

**UÇUCU ORGANİK ÇÖZÜCÜLERİN ÇEŞİTLİ ALÇI
ÖRNEKLERİNDEKİ DİFÜZYON VE ADSORPSİYONU**

Şakir YILMAZ

Yüksek Lisans Tezi

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Cevdet AKOSMAN

OCAK-2015

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU ORGANİK ÇÖZÜCÜLERİN ÇEŞİTLİ ALÇI ÖRNEKLERİNDEKİ
DİFÜZYON VE ADSORPSİYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şakir YILMAZ

(121118101)

Anabilim Dalı : Kimya Mühendisliği

Programı : Temel İşlemler ve Termodinamik

Danışman: Prof. Dr. Cevdet AKOSMAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 23 Aralık 2014

OCAK-2015

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UÇUCU ORGANİK ÇÖZÜCÜLERİN ÇEŞİTLİ ALÇI ÖRNEKLERİNDEKİ
DİFÜZYON VE ADSORPSİYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şakir YILMAZ

(121118101)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Aralık 2014
Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Ocak 2015**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cevdet AKOSMAN (F.Ü Kimya Müh.)

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Filiz KAR (F.Ü Kimya Müh.)

Doç. Dr. M. Şaban TANYILDIZI (F.Ü Biyomühendislik)

OCAK-2015

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarımın her aşamasında bilgi ve tecrübelerinden büyük ölçüde faydalandığım danışman hocam Sayın Prof.Dr. Cevdet AKOSMAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet KALENDER'e de teşekkür ederim.

Ayrıca, bölümümüz araştırma görevlerinden Fatih KAYA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Şakir YILMAZ
ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	IV
TABLoların LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER.....	XI
ÖZET	XIII
ABSTRACT	XIV
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Uçucu Organik Bileşiklerin Sınıflandırılması.....	5
2.2. Uçucu Organik Bileşiklerin Çevreye Salınma Kaynakları	5
2.2.1. Doğal Kaynaklar	6
2.2.2. Antropojenik Kaynaklar.....	6
2.3. Uçucu Organik Bileşiklerin Çevresel Etkileri.....	9
2.4. Uçucu Organik Bileşiklerin Sağlığa Etkileri.....	12
3. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN YAPI MALZEMELERİNDEKİ TAŞINIM VE ADSORPSİYONU	14
3.1. Yapı Malzemeleri ve Çeşitleri.....	14
3.2. Uçucu Organik Bileşiklerin Yapı Malzemelerindeki Difüzyon ve Adsorpsiyon İle İlgili Çalışmalar	16
4. GÖZENEKLİ ORTAMLARDA ETKİN DİFÜZYON KATSAYISI VE ADSORPSİYON DENGİ SABİTİNİN DENEYSEL TAYİN METOTLARI	20
4.1. Gözenekli Ortamlarda Gazların Etkin Difüzyonu	20
4.2. Kararlı Hal Metotları	21
4.3. Kararsız Hal (Dinamik) Metotları	23
4.3.1. Moment Tekniği	25
4.3.1.1. Uyarı-Cevap Tekniği	25

4.3.1.2.	İzleyici Seçimi	27
4.3.1.3.	Momentler	28
4.3.1.4.	Pulse Cevabı İçin Alan Hesabı Analizi	29
5.	UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN GÖZENEKLİ ORTAMLARDA DİFÜZYON VE ADSORPSİYONUNUN MODELLENMESİ.....	31
5.1.	Genel Moment İfadesi.....	31
5.2.	Sonlu Bir Pelet İçin Moment İfadeleri.....	32
5.2.1.	Denge Adsorpsiyonu İçin Momentler.....	34
5.2.2.	Tersinir Adsorpsiyon İçin Momentler	35
5.2.3.	İnert İzleyici İçin Momentler	36
5.2.4.	Tersinmez Adsorpsiyon İçin Momentler	36
5.2.5.	Gözenekli Peletin Üzerinin Kapatılması Durumundaki Momentler	37
6.	MATERYAL VE METOD.....	40
6.1.	Materyal	40
6.2.	Deney Sistemi ve Deneylerin Yapılışı.....	41
7.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	44
7.1.	Alçı Peletlerinin Fiziksel Özellikleri	44
7.2.	Difüzyon/Adsorpsiyon Hücresi Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	46
7.2.1.	Sıfırıncı Momentlerin Değerlendirilmesi.....	46
7.2.2.	Birinci Mutlak Momentlerin Değerlendirilmesi ve Adsorpsiyon Parametrelerinin Hesaplanması	56
7.2.3.	İkinci Merkezi Momentlerin Değerlendirilmesi ve Etkin Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması.....	82
7.2.4.	Nemli Ortam Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	84
8.	GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	94
	KAYNAKLAR.....	96
	EKLER.....	103
	ÖZGEÇMİŞ	108

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1.	Uçucu organik bileşiklerin sınıflandırılması5
Şekil 4.1.	Kararlı Hal WK-DC22
Şekil 4.2.	Kararsız-hal WK-DC.....24
Şekil 4.3.	Pulse fonksiyonunun şekli25
Şekil 4.4.	Bir A izleyicisi için Pulse uyarısı.....26
Şekil 4.5.	Histogram ve yamuk metotlarının şekli30
Şekil 5.1.	Bir taraflı tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresi32
Şekil 5.2.	Adsorpsiyon hücresindeki pelet üzerinin kapatılmış durumu37
Şekil 6.1.	Bir taraflı tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresi deney düzeneği41
Şekil 6.2.	Bir taraflı tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresinin şematik gösterimi42
Şekil 7.1.	Perlitli sıva alçısı peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi.....44
Şekil 7.2.	Isı yalıtım levha sıva peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi44
Şekil 7.3.	İnşaat alçısı peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi45
Şekil 7.4.	Makine sıva alçısı peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi.....45
Şekil 7.5.	Saten perdah alçısı peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi.....45
Şekil 7.6.	Toluenin 25°C’de perlitli alçı sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi57
Şekil 7.7.	Toluenin 40°C’de perlitli alçı sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi57
Şekil 7.8.	Toluen için 60°C’de perlitli alçı sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi58
Şekil 7.9.	Toluenin 25°C’de ısı yalıtımlı levha sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi58
Şekil 7.10.	Toluenin 40°C’de ısı yalıtımlı levha sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi59
Şekil 7.11.	Toluenin 60°C’de ısı yalıtımlı levha sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi59

Şekil 7.12.	Toluenin 25°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	60
Şekil 7.13.	Toluenin 40°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	60
Şekil 7.14.	Toluenin 60°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	61
Şekil 7.15.	Toluenin 25°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	61
Şekil 7.16.	Toluenin 40°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	62
Şekil 7.18.	Toluenin 25°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	63
Şekil 7.19.	Toluenin 40°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	63
Şekil 7.20.	Toluenin 60°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	64
Şekil 7.21.	Metanolün 25°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	64
Şekil 7.22.	Metanolün 40°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	65
Şekil 7.23.	Metanolün 60°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	65
Şekil 7.24.	Metanolün 25°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	66
Şekil 7.25.	Metanolün 40°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	66
Şekil 7.26.	Metanolün 60°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	67
Şekil 7.27.	Metanolün 25°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	67
Şekil 7.28.	Metanolün 40°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	68
Şekil 7.29.	Metanolün 60°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	68
Şekil 7.30.	Metanolün 25°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	69
Şekil 7.31.	Metanolün 40°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	69
Şekil 7.32.	Metanolün 60°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	70

Şekil 7.33.	Metanolün 25°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	70
Şekil 7.34.	Metanolün 40°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	71
Şekil 7.35.	Metanolün 60°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	71
Şekil 7.36.	Asetonun 25°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	72
Şekil 7.37.	Asetonun 40°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	72
Şekil 7.38.	Asetonun 60°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	73
Şekil 7.39.	Asetonun 25°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi.....	73
Şekil 7.40.	Asetonun 40°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi.....	74
Şekil 7.41.	Asetonun 60°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi.....	74
Şekil 7.42.	Asetonun 25°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi.....	75
Şekil 7.43.	Asetonun 40°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi.....	75
Şekil 7.44.	Asetonun 60°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi.....	76
Şekil 7.45.	Asetonun 25°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	76
Şekil 7.46.	Asetonun 40°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	77
Şekil 7.47.	Asetonun 60°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	77
Şekil 7.48.	Asetonun 25°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	78
Şekil 7.49.	Asetonun 40°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	78
Şekil 7.50.	Asetonun 60°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi	79
Şekil 7.51.	İnşaat alçısı peletindeki tolue izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlakmoment değerleri (25°C)	87
Şekil 7.52.	Isı yalıtım levha sıva peletindeki tolue izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (25°C)	87

Şekil 7.53.	İnşaat alçısı peletindeki toluen izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (40°C)	88
Şekil 7.54.	Isı yalıtım levha sıva peletindeki toluen izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (40°C)	88
Şekil 7.55.	İnşaat alçısı peletindeki metanol izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (25°C)	89
Şekil 7.56.	Isı yalıtım levha sıva peletindeki metanol izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (25°C)	89
Şekil 7.57.	İnşaat alçısı peletindeki metanol izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (40°C)	90
Şekil 7.58.	Isı yalıtım levha sıva peletindeki metanol izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (40°C)	90
Şekil E.2.1.	Toluenin 40°C' de inşaat alçısı peletindeki difüzyon ve adsorpsiyonuna ait $1/F-\mu_{1c}$ grafiği	105
Şekil E.2.2.	Toluenin 40°C' de inşaat alçısı peletindeki difüzyon ve adsorpsiyonuna ait $F-\mu_{2c}/\mu_{1c}^2$ grafiği.....	105
Şekil E.3.1.	Toluenin perlitli sıva alçısı, ısı yalıtımlı levha sıvası ve inşaat alçısı peletlerindeki adsorpsiyon katsayısının sıcaklıkla değişimi.....	106
Şekil E.3.2.	Toluenin makine sıva alçısı ve saten perdah alçısı peletlerindeki adsorpsiyon katsayısının sıcaklıkla değişimi.....	106

TABLolarIN LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Bazı Organik Bileşiklerin Kaynama Noktaları ve Buhar Basınçları.....	6
Tablo 2.2. Uçucu Organik Bileşiklerin meydana geldiği bazı endüstriyel prosesler ve bu endüstride oluşan uçucu organik bileşikler	7
Tablo 2.3. Yaygın olarak bulunan bazı uçucu organik bileşikler	9
Tablo 2.4. Bazı Uçucu Organik Bileşikler için Toksisite Değerleri	13
Tablo 5.1. Farklı adsorpsiyon mekanizmaları için N_i ve m değerleri	35
Tablo 6.1. Deneyde kullanılan yapı malzemeleri ve harç için kullanılan su miktarları.....	40
Tablo 6.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu organik bileşiklerin bazı fiziksel özellikleri	40
Tablo 7.1. Kullanılan alçı örnekleri peletlerinin bazı fiziksel özellikleri.....	46
Tablo 7.2. Perlitli sıva alçısında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	48
Tablo 7.3. Isı yalıtımlı levha sıvasında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri.....	48
Tablo 7.4. İnşaat alçısında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	49
Tablo 7.5. Makine sıva alçısında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	49
Tablo 7.6. Saten perdah alçısında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	50
Tablo 7.7. Perlitli sıva alçısında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	50
Tablo 7.8. Isı yalıtımlı levha sıvasında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri.....	51
Tablo 7.9. İnşaat alçısında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	51
Tablo 7.10. Makine sıva alçısında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	52
Tablo 7.11. Saten perdah alçısında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	52
Tablo 7.12. Perlitli sıva alçısında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri	53
Tablo 7.13. Isı yalıtımlı levha sıvasında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri.....	53

Tablo 7.14.	İnşaat alçısında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri	54
Tablo 7.15.	Makine sıva alçısında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri	54
Tablo 7.16.	Saten perdah alçısında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri	55
Tablo 7.17.	Toluenin farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki $\rho_p K_i$ değerleri	79
Tablo 7.18.	Metanolün farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki $\rho_p K_i$ değerleri	79
Tablo 7.19.	Asetonun farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki $\rho_p K_i$ değerleri	80
Tablo 7.20.	Toluenin deneysel çalışmalarda kullanılan alçı örneklerindeki adsorpsiyon ısıları.....	81
Tablo 7.21.	Metanolün deneysel çalışmalarda kullanılan alçı örneklerindeki adsorpsiyon ısıları.....	81
Tablo 7.22.	Asetonun deneysel çalışmalarda kullanılan alçı örneklerindeki adsorpsiyon ısıları.....	81
Tablo 7.23.	Toluenin farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki etkin difüzyon katsayısı değerleri.....	82
Tablo 7.24.	Metanolün farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki etkin difüzyon katsayısı değerleri.....	83
Tablo 7.25.	Asetonun farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki etkin difüzyon katsayısı değerleri.....	83
Tablo 7.26.	25°C' de nemli ortam için inşaat alçısında tolueinin pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri.....	84
Tablo 7.27.	40°C' de nemli ortam için inşaat alçısında tolueinin pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri.....	84
Tablo 7.28.	25°C' de nemli ortam için ısı yalıtım levha sıvasında tolueinin pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri.....	85
Tablo 7.29.	40°C' de nemli ortam için ısı yalıtım levha sıvasında tolueinin pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri.....	85
Tablo 7.30.	25°C' de nemli ortam için inşaat alçısında metanolün pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri	85
Tablo 7.31.	40°C' de nemli ortam için inşaat alçısında metanolün pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri	85
Tablo 7.32.	25°C' de nemli ortam için ısı yalıtım levha sıvasında metanolün pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri.....	86

Tablo 7.33. 40°C’ de nemli ortam için ısı yalıtım levha sıvasında metanolün pelet üzerinin kapalıve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri.....	86
Tablo 7.34. 25°C’ de nemli ortamda toluenin inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında adsorpsiyon denge sabitleri	91
Tablo 7.35. 25°C’ de nemli ortamda metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında adsorpsiyon denge sabitleri	91
Tablo 7.36. 40°C’ de nemli ortamda toluenin inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında adsorpsiyon denge sabitleri.....	91
Tablo 7.37. 40°C’ de nemli ortamda metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında adsorpsiyon denge sabitleri	91
Tablo 7.38. 25°C’ de nemli ortamda toluenin inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında etkin difüzyon katsayıları	92
Tablo 7.39. 25°C’ de nemli ortamda metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında etkin difüzyon katsayıları	92
Tablo 7.40. 40°C’ de nemli ortamda toluenin inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında etkin difüzyon katsayıları	93
Tablo 7.41. 40°C’ de nemli ortamda metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında etkin difüzyon katsayıları	93

SEMBOLLER

A	: Pelet kesit alanı, cm^2
C_A	: İzleyicinin üst bölmedeki konsantrasyonu, mol/l
C_i	: İzleyicinin peletin gözeneklerindeki konsantrasyonu, mol/l
C₀	: İzleyicinin üst bölmedeki başlangıç konsantrasyonu, mol/l
d	: Kuruluk kesri
D_e	: Etkin difüzyon sabiti, cm^2/s
F	: Taşıyıcı gaz akış hızı, cm^3/s
K_a	: Tersinir adsorpsiyon hız sabiti, $\text{cm}^3/\text{g s}$
K_i	: Adsorpsiyon denge sabiti, cm^3/g
K_{gm}	:Organik madde buharının kuru mineral yüzeyindeki adsorpsiyon denge sabiti, cm^3/g
K_{gl}	:Organik bileşik buharının su filmindeki adsorpsiyon denge sabiti, cm^3/g
K_H	: Organik bileşik buharı için Henry sabiti
K_{lm}	:Organik bileşik buharının su mineral ara yüzeyindeki adsorpsiyon denge sabiti, cm^3/g
L	: Pelet uzunluğu, cm
m_n	: Moment ifadesinin genel tanımı
m₀	: Sıfırıncı moment
m_{ot}	: Üst bölme için sıfırıncı moment
m₁	: Birinci moment
m₂	: İkinci moment
n_i	: İzleyicinin katı gözeneklerinde adsorplanmış konsantrasyonu, mol/g
N_i	: İzleyicinin katı yüzeyine adsorpsiyon hızı, mol/g s
r	: Gözenek yarıçapı, μm
S_g	: Spesifik yüzey alanı, cm^2/g
s	: Laplace değişkeni, s^{-1}
t	: Zaman, s
V_g	: Spesifik gözenek hacmi, cm^3/g
V_p	: Toplam pelet hacmi, cm^3
V_t	: Üst bölme hacmi, cm^3

z	: Pelet içerisindeki difüzyon yönündeki koordinat, m
$\mathcal{E}_p$	: Toplam gözeneklilik
μ_1	: Birinci mutlak moment, s
μ_{1c}	: Düzeltilmiş birinci mutlak moment, s
μ_{1t}	: Üst bölme için birinci mutlak moment, s
μ_2	: İkinci merkezi moment, s ²
μ_{2c}	: Düzeltilmiş ikinci merkezi moment, s ²
μ_{2t}	: Üst oda için ikinci merkezi moment, s ²
ρ_p	: Peletin görünür yoğunluğu, g/cm ³
τ	: İzleyicinin üst bölmede alıkonma süresi, s

ÖZET

Bu çalışmada, uçucu organik bileşiklerin (UOB) çeşitli alçı örnekleri peletlerindeki difüzyon ve adsorpsiyon davranışı tek pelet moment tekniği ile incelenmiştir. Deneysel çalışmalar bir yönlü tek pelet Wicke Kallenbach tipi bir difüzyon/adsorpsiyon hücresinde izobarik şartlarda gerçekleştirilmiştir.

Yapı malzemesi olarak perlitli sıva, ısı yalıtım levha sıva, inşaat, makine ve perdah alçıları kullanılmıştır. Taşıyıcı gaz olarak azot, izleyici bileşen olarak da toluen, metanol ve aseton kullanılmıştır. Kuru ortam deneyleri 50-175 ml/dk aralığında farklı gaz akış hızlarında ve 25-60 °C aralığında gerçekleştirilmiştir. Nemli ortam deneyleri ise 25 ve 40 °C’ de %20 ve %40 nem ortamında yürütülmüştür. Gaz analizleri gaz kromatografisinde gerçekleştirilmiştir.

GC dedektöründen elde edilen cevap pikinin analizi ile adsorpsiyon mekanizması belirlenerek adsorpsiyon denge sabiti ve etkin difüzyon katsayısı hesaplanmıştır. Sıfırıncı moment analizlerinden izleyici bileşenlerin çalışılan tüm alçı peletlerinde tersinir olarak adsorplandığı gözlenmiştir.

Tüm alçı peletlerinde uçucu organik bileşiklerin adsorpsiyon denge sabiti ve etkin difüzyon katsayısı birinci mutlak ve ikinci merkezi momentlerin değerlendirilmesiyle hesaplanmıştır. Çalışılan izleyicilerin kullanılan bütün katılardaki adsorpsiyon katsayılarının sıcaklıkla azaldığı gözlenmiştir. Bütün izleyiciler en fazla makine ve inşaat alçısında, en az ısı yalıtım alçısında adsorplanmıştır. İzleyicilerin alçı peletlerindeki etkin difüzyon katsayıları ise sıcaklıkla artmıştır. Nem etkisinin araştırıldığı çalışmalarda ise nem oranı arttıkça izleyicilerin adsorpsiyon denge sabitlerinde ve etkin difüzyon katsayılarında azalma gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alçı, Uçucu organik bileşik, Adsorpsiyon, Etkin difüzyon katsayısı, Dinamik metot.

ABSTRACT

DIFFUSION AND ADSORPTION OF VOLATILE ORGANIC SOLVENTS IN VARIOUS GYPSUM SAMPLES

In this study, diffusion and adsorption behaviour of volatile organic compounds (VOC) in various gypsum sample pellets were investigated by single pellet moment technique. Experimental studies were conducted in a one-sided single pellet Wicke Kallenbach type diffusion/adsorption cell under isobaric conditions.

In the experiments; perlite plaster, thermal isolation plate plaster, construction, machine and polish gypsums were used as building materials. Nitrogen gas used as a carrier while toluene, methanol and acetone were used as tracer compounds. Dry environment experiments were carried out using different gas flow rates between 50-175 ml/min. and at the temperature range between 25 and 60°C. In order to determine the effect of relative humidity on VOC diffusion and adsorption, the experiments were conducted at 25-40°C and with %20 and %40 relative humidity. The samples analyses were carried out using gas chromatography.

Adsorption mechanism, adsorption equilibrium constant and effective diffusion coefficient were calculated by the analysis of response peaks obtained from GC detector. From the analysis of zeroth moments, it was observed that all tracer compounds were adsorbed reversibly in all gypsum pellets studied.

Adsorption equilibrium constants and effective diffusion coefficients of volatile organic compounds in all gypsum pellets were calculated with the evaluation of first absolute and second central moments. It was observed that adsorption coefficients of tracers studied were decreased with the increasing of temperature. Highest adsorption occurred on machine and building gypsum and lowest on thermal isolation plaster. Effective diffusion coefficients of tracers in all gypsum pellets were increased with temperature. The experimental results show that adsorption equilibrium constants and effective diffusion coefficients of all tracers were decreased with an increase in relative humidity.

Key Words: Gypsum, Volatile Organic Compound, Adsorption, Effective Diffusion Coefficient, Dynamic Method.

1. GİRİŞ

Yüksek toksisiteleri ile uçucu organik bileşikler (UOB) en önemli iç ortam kirleticileri arasındadır. UOB'ler, özellikle boya, vernik, yapıştırıcı, döşemelik gibi yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Ofis ortamlarında ise, bu yapı malzemelerine ilave olarak fotokopi makineleri ile diğer bazı ofis malzemeleri UOB'ler için önemli kaynaklardır (Veli ve Alyüz, 2006). Yapı içi havasının kirlenmesi; yapı dışındaki çevreden, yapının kullanımından ve yapı ürünlerinden kaynaklanabilir. Her kirleticinin yapısı farklıdır. Farklı özellikteki kirleticilerin insan sağlığını etkileme şekli ve alınacak önlemlerde de değişiklik gösterir. Yapı ürünlerinden kaynaklanan kirleticiler, gazlar, uçucu organik bileşikler ve parçacıklardır. Gazlar; yanıcılar (karbon monoksit, nitrojen oksitleri, sülfür dioksit, kömür dumanı vb.), uçucu organik bileşikler (formaldehit, benzen vb.), zararlı doğal gazlar (radon, ozon) dır. Parçacıklar; asılı parçacıklar, mikroorganizmalar (bakteriler, mantarlar, virüsler vb.) dır (Vural ve Balanlı, 2005).

Yapı içi hava kirliliği ile insanoğlu ilk kez Taş Devri'nde karşılaşmıştır. Isınmak ve yemek pişirmek için yakılan ateş, iç ortamı zehirli gazlar ve çeşitli kimyasal maddeler ile kirlenmiş ve o dönemde bu sorun, ateş mağaralarının ağzında yakılarak çözülmeye çalışılmıştır (Vural ve Balanlı, 2005; Yalçinkaya, 1995). Sağlığının yapı içindeki havadan etkilendiğinin farkına varan insan, kendisi ile yapı içindeki hava kirliliği arasındaki etkileşimi araştırarak; olasılıkları belirlemekte, çözümler geliştirmeye çalışmaktadır (Vural ve Balanlı, 2005).

Yapılan araştırmalarda uçucu organik bileşiklerin birçoğuna bina içinde de rastlanmıştır. Bina içinde rastlanan uçucu organik bileşiklerin türü, çeşidi ve miktarı binadan binaya değişim göstermektedir. EPA'nın Amerika Birleşik devletlerinin farklı bölgelerindeki evlerde yaptırmış olduğu araştırmalarda bina içinde üç yüzden fazla uçucu organik bileşiğe rastlanmıştır (Brown, 1999).

Belirli sınıflardaki hidrokarbonlar için kanserle ilgili yapılan çalışmalarda, kurum ve katranlarda bulunan aromatik hidrokarbonlara maruz kalınmasıyla bazı kanser türlerinin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca hidrokarbon-NO karışımı güneş ışığı varlığında, fotokimyasal oksidasyona uğrayarak çevresel olarak son derece zararlı fotokimyasal reaksiyon ürünleri meydana getirmektedir. Böylece, UOB küresel ısınmayla iklim değişikliğine, bitkilerin gelişimini engelleyerek çürümeye, çeşitli tipteki kanser

hastalıklarına, göz ve ciltte tahrişe yol açarak ta hayvan ve insan sağlığına zarar verici etkilere sebep olmaktadır (Ghoshal ve Manjare, 2002; Hwang vd., 1997).

Son yıllarda, iç ortam hava kalitesinin insan sağlığı üzerine olan etkileri giderek artan ilgi görmektedir. Pek çok kaynaktan iç ortam havasına yayılan kirleticiler akut ve kronik sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Birleşmiş Milletler'de yapılan bir araştırmaya göre bir günlük zamanın %88'i binalarda geçmektedir (Robinson ve Nelson, 1995). Bu değer göz önüne alındığında iç ortam hava kalitesinin önemi daha çarpıcı hale gelmektedir.

Bina içlerinde rastlanan UOB'ler genel olarak yapı malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Üretimleri aşamasında yapı malzemelerinde bulunan UOB'ler zamanla iç ortamlara salınabilir. Bununla birlikte, herhangi bir kaynaktan üretilen UOB'ler yapı malzemelerinde difüzlenerak adsorplanabilir (Luo ve Niu, 2006). Birçok kaynaktan çevreye salınan ve çoğu toksik özellikte olan UOB'lerin gözenekli katı materyallerdeki davranışı incelenmelidir. Gözenekli katı materyallerde bileşen taşınımını karakterize etmek için etkin difüzyon ve adsorpsiyon katsayılarının bilinmesi son derece önemlidir (Zhao ve Ark., 2001; Luo ve Niu, 2006).

Yapı malzemelerinden uçucu organik bileşiklerin emisyonuna etki eden karakteristik parametreler; malzemelerin içinde bulunan uçucu organik bileşiklerin difüzyon katsayısı ve başlangıç uçucu organik bileşiklerin konsantrasyonu ile birlikte gaz-katı dağılım katsayısıdır. Eğer bu parametreler bilinirse, yapı malzemelerindeki uçucu organik bileşiklerin emisyonu literatürde çeşitli transfer modelleri kullanarak nicel olarak hesaplanabilir (Zhang ve ark., 1999, 2008).

Akışkanların bir katı içinde difüzyonu ve katı yüzeyinde adsorpsiyonu, kütle aktarım işlemlerinde önemli bir yer tutar. Katı-sıvı ekstraksiyonu, adsorpsiyon, katıların kurutulması, katı kataliz içinde cereyan eden katalitik reaksiyonlar vb. olaylarda bir veya daha fazla bileşen katı faz içinde difüzlendir.

Adsorpsiyon ve katalitik kimyasal reaksiyon sistemlerinde, gaz-katı işlemleri genellikle gözenekli katıların kullanılmasıyla yürütülür. Bu tip olayların meydana gelebilmesi için bileşenlerin katının aktif yüzeyinde adsorplanması gerekir. Katının yüzey alanı, adsorplanan gazın miktarı ve katının aktivitesi üzerinde belirgin etkiye sahiptir.

Katı bir pelet halinde ve bu katı gözeneksiz partiküllerden oluşmuş ise bu durumda tek dağılımlı gözenek sistemi vardır; gözenekli partiküllerden oluşmuşsa, bu durumda da peletin iki dağılımlı gözenek sistemi içerdiği söylenir. İki dağılımlı sistemlerde partiküllerin içerdiği boş bölgelere mikrogözenek, partikül arası boş bölgelere de

makrogözenek adı verilir. Mikrogözenekten daha büyük, fakat makrogözenekten daha küçük gözeneklere ise mezogözenek adı verilir. Düzenli çok ince partiküllerin dış yüzey alanı gözeneklerin iç yüzey alanına nazaran küçüktür.

Gözenekli ortamlarda etkin difüzyon katsayılarının belirlenmesi üzerine birçok teorik ve deneysel araştırma mevcuttur. Gazların gözenekli ortamlarda taşınımı genellikle yığın, Knudsen, yüzey difüzyonu viskoz akış proseslerini içerir. Ayrıca gözeneklerin yüzeylerinde adsorpsiyon olayının gerçekleşmesi ve gözenek yapısına bağlı olarak karşılıklı etkileşimlerle olay daha da karmaşık hal alır. Gözenek dağılımının kesin bir modeli bulunmadığında, taşınım mekanizmalarının karmaşıklığına neden olmasından dolayı, bazı deneysel teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerle taşınım mekanizmaları ve bunlarla ilgili parametrelerin difüzyon ve adsorpsiyon katsayıları üzerine etkilerini tespit etmek mümkün hale gelmiştir (Park ve ark.,1996).

Uçucu organik bileşiklerin gözenekli bir katıda taşınım ve adsorpsiyon mekanizması şöyledir: Bileşenler katının aktif yüzeyine doğru difüze edilir, orada adsorplanır, daha sonra şartlar oluştuğunda katı yüzeyinden uzaklaşır. Bütün bu olaylar katı ve çevresindeki akışkan akımı arasında kütle transferi ve adsorpsiyon kinetiğiyle meydana gelir. Bazı durumlarda toplam adsorpsiyon hızı difüzyonla kontrol edilirken, bazı durumlarda da adsorpsiyon kinetiği ile kontrol edilir. Yani katı yüzeyinde meydana gelen olay çok karmaşıktır. Dolayısıyla katılarda maksimum seçiciliğe ulaşabilmek için bu karmaşık olayın çok iyi bilinmesi gerekir.

Gözenekli katılarda uçucu organik bileşiklerin adsorpsiyon olayının yanında fiziksel gaz taşınımının da incelenmesi ve araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle gazların ve buharların gözenekli katılar içerisinde difüzyon ve adsorpsiyonun incelenmesi üzerine birçok teorik ve deneysel çalışma mevcuttur. Bu incelemelerde çeşitli tip gözenekli katılarda özellikle difüzyon ve adsorpsiyon ele alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar içerisinde en yaygın olarak kararlı ve kararsız hal difüzyon hücreleri kullanılmıştır. Bu teknikler için de çok sayıda hücre konfigürasyonlarıyla çalışılmıştır.

Dinamik bir taraflı tek pelet difüzyon ve adsorpsiyon tekniği ile gözenekli katılarda difüzyon ve adsorpsiyon parametrelerinin hızlı ve güvenilir olarak bulunması yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Doğu ve Ark., 1996; Yaşyerli ve Ark., 1999; Kalender ve Akosman, 2004).

Bu çalışmada, çeşitli alçı örnekleri peletlerindeki uçucu organik bileşiklerin farklı sıcaklıklardaki adsorpsiyon parametreleri ve etkin difüzyon katsayıları bir taraflı dinamik tek pelet moment tekniği ile belirlenmiştir. Bu amaçla dinamik kararsız hal metodu prensibine göre alışan Wicke-Kallenbach tipi difüzyon/adsorpsiyon hücresi kullanılmıştır.

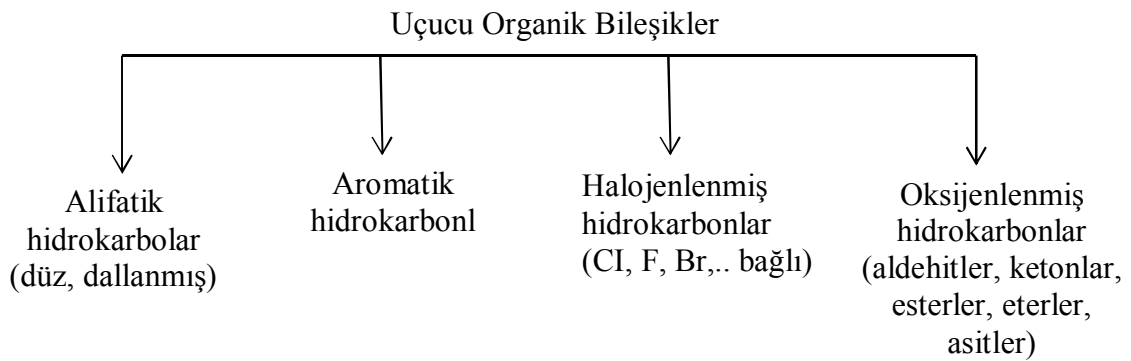
2. GENEL BİLGİLER

2.1. Uçucu Organik Bileşiklerin Sınıflandırılması

Uçucu organik bileşikler oda sıcaklığında buharlaşabilen ve çoğunlukla karbon ve hidrojenden oluşmuş kimyasallardır. Bazı uçucu organik bileşiklerin yapısında karbon atomuna klor, flor ve brom atomlarından biri veya birkaçı ile oksijen ve azot atomu da bağlanmış olabilir. UOB'lerin genel bir sınıflandırılması Şekil 2.1' de verilmiştir. Yüksek uçucular 0-100°C arasında, uçucu organik bileşikler 50-150°C arasında, yarı uçucular 240-400°C arasında ve uçucu olmayan organikler ise 400°C'nin üzerinde buharlaşabilen maddelerdir. Yüksek uçucuların 25°C'deki buhar basıncı >380 mmHg, uçucu organik bileşiklerin 25°C'deki buhar basıncı 0-380 mmHg, yarı uçucuların 25°C'deki buhar basıncı 10^{-7} -0.1 mmHg ve uçucu olmayan organik bileşiklerin 25°C'deki buhar basıncı ise $< 10^{-7}$ mmHg aralığında değişmektedir (Yılmaz, 2006). Düşük kaynama noktaları nedeniyle iç ortam havasında buhar halinde bulunurlar. Bazı organik bileşiklerin kaynama noktaları ve buhar basınçları Tablo 2.1' de verilmiştir.

2.2. Uçucu Organik Bileşiklerin Çevreye Salınma Kaynakları

Uçucu organik bileşikler çeşitli kaynaklardan atmosfere yayılırlar. Genel olarak UOB'ler doğal kaynaklar ve insan faaliyetleri sonucu oluşan yani antropojenik kaynaklar olmak üzere iki grup altında toplanabilir.



Şekil 2.1. Uçucu organik bileşiklerin sınıflandırılması

Tablo 2.1. Bazı Organik Bileşiklerin Kaynama Noktaları ve Buhar Basınçları (ATSDR, 1997)

Uçucu Organik Bileşik	Kaynama Noktası (°C)	Buhar Basıncı (mmHg)
Benzen	80.1	95.2 (25°C)
Toluen	111	22 (20°C)
Kloroform	62	160 (20°C)
o-ksilen	144	7 (20°C)
1,1,1-Trikloroetan	74.1	10 (20°C)
1,2,4-Trimetilbenzen	169	2.03 (25°C)
p-ksilen	138	9 (20°C)
Undekan	196	0.28 (20°C)
1,3,5-Trimetilbenzen	165	1.86 (20°C)
Etilbenzen	136	10 (20°C)
Stiren	145	5 (20°C)
Karbontetraklorür	76.8	91.3 (20°C)
Diklorobenzen	174	10 (55°C)
p-diklorobenzen	174	10 (55°C)
Metilklorür	39.8	350 (20°C)
Etilendibromür	131.5	11.0 (25°C)

2.2.1. Doğal Kaynaklar

Atmosferik UOB emisyonlarının yaklaşık yarısı yeşil bitkilerden kaynaklanır. Doğal hidrokarbon emisyonları başlıca biyolojik aktiviteyle meydana gelir. Bataklıklardan, sulak alanlardan, çürüyen gübre stoklarından, kanalizasyon ve atık sulara meydana gelen oksidasyon olayları sonucu uçucu organik bileşikler oluşmakta ve atmosfere yayılmaktadır. Özellikle oksijensiz ortamda oluşan reaksiyonlar sonucu fazla miktarda uçucu organik bileşik oluşmaktadır. Biyolojik faaliyetler sonucu dünyada bir yılda atmosfere yaklaşık 1150 milyon ton UOB salıverilir ve bu miktar insan faaliyetleri sonucu olarak üretilenin UOB'lerle aynıdır.

2.2.2. Antropojenik Kaynaklar

Uçucu organik bileşikler birçok endüstriyel işlemlerde ve evsel aktivitelerde ya üretilir ya da kullanılırlar. Uçucu organik bileşikler düşük sıcaklıklarda kolaylıkla buharlaşabildiklerinden özellikle doldurma ve boşaltma esnasında atmosfere önemli

miktarlarda yayılmaktadırlar. Taşıtlardan ise yakıt doldurulması ve araçların çalışmaları esnasında atmosfere uçucu organik bileşik salıverilir (Yılmaz, 2006). Taşıtlarda hava/yakıt oranının düşmesiyle ters orantılı olarak egzozdan salıverilen hidrokarbon emisyonu artar. Arabalar genellikle soğukken çalıştırıldığında, rölantide çalışırken ve arabaya yakıt doldurulurken atmosfere hidrokarbon salıverilir. EPA'nın yapmış olduğu hesaplamaya göre Amerika Birleşik Devletlerinde havaya salıverilen UOB'lerin %40'ı ulaşım aktivitelerinde kullanılan hafif araçlar ve kamyonlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Geri kalan %60'ı ise çözücü üretimi, kullanımı ve yakıt yakılması gibi sabit proseslerden havaya salıverilmektedir. Uçucu organik bileşiklerin üretildiği veya kullanıldığı bazı endüstriler ve salıverdikleri muhtemel UOB'ler Tablo 2.2' de görülmektedir.

Tablo 2.2. Uçucu Organik Bileşiklerin meydana geldiği bazı endüstriyel prosesler ve bu endüstride oluşan uçucu organik bileşikler

ENDÜSTRİ	UOB'ler, Tipik Çözücüler ve Diğer Gazlar
Asetat Kaplama	Silikat Solüsyonu
Alkol Sentezi	C1, C2, C3, C6 Hidrokarbonları
Otomobil Kaplama	Ketonlar, Ksilen, Toluen, Fenoller
Piştirme Fırınları	Etanol
Kutu Kaplama (Konserve vb.)	Ketonlar, Alkoller, Aromatikler, Hidrokarbonlar, Eterler
Bobin Kaplama	Fosfatlar, Solvesso, Sikloheksanol, Alkoller, Karbitoller, Hidrokarbonlar
Elektronik Bileşenler	Bütil Asetat, Ksilen, Metil etiketon
Fiberglas Kaplama	Teflon Emülsiyonu, Fiberglas, Sentetikler, Stren
Flesografik Baskı	Flesografik Türevleri, Alkoller, Glikol
Formaldehit	Formaldehit, Metanol, CO
Lithografik Baskı/Boyama	Çözücü butil, Siaseton alkol, Solvesso, Cellosolve Asetat, Ksilen
Metal Kaplama	Alkoller, Cellosol ve Asetat, Fitalatlar, Solvesso
Kâğıt Kaplama	Kaynama noktası yüksek organikler, Lateksler
Farmokolojiler	İzopropanol, Toluen, Hidrokarbonlar

Uçucu organik bileşiklerin birçoğuna bina içinde rastlanmaktadır. Bina içinde rastlanan uçucu organik bileşiklerin türü, çeşidi ve miktarı binadan binaya değişim göstermektedir. EPA'nın Amerika Birleşik devletlerinin farklı bölgelerindeki evlerde yaptırmış olduğu araştırmalarda bina içinde üç yüzden fazla uçucu organik bileşiğe

rastlanmıştır. Bu uçucu organik bileşiklerin bir kısmının kökeninin bina dışı olduğu fakat çoğunluğunun kaynağının bina içinde yürütülen faaliyetler ve kullanılan eşya veya malzemeler olduğu kaydedilmiştir. UOB'ler düşük kaynama noktaları nedeniyle iç ortam havasında buhar halinde bulunurlar. Sıcaklık ve havalandırma oranı gibi parametreler uçucu organik bileşiklerin iç ortamdaki konsantrasyonunu etkileyen önemli faktörlerdir. Bina içinde en fazla karşılaşılan uçucu organik bileşikler ve onların kaynakları;

Formaldehit: Yapıştırılmış tahta, yapıştırıcılar, sunta, laminat parke, boyalar, plastikler, halıfleks, kumaşla kaplanmış sandalye ve koltuklar, CaSO_4 laminat, tutkallar, tavan kaplama ve paneller, lateks içermeyen macunlar, asitle muamele edilmiş ahşap kaplamalar, ahşap paneller, plastik/melamin paneller, marleyler ve parke döşemeler.

Benzen: Sigara dumanı, çözücüler, boyalar, cilalar, faks makinaları, bilgisayar terminalleri ve yazıcılar, parça birleştirici maddeler, lateks içeren macunlar, su kökenli yapıştırıcılar, ahşap paneller, halılar, marleyler, kumaş temizleyiciler, plastik köpük ve sentetik.

Karbontetraklorür: Çözücüler, soğutucular, aerosollar, yangın söndürücüler ve gres çözücüler.

Trikloretilen: Çözücüler, kuru temizlemeden çıkmış kumaş elbiseler, kumaşla kaplanmış sandalye ve koltuklar, mürekkepler, boyalar, yüzey kaplama materyalleri, cilalar, yapıştırıcılar, fax makinaları, bilgisayar terminaller ve yazıcılar, tipakslar, boya gidericiler ve leke sökücüler.

Tetrakloretilen: Kuru temizlemeden çıkmış kumaşlar, kumaşla kaplanmış sandalye ve koltuklar, tekstilden leke sökücüler, faks makinaları, bilgisayar terminalleri ve yazıcılar.

Kloroform: Çözücüler, kumaş boyaları, pestisitler, faks makinaları, bilgisayar terminalleri ve yazıcılar, klorlanmış su.

1,2-Diklorobenzen: Kuru temizleme ajanları, gres ve yağ çözücüler, insektisitler ve halıfleks yapıştırıcılar. 1,3-Diklorobenzen; insektistler, 1,4-Diklorobenzen; deodorantlar, küf ve mantar kontrol maddeleri, oda spreyleri, tuvalet ve çöp kutusu deodorantları ve naftalin.

Etilbenzen: Stiren içeren maddeler, sentetik polimerler, çözücüler, faks makinaları, bilgisayar terminalleri ve yazıcılar, poliüretanlar, mobilya parlaticılar, tutkallar, lateksli ve lateksiz parke yer döşemeleri.

Toluen: Çözücüler, parfümler, deterjanlar, elbise boyaları, su kökenli yapıştırıcılar, silikonlar, küf tutucu yapıştırıcılar, duvar kağıdı, tutkallar, kalsiyum silikattan yapılmış

laminatlar, vinil kaplı duvar kağıtları, macunlu maddeler, boyalar, halıfleksler, suntadan yapılmış mobilyalar, marleyler, lateksli ve çözücülü boyalar, halı yapıştırıcılar ve gres çözücüler.

Ksilen: Çözücüler, elbise boyaları, insektisitler, poliester fiberler, yapıştırıcılar, tutkallar, duvar kağıdı, macunlu maddeler, cilalar, reçine ve kalın cilalı kaplama, halıfleskler, fotokopiler, sunta mobilyalar, CaSO₄ paneller, su kökenli yapıştırıcılar, gres çözücüler, boyalar, halı yapıştırıcılar, marleyler ve poliüretan kaplamalar.

Diğerleri: Aseton, metanol, etanol gibi çözücülerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır.

2.3. Uçucu Organik Bileşiklerin Çevresel Etkileri

UOB'ler kimyasal, petrokimyasal ve buna benzer diğer endüstrilerden çevreye salınan hava kirleticileri arasında en yaygın olan bileşik sınıflarından biridir. Havada direkt gaz emisyonu veya organik kirleticilerin buharlaşması sonucu bulunan UOB'ler hava kirliliğine neden olurlar. Diğer taraftan havadaki UOB'ler suda çözünerek veya üretildikleri kaynaklarda suya karışarak su kirliliğine ve toprakta meydana gelen parçalanma reaksiyonları sonucu oluşarak ta toprak kirliliğine de neden olmaktadır. İncelticiler, temizleyiciler, kaydırıcılar, sıvı yakıtlar ve daha birçok çözücü bazındaki kimyasallar başlıca UOB sınıfını oluşturmaktadır. Bu bileşikler arasında en önemli olanları metan, etan, tetrakloroetan, metilklorür, çeşitli floroklorokarbonlar ve perflorokarbonlardır. UOB'in yaygın olan bir listesi Tablo 2.3'te verilmiştir (Khan ve ark., 2000). UOB'in başlıca kaynakları endüstriyel havalandırma sistemleri, bu bileşiklerin mevcut olduğu tanklardan yükleme esnasındaki kayıplar, proses elemanlarının havalandırmalarındaki kaçaklar, taşıma boru ve ekipmanlarından sızmalar atıksu akımları ve ısı değiştirici sistemleri şeklindedir.

Tablo 2.3. Yaygın olarak bulunan bazı uçucu organik bileşikler

Asetaldehit	Formaldehit	Metilklorür
Aseton	Heptan	Monometil eter
Benzen	Hekzan	Naftalin
Karbontetraklorür	İzopropil alkol	Stiren
Etil asetat	Metanol	Toluen
Etilen glikol	Metil etil keton	Ksilen

Yerküreden ısı transfer hızı yavaş olursa yerkürenin sıcaklığı ve dolayısıyla da iklim değişikliği meydana gelir. Belirli sınıflardaki hidrokarbonlar için kanserle ilgili yapılan çalışmalarda, kurum ve katranlarda bulunan aromatik hidrokarbonlara maruz kalınmasıyla bazı kanser türlerinin ortaya çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca hidrokarbon-NO karışımı güneş ışığı varlığında, fotokimyasal oksidasyona uğrayarak çevresel olarak son derece zararlı fotokimyasal reaksiyon ürünleri meydana getirmektedir. Böylece, UOB küresel ısınmayla iklim değişikliğine, bitkilerin gelişimini engelleyerek çürümeye sebep olmaktadır (Ghoshal ve Manjare, 2002; Hwang ve ark., 1997).

Uçucu organik bileşikler endüstriyel işlemlerde kullanılmasının yanı sıra birçok evsel aktivitelerde de kullanılırlar. Bu geniş kullanım alanı su ve havanın (özellikle kapalı mekânların havasının) uçucu organik bileşiklerle kirlenmesine neden olmaktadır (Spicer ve ark., 2002). Birçok kaynaktan atmosfere salıverilen uçucu organik bileşikler canlı yaşamı ve atmosferin doğal bileşimi üzerine doğrudan veya dolaylı olarak olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Uçucu organik bileşiklerin çoğu aynı zamanda zehirli ve bazıları kanserojenik, mutajenik ve teratojeniktir (Hess-Kosa, 2001). EPA tarafından oluşturulan ve 1990 Temiz Hava Sözleşmesi'nde kabul edilen 189 tehlikeli hava kirleticisinin 31 adedi UOB'dir.

Hem dış hem de iç ortamda çok farklı UOB kaynakları bulunmaktadır. Dış ortam için ana kaynak trafikken, başlıca iç ortam kaynakları ısınma, pişirme, boya, oda koku spreyleri, halılar, temizlik maddeleridir.

İç ortamda yaygın olarak bulunan UOB'ler:

- Alifatikler; ör. Metan, etan, propan, butan, vb.
- Olefinler; ör. Propan, isobuten, isopenten, vb.
- Aromatikler; ör. Toluen, ksilen, benzen, etil benzen, 4-fenilsiklohekzen vb.
- Halojenli hidrokarbonlar; ör. Trikloroetilen, perkloroetilen, 1,1,1-trikloroetan, vb.
- Terpenler; ör. α -pinen, β -pinen, limonene, vb.
- Diğerleri; ör. Aseton, metanol, isopropanol, metil etil keton, metil isobutil keton, vb. dir.

Farklı UOB'ler ve birbirlerine olan oranları iç ve dış ortamda UOB kaynaklarını tanımlamakta kullanılmaktadır. Örneğin terpen grubuna ait bileşiklerin ana kaynağı ahşap mobilya ve panellerde kullanılan boyalardır. Buna karşılık, aromatik hidrokarbonların ana kaynağı otomobil emisyonlarıdır.

UOB seviyeleri mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir. Ev içi mevsimsel UOB değişiminin belirlendiği bir çalışmada kış aylarında iç ortam UOB'lerinin yaz dönemine göre yaklaşık 3 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde soğuk mevsimde, sıcak mevsime göre yüksek iç ortam UOB'ler görüldüğü rapor edilmiştir. Dış ortam benzer seviyesinin de kışın fazla yazın düşük olduğu tespit edilmiştir. Gözlenen mevsimsel farklılık birçok faktörden kaynaklanabilmektedir. Genel olarak soğuk ortamlarda fotokimyasal reaksiyonların hızının düşük olması, ısıtma kaynaklarının emisyonlarının soğuk dönemde daha fazla olması ve karışım yüksekliğinin kışın daha az olması bu farklılığı yaratan başlıca etmenlerdir.

İç ortamda bulunan UOB'lerin ozonla reaksiyona girmesi sonucunda kuvvetli tahriş etkiye sahip kimyasalların olduğu bilinmektedir. UOB'lerin ozonla reaksiyona girme süreleri her bir bileşik için farklıdır. Ortamda bulunan UOB ve ozon konsantrasyonu bu süreyi etkileyen önemli faktörlerdir. Eğer ozon konsantrasyonu, UOB konsantrasyonundan belirgin olarak yüksekse, o bileşiğin yarılanma süresi sadece ozon konsantrasyonuna bağlı olarak değişir. Yapılan araştırmalarda özellikle limonen, stiren, 1,1,1 trikloroetan, o-ksilen, m-p ksilen, 1,2,4 trimetil benzen ve diklorometan bileşiklerinin ozonla reaksiyona girme eğilimlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Ozonun i ortamdaki d-limonenle etkileşiminin incelendiği bir çalışmada, reaksiyonlar sonucunda hem kararlı türlerin hem de serbest radikallerin olduğu ortaya konmuştur. Oluşan serbest radikaller ortamda bulunan diğer maddeler ile reaksiyonlara girerek doymuş ve doymamış aldehitler ile organik asitler oluştururlar. Ara basamaklarda oluşan ürünler, d-limonenin kendisinden daha fazla irritant etkiye sahiptir (Tamas ve ark., 2006).

Yukarıda bahsedilen UOB'lerin kaynaklarından başka, i ortamda mikroorganizmalardan kaynaklanan kokusu ile de hissedilebilen birçok uçucu organik bileşik üremektedir. Mikrobiyal Uçucu Organik Bileşik (MUOB) olarak da adlandırılan daha çok alkol ve keton grubundan olan bu bileşikler, i ortamdaki seviyeleri oldukça düşük olduğundan toksikolojik etkileri açısından önemsizdirler. Ancak bir ortamda ölçülmeleri o ortamda küf ve bakterilerden kaynaklanan mikrobiyolojik üremenin göstergesi olduğundan tespit edilmeleri önemlidir.

UOB'lerin iç ortamdaki konsantrasyonları üzerinde havalandırma, sıcaklık gibi faktörlerin yanında uygulamadan sonra geçen sürenin de çok önemli olduğu görülmektedir. Yapı malzemelerinde bulunan UOB'ler çabuk buharlaşabilme özellikleri ile en fazla inşaatta çalışan işçileri etkilemektedir. Duvar yapımında kullanılan alçı blok ve levhalarda

ksilen ve toluen türü UOB'ler bulunurken, betonun yapısında formaldehit bulunmaktadır. İnşaat sıvasında en çok rastlanan uçucu organik bileşikler, etil benzen, formaldehit ve toluendir. Toluene ayrıca duvar kâğıtlarının yapısında da bulunmaktadır. Özellikle iç yüzey kaplamalarında kullanılan işlem görmüş ahşap ve yapay ahşaplar ile boya, vernik, cila gibi malzemeler de iç ortam havasında bulunan etil benzen, tri-metil benzen, ksilen gibi UOB'lerin önemli kaynaklarıdır (Vural ve Balanlı, 2005). UOB içeren bu malzemelerin kullanımından sonra geçen süre uzadıkça maruziyet seviyesi düşmektedir.

2.4. Uçucu Organik Bileşiklerin Sağlığa Etkileri

Uçucu organik bileşikler yapısında çok sayıda kimyasal içerirler ve 300'den fazla türü bulunmaktadır. Atmosferdeki UOB konsantrasyonlarını emisyonlar, buharlaşma, depolanma ve güneş ışığı varlığında fotokimyasal reaksiyon süreçleri belirler. Kısa ve uzun dönemli olumsuz sağlık etkileri vardır. Benzen, toluen, etilbenzen, ksilen, stiren en fazla sağlık riski oluşturan türleridir. Özellikle benzen kanserojen bir türdür ve insan merkezi sinir sistemi için toksik etki yapar.

UOB'a maruz kalınmasının yarattığı sağlık etkileri literatürde yaygın olarak yer almaktadır. Yarattığı sağlık riskleri sebebiyle, iç ortam hava kalitesinin tespitinde diğer kirletici türlerinin yanı sıra UOB seviyesinin de belirlenmesi önemlidir. Düşük konsantrasyonlarda uyuşukluk, baş ağrısı ve yorgunluk gibi özellikle sinir sistemiyle ilgili şikâyetlere sebep olan uçucu organik bileşikler, teması kronik hale gelmesi ile kanserojenik etkiler göstermektedir. Ayrıca düşük konsantrasyonlardaki UOB'lere sürekli maruz kalınması, solunum yolu hastalıklarına ve astıma sebep olmaktadır. Benzen, toluen, etilbenzen, ksilen ve stiren yüksek toksisite ile en zararlı UOB'ler olarak gruplandırılabilirler. Maruz kalınan miktar arttıkça etkilerin ağırlaştığı, koma ve ölüme kadar gidebildiği görülmüştür.

Uçucu organik bileşikler arasında taşıdıkları sağlık riskleri nedeniyle en fazla dikkat çekenler; benzen, toluen, etilbenzen, ksilen ve stirendir (Lee ve ark., 2001; Leovic ve ark., 1998). Benzen ve toluen kanserojenik olma özellikleri ile önem taşımaktadırlar. Tablo 2.4'te bu kimyasalların toksisite değerleri özetlenmektedir.

Uçucu organik bileşiklere maruz kalınması akut ve kronik sağlık etkileri oluşturur. Düşük dozlardaki UOB'ler, astıma ve diğer bazı solunum yolu hastalıklarına sebep olur.

İsveç'te yapılan bir araştırmada 20-45 yaşları arasındaki 88 astım hastasında UOB'lere maruziyet ile nefes darlığı şikayetlerinde artış gözlenmiştir (Norback ve ark., 1995).

UOB'ler yüksek konsantrasyonlarda, merkezi sinir sistemi üzerinde narkotik etki yaparlar (Maroni ve ark., 1995). Maruziyet aynı zamanda gözlerde ve soluk borusunda tahrişe sebep olur. $8 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ konsantrasyondaki 22 UOB'ten oluşan karışıma maruziyetten sonra soluk borusu mukozasında bozulmalar görülmüştür (Molhave, 1991).

Bazı UOB'ler ekstrem konsantrasyonlara ulaştıklarında sinir sistemine ait fonksiyonlarda bozulmalara neden olurlar (Burton, 1997). Deneysel bir çalışma sonunda, $25 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ konsantrasyonda 22 farklı uçucu organik bileşiğe maruz kalan kişilerde uyuşukluk, baş ağrısı ve yorgunluk şikayetlerine rastlanmıştır (Otto ve ark., 1992). Toluene gibi bazı UOB'ler $188 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ seviyelerinde uyuşukluğa, baş dönmesine ve zihinsel karışıklığa sebep olurlar. Bu şikâyetler, kasılmalara, komaya kadar ilerleyebilir ve $35000 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 'ü geçen değerlerde ölüm olayları görülür (Veli ve Alyüz, 2006; Sandmeyer, 1982).

Tablo 2.4. Bazı Uçucu Organik Bileşikler için Toksikite Değerleri (US EPA, 1998)

Kimyasal	Referans doz (mg/kg/gün)	Kanser faktörü (mg/kg/gün)⁻¹	US EPA kanser sınıflandırması
Benzen	8.57×10^{-3}	2.73×10^{-2}	A (Kanserojen)
Toluen	1.14×10^{-1}	-	-
Etilbenzen	2.86×10^{-1}	-	-
Ksilen	2.86×10^{-2}	-	-
Stiren	2.86×10^{-1}	-	-
Karbontetraklorür	7×10^{-4}	1.3×10^{-1}	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)
Kloroform	1×10^{-2}	6.1×10^{-3}	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)
Vinilklorür	9×10^{-3}	0.6	C (Kanserojen olma ihtimali var)
Metilklorür	6×10^{-2}	7.5×10^{-3}	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)
Etilendibromür	-	85	B2 (Kanserojen olma olasılığı yüksek)

3. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN YAPI MALZEMELERİNDEKİ TAŞINIM VE ADSORPSİYONU

3.1. Yapı Malzemeleri ve Çeşitleri

Yapılarda gerek iç gerekse dış ortamda kullanılan yapı malzemeleri genel olarak; tuğla, boya, alçı sıvalar, çimento, ahşap ürünleri ve camlar olarak sınıflandırılabilir.

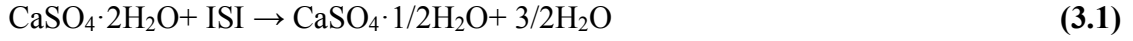
Tuğla: Duvar örmede kullanılmak üzere kalıplara dökülüp kurutulduktan sonra harman ocağı veya fırınlarda pişirilen toprak esaslı gereçtir. Tuğla; kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla veya kiremit tozu vb. malzeme ile karıştırılarak kalıplarda şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra pişirilmek suretiyle elde edilen bir yapı malzemesidir.

Boya: Boya hem dekoratif nitelik hem de çeşitli hava, deniz koşullarına, mekanik zorlamalara karşı koruyucu amaçla ahşap, metal yüzeylere uygulanan akıcı bir maddedir. Yani, bir yüzeye uygulandığında dekoratif ve koruyucu bir tabaka meydana getiren malzemeye boya denir. Boyalar renk verici olmanın yanı sıra örtücü ve buna bağlı olarak koruyucu özelliğe de sahip olduklarından bu özellik kullanıldıkları yerlere göre çok değişik uygulama alanları bulunabilmektedir.

Çimento: Su ile temasında sertleşen ve etrafındaki maddeleri birbirine yapıştırma olanağına sahip malzemelere hidrolik bağlayıcı adı verilir. Çimento; başlıca silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitlerini ihtiva eden hammaddelerin teknolojik metotlarla sertleşme derecesine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamul madde klinkerin, tek veya daha fazla cins katkı maddesi ile öğütülmesi suretiyle, imal edilen hidrolik bağlayıcıları kapsamına alan bir malzemedir. Çimentonun esas maddeleri, kireç taşı (kalker), kil ve marndır.

Camlar: Camlar, sabit bir erime noktası olmayan amorf bünyeli bir silikat bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Cam binalarda çok geniş kullanma alanı olan bir yapı malzemesidir. Ticari olarak en çok üretilen cam çeşitlerinin ham maddeleri kum, soda, dolomit, feldispat ve kalker olmakla birlikte yüz elliye yakın değişik türde ticari madde ve katkı kullanılarak değişik özellikte cam üretilmektedir (Ekinci, 2008).

Alçı sıvalar: Alçı, kimyasal formülü $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olan alçıtaşının (jips) uygun sıcaklıkta (110-130 °C) ısıtılarak, atmosfer basıncı altında kısmi dehidrasyon işlemine uğratıp, öğütülmesi ve elenmesi ile elde edilir.



Bu şekilde elde edilen alçıya β -yarımhidrat veya β alçı adı verilir ve piyasada yaygın olarak kullanılır. Sıcaklık 175- 205 °C' nin üstüne çıkarılırsa alçıtaşı tüm suyunu kaybedip, anhidrit (CaSO_4) haline gelir (Sağlam, 2012).

Yapılarda sıvalar son kat kaplama elemanı olup ince yapı uygulamalarındandır. Genel olarak sıvalar; duvarların dayanıklılığını arttırmak, dış tesirlere karşı korumak, düzgün düzlemsel yüzeyler elde etmek amacıyla yapılır. Sıvalar iç ve dış sıvalar olmak üzere iki sınıfta incelenebilir:

- İç Sıvalar: Kaba inşaat elemanlarının bina içinde kalan yüzeylerine yapılan sıvalardır. Bu sıvalar elemanları dış etkilere korumaktan ziyade, yüzeylerini düzeltmek ve görünümlerini güzelleştirmek amacıyla yapılır.
- Dış Sıvalar: Kaba inşaat elemanlarının bina dışında kalan yüzeylerine yapılan sıvalardır. Dış sıvalar yüzeyleri düzeltir, görünüşü güzelleştirir ve dış etkenlerden korur. Dış sıvalar çimento ağırlıklı olup yüzey özelliklerine ve istenen yüzey kaplama şekline bağlı olarak, bir veya daha fazla kat olarak uygulanırlar (Ekinci, 2008).

Alçı sıvalar yapılarda kullanım özelliklerine göre çeşitlilik göstermektedir. Yapı sektöründe kullanılan alçı ve türevlerinden bazıları şunlardır:

Perliti Sıva Alçısı: Binanın iç ve dış duvarları için tamamlayıcı bir kaplama malzemesidir. Pürüzlü yüzeylerin örtülmesinde önemli malzemedir (Ekinci, 2008). Tuğla, beton, brüt beton ve bimsbeton türü yüzeylere kolaylıkla uygulanabilen ısı ve ses yalıtım özelliği arttırılmış alçı esaslı hazır sıvadır. Gözenekli bir malzeme olduğundan nem oranını dengeleyerek sağlıklı bir ortam oluşturur. Yanmaz bir yapı malzemesidir. Bakteri ve mantar üretmez.

Isı Yalıtımlı Levha Sıvası: Isı yalıtım sistemleri için geliştirilmiş, yüksek esneklik ve tutunma gücüne sahip, polimer modifiyeli, polipropilen mikro donatı sistemi ile güçlendirilmiş, suya ve darbelere dayanıklı çimento esaslı yüzey sıvasıdır. Tüm yapılarda,

polistiren levhalar üzerine kullanılan bir sıvadır. Çatlak riski bulunan duvar yüzeylerinde oluşabilecek gerilimlere karşı polipropilen lifler sayesinde yüksek performans sağlar. Ürün performansını ve işlenebilirliğini arttıran kimyasal katkıları içerir. Kolay hazırlanır ve kolay uygulanır. Yüksek esneklik ve yapışma gücüne sahiptir. Suya ve darbelere karşı dayanıklıdır. İşleme süresi uzundur.

İnşaat Alçısı: Yüksek saflıktaki doğal alçının uygun şartlarda pişirilmesi, seperasyon işleminin uygulanması ve daha sonrada uygun katkılama işlemlerinin yapılması ile hazırlanan bir yapı malzemesidir. İnşaatlarda her türlü teçhizat gömme ve doldurma işleri ile dökme, asma tavan yapımı, mermer yapıştırma ve benzeri işlerde kullanılır.

Makine Sıva Alçısı: Yüksek saflıktaki doğal alçının uygun şartlarda pişirilmesi, seperasyon işleminin uygulanması ve daha sonrada uygun katkılama işlemlerinin yapılması ile hazırlanan bir yapı malzemesidir. Tuğla, briket, gazbeton, beton ve brüt beton türü yüzeylere kolaylıkla uygulanır. İşleme süresi uzatılmış, yüksek mukavemetli, harç karıştırma ve püskürtme makinesi ile uygulamak için tasarlanmış bir sıva ürünüdür. Tek kat da çok düzgün yüzeyler elde edildiğinden boya veya kaplamadan önce ayrıca saten alçı uygulamasına gerek yoktur. Nem oranını dengeleyerek sağlıklı bir ortam oluşturur. Bakteri, küf veya mantar oluşturmaz. Yanmaz bir yapı malzemesidir.

Saten Perdah Alçısı: Yüksek saflıktaki doğal alçının uygun şartlarda pişirilmesi, seperasyon işleminin uygulanması ve daha sonrada uygun katkılama işlemlerinin yapılması ile hazırlanan bir yapı malzemesidir. Kara sıva, alçı sıva, alçı blok duvar, alçı plaka, brüt beton, kirli veya boyanmış yüzeylerin üzerine uygulanır. Yüzeylerdeki boşluk ve pürüzleri kapatır. Yüzeyi cam gibi parlak ve düzgün bir hale getirerek her türlü boyanın ve dekoratif kaplamanın uygulanabileceği bir zemin hazırlar. Özel tane dağılımı sayesinde pürüzsüz ve sert bir yüzey sağlar. Kıvamından dolayı kolaylıkla uygulanabilir. Bakteri, küf veya mantar oluşturmaz. Nem oranını dengeleyerek sağlıklı bir ortam sağlar. Yanmaz bir yapı malzemesidir.

3.2. Uçucu Organik Bileşiklerin Yapı Malzemelerindeki Difüzyon ve Adsorpsiyon İle İlgili Çalışmalar

Yapı malzemeleri uçucu organik bileşiklerin oluşmasında ve yayınmasında önemli bir rol oynarlar. Son zamanlarda UOB kaynakları ve çevreye yayınma karakteristikleri üzerine literatürde birçok deneysel, analitik ve sayısal çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar

genellikle ortamdaki UOB konsantrasyonunun ölçülmesi ve yayılması üzerine yoğunlaşmıştır.

Uçucu organik bileşiklerin yapı malzemelerindeki taşınmasında en önemli parametreler difüzyon katsayısı, adsorpsiyon parametreleri ve dağılım katsayılarıdır. Literatürde bu parametrelerin deneysel olarak ölçülmesi için çeşitli teknikler geliştirilerek çalışmalar yapılmıştır. Rebhun ve ark. (1992), Floranten, di-klorobenzen ve triklorobenzenin adsorpsiyon katsayılarını sentetik toprak kullanarak tek pelet moment tekniği ile belirlemişlerdir. Montmorillonit kiline kum ve değişik miktarda humik asit ilavesi yaparak elde ettikleri sentetik toprakta yapmış oldukları deneyler sonucunda, humik asit miktarı arttıkça adsorpsiyon katsayısının her bir kirletici için artış gösterdiği görülmüştür.

Cabbar ve ark. (1994) yaptıkları çalışmada kuru toprakta klorlu hidrokarbonların adsorpsiyonunu ve difüzyonunu tek pelet moment tekniği ile incelemişlerdir. Kullandıkları bu teknikte; 1,2-dikloroetan, 1,1,1-trikloroetan, 1,1,2-trikloroetan ve monokloroetan için etkin difüzyon sabitlerini, adsorpsiyon denge ve hız sabitlerini elde etmişlerdir. Çalışma sonunda, toprak peletlerindeki adsorpsiyon denge sabitlerinin farklı düzeylerde olduğu ve adsorpsiyonun hidrokarbondaki klor sayısından çok, aynı veya farklı karbon atomuna bağlı klorun karbona bağlanma yerine göre değiştiğini belirlemişlerdir.

Bodalal ve ark. (2000) yaptıkları çalışmada membran sistem kullanarak uçucu organik bileşiklerin yapı malzemelerindeki difüzyon ve dağılım katsayılarının deneysel olarak ölçmüşlerdir. Uçucu organik bileşik olarak toluen, nonan, dekan, undekan, etilbenzen, sikloheksan ve yapı malzemesi olarak da kontrplak, karo, halı malzemesi kullanıldığı bu çalışmada; kullanılan bütün yapı malzemelerinde molekül ağırlığı en yüksek olan UOB'nin en düşük difüzyon katsayısına ve buhar basıncı en düşük olan bileşenin ise daha yüksek dağılım katsayısına sahip olduğu ortaya konulmuştur.

Cox ve ark. (2001) vinil kaplamalarda difüzyon hücresi kullanarak uçucu organik bileşiklerin difüzyon ve dağılım katsayılarının ölçümünü incelemişlerdir. Uçucu organik bileşik olarak; n-bütanol, toluen, fenol, n-dekan, n-dodekan, n-tetradekan ve n-pentadekan kullanmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada toluenin difüzyonunun en yüksek, n-pentadekanın ise en düşük difüzlendiğini ortaya koymuşlardır.

Haghighat ve Popa (2003) uçucu organik bileşik karışımlarının bazı yapı malzemelerindeki adsorpsiyon/desorpsiyon özelliklerini paslanmaz çelikten oluşan bir kamara kullanarak etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada yapı malzemesi olarak;

boya ve boyanmış alçı levha, uçucu organik bileşik olarak ise; perkloretilen, toluen, izopropilalkol, etilasetat, metiletilketon ve sikloheksan kullanmışlardır. Yapı malzemelerindeki adsorpsiyonu belirlemede kullanılan tüm uçucu organik bileşiklerde en yüksek adsorpsiyonun boyanmış alçı levhada, uçucu organik bileşik olarak en yüksek perkloretilende en düşük metiletilketonda adsorplandığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca her iki yapı malzemesinde uçucu organik bileşiklerin buhar basınçları arttıkça adsorpsiyonlarının azaldığını da gözlemlemişlerdir.

Elkilani ve ark. (2003) uçucu organik bileşiklerin akrilik halıdaki adsorpsiyon ve desorpsiyon kinetiği ile adsorpsiyon izotermelerini termogravimetrik analiz cihazı ve bir model test kamarası kullanarak incelemişlerdir. 25-45°C sıcaklık aralığında yapılan çalışmalar sonucunda her iki sistemden elde ettikleri verilerin birbiriyle uyumlu olduğunu gözlemlemişlerdir.

Luo ve Niu (2006) yaptıkları çalışmada emisyon hücresi (FLEC) kullanarak çimentoda uçucu organik bileşiklerin difüzyon ve dağılım katsayılarını belirlemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada sekiz uçucu organik bileşik (Etanol, aseton, toluen, etilbenzen, etilasetat, stiren, ksilen ve dekan) kullanmışlardır. Bu çalışmada UOB'lerin çimento örneklerindeki difüzyon katsayılarının $0.48-3.05 \times 10^{-10}$ (m²/s), dağılım katsayıların da 200-2000 arasında değiştiği ortaya konulmuştur. Ayrıca difüzyon sabitinin genellikle uçucu organik bileşiklerin molekül ağırlığı azaldıkça arttığı gözlenmiştir.

Katsoyiannis ve ark. (2012) beş farklı çimento ve beş farklı kireç taşı esaslı yapı malzemesi kullanarak uçucu organik bileşenlerin emisyonunu bir kamara içerisinde incelemişlerdir. Uçucu organik bileşiklerin yapı malzemesindeki difüzyonunun gözeneklilik ve gözenek boyutuyla hızlı bir şekilde dengeye ulaştığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca uçucu organik bileşik cinsinin ve yapısının da uçucu organik bileşik difüzyonunda önemli bir rol oynadığını belirlemişlerdir.

Uçucu organik bileşiklerin çeşitli yapı malzemelerindeki adsorpsiyon ve difüzyonunda nem etkisiyle ilgili literatürde çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Zhang ve ark. (2002) uçucu organik bileşiklerin difüzyon ve adsorpsiyonunda nemin etkisini bir difüzyon kamarası kullanarak incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada etilbenzen, benzaldehit, dekan gibi uçucu organik bileşikler kullanmışlardır. %25, %50 ve %80 relatif nem oranlarında yapılan çalışmalarda boyanmış duvarda nem oranı arttıkça kullanılan bütün organik bileşiklerin adsorpsiyonun arttığını, tavan kaplaması için birçok organik bileşenin

adsorpsiyonun arttığını ancak dodekan için azaldığını, halı için ise sadece 1,4-diklorbenzen için nem oranıyla hafifçe arttığını gözlemlemişlerdir.

Huang ve ark. (2006) uçucu organik bileşiklerin tavan döşeme malzemesi ile yaptıkları çalışmada beş farklı uçucu organik bileşiğin (sikloheksan, toluen, etilasetat, izopropilalkol ve metanol) dağılım katsayısını ölçmüşlerdir. Nem oranının dağılım katsayısı üzerine önemli bir etkisinin olmadığını ortaya koymuşlardır.

Xu ve Zhang (2011) bir difüzyon kamarası kullanarak uçucu organik bileşiklerin difüzyon ve adsorpsiyonunda nemin etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada suda çözünen uçucu organik bileşik olarak formaldehit ve suda çözünmeyen uçucu organik bileşik olarak ta toluen kullanmışlardır. %25, %50 ve %80 relatif nem oranlarında yapılan çalışmalarda nem oranının etkin difüzyon katsayısı üzerine çok az etkisinin olduğu ancak dağılım katsayısı üzerine kayda değer bir etkisinin olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ayrıca uçucu organik bileşiklerin yapı malzemelerindeki adsorpsiyon ve difüzyonu üzerine bazı matematiksel modeller geliştirilmiştir. Yang ve ark. (2001) Yapı malzemeleri üzerinde uçucu organik bileşiklerin sorpsiyonunu simüle etmek için bir kütle transfer modeli geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu model çalışmasında üç uçucu organik bileşik (etilbenzen, benzaldehit ve dodekan), yapı malzemesi olarak alçı levha kullanmışlardır. Kullandıkları evsel yapı malzemesi üzerinde uçucu organik bileşiklerin difüzyon sabiti ve dağılım katsayısını belirlemek için geliştirdikleri bu modelde difüzyon sabitinin en yüksek benzaldehit en düşük dodekanın olduğunu, dağılım katsayısının da en yüksek etilbenzen en düşük dodekanın olduğunu gözlemlemişlerdir.

Yang ve ark. (2009) Gözenekli yapı malzemelerinde difüzyon sabiti ve sıcaklık arasında yeni bir korelasyon üzerine bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları bu çalışmada uçucu organik bileşik olarak formaldehit, yapı malzemesi olarak sunta, vinil kaplama ve tahta kullanmışlardır. Kullanılan yapı malzemelerinde formaldehit difüzyonunun en yüksek suntada, en düşük vinil kaplamada olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca sıcaklık arttıkça difüzyon sabitlerinin arttığını da gözlemlemişlerdir. Böylece difüzyon sabiti ve dağılım katsayısının sıcaklıkla güçlü bir şekilde etki edebileceğini ortaya koymuşlardır.

4. GÖZENEKLİ ORTAMLARDA ETKİN DİFÜZYON KATSAYISI VE ADSORPSİYON DENGİ SABİTİNİN DENEYSEL TAYİN METOTLARI

4.1. Gözenekli Ortamlarda Gazların Etkin Difüzyonu

Gözenekli bir katıda akının, boşluk kesit alanına dayalı olarak ölçülmesi oldukça zordur. Akı ifadeleri toplam kesit alanı cinsinden verilmelidir. Toplam kesit alanına dayalı akıya etkin akı, difüzyon katsayısına da etkin difüzyon katsayısı denir (Pekediz, 1988). Boşluk kesit alanına dayalı akıyı toplam akıya dönüştürmek için geliştirilen modellerden en çok kullanılanlar aşağıda verilmiştir (Smith, 1983):

- Paralel gözenek modeli
- Gözenek dağılım modeli
- Tozlu (Dusty) gaz modeli

Paralel gözenek modelinde gözenekler birbirine paralel ve eşit çaplı kapiler şeklindedir. Gözenek dağılımı modelinde düzenli gözenek dağılımına sahip katılar incelenmiştir. Dusty gaz modeli katı partiküllerin gaz fazı çoklu karışım yaptıkları kabul edilmiştir. Paralel gözenek dağılımına göre etkin akı aşağıdaki gibidir.

$$N_{Ae} = N_A \frac{\varepsilon}{\tau} \quad (4.1)$$

Burada;

ε : gözeneklilik

τ : bükümlülük faktörü

Etkin difüzyon katsayısı;

$$D_e = D_T \frac{\varepsilon}{\tau} = \frac{\frac{\varepsilon}{\tau}}{\left(\frac{1 - \alpha y_A}{D_{AB}} + \frac{1}{D_{KA}} \right)} \quad (4.2)$$

şeklindedir.

Gözenekli ortamlarda etkin difüzyon ve adsorpsiyon katsayılarının belirlenmesi üzerine birçok teorik ve deneysel araştırma mevcuttur. Gazların gözenekli ortamlarda taşınımı genellikle yığın, Knudsen, yüzey difüzyonu viskoz akış proseslerini içerir. Ayrıca gözeneklerin yüzeylerinde adsorpsiyon olayının gerçekleşmesi ve gözenek yapısına bağlı olarak karşılıklı etkileşimlerle olay daha da karmaşık hal alır. Gözenek dağılımının kesin bir modeli bulunmadığı durumda, taşınım mekanizmalarının karmaşıklığına neden olmasından dolayı, bazı deneysel teknikler geliştirilmiştir. Bu tekniklerle taşınım mekanizmaları ve bunlarla ilgili parametrelerin difüzyon ve adsorpsiyon katsayıları üzerine etkilerini tespit etmek mümkün hale gelmiştir. Yaygın olarak kullanılan deneysel metotlar şunlardır (Park ve ark.,1996):

- 1) Kromatografik metot (gaz kromatografisi ile, GC)
- 2) Kararlı hal difüzyon hücresi metodu (DC)
- 3) Kararsız hal difüzyon hücresi metodu (DC)
- 4) Gravimetrik metot (TGA)
- 5) Sıfır boyutlu kolon (ZLC)
- 6) Diferansiyel adsorpsiyon yatak (DAB)

Gözenekli ortamlarda gazların etkin difüzyon katsayısı ve adsorpsiyon denge sabitinin deneysel olarak tayini, daha çok kararlı hal ve kararsız hal (dinamik) teknikleri ile gerçekleştirilir (Smith, 1983; Park ve ark.,1996).

4.2. Kararlı Hal Metotları

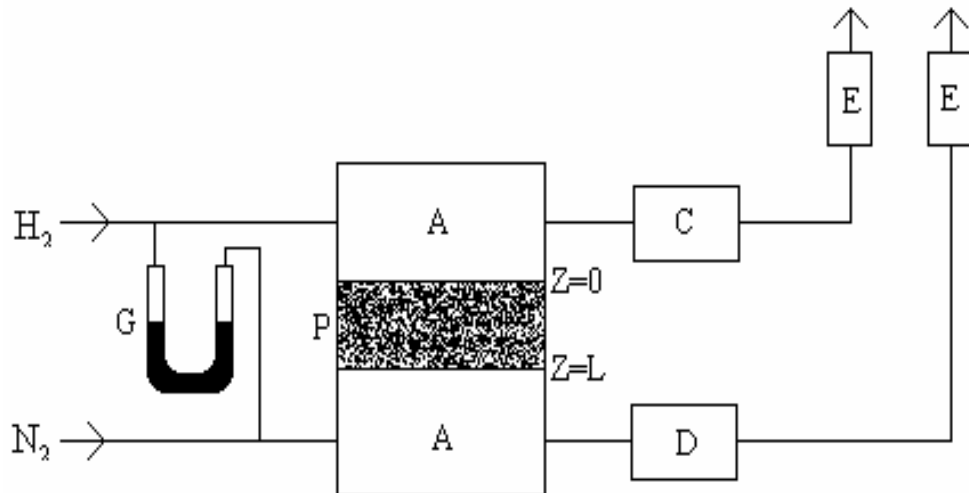
Bu metotta Wicke-Kallenbach tipi bir difüzyon/adsorpsiyon hücresi kullanılır. Bu yöntemde gerçekleştirilen işlem sırası şöyledir:

- Difüzyon/adsorpsiyon hücresine tek veya paralel halde birkaç pelet yerleştirilerek her iki yüzey de sabit gaz akımına maruz bırakılır,
- Pelet içerisine nüfuz eden bileşenlerin konsantrasyonu peletin her iki tarafında da ölçülür,
- Bu ölçümlerden faydalananarak bileşenlerin kararlı hal akıları hesaplanır,
- Daha sonra bilinen akı konsantrasyon itici gücü ve pelet boyu hesaba katılarak difüzyon katsayısı ve adsorpsiyon denge sabiti hesaplanır.

Kararlı Hal Difüzyon/Adsorpsiyon Hücresi metodu ile ilgili avantaj, dezavantaj ve sınırlamalar Tablo 4.1’de verilmiştir (Park ve ark.,1996). Kararlı hal metodu Şekil 4.1’de gösterilmiştir (Smith, 1983; McCabe ve Smith, 1985).

Tablo 4.1. Kararlı hal metodunun avantaj, dezavantaj ve sınırlamaları

Avantajlar	Dezavantajlar	Sınırlamalar
1. Eksenel dispersiyon, gaz akışkan dispersiyonu, gaz-katı kütle transferi ve partikül içi viskoz akış etkileri elimine edilebilir, 2. Etkin difüzyon katsayısı, D_e, direkt olarak ölçülebilir, 3. Isı transfer etkileri elimine edilebilir.	1. Uzun zaman gerektirir, 2. Gözenek ölü noktalarına ulaşmak zordur, 3. Eş yönlü olmayan katılarda yanıltıcı değerler elde edilebilir, 4. İki dağılımlı katılarda hatalı değerler elde edilebilir.	1. Yalnız makrogözenek difüzyon katsayılarının ölçümünde kullanılır, 2. Pelet boyu yeterince küçültülemez, aksi halde montaj ve sızdırma sorunları doğar, 3. Sızdırma problemleri nedeniyle yüksek sıcaklık ve basınçlarda ölçümlere uygun değildir.



Şekil 4.1. Kararlı Hal WK-DC: A-Karıştırma kamaraları, C-H₂ akımındaki N₂'un bileşimini tayin etmek için dedektör, D-N₂ akımındaki H₂ bileşimini tayin etmek için dedektör, E-Akış ölçer, P-Pelet, G-Basınç ayarlayıcı

Bu difüzyon/adsorpsiyon hücresi için genel kütle dengesi ifadesi,

$$\left[\begin{array}{c} \text{A bileşenin} \\ \text{Birikim Hızı} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Eksenel ve radyal yönde} \\ \text{A' nın moleküler} \\ \text{Taşınım Hızı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Eksenel ve radyal yönde} \\ \text{A' nın Konveksiyonla} \\ \text{Taşınım Hızı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Adsorpsiyonla} \\ \text{A' nın yüzeyde} \\ \text{Oluşum Hızı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Kimyasal Reaksiyon} \\ \text{ile A'nın üretim veya} \\ \text{Tüketim Hızı} \end{array} \right]$$

şeklindedir. Bu ifade matematiksel formda gösterilirse aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\varepsilon_A \frac{\partial C_A}{\partial t} = D_A \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} - U \frac{\partial C_A}{\partial z} - \frac{3(1-\varepsilon_A)}{R} D_i \left(\frac{\partial C_i}{\partial r} \right)_{r=R_p} - \delta_A K_S C_A \quad (4.3)$$

$$\frac{\partial C_{\mu A}}{\partial t} = k \delta_A S_A \left(C_A - \frac{C_{\mu A}}{\delta_A S_A K_i} \right) \quad (4.4)$$

Partikül içi taşınım hızı U, Darcy kanunuyla aşağıdaki biçimde verilebilir;

$$U = \frac{B}{\mu} \left(-\frac{\partial P}{\partial z} \right) \quad (4.5)$$

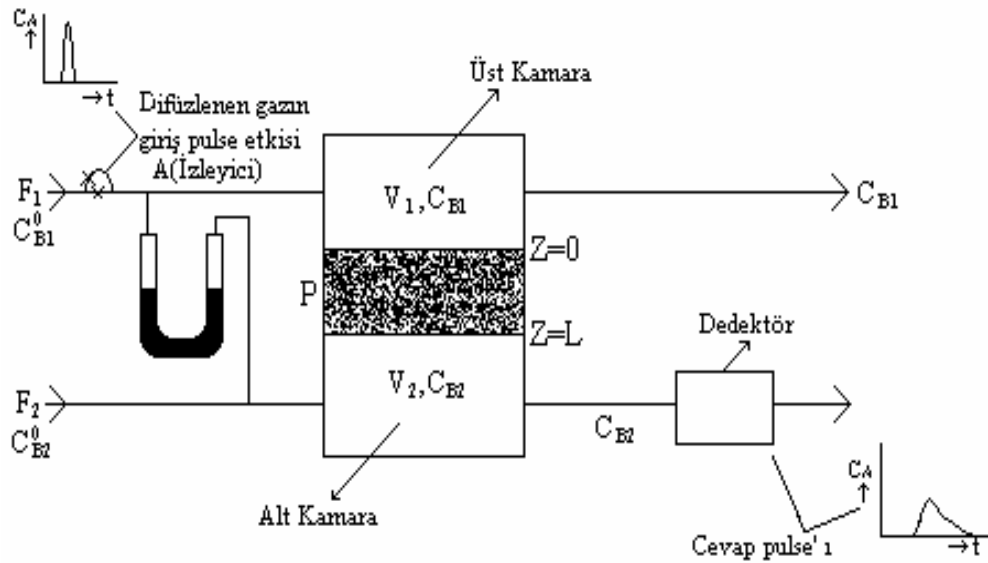
Burada; B etkin darcy parametresi olup işletme şartları ve gazın türüne bağlıdır. μ gazın viskozitesi, P ise gazın basıncıdır.

4.3. Kararsız Hal (Dinamik) Metotları

Tablo 4.1’de belirtildiği gibi kararlı hal difüzyon/adsorpsiyon hücresi tekniği çeşitli dezavantajlara sahip olduğundan, deneysel olarak difüzyon ve adsorpsiyon katsayılarının ölçümü için kararsız hal teknikleri geliştirilmiştir. Bu tekniklerle tek ve ikili dağılımlı katılarda, etkin difüzyon katsayısı, pelet içi adsorpsiyon hız ve denge sabitleri ve reaksiyon hız sabitleri gibi parametreler hızlı ve güvenilir bir biçimde ölçülebilmektedir. Kararsız hal yönteminin uygulama yönünden avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Difüzenen madde pulse şeklinde verildiğinden az miktarda izleyici madde harcanmaktadır.
- Az sayıda ölçüm cihazına ihtiyaç duyulur.
- Az sayıda deneyle birden fazla parametre hesaplanabilir.
- Difüzenen madde ortamda seyreltik olduğundan etkin difüzyon katsayısının konsantrasyona bağımlılığı ihmal edilebilecek düzeyde olmaktadır.
- Kapalı gözeneklerin etkisi rahatlıkla tayin edilebildiğinden daha güvenilir bükümlülük faktörü hesaplanır.

Dinamik yöntem Şekil 4.2’de görülmektedir. Bu yöntemde teori eşitliklerin çözümü ve moment ifadelerinin bulunması için Laplace alanındaki çözümler yeterlidir. Fakat Laplace çözümü için denklemlerin lineer olması gerekmektedir. Yöntem için bu bir dezavantajdır. Lineer olmayan adsorpsiyon sistemi için Doğu ve ark. tarafından iteratif bir yöntemle moment denklemlerinin çıkarıldığı ifade edilmektedir (Doğu ve Smith, 1975; 1976; Pekediz, 1988; Cabbar ve ark., 1994; Doğu ve ark., 1993; 1996; Yaşyerli ve ark., 1999).



Şekil 4.2. Kararsız-hal WK-DC

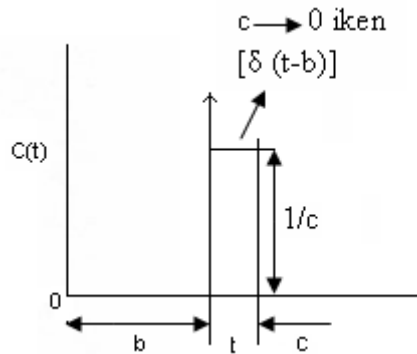
4.3.1. Moment Tekniği

Kimya Mühendisliğinde parametre hesabının ana metotları, zaman alanı dönüşümü, Laplace alanı dönüşümü, moment tekniği ve Fourier alanı dönüşümüdür. Zaman alanı dışındaki tüm metotlar lineer proseslerle sınırlıdır. Bu alanlar çalışılan proseslerin tipinde ve deneysel şartlarda birtakım kısıtlamalar getirir. Moment tekniği matematiksel kolaylığından ötürü taşınım parametrelerinin hesabında en çok kullanılan metottur (Missen, 1999).

4.3.1.1. Uyarı-Cevap Tekniği

Bir sabit yatakta akışkan faz içerisine giren ve çıkan maddenin (izleyici) reaktördeki alıkonma süresinin deneysel olarak ölçümü genellikle uyarı-cevap tekniği ile gerçekleştirilir. İzleyici deneysel olarak giriş akımına enjekte edilir ve çıkıştaki konsantrasyonu takip edilir. Enjekte edilen izleyici uyarı veya sinyal, çıkışta algılanan sonuç ise cevaptır. İdeal olarak sinyal iyi tanımlanmalı ve akış yolu çok fazla dağıtılmamalıdır. Esasen, izleyiciye göre lineer cevap sağlayan tüm cevaplar kullanılır. Bu şart genellikle izleyicinin konsantrasyon değişimi çok büyük değilse geçerlidir. Relatif olarak iyi tanımlanan iki tip uyarı vardır. Bunlar: Pulse veya Dirac sinyali ve Basamak etki değişim etkileridir.

Pulse girişı belirli miktarda izleyicinin hızlı bir şekilde enjeksiyonudur. Böyle bir fonksiyon Şekil 4.3' te verilmiştir. Bir sabit yatakta A izleyicisinin Pulse girişı (t_0 'da $C_{A\text{giriş}}$) ve bu etkiye karşı verilen cevap (t 'de $C_{A\text{çıkış}}$) sırası ile Şekil 4.4(a) ve (b)'de gösterilmiştir. Basamak etki ise izleyici konsantrasyonunun ani olarak başlangıç temel seviyesinden ikinci bir seviyeye değişimidir.



Şekil 4.3. Pulse fonksiyonunun şekli

t_0 'daki birim pulse $\delta(t-t_0) \equiv \delta(t)$ delta fonksiyonu ile temsil edilir. Böyle bir fonksiyonun alanı,

$$\int_0^{\infty} \delta(t) dt \quad (4.6)$$

şeklindedir.

$$t = b' de \quad \delta(t-b) = \lim_{c \rightarrow 0} [c(t)] = \infty \quad (4.7)$$

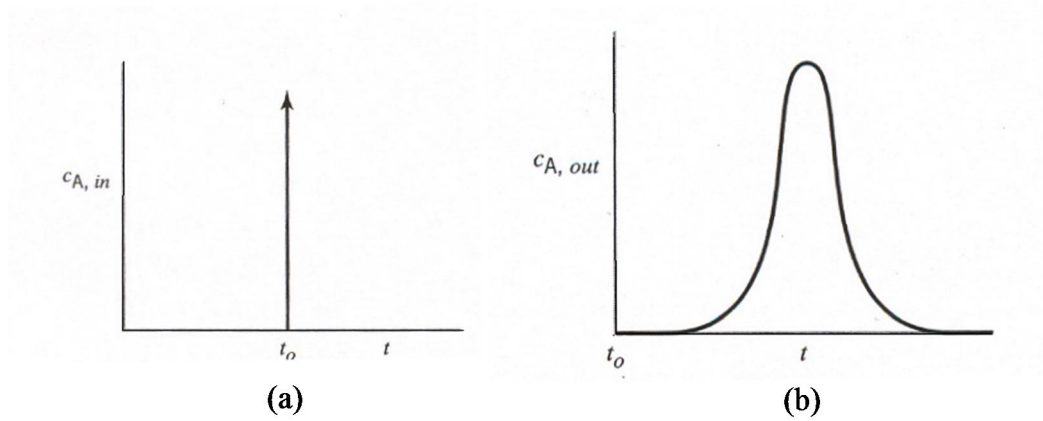
$$t \neq b' de \quad \delta(t-b) = \lim_{c \rightarrow 0} [c(t)] = 0 \quad (4.8)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t-b) dt = 1 \quad (4.9)$$

İzleyicinin keyfi bir miktarının pulse'ı için

$$\left(\frac{m_0}{q_0} \right) \delta(t) \equiv CA_{giriş} \quad (4.10)$$

yazılabilir.



Şekil 4.4. Bir A izleyicisi için Pulse uyarısı (a) ve buna verilen cevap (b)

Burada q_0 akışkanın kararlı hal akış hızıdır. Pulse'ın alanı ise;

$$\int_0^{\infty} C_{A_{giriş}} dt = \int_0^{\infty} \left(\frac{m_0}{q_0} \right) \delta(t) dt = \frac{m_0}{q_0} \quad (4.11)$$

olur. Böylece;

$$\frac{m_0}{q_0} = \int_0^{\infty} C_{A_{çıkış}}(t) dt \quad (4.12)$$

olur. m_0 özgül kütle ise C_A özgül kütle konsantrasyonu olur. m_0 yerine n_0 mol sayısı yazılırsa, C_A molar konsantrasyon olur. Diğer uygun birimler de kullanılabilir.

Pulse etkisinin kullanımı; ihtiyaç duyulan izleyici miktarının küçük olması (buna bağlı olarak maliyet daha düşük ve kullanılan kirletici az olur) ve proses işletimi üzerine genelde küçük bir etki içermesi gibi avantajların yanında, kusursuz bir pulse etkisi oluşturma zorluğu (girişe göre cevapla ilgili yorumlama zor olabilir) ve Eşit. 4.12'ye göre izleyici üzerine kütle dengesini tam olarak kurma zorluğu gibi dezavantajlara sahiptir.

4.3.1.2. İzleyici Seçimi

Bir sabit yatakta ortalama kalış süresinin tam olarak belirlenebilmesi, izleyicinin kendisine ve giriş şekline bağlıdır. İdeal olarak bir izleyici aşağıdaki özellikleri taşımalıdır:

- ✓ Girişe göre çıkışla ilgili olarak kütle dengesi kurulabilmesi için izleyici kararlı ve korunabilir olmalıdır,
- ✓ İzleyici için analizler uygun, hassas ve tekrarlanabilir olmalıdır,
- ✓ İzleyici pahalı olmamalı ve kolay bulunabilir olmalıdır. Bu özellikle basamak etki durumunda önemlidir. Çünkü bu durumda izleyicinin büyük miktarlarına ihtiyaç duyulabilir.
- ✓ İzleyici sabit yatak duvarının yüzeyi ile reaksiyona girmemeli veya adsorplanmamalıdır. Alternatif olarak izleyici fiziksel ve kimyasal olarak akışkan akımına benzer olmalıdır. Böylece adsorpsiyon veya difüzyon davranışı matematiksel olarak türetilir.

İzleyicilere örnekler:

1. Termal iletkenlik dedektörleri ile (TCD) kullanılan He, Ne ve Ar gibi gaz-faz izleyicileri,
2. Fenol kırmızısı ve metilen mavisi gibi pH indikatörleri,
3. Elektriksel iletkenlik dedektörleri veya spesifik iyon elektrotları ile kullanılan K^+ ve Na^+ gibi elektrolitler,
4. Renk şiddeti ile kullanılan boyalar (örneğin Hint mürekkebi),
5. Hepatik kan akışı araştırmalarında kullanılan kırmızı kan hücreleri olarak bilinen 3H , ^{14}C , ^{18}O , ^{51}Cr gibi radyoaktif izotoplarla kalp kan akışı araştırmalarında kullanılan İyot, Talyum ve Teknetyum gibi radyoaktif izotoplar,
6. Difüzyon sınırı proseslerde kullanılan stereo izomerler ve yapısal analoglar (örneğin biyolojik sistemlerde d-glikoza karşı l-glikoz).

4.3.1.3. Momentler

Sürekli bir $C(t)$ dağılım fonksiyonu için n. dereceden başlangıç momenti aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

$$m_n = (-1)^n \lim_{s \rightarrow 0} \frac{d^n \bar{C}}{ds^n} = \int_0^\infty t^n C(t) dt \quad (4.13)$$

$n=0$ ' da dağılım eğrisinin altında kalan alan olan sıfırıncı moment ise şöyledir:

$$m_0 = \int_0^\infty C(t) dt = 1 \quad (4.14)$$

$n=1$ ise;

$$m_1 = \int_0^\infty t C(t) dt \quad (4.15)$$

n=2 ise;

$$m_2 = \int_0^{\infty} t^2 C(t) dt \quad (4.16)$$

Sabit yatakta ortalama kalış süresini temsil eden birinci mutlak moment (μ_1 veya $\bar{t}$)

$$\mu_1 = \frac{m_1}{m_0} = \frac{\int_0^{\infty} C(t) t dt}{\int_0^{\infty} C(t) dt} \quad (4.17)$$

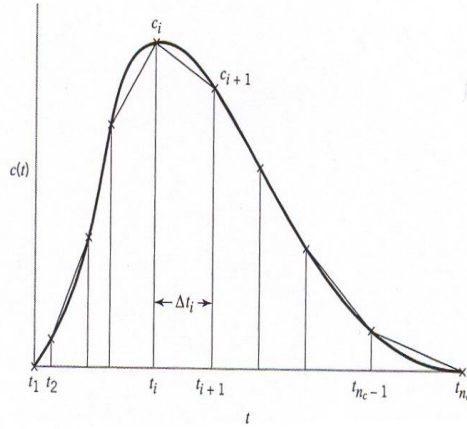
eşitliği ile ifade edilir. İkinci merkezi moment veya varyans ise aşağıdaki eşitlikle verilir.

$$\mu_2 = \frac{m_2}{m_0} - \left(\frac{m_1}{m_0} \right)^2 = \frac{\int_0^{\infty} C(t) (t - \mu_1)^2 dt}{\int_0^{\infty} C(t) t dt} \quad (4.18)$$

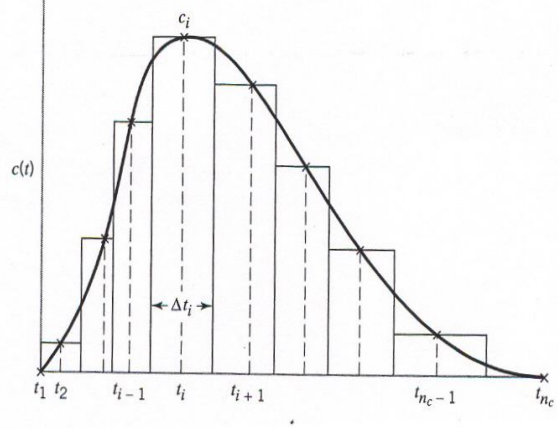
Eşit. 4.13 denklemine göre, sağ tarafının zaman alanında sol tarafının ise Laplace alanında olduğu görülür. Buradan hareketle fiziksel sistemin matematiksel modeli kurulur ve Laplace alanına aktarılır. Öte taraftan sistemde deneysel çalışmalar sonucu elde edilen ve zaman alanında bulunan dağılım eğrilerinin nümerik yöntemlerle analizi yapılabilir. İki sonuç birbirine eşit olduğundan tekrar zaman alanına dönmeye gerek kalmadan aranan parametreler hesaplanabilir (Doğu ve Smith, 1975; 1976).

4.3.1.4. Pulse Cevabı İçin Alan Hesabı Analizi

C(t) için her bir eşitlikteki integral formu sürekli cevap için kullanılır ve küçük parçalara ayrılmış cevap değerleri toplanarak integral hesaplanır. Eşit. 4.17-18'deki μ_1 ve μ_2 izleyici için elde edilen deneysel verilerden gereken integrallerin, yani eğriler altında kalan alanların hesaplanmasıyla bulunur. Belirli aralıklarla elde edilen verilere uygulanan ve çok kullanılan iki metotla eğrilerin altında kalan alan hesabı Histogram Yamuk metotlarıyla yapılır. Bu metotlar için temsili şekil Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Histogram metodu



Yamuk metodu

Şekil 4.5. Histogram ve yamuk metotlarının şekli

Histogram metodunda alan;

$$ALAN = \sum_{i=1}^{n_i} C_i(t) \Delta t \quad (4.19)$$

ile hesaplanır.

Burada Δt_i zaman aralıklarıdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\Delta t_1 = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (i=1) \quad (4.20)$$

$$\Delta t_i = \frac{(t_{i+1} - t_i) + (t_i - t_{i-1})}{2} = \frac{t_{i+1} - t_{i-1}}{2} \quad (i = 2 - n_c - 1) \quad (4.21)$$

$$\Delta t_{n_c} = t_{n_c} - t_{n_c-1} \quad (i=n_c) \quad (4.22)$$

Yamuk formülünde ise alan;

$$Alan = \sum_{i=1}^{n_c-1} C_i(t)_{ort} \Delta t_i = \sum_{i=1}^{n_c-1} \left(\frac{C_i + C_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i) \quad (4.23)$$

formülüyle hesaplanır (Missen, 1999).

5. UÇUCU ORGANİK BİLEŞİKLERİN GÖZENEKLİ ORTAMLARDA DİFÜZYON VE ADSORPSİYONUNUN MODELLENMESİ

Bu çalışmada kullanılan bir taraflı tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresi etrafında izleyici için yatışkın olmayan durumda yapılan kütle dengesi sonucu elde edilen kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü konsantrasyonun hem zaman hem de pelet boyunca değişimi nedeniyle oldukça zordur. Ancak moment tekniğinin kullanımıyla bu denklemlerin Laplace alanında çözümleri bulunarak, taşınım parametrelerinin bulunması mümkün olur.

5.1. Genel Moment İfadesi

Moment teorisi literatürde detaylı olarak verilmiştir (Uyanık, 1977). Herhangi bir n . dereceden genel moment ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$m_n = \int_0^{\infty} t^n C_A(t) dt = (-1)^n \lim_{s \rightarrow 0} \frac{d^n \overline{C_A}}{ds^n} \quad (5.1)$$

Bu eşitlikten yararlanarak izleyici miktarı yani cevap pikinin alanını veren sıfırıncı moment şu şekilde ifade edilebilir:

$$m_0 = \int_0^{\infty} C_A(t) dt \quad (5.2)$$

Birinci moment;

$$m_1 = \int_0^{\infty} t C_A(t) dt \quad (5.3)$$

ortalama alıkonma süresi olarak tanımlanan birinci mutlak moment, μ_1 :

$$\mu_1 = \frac{m_1}{m_0} = \frac{\int_0^{\infty} t C_A(t) dt}{\int_0^{\infty} C_A(t) dt} \quad (5.4)$$

İkinci merkezi mutlak moment (varyans), μ_2 , aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\mu_2 = \frac{m_2}{m_1} - \left(\frac{m_1}{m_0}\right)^2 = \frac{\int_0^{\infty} C_A(t - \mu_1)^2 dt}{\int_0^{\infty} C_A(t) dt} \quad (5.5)$$

Konsantrasyonun Laplace alanındaki çözümü ise aşağıdaki eşitlikle verilebilir:

$$\overline{C_A}(s) = \int_0^{\infty} C_A e^{-st} dt \quad (5.6)$$

Laplace alanındaki bu fonksiyonun moment ifadelerini bulmak için n. derecen türev alındıktan sonra s'nin sıfıra yaklaştığı durum için limit alınması gerekir.

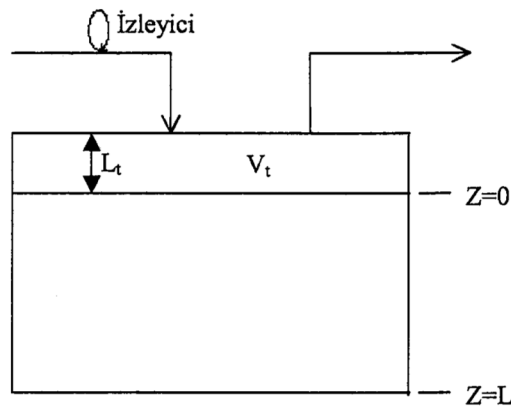
5.2. Sonlu Bir Pelet İçin Moment İfadeleri

Şekil 5.1' de gösterilen bir taraflı tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresinde sonlu pelet için elde edilecek matematiksel ifadeler, hücrenin üst bölümünde tam bir karışmanın olduğu varsayımı yapılarak türetilmiştir.

Gözenekli pelet içerisinde izleyici için kütlenin korunumu aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\varepsilon_p \frac{\partial C_i}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} - \rho_p N_i \quad (5.7)$$

Burada C_i izleyicinin pelet içerisindeki konsantrasyonu, D_e etkin difüzyon katsayısı, ε_p pelet gözenekliliği, ρ_p pelet yoğunluğu ve N_i izleyicinin katı yüzeyine adsorplanma hızıdır.



Şekil 5.1. Bir taraflı tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresi

Eşit. (5.7)'nin sol tarafındaki terim izleyicinin birikim hızını, sağ tarafındaki ilk terim izleyicinin eksenel yönde moleküler difüzyonla taşınım hızını ve ikinci terim ise izleyicinin adsorplanma hızını ifade etmektedir. Yukarıdaki ifadelerin tümü lineer adsorpsiyonun (seyreltik karışımlar durumunda) söz konusu olduğu durum için geçerlidir (Doğu ve Smith, 1976). Tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresinin üzerindeki boşlukta izleyici için kütlenin korunumu eşitliği ise şu şekilde yazılabilir:

$$-FC_A + D_e \left(\frac{\partial C_i}{\partial z} \right)_{z=0} A = V_t \frac{dC_A}{dt} \quad (5.8)$$

Burada F taşıyıcı gaz akış hızı, C_A izleyicinin üst bölmesindeki konsantrasyonu, A peletin kesit alanı, V_t üst bölme hacmidir. Sonlu uzunluktaki pelet için başlangıç ve sınır şartları;

$$t=0 \quad ; \quad C_i=0 \quad (5.9)$$

$$z=0 \quad ; \quad C_i=C_A \quad (5.10)$$

$$z=L \quad ; \quad \frac{\partial C_i}{\partial z} = 0 \quad (5.11)$$

$$t=0 \quad ; \quad C_A=C_0 \quad (5.12)$$

şeklindedir. Burada C_0 izleyicinin üst bölmedeki başlangıç konsantrasyonudur. Eşit. 5.8 deki C_A 'nın Laplace alanındaki çözümü şu şekildedir:

$$\bar{C}_A = \frac{C_0 \tau}{s\tau + 1} + \left(\frac{D_e A}{F} \right) \left(\frac{1}{s\tau + 1} \right) \frac{d\bar{C}_i}{dz} \Big|_{z=0} \quad (5.13)$$

Eşit. 5.7'nin Laplace alanındaki çözümünden $\bar{C}_i$ ifadesi bulunur.

$$\bar{C}_i = -\bar{C}_A \frac{\sinh mL}{\cosh hL} \sinh mz + \bar{C}_A \cosh mz \quad (5.14)$$

Elde edilen bu eşitlik uygun formatta Eşit. 5.13'te yerine konarak $\bar{C}_A$ için aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\bar{C}_A = \frac{C_0 \tau}{(D_e A / FL)(mL) \tanh(mL) + s\tau + 1} \quad (5.15)$$

Burada m farklı adsorpsiyon mekanizmaları için Tablo 5.1' de verilmiştir. τ ise difüzyon/adsorpsiyon hücresinin üstündeki boşluktan geçiş süresidir ve şu şekilde verilebilir:

$$\tau = \frac{V_t}{F} \quad (5.16)$$

Yukarıda bahsedilen moment tariflerinde elde edilen $\bar{C}_A$ değeri yerine konulup gerekli matematiksel işlemler yapılarak, denge adsorpsiyonu, tersinir adsorpsiyon, tersinmez adsorpsiyon ve inert izleyici için ortalama kalış süresi ve varyans ifadeleri elde edilir.

5.2.1. Denge Adsorpsiyonu İçin Momentler

Genel moment ifadesi tanımı ve Tablo 5.1 kullanılarak denge adsorpsiyonu için birinci mutlak moment ve ikinci merkezi moment ifadeleri elde edilebilir.

$$m_0 = C_0 \tau \quad (5.17)$$

$$\mu_1 = \frac{m_1}{m_0} = \tau + \frac{AL}{F} (\epsilon_p + \rho_p K_i) \quad (5.18)$$

$$\mu_2 = \frac{m_2}{m_0} - \mu_1^2 = \left[\tau + \left(\frac{AL}{F} \right) (\epsilon_p + \rho_p K_i) \right]^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{AL^3}{FD_e} \right) (\epsilon_p + \rho_p K_i)^2 \quad (5.19)$$

Eşit. 5.18 de bilinmeyen tek parametre adsorpsiyon katsayısıdır. Dolayısıyla deneysel veriler ışığında elde edilecek olan birinci mutlak moment ifadesinden ve akış hızından yararlanarak adsorpsiyon katsayısı belirlenebilir. Eşit. 5.19 da ise bilinmeyen parametre difüzyon katsayısıdır. Bu da ikinci merkezi moment verileriyle elde edilir.

Tablo 5.1. Farklı adsorpsiyon mekanizmaları için N_i ve m değerleri (Yaşyerli, 1997)

Adsorpsiyon Mekanizması	N_i	m
Denge adsorpsiyonu	$K_i \frac{\partial C_i}{\partial t}$	$\left[\frac{(\epsilon_p + \rho_p K_i)}{D_e} s \right]^{1/2}$
Tersinir adsorpsiyon	$\frac{\partial n_i}{\partial t} = K_a \left(C_i - \frac{n_i}{K_i} \right)$	$\left[\frac{(\epsilon_p + \rho_p K_i) s + \epsilon_p \left(\frac{K_i}{k_a} \right) s^2}{D_e \left[\left(\frac{K_i}{k_a} \right) s + 1 \right]} \right]^{1/2}$
Tersinmez adsorpsiyon	$K_a C_i$	$\left[\frac{(\rho_p k_a) + \epsilon_p s}{D_e} \right]^{1/2}$
İnert		$\left(\frac{\epsilon_p s}{D_e} \right)^{1/2}$

5.2.2. Tersinir Adsorpsiyon İçin Momentler

Tersinir adsorpsiyonda sıfıncı moment denge adsorpsiyonuyla aynı olup Eşit. 5.17 ile ifade edilir. Diğer momentler için denge adsorpsiyonuna benzer şekilde aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

$$\mu_1 = \frac{m_1}{m_0} = \tau + \frac{AL}{F} (\epsilon_p + \rho_p K_i) \quad (5.20)$$

$$\begin{aligned} \mu_2 = \frac{m_2}{m_0} - \mu_1^2 = & \left\{ 2L\rho_p K_i \frac{K_i}{k_a} A + \frac{2}{3} \left(\frac{AL^3}{D_e} \right) (\epsilon_p + \rho_p K_i)^2 \right\} \left(\frac{1}{F} \right) \\ & + \left[(AL)^2 (\epsilon_p + \rho_p K_i)^2 + 2V_i (AL) (\epsilon_p + \rho_p K_i) \right] \left(\frac{1}{F} \right)^2 \end{aligned} \quad (5.21)$$

Denge adsorpsiyonundaki gibi adsorpsiyon ve difüzyon katsayıları deneysel moment değerleri kullanılarak bulunur. Adsorpsiyon katsayısı ve adsorpsiyon hız sabiti bilinmeyen iki parametredir. Bu iki parametre farklı uzunluktaki iki pelet boyunda çalışılarak bulunabilir.

5.2.3. İneret İzleyici İçin Momentler

Bu durumda herhangi bir adsorpsiyon söz konusu olmayacağından ötürü $K_i=0$ olacaktır. Eşitlikler buna göre düzenlenirse;

$$\mu_1 = \frac{m_1}{m_2} = \tau + \frac{AL}{F} \varepsilon_p \quad (5.22)$$

$$\mu_2 = \frac{m_2}{m_0} - \mu_1^2 = \left[\tau + \left(\frac{AL}{F} \right) \varepsilon_p \right]^2 + \frac{2}{3} \frac{AL}{FD_e} (\varepsilon_p L)^2 \quad (5.23)$$

elde edilir.

5.2.4. Tersinmez Adsorpsiyon İçin Momentler

Tersinmez adsorpsiyon için m_0 ve μ_1 değerleri Tablo 5.1 ve $\bar{C}_A$ ifadeleri esas alınmak suretiyle aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$m_0 = \frac{C_0 \tau}{\left[\left(\frac{D_e A}{FL} \right) (ZL) \tanh(ZL) + 1 \right]} \quad (5.24)$$

$$\mu_1 = \frac{\tau + \frac{\varepsilon_p A}{2FZ} \left[ZL + \tanh(ZL) - (ZL) \tanh^2(ZL) \right]}{1 + \frac{D_e A}{2FL} (ZL) \tanh(ZL)} \quad (5.25)$$

Bu eşitliklerde bulunan Z ifadesi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$Z = \left(\frac{\rho_p k_a}{D_e} \right)^{1/2} \quad (5.26)$$

Literatürde bazı hidrokarbonların kısmen tersinmez olarak belirtilerek bunlar için moment ifadeleri ayrıca türetilmiştir (Yaşyerli, 1997).

5.2.5. Gözenekli Peletin Üzerinin Kapatılması Durumundaki Momentler

Bir önceki bölümde türetilen tüm eşitlikler sistemde bulunan ölü hacim etkilerini de kapsamaktadır. Sadece pelettteki etkiyi ortaya koyabilmek için peletin üzerinin sızdırmaz bir teflonla kapatıldığı durumdaki moment ifadeleri de elde edilmelidir. Sızdırmaz teflonun peletin üzerine yerleştirilmesiyle pelet üstündeki bölmede herhangi bir adsorpsiyon gerçekleşmez (Şekil 5.2). Çok iyi karışmanın sağlandığı varsayımıyla bu bölme bir sürekli karıştırılmalı tank olarak kabul edilir ve matematiksel eşitlikler buna göre düzenlenir. Bu iki durumdaki momentlerin farkı düzeltilmiş moment olarak adlandırılır ve tüm adsorpsiyon tipleri için aşağıdaki ifadeler bulunur. Buna göre; kütle dengesi,

$$-FC_A = V_t \frac{dC_A}{dt} \quad (5.27)$$

şeklinde ifade edilir. Laplace alanında C_A ,

$$\bar{C}_A = \frac{C_0 V_t}{V_t s + F} \quad (5.28)$$

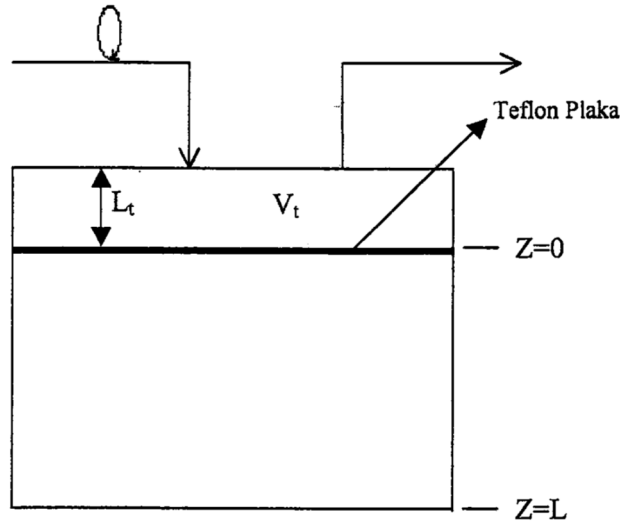
şeklinde tanımlanır. Moment tanımından faydalananarak üst bölme (peletin üstünün kapalı olduğu durumda) için;

$$m_{0t} = C_0 \tau \quad (5.29)$$

$$\mu_{1t} = \tau \quad (5.30)$$

$$\mu_{2t} = \tau^2 \quad (5.31)$$

elde edilir.



Şekil 5.2. Adsorpsiyon hücresindeki pelet üzerinin kapatılmış durumu

Denge adsorpsiyonu için düzeltilmiş momentler aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$m_{0c} = \frac{m_0}{m_{0t}} = 1 \quad (5.32)$$

$$\mu_{1c} = \mu_1 - \mu_{1t} = \frac{AL}{F} (\epsilon_p + \rho_p K_i) \quad (5.33)$$

$$\begin{aligned} \mu_{2c} = \mu_2 - \mu_{2t} = & \left(\frac{AL}{F} \right)^2 (\epsilon_p + \rho_p K_i)^2 + 2\tau \frac{AL}{F} (\epsilon_p + \rho_p K_i) \\ & + \frac{2}{3} \left(\frac{AL^3}{FD_e} \right) (\epsilon_p + \rho_p K_i)^2 \end{aligned} \quad (5.34)$$

Düzeltilmiş ikinci merkezi moment ifadesi tekrar düzenlenirse;

$$\frac{\mu_{2c}}{\mu_{1c}^2} = 1 + \frac{2\tau}{\mu_{1c}} + \left(\frac{2L}{3D_e A} \right) F \quad (5.35)$$

eşitliği elde edilir. Eşit. 5.16, 5.33 ve 5.35' den faydalanarak aşağıdaki yeni denklem elde edilir.

$$\frac{\mu_{2c}}{\mu_{1c}^2} = 1 + \frac{2V_t}{AL(\epsilon_p + \rho_p K_i)} + \left(\frac{2L}{3D_e A} \right) F \quad (5.36)$$

görüldüğü gibi Eşit. 5.36'da $\left(\frac{\mu_{2c}}{\mu_{1c}^2} \right)$, nin akış hızına göre değişimi lineerdir.

İnert izleyici için düzeltilmiş momentler: Sıfıncı moment ifadesi Eşit. 5.32' deki gibidir. Birinci mutlak ve ikinci merkezi moment ifadeleri ise aşağıdaki gibidir.

$$\mu_{1c} = \mu_1 - \mu_{1t} = \frac{AL}{F} \epsilon_p \quad (5.37)$$

$$\mu_{2c} = \mu_2' - \mu_{2t}' = \frac{AL}{F} \epsilon_p \left(\frac{AL}{F} \epsilon_p + 2\tau + \frac{2}{3} \frac{\epsilon_p L^2}{D_e} \right) \quad (5.38)$$

Bu eşitlik tekrar düzenlenirse;

$$\frac{\mu_{2c}}{\mu_{1c}^2} = 1 + \frac{2\tau}{\mu_{1c}} + \left(\frac{2L}{3D_e A} \right) F \quad (5.39)$$

elde edilir.

Tersinir adsorpsiyon için düzeltilmiş momentler: Sıfıncı ve birinci mutlak moment ifadeleri Eşit. 5.32, 5.33' teki gibidir.

Düzeltilmiş ikinci merkezi moment ifadesinin son şekli ise;

$$\frac{\mu_{2c}}{\mu_{1c}^2} = 1 + 2 \frac{\left(\frac{V_t}{AL} \right)}{(\epsilon_p + \rho_p K_i)} - \left(\frac{2L}{3D_e A} + 2 \frac{(\rho_p K_i) \frac{K_i}{K_a}}{(\epsilon_p + \rho_p K_i)^2 AL} \right) F \quad (5.40)$$

olarak tanımlanır. Tersinmez adsorpsiyon için ise;

$$\frac{m_{0t}}{m_0} = \left(\frac{D_e A}{FL} (ZL) \tanh(ZL) + 1 \right) \quad (5.41)$$

$$\frac{1}{\mu_{1c}} = \left(\frac{1}{T} \right) \left[F - \left(\frac{D_e A}{L} \right) (ZL) \tanh(ZL) \right] \quad (5.42)$$

ifadeleri elde edilir. Eşit. 5.42' deki T ise aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

$$T = \left(\frac{LA\epsilon_p}{2} \right) \left[1 - \tanh^2(ZL) + (ZL)^{-1} \tanh(ZL) \right] - \left(\frac{D_e A}{L} \right) \tau(ZL) \tanh(ZL) \quad (5.43)$$

Yukarıda düzeltilmiş moment ifadeleri için türetilen denklemlerde F veya 1/F ile düzeltilmiş birinci ve ikinci merkezi moment ifadeleri lineer olarak değişmektedir. Deneysel olarak elde edilen değerlerle oluşturulacak doğrunun eğim ve kaymalarından faydalanılarak adsorpsiyon ve difüzyon katsayılarını hesaplamak mümkündür. Tersinmez adsorpsiyon durumunda Eşit. 5.41 ve Eşit. 5.42'nin aynı anda çözülmesi gerekir.

6. MATERYAL VE METOD

6.1. Materyal

Deneylerde yapı malzemesi olarak, perlitli sıva alçısı, ısı yalıtım levha sıva alçısı, inşaat alçısı, makine sıva alçısı ve saten perdah alçısı kullanılmıştır. Bu materyaller Elazığ Ar-Alçı firmasından temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda alçı örneklerinden hazırlanan peletler kullanılmıştır. Pelet harçlarının hazırlanması için kullanılan su miktarı oranları Tablo 6.1’de verilmiştir. Deneylerde suda çözünmeyen uçucu organik bileşik olarak toluen (Merck, %99 saflıkta), suda çözünen uçucu organik bileşik olarak metanol (Carlo Erba, %99.9 saflıkta) ve aseton (Reidel, %99 saflıkta) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu organik bileşiklerin bazı fiziksel özellikleri Tablo 6.2’ de verilmiştir.

Tablo 6.1. Deneyde kullanılan yapı malzemeleri ve harç için kullanılan su miktarları

Yapı malzemesi	Kullanılan su miktarı (ml/1000g)
Perlitli Sıva Alçısı	600
Isı Yalıtım Levha Sıva Alçısı	280
İnşaat Alçısı	700
Makine Sıva Alçısı	600
Saten Perdah Alçısı	700

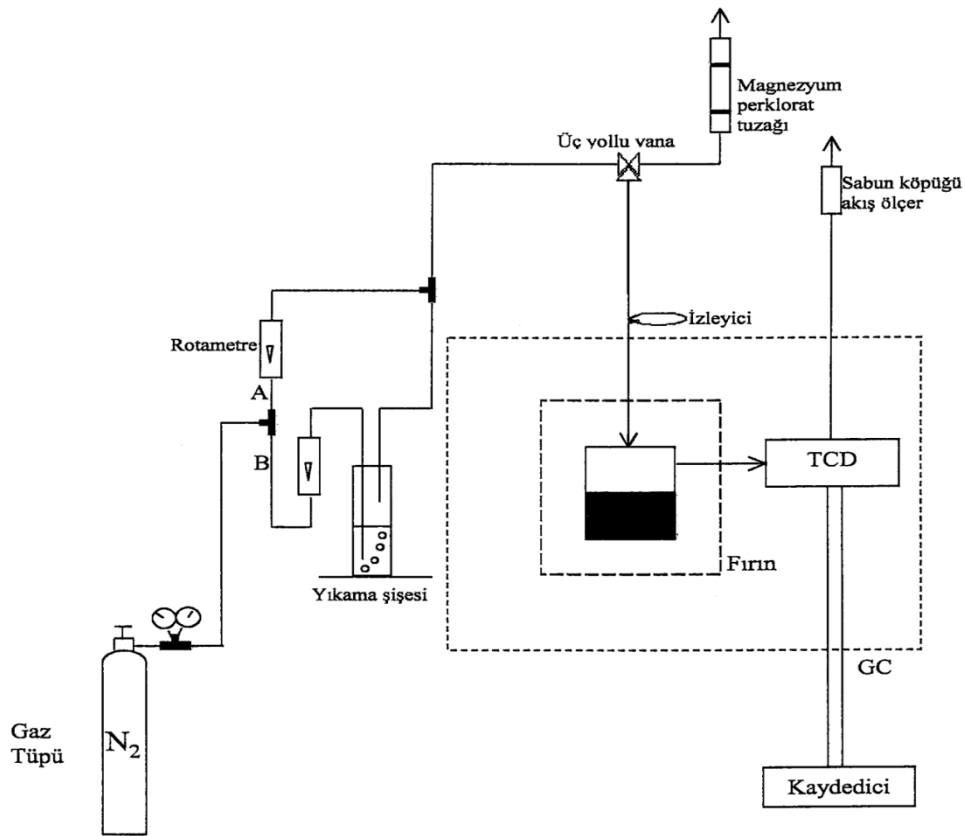
Tablo 6.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan uçucu organik bileşiklerin bazı fiziksel özellikleri (Schefflan, Jacobs, 1973; Lide, 1996)

Bileşik	Molekül Ağırlığı (g/gmol)	Normal donma noktası (°C)	Normal kaynama noktası (°C)	Sıvı yoğunluğu (g/cm ³)	Dipol Moment (debye)	Çözünürlük g/(100g su)	Pitzer’ in Aksentrik Faktörü
Aseton	58.1	-94.6	56.3	0.7898	2.88	∞	0.307
Metanol	32	-97.8	64.65	0.7928	1.70	∞	0.543
Toluen	92.1	-95	110.6	0.8623	0.375	0.047	0.256

6.2. Deney Sistemi ve Deneylerin Yapılışı

Deney sistemi şematik olarak Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Sistemde kullanılan cihaz ve malzemeler genel olarak difüzyon/adsorpsiyon hücresi, gaz kromatografi cihazı (GC), pelet ve pelet hazırlama kalıpları, manometre, akış ölçerler ve bilgisayar destekli kaydedicidir.

Tablo 6.1’de verilen oranlar kullanılarak çalışılan yapı malzemeleri için harçlar hazırlandı. Harçlar daha sonra 0.3 cm uzunlukta, 1.3 cm çapa sahip ve halka şeklindeki Cr-Ni paslanmaz çelik kalıba dökülerek peletler elde edildi. Peletler önce oda şartlarında daha sonra da 40 °C’deki etüvde sabit tartıma getirildi. Sabit tartıma getirilen örnekler pelet hazırlama sisteminde son hali verilerek difüzyon hücresine yerleştirildi.



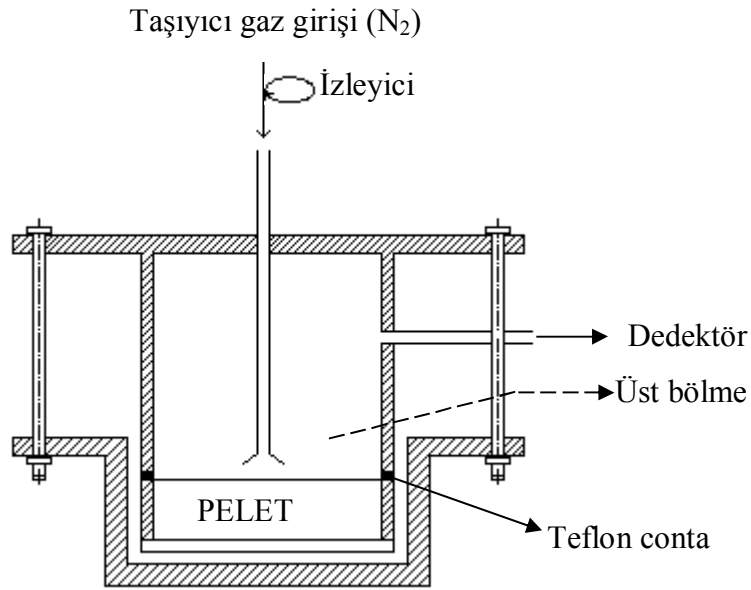
Şekil 6.1. Bir taraflı tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresi deney düzeneği

Paslanmaz çelikten yapılan bir taraflı tek pelet hücresi başlıca iki kısımdan meydana gelmektedir. Alt kısmın içerisinde silindirik bir boşluk vardır ve Şekil 6.2’de görüldüğü gibi üst bölme bu boşluğun içerisine girmektedir. Kalıp içerisindeki gözenekli pelet, alt parçanın içerisindeki silindirik boşluğa yerleştirilir. Üst kısım yerine yerleştirildikten sonra

hücrenin iki kısmı vidalarla birbirine monte edilir. Gaz sızıntısını önlemek için kalıbın etrafına teflon conta yerleştirilir.

İstenilen izotermal sıcaklıkta çalışabilmek için, difüzyon/adsorpsiyon hücresi; içerisinde fan bulunan bir gaz kromatografisi fırınına yerleştirilmiştir. Difüzlenen ve adsorplanan izleyicinin analiz edilebilmesi için, hücrenin üst bölümünden çıkan taşıyıcı gaz akımı (N_2) dedektör ile birleştirilmiştir. Sistemde kullanılan GC (SRI 8610 Gas Chromatography)'nin üzerinde dedektör olarak TCD bulunmaktadır.

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi taşıyıcı gaz, cihaz girişinde A ve B kollarına ayrılmaktadır. Nem etkisinin araştırıldığı deneylerde taşıyıcı gazın nem yüzdesini ayarlamak için B hattı üzerine bir yıkama şişesi yerleştirilmiştir. Taşıyıcı gaz (N_2) tüpü ile yıkama şişesi arasındaki bağlantı 1/8" bakır borularla, yıkama şişesi ile dedektör arasındaki bağlantı ise nem ve çözücünden etkilenilmemesi için 1/8" paslanmaz çelik borularla sağlanmıştır. Gerekli olan yerlerde bağlantı hattı olarak silikon hortum da kullanılmıştır.



Şekil 6.2. Bir taraflı tek pelet difüzyon/adsorpsiyon hücresinin şematik gösterimi

Su buharı içeren taşıyıcı gaz karışımının nem oranının belirlenmesi A ve B akım hatlarındaki rotametrelerin hızlarının ayarlanmasıyla yapılmıştır. Nem oranı, gazın iki akım hattının birleştiği noktaya yerleştirilen üç yollu vanayla belirli bir süre magnezyum perklorat (yaklaşık olarak 2-3 g) tuzağına gönderilmesiyle ayarlanmıştır. Taşıyıcı gaz

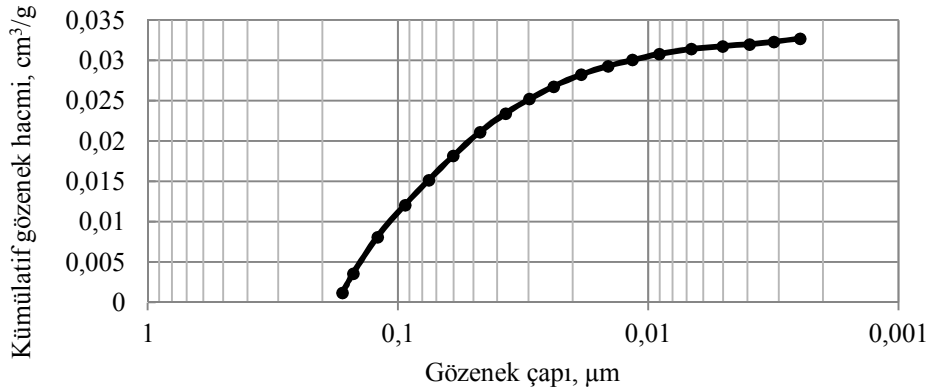
içerisindeki tüm suyu tutan bu tuzağın ilk ve son halleri arasındaki ağırlık farkından faydalanarak nem oranı hesaplanmıştır. Nem oranının belirlenmesinde örnek bir hesaplama EK-4’ de verilmiştir.

Deneysel çalışmalar kuru ve nemli ortamda olmak üzere iki farklı kısımda gerçekleştirilmiştir. Tipik bir deneyde sızdırmazlık kontrolleri yapıldıktan sonra sistemin dengeye gelmesi beklendi. Sistem dengeye ulaştıktan sonra hücre girişinden 2µl hacminde izleyici bileşenler (Aseton, Metanol ve Toluen) pulse olarak enjekte edildi. GC dedektöründen alınan elektriksel sinyaller veri toplama kartı ve bilgisayar ile tepki piklerine dönüştürüldü. GC dedektöründen elde edilen tepki piklerinin değerlendirilmesi ile alçıkların peletlerindeki alıkonma süreleri ve ikinci merkezi moment analizleri yapıldı. Kuru ortam deneyleri izobarik şartlarda, 50-175 ml/dk arasında değişen akış hızlarında (F) ve 25-60 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirildi. Nemli ortam deneyleri ise izobarik şartlarda, %20 ve %40 nem içeren taşıyıcı gaz içerisine metanol ve toluen enjekte edilerek 25 ve 40 °C sıcaklığında gerçekleştirildi.

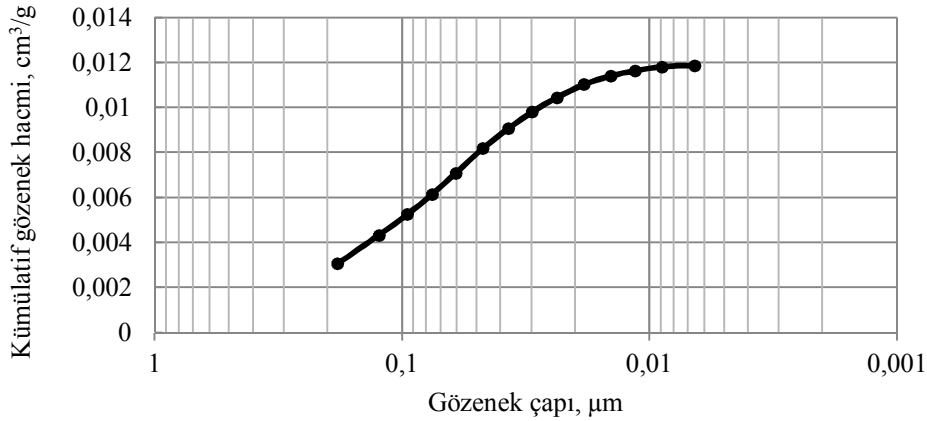
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1. Alçı Peletlerinin Fiziksel Özellikleri

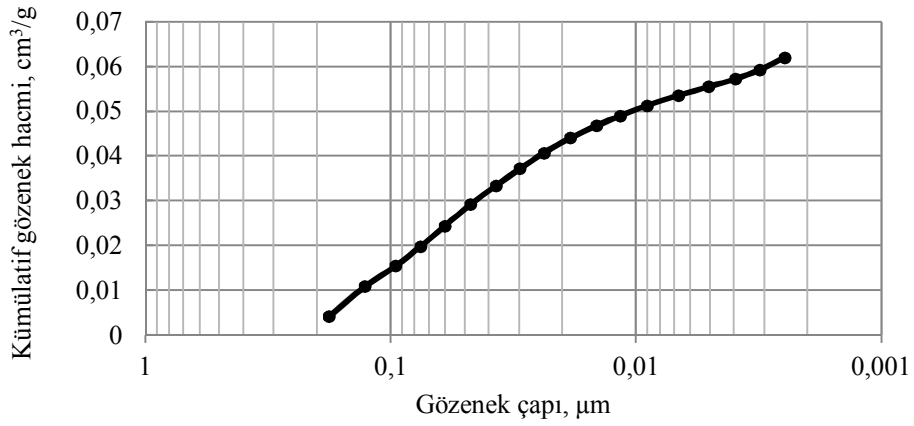
Deneyssel çalışmalarda kullanılan alçı örnekleri peletlerinin yüzey alanı ve gözenek boyut dağılım analizleri Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü laboratuvarında yapılmıştır. Yapı malzemelerinin gerçek yoğunluk değerleri Elazığ Altınova Çimento Fabrikası'nda Helyum piknometresi analiz sonucu elde edilmiştir. Yapı malzemelerinin görünür yoğunlukları ise EK-1' deki eşitlikleri kullanarak hesaplanmıştır. Kullanılan alçı örnekleri için kümülatif gözenek hacmi ve gözenek dağılım eğrileri Şekil 7.1-7.5' de verilmiştir. Deneyssel çalışmalarda kullanılan alçı peletlerinin fiziksel özellikleri ise Tablo 7.1' de verilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü üzere bütün peletler için tipik dağılım eğrileri elde edilmiştir.



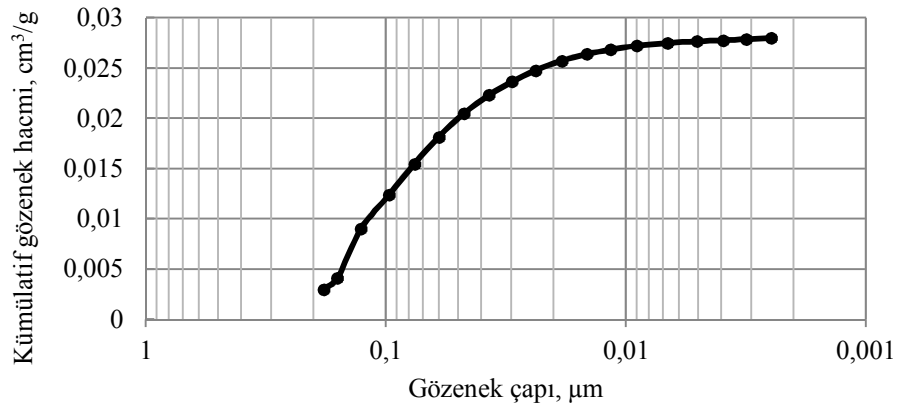
Şekil 7.1. Perlitli sıva alçısı peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi



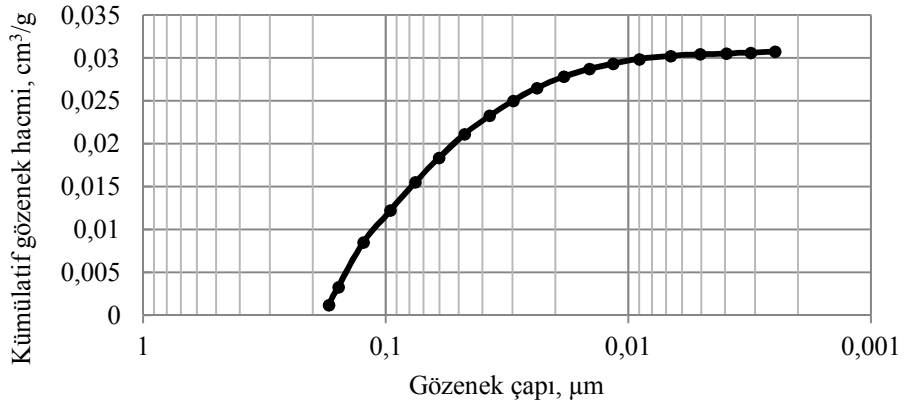
Şekil 7.2. Isı yalıtım levha sıva peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi



Şekil 7.3. İnşaat alçısı peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi



Şekil 7.4. Makine sıva alçısı peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi



Şekil 7.5. Saten perdah alçısı peletinin gözenek çapına karşı kümülatif gözenek hacmi eğrisi

Tablo 7.1. Kullanılan alçı örnekleri peletlerinin bazı fiziksel özellikleri

Yapı Malzemeleri	Katı yoğunluğu, ρ_s , g/cm ³	Görünür yoğunluk, ρ_p , g/cm ³	Gözeneklilik, $\varepsilon_p=1-(\rho_p/\rho_s)$	Ortalama gözenek çapı, d, μ m	Yüzey alanı, S_g , m ² /g
Perlitli Sıva Alçısı	2.34	1.464	0.374	0.014	8.4
Isı Yalıtım Levha S. Harcı	2.65	2.1974	0.171	0.021	1.6
Makine Sıva Alçısı	2.36	1.6374	0.306	0.021	4.2
İnşaat Alçısı	2.32	1.562	0.327	0.008	28.2
Saten Perdah Alçısı	2.36	1.7378	0.264	0.021	4.9

7.2. Difüzyon/Adsorpsiyon Hücresi Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bir taraflı tek pelet adsorpsiyon hücresinden elde edilen deneysel verilerin analizinden adsorpsiyon mekanizması ortaya konularak etkin difüzyon katsayıları ve adsorpsiyon parametreleri hesaplanmıştır. Deneysel moment değerleri beşinci bölümde bir taraflı tek pelet adsorpsiyon hücresinin teorik analizinden elde edilen moment eşitliklerinde (Eşit. 5.33 ve 5.35) kullanılarak adsorpsiyon parametreleri ve etkin difüzyon katsayıları bulunmuştur.

7.2.1. Sıfıncı Momentlerin Değerlendirilmesi

Bir taraflı tek pelet moment tekniğinde sıfıncı moment analizlerinden adsorpsiyonun tersinir olup olmadığı belirlenebilir. Deneysel sıfıncı momentler izleyici pikinin altında kalan alana Simpson sayısal integral metodunun uygulanması ile bulunmuştur. Peletin üzerinin açık olduğu durumdaki sıfıncı momentler (m_{0t}) ile pelet üzerinin kapalı olduğu durumdaki sıfıncı momentler (m_0) birbirine yakınsa; bir başka ifadeyle her iki durumdaki sıfıncı momentlerin oranı 1'e yakınsa, tersinir adsorpsiyon söz konusudur. Çeşitli alçı numunelerinde (Perlitli sıva alçısı, ısı yalıtımlı levha sıvası, inşaat alçısı, makine sıva alçısı, saten perdah alçısı) çalışılan uçucu organik bileşikler (Toluen, metanol, aseton) için yapılan deneyler sonucunda taşıyıcı gazın akış hızına (F , cm³/s) karşı elde edilen sıfıncı moment değişimleri Tablo 7.2-7.16' da verilmiştir.

Tablo 7.2-7.16' da görüldüğü gibi pelet üzerinin kapalı ve açık olması durumundaki sıfıncı moment değerlerinin tüm izleyiciler için birbirine yakın olması çeşitli alçı peletlerinde tersinir adsorpsiyon olayının gerçekleştiği fikrini vermektedir. UOB'lerin yapı malzemelerindeki adsorpsiyonu ile ilgili fazla bir çalışma bulunmamaktadır. Bununla

birlikte toprak ve zeolit gibi katıların peletleriyle ilgili yapılan difüzyon çalışmalarında da adsorpsiyonun tersinir olduğu ortaya konulmuştur (Kalender, 2003; Doğu, 1993; Cabbar, 1991).

Tablo 7.2. Perlitli sıva alçısında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	19.982	20.218	19.473	19.164	19.461	19.402
1.25	19.409	18.737	14.809	16.879	17.128	15.917
1.67	12.141	13.470	14.518	14.096	13.528	13.984
2.00	9.388	11.347	10.555	10.740	9.925	9.903
2.50	7.432	8.890	8.741	7.903	8.030	8.075
2.92	6.754	7.446	7.514	6.860	7.271	6.755

Tablo 7.3. Isı yalıtımlı levha sıvasında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	19.982	25.458	19.473	19.401	19.461	19.402
1.25	19.409	20.057	14.809	17.779	17.128	18.847
1.67	12.141	14.686	14.518	14.761	13.528	13.116
2.00	9.388	10.304	10.555	10.566	9.925	10.656
2.50	7.432	8.751	8.741	8.021	8.030	7.637
2.92	6.754	7.063	7.514	7.020	7.271	6.601

Tablo 7.4. İnşaat alçısında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	19.982	20.168	19.473	19.877	19.461	19.453
1.25	19.409	19.073	14.809	18.612	17.128	17.322
1.67	12.141	14.051	14.518	14.482	13.528	13.590
2.00	9.388	10.510	10.555	10.598	9.925	9.984
2.50	7.432	8.569	8.741	8.457	8.030	8.142
2.92	6.754	7.256	7.514	7.510	7.271	7.096

Tablo 7.5. Makine sıva alçısında tolüen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	19.982	20.409	19.473	20.065	19.461	19.898
1.25	19.409	20.382	14.809	16.782	17.128	18.065
1.67	12.141	16.052	14.518	14.562	13.528	13.706
2.00	9.388	11.185	10.555	10.642	9.925	9.881
2.50	7.432	8.715	8.741	8.482	8.030	8.045
2.92	6.754	7.715	7.514	7.297	7.271	6.780

Tablo 7.6. Saten perdah alçısında toluen için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırinci moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	19.982	19.870	19.473	19.501	19.461	19.308
1.25	19.409	16.269	14.809	18.487	17.128	18.532
1.67	12.141	15.498	14.518	14.337	13.528	12.687
2.00	9.388	10.605	10.555	10.086	9.925	9.576
2.50	7.432	8.911	8.741	8.539	8.030	7.669
2.92	6.754	7.650	7.514	7.097	7.271	6.673

Tablo 7.7. Perlitli sıva alçısında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırinci moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	37.814	38.217	35.053	35.103	32.890	32.712
1.25	31.426	32.364	31.928	32.159	31.252	30.885
1.67	24.192	23.710	25.611	23.350	24.812	22.825
2.00	18.603	18.117	19.103	18.596	17.940	17.847
2.50	14.434	14.252	16.079	14.122	14.672	13.047
2.92	12.495	12.145	12.838	11.156	12.656	11.294

Tablo 7.8. Isı yalıtımlı levha sıvasında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	37.814	38.794	35.053	36.821	32.890	32.748
1.25	31.426	30.758	31.928	34.281	31.252	31.857
1.67	24.192	27.611	25.611	25.122	24.812	23.904
2.00	18.603	21.576	19.103	19.029	17.940	17.925
2.50	14.434	17.679	16.079	16.323	14.672	15.031
2.92	12.495	14.463	12.838	12.577	12.656	12.360

Tablo 7.9. İnşaat alçısında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	37.814	38.359	35.053	36.651	32.890	32.651
1.25	31.426	34.981	31.928	31.627	31.252	29.655
1.67	24.192	24.521	25.611	23.478	24.812	22.176
2.00	18.603	19.297	19.103	19.151	17.940	17.530
2.50	14.434	15.611	16.079	16.226	14.672	14.152
2.92	12.495	13.299	12.838	12.414	12.656	11.397

Tablo 7.10. Makine sıva alçısında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırinci moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	37.814	37.785	35.053	34.961	32.890	32.264
1.25	31.426	32.608	31.928	31.441	31.252	30.579
1.67	24.192	25.331	25.611	23.896	24.812	24.913
2.00	18.603	19.233	19.103	18.623	17.940	18.184
2.50	14.434	15.413	16.079	14.115	14.672	13.404
2.92	12.495	12.706	12.838	12.418	12.656	11.902

Tablo 7.11. Saten perdah alçısında metanol için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırinci moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	37.814	37.808	35.053	34.929	32.890	32.015
1.25	31.426	30.633	31.928	30.961	31.252	29.629
1.67	24.192	24.663	25.611	23.159	24.812	24.256
2.00	18.603	18.641	19.103	17.697	17.940	17.275
2.50	14.434	15.503	16.079	14.656	14.672	13.674
2.92	12.495	12.648	12.838	12.341	12.656	11.607

Tablo 7.12. Perlitli sıva alçısında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırinci moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	24.919	24.724	22.659	22.865	21.689	21.708
1.25	22.885	22.465	20.235	20.054	20.203	19.108
1.67	14.107	15.039	16.068	14.714	16.503	14.139
2.00	11.246	11.727	11.521	11.155	11.663	10.874
2.50	9.116	8.952	10.244	8.803	9.498	8.929
2.92	7.525	7.412	7.921	7.813	8.746	8.373

Tablo 7.13. Isı yalıtımlı levha sıvasında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırinci moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	24.919	24.400	22.659	23.140	21.689	21.890
1.25	22.885	22.888	20.235	20.916	20.203	20.451
1.67	14.107	15.325	16.068	14.548	16.503	15.895
2.00	11.246	11.308	11.521	11.266	11.663	10.822
2.50	9.116	9.246	10.244	9.813	9.498	9.069
2.92	7.525	7.531	7.921	7.778	8.746	8.062

Tablo 7.14. İnşaat alçısında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırinci moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	24.919	24.317	22.659	23.131	21.689	21.747
1.25	22.885	22.755	20.235	20.450	20.203	19.187
1.67	14.107	14.532	16.068	15.800	16.503	15.210
2.00	11.246	10.927	11.521	10.773	11.663	11.258
2.50	9.116	8.924	10.244	10.118	9.498	8.282
2.92	7.525	7.781	7.921	7.141	8.746	7.725

Tablo 7.15. Makine sıva alçısında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfırinci moment verileri

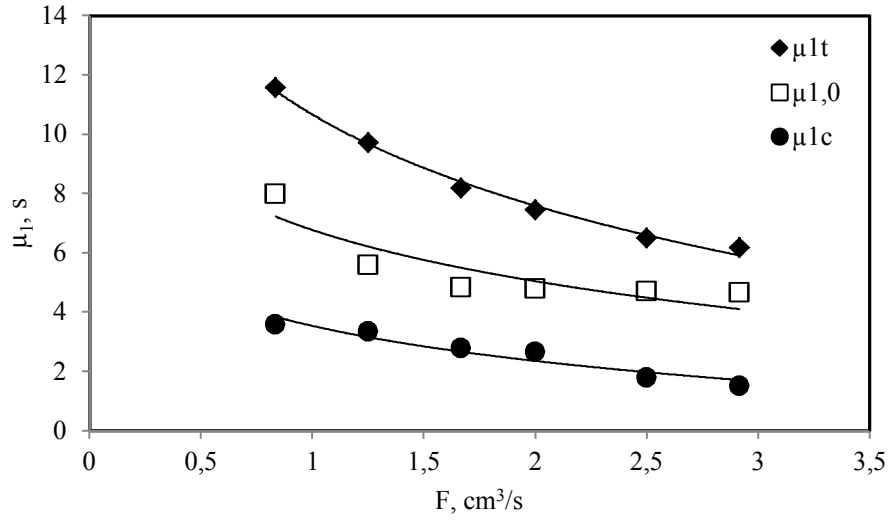
Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	24.919	24.746	22.659	22.940	21.689	21.407
1.25	22.885	21.000	20.235	20.041	20.203	19.683
1.67	14.107	14.223	16.068	14.028	16.503	15.881
2.00	11.246	10.978	11.521	11.021	11.663	11.552
2.50	9.116	9.354	10.244	8.932	9.498	8.899
2.92	7.525	7.816	7.921	7.537	8.746	8.172

Tablo 7.16. Saten perdah alçısında aseton için pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

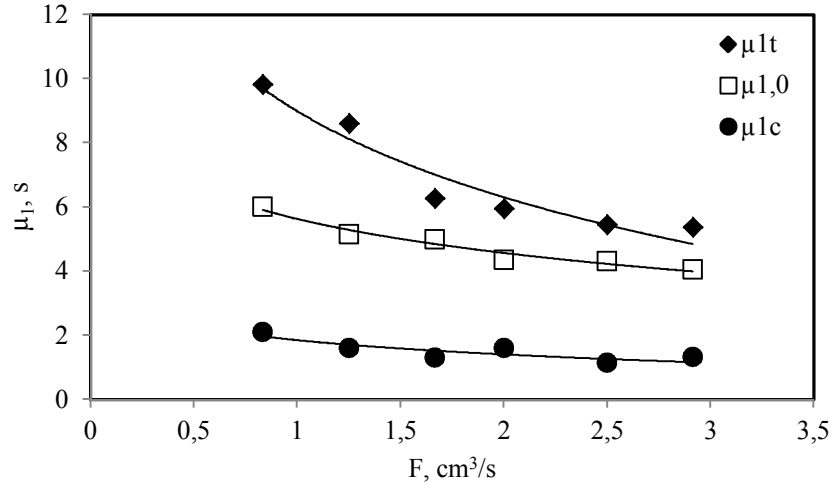
Akış hızı, cm ³ /s	25°C		40°C		60°C	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	24.919	24.908	22.659	23.055	21.689	21.087
1.25	22.885	20.323	20.235	21.229	20.203	19.679
1.67	14.107	14.262	16.068	14.039	16.503	15.613
2.00	11.246	10.837	11.521	10.864	11.663	10.949
2.50	9.116	8.892	10.244	10.081	9.498	8.688
2.92	7.525	7.534	7.921	7.476	8.746	7.828

7.2.2. Birinci Mutlak Momentlerin Değerlendirilmesi ve Adsorpsiyon Parametrelerinin Hesaplanması

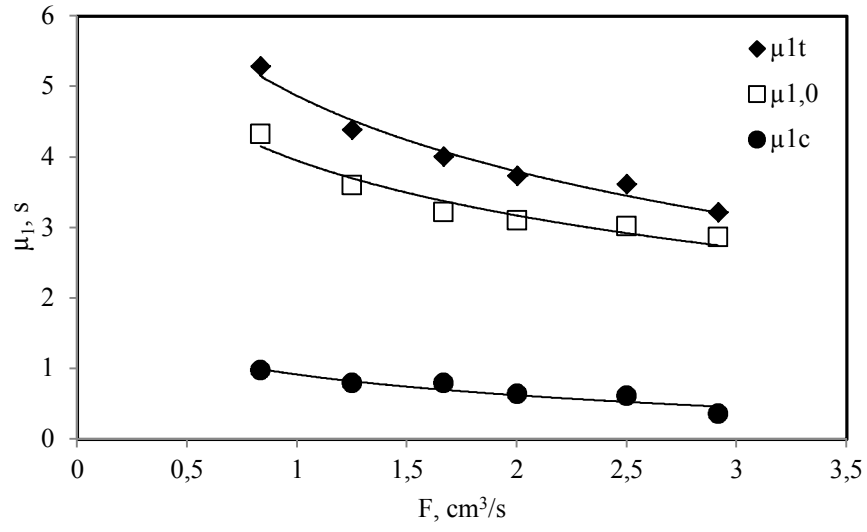
Deneyisel çalışmalarda kullanılan izleyicilerin alçı örnekleri peletlerindeki adsorpsiyonunun bir önceki bölümde belirtildiği gibi tersinir olarak gerçekleşmektedir. Tersinir adsorpsiyonda adsorpsiyon parametreleri birinci mutlak moment ifadesinde yer almaktadır (Eşit. 5.33). Tüm izleyiciler ve alçı peletleri için taşıyıcı gaz akış hızlarına karşılık çizilen birinci mutlak moment değerleri Şekil 7.6-7.50’ de verilmiştir. Bu şekillerde pelet üzerinin açık (μ_{1t}) ve kapalı ($\mu_{1,0}$) olması durumundaki birinci mutlak moment eğrileri çizilmiştir. Moment değerleri arasındaki farktan elde edilen düzeltilmiş moment (μ_{1c}) değerleri de aynı grafikler üzerinde gösterilmiştir. Birinci mutlak moment fiziksel olarak izleyicinin pelet içerisindeki ortalama alıkonma süresine karşılık gelmektedir. Buna göre şekillerden de görüleceği üzere tüm alçı malzemelerindeki alıkonma süreleri toluen-metanol-aseton sırasına göre azalmaktadır. Ayrıca izleyicilerin alıkonma sürelerinin tüm peletlerde sıcaklıkla azaldığı grafiklerden anlaşılmaktadır. Birinci mutlak moment değerlerinin çok düşük olması adsorpsiyon olayının aynı zamanda çok hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Bundan dolayı adsorpsiyon hız sabitinin adsorpsiyon denge sabiti yanında çok yüksek olacağından tersinir adsorpsiyon için türetilen eşitlikler (Eşit. 5.33 ve 5.40) denge adsorpsiyonu eşitliklerine indirgenir (Eşit. 5.33 ve 5.39). Denge adsorpsiyonu için türetilen düzeltilmiş birinci mutlak moment ifadesinden (Eşit. 5.33) anlaşılacağı gibi; $1/F$ ile μ_{1c} arasında lineer bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Dolayısıyla kayması sıfır olan bir doğru oluşturan $1/F-\mu_{1c}$ grafiği çizilirse, doğrunun eğiminden bilinmeyen tek değişken olan adsorpsiyon denge katsayısı $\rho_p K_i$ bulunabilir. Bu amaçla Eşit. 5.33 kullanılarak tüm izleyiciler ve alçı peletleri için elde edilen deneysel verilerden $1/F$ ’ e karşılık birinci mutlak moment değerleri grafiğe geçirilerek oluşturulan doğruların eğimlerinden $\rho_p K_i$ değerleri bulunmuştur. Örnek bir grafik toluen için 40°C’ de inşaat alçısı peleti için yapılarak EK-2’ de verilmiştir (Şekil E.2.1). Deneylerde kullanılan izleyiciler ve alçı peletleri için çalışılan sıcaklıklardaki adsorpsiyon denge sabitleri örnek hesaplamadakine benzer şekilde bulunarak Tablo 7.17-7.19’ da verilmiştir.



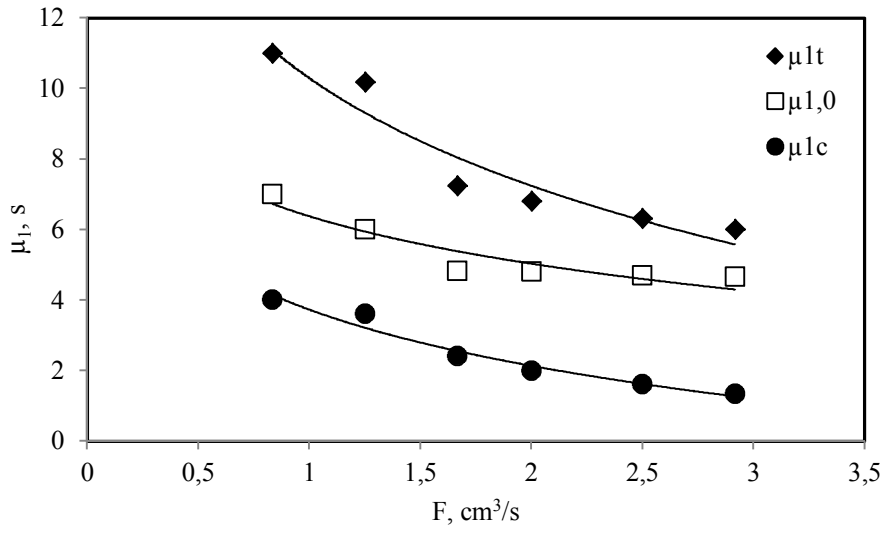
Şekil 7.6. Toluenin 25°C’de perlitli alçı sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



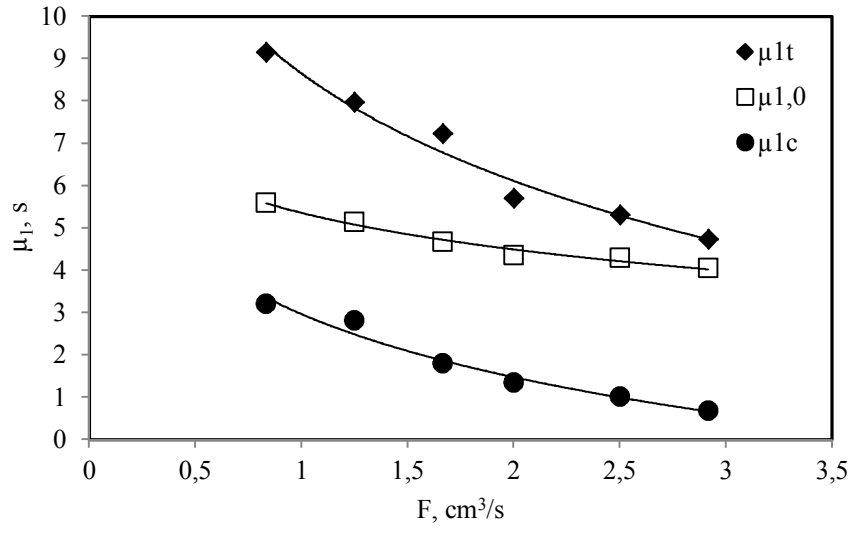
Şekil 7.7. Toluenin 40°C’de perlitli alçı sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



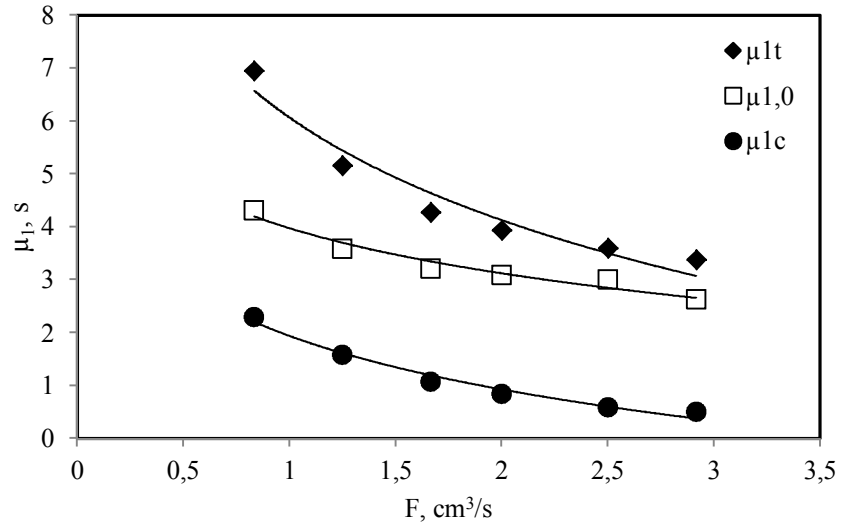
Şekil 7.8. Toluene için 60°C’de perlitli alçı sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



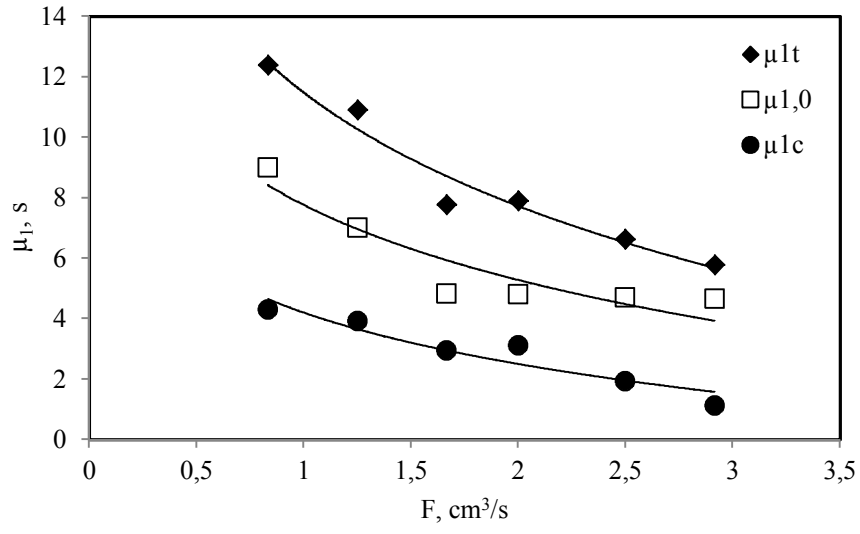
Şekil 7.9. Toluenin 25°C’de ısı yalıtımlı levha sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



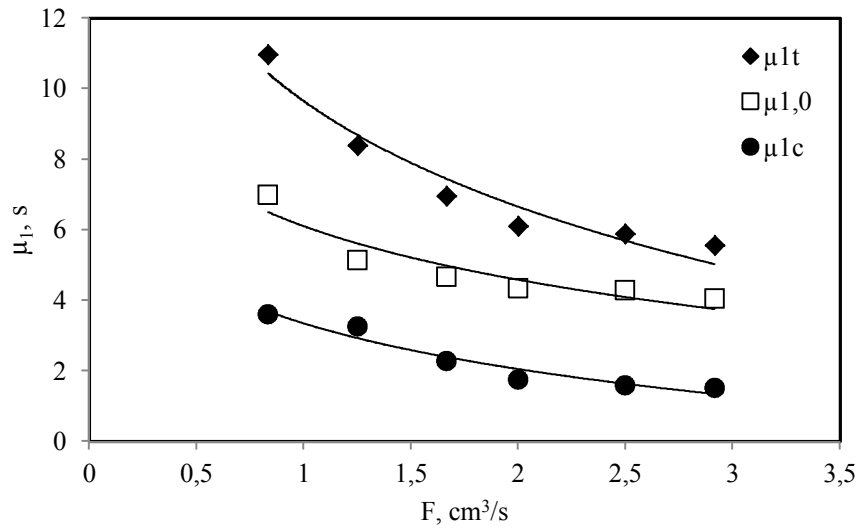
Şekil 7.10. Toluenin 40°C’de ısı yalıtımlı levha sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



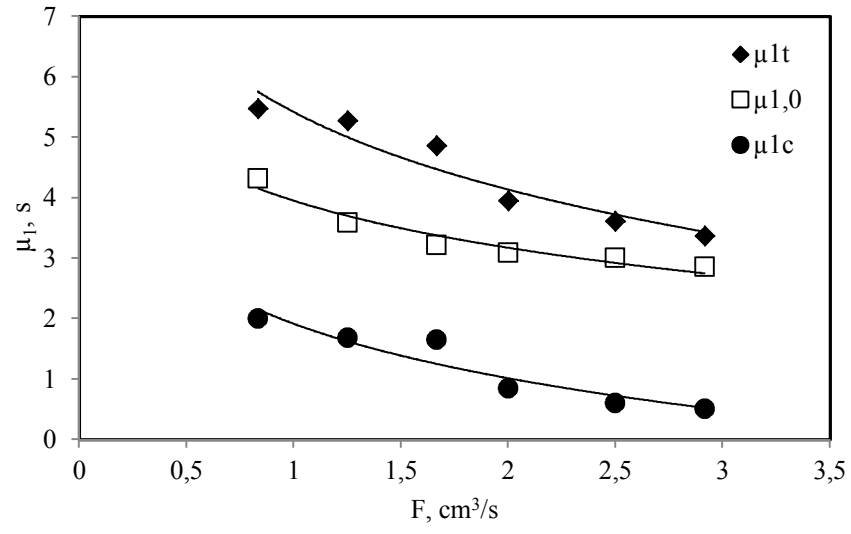
Şekil 7.11. Toluenin 60°C’de ısı yalıtımlı levha sıva peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



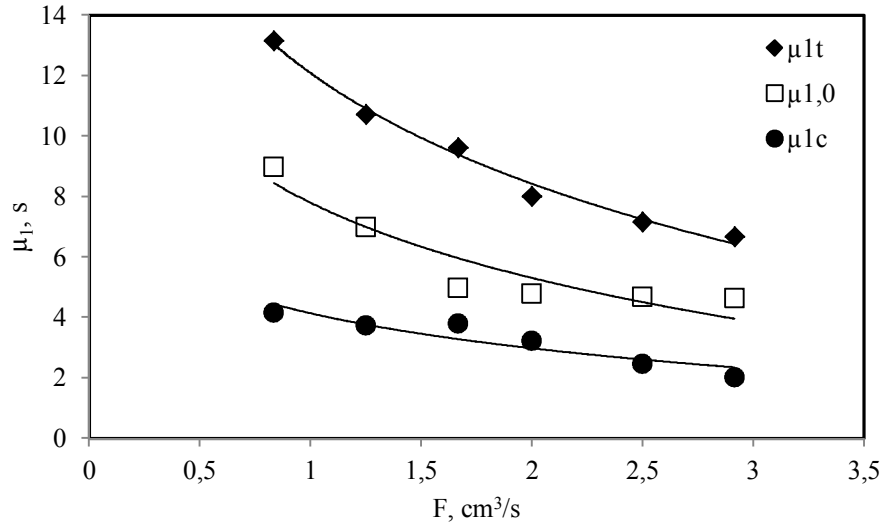
Şekil 7.12. Toluenin 25°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



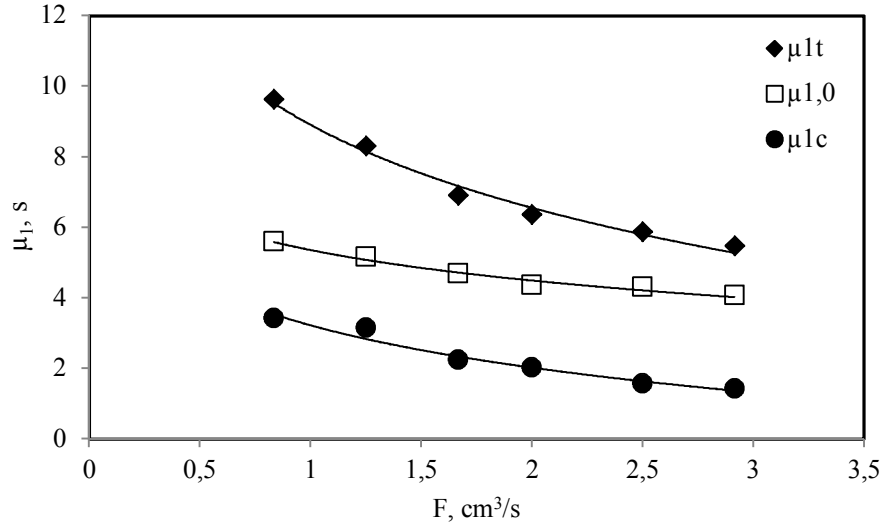
Şekil 7.13. Toluenin 40°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



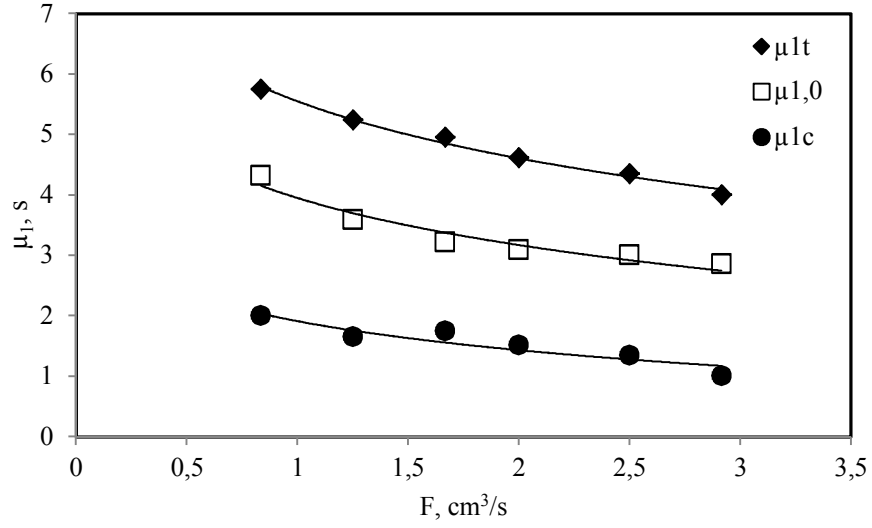
Şekil 7.14. Toluenin 60°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



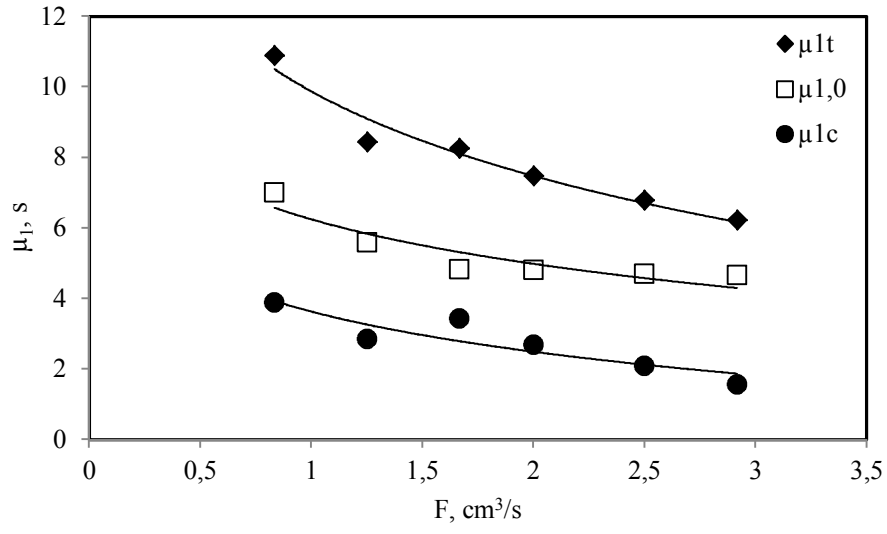
Şekil 7.15. Toluenin 25°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



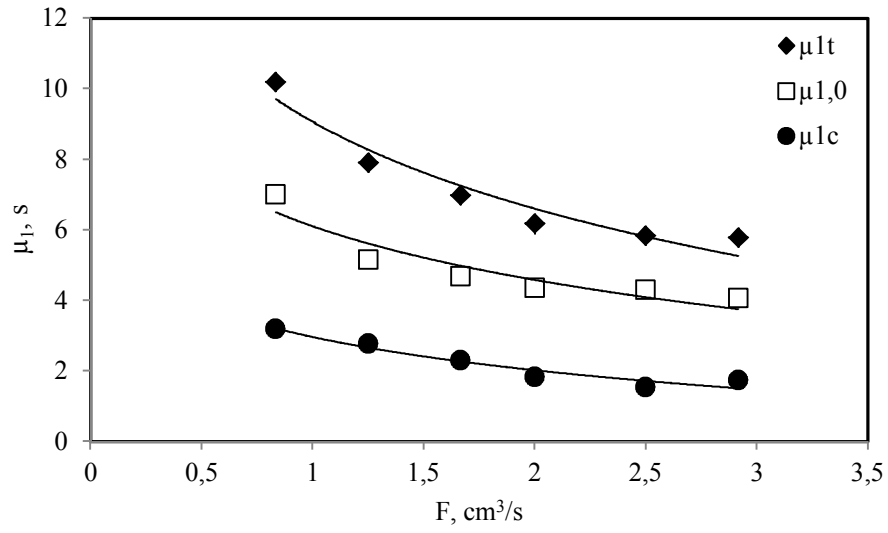
Şekil 7.16. Toluenin 40°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



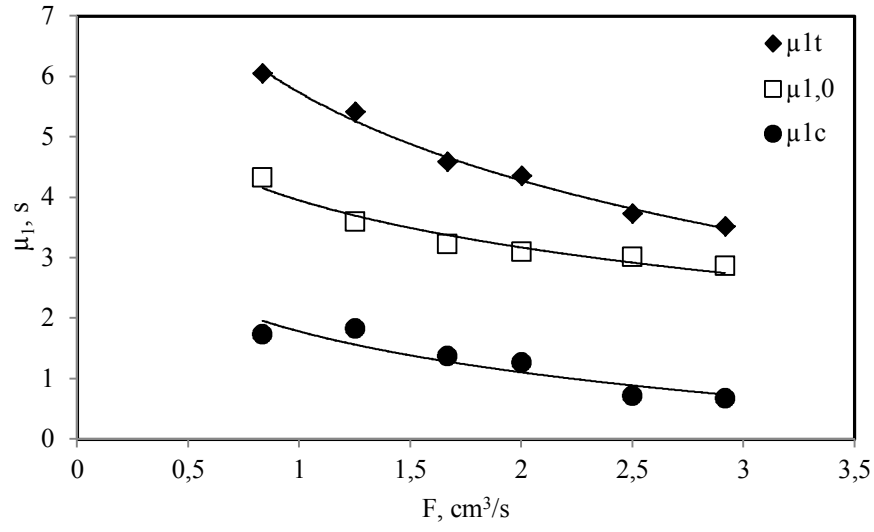
Şekil 7.17. Toluenin 60°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



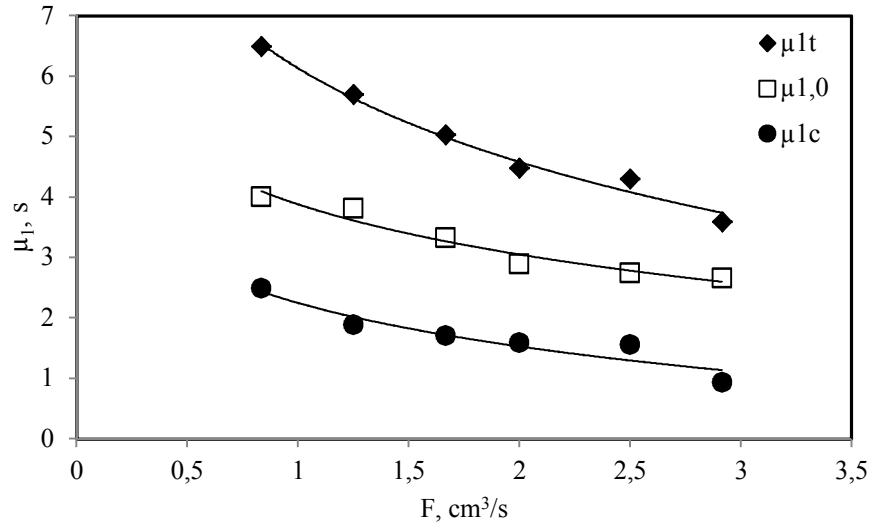
Şekil 7.18. Toluenin 25°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



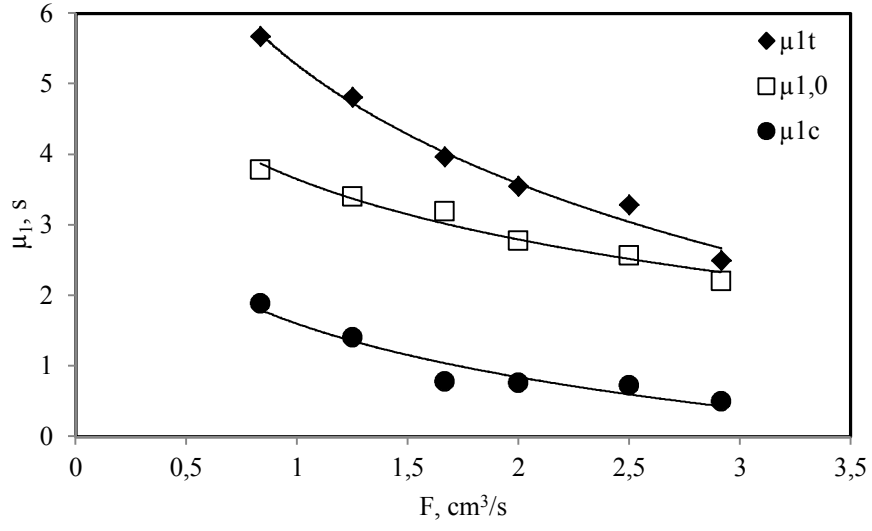
Şekil 7.19. Toluenin 40°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



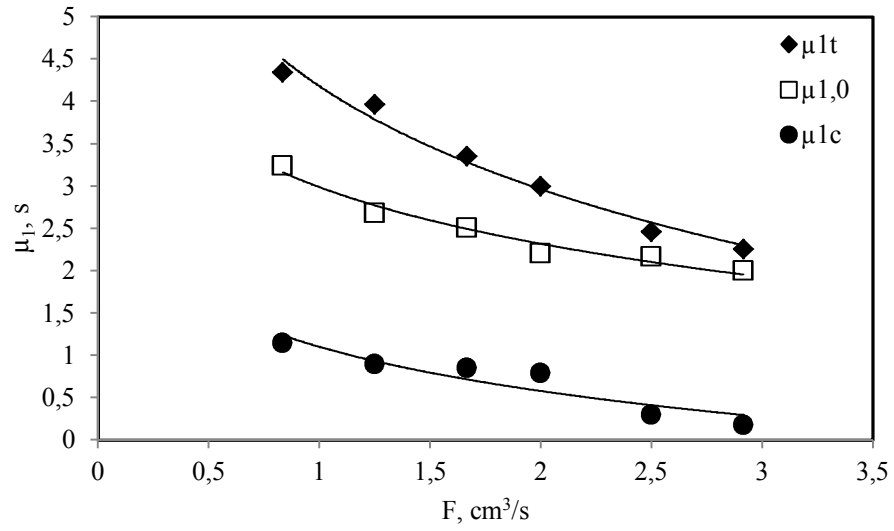
Şekil 7.20. Toluenin 60°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



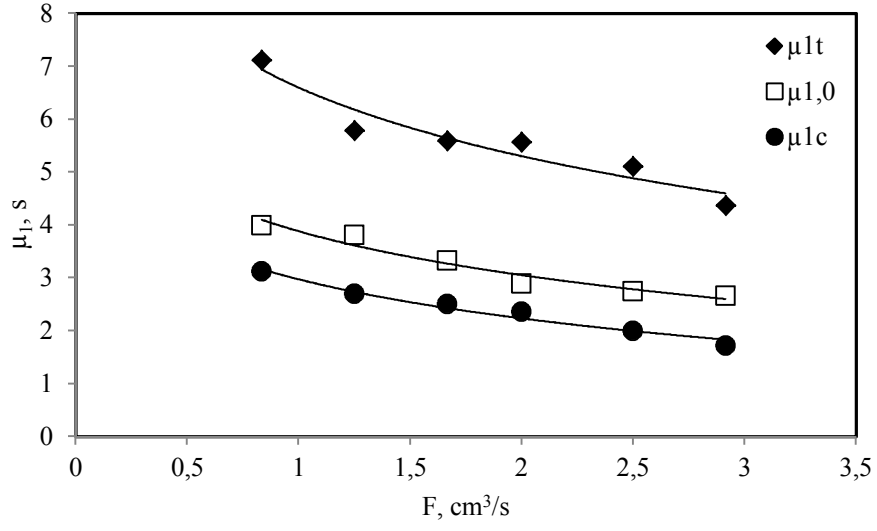
Şekil 7.21. Metanolün 25°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



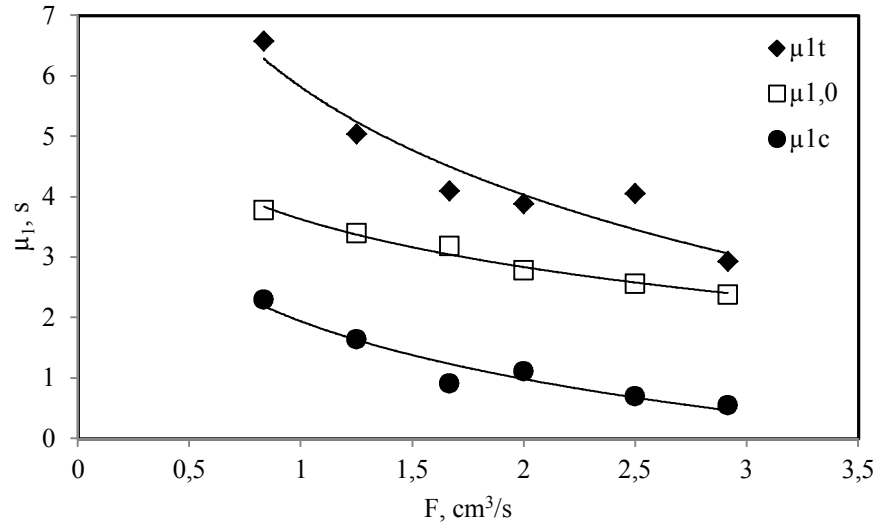
Şekil 7.22. Metanolün 40°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



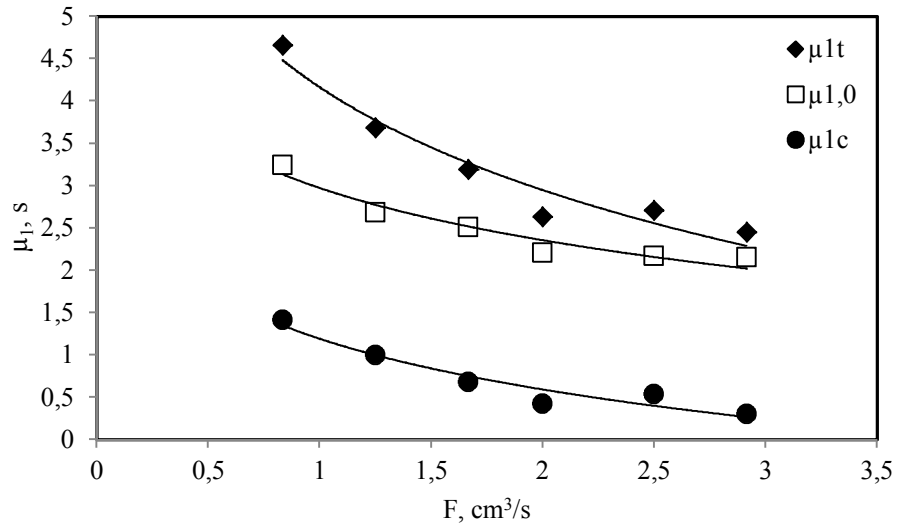
Şekil 7.23. Metanolün 60°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



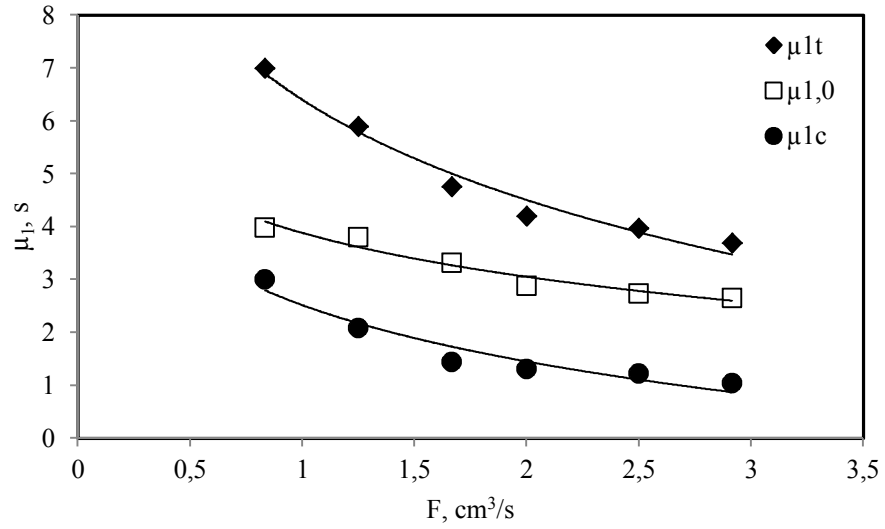
Şekil 7.24. Metanolün 25°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



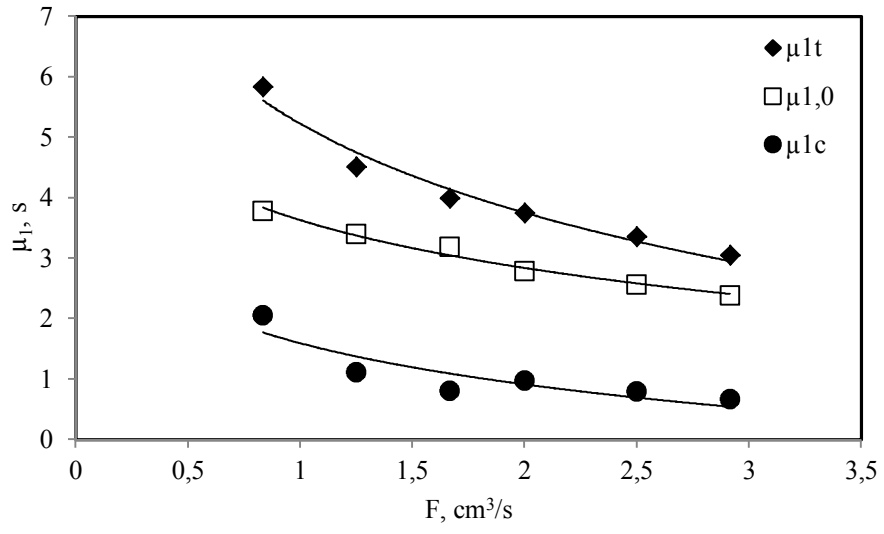
Şekil 7.25. Metanolün 40°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



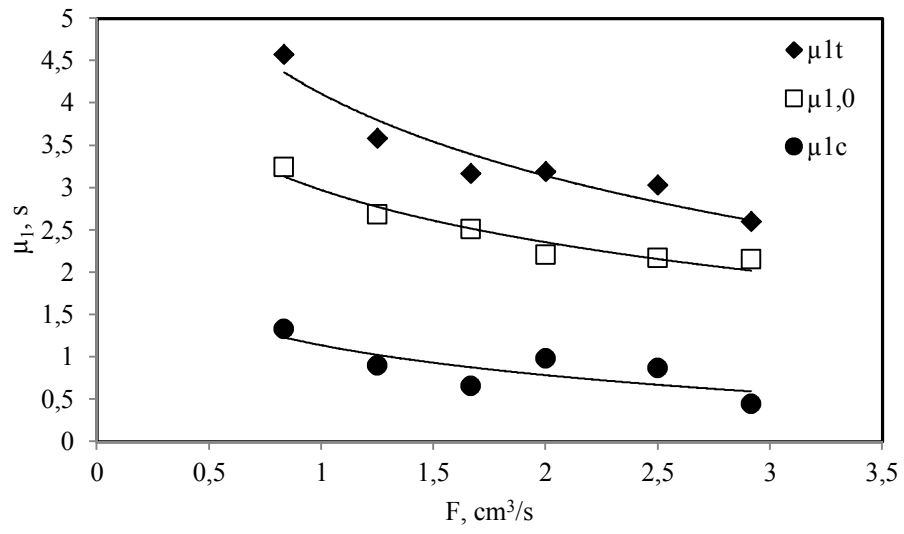
Şekil 7.26. Metanolün 60°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



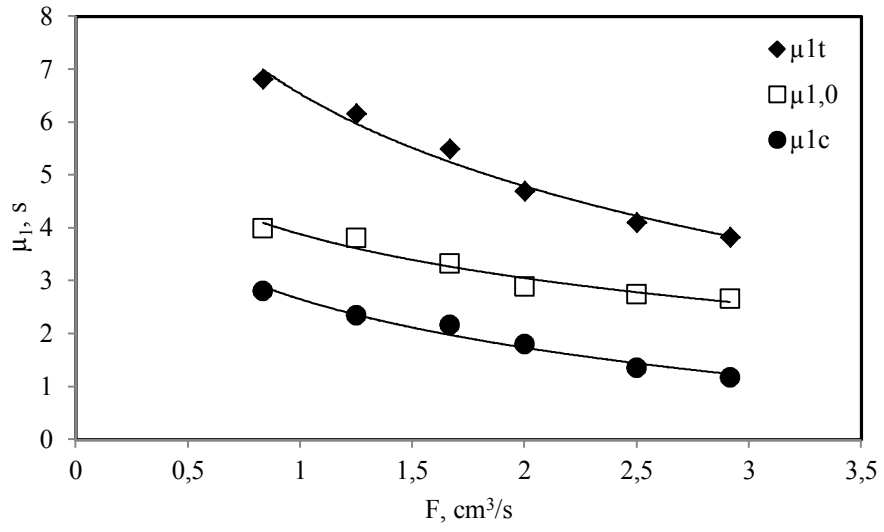
Şekil 7.27. Metanolün 25°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



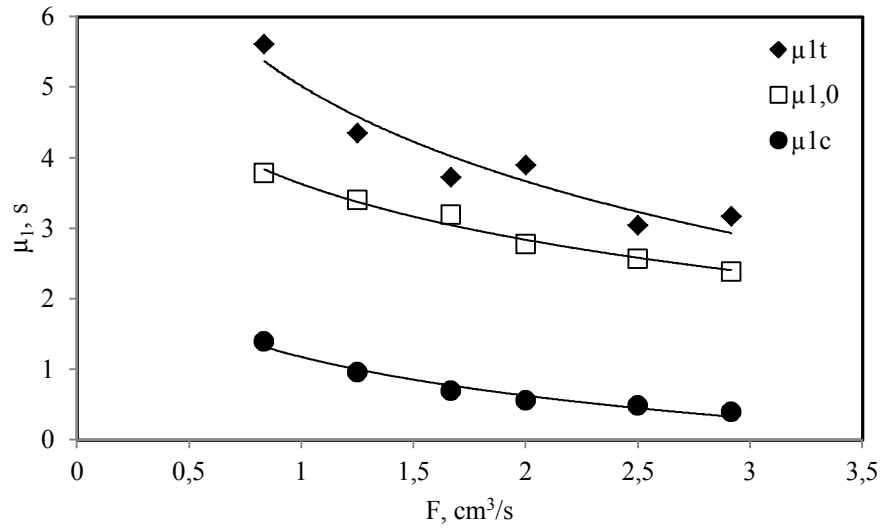
Şekil 7.28. Metanolün 40°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



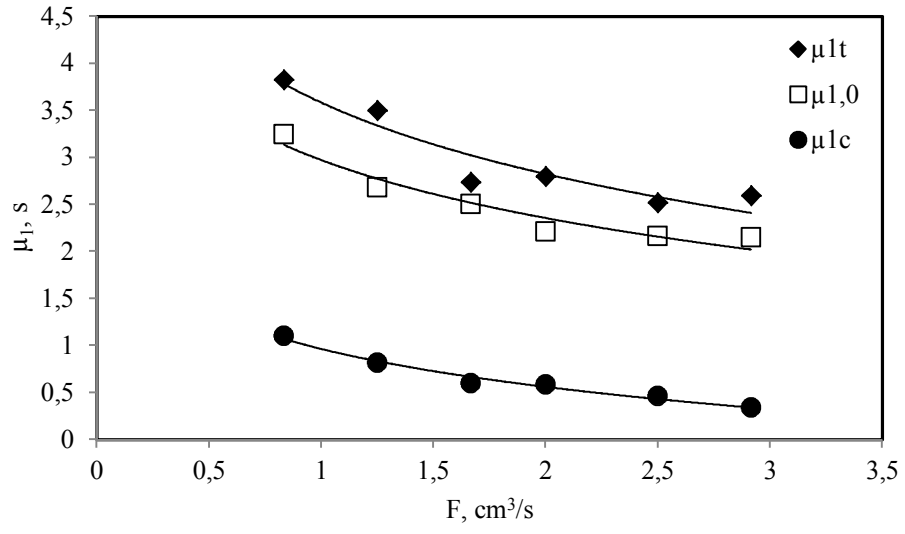
Şekil 7.29. Metanolün 60°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



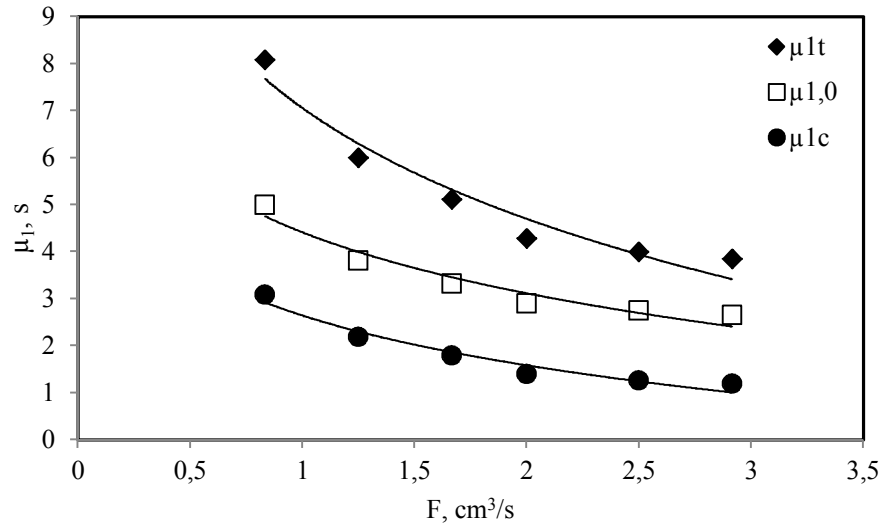
Şekil 7.30. Metanolün 25°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



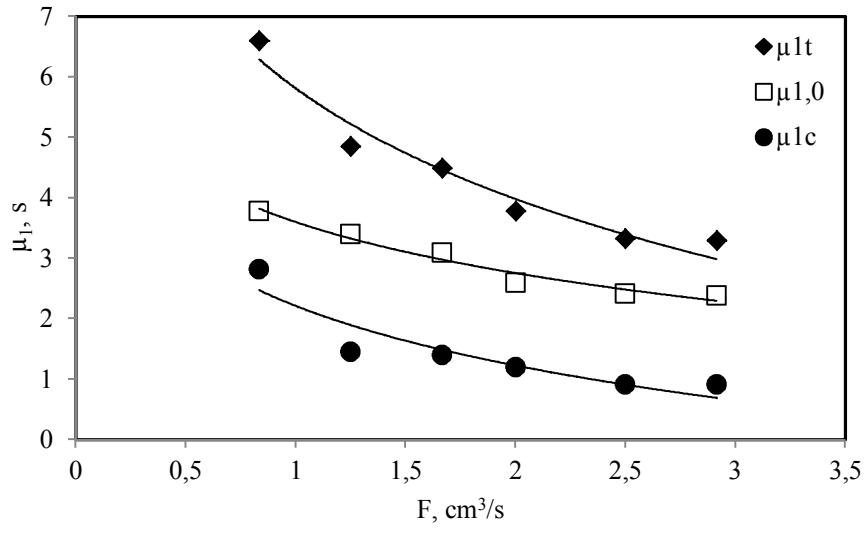
Şekil 7.31. Metanolün 40°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



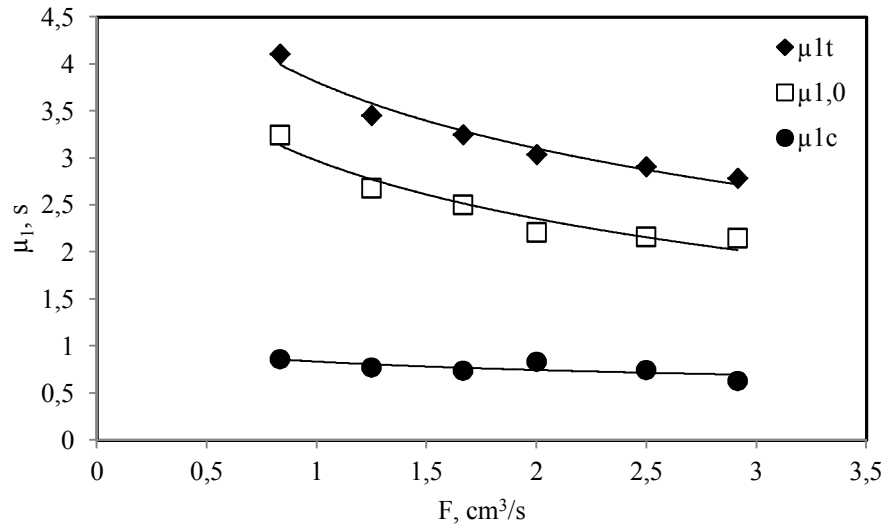
Şekil 7.32. Metanolün 60°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



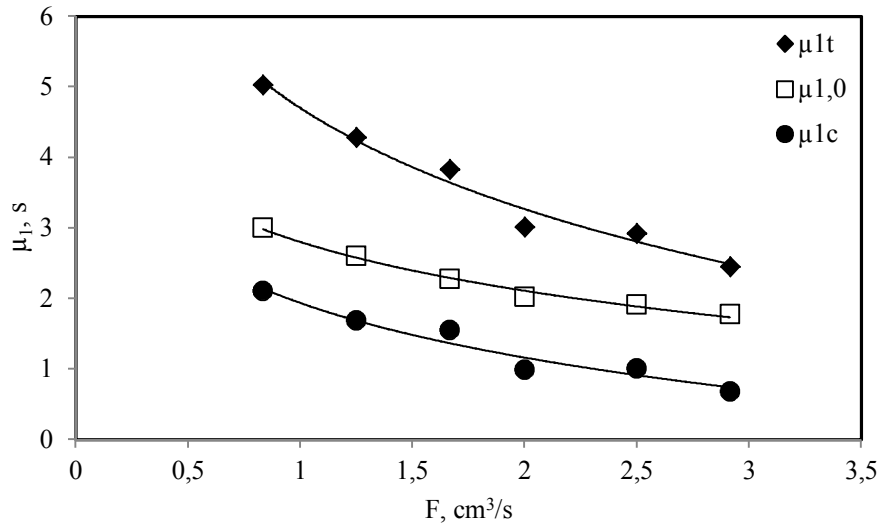
Şekil 7.33. Metanolün 25°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



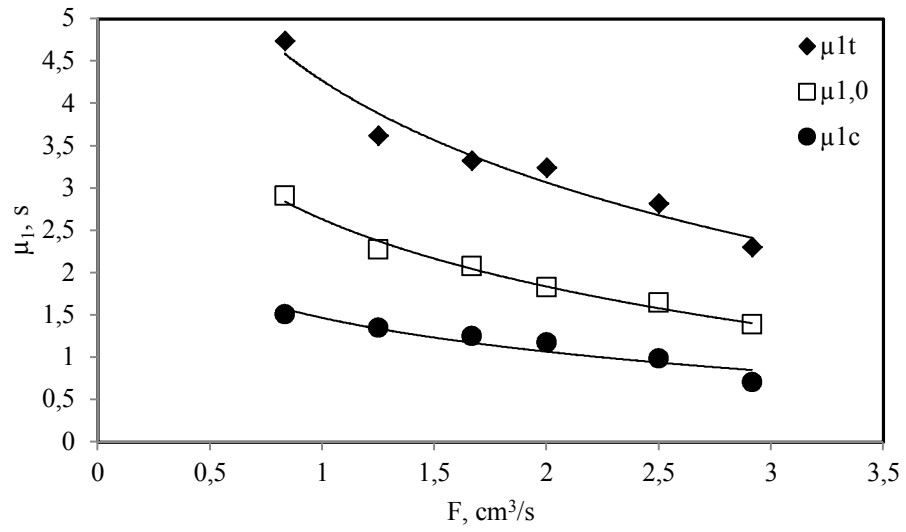
Şekil 7.34. Metanolün 40°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



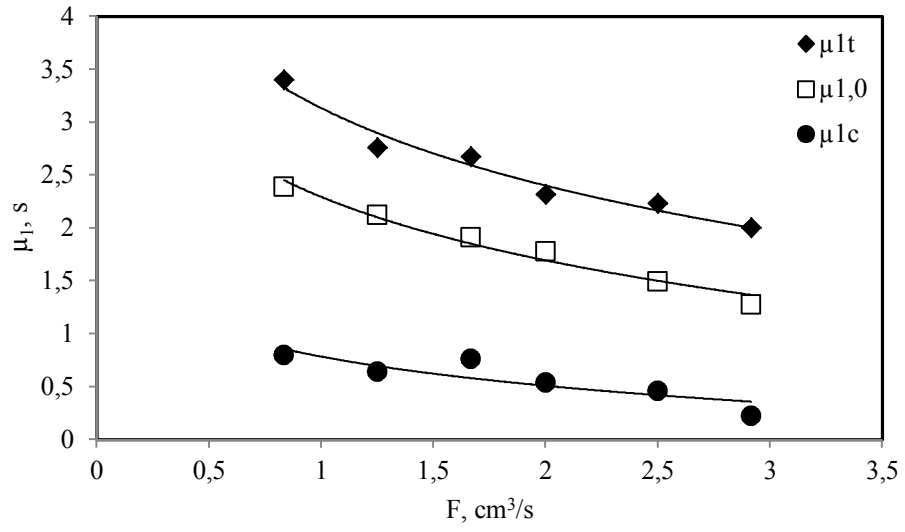
Şekil 7.35. Metanolün 60°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



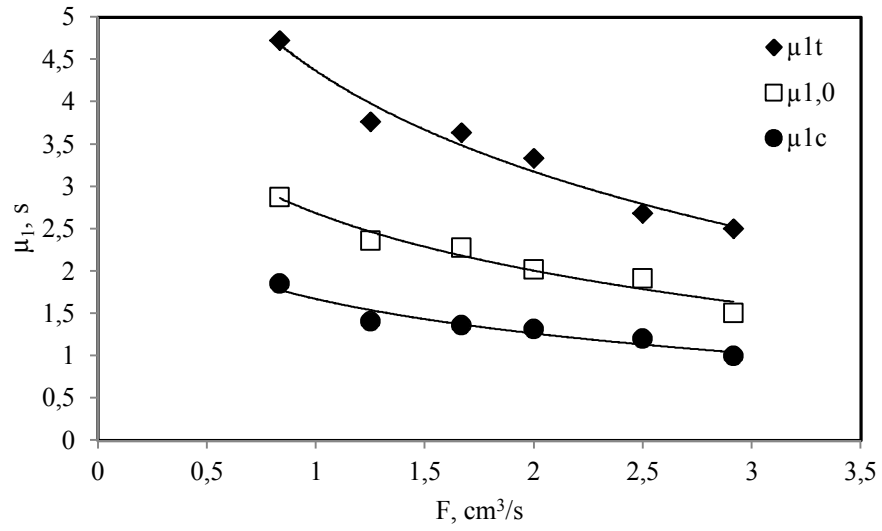
Şekil 7.36. Asetonun 25°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



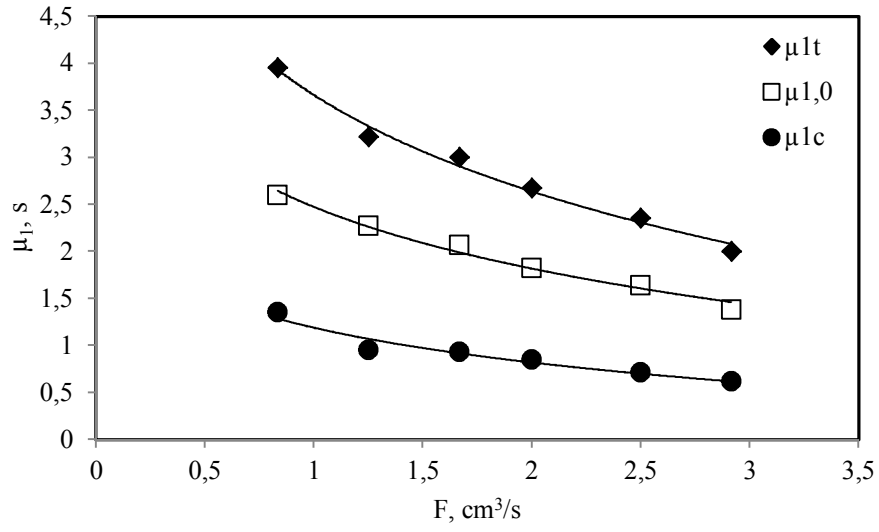
Şekil 7.37. Asetonun 40°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



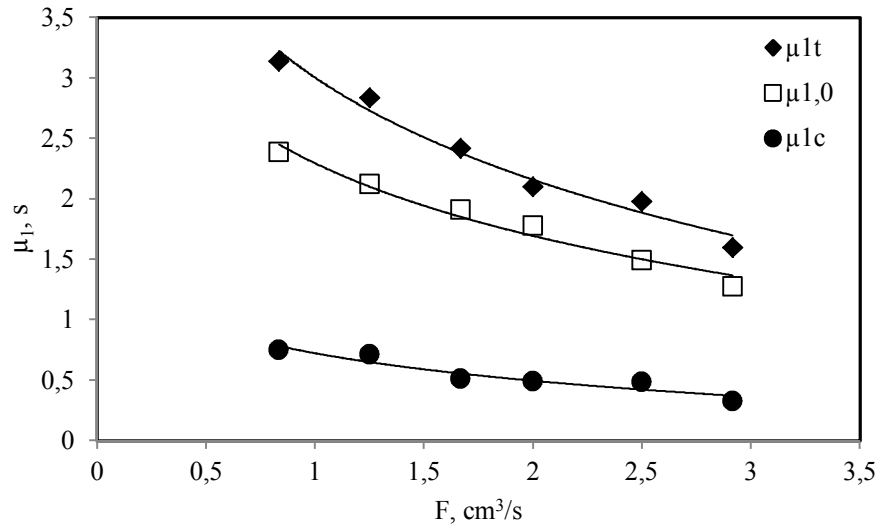
Şekil 7.38. Asetonun 60°C’de perlitli sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



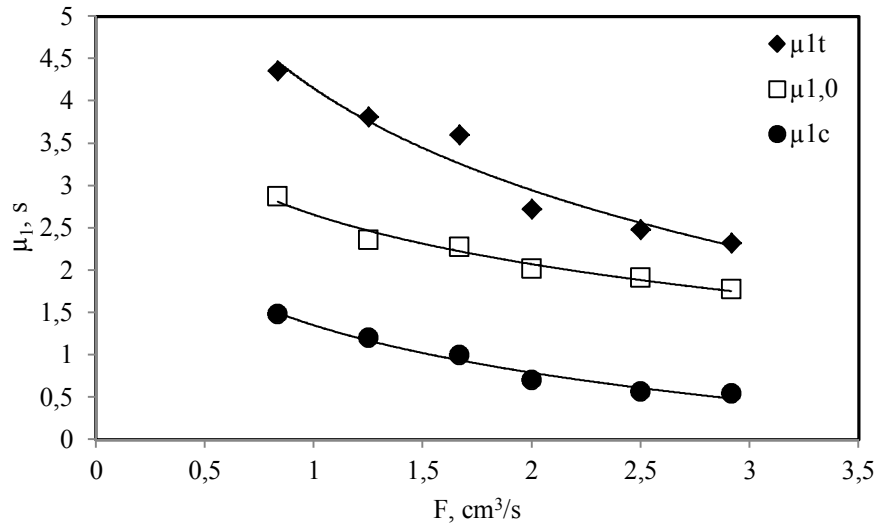
Şekil 7.39. Asetonun 25°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



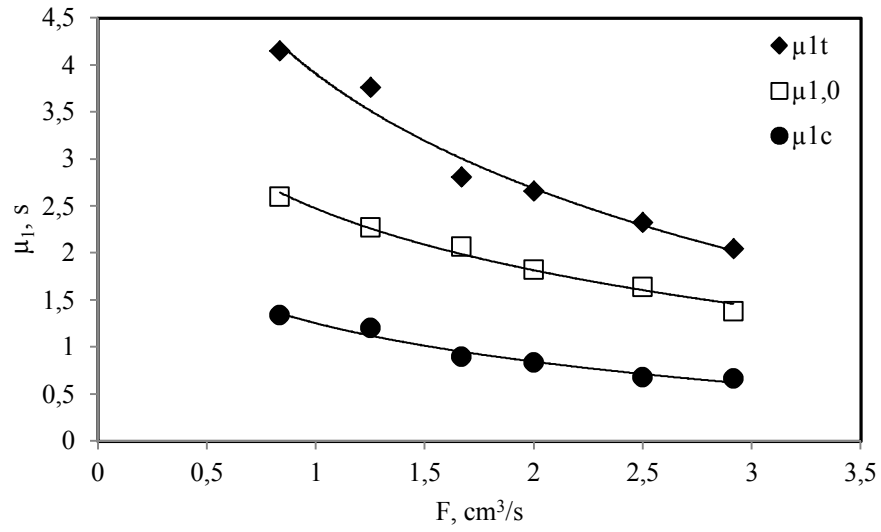
Şekil 7.40. Asetonun 40°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



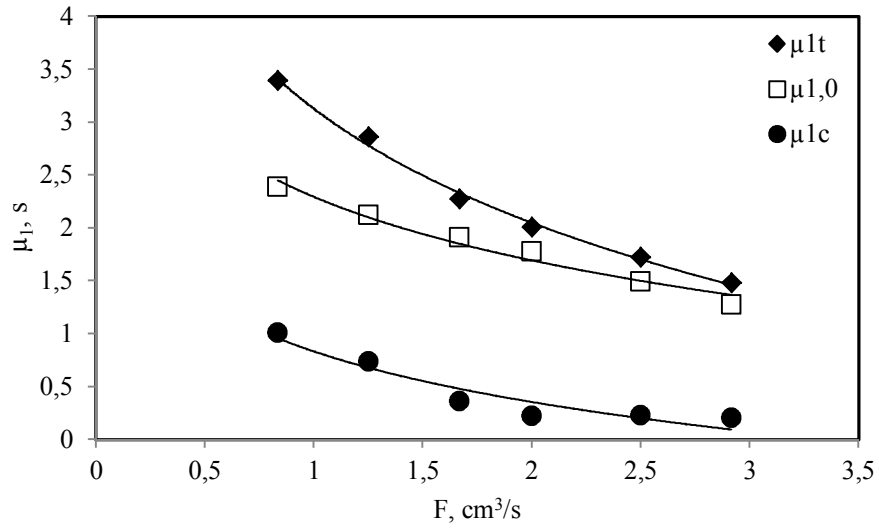
Şekil 7.41. Asetonun 60°C’de ısı yalıtımlı levha sıvası peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



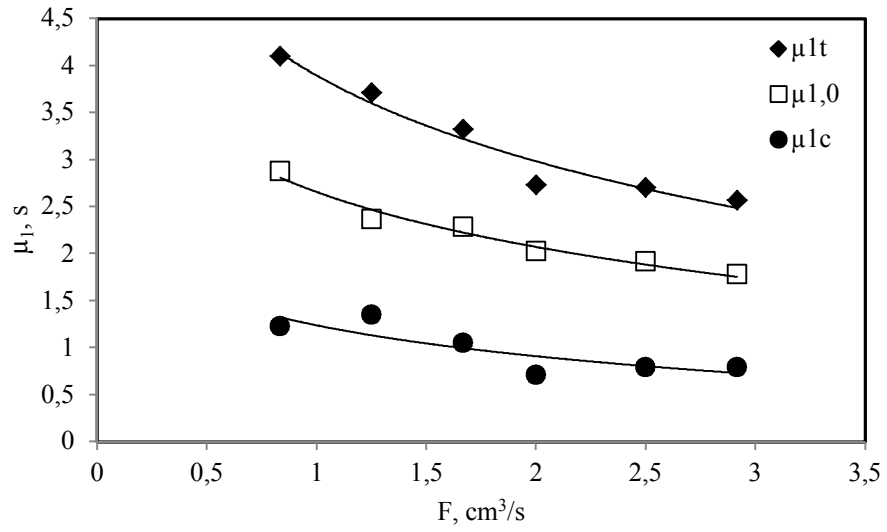
Şekil 7.42. Asetonun 25°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



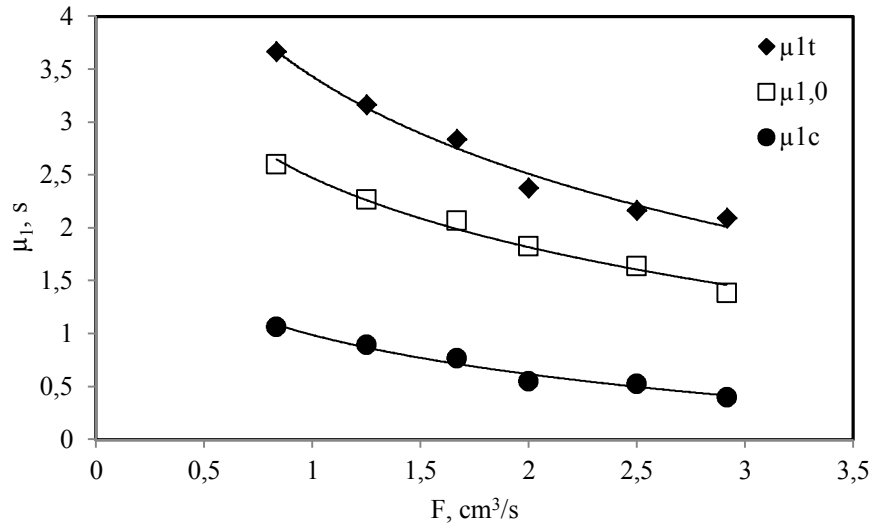
Şekil 7.43. Asetonun 40°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



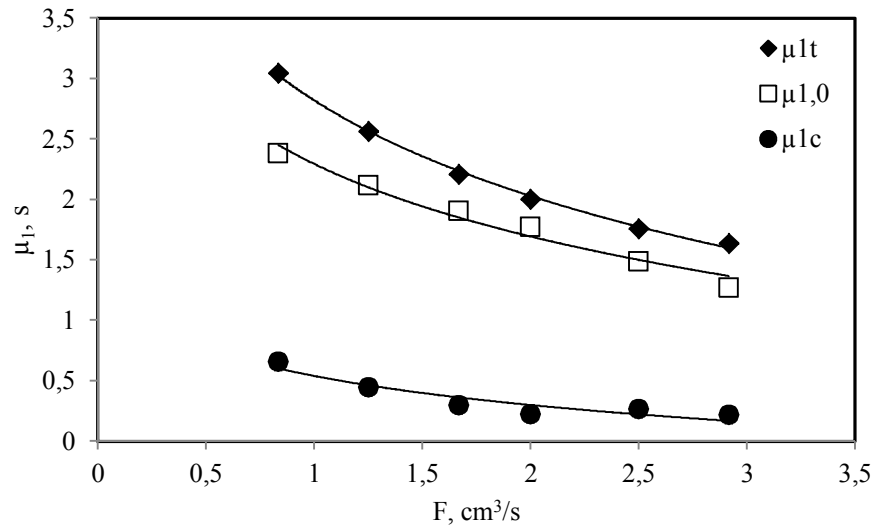
Şekil 7.44. Asetonun 60°C’de inşaat alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



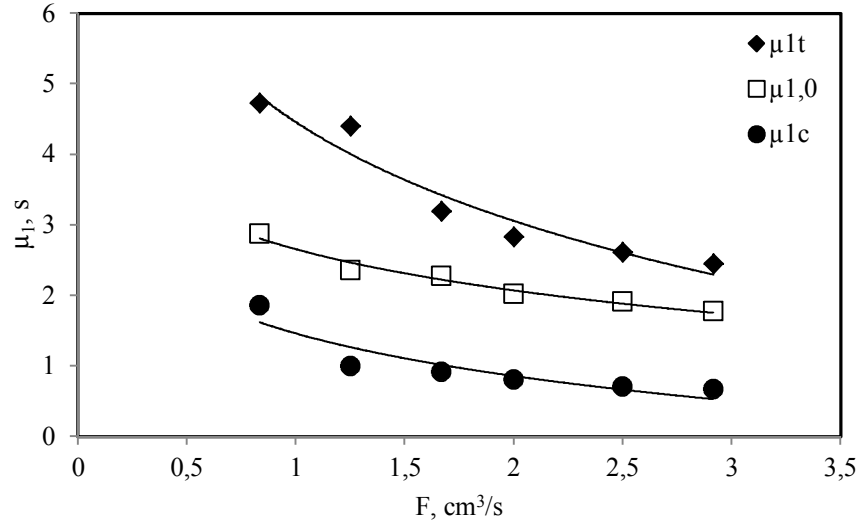
Şekil 7.45. Asetonun 25°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



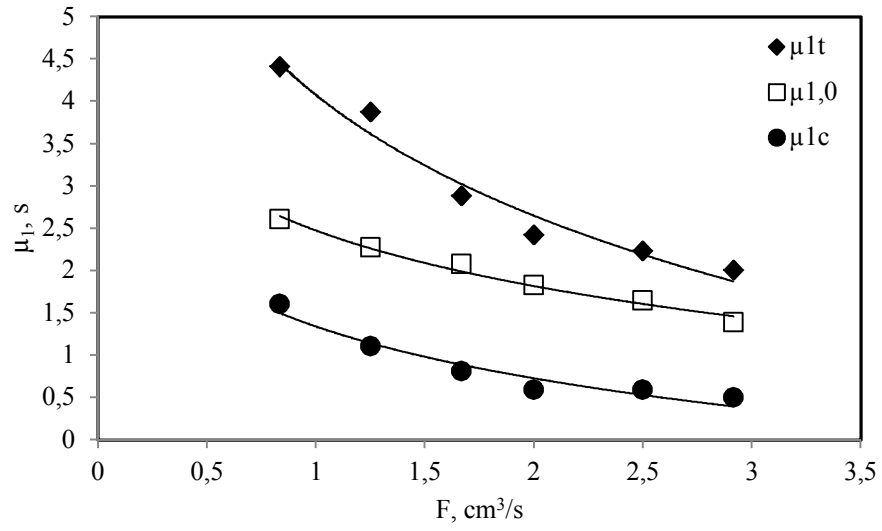
Şekil 7.46. Asetonun 40°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



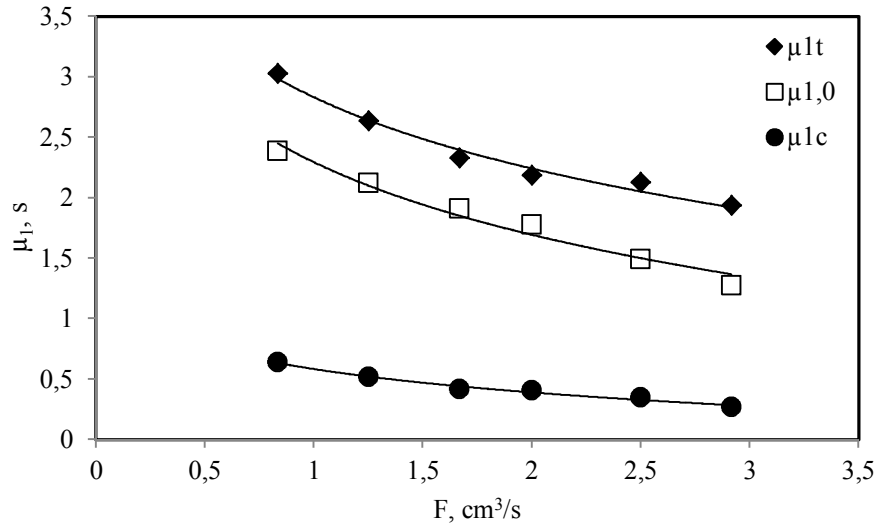
Şekil 7.47. Asetonun 60°C’de makine sıva alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



Şekil 7.48. Asetonun 25°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



Şekil 7.49. Asetonun 40°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi



Şekil 7.50. Asetonun 60°C’de saten perdah alçısı peletindeki birinci mutlak moment değerlerinin taşıyıcı gaz akış hızı ile değişimi

Tablo 7.17. Toluenin farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki $\rho_p K_i$ değerleri

Yapı Malzemesi	$\rho_p K_i$		
	25 °C	40 °C	60 °C
Perlitli alçı sıvası	12.226	8.353	4.408
Isı yalıtım levha alçı sıvası	10.844	7.758	4.243
İnşaat alçısı	13.786	10.248	4.907
Makine sıva alçısı	12.936	8.835	4.634
Saten perdah alçısı	11.889	8.266	4.388

Tablo 7.18. Metanolün farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki $\rho_p K_i$ değerleri

Yapı Malzemesi	$\rho_p K_i$		
	25 °C	40 °C	60 °C
Perlitli alçı sıvası	5.768	3.622	2.512
Isı yalıtım levha alçı sıvası	4.321	3.349	2.406
İnşaat alçısı	6.159	3.791	2.576
Makine sıva alçısı	6.803	3.847	2.814
Saten perdah alçısı	6.106	3.761	2.595

Tablo 7.19. Asetonun farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki $\rho_p K_i$ değerleri

Yapı Malzemesi	$\rho_p K_i$		
	25 °C	40 °C	60 °C
Perlitli alçı sıvası	4.442	3.170	2.361
Isı yalıtım levha alçı sıvası	4.197	3.117	2.244
İnşaat alçısı	4.476	3.407	2.385
Makine sıva alçısı	4.586	3.251	2.413
Saten perdah alçısı	4.316	3.128	2.302

Tablo 7.17-7.19’da görüldüğü gibi çalışılan uçucu organik bileşiklerin tüm alçı peletlerindeki denge adsorpsiyon katsayısı ($\rho_p K_i$) değerleri, sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Dolayısıyla izleyicilerin alçı örnekleri peletlerindeki adsorpsiyonu da sıcaklıkla azalmaktadır. Bu durumun literatürde fiziksel adsorpsiyonun tipik bir özelliği olduğu belirtilmektedir (Ruthven, 1984). Diğer taraftan bütün alçı peletlerindeki izleyicilerin adsorpsiyonu toluen-metanol-aseton sırasına göre azalmaktadır. Genel olarak izleyici bileşen buhar basıncının artmasıyla adsorpsiyonun azaldığı söylenebilir. Deneysel çalışmalarda kullanılan bütün izleyicilerin farklı sıcaklıklarda en fazla inşaat alçısı ve makine sıva alçısı peletlerinde en az ise ısı yalıtım sıvası peletinde adsorplandığı Tablo 7.17-7.19’ dan anlaşılmaktadır. Uçucu organik bileşiklerin yapı malzemesindeki adsorpsiyonu genel olarak yapı malzemesi cinsine, gözenekliliğine, spesifik yüzey alanına ve uçucu organik bileşiğin cinsine ve buhar basıncına bağlıdır. Bütün izleyicilerin inşaat ve makine sıva alçısındaki adsorpsiyonunun ısı yalıtım levha sıvasına göre yüksek olmasının sebebi; inşaat ve makine sıva alçısının gözenekliliğinin ve yüzey alanının diğer katılara göre daha yüksek olmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Literatürde uçucu organik bileşiklerin alçı ve benzeri yapı adsorpsiyonu üzerine çok az çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar genel olarak literatür sonuçlarıyla uyumluluk göstermektedir. Haghighat ve Popa (2003) yaptıkları çalışmada perkloretilen, toluen, izopropilalkol, etilasetat, metiletilketon ve sikloheksanın boya ve boyanmış alçı levhadaki adsorpsiyonunda, buhar basıncının artmasıyla adsorpsiyonlarının azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca çimento, boya, karo ve döşeme gibi yapı malzemelerindeki UOB’lerin adsorpsiyonu ve difüzyonu ile yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Bodalal ve ark., 2000; Luo ve Niu, 2006; Zhao ve ark., 2001; Haghighat ve Popa, 2003; Yang ve ark., 2001,2009).

Çalışılan uçucu organik bileşiklerin kullanılan tüm alçılardaki adsorpsiyon ısıları Van't Hoff eşitliğinden hesaplanabilir. Van't Hoff eşitliği gereğince $\ln(p_p K_i) - 1/T$ grafiği çizilerek elde edilen doğruların eğiminden adsorpsiyon ısıları bulunmuştur. Örnek bir grafik toluen için tüm alçı peletlerinde yapılarak EK-3' de verilmiştir (Şekil E.3.1-E.3.2). Bu doğruların eğiminden hesaplanan adsorpsiyon ısıları Tablo 7.20-7.22' de verilmiştir.

Tablo 7.20-7.22' de görüldüğü gibi alçı peletlerinde çalışılan UOB için adsorpsiyon ısıları değerleri de fiziksel adsorpsiyonun varlığını desteklemektedir (<50 kcal/mol). Ayrıca, en fazla adsorpsiyonun meydana geldiği makine ve inşaat alçıların adsorpsiyon ısıları değerlerinin beklenildiği gibi ısı yalıtımlı levha sıvasından büyük olduğu görülmektedir. Çeşitli alçılarda adsorpsiyon ısılarının negatif olduğu adsorpsiyon olayının ekzotermik olduğu sonucunu vermektedir.

Tablo 7.20. Toluenin deneysel çalışmalarda kullanılan alçı örneklerindeki adsorpsiyon ısıları

Yapı Malzemesi	Adsorpsiyon ısısı, $-\Delta H$ Kcal/gmol
Perlitli alçı sıvası	5.775
Isı yalıtım levha alçı sıvası	5.317
İnşaat alçısı	5.877
Makine sıva alçısı	5.812
Saten perdah alçısı	5.645

Tablo 7.21. Metanolün deneysel çalışmalarda kullanılan alçı örneklerindeki adsorpsiyon ısıları

Yapı Malzemesi	Adsorpsiyon ısısı, $-\Delta H$ Kcal/gmol
Perlitli alçı sıvası	4.655
Isı yalıtım levha alçı sıvası	3.303
İnşaat alçısı	4.882
Makine sıva alçısı	4.918
Saten perdah alçısı	4.790

Tablo 7.22. Asetonun deneysel çalışmalarda kullanılan alçı örneklerindeki adsorpsiyon ısıları

Yapı Malzemesi	Adsorpsiyon ısısı, $-\Delta H$ Kcal/gmol
Perlitli alçı sıvası	3.545
Isı yalıtım levha alçı sıvası	3.523
İnşaat alçısı	3.552
Makine sıva alçısı	3.601
Saten perdah alçısı	3.530

7.2.3. İkinci Merkezi Momentlerin Değerlendirilmesi ve Etkin Difüzyon Katsayılarının Hesaplanması

Deneylerde kullanılan izleyicilerin etkin difüzyon katsayılarını belirlemek için deneysel ikinci merkezi moment (varyans) değerlerinin bilinmesi gerekir. İzleyicinin pelet içerisindeki etkin difüzyon katsayısı ikinci moment için türetilen teorik ifade içerisinde yer almaktadır (Eşit. 5.39). Eşit. 5.39' da görüldüğü gibi, taşıyıcı gaz akış hızına karşı μ_{2c}/μ_{1c}^2 ifadesi grafiğe geçirilirse doğrunun eğiminden etkin difüzyon katsayısı bulunabilir. Düzeltilmiş ikinci merkezi momentler (μ_{2c}) pelet üzerinin açık ve kapalı olduğu durumlardaki ikinci merkezi momentler farkı alınarak hesaplanmış ve $F-\mu_{2c}/\mu_{1c}^2$ grafikleri çizilmiştir. Örnek bir grafik toluen için 40°C' de inşaat alçısı peleti için yapılarak EK-2' de verilmiştir (Şekil E.2.2). Bu grafikler oluşturulurken kayma değeri de göz önünde tutulmuştur. Eşit. 5.39' dan anlaşılabacağı gibi kayma değeri üst bölme hacmi ve birinci mutlak momentin bir fonksiyonudur. Daha önce hesaplanan birinci mutlak moment değeri ve sabit üst bölme hacminden yararlanılarak kayma değeri hesaplanmış ve grafiklerin oluşturulmasında akışın olmadığı duruma karşılık gelen değer olarak kullanılmıştır.

$F-\mu_{2c}/\mu_{1c}^2$ grafiklerin eğimlerinden faydalanılarak kullanılan uçucu organik bileşiklerin tüm alçı malzemelerindeki etkin difüzyon katsayıları deneysel olarak hesaplanmış ve Tablo 7.23-7.25' te verilmiştir.

Tablo 7.23. Toluenin farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki etkin difüzyon katsayısı değerleri

Yapı Malzemesi	$D_e, \text{cm}^2/\text{s}$		
	25 °C	40 °C	60 °C
Perlitli alçı sıvası	0.039	0.047	0.059
Isı yalıtım levha alçı sıvası	0.015	0.034	0.073
İnşaat alçısı	0.028	0.050	0.086
Makine sıva alçısı	0.083	0.211	0.397
Saten perdah alçısı	0.061	0.076	0.125

Tablo 7.24. Metanolün farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki etkin difüzyon katsayısı değerleri

Yapı Malzemesi	$D_e, \text{cm}^2/\text{s}$		
	25 °C	40 °C	60 °C
Perlitli alçı sıvası	0.091	0.101	0.163
Isı yalıtım levha alçı sıvası	0.034	0.053	0.082
İnşaat alçısı	0.058	0.079	0.156
Makine sıva alçısı	0.062	0.132	0.254
Saten perdah alçısı	0.054	0.069	0.116

Tablo 7.25. Asetonun farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki etkin difüzyon katsayısı değerleri

Yapı Malzemesi	$D_e, \text{cm}^2/\text{s}$		
	25 °C	40 °C	60 °C
Perlitli alçı sıvası	0.109	0.118	0.183
Isı yalıtım levha alçı sıvası	0.041	0.067	0.091
İnşaat alçısı	0.049	0.073	0.121
Makine sıva alçısı	0.056	0.093	0.125
Saten perdah alçısı	0.045	0.058	0.096

Tablo 7.23-7.25’ te görüldüğü gibi çalışılan bütün izleyicilerin tüm alçı peletlerindeki difüzyon katsayıları sıcaklıkla artmaktadır. Makine ve inşaat alçılarındaki difüzyon katsayısı değerlerinin bütün izleyiciler için ısı yalıtımlı levha sıvasına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan bütün alçı peletlerindeki izleyicilerin etkin difüzyon katsayısı genel olarak toluen-metanol-aseton sırasına göre artmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan bütün izleyicilerin bütün sıcaklıklarda diğer yapı malzemelerine göre en düşük ısı yalıtım sıvası peletinde difüzlendiği Tablo 7.23-7.25’ den anlaşılmaktadır. Bu değerler literatürdeki çeşitli uçucu organik bileşiklerin farklı yapı malzemelerindeki etkin difüzyon katsayılarıyla uyumluluk göstermektedir (Luo ve Niu, 2006; Bodalal ve ark., 2000; Zhao ve ark., 2001; Haghghat ve Popa, 2003; Yang ve ark., 2001, 2009).

7.2.4. Nemli Ortam Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Uçucu organik bileşiklerin çeşitli alçı örnekleri peletlerindeki difüzyon ve adsorpsiyonuna su buharının etkisini araştırmak amacıyla %20 ve %40 relatif neme sahip ortamlarda 25 ve 40°C’ de çalışmalar yürütülmüştür. İzleyici olarak toluen ve metanol kullanılmıştır.

25 ve 40°C’ de yapılan nemli ortam pulse-tepki deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sıfıncı momentler taşıyıcı gaz akış hızına karşı tabloda verilmiştir. Bu verilerden yararlanılarak akış hızlarına karşı sıfıncı moment değerleri Tablo 7.26-7.33 arasında verilmiştir. Tablo 7.26-7.33’ te görüldüğü gibi pelet üzerinin açık ve kapalı olması durumunda sıfıncı moment değerlerinin birbirine yakın çıkması toluen ve metanolün kullanılan alçı peletlerindeki adsorpsiyonunun nemli ortamlarda da büyük ölçüde tersinir olarak gerçekleştiğini göstermektedir.

Tablo 7.26. 25°C’ de nemli ortam için inşaat alçısında toluenin pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	%20 Relatif Nem		%40 Relatif Nem	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	18.538	18.754	17.195	17.793
1.25	16.595	16.593	12.939	12.201
1.67	11.133	12.340	9.734	8.799
2.00	8.801	9.197	7.935	6.735
2.50	6.159	6.340	5.795	5.796
2.92	5.553	5.720	5.397	5.302

Tablo 7.27. 40°C’ de nemli ortam için inşaat alçısında toluenin pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	%20 Relatif Nem		%40 Relatif Nem	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	18.885	19.671	18.687	20.142
1.25	15.941	15.284	14.614	15.219
1.67	14.487	14.608	13.927	14.392
2.00	9.259	10.479	9.148	9.811
2.50	7.475	7.611	6.741	7.394
2.92	6.074	6.587	5.926	5.974

Tablo 7.28. 25°C’ de nemli ortam için ısı yalıtım levha sıvasında toluenin pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	%20 Relatif Nem		%40 Relatif Nem	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	18.538	19.000	17.195	17.809
1.25	16.595	15.928	12.939	13.421
1.67	11.133	10.601	9.734	8.801
2.00	8.801	9.401	7.935	6.819
2.50	6.159	6.742	5.796	5.720
2.92	5.553	5.603	5.397	5.179

Tablo 7.29. 40°C’ de nemli ortam için ısı yalıtım levha sıvasında toluenin pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	%20 Relatif Nem		%40 Relatif Nem	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	18.885	18.391	18.687	18.590
1.25	15.941	16.793	14.614	14.795
1.67	14.487	15.585	13.927	12.928
2.00	9.259	9.512	9.148	8.129
2.50	7.475	8.912	6.741	6.744
2.92	6.074	5.924	5.926	6.146

Tablo 7.30. 25°C’ de nemli ortam için inşaat alçısında metanolün pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	%20 Relatif Nem		%40 Relatif Nem	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	34.173	34.592	32.397	32.975
1.25	28.617	28.125	26.978	28.172
1.67	25.172	23.380	22.171	20.394
2.00	18.579	20.375	16.770	16.173
2.50	13.197	14.230	12.580	13.198
2.92	10.174	10.900	9.577	10.173

Tablo 7.31. 40°C’ de nemli ortam için inşaat alçısında metanolün pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	%20 Relatif Nem		%40 Relatif Nem	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	31.528	32.128	27.957	29.218
1.25	29.141	27.947	26.795	25.593
1.67	26.145	25.792	21.919	21.393
2.00	18.941	20.195	17.020	17.212
2.50	13.792	14.196	11.196	11.739
2.92	11.142	12.075	8.193	7.960

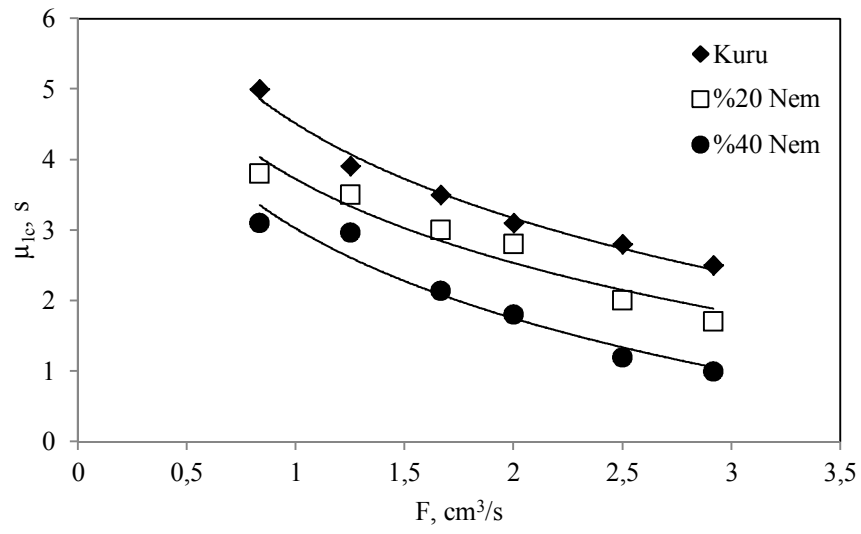
Tablo 7.32. 25°C’ de nemli ortam için ısı yalıtım levha sıvasında metanolün pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	%20 Relatif Nem		%40 Relatif Nem	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	34.173	33.417	32.397	32.603
1.25	28.617	27.797	26.978	27.578
1.67	25.172	24.074	22.171	23.199
2.00	18.579	17.197	16.771	16.798
2.50	13.197	14.217	12.580	14.198
2.92	10.174	10.302	9.577	10.576

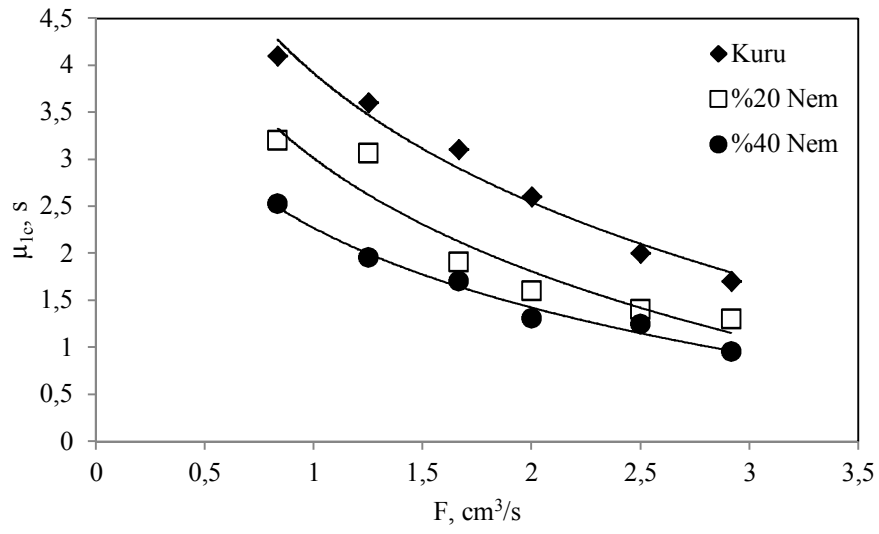
Tablo 7.33. 40°C’ de nemli ortam için ısı yalıtım levha sıvasında metanolün pelet üzerinin kapalı ve açık olduğu durumdaki deneysel sıfıncı moment verileri

Akış hızı, cm ³ /s	%20 Relatif Nem		%40 Relatif Nem	
	m ₀	m _{0t}	m ₀	m _{0t}
0.83	31.528	32.979	27.957	29.195
1.25	29.141	28.540	26.795	27.413
1.67	26.143	26.794	21.919	19.553
2.00	18.942	19.541	17.020	16.174
2.50	13.792	13.956	11.196	11.192
2.92	11.244	10.601	8.193	8.141

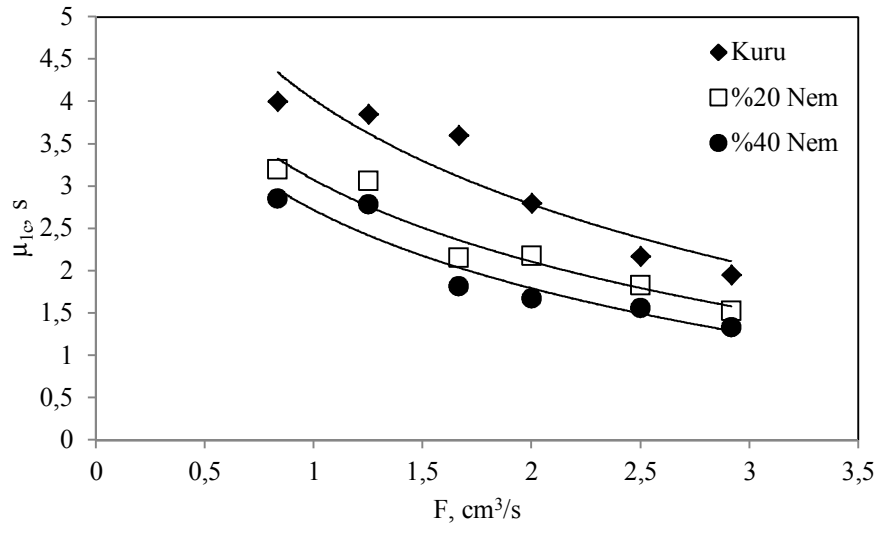
Daha önce de belirtildiği gibi tersinir adsorpsiyonda adsorpsiyon parametreleri birinci mutlak moment ifadesinde yer almaktadır. Bu amaçla birinci mutlak moment değerleri deneysel olarak belirlenmiş ve bu verilerden yararlanılarak izleyici için taşıyıcı gaz akış hızlarına karşılık çizilen düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha harcı için Şekil 7.51-7.58’ de verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi relatif nem oranı arttıkça izleyicinin peletlerdeki alıkonma süresini veren birinci mutlak moment değerlerinde belirgin bir düşüş vardır. Daha önce belirtildiği gibi adsorpsiyonun çok hızlı olmasından dolayı adsorpsiyon hız sabitinin adsorpsiyon denge sabiti yanında çok yüksek olacağından tersinir adsorpsiyon için türetilen eşitlikler (Eşit. 5.33 ve 5.40) denge adsorpsiyonu eşitliklerine indirgenir (Eşit. 5.33 ve 5.39). Eşit. 5.33’ e göre kayması sıfır olan bir doğru oluşturan $1/F-\mu_{1c}$ grafiği çizilirse, doğrunun eğiminden bilinmeyen tek değişken olan $\rho_p K_i$ bulunabilir. Bu amaçla Eşit. 5.33 kullanılarak $1/F'$ e karşılık birinci mutlak moment değerleri çizilmiştir. Çalışılan izleyici ve peletler için adsorpsiyon denge sabitleri ($\rho_p K_i$ ’ ler) çizilen bu grafiklerin eğimlerinden hesaplanmıştır. Toluen ve metanolün adsorpsiyon denge sabitleri çalışılan alçı peletleri için Tablo 7.34-7.37’ de verilmiştir.



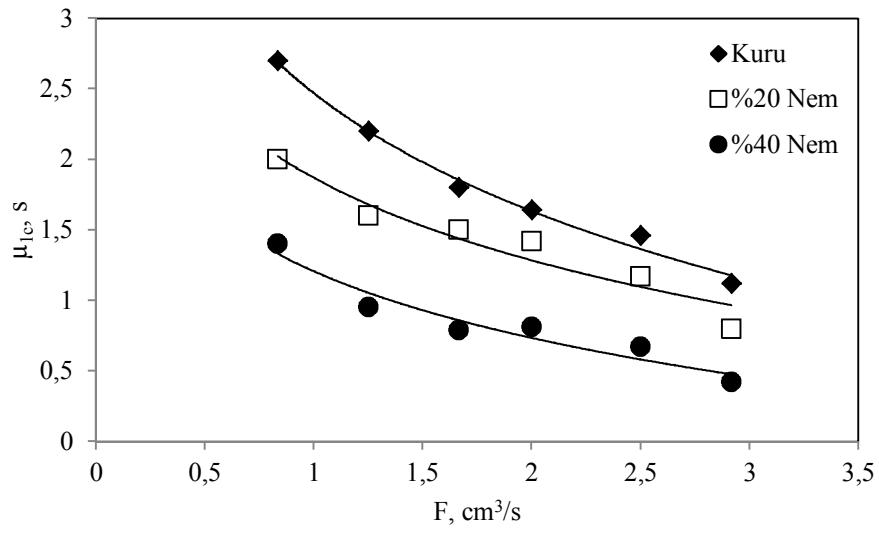
Şekil 7.51. İnşaat alçısı peletindeki tolüen izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (25°C)



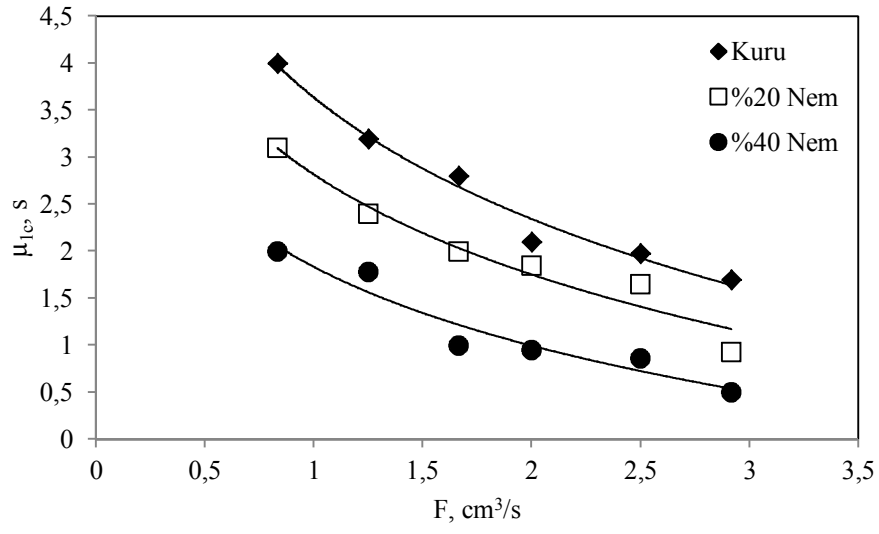
Şekil 7.52. Isı yalıtım levha sıva peletindeki tolüen izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (25°C)



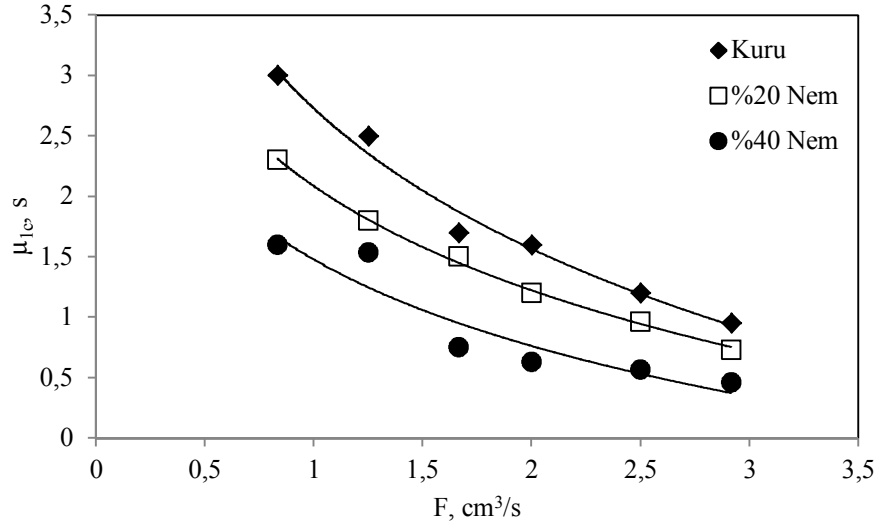
Şekil 7.53. İnşaat alçısı peletindeki toluen izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (40°C)



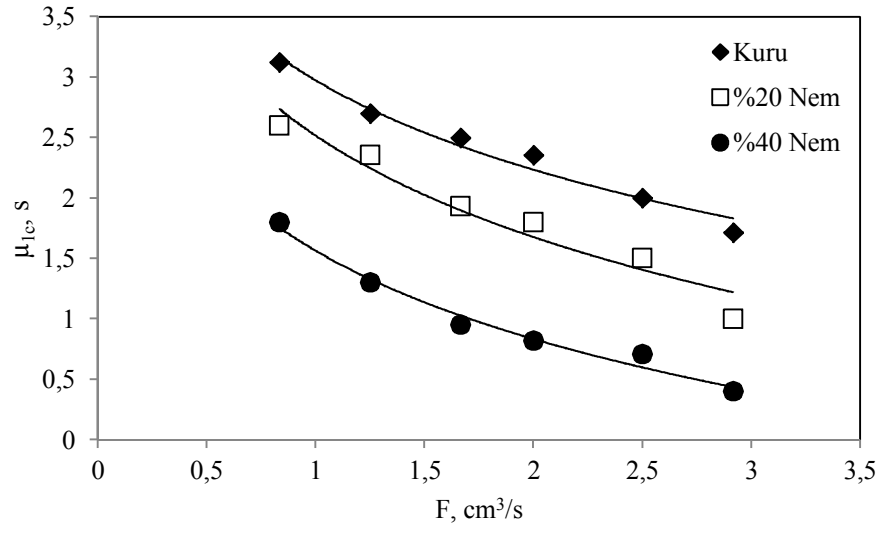
Şekil 7.54. Isı yalıtım levha sıva peletindeki toluen izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (40°C)



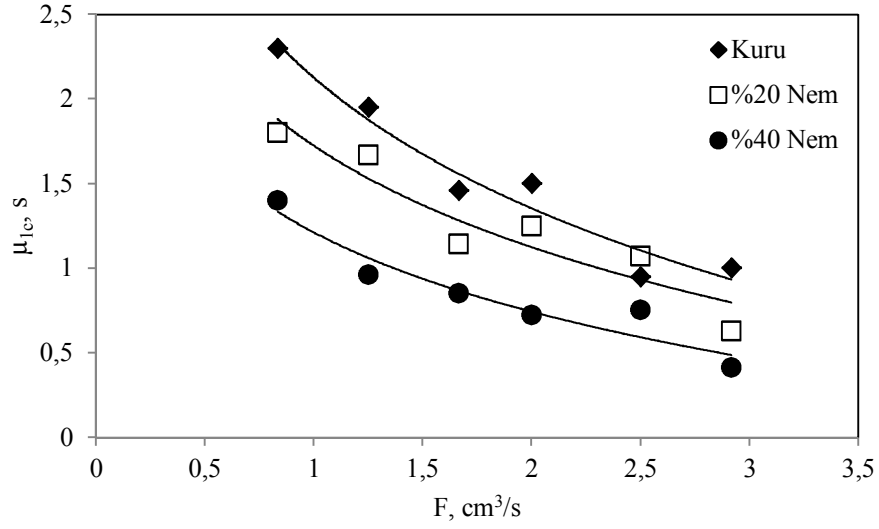
Şekil 7.55. İnşaat alçısı peletindeki metanol izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (25°C)



Şekil 7.56. Isı yalıtım levha sıva peletindeki metanol izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (25°C)



Şekil 7.57. İnşaat alçısı peletindeki metanol izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (40°C)



Şekil 7.58. Isı yalıtım levha sıva peletindeki metanol izleyicisi için düzeltilmiş birinci mutlak moment değerleri (40°C)

Tablo 7.34. 25°C’ de nemli ortamda toluenin inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında adsorpsiyon denge sabitleri

Nem Oranı	$\rho_p K_i$	
	İnşaat Alçısı	Isı Yalıtım Levha Harcı
0	13.786	10.844
20	9.314	8.872
40	7.762	4.921

Tablo 7.35. 25°C’ de nemli ortamda metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında adsorpsiyon denge sabitleri

Nem Oranı	$\rho_p K_i$	
	İnşaat Alçısı	Isı Yalıtım Levha Harcı
0	6.159	4.321
20	5.988	3.975
40	5.646	3.391

Tablo 7.36. 40°C’ de nemli ortamda toluenin inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında adsorpsiyon denge sabitleri

Nem Oranı	$\rho_p K_i$	
	İnşaat Alçısı	Isı Yalıtım Levha Harcı
0	10.248	7.758
20	8.891	3.540
40	7.735	2.646

Tablo 7.37. 40°C’ de nemli ortamda metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında adsorpsiyon denge sabitleri

Nem Oranı	$\rho_p K_i$	
	İnşaat Alçısı	Isı Yalıtım Levha Harcı
0	3.791	3.349
20	3.628	2.868
40	2.861	2.433

Tablo 7.34-7.37’de nem oranı arttıkça adsorpsiyon denge sabitlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Toluendeki azalma metanole göre daha fazla olmuştur. Bu sonuçlardan gözeneklerdeki bazı aktif merkezlerin su ile kaplandığı ve bu durumda toluen moleküllerinin suda çözünmeyerek bu aktif merkezlere adsorplanmadığı metanolün ise suda çözünerek daha fazla adsorplandığı söylenebilir. Literatürde uçucu organik bileşiklerin çeşitli yapı malzemelerindeki adsorpsiyonunda nem etkisinin benzer şekilde olduğu belirtilmiştir (Cabbar ve ark., 1994; Doğu ve ark., 1996; Kalender, 2003; Kalender ve Akosman, 2004; Yaşyerli, 1997; Yaşyerli ve ark., 1999).

Nemli ortamda izleyicilerin etkin difüzyon katsayıları kuru ortamdaki difüzyon katsayılarına benzer şekilde deneysel ikinci merkezi moment değerleri kullanılarak hesaplanmış ve Tablo 7.38-7.41’ de verilmiştir. Tablo 7.38-7.41’ deki verilere göre relatif nem oranının artmasıyla tolüenin ve metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha harcı peletlerindeki etkin difüzyon katsayıları azalmaktadır. Bu sonuçlardan anlaşılabacağı üzere, katı peletlerde adsorplanan su buharı, izleyicilerin difüzyonla taşınımını zorlaştırmaktadır. Literatürde uçucu organik bileşiklerin çeşitli yapı malzemelerindeki etkin difüzyon katsayıları üzerine nemin etkisinin benzer şekilde olduğu belirtilmiştir (Cabbar ve ark., 1994; Doğu ve ark., 1996; Kalender, 2003; Kalender ve Akosman, 2004; Yaşyerli, 1997; Yaşyerli ve ark., 1999).

Tablo 7.38. 25°C’ de nemli ortamda tolüenin inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında etkin difüzyon katsayıları

Nem Oranı	D _e , cm ² /s	
	İnşaat Alçısı	Isı Yalıtım Levha Harcı
0	0.028	0.015
20	0.022	0.012
40	0.017	0.009

Tablo 7.39. 25°C’ de nemli ortamda metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında etkin difüzyon katsayıları

Nem Oranı	D _e , cm ² /s	
	İnşaat Alçısı	Isı Yalıtım Levha Harcı
0	0.058	0.034
20	0.032	0.029
40	0.027	0.022

Tablo 7.40. 40°C’ de nemli ortamda toluenin inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında etkin difüzyon katsayıları

Nem Oranı	$D_e, \text{cm}^2/\text{s}$	
	İnşaat Alçısı	Isı Yalıtım Levha Harcı
0	0.050	0.034
20	0.037	0.022
40	0.024	0.014

Tablo 7.41. 40°C’ de nemli ortamda metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha sıvasında etkin difüzyon katsayıları

Nem Oranı	$D_e, \text{cm}^2/\text{s}$	
	İnşaat Alçısı	Isı Yalıtım Levha Harcı
0	0.079	0.053
20	0.060	0.048
40	0.051	0.032

8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmalarda, uçucu organik bileşiklerin (UOB) gözenekli yapıya sahip olan çeşitli alçılardaki dinamik difüzyon ve adsorpsiyon davranışları bir taraflı tek pelet moment tekniği ile incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen genel sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

UOB'lerin farklı sıcaklıklarda çeşitli alçı malzemelerindeki difüzyon ve adsorpsiyonunun dinamik metotla incelendiği bu çalışmada toluen, metanol ve aseton alçı örneklerinde tersinir olarak adsorplanmıştır. İzleyicilerin peletlerdeki ortalama kalış süresine karşılık gelen birinci mutlak momentlerin değerlendirilmesinden ise adsorpsiyonun çok hızlı olduğu ve tersinir adsorpsiyondaki adsorpsiyon denge sabitinin denge adsorpsiyonundaki ile aynı olmasından dolayı denge adsorpsiyon eşitliklerinin tersinir adsorpsiyon için de kullanılabileceği görülmüştür. Denge adsorpsiyon için elde edilmiş birinci mutlak moment ifadesinde (Eşit. 5.33) bilinmeyen tek parametre adsorpsiyon denge sabitidir. Bu parametre pulse-tepki deneylerinin bir setinden kolayca bulunabilmektedir. Ayrıca etkin difüzyon katsayısı Eşit. 5.34' deki düzeltilmiş ikinci merkezi momenti içeren ifadede tek bilinmeyen parametre olarak hesaplanabilmektedir.

UOB'lerin farklı sıcaklıklarda çalışılan alçı örneklerindeki adsorpsiyonu artan sıcaklıkla azalmaktadır. Fiziksel adsorpsiyonun genel karakteristiği olan bu durum için çalışılan alçı örneklerinde UOB'lerin fiziksel olarak adsorplandığı söylenebilir. Genel olarak tüm sıcaklık değerlerinde en iyi toluen, metanol ve aseton adsorpsiyonunun inşaat alçısı ve makine sıva alçılarında; en düşük toluen, metanol ve aseton adsorpsiyonunun ise ısı yalıtımlı levha sıvasında gerçekleştiği görülmektedir.

Van't Hoff eşitliği gereğince çeşitli alçı örneklerinde çalışılan UOB için adsorpsiyon ısıları değerleri de fiziksel adsorpsiyonun varlığını desteklemektedir (<50 kcal/mol). Ayrıca, en fazla adsorpsiyonun meydana geldiği makine ve inşaat alçıların adsorpsiyon ısıları değerlerinin beklenildiği gibi ısı yalıtımlı levha sıvasından büyük olduğu görülmektedir. Çeşitli alçılarda adsorpsiyon ısılarının negatif olduğu adsorpsiyon olayının ekzotermik olduğu sonucunu vermektedir.

Son olarak gerçekleştirilen ikinci merkezi moment analizlerinden alçı örneklerinde toluen, metanol ve asetonun etkin difüzyon katsayıları hesaplandı. Çalışılan tüm alçı örneklerinde toluen, metanol ve aseton difüzyonu sıcaklıkla artmıştır. Makine ve inşaat alçılarındaki difüzyon katsayısı değerlerinin bütün izleyiciler için ısı yalıtımlı levha

sıvasına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Diğer taraftan bütün alçı peletlerindeki izleyicilerin etkin difüzyon katsayısı genel olarak toluen-metanol-aseton sırasına göre artmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan bütün izleyicilerin bütün sıcaklıklarda diğer yapı malzemelerine göre en düşük ısı yalıtım sıvası peletinde difüzlenmektedir.

Nemli ortamda yapılan deneylerde uçucu organik bileşik olarak suda çözünmeyen toluen ve suda çözünen metanol, yapı malzemesi olarak inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha harcı kullanılmıştır. Bu kısımda inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha harcı peletlerinin nemlendirilmesiyle toluen ve metanolün 25°C ve 40°C’ deki etkin difüzyon katsayıları ve adsorpsiyon denge sabitleri bulunmuştur.

Nemli ortamda yapılan deneylerde kullanılan izleyicilerin kullanılan alçı peletlerinde tersinir olarak adsorplandığı belirlenmiştir. Nem oranı arttıkça adsorpsiyon denge sabitlerinde azalma olduğu gözlenmiştir. Nemli ortamlardaki adsorpsiyon parametreleri ve etkin difüzyon katsayıları kuru ortamdakilerinden daha düşük bulunmuştur. Toluendeki azalma metanole göre daha fazla olmuştur. Nemli ortamdaki deney sonuçlarına göre toluen ve metanolün inşaat alçısı ve ısı yalıtım levha harcı peletlerindeki etkin difüzyon katsayıları azalmaktadır.

Daha sonraki çalışmalarda alçı örneklerinde, farklı UOB’lerin difüzyon ve adsorpsiyonu ikili veya çok bileşenli sistemler için incelenebilir. Ayrıca adsorpsiyon hız sabiti belirlenememiştir. Farklı pelet boylarında çalışılarak adsorpsiyon hız sabiti hesaplanabilir.

KAYNAKLAR

- Akal, D.**, İç Ortam Hava Kirliliği ve Çalışanlara Olumsuz Etkileri, ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi, 112-119, 2013
- Alpay, E.**, Kütle aktarımı Ege Ü. Mühç Fak. Yayınları No:14, 161 s, İzmir, 1983
- Aralcı** Yapı Kimyasalları Kataloğu, Elazığ, 2011
- ATSDR** (Agency for Toxic Substances and Registry), U.S. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Service, Atlanta, GA, 1997
- Bodalal, A., Zhang, J.S., Plett, E.G.**, A Method for Measuring Internal Diffusion and Equilibrium Partition Coefficients of Volatile Organic Compounds for Building Materials, Building and Environment, 35, 101-110, 2000
- Brown, S. K.**, Assessment of Pollutant Emissions from Dry Process Photocopiers Indoor Air, 9:259-267, 1999.
- Burton, B.T.**, Volatile Organic Compounds, Indoor Air Pollution and Health, Marcel Dekker, New York, 1997
- Cabbar, H. C., Doğu, G., Doğu, T., McCoy, B. J., Smith, J. M.**, Analysis of Diffusion and Sorption of Chlorinated Hydrocarbons in Soil by Single Pellet Moment Technique, Environ. Sci. Technol , 28, 1312-1319, 1994
- Cabbar, H.C.**, Toprakta ve Gözenekli Katılarda Adsorpsiyon ve Taşınımın Tek Tablet Üzerinde Dinamik Analizi, Doktora Tez., G.Ü. Fen Bilimleri Enst., Ankara, 215s, 1991
- Cox, S. S., Zhao, D., Little, J. C.**, Measuring Partition and Diffusion Coefficients for Volatile Organic Compounds in Vinyl Flooring, Atmospheric Environment, 35 , 3823-3830, 2001.
- Doğu, G. ve Smith, J.M.**, Rate Parameters from Dynamic Experiments with Single Catalyst Pellets, Chem. Eng. Sci., 31, 123-135, 1976

- Doğu, G., Aygün, A.,** Aktif Soda Gözeneklerinde Etkin Difüzyon Sabiti ve Bükümlülük Faktörünün Bulunması, Gazi Üniv., MMF Dergisi, 1, (2) pp, 1-13, 1986
- Doğu, G., Cabbar, C, Doğu, T.,** Thermal and Mass Diffusivity from Dynamic Single Pellet Experiments, Chem. Eng. Commun., 102: 149, 1991
- Doğu, G., Keskin, A., Doğu, T.,** Macropore and Micropore Effective Diffusion Coefficients from Dynamic Single Pellet Experiments, AIChE J., 33, 322, 1987
- Doğu, G., Pekediz, A., Doğu, T.,** Dynamic Analysis of Viscous Flow and Diffusion in Porous Solids, AIChE, J., 35, 1370, 1989
- Doğu, G., Smith, J.M.,** A Dynamic Method for Catalyst Diffusivities, AIChE J., 21, 58, 1975
- Doğu, G., Smith, J.M.,** Rate Parameters from Dynamic Experiments with Single Catalyst Pellets, Chem. Eng. Sci., 31, 123-135, 1976
- Doğu, T., Cabbar, C., Doğu, G.,** Single Pellet Technique for İrreversible and Reversible Adsorption in Soil, Environmental and Energy Engineering, 39, 11, 1895-1899, 1993
- Doğu, T., Yaşyerli, N., Doğu, G., McCoy, B. J., Smith, J. M.,** One-Sided Single-Pellet Technique for Adsorption and İntraparticle Diffusion, Reactors, Kinetics and Catalysis, 42, 2, 516-523, 1996.
- Ekinci, C.E.,** Bordo Kitap Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, 2008
- Elkilani, A.S., Baker, C.G.J., Al-Shammari, Q.H., Bouhamra, W.S.,** Sorption of Volatile Organic Compounds on Typical Carpet Fibers, Environment International, 25, 575-585, 2003
- EPA (Amerikan Çevre Koruması Ajansı),** National Air Pollutant Emission Trends, 1990-1995
- EPA-454/R-96-007,** EPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, 1996

- Ercan, C.**, Analysis of Adsorption of Gases on Bidisperse Porous Catalysts by a Pulse-Response Technique, M. S. Thesis, METU, Chem. Eng. Dpt., Ankara, 77 pp, 1980
- Ghoshal, A.K., Manjare, S.D.**, Selection of Appropriate Adsorption Technique for Recovery of VOCs: an Analysis, J. Loss Prevention, 15, 413-421, 2002.
- Güney, A.A.**, Bina İçi ve Dışı Uçucu Organik Bileşiklerin Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2010
- Haghighat, F., Huang, H.**, Modelling of volatile organic compounds emission from dry building materials, Building and Environment, 37 (2002), 1349-1360, 2001.
- Haghighat, F., Popa, J.**, The Impact of VOC Mixture, Film Thickness and Substrate on Adsorption/Desorption Characteris of Some Building Materials, Building and Environment, 38, 959-964, 2003
- Hess-Koza, K.**, Indoor Air Quality: Sampling Methodologies, Lewis Publishers, CRS Press, New York, 2001
- Huang, H., Haghighat, F., Blondeu, P.**, Volatile Organic Compound (VOC) Adsorption on Material: Influence of Gas Phase Concentration, Relative Humidity and VOC type, Indoor Air, 16, 236-47, 2006
- Hwang, K.S., Choi, D.K., Gong, S.Y., Choi, S.Y.**, Adsorption and Thermal Regeneration of Methylene Chloride Vapor on an Activated Carbon Bed, Chem. Eng. Sci., 52(7), 1111-1123, 1997.
- Kalender, M., Akosman, C.**, Dynamic Analysis of The Diffusion and Adsorption of Watermiscibleand Water-immiscible Organic Vapors in Soil. Chem. Eng. Technol., 27 (4), 440-446, 2004.
- Kalender, M.**, Su Buharı Uçucu Organik Madde Karışımlarının Gözenekli Ortamlarda Difüzyon ve Adsorpsiyonunun İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2003

- Katsoyiannis, A., Leva, P., Barrero-Moreno, J., Kotzias, D.,** Building Materials. VOC Emissions, Diffusion Behaviour and Implications from Their Use, Environment Pollution, 169, 230-234, 2012
- Khan, F.I., Ghoshal, A.K.,** Removal of Volatile Compounds from Polluted Air, J. Loss Prevention, 13, 527-545, 2000
- Lee, C.W., Dai, Y.T., Chien, C.H., Hsu, D.J.,** Characteristics and Health Impacts of Volatile Organic Compounds in Photocopy Centers, Environmental Research, 100:139-149, 2006
- Leovic, K.W., Whitaker, D.A., Northeim, C., Sheldon, L.S.,** Evaluation of Test Method for Measuring Indoor Air Emission from Dry-Process Photocopiers, J. Air Waste Manage, Assoc., 48:915-923, 1998
- Lide, D. R.,** Handbook of Chemistry and Physics, 77th ed, New York, NY, 1996
- Luo, R., Niu, J. L.,** Determining Diffusion and Partition Coefficients of VOCs in Cement Using One FLEC, Building and Environment, 41, 1148-1160, 2006.
- Maroni, M., Seifert, B., Lindvall, T.,** Indoor Air Quality- A Comprehensive Reference Book, Elsevier, Amsterdam, 1995
- Mc Cabe, W.L., Smith. J. C.,** Unit Operations of Chemical Engineering, 4rd. Ed., Mc Graw-Hill, New York, 1985
- Missen, R.W., Charles, M.A., Saville, B.A.,** Chemical reaction engineering and kinetics, Wiley, 672s, New York, 1999
- Molhave, L.,** Indoor Climate, Air Pollution and Human Comfort, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 1(1):63-81, 1991
- Norback, D., Bjornsson, E., Janson, C., Widstrom, J., Boman, G.,** Asthma and Indoor Environment: The Significance of Emission of Formaldehyde and Volatile Organic Compounds from Newly Painted Indoor Surfaces, Occupational and Environmental Medicine, 52(69):388-395, 1995

- Otto, D., Hundell, H., House, D., Molhave, L., Counts, W.,** Exposure of Humans to a Volatile Organic Mixture, I.Behavioural Assessment, Archives of Environmental Health, 47(1):23-30, 1992
- Park, S., Doug, D. D., Rodrigues, A. E.,** Measurement of the Effective Diffusivity in Porous Media by the Diffusion Cell Method. Catal. Rev.-Sci. Eng. 38(2), 189-247, 1996.
- Pekediz, A.,** Gözenekli Katılarda Difüzyon ve Fizkoz Akı, Yük. Lis. Tezi, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., 1-21 s., Ankara, 1988
- Rebhun, M., Kalabo, R., Grossman, L., Monka, J., Raw-Acha, Ch.,** Sorption of Organics on Clay and Synthetic Humic-clay Complexes Simulating Aquifer Processes, Water Res., 26, 79, 1992
- Robinson, J., Nelson, W.C.,** National Human Activity Pattern Survey Data Base, United Stated Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, 1995.
- Ruthven, D. M.,** Principles of adsorption and adsorption processes, John Wiley & Sons, 1984
- Sağlam, G.,** Çimento Üretiminde Atık Mermer Tozu ve Atık Alçının Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2012
- Sandmeyer, E.E.,** Aromatic Hydrocarbons, Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Edition, Wiley, New York, 3253-3431, 1982
- Schefflan, L., Jacobs, M. B.,** The Handbook of Solvents, Robert E. Krieger, New York, 728 s, 1973
- Schneider, P., Smith, J.M.,** Adsorption Rate Constant from Chromatography, AIChE J., 14(5), 762-771, 1968
- Seo, J., Kato, S., Ataka, Y., Chino, S.,** Performance test for evaluating the reduction of VOCs in rooms and evaluating the lifetime of sorptive building materials, Building and Environment, 44 (2009), 207-215, 2008.
- Smith, J. M.,** Chemical Engineering Kinetics. McGraw-Hill, 3 rd., 676, 1983

- Spicer, C.W., Gordon, S.M., Holdren, M.W., Kelly, T.J., Mukond, R.,** Hazardous Air Pollutant Handbook: Measurements, Properties, and Fate in Ambient Air, Lewis Publishers, CRS Press, Florida, 2002
- Sun, W., Costa, A.V., Rodrigues, A.E.,** Determination of Effective Diffusivities and Convective Coefficients of Pure Gases in Single Pellets, The Chem. Eng. J., 57: 285, 1995
- Tamas, G., Weschler, C.J., Toftum, J., Fanger, P.O.,** Influence of Ozone-Limonene Reactions on Perceived Air Quality, Indoor Air, 16, 168-178, 2006
- US EPA,** Carcinogenic Effects of Benzene: An Uptade, Office of Research and Development, EPA/600/p-97001F, Washington, 1998
- Uyanık, Ö.,** Effect of Micropores on Gaseous Diffusion in Bidisperse Porous Catalyst, M.S. Thesis, METU, Chem. Eng. Dept., Ankara, 1977
- Veli, S., Alyüz, B.,** İç Ortam Havasında Bulunan Uçucu Organik Bileşikler ve Sağlık Üzerine Etkileri, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Trakya Univ. J. Sci., Derleme, 7(2):109-116, 2006
- Vural, M.S., Balanlı, A.,** Yapı Ürünü Kaynaklı İç Hava Kirliliği ve Risk Değerlendirmede Ön Araştırma, Megaron YTÜ Mimarlık Fakültesi Dergisi, 28-39, 2005
- Xu, J., Zhang, J.S.,** An Experimental Study of Relative Humidity Effect on VOCs' Effective Diffusion Coefficient and Partition Coefficient in a Porous Medium, Building and Environment, 46, 1785-1796, 2011
- Yalçınkaya, A.,** Yapı Malzemesi ve Çevre Etkileşimi, İTÜ FBE, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1995
- Yang, X., Chen, Q., Zhang, J.S., An, Y., Zeng, J., Shaw, C.Y.,** A Mass Transfer Model for Simulating VOC Sorption on Building Materials, Atmospheric Environment, 35, 1291-1299, 2001

- Yang, X., Deng, Q., Zhang, J.,** Study on A New Correlation Between Diffusion Coefficient and Temperature in Porous Building Materials, Atmospheric Environment, 43, 2080-2083, 2009
- Yaşyerli, N., Doğu, G., Doğu, T., McCoy, B. J.,** Pulse-Response Study for the Humidity Effect on Sorption of Ethyl Bromide on Clays, AIChE J., 45 (2), 291-298, 1999
- Yaşyerli, N.,** Toprakta Organik Kirleticilerin Taşınımı ve Adsorpsiyonu, Doktora Tezi, Gazi Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 215s, 1997
- Yılmaz, D.,** Bazı Uçucu Organik Bileşiklerin Absorpsiyonla Giderimi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 2006
- Zhang, J., Zhang, J., Chen, Q.,** Effects of Environmental Conditions on the VOC Sorption by Building Materials-part 1: Experimental Results. ASHRAE Transactions, 108, 273-82, 2002
- Zhang, Y., Wang, X., Xiong, J.,** Correlation between the solid/air partition coefficient and liquid molar volume for VOCs in building materials, Atmospheric Environment, 42, 7768-7774, 2008.

EKLER

EK-1. Gözeneklilik ve Pelet Hacminin Hesaplanması

Alçı peletleri ile yapılan çalışmalarda görünür yoğunluğun hesaplanması:

$$\rho_p = \frac{m}{V_p} \quad (\text{E.1.1})$$

Burada;

ρ_p : Görünür yoğunluk
 m : Örnek ağırlığı
 V_p : Toplam pelet hacmidir. (katı+boşluk)

$$\rho_s = \frac{m}{V_s} \quad (\text{E.1.2})$$

Burada;

ρ_s : Katının gerçek yoğunluğu
 V_s : Katı hacmidir.

$$\varepsilon_p = \frac{V_G}{V_p} = \frac{V_p - V_s}{V_p} = 1 - \frac{V_s}{V_p} \quad (\text{E.1.3})$$

Burada;

ε_p : Pelet gözenekliliği
 V_G : Gözenek hacmi

Eşit. E.1.3' ten;

$$1 - \varepsilon_p = \frac{V_s}{V_p} \quad (\text{E.1.4})$$

veya;

$$\varepsilon_p = 1 - \frac{\rho_p}{\rho_s} \quad (\text{E.1.5})$$

yazılabilir.

Silindirik pelet için;

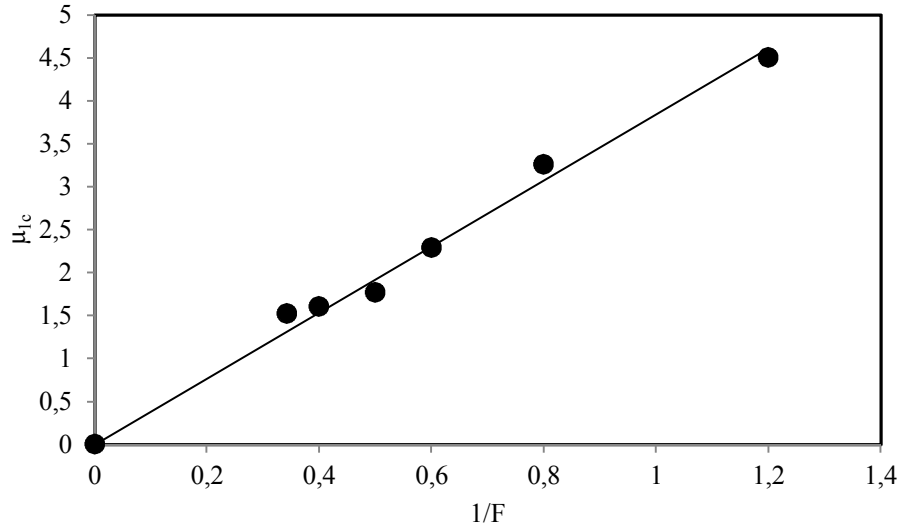
$$V_p = \pi r^2 L \quad (\text{E.1.6})$$

Burada;

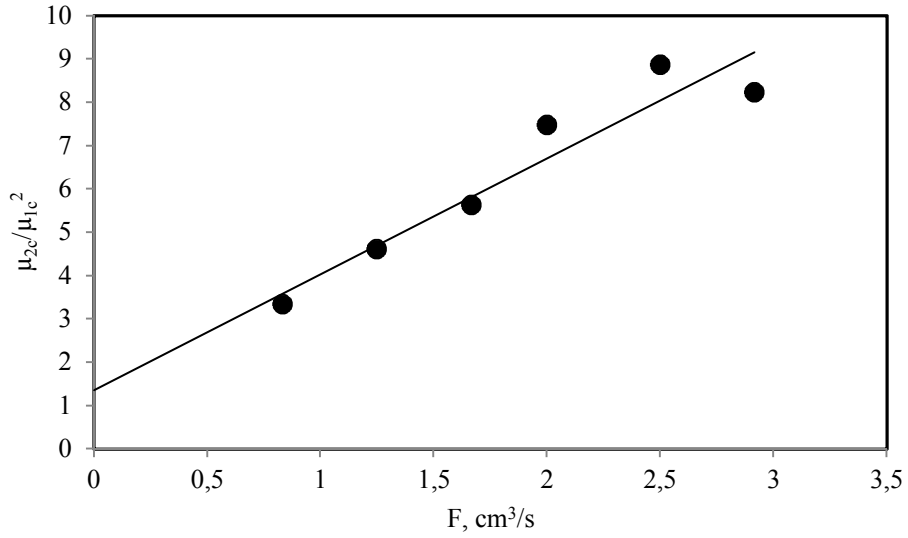
r : Peletin yarıçapı (cm)

L : Peletin uzunluğu (cm)

EK-2. Adsorpsiyon ve Difüzyon Katsayılarının Hesaplanmasında Kullanılan Örnek Grafikler

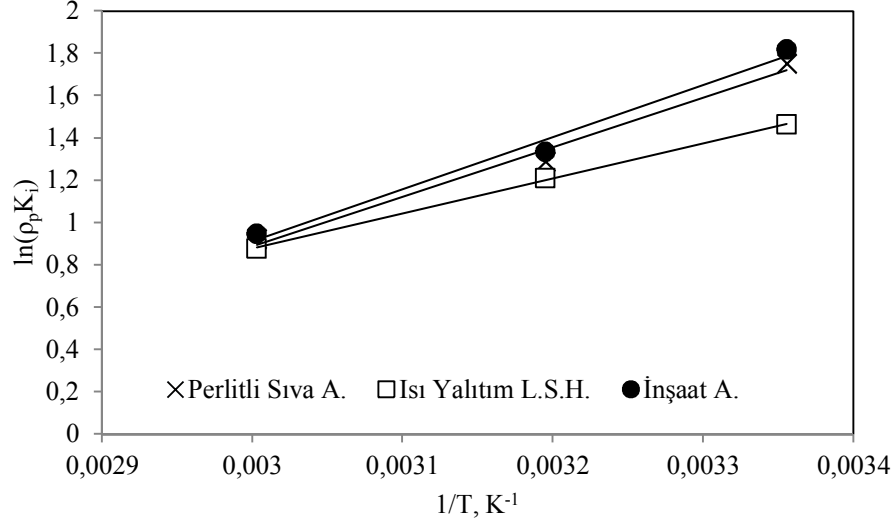


Şekil E.2.1. Toluenin 40°C’ de inşaat alçısı peletindeki difüzyon ve adsorpsiyonuna ait $1/F-\mu_{1c}$ grafiği

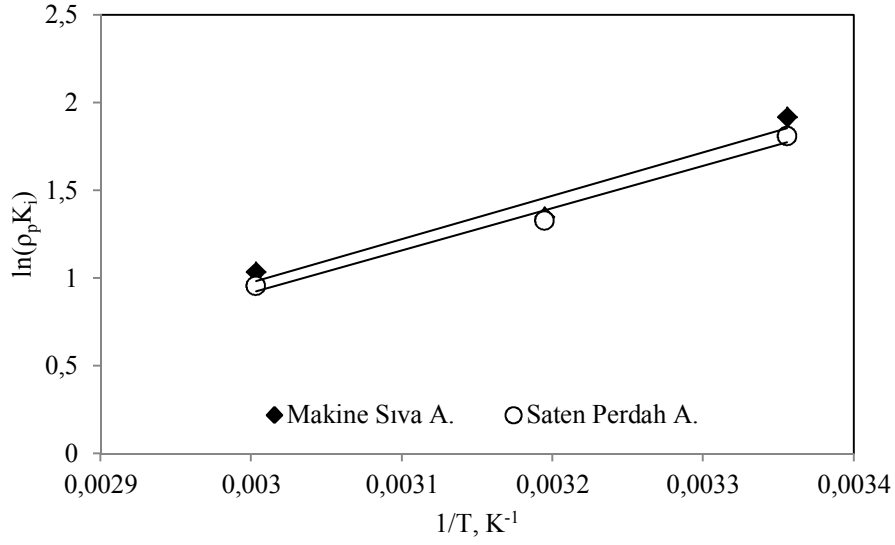


Şekil E.2.2. Toluenin 40°C’ de inşaat alçısı peletindeki difüzyon ve adsorpsiyonuna ait $F-\mu_{2c}/\mu_{1c}^2$ grafiği

EK-3. Uçucu Organik Bileşiklerin Alçılar Üzerindeki Adsorpsiyon Isılarını Belirlemede Kullanılan Örnek Grafikler



Şekil E.3.1. Toluenin perlitli sıva alçısı, ısı yalıtımlı levha sıvası ve inşaat alçısı peletlerindeki adsorpsiyon katsayısının sıcaklıkla değişimi



Şekil E.3.2. Toluenin makine sıva alçısı ve saten perdah alçısı peletlerindeki adsorpsiyon katsayısının sıcaklıkla değişimi

EK-4. Relatif Nem Oranı Belirlenmesi ile İlgili Örnek Hesaplama

Nemli ortamda yapılan deneylerde taşıyıcı gazın relatif nem oranı, nemli taşıyıcı gazın belirli bir süre magnezyum perklorat tuzağından geçirilmesiyle belirlenmiştir. Bu yöntemle %20 relatif nemli taşıyıcı gaz elde etmek için yapılan deney sonucundaki örnek bir hesap işlem sırasına göre aşağıda verilmiştir.

1. Nemli gazın akış hızı	: 30 cm ³ /dk
2. Toplam gaz akış hızı	: 100 cm ³ /dk
3. Beklenen süre	: 10 dk
4. Taşıyıcı gazın toplam mol sayısı	: 0.0409 gmol
5. Tuzağın ilk tartımı, m ₁	: 37.834 g
6. Tuzağın son tartımı, m ₂	: 37.846 g
7. Tutulan su miktarı, (m ₂ -m ₁)	: 0.012 g
8. Tutulan su molü	: 6.67×10 ⁻⁴
9. Suyun mol kesri, (8/4)	: 0.0163
10. Elazığ' ın atmosfer basıncı, P _τ	: 678 mmHg
11. Suyun kısmi basıncı, P _{su} , (9×10)	: 11.057 mmHg
12. 40°C' deki buhar basıncı, P ^o _{su}	: 55.193 mmHg
13. % Relatif Nem (11/12)	: %20

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, Orta ve Lise eğitimini Elazığ'da tamamladı. 2008 yılında girdiği Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünden bölüm birincisi ve fakülte ikincisi olarak 2012 yılında mezun oldu. 2012 yılından itibaren Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Termodinamik ve Temel İşlemler Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.