e}\right) \quad (4.8)$$

olduğu görülür. δ parametresi, $\Delta P/D_e$ 'ye karşı grafiğe alındığında, Denklem 4.8'e göre eğimi $C_O/2\mu$ olan bir doğru elde edilmelidir. Bu amaçla Şekil 4.23'te görülen eğri, Tablo 4.6'dan alınan verilere göre çizilmiştir. Eğrinin eğiminden;

$$\text{eğim} = \frac{C_O}{2\mu} = 1.86 \times 10^{-8} \frac{\text{m}^2/\text{s}}{\text{kPa}} \quad (4.9)$$

bulunmuştur. Gazın vizkozitesi yaklaşık olarak Azot gazının vizkozitesine eşit alınırsa, Darcy katsayısı;

$$C_O = 2 (0.0185 \times 10^{-6}) (1.86 \times 10^{-8}) , \quad (4.10)$$

Tablo 4.6. İzobarik olmıyan taşınımına göre hesaplanmış parametreler.

ΔP (cmHg) (kPa)	D_e^{η} (cm ² /s)	$\left(\frac{m_{O_2}}{m_O}\right)_{\infty}^{\xi}$	δ^{φ}	$\Delta P/D_e$ ($\frac{kPa}{m^2/s} \times 10^{-4}$)	
2	2.67	0.0233	0.98	0.05	114.6
4	5.33	0.0231	0.95	0.065	230.7
6	8.00	0.0230	0.92	0.10	347.8
10	13.33	0.0227	0.89	0.15	587.2
16	21.33	0.0224	0.85	0.22	952.2
28	37.33	0.0217	0.77	0.37	1720.3
40	53.33	0.0210	0.70	0.51	2539.5
60	80.00	0.0201	0.60	0.77	3980.0

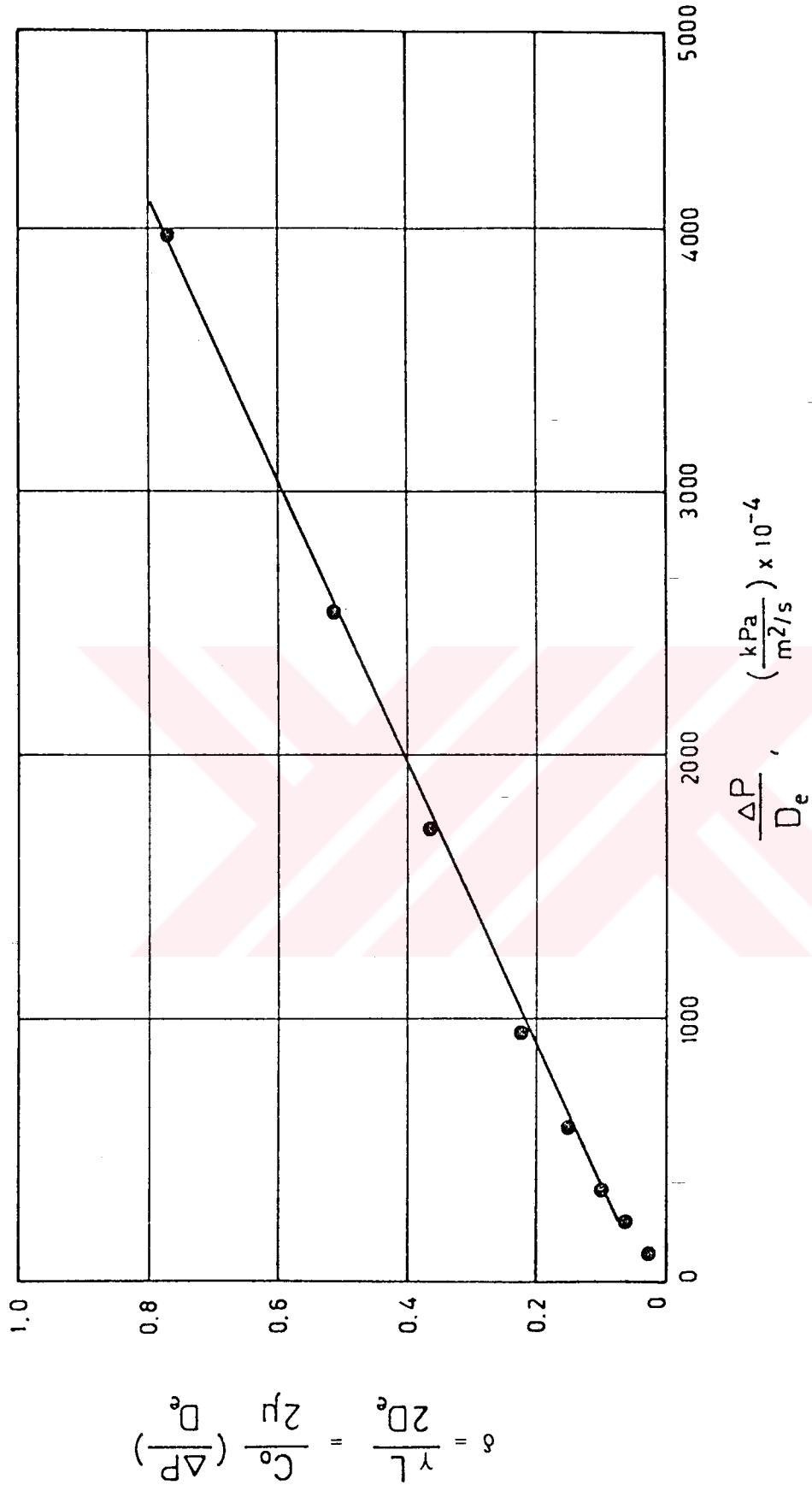
η Denklem 2.53 kullanılarak hesaplanmıştır.

ξ Şekil 4.22'den okunmuştur.

φ Denklem 4.7 kullanılmıştır.

$$C_O = 0.069 \times 10^{-14} \text{ m}^2 \quad (4.11)$$

olarak bulunmuştur. Darcy katsayısının mertebesi literatürde verilen değerlerle tutarlıdır (8,11).



Şekil 4.23. $\Delta P/D_e$ değerlerine karşı δ parametresinin değişimi.

BÖLÜM V

TARTIŞMALAR

5.1. İzobarik Şartlarda Knudsen Difüzyonun Moleküler Difüzyona Göre Bağlı Önemi

İzobarik basınçta sıcaklık değiştirilerek Knudsen difüzyonun moleküler difüzyona göre bağlı önemi araştırılmıştır. Tek kataliz pellet moment yöntemine göre yapılan analizler sonucu bulunan etkin difüzyon sabitleri Tablo 4.2'de verilmiştir Etkin difüzyon sabitinin sıcaklıkla değişimi;

$$D_{eO} = \kappa T^b \quad (5.1)$$

şeklinde olduğu düşünülürse, Denklem 1.8, 1.10, 2.47 ve 2.48'den moleküler difüzyon bölgesi,

$$D_{eO} = \kappa_1 T^{1.5} , \quad (5.2)$$

Knudsen difüzyon bölgesi ise;

$$D_{eO} = \kappa_2 T^{0.5} \quad (5.3)$$

şeklinde olduğu görülür. O halde b, 0.5 ile 1.5 arasında bir değer alırsa her iki mekanizmanın etkin olduğu anlaşılır. b'yi bulabilmek amacıyla Denklem 5.1 bir referans değere oranlanırsa κ elimine edilir. Elde edilen oranın her iki tarafının logaritması alınır;

$$\ln((D_{eO})_T / (D_{eO})_{T_{ref}}) = b \ln(T / T_{ref}) \quad (5.4)$$

eşitliği elde edilmiş olur. Denklem 5.4 kullanılarak, Tablo 4.6'dan alınan değerlere göre, ortalama olarak b , 1.07 bulunmuştur. Ayrıca Denklem 5.1'e göre yapılan lineer regrasyondan b , 0.8 bulunmuştur. b , 0.5 ile 1.5 arasında değer aldığından, bu çalışmada kullanılan katalizörde gazın taşınım hızı üzerine hem Knudsen difüzyon hem de moleküler difüzyon etkindir.

5.2. Bükümlülük Faktörü

Bükümlülük faktörü Wang ve Smith (14)'in analizine göre hesaplanmıştır. Kullanılan değerler Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Bükümlülük faktörünün sıcaklığa göre değişimi ($\Delta P=0$).

T (°C)	$D_{eO}^{\text{¶}}$ (cm ² /s)	$D_{TO}^{\text{§}}$ (cm ² /s)	$\tau = \frac{\epsilon D_{TO}}{D_{eO}}$
45	0.0234	0.1360	3.95
60	0.0259	0.1417	3.72
70	0.0242	0.1455	4.08
80	0.0259	0.1493	3.92
95	0.0259	0.1550	4.07
105	0.0279	0.1587	3.87

¶ Değerler Tablo 4.6'dan alınmıştır.

§ Hesaplamalar tüm porozimetre verisi kullanılarak yapılmıştır (Ek-C).

Tablo 5.1'den görüldüğü gibi bükümlülük faktörünün yaklaşık 4.0 değerinde sabit olduğu bulunmuştur. Wang

ve Smith'in hesaplamalarında τ , 6 ile 8 arasında değiştiği bulunmuştur. Satterfield (7) tarafından ticari katalizörler için verilen bükümlülük faktörleri 2 ile 4 arasında değişmektedir. Bu çalışmada bulunan bükümlülük faktörü literatürle uyum halindedir. Bükümlülük faktörünün sıcaklıkla değişmemesi de beklenen bir sonuçtur.

5.3. Etkin Difüzyon Sabitinin Konsantrasyona

Bağımlılığı

Kuramsal olarak etkin difüzyon sabiti, Denklem 1.26'da verildiği gibi; α_{yA} terimi l 'in yanında ihmal edilemeyecek mertebede ise, konsantrasyona bağımlıdır. Bu amaçla etkin difüzyon sabiti önce konsantrasyonun bir fonksiyonu şeklinde düşünülmüş ve elde edilen lineer olmıyan ifadeden Doğu T. (21) analizine göre teorik momentler türetilmeye çalışılmıştır.

Deneyssel çalışmada da pulsun miktarı 0.1 cm^3 'ten 10 cm^3 'e kadar değiştirilerek ölçümler yapılmıştır. Bu aralıkta difüzyon sabitlerinin birbirine çok yakın değerler aldığı Tablo 4.2'den görülmektedir. Ek-J'de verilen Şekil J.1'den de görüldüğü gibi birinci fark momentlerinde de bir değişim yoktur. Buna göre α_{yA} teriminin etkin difüzyon sabiti üzerine etkisi ihmal edilebilir.

5.4. Viskoz Akının Difüzyon Akıya Göre

Bağıl Önemi

Bu çalışmanın teori bölümünde, izobarik olmıyan akış için türetilen moment ifadelerinde δ sembolü ile tanımlanmış olan boyutsuz bir parametre belirmiştir. Bu parametrenin gösterimi Denklem 2.32'de verilmiştir. Fizik-

sel olarak da vizkoz akının difüzif akıya oranı şeklinde ifade edilmiştir.

$$\delta = \frac{\gamma L}{2D_e} = \frac{\text{vizkoz akı}}{\text{difüzif akı}} \quad (5.5)$$

O halde;

$\delta < 1$ ise difüzif akı etkin,

$\delta > 1$ ise vizkoz akı etkin,

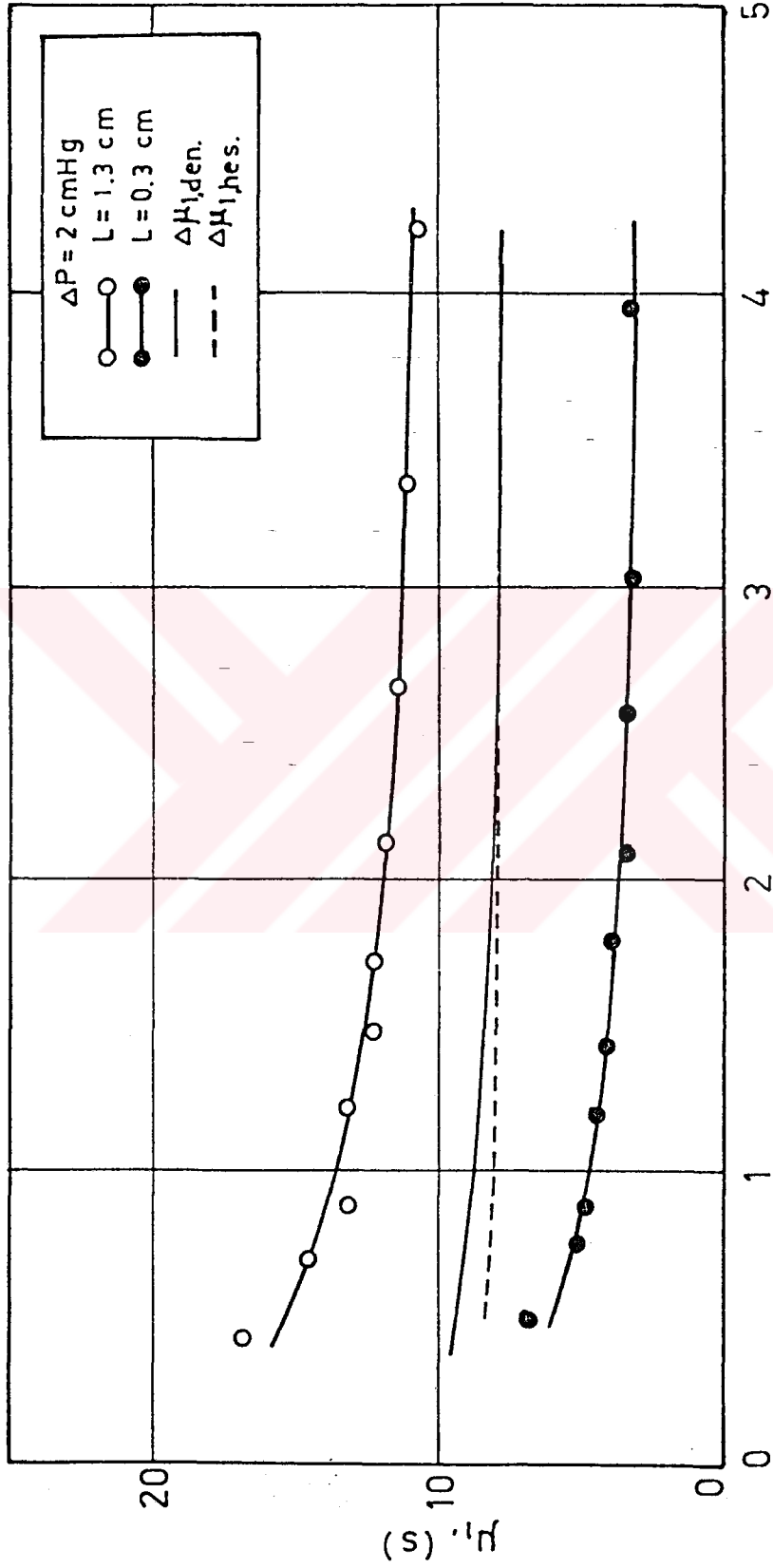
$\delta \approx 1$ ise her iki akı bağıl olarak önemlidir.

Denklem 4.8'den görüldüğü gibi δ parametresi pellet uzunluğundan bağımsızdır. Uzun pellet için elde edilmiş deneysel verilere göre δ değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Pellet üzerinde yaratılan basınç farkının 2 cmHg'den 60 cmHg'ye değiştirilmesi ile δ değerlerinin, 0.05 ile 0.8 aralığında değiştiği bulunmuştur. δ sonuçlarından görüldüğü gibi düşük basınç farklarında difüzif akı etkin olmuştur. Basınç farkı arttırıldıkça δ 'nın değeri 1'e yaklaşmıştır. Dolayısıyla çalışılan bu bölgede düşük basınç farklarında difüzif akı önemli iken, yüksek basınç farklarında bağıl olarak her iki akı da önem kazanmıştır.

Sıfırıncı moment verilerinden hesaplanmış δ değerleri kullanılarak, birinci mutlak moment teorik olarak hesaplanabilir. İki farklı uzunluktaki pellet için birinci mutlak moment farkı, Denklem 5.6'da ifade edilmiştir. Bu eşitlik çıkartılırken, Denklem 2.59'dan faydalanılmıştır.

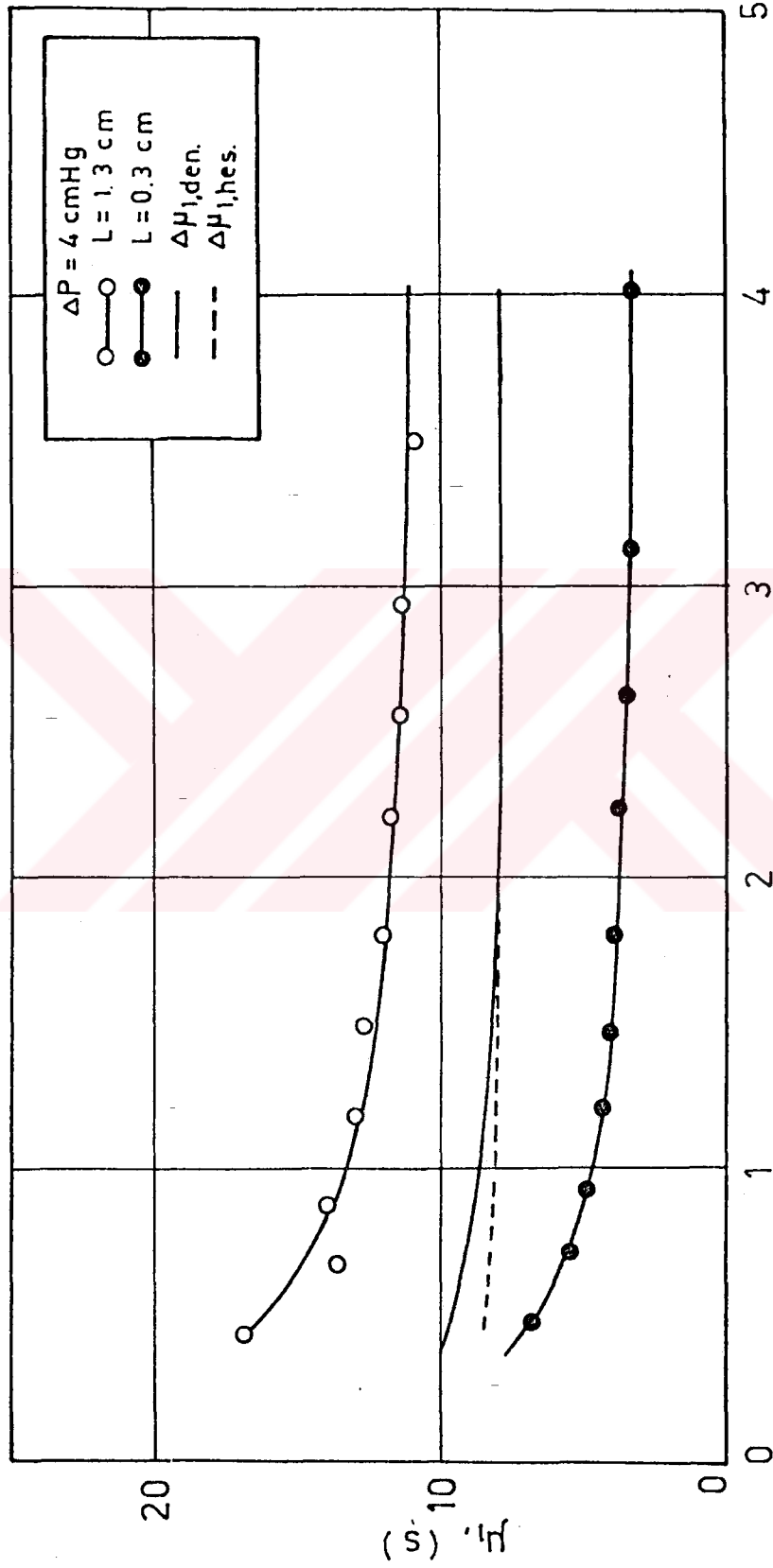
$$\Delta\mu_1 = \frac{\varepsilon L_1^2}{2D_e} \frac{\frac{\sinh(\delta)}{\delta} + (\frac{F_2 L_1}{A_1 D_e} - \delta) \frac{\delta \cosh(\delta) - \sinh(\delta)}{\delta^3}}{\cosh(\delta) + (\frac{F_2 L_1}{A_1 D_e} + \delta) \frac{\sinh(\delta)}{\delta}} - \frac{\varepsilon L_2^2}{2D_e} \frac{\frac{\sinh(\delta)}{\delta} + (\frac{F_2 L_2}{A_2 D_e} - \delta) \frac{\delta \cosh(\delta) - \sinh(\delta)}{\delta^3}}{\cosh(\delta) + (\frac{F_2 L_2}{A_2 D_e} + \delta) \frac{\sinh(\delta)}{\delta}} \quad (5.6)$$

Deneysel verilerden hesaplanmış birinci mutlak moment değerleri Ek-G'de tablolarda verilmiştir. Bu tablolar kullanılarak her bir basınç farkında; L_1 ve L_2 uzunluğundaki pelletler için birinci mutlak moment eğrileri bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Bu eğriler birbirinden çıkartılmış ve deneysel birinci mutlak momentler farkı ($\Delta\mu_{1,den.}$) eğrisi aynı grafik üzerinde çizilmiştir. Grafikler, Şekil 5.1-5.8'de verilmiştir. Bu grafikler üzerinde Denklem 5.6'ya göre hesaplanmış birinci mutlak moment farkı, kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Şekil 5.1-5.8'den görüldüğü gibi, yüksek alt akım hızında deneysel olarak bulunan ile Denklem 5.6 kullanılarak hesaplanmış birinci mutlak moment farkı değerleri, birbirleri ile tutarlıdır. Ayrıca parametrelere sayısal değerler verilerek, sıfırdan momentler oranına karşı birinci mutlak moment farkı grafiği çizilmiştir (Ek-I). Buradan da deneysel noktaların parametrelerle tutarlı oldukları görülmüştür.



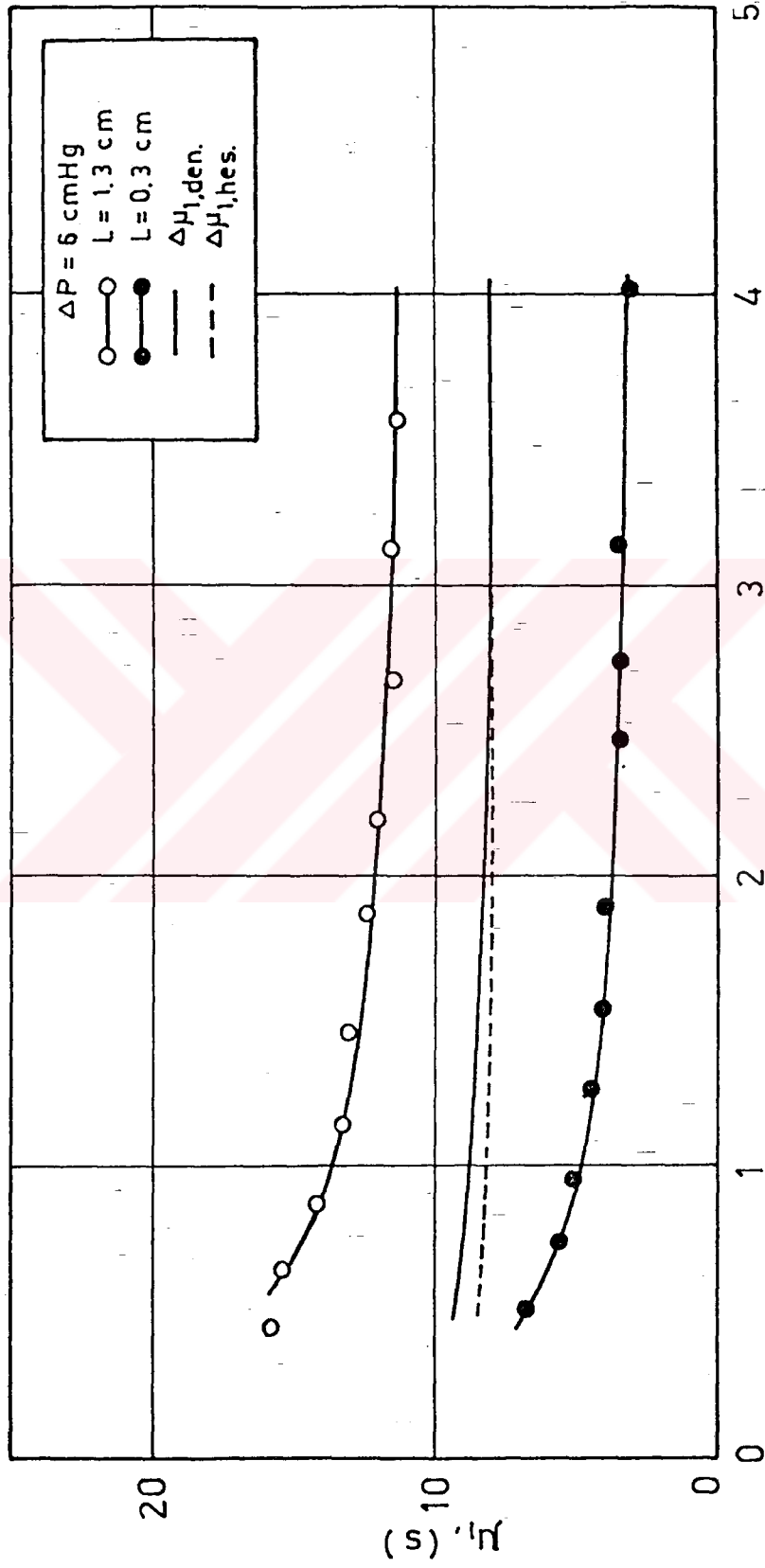
Alt akım hızı, F_2 , (cm³/s)

Şekil 5.1 İzobarik olmayan şartlarda farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P = 2 \text{ cmHg}$).

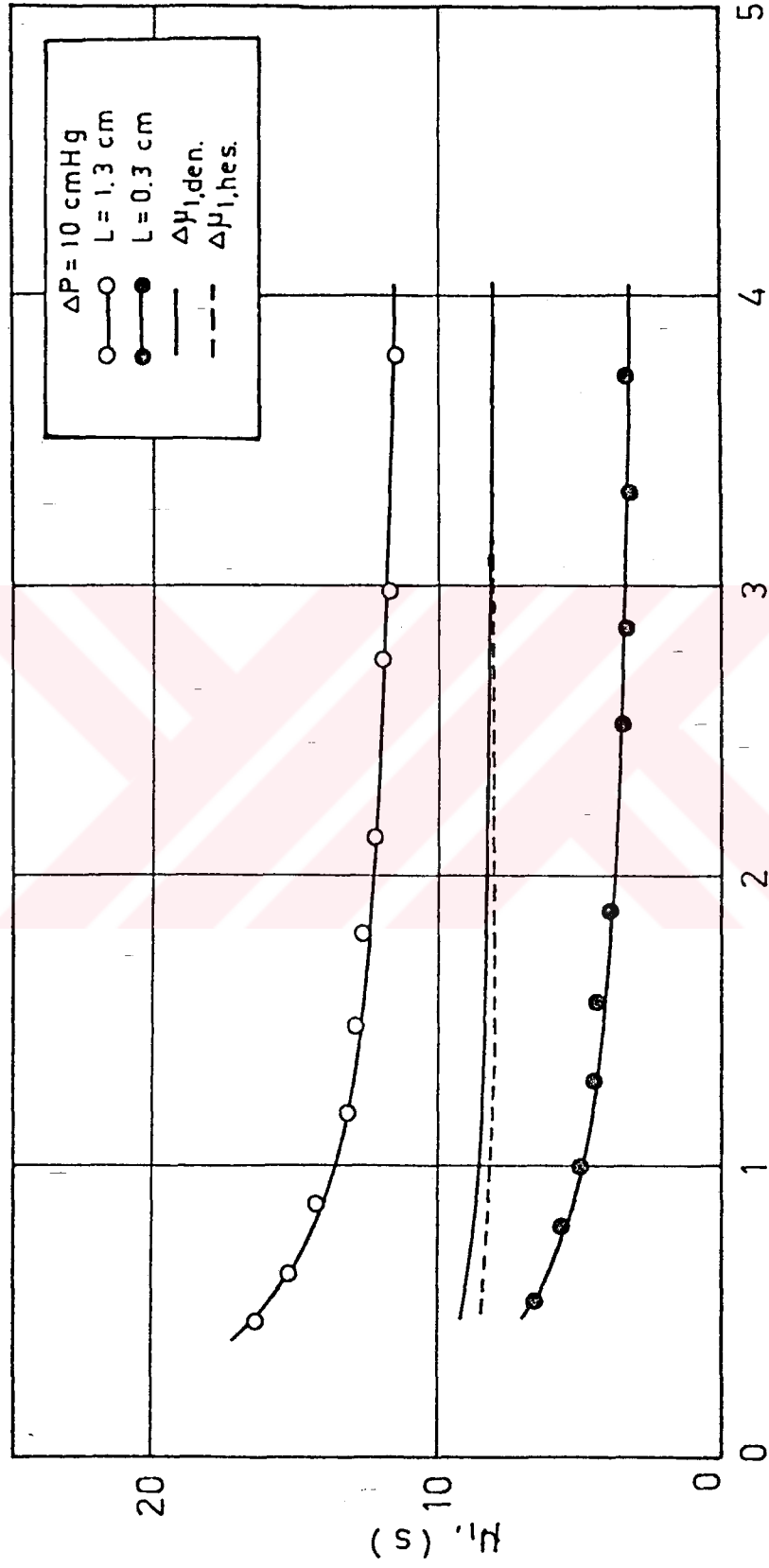


Alt akım hızı, F_2 , (cm³/s)

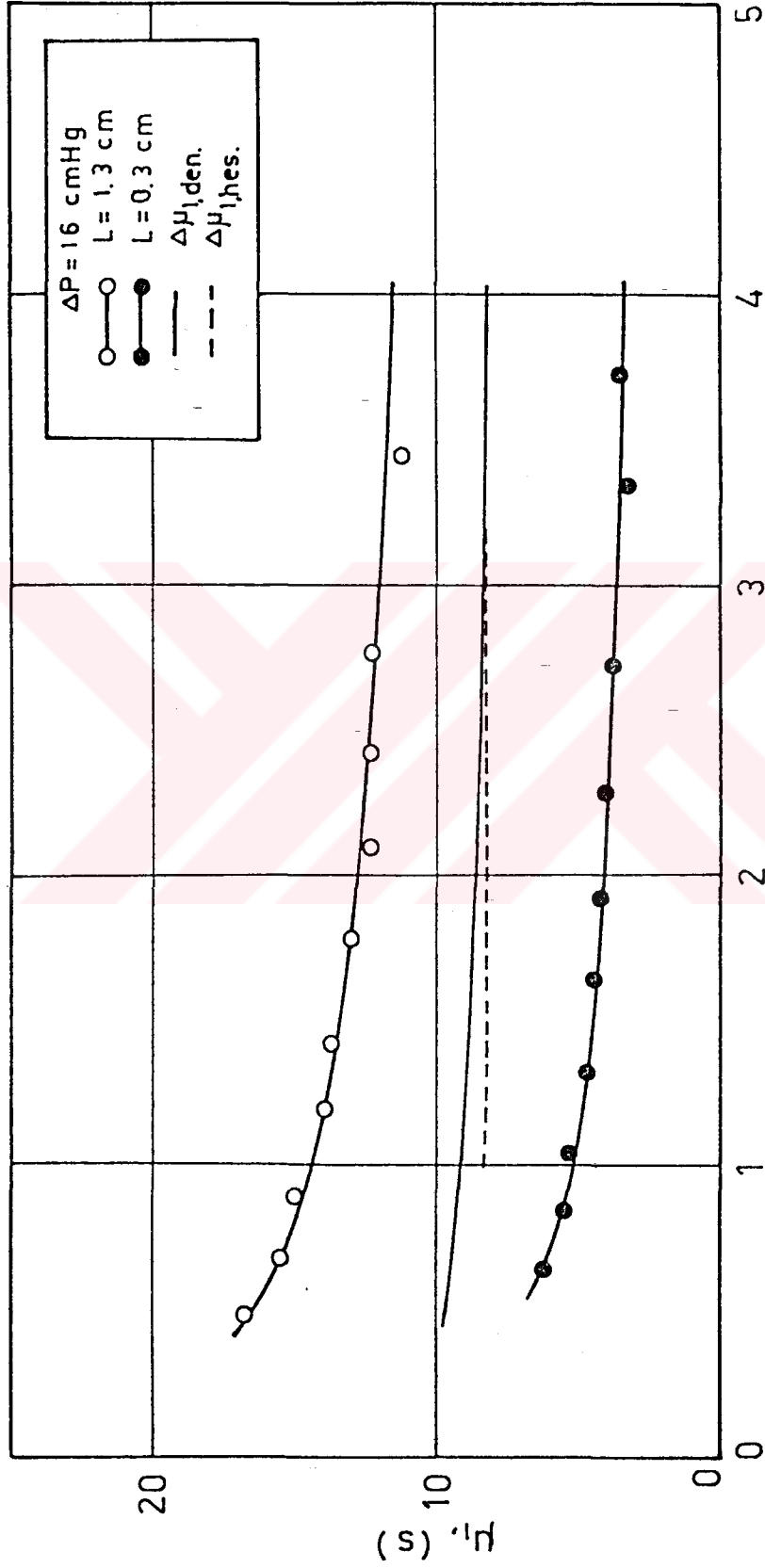
şekil 5.2. İzobarik olmayan şartlarda iki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=4$ cmHg).



Şekil 5.3. İzobarik olmıyan şartlarda iki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=6 \text{ cmHg}$).

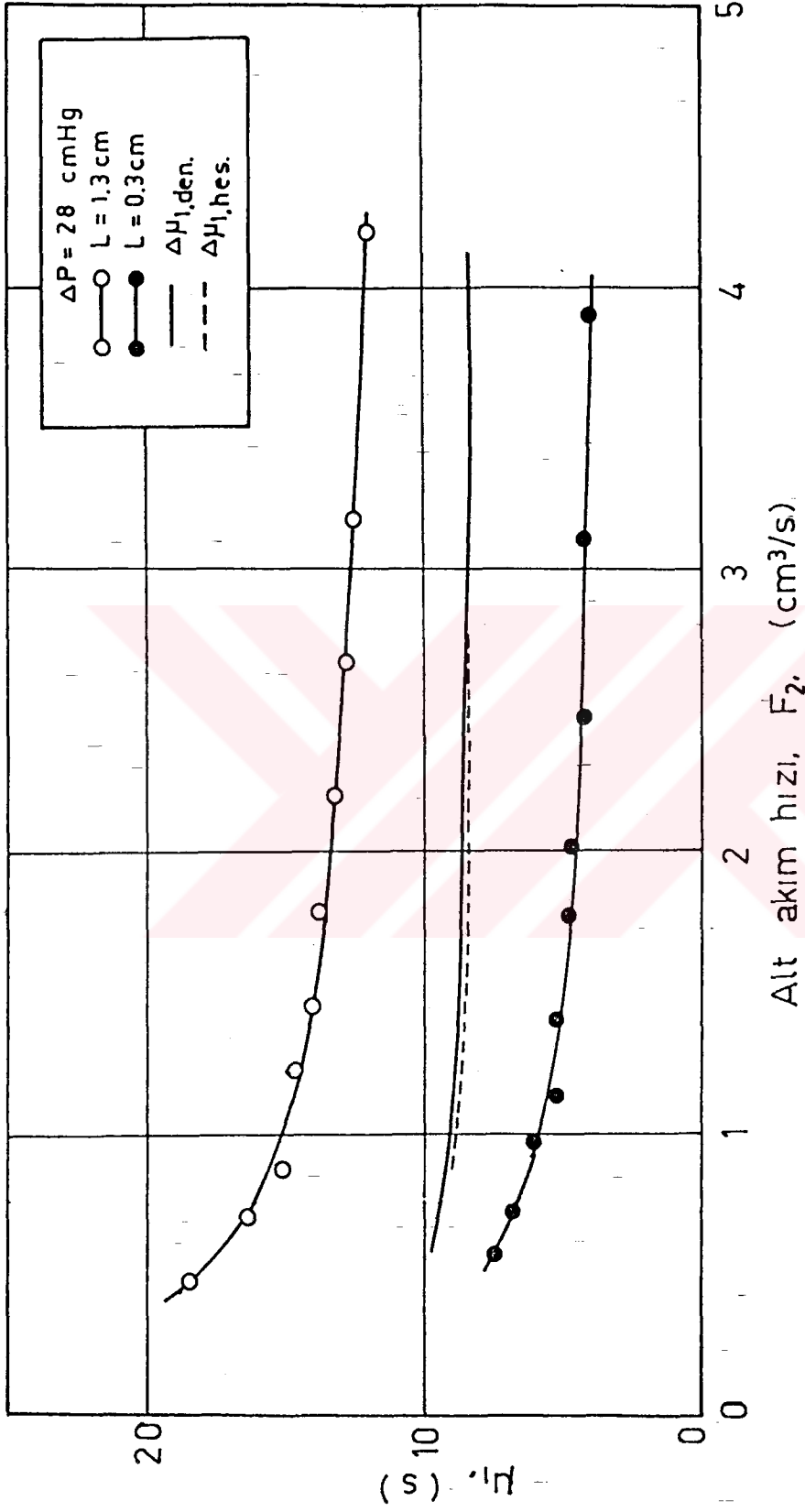


Şekil 5.4. İzobarik olmıyan şartlarda iki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=10$ cmHg).

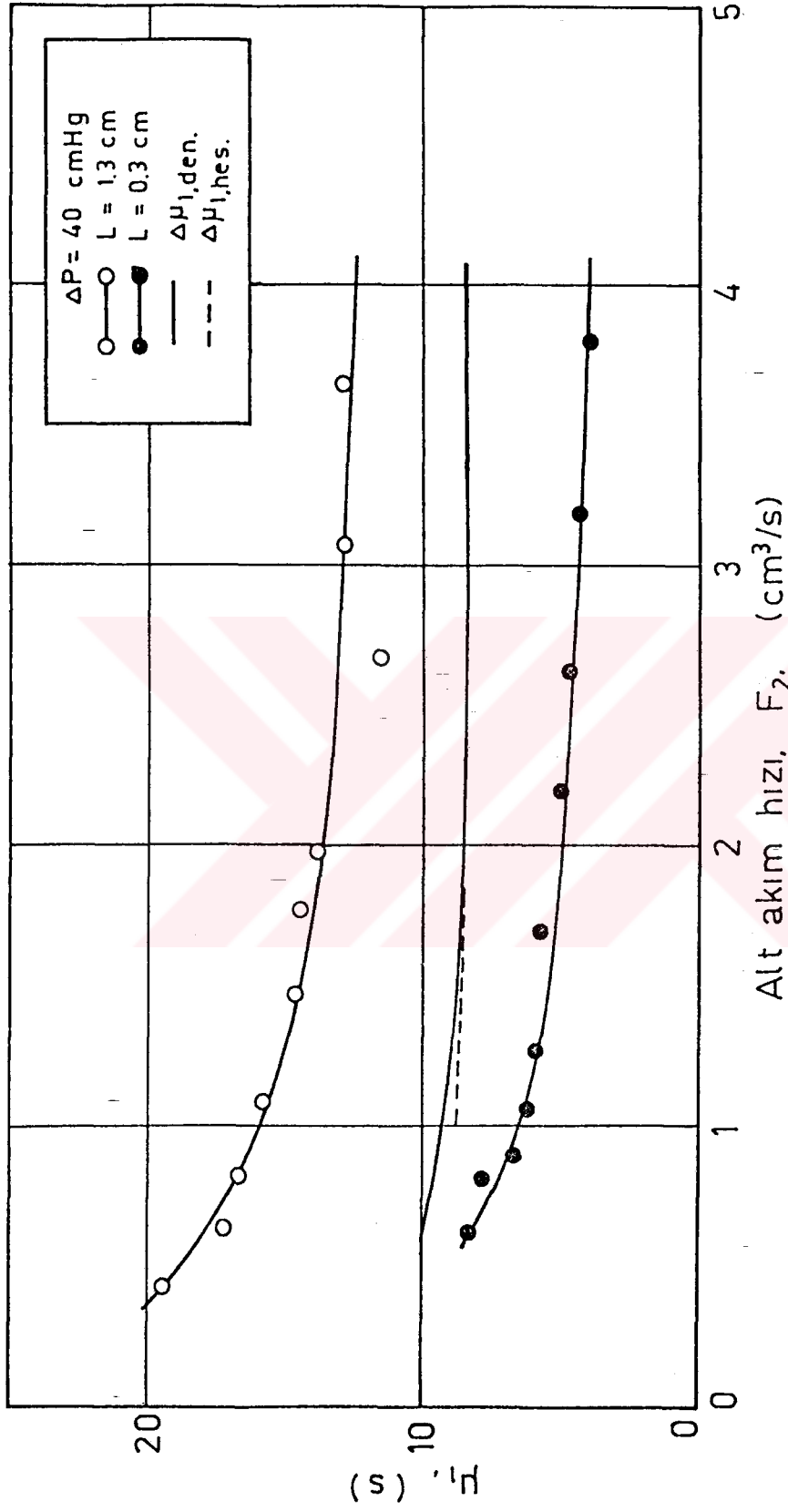


Alt akım hızı, F_2 , (cm^3/s)

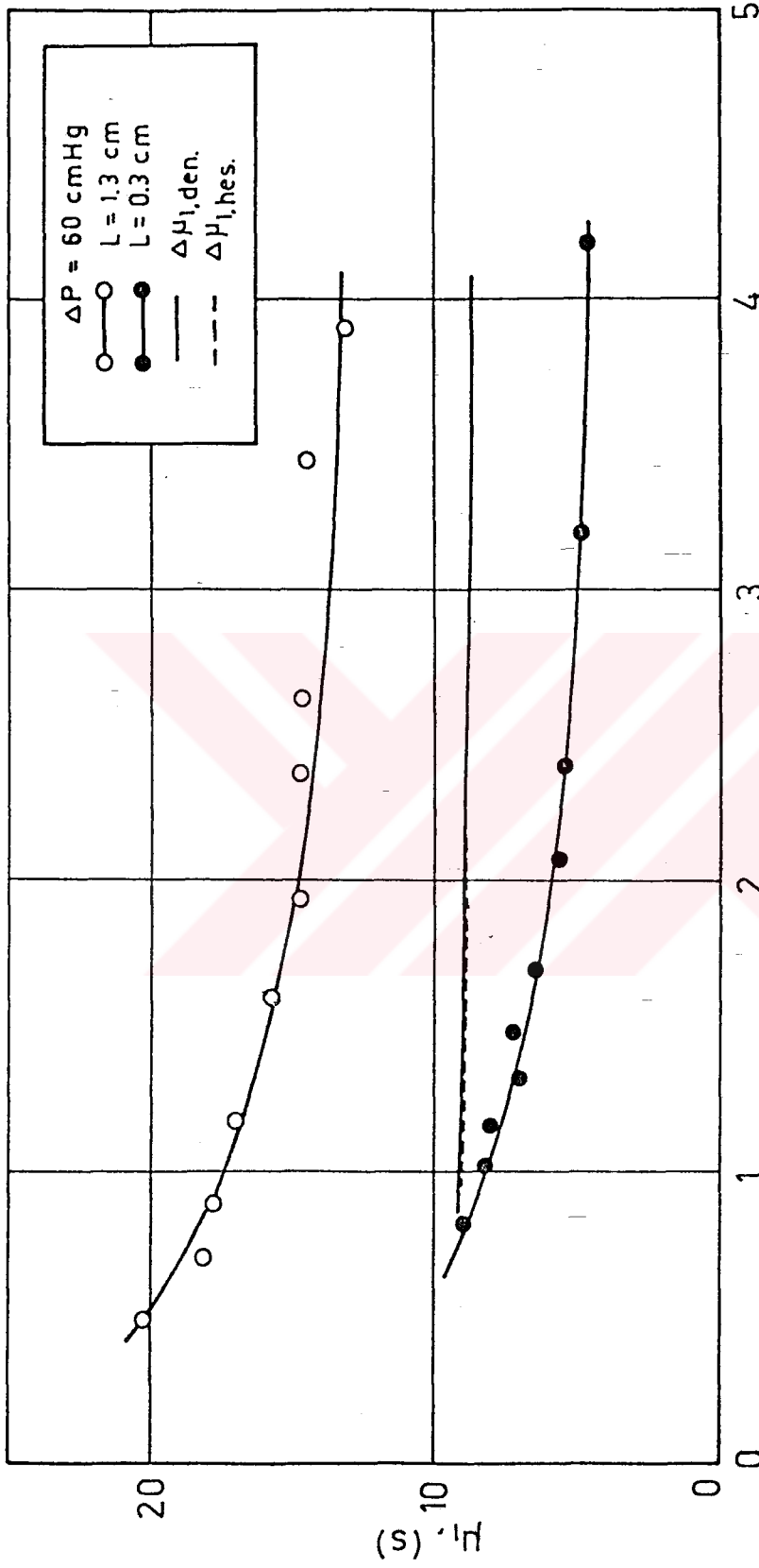
Şekil 5.5. İzobarik olmayan şartlarda iki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P = 16 \text{ cmHg}$).



Şekil 5.6. İzobarik olmayan şartlarda iki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P = 28$ cmHg).



Şekil 5.7. İzobarik olmıyan şartlarda iki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P = 40 \text{ cmHg}$).



Alt akım hızı, F_2 , (cm³/s)

Şekil 5.8. İzobarik olma şartlarında iki farklı uzunluktaki pelletlerde alt akım hızına göre birinci mutlak moment eğrileri ($\Delta P=60$ cmHg).

BÖLÜM VI

ÖNERİLER

Bu çalışmada Darcy katsayısı tek kataliz pelleti sonuçlarından hesaplanmıştır.

1. Pellet uzunluğunun etkisini incelemek amacıyla farklı uzunlukta pelletlerle çalışılarak δ ve C_0 hesaplanmalıdır.

2. Aynı uzunlukta, farklı gözeneklilikte bir kaç pelletle çalışılarak C_0 'ın gözenekliliğe ilgisi araştırılabilir.

3. Her bir basınç farkında sıcaklıklar değiştirilerek, parametrelerin sıcaklığa göre nasıl değiştiği incelenebilir.

Bu üç şıkka göre, izobarik olmıyan taşınım için bir model kurulabilir.

Bunun yanı sıra aynı katalizör pelletinde farklı gazlarla çalışılıp, Darcy katsayısının gazın cinsine ilgisi araştırılabilir.

Bu çalışmada yapılan analizlere göre, iki dağılımlı katılar için yaklaşım yapılarak denklemler türetilebilir.

Bu çalışmanın teorik bir uygulaması olarak, örneğin birinci dereceden reaksiyon hızı kabul edilip, Thiele modülüne karşı çizilen etkinlik faktörü grafiğinde δ parametre alınarak eğrilerin nasıl değiştiği araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- 1 - Scott, D.S., and Dullien, F.A.L., "Diffusion of Ideal Gases in Capillaries and Porous Solids," AICHE J., 8,113 (1962).
- 2 - Otani, S., Wakao, N., and Smith, J.M., "Significance of Pressure Gradients in Porous Material. II: Diffusion and Flow in Porous Catalysts," AICHE J., 11, 439 (1965).
- 3 - Mason, E.A., Malinauskas, A.P., and Evans, R.B., "Flow and Diffusion of Gases in Porous Media," J. Chem. Phys., 46, 3199 (1967).
- 4 - Doğu, G., "Diffusion Limitations for Reactions in Porous Catalysts," Handbook of Heat and Mass Transfer Operations, ed. by Cheremisinoff, N.P., Gulf Pub. Co., vol. 2., pp.433, 1986.
- 5 - Geankoplis, C.J., Transport Processes and Unit Operations, 2nd ed., Allyn and Bacon, p. 377, 1983.
- 6 - Smith, J.M., Chemical Engineering Kinetics, 3rd. ed., McGraw Hill, New York, 1981.
- 7 - Satterfield, C.N., Mass Transfer in Heterogeneous Catalysis, M.I.T. Press, pp.71, 1970.
- 8 - Allawi, Z.M., and Gunn, D.J., "Flow and Diffusion of Gases Through Porous Substrates," AICHE J., 33,

766(1987)).

- 9 - Evans, R.B., Watson, G.M., and Mason, E.A., "Gaseous Diffuzior in Porous Media. II. Effect of Pressure Gradients," J. Chem. Phys., 36, 1894 (1962).
- 10- Gunn, R.D., and King, C.J., "Mass Transport in Porous Materials under Combined Gradiens of Composition and Pressure," AIChE J., 15, 507, (1969).
- 11- Abed, R., and Rinker, R.G., "Isobaric Diffusion, permeability and Simultaneous Flow and Diffusion in Commercial Catalysts," J. Catalysis, 34, 246 (1974).
- 12- Wheeler, A., in P.H. Emmett (ed.), Catalysis, vol.II, chap. 2, Reinhold Publishing Co., New York, 1955.
- 13- Wakao N., and Smith J.M., "Diffusion in Catalyst Pellets," Chem. Eng. Sci., 17, 825 (1962).
- 14- Wang, C.T., and Smith, J.M., "Tortuosity Factors for Diffusion in Catalyst Pellets, " AIChE J., 29, 132 (1983).
- 15- Schneider, P., and Smith, J.M., "Adsorbtion Rate Constants from Chromatography," AIChE J., 14, 762, (1968).
- 16- Doğu, G., and Smith, J.M., " A Dynamic Method for Catalyst Diffusivities," AIChE J., 21, 58 (1975).
- 17- Doğu, G., and Smith, J.M., "Rate Parameters from Dynamic Experiments with Single Catalyst Pellets," Chem. Eng. Sci., 31, 123 (1976).

- 18- Uyanık, Ö., and Doğu, G., "Analysis of Gaseous Diffusion in Bidisperse Porous Catalysts, by the Moment Technique," TBTA VI. Sci. Conf. Proc., pp. 498, 1977.
- 19- Doğu, G., and Ercan, C., "Dynamic Analysis of Adsorption on Bidisperse Porous Catalysts," Can. J. Chem. Eng., 61, 660 (1983).
- 20- Doğu, T., Keskin, A., Doğu, G., and Smith, J.M., "Single-Pellet, Moment Method for Analysis of Gas-Solid Reactions," AIChE J., 32, 743 (1986).
- 21- Doğu, T., "Extension of Moment Analysis to Nonlinear Systems," AIChE J., 32, 849 (1986).
- 22- Asaeda, M., Watanabe, J., and Kitamoto, M., "Effect of Total Pressure Gradient on Unsteady-State Diffusion Rates of Gases in Porous Media," J. Chem. Eng. Jap., 14, 129 (1981).
- 23- McGreavy, C., and Asaeda, M., "Characterization of Nonisobaric Diffusion Due to Nonequimolar Fluxes in Catalyst Particles," Am. Chem. Soc. Symp. Ser., 196, 473 (1982).
- 24- Nakano, Y., Akai, K., Suzuki, S., et. al., "Nonisobaric Phenomena in Gaseous Diffusion Through Adsorbent Porous Solids," Chem. Eng. Sci., 41, 3205 (1986).
- 25- Uyanık, Ö., Effect of Micropores on Gaseous Diffusion in Bidisperse Porous Catalysts, M.S. Thesis, METU, Chem. Eng. Dept., Ankara, 1977.

- 26- Ercan, C., Analysis of Adsorption of Gases on Bidisperse Porous Catalysts by a Pulse-Response Technique, M.S. Thesis, METU, Chem. Eng. Dept., Ankara, 1980.
- 27- Otani, S., and Smith, J.M., "Effectiveness of Large Catalyst Pellets-An Experimental Study," J. Catalysis., 5, 332 (1966).
- 28- Burghardt, A., and Smith, J.M., "Dynamic Response of a Single Catalyst Pellet, " Chem. Eng. Sci., 34, 267 (1979).
- 29- Keskin, A., Single-Pellet Moment-Technique for the Study of Non-Catalytic Gas-Solid Reactions, Reaction of Sulfur Dioxide with Activated Soda, M.S. Thesis, METU, Chem. Eng. Dept., Ankara, 1985.
- 30- Doğu, G., Keskin, A., and Doğu, T., "Macropore and Micropore Effective Diffusion Coefficients from Dynamic Single-Pellet Experiments," AIChE J., 33, 322 (1987).



EK-A

CİVA POROZİMETRESİ VERİ ANALİZİ

Cıva Porozimetrosi çalışma prensibi referans 6'da açıklanmıştır. Bu yöntemde, cıva gözenekli katının içine bir basınç altında itilir. Her kademede uygulanan basınca karşı, girilen cıva hacmi ölçülür. Gözenekler silindirik kabul edilir ve her kademeye karşı gelen gözenek yarıçapı hesaplanır. Gözenek yarıçapı ile uygulanan basınç arasındaki ilgi Denklem A.1'de verilmiştir (6).

$$a = \frac{8.75 \times 10^5}{P} \quad (A.1)$$

Burada;

a = gözenek yarıçapı, Angström.

P = uygulanan basınç, psia.

Denklem A.1 türetilirken cıva yüzey gerilimi 484 dyn/cm² ve etkileşme açısı 130° alınmıştır (6).

Katalizör pelletinin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla Petkim Araştırma Merkezindeki Micromeritics 9305 cıva porozimetresi cihazından faydalanılmıştır. Cihaz üzerinde uygulanan basınç psia, girilen cıva hacmi ise picofarad (pF) olarak okunmaktadır. Okunmuş değerler, cihazın el kitabında verilen faktörler yardımıyla gerçek sonuçlara dönüştürülmüştür. Bu amaçla yazılmış bilgisayar programı Ek-B'de verilmiştir.

İşlem için katalizör pelletinden bir numune parçası alınmıştır. Deney işlemi sonunda numune için yapılmış hesaplamalar:

- 1) Numune ağırlığı = 0.6734 gr.
- 2) Penetrometer + numune = 68.7784 gr.
- 3) Penetrometer + numune + Hg = 116.600 gr.
- 4) Hg ağırlığı (3-2) = 47.827 gr.
- 5) Hg yoğunluğu (26°) = 13.5315 cc/gr.
- 6) Hg hacmi (4÷5) = 3.535 ccHg
- 7) Penetrometer hacmi = 4.3735 cc ¶
- 8) Numune hacmi (7-6) = 0.8385 cc
- 9) Katalizörün görünür yoğunluğu (1÷8) = 0.80 gr/cc
- 10) Penetrasyon hacmi = 0.7156 cc/gr §
- 11) 30000 psia basıncına kadar, 30 Å'den büyük gözenekler için gözeneklilik: (9x10) = 0.57
- 12) Katı yoğunluğu = $0.80 / (1 - 0.57) = 1.86$ grkatı/cc
- 13) Literatürde alümina için 10 Å yarıçapındaki gözeneklerde katı yoğunluğu 2.5 gr/cc verilmiştir (25, 26). Buna göre toplam gözeneklilik hesaplanabilir.
Toplam gözeneklilik = $1 - 0.80 / 2.5 = 0.68$
- 14) Toplam gözenekliliğe göre toplam penetrasyon hacmi = $0.68 / (2.5(1 - 0.68)) = 0.85$ cc/gr
- 15) 30 Å'den küçük gözeneklerde penetrasyon hacmi = $0.85 - 0.7156 = 0.1344$ cc/gr.

¶ Cihazın el kitabından alınmıştır. 15 no.lu Penetrometer kullanılmıştır.

§ Tablo A.1'de verilmiştir. Cihazın uyguladığı en yüksek basınca karşı, girilen civa hacmidir.

Tablo A.1. Porozimetre verisi ve penetrasyon hacmi hesaplamaları.

	d.Basinc (psia)	Okunan (pF)	Cum.Int (Σ dpF)	Cum.vol. (cc)	Intrusion (cc/g)
1	0.6	57.01	0.000	0.00000	0.00000
2	1.5	56.93	0.080	0.00173	0.00257
3	2.2	56.90	0.110	0.00238	0.00353
4	3.1	56.87	0.140	0.00303	0.00450
5	3.9	56.86	0.150	0.00324	0.00482
6	5.3	56.84	0.170	0.00368	0.00546
7	6.5	56.82	0.190	0.00411	0.00610
8	7.4	56.82	0.190	0.00411	0.00610
9	8.7	56.81	0.200	0.00433	0.00642
10	10.2	56.80	0.210	0.00454	0.00675
11	11.4	56.78	0.230	0.00497	0.00739
12	12.1	56.78	0.230	0.00497	0.00739
13	13.1	56.77	0.240	0.00519	0.00771
14	14.2	56.77	0.240	0.00519	0.00771
15	14.7	56.76	0.250	0.00541	0.00803
16	19.6	57.51	0.250	0.00541	0.00803
17	104.6	57.39	0.370	0.00800	0.01188
18	300.6	57.24	0.520	0.01125	0.01670
19	483.6	56.92	0.840	0.01817	0.02698
20	716.5	56.31	1.450	0.03136	0.04657
21	926.5	55.57	2.190	0.04737	0.07034
22	1207.4	54.61	3.150	0.06813	0.10118
23	1500.3	53.80	3.960	0.08565	0.12720
24	2083.2	52.70	5.060	0.10945	0.16253
25	3024.1	51.46	6.300	0.13627	0.20236
26	4039	50.43	7.330	0.15855	0.23544
27	5043.9	49.55	8.210	0.17758	0.26371
28	6023.9	48.78	8.980	0.19424	0.28844
29	7030.8	48.07	9.690	0.20959	0.31125
30	8058.8	47.38	10.380	0.22452	0.33341
31	9047.7	46.75	11.010	0.23815	0.35365
32	10013.7	46.19	11.570	0.25026	0.37164
33	11042.6	45.62	12.140	0.26259	0.38994
34	12057.6	45.06	12.700	0.27470	0.40793
35	13067.5	44.55	13.210	0.28573	0.42431
36	14023.5	44.05	13.710	0.29655	0.44037
37	15057.4	43.56	14.200	0.30715	0.45611
38	16050.4	43.08	14.680	0.31753	0.47153
39	17066.3	42.57	15.190	0.32856	0.48791
40	18085.3	42.08	15.680	0.33916	0.50365
41	19056.3	41.61	16.150	0.34932	0.51875
42	20051.2	41.13	16.630	0.35971	0.53417
43	21057.2	40.61	17.150	0.37095	0.55087
44	22089.1	40.09	17.670	0.38220	0.56757
45	23072.1	39.56	18.200	0.39367	0.58459
46	24062	39.01	18.750	0.40556	0.60226
47	25070	38.44	19.320	0.41789	0.62057
48	26023.9	37.86	19.900	0.43044	0.63920
49	27029.9	37.10	20.660	0.44688	0.66361
50	28043.8	36.57	21.190	0.45834	0.68064
51	29053.8	35.87	21.890	0.47348	0.70312
52	29619.7	35.48	22.280	0.48192	0.71565

Tablo A.2. Diferansiyel gözenek dağılımı verisi.

D.Basıncı (psia)	σ (A)	intrusion penetration (cc/g)		Δv (cc/g)	loga	d(loga)	$\Delta v/d\log a$
0.6	1.46E+04	0.0000	0.7156	0.0026	6.1639	0.3979	0.0065
1.5	5.03E+04	0.0026	0.7131	0.0010	5.7659	0.1663	0.0058
2.2	3.98E+05	0.0035	0.7121	0.0010	5.5996	0.1489	0.0065
3.1	2.92E+05	0.0045	0.7111	0.0003	5.4506	0.0977	0.0032
7.9	2.24E+05	0.0048	0.7108	0.0006	5.3509	0.1332	0.0048
5.3	1.65E+05	0.0055	0.7102	0.0006	5.2177	0.0886	0.0072
4.5	1.35E+05	0.0061	0.7095	0.0000	5.1291	0.0563	0.0000
7.4	1.18E+05	0.0061	0.7095	0.0003	5.0728	0.0703	0.0046
9.7	1.01E+05	0.0064	0.7092	0.0003	5.0025	0.0691	0.0046
10.2	8.58E+04	0.0067	0.7089	0.0006	4.9334	0.0483	0.0133
11.4	7.68E+04	0.0074	0.7083	0.0000	4.8051	0.0259	0.0000
12.1	7.23E+04	0.0074	0.7083	0.0003	4.8592	0.0345	0.0093
13.1	6.68E+04	0.0077	0.7079	0.0000	4.8247	0.0350	0.0000
14.2	6.16E+04	0.0077	0.7079	0.0003	4.7897	0.0150	0.0214
14.7	5.95E+04	0.0080	0.7076	0.0000	4.7747	0.1249	0.0000
19.4	4.46E+04	0.0080	0.7076	0.0039	4.6498	0.7273	0.0053
104.6	8.37E+03	0.0119	0.7038	0.0048	3.9225	0.4585	0.0105
300.6	2.91E+03	0.0167	0.6989	0.0103	3.4640	0.2065	0.0498
483.6	1.81E+03	0.0270	0.6887	0.0196	3.2525	0.1707	0.1143
716.5	1.22E+03	0.0466	0.6691	0.0238	3.0838	0.1116	0.2129
926.5	9.44E+02	0.0703	0.6453	0.0308	2.9752	0.1150	0.2631
1207.4	7.25E+02	0.1012	0.6145	0.0260	2.8862	0.0943	0.2758
1500.3	5.83E+02	0.1272	0.5884	0.0353	2.7650	0.1426	0.2479
2083.2	4.20E+02	0.1625	0.5531	0.0398	2.6233	0.1619	0.2461
3024.1	2.89E+02	0.2024	0.5133	0.0331	2.4614	0.1257	0.2472
4039	2.17E+02	0.2354	0.4802	0.0283	2.3357	0.0965	0.2929
5043.9	1.73E+02	0.2637	0.4519	0.0247	2.2392	0.0771	0.3267
6023.9	1.45E+02	0.2884	0.4272	0.0228	2.1621	0.0671	0.3397
7030.8	1.24E+02	0.3112	0.4044	0.0222	2.0950	0.0593	0.3740
9058.8	1.06E+02	0.3334	0.3822	0.0202	2.0357	0.0503	0.4026
9947.7	9.67E+01	0.3536	0.3620	0.0180	1.9855	0.0441	0.4083
10013.7	8.74E+01	0.3716	0.3440	0.0183	1.9414	0.0425	0.4310
11042.6	7.92E+01	0.3899	0.3257	0.0180	1.8989	0.0382	0.4710
12057.6	7.23E+01	0.4079	0.3077	0.0164	1.8607	0.0349	0.4690
13067.5	6.70E+01	0.4243	0.2913	0.0161	1.8258	0.0307	0.5238
14023.5	6.24E+01	0.4404	0.2753	0.0157	1.7952	0.0309	0.5095
15057.4	5.81E+01	0.4561	0.2595	0.0154	1.7643	0.0277	0.5559
16050.4	5.45E+01	0.4715	0.2441	0.0144	1.7365	0.0267	0.6146
17066.3	5.13E+01	0.4879	0.2277	0.0157	1.7097	0.0252	0.6249
18085.3	4.84E+01	0.5037	0.2120	0.0151	1.6847	0.0227	0.6647
19058.3	4.59E+01	0.5187	0.1969	0.0154	1.6620	0.0221	0.6976
20051.2	4.38E+01	0.5342	0.1815	0.0167	1.6399	0.0213	0.7856
21057.2	4.16E+01	0.5509	0.1648	0.0167	1.6186	0.0200	0.8039
22089.1	3.94E+01	0.5676	0.1481	0.0170	1.5978	0.0189	0.9003
23072.1	3.79E+01	0.5846	0.1311	0.0177	1.5789	0.0182	0.9683
24062	3.64E+01	0.6023	0.1134	0.0183	1.5607	0.0178	1.0273
25070	3.49E+01	0.6206	0.0951	0.0186	1.5429	0.0162	1.1487
26023.9	3.38E+01	0.6392	0.0764	0.0244	1.5266	0.0165	1.4820
27029.9	3.24E+01	0.6636	0.0520	0.0170	1.5102	0.0160	1.0645
28043.8	3.12E+01	0.6806	0.0350	0.0225	1.4942	0.0154	1.4632
29053.8	3.01E+01	0.7031	0.0125	0.0125	1.4788	0.0084	1.4953
29619.7	2.95E+01	0.7156	0.0000	-	1.4704	-	-

EK-B

CİVA POROZİMETRESİ VERİ ANALİZİ İÇİN
BASIC PROGRAMI

```
10 n=8
20 ZONE 20
30 DEG
40 CLS
50 factor=0.02163:saaple=0.6734
60 n=52:a=53
70 DIM p(n),intr(n),cumint(n),cumintvol(n),cumintvolg(n),lpore(n),a(n),pent(n),dagilin(n),dv(n),dipore(n),al(n)
80 FOR i=1 TO n
90 READ p(i)
100 NEXT
110 FOR i=1 TO n
120 READ intr(i)
130 NEXT
140 FOR i=1 TO 15
150 cumint(i)=intr(1)-intr(i)
160 cumintvol(i)=cumint(i)*factor
170 cumintvolg(i)=cumintvol(i)/saaple
180 NEXT
190 FOR i=16 TO n
200 cumint(i)=(intr(16)-intr(i))+cumint(15)
210 cumintvol(i)=cumint(i)*factor
220 cumintvolg(i)=cumintvol(i)/saaple
230 NEXT
240 FOR i=1 TO n
250 pent(i)=cumintvolg(n)-cumintvolg(i)
260 NEXT
270 FOR i=1 TO n
280 a(i)=875000/p(i)
290 lpore(i)=LOG10(a(i))
300 NEXT
310 FOR i=1 TO n-1
320 dv(i)=pent(i)-pent(i+1)
330 al(i)=(a(i)+a(i+1))/2
340 NEXT
350 ' Porozimetre sonuclarini yazdir
360 'GOSUB 3000
370 ' Gozenek dagilin egrisi icin yazdir
380 'GOSUB 480
390 ' Gozenek dagilini boyunca Toplam difuzivite hesaplamalari
400 GOSUB 950
410 END
420 '
430 ' Gozenek dagilini egrisi verisi
```

```

440 '
450 FOR i=1 TO n-1
460 dlpore(i)=lpore(i)-lpore(i+1)
470 NEXT
480 FOR i=1 TO n-1
490 dagilin(i)=dv(i)/dlpore(i)
500 NEXT
510 PRINT#n,STRING$(79,"-")
520 PRINT#n,"D.Basinc";TAB(10);" a";TAB(20);"intrusion";TAB(30);"penetration";TAB(44);"dv";TAB(50);" loga";TAB(60);" d(loga)";TAB(70);"dv/dloga"
530 PRINT#n,"(psia) ";TAB(10);" (A)";TAB(20);" (cc/g) ";TAB(30);" (cc/g) ";TAB(44);" (cc/g)"
540 PRINT#n,STRING$(79,"-")
550 FOR i=1 TO n
560 PRINT #n,p(i);TAB(10);USING"###.###^";a(i);
570 PRINT #n,TAB(20);USING"###.###";cumintvolg(i);
580 PRINT #n,TAB(30);USING"###.###";pent(i);
590 IF i<n THEN PRINT #n,TAB(40);USING"###.###";dv(i); ELSE PRINT#n,TAB(40);"-";
600 PRINT #n,TAB(50);USING"###.###";lpore(i);
610 IF i<n THEN PRINT #n,TAB(60);USING"###.###";dlpore(i); ELSE PRINT#n,TAB(60);"-";
620 IF i<n THEN PRINT #n,TAB(70);USING"###.###";dagilin(i) ELSE PRINT#n,TAB(70);"-";
630 NEXT
640 PRINT#n,STRING$(79,"-")
650 IF n=8 THEN PRINT#n,CHR$(12)
660 RETURN
670 'CORRECTED PRESSURE Psia
680 DATA 0.6,1.5,2.2,3.1,3.9,5.3,6.5,7.4,8.7,10.2,11.4,12.1,13.1
690 DATA 14.2,14.7,19.6,104.6,300.6,483.6,716.5,926.5,1207.4,1500.3,2083.2,3024.1,4039.0
700 DATA 5043.9,6023.9,7030.8,8058.8,9047.7,10013.7,11042.6,12057.6,13067.5,14023.5,15057.4,16050.4,17066.3
710 DATA 18085.3,19056.3,20051.2,21057.2,22089.1,23072.1,24062.0,25070.0,26023.9,27029.9,28043.8,29053.8,29619.7
720 'intrusion (pF)
730 DATA 57.01,56.93,56.9,56.87,56.86,56.84,56.82,56.82,56.81,56.8,56.78,56.78,56.77,56.77,56.76
740 DATA 57.51,57.39,57.24,56.92,56.31,55.57,54.61,53.8,52.7,51.46,50.43,49.55
750 DATA 48.78,48.07,47.38,46.75,46.19,45.62,45.06,44.55,44.05,43.56,43.08
760 DATA 42.57,42.08,41.61,41.13,40.61,40.09,39.56,39.01,38.44,37.86,37.10
770 DATA 36.57,35.87,35.48
780 '
790 ' Porozimetre verisinin yazdirilmasi
800 '
810 PRINT#n,STRING$(58,"-")
820 PRINT#n,TAB(6);"d.Basinc";TAB(16);"Okunan";TAB(25);"Cum.Int";TAB(35);"Cum.vol.";TAB(44);"Intrusion"
830 PRINT#n,TAB(6);" (psia) ";TAB(16);" (pF) ";TAB(25);" (pF)";TAB(35);" (cc) ";TAB(45);" (cc/g)"
840 PRINT#n,STRING$(58,"-")
850 FOR i=1 TO n
860 PRINT#n,i;TAB(6);p(i);
870 PRINT#n,TAB(16);USING"###.###";intr(i);
880 PRINT#n,TAB(25);USING"###.###";cumint(i);
890 PRINT#n,TAB(35);USING"###.###";cumintvol(i);

```

```

~900 PRINT#w,TAB(45);USING"#####";cumin(volg(i))
910 NEXT
920 PRINT#w,STRING$(58,"-")
930 IF w=2 THEN PRINT#8,CHR$(12)
940 RETURN
950 '
960 ' Toplam difuzivite hesaplamalari
970 '
980 DIM dp(10),dab(10),dc(10),dk(n),dT(n),dTtop(n),T(6)
990 dp(0)=0:dp(1)=2:dp(2)=4:dp(3)=6:dp(4)=10:dp(5)=16:dp(6)=28:dp(7)=40
1000 T(1)=45:T(2)=60:T(3)=70:T(4)=80:T(5)=95:T(6)=105
1010 dp(8)=60
1020 T(1)=45:T(2)=60:T(3)=70:T(4)=80:T(5)=95:T(6)=105
1030 FOR i1=1 TO 6
1040 IF i1<>1 THEN son=0 ELSE son=8
1050 FOR i=0 TO son
1060 dtop=0
1070 pt=(dp(i)+69+69)/(2*76)
1080 dab(i)=0.000137*(T(i1)+273)^1.5*(1/pt)
1090 vgozenek=0.85
1100 FOR j=2 TO n-1
1110 dk(j)=9700*((T(i1)+273)/4.003)^(0.5)*0.00000001*a1(j)
1120 dT(j)=(1/dab(i)+1/dk(j))^(1)
1130 dtop=dtop+dT(j)*dv(i)
1140 dTtop(j)=dtop
1150 NEXT
1160 DC(i)=dTtop(n-1)/vgozenek+0.0019
1170 ' Hesaplamalari yazdir
1180 GOSUB 1220
1190 NEXT
1200 NEXT i1
1210 RETURN
1220 '
1230 IF i1<>1 THEN PRINT#w,STRING$(60,"-") ELSE PRINT#w,STRING$(60,"=")
1240 PRINT#w,"dp="; USING"###";dp(i);:PRINT#w," caHg"
1250 PRINT#w," T =" ;USING"###";T(i1);:PRINT#w," C"
1260 PRINT#w,"dab=";USING"#####";dab(i);:PRINT#w," ca^2/s"
1270 IF i1<>1 THEN 1410
1280 PRINT#w,STRING$(60,"-")
1290 PRINT#w,"      ort. a      dv      Dk      DT      DT*dv"
1300 PRINT#w,"      A      cc/gr      ca^2/s      ca^2/s"
1310 PRINT#w,STRING$(60,"-")
1320 FOR j=1 TO n-1
1330 PRINT#w,USING"#####";j;:PRINT#w," ";
1340 PRINT#w,USING"###.###^####";a1(j);
1350 PRINT#w,USING"###.###";dv(j);
1360 PRINT#w,USING"#####.###";dk(j);
1370 PRINT#w,USING"###.###";dT(j);
1380 PRINT#w,USING"#####.###";dTtop(j)
1390 NEXT
1400 PRINT#w,STRING$(60,"=")
1410 PRINT#w,"SONUC : DT=";USING"###.###";dTtop(n-1)/vgozenek;:PRINT#w," ca^2/s"
1420 PRINT#w,"      DT=";USING"###.###";DC(i);:PRINT#w," ca^2/s (30 A'den küçük gozenekle
r de dahil.)

```

GÖZENEK DAĞILIMI BOYUNCA
TOPLAM DİFÜZİVİTE HESAPLAMALARI

Gözenekli katılarda etkin difüzyon sabiti ile toplam difüzyon arasındaki ilgi Denklem 2.47'de verilmiştir.

$$D_e = D_T \epsilon / \tau$$

Toplam difüzyon sabibiti, D_T , Denklem 1.12'de tanımlanmıştır. Knudsen difüzyondan dolayı gözenek yarıçapının bir fonksiyonudur.

$$\frac{1}{D_T(a)} = \frac{1}{D_{AB}} + \frac{1}{D_K(a)} \quad (C.1)$$

Gözenekli katılarda ortalama gözenek yarıçapı bulunarak $D_K(a)$ hesaplanıp, $D_T(a)$ Denklem C.1'e göre bulunabilir. Ayrıca tüm gözenek dağılımı kullanılarak ortalama bir $D_T(a)$ hesaplanabilir.

$$D_T = \frac{\int_0^{V_{göz}} D_T dV_g}{V_{göz}} \quad (C.2)$$

Burada; $V_{göz}$, porozimetre verisinden bulunan toplam penetrasyon hacmidir. dV_g ise a ile $a+da$ arasında kalan gözeneklerin hacmidir.

Alümina tozundan hazırlanmış pelletlerde 60000 psi'

lik porozimetre ile 10 Å yarıçapında gözenekler bulunmuştur (26,27). Mevcut 30000 psi'lik cihaz ile en çok 30 Å yarıçapındaki gözenekler görülmüştür (Ek-A). Bu yarıçapından büyük gözenekler için gözeneklilik 0.57, literatürden katı yoğunluğu alınarak toplam gözeneklilik 0.68 hesaplanmıştır.

Toplam penetrasyon hacmi iki kısma ayrılabilir. Denklem C.2'nin sınır şartları buna göre düzenlenirse Denklem C.3 elde edilir.

$$D_T = \frac{\int_0^{V_{göz,30000}} D_T dV_g + \int_{V_{göz,30000}}^{V_{göz,top.}} D_T dV_g}{V_{göz}} \quad (C.3)$$

30 Å'den küçük gözenekler ortalama olarak 20 Å yarıçapında kabul edilebilir. Küçük gözeneklerde Knudsen difüzyonun etkin olduğu gözönüne alınarak Denklem C.3 yeniden düzenlenirse

$$D_T = \frac{1}{V_{göz}} \int_0^{V_{göz,30000}} D_T dV_g + D_{K20 Å} \left(\frac{\Delta V_g}{V_{göz}} \right) \quad (C.4)$$

elde edilir. Burada;

$$\Delta V_g = V_{göz} - V_{göz,30000} \text{ dir.} \quad (C.5)$$

$$\Delta V_g = 0.85 - 0.7156 = 0.1355 \text{ cc/gr} \quad (C.6)$$

Sayısal hesaplamalar için Denklem C.4 düzenlenirse;

$$D_T = (\sum D_T \Delta V_g) / V_g + 0.019 \quad (C.7)$$

elde edilir.

Tablo C.1. İzobarik şartlarda toplam difüzyon verisi
($P_{ort}=69 \text{ cmHg}$, $T=45 \text{ C}$).

dp= 0 cmHg
T = 45 C
dab= 0.8557 cm²/s

	ort. a A	dv cc/gr	Dk cm ² /s	DT cm ² /s	ΣDT+dv
1	1.02E+04	0.0024	882.5663	0.8549	0.0022
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.8540	0.0030
3	3.40E+05	0.0010	293.9423	0.8532	0.0038
4	2.53E+05	0.0003	218.9991	0.8524	0.0041
5	1.95E+05	0.0006	168.3519	0.8514	0.0047
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.8501	0.0052
7	1.24E+05	0.0000	109.3051	0.8491	0.0052
8	1.09E+05	0.0003	94.5901	0.8480	0.0055
9	9.32E+04	0.0003	80.5588	0.8467	0.0058
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.8454	0.0063
11	7.45E+04	0.0000	64.4389	0.8445	0.0063
12	6.94E+04	0.0003	60.1332	0.8437	0.0066
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.8427	0.0066
14	6.06E+04	0.0003	52.3676	0.8420	0.0068
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.8398	0.0068
16	2.65E+04	0.0039	22.9142	0.8249	0.0100
17	5.64E+03	0.0048	4.8744	0.7279	0.0135
18	2.36E+03	0.0103	2.0404	0.6029	0.0197
19	1.52E+03	0.0196	1.3100	0.5176	0.0299
20	1.08E+03	0.0238	0.9362	0.4471	0.0405
21	8.35E+02	0.0308	0.7215	0.3915	0.0526
22	6.54E+02	0.0260	0.5654	0.3404	0.0614
23	5.02E+02	0.0353	0.4337	0.2878	0.0716
24	3.55E+02	0.0398	0.3066	0.2257	0.0806
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1742	0.0863
26	1.95E+02	0.0283	0.1685	0.1409	0.0903
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1187	0.0933
28	1.35E+02	0.0228	0.1166	0.1026	0.0956
29	1.17E+02	0.0222	0.1007	0.0901	0.0976
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0804	0.0992
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0728	0.1005
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0664	0.1017
33	7.59E+01	0.0180	0.0656	0.0609	0.1028
34	6.98E+01	0.0184	0.0603	0.0563	0.1038
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0525	0.1046
36	6.03E+01	0.0157	0.0521	0.0491	0.1054
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0461	0.1061
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0434	0.1068
39	4.98E+01	0.0157	0.0431	0.0410	0.1075
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0389	0.1080
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0370	0.1086
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0353	0.1092
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0337	0.1098
44	3.88E+01	0.0170	0.0335	0.0323	0.1103
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0310	0.1109
46	3.56E+01	0.0183	0.0308	0.0297	0.1114
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0286	0.1119
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0276	0.1126
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0266	0.1131
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0257	0.1136
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0250	0.1140

SONUC : DT= 0.1341 cm²/s
DT= 0.1360 cm²/s (30 A'den küçük gozenekler de dahil.)

Tablo C.2. İzobarik olmıyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort} = 70$ cmHg, $T = 45^\circ\text{C}$).

dp= 2 cmHg

T = 45 C

dab= 0.8435 cm²/s

	ort. a A	dv cc/gr	Dk cm ² /s	DT cm ² /s	$\Sigma DT+dv$
1	1.02E+04	0.0026	882.5663	0.8427	0.0022
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.8418	0.0030
3	3.40E+05	0.0010	293.9423	0.8411	0.0038
4	2.53E+05	0.0003	218.9991	0.8402	0.0041
5	1.95E+05	0.0006	168.3519	0.8393	0.0046
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.8380	0.0051
7	1.26E+05	0.0000	109.3051	0.8370	0.0051
8	1.09E+05	0.0003	94.5901	0.8360	0.0054
9	9.32E+04	0.0003	80.5588	0.8347	0.0057
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.8335	0.0062
11	7.45E+04	0.0000	64.4389	0.8326	0.0062
12	6.96E+04	0.0003	60.1332	0.8318	0.0065
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.8309	0.0065
14	6.06E+04	0.0003	52.3676	0.8301	0.0067
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.8280	0.0067
16	2.65E+04	0.0039	22.9142	0.8135	0.0099
17	5.64E+03	0.0048	4.8744	0.7191	0.0133
18	2.36E+03	0.0103	2.0404	0.5768	0.0195
19	1.52E+03	0.0196	1.3100	0.5131	0.0295
20	1.01E+03	0.0238	0.9362	0.4437	0.0401
21	8.31E+02	0.0308	0.7215	0.3889	0.0521
22	6.54E+02	0.0260	0.5654	0.3385	0.0609
23	5.02E+02	0.0353	0.4337	0.2864	0.0710
24	3.55E+02	0.0398	0.3066	0.2249	0.0799
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1737	0.0857
26	1.95E+02	0.0283	0.1636	0.1405	0.0897
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1184	0.0926
28	1.35E+02	0.0228	0.1166	0.1024	0.0949
29	1.17E+02	0.0222	0.1007	0.0900	0.0969
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0803	0.0986
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0727	0.0999
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0664	0.1011
33	7.59E+01	0.0180	0.0656	0.0609	0.1022
34	6.98E+01	0.0164	0.0603	0.0563	0.1031
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0524	0.1039
36	6.03E+01	0.0157	0.0521	0.0491	0.1047
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0460	0.1054
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0434	0.1061
39	4.98E+01	0.0157	0.0431	0.0410	0.1068
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0389	0.1074
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0370	0.1079
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0353	0.1085
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0337	0.1091
44	3.88E+01	0.0170	0.0335	0.0322	0.1096
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0309	0.1102
46	3.56E+01	0.0183	0.0308	0.0297	0.1107
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0286	0.1113
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0276	0.1119
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0266	0.1124
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0257	0.1130
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0250	0.1133

SONUC : DT= 0.1333 cm²/s

DT= 0.1352 cm²/s (30 A'den küçük gozenekler de dahil.)

Tablo C.3. İzobarik olmıyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{\text{ort}}=71 \text{ cmHg}$, $T=45^\circ\text{C}$).

dp= 4 cmHg

T = 45 C

dsb= 0.8316 cm^2/s

	ort. a	dv	Dk	DT	$\Sigma DT+dv$
	A	cc/gr	cm^2/s	cm^2/s	
1	1.02E+06	0.0026	882.5663	0.8308	0.0021
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.8300	0.0029
3	3.40E+05	0.0010	293.9423	0.8293	0.0037
4	2.53E+05	0.0003	218.9991	0.8285	0.0040
5	1.95E+05	0.0006	168.3519	0.8275	0.0045
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.8263	0.0051
7	1.26E+05	0.0000	109.3051	0.8253	0.0051
8	1.09E+05	0.0003	94.5901	0.8244	0.0053
9	9.32E+04	0.0003	80.5588	0.8231	0.0056
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.8219	0.0061
11	7.45E+04	0.0000	64.4329	0.8210	0.0061
12	6.96E+04	0.0003	60.1332	0.8203	0.0064
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.8193	0.0064
14	6.06E+04	0.0003	52.3676	0.8186	0.0066
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.8165	0.0066
16	2.65E+04	0.0039	22.9142	0.8025	0.0097
17	5.64E+03	0.0048	4.8744	0.7104	0.0132
18	2.36E+03	0.0103	2.0404	0.5908	0.0192
19	1.52E+03	0.0196	1.3100	0.5087	0.0292
20	1.08E+03	0.0238	0.9362	0.4404	0.0397
21	8.35E+02	0.0308	0.7215	0.3963	0.0516
22	6.54E+02	0.0260	0.5654	0.3366	0.0603
23	5.02E+02	0.0353	0.4337	0.2850	0.0704
24	3.55E+02	0.0398	0.3066	0.2240	0.0793
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1732	0.0851
26	1.95E+02	0.0283	0.1686	0.1402	0.0890
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1182	0.0919
28	1.35E+02	0.0208	0.1166	0.1023	0.0943
29	1.11E+02	0.0222	0.1007	0.0898	0.0963
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0802	0.0979
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0726	0.0992
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0663	0.1004
33	7.56E+01	0.0180	0.0656	0.0608	0.1015
34	6.92E+01	0.0164	0.0603	0.0562	0.1024
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0524	0.1033
36	6.03E+01	0.0157	0.0521	0.0490	0.1040
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0460	0.1048
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0433	0.1055
39	4.98E+01	0.0157	0.0431	0.0410	0.1061
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0389	0.1067
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0370	0.1073
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0353	0.1079
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0337	0.1084
44	3.88E+01	0.0170	0.0335	0.0322	0.1090
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0309	0.1095
46	3.56E+01	0.0183	0.0308	0.0297	0.1101
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0286	0.1106
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0276	0.1113
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0266	0.1117
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0257	0.1123
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0250	0.1126

SÖNÜC : DT= 0.1325 cm^2/s

DT= 0.1344 cm^2/s (30 A'den küçük gözenekler de dahil.)

Tablo C.4. İzobarik olmiyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{\text{ort}} = 72 \text{ cmHg}$, $T = 45^\circ\text{C}$).

=====

dp= 6 cmHg
T = 45 C
dab= 0.8201 cm²/s

	ort. a	dv	DK	DT	Σ DT+dv
	A-	cc/gr	cm ² /s	cm ² /s	
1	1.00E+06	0.0026	882.5663	0.8193	0.0021
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.8185	0.0029
3	3.40E+05	0.0010	293.9423	0.8178	0.0037
4	2.53E+05	0.0003	218.9991	0.8170	0.0039
5	1.70E+05	0.0006	168.3519	0.8161	0.0045
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.8149	0.0050
7	1.26E+05	0.0000	109.3051	0.8139	0.0050
8	1.09E+05	0.0003	94.5901	0.8130	0.0053
9	9.32E+04	0.0003	80.5588	0.8118	0.0055
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.8106	0.0060
11	7.45E+04	0.0000	64.4389	0.8097	0.0060
12	6.96E+04	0.0003	60.1332	0.8090	0.0063
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.8081	0.0063
14	6.06E+04	0.0003	52.3676	0.8074	0.0066
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.8054	0.0066
16	2.65E+04	0.0039	22.9142	0.7917	0.0096
17	5.64E+03	0.0048	4.8744	0.7020	0.0130
18	2.36E+03	0.0103	2.0404	0.5850	0.0190
19	1.52E+03	0.0196	1.3100	0.5043	0.0289
20	1.03E+03	0.0238	0.9362	0.4371	0.0393
21	8.35E+02	0.0308	0.7215	0.3838	0.0511
22	6.54E+02	0.0260	0.5654	0.3347	0.0598
23	5.02E+02	0.0353	0.4337	0.2837	0.0698
24	3.55E+02	0.0398	0.3066	0.2232	0.0787
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1727	0.0844
26	1.95E+02	0.0283	0.1686	0.1399	0.0884
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1180	0.0913
28	1.35E+02	0.0228	0.1166	0.1021	0.0936
29	1.17E+02	0.0222	0.1007	0.0897	0.0956
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0801	0.0972
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0725	0.0986
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0662	0.0998
33	7.59E+01	0.0180	0.0656	0.0608	0.1009
34	6.98E+01	0.0164	0.0603	0.0562	0.1018
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0523	0.1026
36	6.03E+01	0.0157	0.0521	0.0490	0.1034
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0460	0.1041
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0433	0.1048
39	4.98E+01	0.0157	0.0431	0.0409	0.1055
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0388	0.1060
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0370	0.1066
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0352	0.1072
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0336	0.1078
44	3.88E+01	0.0170	0.0335	0.0322	0.1083
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0309	0.1089
46	3.56E+01	0.0183	0.0308	0.0297	0.1094
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0286	0.1099
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0276	0.1106
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0266	0.1111
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0257	0.1116
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0250	0.1119

=====

SONUC : DT= 0.1317 cm²/s
DT= 0.1336 cm²/s (30 A'den küçük gozenekler de dahil.)

Tablo C.5. İzobarik olmıyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort} = 74 \text{ cmHg}$, $T = 45^\circ\text{C}$).

dp= 10 cmHg

T = 45 C

dab= 0.7979 cm²/s

	ort. a	dv	dt	DT	ΣDT+dv
	A	cc/gr	cm ² /s	cm ² /s	
1	1.02E+04	0.0024	882.5843	0.7972	0.0020
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.7964	0.0028
3	3.40E+05	0.0010	293.9423	0.7957	0.0036
4	2.53E+05	0.0003	218.9991	0.7950	0.0038
5	1.95E+05	0.0006	168.3519	0.7941	0.0043
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.7930	0.0049
7	1.24E+05	0.0000	109.3051	0.7921	0.0049
8	1.09E+05	0.0003	94.5901	0.7912	0.0051
9	9.32E+04	0.0003	80.5588	0.7901	0.0054
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.7889	0.0059
11	7.45E+04	0.0000	64.4389	0.7881	0.0059
12	6.96E+04	0.0003	60.1332	0.7874	0.0061
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.7866	0.0061
14	6.06E+04	0.0003	52.3676	0.7859	0.0064
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.7840	0.0064
16	2.85E+04	0.0039	22.9142	0.7710	0.0093
17	5.44E+03	0.0048	4.9744	0.6857	0.0127
18	2.36E+03	0.0103	2.0404	0.5736	0.0185
19	1.52E+03	0.0196	1.3100	0.4959	0.0383
20	1.08E+03	0.0238	0.9362	0.4308	0.0385
21	8.35E+02	0.0308	0.7215	0.3789	0.0502
22	6.54E+02	0.0260	0.5654	0.3309	0.0538
23	5.02E+02	0.0353	0.4337	0.2810	0.0697
24	3.55E+02	0.0398	0.3066	0.2215	0.0775
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1717	0.0832
26	1.95E+02	0.0283	0.1686	0.1392	0.0972
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1175	0.0901
28	1.35E+02	0.0228	0.1166	0.1017	0.0924
29	1.17E+02	0.0222	0.1007	0.0894	0.0944
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0799	0.0960
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0724	0.0973
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0661	0.0985
33	7.59E+01	0.0180	0.0656	0.0606	0.0996
34	6.92E+01	0.0164	0.0603	0.0561	0.1005
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0523	0.1013
36	6.03E+01	0.0157	0.0521	0.0489	0.1021
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0459	0.1028
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0433	0.1035
39	4.98E+01	0.0157	0.0431	0.0409	0.1042
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0388	0.1048
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0369	0.1053
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0352	0.1059
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0336	0.1065
44	3.86E+01	0.0170	0.0335	0.0322	0.1070
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0309	0.1076
46	3.54E+01	0.0183	0.0308	0.0297	0.1081
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0286	0.1086
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0275	0.1093
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0266	0.1098
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0257	0.1103
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0250	0.1107

SONUC : DT= 0.1302 cm²/s

DT= 0.1321 cm²/s (30 A'den küçük gozenekler de dahil.)

Tablo C.6. İzobarik olmiyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort} = 77 \text{ cmHg}$, $T = 45^\circ \text{C}$).

dp= 16 cmHg

T = 45 C

dab= 0.7668 cm²/s

	ort. a	dv	DT	DT	Σ DT+dv
	A	cc/gr	cm ² /s	cm ² /s	
1	1.02E+06	0.0026	882.5663	0.7661	0.0020
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.7654	0.0027
3	3.40E+05	0.0010	293.9423	0.7648	0.0034
4	2.53E+05	0.0003	218.9991	0.7641	0.0037
5	1.95E+05	0.0006	168.3519	0.7633	0.0042
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.7623	0.0047
7	1.26E+05	0.0000	109.3051	0.7615	0.0047
8	1.08E+05	0.0003	94.5901	0.7606	0.0049
9	9.32E+04	0.0003	80.5388	0.7596	0.0052
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.7585	0.0056
11	7.45E+04	0.0000	64.4389	0.7578	0.0056
12	6.96E+04	0.0003	60.1332	0.7571	0.0059
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.7564	0.0059
14	6.06E+04	0.0003	52.3676	0.7557	0.0061
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.7540	0.0061
16	2.65E+04	0.0039	22.9142	0.7420	0.0090
17	5.64E+03	0.0048	4.8744	0.6626	0.0122
18	2.36E+03	0.0103	2.0404	0.5573	0.0179
19	1.52E+03	0.0196	1.3100	0.4837	0.0274
20	1.08E+03	0.0233	0.7362	0.4215	0.0374
21	8.35E+02	0.0308	0.7215	0.3717	0.0489
22	6.54E+02	0.0260	0.5654	0.3254	0.0573
23	5.02E+02	0.0353	0.4337	0.2770	0.0671
24	3.55E+02	0.0398	0.3066	0.2190	0.0758
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1702	0.0815
26	1.95E+02	0.0283	0.1686	0.1382	0.0854
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1168	0.0883
28	1.35E+02	0.0228	0.1166	0.1012	0.0906
29	1.17E+02	0.0222	0.1007	0.0890	0.0926
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0795	0.0942
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0721	0.0955
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0638	0.0967
33	7.59E+01	0.0180	0.0656	0.0604	0.0978
34	6.98E+01	0.0164	0.0603	0.0559	0.0987
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0521	0.0995
36	6.03E+01	0.0157	0.0521	0.0488	0.1003
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0458	0.1010
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0432	0.1017
39	4.98E+01	0.0157	0.0431	0.0408	0.1023
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0387	0.1029
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0369	0.1035
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0351	0.1041
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0336	0.1046
44	3.88E+01	0.0170	0.0335	0.0321	0.1052
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0308	0.1057
46	3.56E+01	0.0183	0.0308	0.0296	0.1063
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0285	0.1068
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0275	0.1075
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0265	0.1079
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0256	0.1085
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0249	0.1088

SÖNÜC : DT= 0.1280 cm²/s

DT= 0.1299 cm²/s (30 A'den küçük gozenekler de dahil.)

Tablo C.7. İzobarik olmiyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort} = 83 \text{ cmHg}$, $T = 45^\circ \text{C}$).

dp= 23 cmHg

T = 45 C

dab= 0.7114 cm^2/s

	ort. a A	dv cc/gr	Dk cm^2/s	DT cm^2/s	$\Sigma \text{DT} + \text{dv}$
1	1.02E+06	0.0026	882.5663	0.7103	0.0018
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.7102	0.0025
3	3.40E+05	0.0010	293.9423	0.7097	0.0032
4	2.53E+05	0.0003	218.9991	0.7091	0.0034
5	1.95E+05	0.0006	168.3519	0.7084	0.0039
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.7075	0.0043
7	1.26E+05	0.0000	109.3051	0.7068	0.0043
8	1.09E+05	0.0003	94.5901	0.7061	0.0046
9	9.32E+04	0.0003	80.5588	0.7051	0.0048
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.7042	0.0052
11	7.45E+04	0.0000	64.4389	0.7036	0.0052
12	6.94E+04	0.0003	60.1332	0.7031	0.0055
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.7024	0.0055
14	6.06E+04	0.0003	52.3676	0.7018	0.0057
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.7003	0.0057
16	2.65E+04	0.0039	22.9142	0.6900	0.0083
17	5.64E+03	0.0048	4.8744	0.6208	0.0113
18	2.36E+03	0.0103	2.0404	0.5275	0.0168
19	1.52E+03	0.0196	1.3100	0.4610	0.0258
20	1.08E+03	0.0238	0.9362	0.4042	0.0354
21	8.35E+02	0.0308	0.7215	0.3582	0.0464
22	6.54E+02	0.0260	0.5654	0.3150	0.0546
23	5.02E+02	0.0353	0.4337	0.2694	0.0642
24	3.55E+02	0.0398	0.3066	0.2143	0.0727
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1673	0.0782
26	1.75E+02	0.0283	0.1686	0.1363	0.0821
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1154	0.0849
28	1.35E+02	0.0228	0.1166	0.1002	0.0872
29	1.17E+02	0.0222	0.1007	0.0882	0.0892
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0789	0.0908
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0716	0.0921
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0654	0.0933
33	7.59E+01	0.0180	0.0656	0.0601	0.0943
34	6.98E+01	0.0164	0.0603	0.0556	0.0953
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0518	0.0961
36	6.03E+01	0.0157	0.0521	0.0485	0.0968
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0456	0.0976
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0430	0.0983
39	4.98E+01	0.0157	0.0431	0.0406	0.0989
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0386	0.0995
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0367	0.1000
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0350	0.1006
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0334	0.1012
44	3.88E+01	0.0170	0.0335	0.0320	0.1017
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0307	0.1023
46	3.56E+01	0.0183	0.0308	0.0295	0.1028
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0284	0.1033
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0274	0.1040
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0265	0.1045
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0256	0.1050
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0249	0.1054

SONUC : DT= 0.1239 cm^2/s

DT= 0.1258 cm^2/s (30 A'den küçük gozenekler de dahil.)

Tablo C.8. İzobarik olmıyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort} = 89 \text{ cmHg}$, $T = 45^\circ$).

dp= 40 cmHg

T = 45 C

dab= 0.6634 cm^2/s

	ort. a Ω	dv cc/gr	Dk cm^2/s	DT cm^2/s	$\Sigma \text{DT} + \text{dv}$
1	1.02E+06	0.0026	882.5663	0.6629	0.0017
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.6624	0.0023
3	3.40E+05	0.0010	293.8423	0.6619	0.0030
4	2.53E+05	0.0003	218.9791	0.6614	0.0032
5	1.95E+05	0.0006	168.3519	0.6608	0.0036
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.6600	0.0040
7	1.26E+05	0.0000	109.3051	0.6594	0.0040
8	1.09E+05	0.0003	94.5901	0.6588	0.0043
9	9.32E+04	0.0003	80.5588	0.6580	0.0045
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.6572	0.0049
11	7.45E+04	0.0000	64.4389	0.6567	0.0049
12	6.96E+04	0.0003	60.1332	0.6562	0.0051
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.6556	0.0051
14	6.06E+04	0.0003	52.3676	0.6551	0.0053
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.6538	0.0053
16	2.65E+04	0.0039	22.9142	0.6447	0.0078
17	5.64E+03	0.0048	4.8744	0.5839	0.0106
18	2.36E+03	0.0103	2.0904	0.5006	0.0158
19	1.52E+03	0.0196	1.3100	0.4404	0.0244
20	1.08E+03	0.0238	0.9362	0.3983	0.0336
21	8.35E+02	0.0308	0.7215	0.3456	0.0443
22	6.54E+02	0.0260	0.5654	0.3052	0.0522
23	5.03E+02	0.0353	0.4337	0.2622	0.0615
24	3.55E+02	0.0398	0.3066	0.2097	0.0698
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1645	0.0753
26	1.95E+02	0.0283	0.1686	0.1345	0.0791
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1141	0.0819
28	1.35E+02	0.0228	0.1166	0.0992	0.0842
29	1.17E+02	0.0222	0.1007	0.0875	0.0861
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0783	0.0877
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0711	0.0890
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0650	0.0901
33	7.59E+01	0.0180	0.0656	0.0597	0.0912
34	6.98E+01	0.0164	0.0603	0.0553	0.0921
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0516	0.0930
36	6.03E+01	0.0157	0.0521	0.0483	0.0937
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0454	0.0944
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0428	0.0951
39	4.98E+01	0.0157	0.0431	0.0405	0.0957
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0384	0.0963
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0366	0.0969
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0349	0.0975
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0333	0.0980
44	3.88E+01	0.0170	0.0335	0.0319	0.0986
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0306	0.0991
46	3.56E+01	0.0183	0.0308	0.0294	0.0997
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0284	0.1002
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0274	0.1008
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0264	0.1013
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0255	0.1019
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0248	0.1022

SONUC : DT= 0.1202 cm^2/s

DT= 0.1221 cm^2/s (30 A'den küçük gozenekler de dahil.)

Tablo C.9. İzobarik olmıyan şartlarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort}=99$ cmHg, $T=45^\circ$).

dp= 60 cmHg

T = 45 C

dab= 0.5964 cm²/s

	ort. a A	dv cc/gr	DL cm ² /s	DT cm ² /s	ΣDT+dv
1	1.02E+06	0.0026	882.5663	0.5960	0.0015
2	4.91E+05	0.0010	424.0903	0.5956	0.0021
3	3.40E+05	0.0010	293.9423	0.5952	0.0027
4	2.50E+05	0.0003	218.9991	0.5948	0.0029
5	1.95E+05	0.0006	168.3519	0.5943	0.0033
6	1.50E+05	0.0006	129.5577	0.5937	0.0036
7	1.26E+05	0.0000	109.3051	0.5932	0.0036
8	1.09E+05	0.0003	94.5901	0.5927	0.0038
9	9.32E+04	0.0003	80.5588	0.5920	0.0040
10	8.13E+04	0.0006	70.2618	0.5914	0.0044
11	7.45E+04	0.0000	64.4389	0.5909	0.0044
12	6.92E+04	0.0003	60.1332	0.5905	0.0046
13	6.42E+04	0.0000	55.5103	0.5901	0.0046
14	6.04E+04	0.0003	52.3676	0.5897	0.0048
15	5.21E+04	0.0000	45.0289	0.5896	0.0048
16	2.35E+04	0.0039	22.9142	0.5813	0.0070
17	5.44E+03	0.0048	4.8744	0.5314	0.0096
18	2.31E+03	0.0103	2.0404	0.4615	0.0143
19	1.52E+03	0.0176	1.3100	0.4098	0.0223
20	1.09E+03	0.0239	0.9342	0.3643	0.0310
21	8.35E+02	0.0308	0.7215	0.3265	0.0411
22	6.51E+02	0.0260	0.5654	0.2902	0.0486
23	5.02E+02	0.0353	0.4337	0.2511	0.0575
24	3.55E+02	0.0398	0.3036	0.2025	0.0656
25	2.53E+02	0.0331	0.2187	0.1600	0.0709
26	1.95E+02	0.0293	0.1686	0.1315	0.0746
27	1.59E+02	0.0247	0.1378	0.1119	0.0773
28	1.35E+02	0.0228	0.1166	0.0975	0.0796
29	1.17E+02	0.0222	0.1007	0.0862	0.0815
30	1.03E+02	0.0202	0.0887	0.0772	0.0830
31	9.20E+01	0.0180	0.0796	0.0702	0.0843
32	8.33E+01	0.0183	0.0720	0.0643	0.0855
33	7.59E+01	0.0180	0.0656	0.0591	0.0865
34	6.98E+01	0.0134	0.0603	0.0548	0.0874
35	6.47E+01	0.0161	0.0559	0.0511	0.0883
36	6.03E+01	0.0137	0.0521	0.0479	0.0890
37	5.63E+01	0.0154	0.0487	0.0430	0.0897
38	5.29E+01	0.0164	0.0457	0.0425	0.0904
39	4.99E+01	0.0157	0.0431	0.0402	0.0910
40	4.71E+01	0.0151	0.0408	0.0332	0.0916
41	4.48E+01	0.0154	0.0387	0.0364	0.0922
42	4.26E+01	0.0167	0.0368	0.0347	0.0928
43	4.06E+01	0.0167	0.0351	0.0331	0.0933
44	3.88E+01	0.0170	0.0335	0.0317	0.0938
45	3.71E+01	0.0177	0.0321	0.0305	0.0944
46	3.56E+01	0.0183	0.0308	0.0293	0.0949
47	3.43E+01	0.0186	0.0296	0.0282	0.0954
48	3.30E+01	0.0244	0.0285	0.0272	0.0961
49	3.18E+01	0.0170	0.0275	0.0263	0.0966
50	3.07E+01	0.0225	0.0265	0.0254	0.0971
51	2.98E+01	0.0125	0.0258	0.0247	0.0974

SONUC : DT= 0.1146 cm²/s

DT= 0.1165 cm²/s (30 A'den küçük gozenekler de dahil.)

Tablo C.10. İzobarik şartlarda, değişik sıcaklıklarda toplam difüzivite verisi ($P_{ort} = 69 \text{ cmHg}$).

$dp = 0 \text{ cmHg}$ $T = 60 \text{ C}$ $dab = 0.9170 \text{ cm}^2/\text{s}$ SONUC : $DT = 0.1398 \text{ cm}^2/\text{s}$ $DT = 0.1417 \text{ cm}^2/\text{s}$ (30 A'dan küçük gözenekler de dahil.)
$dp = 0 \text{ cmHg}$ $T = 70 \text{ C}$ $dab = 0.9586 \text{ cm}^2/\text{s}$ SONUC : $DT = 0.1436 \text{ cm}^2/\text{s}$ $DT = 0.1455 \text{ cm}^2/\text{s}$ (30 A'dan küçük gözenekler de dahil.)
$dp = 0 \text{ cmHg}$ $T = 80 \text{ C}$ $dab = 1.0008 \text{ cm}^2/\text{s}$ SONUC : $DT = 0.1474 \text{ cm}^2/\text{s}$ $DT = 0.1493 \text{ cm}^2/\text{s}$ (30 A'dan küçük gözenekler de dahil.)
$dp = 0 \text{ cmHg}$ $T = 95 \text{ C}$ $dab = 1.0653 \text{ cm}^2/\text{s}$ SONUC : $DT = 0.1531 \text{ cm}^2/\text{s}$ $DT = 0.1550 \text{ cm}^2/\text{s}$ (30 A'dan küçük gözenekler de dahil.)
$dp = 0 \text{ cmHg}$ $T = 105 \text{ C}$ $dab = 1.1090 \text{ cm}^2/\text{s}$ SONUC : $DT = 0.1568 \text{ cm}^2/\text{s}$ $DT = 0.1587 \text{ cm}^2/\text{s}$ (30 A'dan küçük gözenekler de dahil.)

EK-D

MOMENT HESAPLAMALARI İÇİN
BASIC PROGRAMI

```
10 IF n=8 THEN PRINT #8,CHR$(27);"0";CHR$(15)
20 DIM t(100),c1(100),c(100),akis(10,10),a0(10,10),a1(10,10),a2(10,10),haci(10),gcattn(10,10),recattn(10,10),chartspeed(10,10)
30 ' Degisken sayisi: nplots
40 ' Pik sayisi      : npts
50 nplots=5:npts=10
60 FOR i=1 TO nplots
70 READ tani$,haci$(i)
80 FOR j=1 TO npts
90 READ a$,akis1,akis2,akis3,gcattn(i,j),recattn(i,j),chartspeed(i,j)
100 ' Uc olcumun ort. al.
110 zaman=(akis1+akis2+akis3)/3
120 akis(i,j)=20/zaman
130 ' Pikleri okut, okuma sonunda 100 yazilidir.
140 sayi=1
150 READ c(sayi)
160 IF c(sayi)=100 THEN GOTO 200
170 t(sayi)=sayi*0.2*60/chartspeed(i,j)
180 sayi=sayi+1
190 GOTO 150
200 n=sayi-1
210 FOR k=1 TO n
220 c1(k)=c(k)
230 NEXT
240 GOSUB 400
250 a0(i,j)=integral
260 FOR k=1 TO n
270 c1(k)=t(k)*c(k)
280 NEXT
290 GOSUB 400
300 a1(i,j)=integral
310 FOR k=1 TO n
320 c1(k)=c(k)*t(k)^2
330 NEXT
340 GOSUB 400
350 a2(i,j)=integral
360 NEXT
370 NEXT
380 GOSUB 550
390 END
400 'Simpson Sayisal Integrasyon
```

```

410 integral=0
420 y1=0
430 y2=0
440 t(0)=0
450 c1(0)=0
460 h=(t(n)-t(0))/n
470 FOR k=1 TO n-1 STEP 2
480 y1=y1+h*c1(k)
490 NEXT
500 FOR k=2 TO n-2 STEP 2
510 y2=y2+h*c1(k)
520 NEXT
530 Integral=h/3*(c1(0)+c1(n)+y1+y2)
540 RETURN
550 a1$="2. PELLET ICIN HESAPLAMALAR"
560 a2$="2. PELLET ICIN HESAPLAMALAR"
570 b1$="L = 3 mm"
580 b2$="L = 3 mm"
590 c1$="BASINC"
600 c2$="BASINC"
610 d1$="cmHg"
620 d2$="cmHg":d3$="ml":d4$="ml/s":d5$="sn":d6$="sn^2":d7$="skala"
630 GOSUB 660
640 GOSUB 920
650 RETURN
660 'Akis Hizlarini ve Momentleri yazdiran alt program
670 PRINT #w, STRING$(79, "=")
680 PRINT #w, TAB(26);a1$
690 PRINT #w, TAB(32);b1$
700 PRINT #w, STRING$(79, "-")
710 PRINT #w, "Izleyici Haceri";TAB(17);c1$;TAB(27);"Alt akim hizi";TAB(45);"1.Mutlak Moment";TAB(68);"2.Merk.Mom."
720 PRINT #w, TAB(6);d3$;TAB(18);d1$;TAB(32);d4$;TAB(52);d5$;TAB(71);d6$
730 PRINT #w, STRING$(79, "-")
740 PRINT #w
750 FOR i=1 TO nplots
760 PRINT #w, TAB(5);hacim(i);
770 PRINT #w, TAB(19);tanim(i);
780 FOR j=1 TO npts
790 PRINT #w, TAB(29);USING "####.##";akis(i,j);
800 moment=m1(i,j)/m0(i,j)
810 varyans=m2(i,j)/m0(i,j)-(m1(i,j)/m0(i,j))^2
820 PRINT #w, TAB(48);USING "####.##";moment;
830 PRINT #w, TAB(69);USING "####.##";varyans
840 NEXT
850 PRINT #w
860 IF w=8 AND i=4 THEN PRINT #8, CHR$(12)
870 NEXT
880 PRINT #w, STRING$(79, "=")
890 IF w=8 THEN PRINT #8, CHR$(12)
900 RETURN
910 RETURN
920 ' Deneysel okumalari ve sifirci momentleri yazdiran

```

```

930 ' altprogram
940 d8$="mV":d9$="cm/dak":d10$="mV.s"
950 PRINT #w,STRING$(79,"=")
960 PRINT #w,TAB(28);a1$
970 PRINT #w,TAB(34);b1$
980 PRINT #w,STRING$(79,"-")
990 PRINT #w,c1$;TAB(12);"Rec.hizi";TAB(23);"6C Att.";TAB(32);"Rec.Att.";TAB(47);"Sif.Mom.";TAB(58);"Duz.sif.Mom."
1000 PRINT #w,TAB(2);d1$;TAB(13);d9$;TAB(24);d8$;TAB(33);d8$
1010 PRINT #w,STRING$(79,"-")
1020 PRINT#w
1030 FOR i=1 TO nplots
1040 PRINT #w,TAB(2);tanim$(i);
1050 FOR j=1 TO npts
1060 PRINT #w,TAB(13);USING "##.##";chartspeed(i,j);
1070 PRINT #w,TAB(23);USING "##.##";gcattn(i,j);
1080 smoment=gcattn(i,j)*recattn(i,j)*m0(i,j)
1090 PRINT #w,TAB(33);USING "##.##";recattn(i,j);
1100 PRINT #w,TAB(46);USING "####.##";m0(i,j);
1110 PRINT #w,TAB(60);USING "####.##";smoment
1120 NEXT
1130 PRINT #w
1140 IF w=8 AND i=4 THEN PRINT #8,CHR$(12)
1150 NEXT
1160 PRINT #w,STRING$(79,"=")
1170 IF w=8 THEN PRINT #8,CHR$(12)
1180 RETURN

```

İZLEYİCİ HACMİ DEĞİŞTİRİLEREK YAPILMIŞ ÖLÇÜMLER
ve MOMENT HESAPLAMALARI

Tablo E.1. İzobarik şartlarda uzun pellet için hesaplanmış momentler.

1. PELLET İCİN HESAPLAMALAR

$$L = 13 \text{ mm}$$

Izleyici Hacmi ml	Alt akım hızı ml/s	1.Mutlak Moment sn	2.Merkezi Moment sn ²
0.1	0.55	15.41	47.29
	0.76	13.95	40.33
	0.95	13.13	34.68
	1.23	12.09	28.24
	1.51	12.17	37.16
	1.82	11.97	35.48
	2.07	11.65	32.47
	2.56	11.12	32.38
	3.16	11.07	31.15
	3.96	11.22	27.25
1	0.50	16.62	50.80
	0.63	14.66	40.97
	0.77	14.10	34.86
	0.91	13.61	33.33
	1.12	12.93	28.35
	1.33	12.02	25.59
	1.55	12.05	23.68
	1.77	11.82	22.59
	2.01	11.15	23.24
	3.96	11.42	23.37
2	0.52	16.67	52.20
	0.76	15.03	43.39
	0.94	14.47	36.71
	1.21	13.43	33.88
	1.50	13.12	31.46
	1.79	12.84	29.86
	2.09	12.47	27.48
	2.25	12.65	28.49
	3.14	11.90	22.51
	3.96	11.45	23.22
5	0.53	19.05	58.91
	0.76	17.05	48.16
	0.94	16.75	45.14
	1.22	15.69	40.06
	1.49	15.11	36.46
	1.80	14.95	34.88
	1.98	14.72	36.25
	2.25	14.26	32.09
	3.16	13.92	31.10
	3.96	13.69	32.28
10	0.55	21.28	66.93
	0.76	20.00	58.84
	0.95	19.11	54.79
	1.23	18.54	53.83
	1.51	17.95	51.73
	1.82	17.70	47.71
	2.07	17.41	48.16
	2.56	17.16	43.49
	3.16	16.86	42.04
	3.96	16.62	41.71

Tablo E.2. İzobarik şartlarda kısa pellet için hesaplanmış momentler.

2. PELLET İÇİN HESAPLAMALAR			
L = 3 mm			
Izleyici Hacmi ml	Alt akın hızı ml/s	1.Mutlak Moment sn	2.Merkezi Moment sn ²
0.1	0.58	5.63	7.16
	0.76	4.94	6.19
	0.96	4.45	4.84
	1.25	3.89	3.49
	1.52	3.63	2.63
	1.85	3.17	1.99
	2.21	3.06	2.06
	2.66	2.96	1.67
	3.07	2.71	2.23
	4.02	2.67	2.00
1	0.57	5.90	7.72
	0.77	5.44	5.99
	0.94	4.80	3.45
	1.27	4.33	3.98
	1.54	3.82	2.56
	1.83	3.84	4.57
	2.20	3.50	2.28
	2.51	3.16	2.86
	2.99	3.18	2.54
	3.84	3.05	2.09
2	0.55	6.72	8.68
	0.76	5.82	6.00
	0.96	5.19	4.93
	1.25	4.82	4.50
	1.55	4.49	4.30
	1.82	4.46	4.15
	2.11	4.16	3.93
	2.55	3.98	2.78
	2.96	3.94	3.25
	3.84	3.62	2.39
5	0.56	8.70	14.84
	0.80	8.12	14.87
	0.95	7.44	10.61
	1.23	6.34	7.84
	1.55	6.69	8.78
	1.82	6.54	9.12
	2.09	6.48	9.34
	2.62	6.16	7.52
	3.05	5.89	7.34
	4.12	5.81	7.37
10	0.52	12.12	26.61
	0.77	10.93	23.46
	0.97	10.42	21.21
	1.25	10.64	22.23
	1.51	11.00	13.55
	1.86	8.72	15.12
	2.11	9.38	18.67
	2.48	9.12	16.62
	2.93	9.01	17.06
	3.81	9.01	16.33

EK-F

SICAKLIK DEĞİŞTİRİLEREK YAPILMIŞ ÖLÇÜMLER
ve MOMENT HESAPLAMALARI

Tablo F.1. Değişik sıcaklıklarda uzun pellet için momentler

1. PELLET İCİN HESAPLAMALAR				
L = 13 mm				
Izleyici Hacmi ml	SICAKLIK C	Akt akım hızı ml/s	1.Mutlak Moment sn	2.Merk.Mom. sn ²
1	45	0.55	16.10	60.53
		0.79	14.86	48.38
		1.00	14.03	44.81
		1.38	12.71	36.89
		1.67	11.78	27.31
		2.03	11.67	27.24
		2.51	11.46	31.80
		2.68	11.69	28.43
		3.23	11.53	34.61
1	60	0.44	16.12	55.40
		0.65	13.95	40.20
		0.83	13.85	44.76
		1.13	12.27	32.95
		1.66	11.10	27.39
		1.98	11.22	26.03
		2.36	10.09	18.62
		2.69	10.52	22.73
		3.29	10.33	22.87
1	70	3.97	9.87	17.28
		0.46	15.47	48.18
		0.69	13.73	40.07
		0.81	13.25	38.43
		1.19	12.42	36.47
		1.54	11.66	28.72
		1.66	11.44	27.92
		2.06	11.24	28.73
		2.55	11.14	29.61
		3.09	10.41	26.58
		3.36	9.74	18.15

Tablo F.1.'in devamı.

1	70	0.54	15.64	50.27
		0.80	13.66	38.28
		1.04	13.30	40.32
		1.28	12.40	33.09
		1.69	11.92	24.05
		2.12	11.30	29.59
		2.37	11.33	28.43
		2.59	11.10	29.00
		3.13	10.70	24.67
		3.57	9.91	18.81
1	80	0.44	15.39	46.85
		0.73	12.97	38.90
		0.92	12.50	32.12
		1.26	11.61	28.86
		1.51	11.44	29.68
		1.86	11.02	26.86
		2.19	10.89	28.27
		2.59	10.26	22.38
		3.06	10.14	22.65
		4.26	9.68	19.12
1	95	0.52	14.87	45.25
		0.82	12.82	35.35
		1.03	12.33	34.15
		1.35	12.14	37.19
		1.66	11.17	28.61
		2.00	10.73	23.69
		2.57	10.85	29.69
		2.83	10.36	27.76
		3.17	10.98	31.27
		3.77	10.57	32.94
1	105	0.45	14.49	45.20
		0.74	12.33	31.71
		0.89	12.13	33.68
		1.24	11.18	26.59
		1.57	10.57	24.49
		1.80	10.56	23.64
		2.09	10.13	23.75
		2.37	9.95	21.20
		3.10	9.80	22.53
		3.79	9.47	21.46

Tablo F.2. Değişik sıcaklıklarda uzun pellet için
ölçümler ve sıfırcı moment hesaplamaları.

1. PELLET İÇİN HESAPLAMALAR					
L = 13 mm					
SICAKLIK C	Rec.hizi cm/dak	GC Att. mV	Rec.Att. mV	Sif.Mom.	Düz.sif.Mom.
45	10.0	0.1	20.0	666.18	1332.35
	10.0	0.1	20.0	491.10	982.21
	10.0	0.1	20.0	386.48	772.96
	10.0	0.1	10.0	552.08	552.08
	10.0	0.1	20.0	221.12	442.24
	10.0	0.1	20.0	186.64	373.28
	10.0	0.1	10.0	348.64	348.64
	10.0	0.1	10.0	328.56	328.56
	10.0	0.1	10.0	289.60	289.60
60	10.0	0.1	20.0	841.77	1683.54
	10.0	0.1	20.0	578.08	1156.16
	10.0	0.1	10.0	975.84	975.84
	10.0	0.1	10.0	669.96	669.96
	10.0	0.1	10.0	446.56	446.56
	10.0	0.1	10.0	384.24	384.24
	10.0	0.1	10.0	263.04	263.04
	10.0	0.1	10.0	272.24	272.24
	10.0	0.1	10.0	225.60	225.60
70	10.0	0.1	20.0	809.40	1618.80
	10.0	0.1	20.0	558.08	1116.16
	10.0	0.1	10.0	936.21	936.21
	10.0	0.1	10.0	660.32	660.32
	10.0	0.1	10.0	503.36	503.36
	10.0	0.1	10.0	463.32	463.32
	10.0	0.1	10.0	378.24	378.24
	10.0	0.1	10.0	302.88	302.88
	10.0	0.1	10.0	244.80	244.80
70	10.0	0.1	10.0	213.20	213.20
70	10.0	1.0	5.0	654.33	3271.64
	10.0	1.0	5.0	439.52	2197.60
	10.0	1.0	2.0	866.96	1733.92
	10.0	1.0	2.0	700.52	1401.04
	10.0	1.0	2.0	658.72	1317.44
	10.0	1.0	2.0	421.44	842.88
	10.0	1.0	2.0	376.32	752.64
	10.0	1.0	2.0	348.40	696.80
	10.0	1.0	2.0	289.12	578.24
	10.0	1.0	2.0	229.20	458.40

Tablò F.2 'nin devamı.

80	10.0	0.1	20.0	843.85	1687.70
	10.0	0.1	20.0	532.96	1065.92
	10.0	0.1	10.0	834.00	834.00
	10.0	0.1	10.0	612.64	612.64
	10.0	0.1	10.0	502.84	502.84
	10.0	0.1	10.0	400.56	400.56
	10.0	0.1	10.0	353.64	353.64
	10.0	0.1	10.0	286.32	286.32
	10.0	0.1	10.0	242.16	242.16
	10.0	0.1	5.0	346.40	173.20
95	10.0	1.0	5.0	673.84	3369.20
	10.0	1.0	5.0	442.06	2210.32
	10.0	1.0	2.0	876.56	1753.12
	10.0	1.0	2.0	679.44	1358.88
	10.0	1.0	2.0	542.40	1084.80
	10.0	1.0	2.0	442.80	885.60
	10.0	1.0	2.0	358.00	716.00
	10.0	1.0	2.0	334.96	669.92
	10.0	1.0	2.0	301.76	603.52
	10.0	1.0	2.0	257.04	514.08
105	10.0	0.1	20.0	821.45	1642.90
	10.0	0.1	20.0	515.28	1030.56
	10.0	0.1	10.0	855.69	855.69
	10.0	0.1	10.0	620.64	620.64
	10.0	0.1	10.0	486.24	486.24
	10.0	0.1	10.0	426.40	426.40
	10.0	0.1	5.0	719.68	359.84
	10.0	0.1	5.0	638.64	319.32
	10.0	0.1	5.0	465.44	242.72
	10.0	0.1	5.0	402.00	201.00

Tablo F.3. Değişik sıcaklıklarda kısa pellet için momentler.

2. PELLET İÇİN HESAPLAMALAR				
L = 3 mm				
Izleyici Hacmi ml	SICAKLIK C	Alt akım hızı ml/s	1.Mutlak Moment sn	2.Merk.Mom. sn ²
1	45	0.55	6.28	8.01
		0.82	5.73	7.46
		1.02	4.85	5.82
		1.35	4.22	3.74
		1.58	4.15	4.92
		1.87	3.84	4.20
		2.11	3.84	4.82
		2.44	3.62	3.33
		3.21	3.44	3.65
		4.02	3.15	2.07
1	60	0.44	6.93	13.46
		0.72	5.25	6.67
		0.99	4.55	4.61
		1.26	4.51	6.29
		1.51	3.96	4.62
		1.84	3.71	3.31
		2.26	3.45	2.81
		2.67	3.43	3.60
		3.41	2.97	2.01
		3.77	2.96	1.75
1	70	0.40	7.14	11.76
		0.71	5.28	7.11
		0.95	4.57	5.46
		1.19	4.29	4.44
		1.56	3.83	3.93
		1.85	3.68	3.99
		2.33	3.37	3.30
		2.52	3.33	2.67
		3.04	3.07	2.25
		3.79	3.01	2.29

Tablo F.3'ün devamı.

1	70	0.59	5.97	7.66
		0.81	5.12	6.07
		1.03	4.67	5.36
		1.25	4.24	3.60
		1.62	3.99	3.49
		1.96	3.71	4.01
		2.17	3.64	4.14
		2.77	3.25	2.34
		3.40	3.15	2.43
		4.20	3.17	3.17
1	80	0.42	6.71	10.03
		0.64	5.34	7.42
		0.89	4.66	5.97
		1.22	4.05	4.04
		1.47	3.70	3.02
		1.87	3.55	4.39
		2.24	3.30	3.36
		2.70	3.23	3.88
		3.02	2.98	3.53
		3.68	2.90	2.81
1	95	0.60	5.79	10.36
		0.76	5.15	7.67
		1.02	4.60	6.94
		1.33	4.11	5.38
		1.79	3.80	5.54
		2.05	3.66	4.67
		2.37	3.54	4.40
		2.89	3.60	2.73
		3.43	3.19	3.20
		4.20	2.91	1.99
1	105	0.43	6.16	8.62
		0.73	4.92	6.99
		0.90	4.35	4.60
		1.21	3.85	4.16
		1.48	3.49	3.30
		1.85	3.41	3.98
		2.16	3.26	3.79
		2.94	3.18	3.78
		2.94	2.93	2.25
		4.21	2.81	2.24

Tablo F.4. Değişik sıcaklıklarda ölçümler ve
sıfıncı moment hesaplamaları.

2. PELLET İCİN HESAPLAMALAR					
L = 3 mm					
SICAKLIK C	Rec.hizi cm/dak	GC Att. mV	Rec.Att. mV	Sif.Mom.	Düz.sif.Mom.
45	30.0	2.0	20.0	248.15	9926.19
	30.0	2.0	20.0	188.24	7529.60
	30.0	2.0	20.0	156.36	6254.40
	30.0	2.0	20.0	122.33	4893.23
	30.0	1.0	20.0	215.54	4310.83
	30.0	1.0	20.0	181.50	3629.92
	30.0	1.0	20.0	165.00	3299.95
	30.0	1.0	20.0	145.15	2902.99
	30.0	1.0	20.0	115.50	2310.03
	30.0	1.0	20.0	89.91	1798.13
60	30.0	2.0	20.0	303.39	12135.68
	30.0	2.0	20.0	208.74	8349.65
	30.0	2.0	20.0	164.92	6596.69
	30.0	2.0	20.0	140.12	5604.80
	30.0	2.0	20.0	118.16	4726.40
	30.0	2.0	10.0	192.11	3842.29
	30.0	2.0	10.0	162.01	3240.16
	30.0	2.0	10.0	136.45	2728.96
	30.0	2.0	10.0	104.83	2096.69
	30.0	2.0	10.0	96.89	1937.87
70	30.0	2.0	20.0	330.30	13211.95
	30.0	2.0	20.0	222.28	8891.09
	30.0	2.0	20.0	172.54	6901.55
	30.0	2.0	20.0	146.42	5856.96
	30.0	2.0	20.0	112.86	4514.24
	30.0	2.0	10.0	193.47	3869.33
	30.0	2.0	10.0	152.81	3056.11
	30.0	2.0	10.0	143.08	2861.60
	30.0	2.0	10.0	116.94	2338.88
	30.0	2.0	10.0	99.34	1986.77
70	30.0	2.0	20.0	248.74	9949.76
	30.0	2.0	20.0	192.29	7691.52
	30.0	2.0	20.0	160.23	6409.07
	30.0	2.0	20.0	134.34	5373.44
	30.0	2.0	20.0	106.19	4247.79
	30.0	1.0	20.0	181.98	3639.57
	30.0	1.0	20.0	165.60	3311.95
	30.0	1.0	20.0	130.19	2603.73
	30.0	1.0	20.0	107.15	2142.93
	30.0	1.0	20.0	91.21	1824.27

Tablo F.4'ün devamı.

80	30.0	2.0	20.0	311.93	12477.01
	30.0	2.0	20.0	235.52	9420.80
	30.0	2.0	20.0	182.76	7310.29
	30.0	2.0	20.0	139.31	5572.37
	30.0	2.0	20.0	115.51	4620.59
	30.0	2.0	10.0	190.67	3813.49
	30.0	2.0	10.0	160.48	3209.60
	30.0	2.0	10.0	138.23	2764.53
	30.0	2.0	10.0	119.54	2390.72
95	30.0	2.0	10.0	98.43	1968.53
	30.0	2.0	20.0	252.90	10116.16
	30.0	2.0	20.0	204.95	8197.87
	30.0	2.0	20.0	166.79	6671.68
	30.0	2.0	20.0	132.35	5294.08
	30.0	1.0	20.0	203.92	4078.35
	30.0	1.0	20.0	176.51	3530.13
	30.0	1.0	20.0	155.73	3114.51
	30.0	1.0	20.0	127.90	2557.97
105	30.0	1.0	20.0	110.38	2207.52
	30.0	1.0	20.0	88.05	1760.96
	30.0	2.0	20.0	316.77	12670.72
	30.0	2.0	20.0	222.94	8917.44
	30.0	2.0	20.0	181.04	7241.71
	30.0	2.0	20.0	141.62	5664.64
	30.0	2.0	20.0	114.95	4597.97
	30.0	2.0	10.0	198.22	3964.43
	30.0	2.0	10.0	167.42	3348.32
	30.0	2.0	10.0	143.78	2875.63
	30.0	2.0	10.0	121.49	2429.71
	30.0	2.0	10.0	89.25	1784.91

İZOBARİK OLMİYAN ŞARTLARDA YAPILMIŞ ÖLÇÜMLER
ve MOMENT HESAPLAMALARI

Tablo G.1. Değişik basınç farklarında uzun pellet
için hesaplanmış momentler

1. PELLET İCİN HESAPLAMALAR				
L = 13 mm				
Izleyici Hacmi ml	BASINÇ cmHg	Alt akım hızı ml/s	1.Mutlak Moment sn	2.Merk.Mom. sn ²
1	2	0.44	16.94	58.89
		0.71	14.62	43.04
		0.90	13.17	38.95
		1.23	13.22	36.79
		1.49	12.27	35.63
		1.74	12.33	33.10
		2.14	11.92	28.88
		2.68	11.60	28.83
		3.38	11.19	25.30
		4.25	10.74	23.75
1	4	0.43	16.91	56.36
		0.68	13.62	44.54
		0.88	14.03	43.91
		1.19	13.07	36.83
		1.50	12.81	35.73
		1.81	12.00	30.34
		2.22	11.79	28.88
		2.57	11.46	27.66
		2.96	11.41	27.94
		3.51	10.87	24.55
1	6	0.45	15.79	54.85
		0.65	15.36	47.97
		0.87	14.11	41.82
		1.15	13.26	35.72
		1.47	13.05	34.75
		1.87	12.39	34.08
		2.20	11.98	30.16
		2.69	11.42	26.44
		3.13	11.54	29.29
		3.58	11.18	24.22

Tablo G.1'in devamı.

1	10	0.48	16.57	53.37
		0.64	15.38	43.78
		0.87	14.40	40.64
		1.19	13.28	38.58
		1.49	12.96	38.40
		1.80	12.84	35.64
		2.14	12.24	36.51
		2.75	12.03	30.92
		2.99	11.69	28.95
		3.81	11.53	29.49
1	16	0.51	16.83	54.22
		0.69	15.42	46.81
		0.90	14.95	45.37
		1.20	14.07	41.57
		1.43	13.74	41.69
		1.79	13.01	33.14
		2.10	12.40	33.96
		2.43	12.39	35.61
		2.77	12.28	34.96
		3.44	11.32	26.51
1	28	0.46	18.49	63.29
		0.70	16.42	51.52
		0.88	15.13	46.39
		1.22	14.79	46.35
		1.45	14.04	43.84
		1.79	13.86	41.35
		2.17	13.34	40.44
		2.68	12.86	33.60
		3.17	12.55	32.73
		4.22	11.94	26.19
1	40	0.42	19.46	68.75
		0.64	17.19	57.63
		0.83	16.70	57.12
		1.09	15.78	52.97
		1.48	14.66	43.04
		1.78	14.52	42.59
		1.98	13.91	41.31
		2.68	11.63	32.17
		3.07	12.89	32.60
		3.66	12.89	34.82
1	60	0.51	20.29	90.26
		0.71	18.16	58.62
		0.89	17.82	65.93
		1.18	17.03	72.15
		1.60	15.77	46.40
		1.94	14.71	43.82
		2.37	14.74	40.86
		2.63	14.63	43.41
		3.90	13.06	29.71
		3.45	14.51	48.18

Tablo G.2. Değişik basınç farklarında uzun pellet için ölçümler ve sıfırcı momentler.

1. PELLET İCİN HESAPLAMALAR					
L = 13 mm					
BASINÇ cmHg	Rec.hizi cm/dak	GC Att. mV	Rec.Att. mV	Sif.Mom.	Duz.sif.Mom.
2	10.0	0.1	20.0	841.89	1683.78
	10.0	0.1	10.0	1061.96	1061.96
	10.0	0.1	10.0	735.04	735.04
	10.0	0.1	10.0	613.84	613.84
	10.0	0.1	10.0	497.52	497.52
	10.0	0.1	10.0	433.92	433.92
	10.0	0.1	10.0	348.56	348.56
	10.0	0.1	10.0	265.48	265.48
	10.0	0.1	10.0	225.76	225.76
	10.0	0.1	10.0	181.68	181.68
4	10.0	0.1	20.0	860.24	1720.48
	10.0	0.1	10.0	1108.72	1108.72
	10.0	0.1	10.0	881.96	881.96
	10.0	0.1	10.0	640.04	640.04
	10.0	0.1	10.0	527.20	527.20
	10.0	0.1	10.0	427.20	427.20
	10.0	0.1	10.0	349.84	349.84
	10.0	0.1	10.0	295.28	295.28
	10.0	0.1	10.0	255.08	255.08
	10.0	0.1	10.0	218.60	218.60
6	10.0	0.1	20.0	856.84	1713.68
	10.0	0.1	20.0	619.44	1238.88
	10.0	0.1	10.0	917.24	917.24
	10.0	0.1	10.0	688.28	688.28
	10.0	0.1	10.0	546.72	546.72
	10.0	0.1	10.0	426.52	426.52
	10.0	0.1	10.0	346.00	346.00
	10.0	0.1	10.0	286.08	286.08
	10.0	0.1	10.0	248.40	248.40
	10.0	0.1	10.0	221.36	221.36
10	10.0	0.1	20.0	833.08	1666.16
	10.0	0.1	20.0	652.16	1304.32
	10.0	0.1	10.0	939.20	939.20
	10.0	0.1	10.0	681.68	681.68
	10.0	0.1	10.0	555.76	555.76
	10.0	0.1	10.0	471.28	471.28
	10.0	0.1	10.0	399.12	399.12
	10.0	0.1	10.0	316.56	316.56
	10.0	0.1	10.0	271.28	271.28
	10.0	0.1	10.0	213.36	213.36

Tablo G.2'nin devamı.

16	10.0	0.1	20.0	842.28	1684.56
	10.0	0.1	20.0	630.36	1260.72
	10.0	0.1	10.0	991.20	991.20
	10.0	0.1	10.0	736.48	736.48
	10.0	0.1	10.0	631.60	631.60
	10.0	0.1	10.0	485.26	485.26
	10.0	0.1	10.0	406.44	406.44
	10.0	0.1	10.0	355.84	355.84
	10.0	0.1	10.0	314.60	314.60
	10.0	0.1	10.0	241.52	241.52
28	10.0	0.1	20.0	1024.86	2049.73
	10.0	0.1	20.0	705.72	1411.44
	10.0	0.1	10.0	1093.64	1093.64
	10.0	0.1	10.0	809.08	809.08
	10.0	0.1	10.0	665.04	665.04
	10.0	0.1	10.0	544.96	544.96
	10.0	0.1	10.0	437.76	437.76
	10.0	0.1	10.0	356.92	356.92
	10.0	0.1	10.0	296.40	296.40
	10.0	0.1	10.0	220.08	220.08
40	10.0	0.1	20.0	1098.52	2197.04
	10.0	0.1	20.0	828.96	1657.92
	10.0	0.1	10.0	1278.28	1278.28
	10.0	0.1	10.0	987.60	987.60
	10.0	0.1	10.0	702.56	702.56
	10.0	0.1	10.0	583.12	583.12
	10.0	0.1	10.0	520.32	520.32
	10.0	0.1	10.0	387.92	387.92
	10.0	0.1	10.0	345.20	345.20
	10.0	0.1	10.0	297.68	297.68
60	10.0	0.1	20.0	1258.08	2516.16
	10.0	0.1	20.0	886.16	1772.32
	10.0	0.1	20.0	714.88	1429.76
	10.0	0.1	20.0	535.12	1070.24
	10.0	0.1	10.0	742.28	742.28
	10.0	0.1	10.0	611.76	611.76
	10.0	0.1	10.0	526.16	526.16
	10.0	0.1	10.0	458.48	458.48
	10.0	0.1	10.0	292.24	292.24
	10.0	0.1	10.0	350.32	350.32

Tablo G.3. Değişik basınç farklarında kısa pellet için hesaplanmış momentler.

2. PELLET İCİN HESAPLAMALAR				
L = 3 mm				
Izleyici Hacmi ml	BASINÇ cmHg	Akt akım hızı ml/s	1.Mutlak Moment sn	2.Merk.Mom. sn ²
1	2	0.50	6.80	12.32
		0.76	5.30	7.88
		0.91	4.87	6.79
		1.21	4.49	6.56
		1.43	4.23	5.57
		1.79	4.04	7.25
		2.11	3.56	4.56
		2.59	3.49	5.04
		3.05	3.32	5.16
		3.97	3.23	3.92
1	4	0.48	6.85	12.63
		0.72	5.59	9.40
		0.94	4.96	7.18
		1.22	4.46	5.40
		1.47	4.11	4.85
		1.81	3.94	5.51
		2.26	3.76	6.08
		2.63	3.59	5.01
		3.15	3.39	4.30
		4.04	3.28	5.09
1	6	0.52	6.74	12.95
		0.76	5.65	12.19
		0.96	5.11	9.75
		1.28	4.58	7.96
		1.55	4.17	5.00
		1.90	4.16	8.12
		2.47	3.55	4.75
		2.75	3.51	4.46
		3.17	3.53	4.85
1	10	0.55	6.73	13.13
		0.79	5.81	12.84
		1.00	5.10	8.24
		1.29	4.66	7.14
		1.57	4.61	5.40
		1.88	4.06	4.81
		2.53	3.59	3.41
		2.85	3.48	3.56
		3.32	3.42	3.14
1	10	3.73	3.44	4.14

Tablo G.3'ün devamı.

1	16	0.65	6.51	15.19
		0.86	5.58	10.06
		1.05	5.36	10.31
		1.32	4.81	8.14
		1.64	4.56	7.34
		1.92	4.24	5.81
		2.29	3.99	4.31
		2.72	3.82	4.38
		3.36	3.30	4.25
		3.73	3.56	4.47
1	28	0.58	7.47	19.06
		0.72	6.88	17.92
		0.97	6.14	14.77
		1.14	5.22	12.99
		1.41	5.35	11.64
		1.77	4.76	7.88
		2.03	4.79	9.91
		2.47	4.25	4.85
		3.10	4.24	7.83
		3.90	3.94	5.73
1	40	0.63	8.32	35.49
		0.81	7.87	44.19
		0.91	6.75	19.35
		1.06	6.23	13.61
		1.28	5.94	14.32
		1.71	5.64	16.17
		2.17	4.97	8.65
		2.62	4.76	9.17
		3.19	4.38	5.92
		3.79	4.09	3.47
1	60	0.83	8.94	64.77
		1.02	8.12	44.09
		1.16	7.84	41.32
		1.32	7.06	25.96
		1.49	7.23	33.23
		1.71	6.43	19.30
		2.07	5.60	10.75
		2.41	5.36	9.26
		3.22	4.93	6.56
		4.21	4.56	4.10

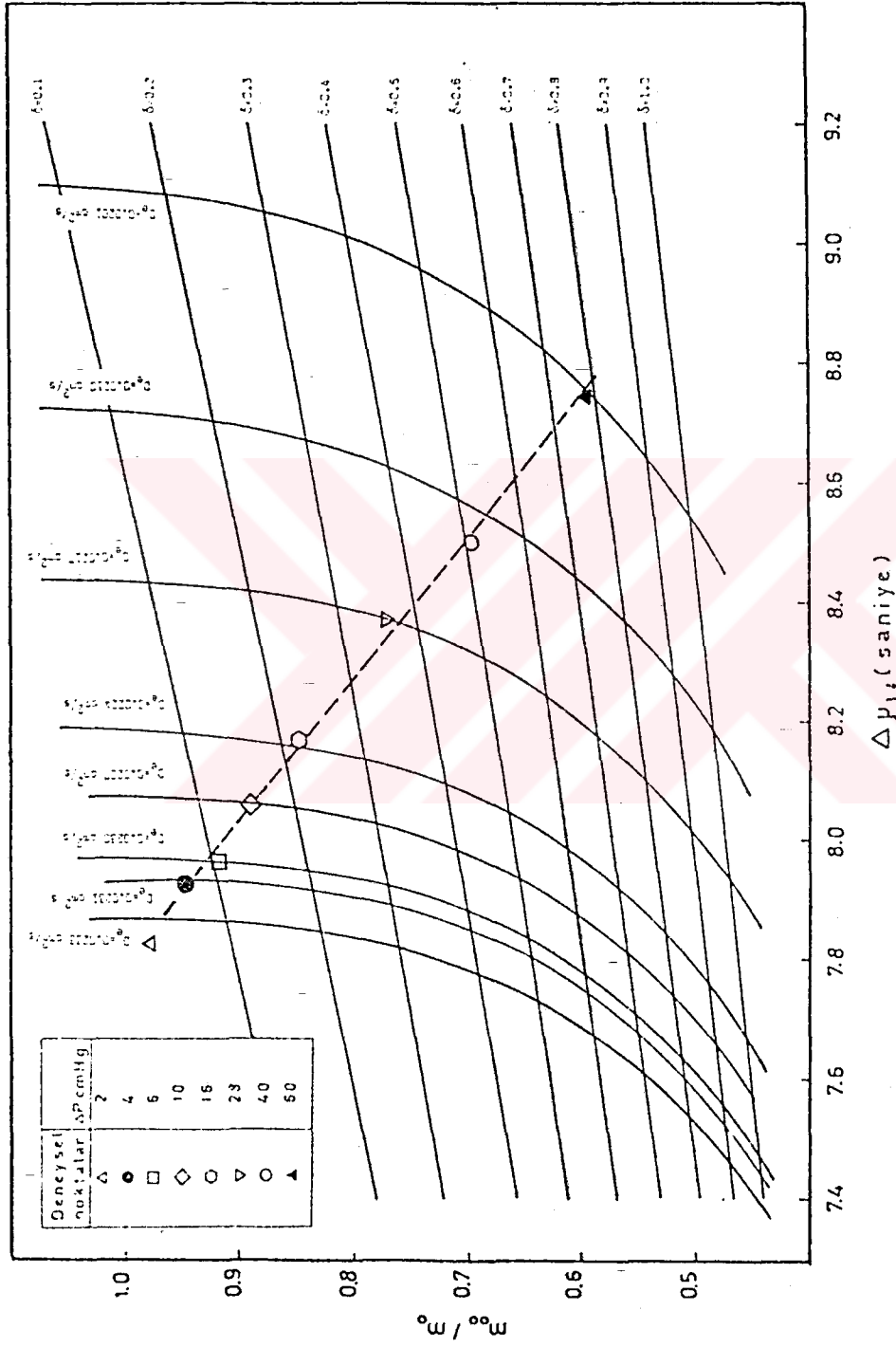
Tablo G.4. Değişik basınç farklarında kısa pellet için ölçümler ve sıfırcı momentler.

2. PELLET İCİN HESAPLAMALAR					
L = 3 mm					
BASINÇ cmHg	Rec.hizi cm/dak	GC Att. mV	Rec.Att. mV	Sif.Mom.	Duz.sif.Mom.
2	30.0	2.0	20.0	291.56	11662.51
	30.0	2.0	20.0	209.39	8375.57
	30.0	2.0	20.0	172.86	6914.45
	30.0	2.0	20.0	146.05	5841.92
	30.0	2.0	20.0	125.79	5031.47
	30.0	2.0	10.0	205.77	4115.36
	30.0	2.0	10.0	171.47	3429.39
	30.0	2.0	10.0	143.83	2876.59
	30.0	2.0	10.0	101.38	2027.52
	30.0	2.0	10.0	98.93	1978.56
4	30.0	2.0	20.0	309.01	12360.21
	30.0	2.0	20.0	234.34	9373.55
	30.0	2.0	20.0	188.43	7537.28
	30.0	2.0	20.0	148.35	5933.97
	30.0	2.0	20.0	125.27	5010.77
	30.0	2.0	10.0	205.96	4119.25
	30.0	2.0	10.0	171.35	3427.04
	30.0	2.0	10.0	145.18	2903.52
	30.0	2.0	10.0	124.71	2494.19
	30.0	2.0	10.0	98.83	1976.53
6	30.0	2.0	20.0	300.21	12008.21
	30.0	2.0	20.0	233.27	9330.99
	30.0	2.0	20.0	192.97	7718.61
	30.0	2.0	20.0	151.19	6047.79
	30.0	2.0	20.0	123.58	4943.25
	30.0	2.0	10.0	208.38	4167.57
	30.0	2.0	10.0	162.17	3243.31
	30.0	2.0	10.0	143.37	2867.41
	30.0	2.0	10.0	127.62	2552.37
	30.0	2.0	10.0	100.01	2000.16
10	30.0	2.0	20.0	329.20	13168.00
	30.0	2.0	20.0	251.74	10069.65
	30.0	2.0	20.0	201.83	8073.39
	30.0	2.0	20.0	157.61	6304.53
	30.0	2.0	20.0	131.08	5243.31
	30.0	2.0	20.0	109.94	4397.65
	30.0	2.0	20.0	84.54	3381.65
	30.0	2.0	10.0	145.66	2913.23
	30.0	2.0	10.0	125.70	2513.97
	30.0	2.0	10.0	114.86	2297.23

Tablo G.4'ün devamı.

16	30.0	2.0	20.0	326.70	13067.95
	30.0	2.0	20.0	254.28	10171.31
	30.0	2.0	20.0	216.37	8654.72
	30.0	2.0	20.0	172.71	6908.27
	30.0	2.0	20.0	144.26	5770.35
	30.0	2.0	20.0	121.10	4844.16
	30.0	2.0	20.0	100.24	4009.60
	30.0	2.0	10.0	166.09	3321.81
	30.0	2.0	10.0	136.11	2722.13
	30.0	2.0	10.0	126.82	2536.43
28	30.0	4.0	20.0	227.39	18191.15
	30.0	4.0	20.0	186.94	14955.54
	30.0	2.0	20.0	285.98	11439.15
	30.0	2.0	20.0	250.66	10026.29
	30.0	2.0	20.0	198.49	7939.64
	30.0	2.0	20.0	156.57	6262.98
	30.0	2.0	20.0	137.89	5515.80
	30.0	2.0	20.0	111.07	4442.61
	30.0	2.0	20.0	89.49	3579.64
	30.0	2.0	20.0	72.59	2903.59
40	30.0	4.0	20.0	258.42	20673.73
	30.0	4.0	20.0	206.28	16502.38
	30.0	4.0	20.0	186.59	14926.95
	30.0	4.0	20.0	153.98	12318.53
	30.0	2.0	20.0	259.55	10382.13
	30.0	2.0	20.0	197.69	7907.74
	30.0	2.0	20.0	146.54	5861.55
	30.0	2.0	20.0	124.22	4968.85
	30.0	2.0	20.0	98.83	3953.30
	30.0	2.0	20.0	81.05	3242.19
60	30.0	4.0	20.0	300.71	24056.79
	30.0	4.0	20.0	245.19	19615.25
	30.0	4.0	20.0	211.20	16896.21
	30.0	4.0	20.0	158.55	12684.27
	30.0	4.0	20.0	144.17	11533.85
	30.0	4.0	20.0	120.57	9645.48
	30.0	2.0	20.0	181.85	7273.92
	30.0	2.0	20.0	161.16	6446.50
	30.0	2.0	20.0	114.55	4582.18
	30.0	2.0	20.0	82.98	3319.30

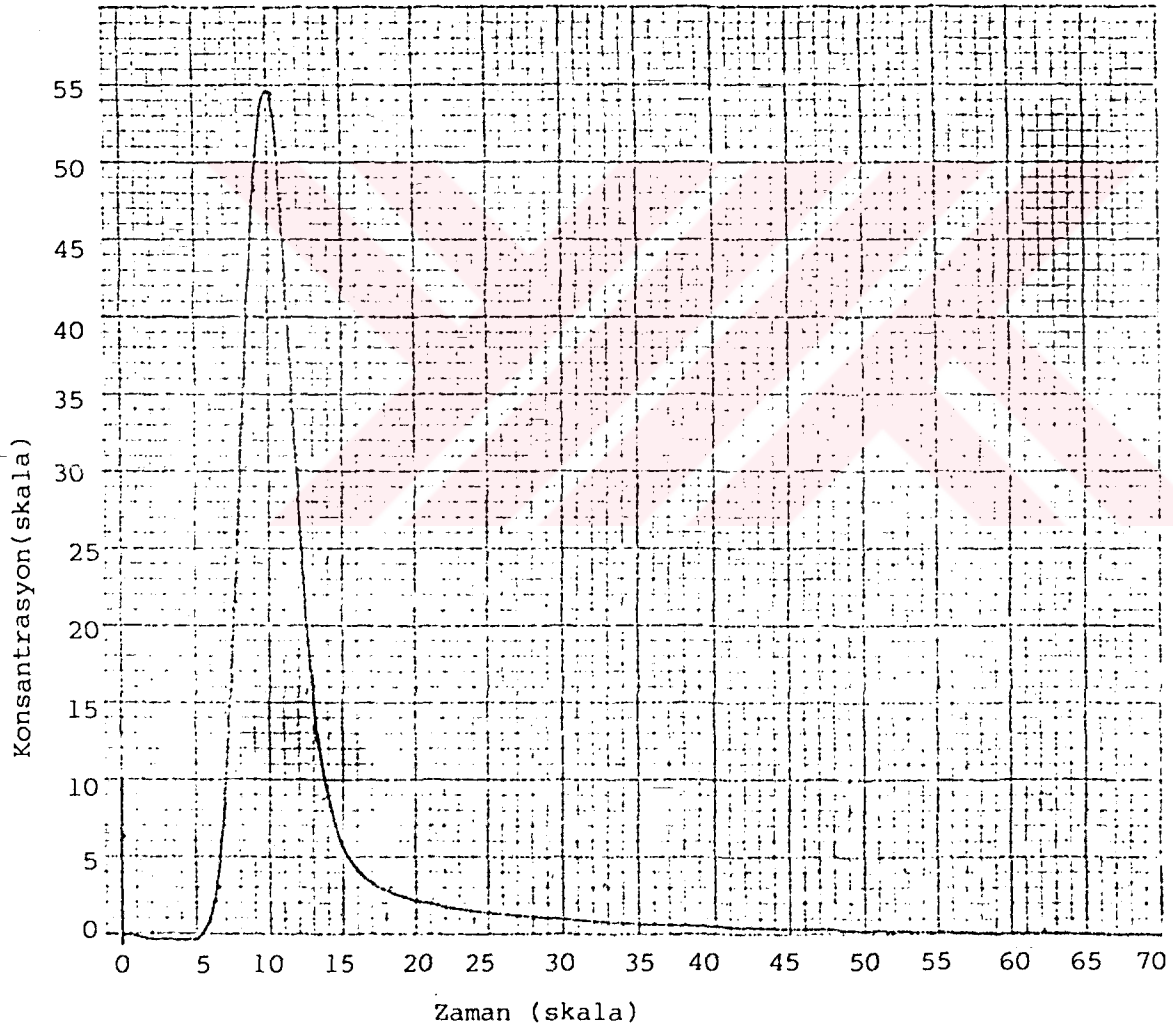
TEORİK ÇİZİLMİŞ MOMENTLER GRAFİĞİ



Şekil H.1. Teorik Çizilmiş momentler grafiği ($\varepsilon=0.68$, $F_2=4 \text{ cm}^3/\text{s}$,
 $L_1=1.3 \text{ cm}$, $L_2=0.3 \text{ cm}$, $A_1=1.35 \text{ cm}$, $A_2=1.4 \text{ cm}$).

EK-I

ÖRNEK KROMATOGRAM



Şekil I.1. Örnek kromatogram ($L=0.3$ cm,
 $\Delta P=60$ cmHg, pik no:9).

Tablo 1.1. Örnek kromatogramın okumaları

Zaman(skala)	Konsantrasyon(skala)
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	1
7	10
8	30
9	48
10	54.5
11	45
12	30
13	16
14	9
15	6
16	4
17	3.2
18	2.8
19	2.4
20	2.1
21	2
22	1.8
23	1.6
24	1.4
25	1.3
26	1.2
27	1.1
28	1.0
.	.
.	.
70	0

Deneysel moment değerleri, kaydediciden alınan piklerin (kromatogram), simpson sayısal integrasyonu sonucu hesaplanmıştır. Momentleri hesaplayan Basic programı Ek-D'de verilmiştir. Piklerin koordinatları skala cinsinden okunmuştur. Zaman skalası, saniye birimine aşağıdaki formüle göre dönüştürülmüştür:

$$t(s) = \text{skala} \times 0.2 \frac{\text{cm}}{\text{skala}} \times \frac{1}{\text{kaydedici} \times \text{cm/dak}} \times 60 \frac{\text{s}}{\text{dak}}$$

Moment tekniğinde difüzyon hücrelerini kalibre etmek gerekmediğinden konsantrasyon skalası olduğu gibi okunmuştur.

Örnek kromatogram için hesaplanmış sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Kaydedici hızı = 30 cm/dak

Düzeltilmiş sıfırdan moment = 4582.18

Birinci mutlak moment = 4.93 s

İkinci merkezi moment = 6.56 s².

Yukardaki veri Tablo G.3'ten alınmıştır

FARK MOMENTLER GRAFİĞİ



Şekil J.1. Deneysel birinci Fark Momentlerin alt akım hızına göre değişimi ($\epsilon=0.68$, $T=45^\circ\text{C}$, $\Delta P=0$).

ÖZGEÇMİŞ

ÖZGEÇMİŞ

1962 Midyat doğumlu Ahmet Pekediz, orta öğrenimini tamamladıktan sonra, 1981 yılında girdiği Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesinden 1985 yılında Kimya Mühendisi olarak mezun olmuştur. Aynı yıl mezun olduğu fakültede açılan Yüksek Lisans sınavını kazanan Ahmet Pekediz, halen bu kurumda Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi