

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK ve DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ KİMYA MÜHENDİSLİĞİ

KMB0308 KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI-I

DENEY FÖYÜ



Bahar, 2024
Yıldırım, BURSA



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

İÇİNDEKİLER

1. KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI LABORATUVAR GENEL KURALLARI
2. RAPOR YAZIM KILAVUZU
3. RAPOR YAZIM FORMATI
4. DENEY FÖYLERİ

1. KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI LABORATUVAR GENEL KURALLARI

1. Laboratuvarlara katılabilmek ve deney yapabilmek için ‘**Laboratuvar Güvenlik El Kitabı**’ dikkatlice okunmuş ve laboratuvarlarda çalışma kuralları öğrenilmiş olunmalıdır.
2. Öğrencilerin, laboratuvara katılabilmek için güvenlik konularını içeren **Laboratuvar Güvenlik Seminerine** ve ardından yapılacak **sınava** katılması zorunludur. Sınavdan başarılı olan öğrencilerin güvenlik formunu imzalayıp teslim etmeleri gerekmektedir. Bu koşulları yerine getirmeyen öğrenciler laboratuvarlara alınmayacaktır.
3. Laboratuvara **devam zorunludur**. Dönem sonunda, **ikiden fazla deneye katılmayan**, ikiden fazla deney öncesi sınavdan başarısız olan öğrenciler devamsız sayılırlar ve dönem sonu sınavına giremezler.
4. Önceki yıl laboratuvar derslerinden başarısız olarak **tekrar eden öğrencilerin laboratuvar dersine devam zorunluluğu bulunmaktadır**.
5. **Geçerli mazereti olanlar ve bu mazereti belgelendirenler** en çok iki adet telafi deneyine katılabilecektir. Habersiz ve onaysız olarak deneye gelmeyen öğrenciler deneyden başarısız sayılırlar. Bu durumda deneyin telafisi söz konusu değildir.
6. Herhangi bir mazeretle deneye katılamayan öğrenciler ilgili deneyin sorumlusu ile görüşerek telafi deneyini planlamalıdır.
7. Tüm öğrenciler laboratuvar kurallarına uymak zorundadır. Deneylere **önlük, eldiven ve gözlüksüz girilemez**, cep telefonları ile görüşme yapılamaz, bir şey yiyip içilemez. İlgili öğretim üyesinin izni olmaksızın laboratuvar dışına çıkılamaz.
8. Laboratuvarlara zamanında gelinmelidir. **10 dk geç gelen** öğrenci deneye alınmayacaktır.
9. Öğrenciler laboratuvar saatinin başladığı saatte öncelikle yazılı sınava tabi tutulacaklardır. Sınav süresi **15 dk** olacaktır. **Deneye geç gelen öğrenci için ekstra süre verilmeyecektir**. Sınavda **geçme notu “35”** olacaktır. **Geçme notunu sağlayamayan öğrenciler deneylere katılamayacaklardır**.
10. Yazılı sınava girmeyen veya yazılı sınava girip deneye girmeyen/giremeyen öğrenci devamsızlık hakkını kullanmış sayılır.
11. Deney sonrasında; masa, cihaz ve malzemeler **temiz** bırakılmalıdır. Deney sırasında kullanılan cam eşyaların sorumluluğu deneyi yapan gruba aittir.
12. Deney sırasında, **deney verileri** grup üyeleri tarafından deney föyünün **veri tablosuna not edilmeli** ve ilgili **deney sorumlusuna imzalatılmalıdır**. Deney raporuna deney sorumlusu tarafından imzalanmış veri tablosu eklenmelidir. Veri tablosu eksik olan deney raporları kabul edilmeyecektir.

13. Deney raporları her deney için **grup olarak** hazırlanacaktır. Deney raporları bir sonraki **deney günü** ilgili deney sorumlusuna teslim edilmelidir. Deney gününden 2 gün sonrasına kadar geç teslim edilen raporlar için her gün rapor notundan **15 puan** düşürülür. Üç iş günü geciken raporlar ise kabul edilmez.
14. Deney raporları bilgisayarda ve belirtilen yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmalıdır. Raporun **sonuç bölümü her bir grup üyesi tarafından ayrı** hazırlanarak grup raporuna eklenmelidir.
15. Deney raporları özgün olmak zorundadır. Teslim edilen deney raporları ilgili deney sorumlusu tarafından **“intihal programı”** ile kontrol edilecektir. Raporun (küçük bir parçası dahi olsa) başka bir yerden kopyalandığı tespit edildiği takdirde notu sıfır olarak değerlendirilir ve deneyin telafisi yapılmaz. **Başkasına ait bir materyalin kopyalanması etik suçtur.**
16. Deney raporunda faydalanılan tüm kaynaklar uygun formatta belirtilmelidir. Deneyin yapılışı ve diğer bilgiler föyden kopyalanarak yazılmamalıdır. **Deney föyü kaynak olarak kabul edilmeyecektir.**

Tablo 1. Rapor değerlendirme kriterleri

	PUAN
Rapor Düzeni	10
Kuramsal Temel	10
Deneysel Yöntem	10
Hesaplamalar	30
Yorum	30
Kaynaklar	10
Her bir geç gün	-15

17. Dersin yılsonu değerlendirmesi için; **yazılı sınav notunun %50'si** ve **deney rapor notunun %50'si** alınarak **Ara sınav** notu girilecektir. **Ara sınav notunun %60'ı** ve **final sınavı notunun %40'ı** hesaplanarak **dönem notu** belirlenecektir.

2. RAPOR YAZIM KILAVUZU

Her deneyle ilgili rapor, deneyi tamamlayan öğrenci grubu tarafından aşağıdaki düzene uygun olarak hazırlanacak ve **deney sorumlusuna .pdf formatında** teslim edilecektir. Deney raporu aşağıda belirtilen kısımlardan oluşmalıdır.

2.1. KAPAK SAYFASI

Örnek kapak sayfası (**EK-1**) yazım kılavuzunun sonunda verilmiştir.

2.2. İÇİNDEKİLER

Raporda yer alan bölüm ve alt bölüm başlıkları sayfa numaraları ile yer almalıdır.

2.2.1. Şekil ve Tablo Listeleri

Raporda yer alan şekiller ve tablolar bir liste halinde bu kısımda yer almalıdır.

2.3. ÖZET

Özette kısa ve öz olarak deneyin amacı, kullanılan yöntem tanımlanmalı, bulunan sonuçlar genel ve sayısal değerler ile ifade edilmelidir. Deneyde elde edilen değerler beklenen değerler ile karşılaştırılarak yorum yapılmalıdır. Özet en az 150 kelime olmalıdır.

2.4. GİRİŞ

Bu kısımda deneyin yapılma amacı ve öğrenme çıktılarına kısaca değinilmelidir. **Bu bölümde teorik bilgiler yazılmayacaktır.**

2.5. KURAMSAL TEMEL

Deney ile ilgili kuramsal bilgiler, eşitlikler vs. anlatılmalı, deney esnasında kullanılacak eşitliklerin türetilmesi ve incelenecek değişkenler hakkında detaylı açıklamalar yapılmalıdır. Genel bilgiler kısmı, föy dışı kaynaklar kullanılarak föyden bağımsız olarak hazırlanmalıdır. Giriş kısmının özgün olması rapor notunun yüksek olmasında etkili olacaktır.

2.6. DENEYSEL KISIM

2.6.1. Malzeme ve Yöntem

Bu kısımda deneyde kullanılan kimyasal malzemeler, cihazlar ve/veya deney düzeneği anlatılmalıdır.

2.6.2. Deneyin Yapılışı

Deneyin yapılışı ve kullanılan analiz yöntemleri, ilgili hesaplamalar ile anlatılmalıdır.

2.6.3. Hesaplama ve Sonuçlar

Bu bölümde öncelikle deneyden elde edilen deneysel veriler tablolar şeklinde verilmeli daha sonra ise bu verilerden ilgili hesaplamalar yapıldıktan sonra bulunan sonuçlar, yine tablolar ve şekiller ile gösterilmelidir. Deneysel hesaplamaların nasıl yapıldığını göstermek için örnek hesaplamaların raporda verilmesi gereklidir. Hesaplamalarda kullanılan standart değerler, katsayılar, yapılan sadeleştirme ve

varsayımlar belirtilmeli, birimler dikkate alınmalıdır. Deneysel sonuçların gerek tablolar gerekse de grafikler şeklinde verilmesinde grup üyelerinin yaratıcılık ve özen gibi becerilerini ortaya koyarak sonuçların kolay anlaşılmasını sağlayacak şekilde sonuçları sunmaları önem taşımaktadır. Her bir çizelge ve şekil kolay anlaşılabilir ve özgün ifadelerin yer aldığı başlıklarla tanımlanmalı ve rapor içerisinde numaralandırılmalıdır. Metin içerisinde atıf yapılmayan şekil ve çizelge raporda yer almamalıdır. Grafik şeklinde verilen şekillerde, grafiklerin ordinat ve absislerinin ifade ettiği veriler birimleri ile birlikte mutlaka belirtilmelidir.

2.7. SONUÇ/TARTIŞMA/ÖNERİ

Elde edilen tüm sonuçlar ve bulgular bu kısımda ifade edilir ve gerektiğinde kaynaklara atıf yapılarak yorumlanır. Sonuçların hassasiyeti, doğruluk ve tekrarlanabilirlik ölçüleri ve ilgili kuramsal bilgiler ile elde edilen deney sonuçlarının karşılaştırılması da bu başlık altında yapılır. Deney esnasında ortaya çıkan aksaklıklar ve bunların sonuçlara ne oranda yansıdığı, deney başında hedeflenen amaçlara ne ölçüde ulaşıldığı, tartışılarak, gerekiyorsa deney düzeneği ve deney yöntemi ile ilgili iyileştirme önerileri bu başlık altında yapılır. Raporun sonuç bölümü her bir grup üyesi tarafından ayrı hazırlanarak grup raporuna eklenmelidir.

2.8. KAYNAKLAR

Rapor yazımında kullanılan tüm kaynaklar ilgili numaraları ile bu kısımda yer almalıdır. Kullanılan kaynaklara rapor içerisinde atıf yapılmalıdır. Kaynak yazım şekli rapor yazım formatı kısmında belirtilmiştir.

3. RAPOR YAZIM FORMATI

3.1. GENEL YAZIM KURALLARI

Deney raporu, A4 (210x297 mm) boyutunda bilgisayar ortamında hazırlanacaktır. Sayfanın sol kenarından 3 cm, diğer kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılır. Metin ve başlıklar sağ ve sol kenara dayalı yazılmalıdır. Tablo ve şekil açıklamaları ise sayfa ortalanarak yazılmalıdır.

Rapor metni **Times New Roman** karakteriyle ve **12 punto** (yazı büyüklüğü) ile yazılmalıdır. Raporun İçindekiler bölümü, başlıklar, tablo ve şekil açıklamaları 10 punto ile, diğer kısımlar ise 12 punto ile, içindekiler kısmı ise 10 punto büyük harfle yazılmalıdır. Metinler dik ve normal harflerle yazılmalıdır. Başlıklarda kalın harf kullanılmalı ve virgül ve noktadan sonra bir karakter boşluk bırakılmalıdır. Metin kısmı 1.5 satır aralığı ile yazılmalıdır. Ancak şekil listesi, tablo listesi ve metin içindeki şekil ve tabloların açıklamaları 1.0 satır aralığı ile yazılmalıdır. Metinde paragraflar arasında bir adet satır boşluğu bırakılır ve paragraf başlangıcına sayfa solundan başlanır, girinti kullanılmaz. Bölüm başlıkları (İçindekiler, Özet, Genel Bilgiler, , , Kaynaklar) birinci derece başlıklar olarak yazılırlar. Başlık özellikleri aşağıda belirtildiği şekildedir.

1. ve 2. derece başlıklar; BÜYÜK HARF, 12 PUNTO, KOYU HARFLERLE

3. derece başlıklar; Kelime Baş Harfleri Büyük Harf, 12 Punto, Koyu Harflerle

4. derece başlıklar; Kelime Baş Harfleri Büyük, 12 Punto, İtalik Harflerle.

Dördüncü derece başlıkların kullanımı çoğunlukla tercih edilmese de mecbur kalınması durumunda kullanılabilir. Dördüncü dereceden daha alt derecede başlık kullanılmaz. Başlıklar sayfanın son satırı olarak yazılmaz, en azından 2 satır daha sığdırılmıyorsa başlık sonraki sayfada yer alır. Bir paragrafın ilk satırı sayfanın son satırı olarak yazılmaz.

3.1.1. Sayfa Numaralandırma

Raporun kapağı dışındaki tüm sayfaları numaralandırılır. Sayfa numaraları alt ortaya Times New Roman 11 punto ile yazılmalıdır. Raporun, İçindekiler, Şekil Listesi, Tablo Listesi, Özet bölümleri büyük roma rakamları (I, II, III, IV...) ile sayfanın üst ortasından numaralandırılır. Giriş, Kuramsal Temel, Deneysel Kısım,, Kaynaklar bölümleri normal sayılar (1, 2, 3, ...) ile numaralandırılır.

3.1.2. Tablolar ve Şekiller

Tablolar veya şekiller metinde ilk söz edildikleri yere mümkün olduğunca yakın yerleştirilmelidir. Bir ya da birkaç tablo veya şekil aynı sayfada yer alabilir. Tablo açıklaması tablonun üstüne, şekil açıklaması ise şekillerin altına yazılır. Tablo veya şekil açıklamalarında Times New Roman 12 punto yazı karakteri ve 1,0 satır aralığı kullanılır. Tablolar ve şekiller sayfaya ortalanarak yerleştirilir. Benzer şekilde tablo ve şekil açıklamaları da ortalanarak yazılır. Tablo veya şekil altına yazılacak olan her türlü bilgi için 8

punto yazı büyüklüğü kullanılacaktır. Tablolarda düşey çizgilerin tercih edilmemesi ve tablo içindeki yazıların 10 puntodan büyük olmaması önerilir.

Tablo 1. Bazı maddelerin 273 K'deki ısı iletim katsayıları

Malzeme	Isı iletim katsayısı (W/mK)
Gümüş	410
Bakır Su	385
Alüminyum	202
Su	0,556

3.1.3. Denklemler

Denklemler alttan ve üstten 1 satır boşluk bırakılarak yazılır. Denklemler sayfa ortasında olmalı, ancak denklem numaralandırma sağa yapışık olmalıdır. Denklemlere bölüm içinde sıra ile numara verilir.

3.2. İÇERİK BİLGİLERİ

3.2.1. Genel Bilgiler

Noktalama ve yazım için Türk Dil Kurumu (TDK) Yazım Kılavuzu ve Türkçe Sözlüğüne uyulur. Raporda genellikle geniş veya geçmiş zaman kullanılmaya özen gösterilmelidir. Birim sistemi olarak da SI kullanılmalıdır.

3.2.2. Kaynaklar /Atıflar

Metin içinde atıfların gösterilmesi, köşeli parantez içinde kaynağın kullanıldığı yere yakın olmalıdır. [1], [2,5,10], [1, 10-13] gibi

3.2.3. Kaynaklar bölümünün hazırlanması

Raporda yararlanılan yayınlar metindeki veriliş sırasına göre sıralanırlar.

✓ Kitap referansının gösterimi

Yazarın Soyadı, Adı, (Yayın yılı) Kitap adı, Yayınevi, Basım Yeri,

PERRY, R.H. ve GREEN, D.V., (1997) Perry's Chemical Engineers' Handbook, 15th ed., The McGraw-Hill Comp., New York.

✓ Dergilerdeki makaleler için gösterim

Yazarın Soyadı, Adı, Yayın yılı, Makale adı, Derginin Adı, Cilt no ve (kısım no), sayfa numaraları.

Gecim, G., Ozekmekci, M. (2021) A density functional theory study of molecular H₂S adsorption on (4,0) SWCNT doped with Ge, Ga and B, Surface Science, 711, 121876.

✓ Konferans bildirileri için gösterim

Yazarın Soyadı, Adı, Bildiri Adı, Konferans Adı, Tarih ve Kongre Yeri, sayfa numaraları.

SOLOMON, K., Kinetic of Esterification of Methyl Alcohol by Acetic Acid on a Catalytic Resin,

9th International Chemical Engineering Congress, 3-5 Aralık 2006, Dusseldorf, Almanya.

✓ Tezler için gösterim

Yazarın Soyadı, Adı, Yayın yılı, Tezin Adı, Yüksek Lisans/Doktora, Üniversite ve Enstitü Adı.

GEÇİM, G. (2022) Vorteks mikserler: Gaz ve gaz-katı karışma için yeni stratejiler, Doktora Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.

✓ Patent Numaraları için gösterim

Soyadı, Adı, Başlık, Yayın Yılı, Patent Yeri, Patent Numarası.

MASON, J. Ve HANSON E., Process viiort he Preparation of Ethyl Acetate, 2004. United States Patent, 680921.

✓ Web sayfaları için gösterim

Varsa Yazarın Soyadı, Adı, Yazının Başlığı, Sitenin Adı, Yayın Yılı, URL, [Erişim Tarihi].

ÇORBA, Selin, Gelecekteki Tehlike: Su Kıtlığı, TÜBİTAK Bilim Genç, 2021,
<https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/gelecekteki-tehlike-su-kitligi>, [23.01.2023].

**BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**KMB0308
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI-I
DENEY RAPORU**

ISI DEĞİŞTİRİCİ DENEYİ

Grup 1

Öğrenci No-Öğrenci Adı Soyadı

Deneyin Yapıldığı Tarih :
Raporun Teslim Tarihi :
Deney Sorumlusu :



4. DENEY FÖYLERİ

[1. Isı İletimi](#)

[2. Adsorpsiyon](#)

[3. Bir Reaksiyon Kinetiğinin İncelenmesi](#)

[4. Isı Değiştirici](#)

[5. Bomba Kalorimetresi ile Yanma Isısının Ölçülmesi](#)

[6. Gaz ve Sıvı Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi](#)

[7. Hava Akış](#)

[8. Işınım ile Isı İletimi](#)

[9. Sıkıştırılmayan Akışkanlarda Sürtünme Kayıpları](#)

[10. Kısmi Molar Hacimlerin Belirlenmesi](#)



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

1.ISI İLETİMİ



1. Amaç

- ✓ Isı iletiminin temel ilkelerinin deney düzeneği üzerinde uygulanması
- ✓ Lineer ve radyal ısı iletiminin incelenmesi
- ✓ Katıların ısı iletim katsayısının belirlenmesi

Öğrenme çıktıları

- ✓ Isı iletimi, lineer ve radyal ısı iletimi kavramlarını bilir,
- ✓ Katı malzemelerin ısı iletim katsayısının nasıl ölçüldüğünü ve dayandığı teoriyi bilir,
- ✓ Bir deney sistemini emniyetli bir şekilde kullanır,
- ✓ Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar,
- ✓ Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.

2. Genel Bilgiler

Isı, sıcaklık farkının bir sonucu olarak bir sistemden diğerine aktarılabilen enerji şekli olarak tanımlanabilir. Pratik olarak termal enerji ısı ile adlandırılırken termal enerjinin aktarımı ise ısı transferi olarak ifade edilmektedir. Isı transferi her zaman daha yüksek sıcaklıktaki ortamdan daha düşük sıcaklıkta olana doğrudur ve iki ortam aynı sıcaklığa ulaştığında ısı transferi durur.

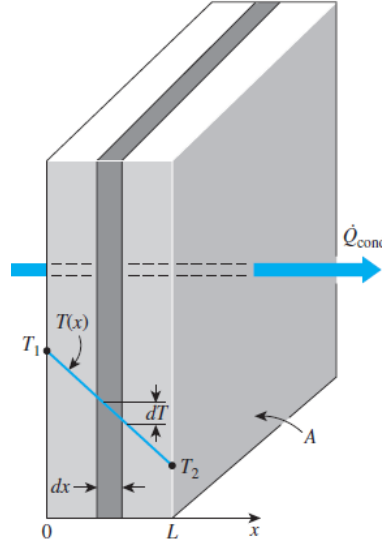
Isı transferi taşınım (konveksiyon), ışıınım ve iletim (kondüksiyon) olmak üzere üç farklı mekanizma ile gerçekleşir. Taşınım, katı bir yüzey ile bitişikteki hareket halindeki sıvı veya gaz arasındaki enerji aktarımı modudur ve iletim ile sıvı hareketinin birleşik etkilerini içerir. Radyasyon, atomların veya moleküllerin elektronik konfigürasyonlarındaki değişikliklerin bir sonucu olarak maddenin elektromanyetik dalgalar (veya fotonlar) şeklinde yaydığı enerjidir. İletim ve konveksiyondan farklı olarak, radyasyonla ısı transferi, araya giren bir ortamın varlığını gerektirmez. İletim bir maddenin daha yüksek enerjili parçacıklarından daha düşük enerjili parçacıklarına enerjinin parçacıklar arasındaki etkileşim ile aktarılmasıdır. Isı iletimi gaz, sıvı ve katı ortamlarda gerçekleşebilir. Ancak gazların, sıvıların ve katıların ısıyı iletme özellikleri farklıdır. Maddelerin ısıyı aktarma özelliği ısı iletim katsayısı ile belirtilir. Bir malzemenin ısı iletim katsayısı bazı parametrelere bağlıdır ve birim sıcaklık farkı ve birim alan başına malzemenin birim kalınlığındaki ısı transfer oranı olarak tanımlanabilir. Yüksek ısı iletim katsayısı, malzemenin iyi bir ısı iletkeni olduğunu ve düşük ısı iletim katsayısı malzemenin zayıf bir ısı iletkeni veya yalıtkanı olduğunu gösterir.

Isı iletimi için kullanılan denklem Fourier Yasası olarak bilinir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\frac{Q}{A} = q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Burada Q birim zamanda geçen ısı (W), A ısı transfer yüzey alanı (m^2), q (W/m^2) ısı akısı ve k (W/mK) ısı iletim katsayısını göstermektedir. Malzemelerin ısı iletim katsayıları mühendislik açısından önemlidir.

Kalınlığı L ve ortalama termal iletkenliği k olan bir düz duvarın iki yüzeyi sabit T_1 ve T_2 sıcaklıklarında tutulursa, bir boyutlu sıcaklık dağılımı Şekil 1'deki gibi gerçekleşir.



Şekil 1. Kararlı şartlarda düzlemsel bir duvardaki sıcaklık dağılımı.

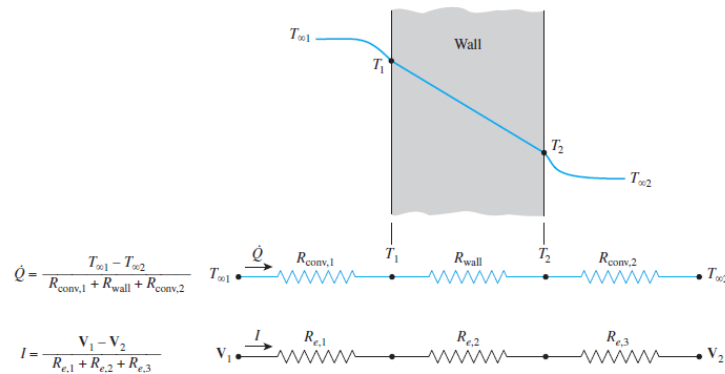
Düz bir duvar boyunca ısı iletimi şu şekilde yeniden düzenlenebilir:

$$q_x = \frac{T_1 - T_2}{R} \quad (2)$$

R duvarın ısı iletimine karşı termal direnci veya basitçe duvarın iletim direncidir. Bir ortamın termal direnci, ortamın geometrisine ve termal özelliklerine bağlıdır. Termal rezistans ayrıca $R = \Delta T / q_x$ denklemi ile ifade edilebilir. Isı transferi için bu denklem, aşağıdaki şekilde ifade edilen elektrik akımı I ilişkisine benzer:

$$I = \frac{V_1 - V_2}{R_e} \quad (3)$$

$V_1 - V_2$ voltaj farkını ve R_e elektriksel direnci temsil etmektedir. Örnek olarak her iki tarafı konveksiyona maruz kalan düz bir duvardan ısı transferi için termal direnç ağı ve elektriksel benzetme Şekil 2’de gösterilmiştir.

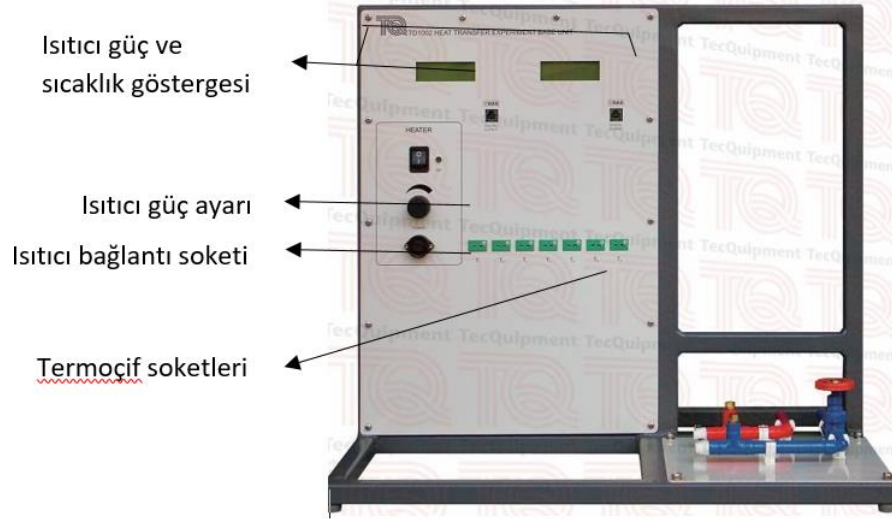


Şekil 2. Her iki tarafı konveksiyona maruz kalan düz bir duvardan ısı transferi için termal direnç ağı ve elektriksel benzetme.

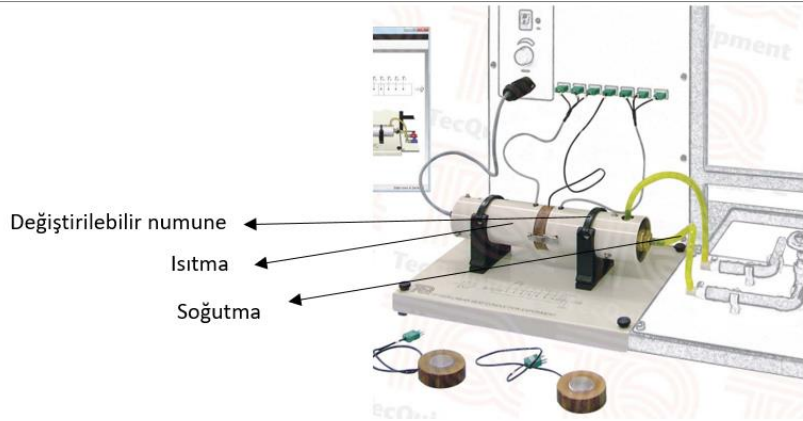
3. DeneY Sistemi

DeneY düzeneği bir temel ünite (Şekil 3) ve lineer ısı iletimi (Şekil 4) ve radyal ısı iletim (Şekil 5) setlerinden oluşmaktadır. Yapılmak istenen deneYe göre deneY setleri temel üniteye yerleştirilir. Sıcaklık ölçümleri için kullanılan termoçiftler K tipi ve doğruluğu $\pm 0,3$ °C'dir. Isıtıcının maksimum gücü 100 W ve duyarlılığı 0,1 W'dır.

Lineer ısı iletim setinde test malzemesi 30 mm çapında ve sıcaklık okumaları 20 mm eşit aralıklardadır.

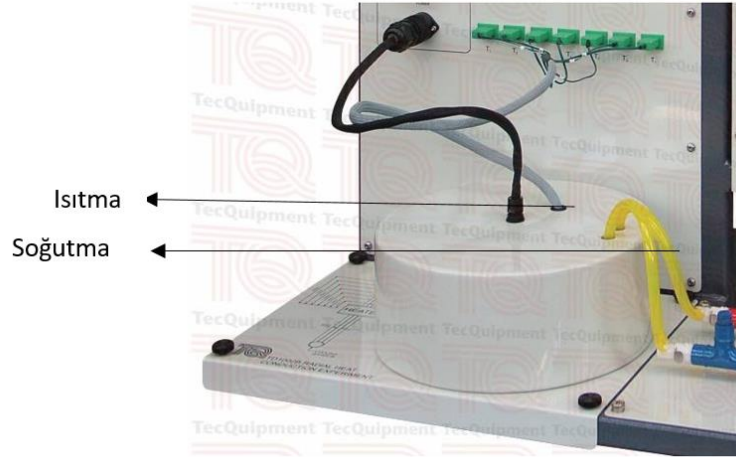


Şekil 3. Isı iletimi temel ünite.



Şekil 4. Lineer ısı iletimi seti.

Şekil 5'te gösterilmiş olan radyal ısı iletimi ölçüm sisteminin merkezine sabitlenmiş olan rezistöre enerji verilmesiyle, akıma karşı gösterilen direnç doğrultusunda ısı enerjisi açığa çıkmaktadır. Bu enerji pirinç plaka üzerinde, merkezden (yüksek sıcaklık) plakanın çevresine doğru (düşük sıcaklık) iletim ile aktarılmaktadır. Aktarılan bu enerjinin miktarı göz önüne alınarak plakanın ısı iletim katsayısı bulunabilmektedir.



Şekil 5. Radyal ısı iletimi seti.

Radyal iletim setinde disk çapı 176 mm ve kalınlığı 5 mm olup sıcaklık okumaları 10 mm eşit aralıklardadır.

4. Deneysel Çalışma

4.1. Linear Isı İletimi Deneyi

Amaç

- ✓ Tekdüze kesit alanına ve dairesel bir çubuk boyunca lineer ısı iletimi incelemek,
- ✓ Farklı malzemelerin temasının lineer ısı iletimini nasıl etkilediğini göstermek,
- ✓ Katıların ısı iletim katsayısının deneysel nasıl ölçülebileceğini göstermek,

4.1.1 Deneyin Yapılışı

Şekil 2’de verilen düzenek kurulur. Test bölgesindeki çubuğun bir ucunda elektrikli ısıtıcı bulunmakta diğer ucunda ise su ile ısı uzaklaştırılmaktadır. Eşit aralıklar ile yerleştirilmiş 7 adet termocift ile sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Çubuğun orta kısmında değiştirilebilir kısım ile farklı malzemeler yerleştirilebilir. Çubuğun dışı yalıtılmıştır. Deney sistemini kurduktan sonra kararlı hale geldikten sonra aşağıda verilen tabloya ölçülen değerleri kaydedin. Deneyi farklı malzeme (değiştirilebilir kısım) ve güç için tekrarlayın.

Tablo 1. Deneysel veriler-I

Malzeme	Güç (W)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇
Mesafe (m)		0,00	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12



4.1.2. Hesaplamalar

1. Her bir malzeme için mesafeye karşı sıcaklıkları grafiğe geçirin ve yorumlayın.
2. Metal çubuğun ısı iletim katsayısını hesaplayın bulduğunuz sonucu literatür verileri ile karşılaştırın.
3. Isıl direnci hesaplayın.

4.2. Radyal Isı İletimi Deneyi

Amaç

- ✓ Tekdüze malzeme ve boyutlara sahip bir katı diskin etrafında ısı iletimini incelemek.
- ✓ Katı bir disk için ısı iletim katsayısının nasıl hesaplanacağını göstermek.

4.2.1. Deneyin Yapılışı

Şekil 3'de verilen deney düzeneği kurulur. Sistem kararlı hale geldiğinde verileri aşağıdaki tabloya kaydedin. Deneyi farklı güçler için tekrarlayın.

4.2.2. Hesaplamalar

- Her bir deney için radyal mesafeye karşı sıcaklık grafiğini çizin.
- T_1 ve radyal mesafe ile T_2 'yi ve benzer şekilde T_3 , T_4 , T_5 , T_6 ve T_7 sıcaklıkları teorik olarak hesaplayın ve deneysel veriler ile karşılaştırın.
- Disk kalınlığını ve deneysel sıcaklıkları kullanarak pirincin ısı iletim katsayısını hesaplayın ve literatür sonuçları ile karşılaştırın.

Kaynaklar

1. Incropera, F. P. ve DeWitt, D. P., (2001) Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Çevirenler: Derbentli, T., Genceli, O.F., Güngör, A., Hepbaşı, A., İlken, Z., Özbalt, ., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C. Ve Uralcan, Y., *Literatür Yayıncılık, Beyoğlu, İstanbul.*
2. Çengel, Y.A. ve Ghajar, A. J., (2015) *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, 5th ed., McGraw-Hill Education, New York.*
3. TecQuipment, Heat Transfer Experiments User Guide.



Tablo 2. Deneysel veriler-II

Malzeme	Güç (W)	T₁	T₂	T₃	T₄	T₅	T₆	T₇
Radyal Mesafe (m)		0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

2.ADSORPSİYON

1. Amaç

Çalışmanın amacı katı adsorbent ile çözültiden adsorpsiyonun denge ve hız ilişkilerinin incelenmesi ve belirli izotermilerin deneysel veriler ile uyumunun araştırılmasıdır.

Öğrenme çıktıları;

- ✓ Adsorpsiyon, fiziksel adsorpsiyon, kimyasal adsorpsiyon ve adsorpsiyon izotermi kavramlarını bilir,
- ✓ Adsorpsiyon dengesi verileri ile Langmuir ve Freundlich izotermilerinin nasıl elde edildiğini ve dayandığı teoriyi bilir,
- ✓ Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar,
- ✓ Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.

2. Genel Bilgiler

Katı veya akışkanlar içinde moleküller her yönden çekildikleri için, bu çekim kuvvetleri dengededir. Oysa fazlar arası yüzeyde, moleküllere etki eden çekim kuvvetleri farklılık göstermektedir. Bu yüzden malzemenin derişimi ara yüzeye yakın bölgede ara yüzeyi oluşturan fazlar içerisindeki yığın derişiminden farklıdır. Dolayısıyla katı yüzeylerine değmekte olan gazlar, sıvılar veya bunların içerisinde çözülmüş olan maddeler bu yüzeyler tarafından tutulur. Katı yüzeyindeki atom ve moleküllerin etkileşim kuvvetlerinden dolayı adsorpsiyon katı yüzeyinde meydana gelir. Yüzey tarafından tutunan, gaz veya sıvı olabilir. Adsorpsiyon, malzeme(lerin) derişiminin ara yüzeyde (katı yüzeyinde) yığın derişimine göre artışı şeklinde tanımlanabilir. Yüzeyde tutunan malzemeye “adsorplanan madde veya adsorbat” ve üzerinde adsorpsiyonun gerçekleştiği katıya ise “adsorbent veya adsorban” ismi verilmektedir. Ayrıca adsorpsiyon işleminin tersine adsorplanan maddenin ortama geri verilmesine yani yüzeyde derişimin azalması işlemine “desorpsiyon” denir.

Adsorpsiyon, adsorbe edilenin yüzeyde tutulmasını sağlayan kuvvet çeşitlerine göre “fiziksel adsorpsiyon” ve “kimyasal adsorpsiyon” olmak üzere ikiye ayrılır.

Fiziksel Adsorpsiyon

Adsorbe edilen malzeme zayıf van der Waals kuvvetleri yardımı ile yüzeyde tutulmaktadır. İşlem tersinirdir ve işlem şartlarının değiştirilmesi ile adsorbe edilen malzeme kolaylıkla yüzeyden uzaklaştırılabilir. Fiziksel adsorpsiyon ekzotermik bir olaydır. Adsorbe edilen molekül başına yaklaşık 5-10 kilokalori gibi düşük bir adsorpsiyon ısısı ile karakterize edilir. Fiziksel adsorpsiyon işleminin tersine, yüzeyde derişimin azalmasını gösteren “negatif adsorpsiyon” ile de sıkça karşılaşmaktadır. Bu işlem “desorpsiyon” olarak isimlendirilmektedir. Genellikle yüzey serbest enerjisinde artışa neden olan bileşenler veya işlem şartları (adsorbe edilen, T, P, derişim) negatif adsorpsiyona yol açar. Her iki türlü yüzey olayları (yüzey derişimi artışı ve azalması) “sorpsiyon” terimi ile ifade edilmektedir.

Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorplanan taneciklerin, adsorplanan yüzeyine rastlayan atomlar tarafından kimyasal bağ ile tutunması ile oluşan adsorpsiyon şeklidir. Kimyasal bağın dayanıklılığı farklılıklar göstermektedir. Bununla beraber oluşan bağlar fiziksel adsorpsiyondaki bağlardan kuvvetlidir. Kimyasal adsorpsiyona genellikle katı-katalizörlü reaksiyon sistemlerinde karşılaşılır. Adsorpsiyon enerjisi adsorbe edilenin molu başına 20 - 100 kilokalori arasındadır. Bu değer de -olayın ekzotermik ve endotermik olmasına bağlı olarak-

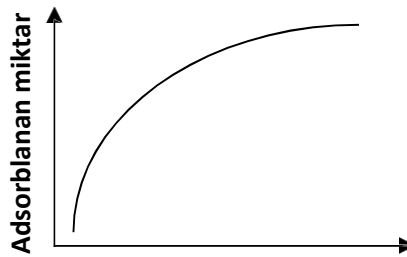
kimyasal reaksiyonlardaki reaksiyon ısısı ile yaklaşık aynı değerdedir. Kimyasal adsorpsiyon “aktif adsorpsiyon” olarak da tanımlanır ve genellikle heterojen katalizörler ile etkileşim ile meydana gelir.

Kimyasal adsorpsiyon yalnızca bir tabakalı olabildiği halde, fiziksel adsorpsiyon bir tabakalı veya çok tabakalı olabilir. Fiziksel adsorpsiyon genellikle tersinir bir olaydır. İşlem şartlarının (derişim, P, T vb.) değiştirilmesi ile desorpsiyon meydana gelirken kimyasal adsorpsiyon, kuvvetli bağ oluşumu söz konusu olduğu için tersinmez bir işlemdir. Fiziksel adsorpsiyon genellikle sıcaklık yükseltilmesi ile azaldığı halde, kimyasal adsorpsiyon, adsorpsiyonun ekzotermik veya endotermik olmasına ve aktivasyon enerjisine bağlı olarak sıcaklık yükseltilmesi ile artış veya azalma gösterebilir.

Fiziksel adsorpsiyon (özellikle düşük derişim aralıklarında ayırmanın gerekli olduğu durumlarda) önemli endüstriyel ayırma işlemlerinin temelini teşkil etmektedir. Belirli katıların karışım içerisinde bazı malzemeleri seçici olarak adsorbe edebilme özelliği ayırma işleminin temel prensibidir. Su buharının havadan veya diğer gazlardan uzaklaştırılması, endüstriyel gaz karışımı içerisindeki karbondioksit, kükürt dioksit gibi safsızlıkların giderilmesi, gaz ve sıvı karışımlardan istenmeyen kokuların uzaklaştırılması, şeker çözeltisinin renginin giderilmesi, organik sıvılar içerisinde çözünen suyun uzaklaştırılması endüstriyel uygulamalar arasında yer alan tipik örneklerdir. Kimyasal adsorpsiyon ile özellikle katı katalizör uygulamalarında önemli bir yer tutmaktadır.

Adsorpsiyon bir yüzey işlemi olduğu için adsorplama gücü, yüzey özelliklerinin önemli bir fonksiyonudur. Adsorbantın yüzey özellikleri arasında adsorpsiyon işlemini etkileyen en önemli parametre, yüzey alan değeridir ve artan yüzey alan değeri ile adsorpsiyon miktarı artış gösterir. Dolayısıyla gözenekli malzemeler veya çok ufak parçalara bölünmüş katılar yüksek adsorpsiyon kapasitesi sağlamaktadırlar. Spesifik yüzey alanı 10 ile 1500 m²/g arasında değişen değişik gözenekli malzemeler adsorbent olarak kullanılabilir. Sıkça kullanılan adsorbentler arasında aktif kömür, silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), zeolit ve moleküler elekler yer almaktadır.

Bir katı tarafından adsorplanan akışkan madde miktarı, adsorbe eden ve edilenin yapısına, adsorbe edenin yüzey özelliklerine, adsorbe edilenin yığın derişimine, işlem sıcaklığı ve basıncına bağlıdır. Adsorpsiyon verileri genellikle “adsorpsiyon izotermi” şeklinde sunulur. Sabit sıcaklıkta birim adsorbent miktarı tarafından adsorplanan miktarın denge çözelti derişimi (veya basıncı) ile ilişkisi “adsorpsiyon izotermi” (Şekil 1) olarak bilinir.



Şekil 1. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon işlemi sırasında sistem dengeye geldiği anda, adsorban maddenin birim kütlesinin adsorpladığı madde miktarı, sıcaklık, derişim, basınç veya denge basıncının bir fonksiyonudur. Sıcaklığın sabit tutulduğu durumlarda bu fonksiyon aşağıdaki denkleme eşittir;

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

q_e = Adsorbentin adsorpsiyon kapasitesi (mg/g, mol/g)

C_0 = Adsorbentin(adsorplanan maddenin) başlangıç derişimi (mg/L, mol/L)

C_e = Adsorbentin(adsorplanan maddenin) denge anındaki (adsorplanmadan kalan) derişimi (mg/L, mol/L)

V = Çözelti hacmi (L)

m = adsorbentin ağırlığı (g)

Adsorpsiyon izotermi için önerilen bazı matematiksel modeller vardır. Bunlardan bazıları Freundlich, Langmuir, Polonyi, Sylgin-Frumkin, Hill, Temkin, Fowler ve BET (Brunauer, Emmett, Teller) izotermidir. Freundlich ve Langmuir izotermi diğeri izotermilere göre daha çok kullanılmaktadır.

Langmuir İzotermi

Langmuir izotermiinde yüzeyde adsorplanan moleküllerin tek tabaka halinde adsorplandığı, adsorpsiyonda yüzeyin her tarafının örtülmediği yer yer örtülmelerin oluştuğu, yüzeyin her tarafında adsorpsiyon enerjisinin aynı olduğu ve yüzeyde tutunan moleküller arasında etkileşme olmadığı gibi varsayımlar geliştirilmiştir. Langmuir izotermi aşağıdaki denklemlerle ifade edilir;

$$q_m = \frac{q_{mK_L}C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

q_m = adsorbentin maksimum adsorplama kapasitesi (sabit)

K_L = Langmuir adsorpsiyon sabiti

Bu denklem gerekli düzeltmeler yapıp doğrusallaştırılır ve grafiğe geçirilirse doğrunun eğiminden q_m , kayma değerinden ise K_L sabiti hesaplanabilir.

Not: Elde ettiğiniz denklemin doğru denklemi olduğunu kontrol ediniz.

Freundlich İzotermi

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (3)$$

Burada;

K_f = Freundlich sabiti n : sabittir ($n > 1$)

Eğer bu denklem doğrusallaştırılır ve grafiğe geçirilirse doğrunun eğiminden n , kayma değerinden ise K_f sabiti hesaplanır.

Aktif Karbonun Yüzey Alanı

$$S = A_a \times N_A \times q_m \quad (4)$$

S : Yüzey alanı, A_a : Asetik asit molekülünün kesit alanı, N_A : Avagadro sayısı

3. DeneY Sistemi

Amaç

- ✓ Asetik asitin aktif karbon üzerinde adsorpsiyonu için denge derişimi belirlemek,
- ✓ Asetik asitin aktif karbon üzerinde adsorpsiyonu Langmuir ve Freundlich izotermi çizmek ve sabitlerini belirlemek.

3.1 DeneYin Yapılışı

- Bu çalışmada; asetik asitin aktif karbon üzerine adsorpsiyonu çalışılacaktır. Literatür çalışmalarından seyreltik asetik asit çözeltileri ile aktif karbon üzerinde tek tabaka oluşumuna müsaade edildiğini göstermektedir.
- 0,5 M stok asetik asit çözeltisinden 0,5 M, 0,4 M, 0,3 M ve 0,2 M derişimlerde 100 mL asetik asit çözeltileri hazırlayın.
- Aktif karbondan 1 gram tartın ve belirlediğiniz (madde 1) derişimlerde hazırlanan 100 mL asetik asit çözeltilerini içerisine boşaltın.
- Aktif karbonun asit çözeltilerinin üzerine ilave edilme zamanlarını kaydedin.
- Erlenlerin ağzını kapatarak 45 dakika düzenli olarak karışmasını sağlayın. Daha sonra adsorpsiyon dengesine ulaşılması için oda sıcaklığında 5 dakika bekletin.
- Dengeye ulaşıldıktan sonra çözeltilerin süzme işlemlerine başlayın. İlk 3-5 mL süzüntüyü atın (Neden?). 2-3 mL (Ne kadar olduğu neyi değiştirir?) süzüntü üzerine birkaç damla fenolftalein indikatör yardımı ile 0,1 M NaOH kullanarak titrasyonu yapınız.
- Verilerinizi aşağıdaki tablo şeklinde kaydedin.

Not: Her bir asit – aktif karbon karışımı için süzme işleminden önce temas (adsorpsiyon işlem) süresinin aynı olmasına dikkat edilmelidir. Bu amaçla asit çözeltilerinin aktif karbon üzerine ilavesi 2-3 dakika aralıklarla yapılabilir.

No	Asetik Asit Konsantrasyonu (M)	Titrasyon İçin Alınan Süzüntü Hacmi (mL)	Titrasyon İçin Kullanılan NaOH Hacmi (mL)
1			
2			
Laboratuvar sıcaklığı (°C)			

3.2. Hesaplamalar

- Her bir numune için asetik asit denge derişimini (mol/L) hesaplayın.
- Her bir numune için çözeltilerden adsorplanan asetik asit mol sayısını (x , mol/100 mL) ve bir gram aktif karbon tarafından adsorplanan asetik asit mol sayısının (n , mol/g) hesaplayın.
- Birim adsorbent miktarı tarafında adsorplanan asetik asit miktarını (q_e), çözelti denge derişimi ile derişimini gösteren deneysel izotermi oluşturun. Adsorpsiyon tipini yorumlayın.
- Langmuir ve Freundlich izotermi çizerek sabitlerini bulun.
- Langmuir ve Freundlich izotermi derişimlerinin deneysel veriler ile uyumunu irdeleyiniz.



- Aktif karbonun yüzey alanını bulunuz ve literatürden bulduğunuz değer ile karşılaştırınız.

4. Sorular

1. 0,5 M asetik asit çözeltisi ve 0,1 M NaOH çözeltisi nasıl hazırlanır.
2. Adsorpsiyon ve adsorpsiyon arasındaki benzerlik ve farkları tartışınız.
3. Aktif karbon ve adsorbent çeşitleri hakkında bilgi toplayın.
4. Langmuir ve Freundlich izotermilerin bağıntılarının oluşumunda yapılan varsayımlar nelerdir? Bu izoterm dışı başka bir izoterm hakkında bilgi veriniz.
5. Adsorpsiyonun ΔG 'si hakkında bilgi veriniz.
6. Adsorpsiyonun endüstriyel uygulamaları varmıdır? Örnek veriniz.
7. Adsorpsiyon ile katalizör arasındaki ilişki nedir?
8. Deney farklı bir sıcaklıkta yapılacak olursa, sonuçlarda nasıl bir değişim beklenir?

Kaynaklar

1. Felder, R.M., Rousseau, R.W., “Elementary Principles of Chemical Processes”, 3rd ed., p.275-278, Wiley, Newyork, 2000.
2. Gregg, J., Sing, K.S.W., “Adsorption, Surface Area and Porosity”, Academic Press,London, New York, 1982.
3. Himmelblau, D.M., Riggs, J., Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering,7th ed., Prentice Hall, London, 2004 (Chapter 20).
4. Levine, I.N., “Physical Chemistry”, 5th ed., Mc Graw Hill, New York, 2002 (Chapter 13).
5. Silbey, R.J., Alberty, R.A., Bawendy, M.G., “Physical Chemistry”, 4th ed., Wiley, New York, 2005 (Chapter 24).
6. Smith, J.M., “Chemical Engineering Kinetics”, McGraw Hill Int., 1981 (Chapter 7, p.310-327).
7. Yang, R.T., Adsorbents: Fundamental and Applications, Wiley, Newyork, 2003
8. Rouquerol F., Rouquerol J., Sing K., Adsorption of Powders and Porous Solids, Academic Press, 1999
9. Sarıkaya, Y. “Fizikokimya”, 2. Baskı, Gazi Büro Kitapevi, Ankara, 1997.



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

3.BİR REAKSİYON KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ

1. Amaç

Bir reaksiyonun derecesinin, hız sabitinin ve yarılanma süresinin deneysel olarak tayin edilmesi.

Öğrenme çıktıları;

- ✓ Reaksiyon hızı ve reaksiyon hızına etki eden etmenleri bilir
- ✓ Aktivasyon enerjisi ve reaksiyon hız sabiti kavramlarını bilir
- ✓ Deneysel olarak reaksiyon hız sabitini ölçer, yorumlar
- ✓ Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar
- ✓ Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.

2. Genel Bilgiler

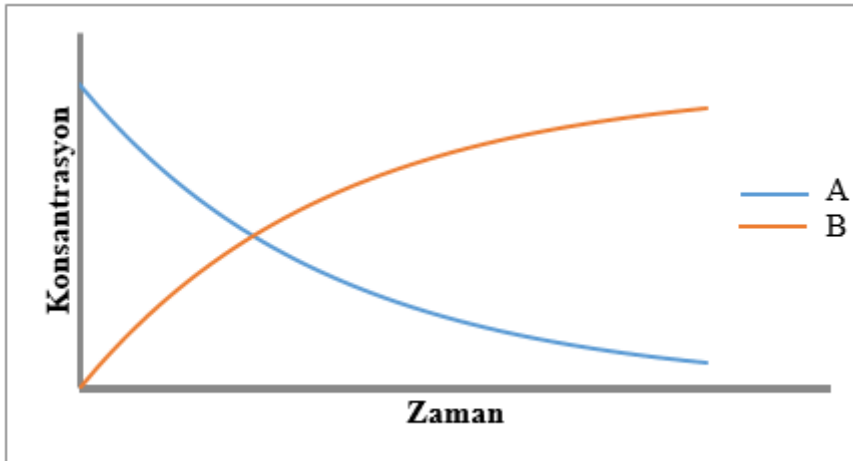
Kimyasal Kinetik

Kimyasal kinetik, kimyasal tepkimelerin zamanla ilerleyişlerini ve ilerleme hızlarını araştıran ve bu hızları değiştirme olanağı arayan bir bilim dalıdır. Tepkime hızlarının belirlenmesi, kontrol edilmesi ve atomik ya da moleküler düzeydeki tepkime mekanizmasının açıklanması kimyasal kinetiğin ana konularıdır.

Kimyasal tepkimelerin hızı, tepkimeye giren herhangi bir maddenin derişiminin zamana bağlı olarak izlenmesi ile bulunabilir. Kimyasal kinetiğin temel değişkeni zamandır.

Geri dönüşsüz reaksiyonlar reaktanlar tükeninceye kadar tek yönde ilerleyen reaksiyonlardır. Geri dönüşümlü reaksiyonlar ürünler ve reaksiyona giren maddelerin konsantrasyonlarına bağlı olarak her iki yönde de ilerleyen reaksiyonlardır. Tepkimenin hangi yönde ilerleyeceğine tepkime koşullarındaki denge sabitinin büyüklüğü karar verir.

Genel olarak; $A \rightleftharpoons B$ şeklinde gösterilen bir denge tepkimesinde ve $A \rightarrow B$ şeklinde ilerleyen ileri yönlü tepkimede tepkime süresince A ve B maddelerinin derişimindeki değişim aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 1. $A \rightleftharpoons B$ tepkimesinde A ve B maddelerinin derişimlerinin zamana bağlı değişimi.

Reaksiyon Hızı

Reaksiyon hızı, reaksiyon sisteminin birim hacmi içinde reaksiyona giren maddenin **mol sayısı** ile ölçülür. Reaksiyon hızı sıcaklık ve konsantrasyonun bir fonksiyonudur. Hız eşitliği reaksiyonun davranışını tarif eder. Reaksiyon hızının reaktan konsantrasyonuna bağlılığı deneysel gözlemlerle belirlenir. Teorik olarak hesaplanırsa bile deneylerle doğrulanması şarttır.

Gazlarda konsantrasyon yerine **kısmi basınç** kullanılır. Bir reaksiyon hızı verilirken birimlerinin açıkça verilmesi gereklidir.

Reaksiyon hızı, tepkimeye giren bileşen cinsinden ifade edilirse **harcanma hızı**, tepkimeden çıkan bileşen cinsinden ifade edilirse **oluşum hızı** olarak da adlandırılır. Reaksiyon hızı cebirsel bir eşitliktir. Harcanma hızları reaksiyon hızının önüne ‘-’ işareti konularak gösterilir.

Hız eşitliğinin belirlenmesi genellikle iki adımlı prosedürdür. Önce, sabit sıcaklıkta konsantrasyon bağımlılığı bulunur ve daha sonra hız sabitlerinin sıcaklık bağımlılığı bulunarak tam hız eşitliği elde edilir.

Kimyasal tepkimelerin hızına yönelik bilgi edinmenin en uygun yolu, tepkimeye giren veya tepkime ürünlerinden birisinin konsantrasyonundaki değişimi zamana karşı izlemektir. Tepkime girdileri veya ürünler tepkime hızlarını etkileyebilirler. Tepkimenin ilerleyişi sırasında girdilerin derişimi azalır, ürünlerin derişimi artar. Bu değişiklik tepkime hızını da sürekli değiştirir. Verilerin alınma aralıkları en aza indirilerek derişim değişikliklerinin tepkime hızı üzerine etkisi en aza indirilir.

$aA + bB \rightarrow cC + dD$ şeklinde gösterilen kimyasal tepkimede A ve B maddelerinin harcanmasıyla C ve D maddelerinin oluştuğu görülmektedir. Bu durumda;

Reaksiyon hızının konsantrasyona bağlılığını veren en genel ifade aşağıdaki gibidir.

$$-r_A = k[C_A]^\alpha[C_B]^\beta \quad (1)$$

Tepkime ortamında yer alan maddelerin derişimlerinin zamanla değişimi ve tepkime hızı ise;

$$-\frac{1}{a}r_A = -\frac{1}{b}r_B = \frac{1}{c}r_C = \frac{1}{d}r_D \quad (2)$$

Burada C_A ve C_B tepken molariteleri, α ve β ise genelde küçük tamsayılardır. a, b değerleri ile ilgisi yoktur. (a, b, c ve d denkleştirilmiş eşitliğin stokiyometrik katsayılarıdır.)

Yukarıdaki denkleme göre $\alpha=1$ ise tepkime A’ya göre birinci derecedendir denir. $\beta=2$ ise tepkime B’ye göre ikinci dereceden bir denklemdir. Tepkimenin toplam derecesi ise tüm üslerin toplamıdır ($\alpha + \beta \dots$).

Reaksiyon Hız Sabiti

Tepkime hız bağıntısı yazılırken derişimlerle birlikte kullanılan ‘**k**’ terimi, spesifik reaksiyon hızı (sabit) olarak ifade edilir. Tepkime hız sabitinin büyüklüğü tepkimeden tepkimeye değişir ve sıcaklığa ve katalizöre bağlıdır. Tepkime hız sabitinin birimi de tepkimenin derecesine bağlıdır.

Hız sabitinin (k) sıcaklıkla ilişkisi Arrhenius eşitliği ile verilir. Arrhenius eşitliği ampirik bir eşitliktir ve geniş sıcaklık aralıkları için doğru sonuç verir.

$$k = A \cdot e^{-E/RT} \quad (3)$$

Burada:

E = Aktivasyon Enerjisi (cal/mol)

R = Gaz sabiti(cal/mol.K)

T = Sıcaklık(K)

A = frekans faktörü

Deneysel veriler sıcaklığın değişiminden özellikle hız sabitinin değiştiğini göstermektedir. Sıcaklığın artması hız sabitinin yükselmesini sağlar (**nedenini düşününüz**).

Aktivasyon Enerjisi

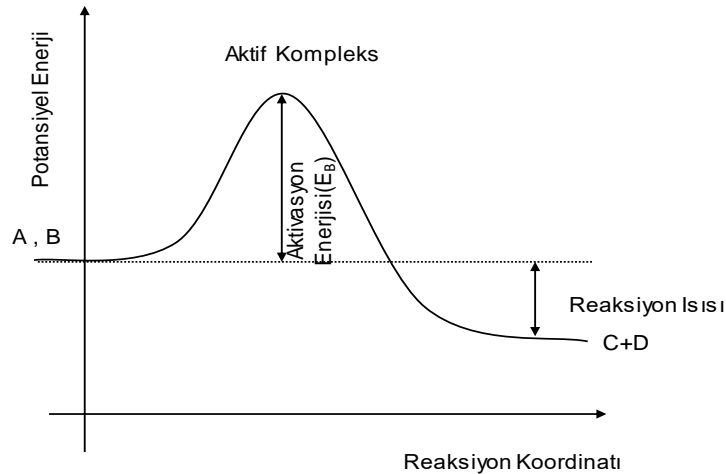
Aktivasyon enerjisi E, reaksiyon gerçekleşmeden önce reaktan moleküllerinin sahip olmaları gereken minimum enerjidir. Gazların kinetik teorisinden $e^{-E/RT}$ faktörü, gerekli minimum enerjiye (E) sahip moleküllerin çarpışma fraksiyonunu verir. Aktivasyon enerjisi diğer parametreler sabit tutularak birkaç tane farklı sıcaklıkta deney yapılarak belirlenir.

Aktivasyon enerjisi reaksiyonun ne kadar sıcaklığa duyarlı olduğunu bir ölçüsüdür. Daha büyük aktivasyon enerjili reaksiyonlar sıcaklığa daha duyarlı reaksiyonlardır.

A₂ ve B₂ gibi iki molekülün, çözelti ya da gaz fazında, A₂ + B₂ → 2AB basit tepkimesine uygun olarak AB bileşiğini verebilmesi için, üç koşulun yerine getirilmesi gerekir:

- ✓ A₂ ve B₂ molekülleri bir araya gelerek çarpışmalıdır,
- ✓ Çarpışma, aktivasyon enerjisini karşılamalıdır,
- ✓ A ve B molekülleri uygun geometride çarpışmalıdır.

A + B → C + D reaksiyonu için reaksiyon koordinatı aşağıdaki şekilde gibidir.



Şekil 2. A + B → C + D reaksiyonu için reaksiyon koordinatı

Yukarıdaki reaksiyon koordinatına göre, reaksiyonun gerçekleşmesi için reaktanların E_B bariyerini aşması gerekir. Enerji engeli Aktivasyon enerjisine bağlıdır. Enerji bariyeri aşağıda belirtilen enerjilerin toplamına bağlıdır.



- ✓ Moleküllerin bağlarını kırmak için eğilip bükülmesi, gerilmesi ve yeni bağların oluşması için ihtiyaç duyulan enerji,
- ✓ Reaksiyon moleküllerinin hem elektron itme hem de sterik itme kuvvetlerinin üstesinden gelmeleri ile moleküllerin birbirlerine yakın konuma gelmeleri için gerekli enerji.

Çarpışmaların sayısı C_A ve C_B konsantrasyonları ile orantılı olur. E aktifleşme enerjisine sahip olan çarpışmalar kimyasal bir reaksiyon ile sonuçlanabilir. Buna göre birim hacim içinde birim zamanda değişikliğe uğrayan A, B çiftlerinin sayılarının birim hacim içinde birim zamanda meydana gelen toplam çarpışma sayısı ile orantılı olacağı söylenebilir. E enerjisine sahip moleküllerin sayısı Maxwell - Boltzman enerji dağılımı bağıntısı ile verilir.

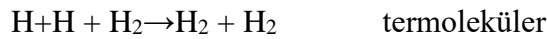
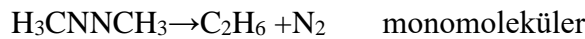
Aktivasyon enerjisi, en basit anlamı ile tepkimelerin gerçekleşebilmesi için tepkimeye girecek taneciklerin çarpışmaları sırasında sağlanması gereken en küçük enerji miktarıdır. Tablo 1'de bazı tepkimelere ait aktivasyon enerjileri görülmektedir.

Tablo 1. Arrhenius parametreleri.

Tepkime	A	E (kJ/mol)
$\text{CH}_3\text{NC} \rightarrow \text{CH}_3\text{CN}$	$3,98 \cdot 10^{13} \text{ s}^{-1}$	160
$2\text{N}_2\text{O}_5 \rightarrow 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$	$4,94 \cdot 10^{13} \text{ s}^{-1}$	103,4
$\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}$	$8,10^{10} \text{ L/mol.s}$	42

Elementer Reaksiyonlar

Eğer kimyasal denklemdeki stokiyometrik katsayılar hız kanununda reaktanların derecesi olarak gelirse reaksiyon **elementer hız kanununu** takip ediyor demektir. Bazı zamanlar elementer hız kanununa uyan reaksiyonlar için elementer reaksiyon ifadesi kullanılır. Reaksiyon hızını kontrol eden basamaktaki çarpışan; atom, iyon veya moleküllerin sayısına **molekülerite** denir. Unimoleküler, bimoleküler, termoleküler reaksiyon terimleri herhangi bir basamakta bir, iki ve üç atom veya molekülün reaksiyonun herhangi bir basamağında çarpıştığını ifade eder.



$\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C} + \text{D}$ tepkimesi iki molekül (bimoleküler) bir reaksiyondur ve hız denklemi; $-r_A = kC_A C_B$ şeklinde ifade edilmektedir.

Elementer Olmayan Reaksiyonlar

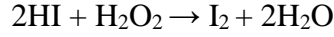
$\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C} + \text{D}$ reaksiyonu elementer hız kanununu takip etmiyorsa, örneğin hız kanunu $-r_A = kC_A^2 C_B$ ise bu reaksiyon A ya göre 2. derecede B ye göre 1. derecede ve toplam 3. derecedendir. Böyle reaksiyonlara **elementer olmayan reaksiyonlar** denir.

$\text{H}_2 + \text{Br}_2 \rightarrow 2\text{HBr}$ tepkimesi elementer olmayan reaksiyondur ve hız eşitliği;

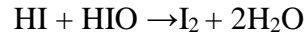
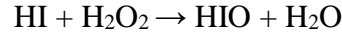
$$r_{HBR} = \frac{k_1 C_{H_2} C_{Br_2}^{1/2}}{k_2 + C_{HBr}/C_{Br_2}} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Görüldüğü üzere oluşan HBr tepkime hızına etki etmektedir.

Kompleks tepkimeler birden fazla tepkime adımı içeren veya bir taneciğin birkaç tepkime basamağına katıldığı tepkimelerdir.



Reaksiyonun denkleminde bekleneneği gibi 3. dereceden olmayıp 2. dereceden olduğu deneylerle bulunmuştur. Daha incelikli araştırmalar gerçek kimyasal değişimin en az iki basamak halinde izlendiğini göstermektedir.



Birinci basamağın hızı oldukça küçük olduğu halde 2. reaksiyon hemen hemen aniden olur.

Geri dönüşümlü reaksiyonlar

Herhangi bir türün oluşumunun reaksiyon hızı, ileriye doğru olan reaksiyon hızı ile geriye doğru olan reaksiyon hızının toplamına eşittir.

$$Hız_{net} = Hız_{ileri} + Hız_{geri} \quad (5)$$

Dengede reaksiyon hızı_{net}≅0 ve hız kanunu reaksiyon için termodinamik denge sabitinden ibaret bir eşitliğe indirgenir. Denge sabiti endotermik reaksiyonlarda sıcaklığın artması ile artar, ekzotermik reaksiyonlarda ise sıcaklığın artması ile azalır.

Tepkime ürünlerinin tepkime hızını azaltmasına **otoinhibasyon**, artırmasına **otokataliz** adı verilir.

Bazı sistemlerde tepkime stokiyometrisi için gerekli olmadığı halde dışarıdan sisteme tepkime hızını değiştirmek amacı ile **katalizör** denilen maddeler ilave edilir.

A ⇌ B gibi bir tepkime her iki yöne ilerleyen denge tepkimesidir. Tepkimede A maddesi;

$$-\frac{dC_A}{dt} = k_1 C_A \quad (6)$$

hızı ile harcanırken,

B maddesi;

$$\frac{dC_B}{dt} = k_2 C_B \quad (7)$$

hızı ile oluşur.

Bu hızlardan yararlanarak A maddesinin birim zamandaki derişiminin değişimi;

$$\frac{dC_A}{dt} = k_2 C_B - k_1 C_A \quad (8)$$

şeklinde verilir.

O halde **net tepkime hızı: (oluşma hızları toplamı) - (harcanma hızları toplamı)** olur.

Reaksiyon hız mertebeleri

A→B şeklinde ilerleyen ileri yönlü tepkime için tepkime mertebesi aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\mathbf{0. \text{Mertebe için:}} \quad \frac{-dC_A}{dt} = k \quad (9)$$

$$\mathbf{1. \text{Mertebe için:}} \quad \frac{-dC_A}{dt} = kC_A \quad (10)$$

$$\mathbf{2. \text{Mertebe için:}} \quad \frac{-dC_A}{dt} = kC_A^2 \quad (11)$$

Reaksiyon hız mertebelerine göre hız denklemlerinin belirli zaman aralıklarında integrallerinin alınmasından aşağıdaki eşitlikler elde edilir:

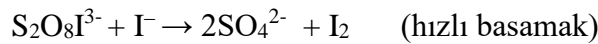
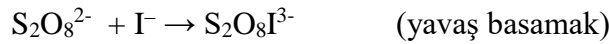
$$\mathbf{0. \text{Mertebe için:}} \quad C_A = C_{A0} - kt \quad (12)$$

$$\mathbf{1. \text{Mertebe için:}} \quad \ln C_A = \ln C_{A0} - kt \quad (13)$$

$$\mathbf{2. \text{Mertebe için:}} \quad 1/C_A = 1/C_{A0} + kt \quad (14)$$

Yalancı (Pseudo) birinci dereceden tepkimelerde tepkime kinetiğini basitleştirmek için, tepkimenin daha düşük dereceli tepkimeler gibi davranmaları sağlanır. Tepkenlerden birinin derişimi sabit tutularak, birinci derecedenmiş gibi davranması sağlanan ikinci dereceden tepkimelere **yalancı birinci dereceden tepkimeler** adı verilir.

Örneğin; İyodürün persülfatla oksidasyonunda reaksiyon hızını ikinci mertebeden olan ilk kademe belirler. İkinci mertebeden olan ilk kademe, iyodür konsantrasyonunu persülfat konsantrasyonuna göre çok fazla alınarak birinci mertebeye indirilebilir.



3. Deneysel Çalışma

Amaç

Bu deneyde, doymuş potasyum persülfat çözeltisi ile potasyum iyodür çözeltisi arasındaki reaksiyonun derecesi, hız sabiti ve yarılanma süresi deneysel olarak tayin edilecektir.

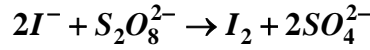


3.1. Gerekli Aletler ve Kimyasal Maddeler:

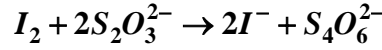
- ✓ Büret (50 ml' lik)
- ✓ Su banyosu
- ✓ Beher (iki adet 250 ml'lik, iki adet 100 ml'lik)
- ✓ Pipet
- ✓ 0,01 N Na₂S₂O₃
- ✓ 0,036 N K₂S₂O₈
- ✓ 0,04 N KI
- ✓ Nişasta çözeltisi (taze hazırlanmış)

3.1.1. Deneyin Yapılışı

İncelenecek olan reaksiyon nötral çözeltide iyodun persülfat ile yükseltgenme reaksiyonudur.



Reaksiyon hızı persülfat konsantrasyonunun takip edilmesi ile belirlenecektir. Ortamdaki persülfat konsantrasyonu açığa çıkan I₂ miktarının sodyum tiyosülfatla belirlenmesi ve buna eşdeğer persülfat miktarının başlangıç persülfat değerinden çıkartılması ile bulunacaktır.



- Seyreltik persülfat çözeltisinden 50 mL alınarak bir erlen içerisine boşaltılır. Yine potasyum iyodür çözeltisinden 50 mL alınarak ikinci erlen içerisine konur.
- 0,01 N sodyum tiyosülfat çözeltisi bir bürete doldurulur.
- Yukarıdaki hazırlıklar tamamlandıktan sonra potasyum iyodür çözeltisi persülfat çözeltisi içerisine aktarılarak reaksiyon başlatılır ve karışma anı bir saat ile kaydedilir. Karıştırıldıktan hemen sonra karışım çalkalanarak homojen hale getirilir. Reaksiyon başlamasından 3 dakikalık bir zaman geçmesinden sonra reaksiyon karışımından bir örnek çekilir.
- 3 dakika sonunda çekilen örnek içerisinde saf su bulunan erlenlerden birinin içerisine boşaltılır.
- Erlen içerisine alınan örnek büret içerisine doldurulmuş olan 0,01 N sodyum tiyosülfat ile nişasta indikatörü yanında titre edilir.
- 8, 15, 20, 30, 40, 50. ve 60. dk'larda bu çözeltiden 10 ml alınarak saf su ile seyreltilir. Seyrelmeden sonra 0.01 N tiyosülfat ile titre edilir. (Zamanla reaksiyon hızı azalacaktır. Reaksiyon hızı azaldıkça çekilen örnekler arasındaki zaman aralığı büyütülmelidir.)
- 60. dk'dan sonra titrasyon sonu için 15 dk beklenerek tekrar titrasyon yapılır. Bu işlem için harcanan sodyum tiyosülfat miktarı V₀ ile ifade edilir.

3.1.2. Hesaplamalar

- Tablo 2'ye her bir numune için harcanan titrant hacimlerini (V_t) kaydediniz.
- Her bir zaman aralığı için harcanan sodyum tiyosülfat miktarlarını V₀ değerinden çıkarınız. Bulunan V₀ – V_t değerleri her bir zaman aralığı için C_A değerlerini göstermektedir.
- In (V₀ – V_t / V₀) değerlerini hesaplayınız.
- Elde edilen değerleri zamana karşı grafiğe geçirerek 'k' değerini hesaplayınız.
- Reaksiyon hız sabitinden yararlanarak yarılanma süresini hesaplayınız.



Tablo 2. Potasyum persülfat ile potasyum iyodür reaksiyonuna ait sayısal bilgiler.

t(dk)	V _t (ml)	V ₀ – V _t (ml)	ln (V ₀ – V _t / V ₀)

Kaynaklar

1. Levenspiel O. (2016), Kimyasal Tepkime Mühendisliği, Çeviri Editörü, Altıokka M. R., Palme yayıncılık.
2. Fogler H.S., Elements of Chemical Reaction Engineering, Third Edition, Prentice-Hall International, Inc.
3. Atkins P.W. (2001). Fizikokimya, Çevirenler, Yıldız S., Yılmaz H., Kılıç E., Bilim Yayıncılık.
Berkem A.R. & Baykut,S. (1977). Fizikokimya, İstanbul Ü. Yayınları.



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

4.ISI DEĞİŞTİRİCİ

1. Amaç

Farklı soğuk su akış hızlarının ve farklı sıcaklıklardaki sıcak su akımının, paralel ve ters akış durumunda ısı değiştirici performansını nasıl etkilediğini göstermek.

Öğrenme çıktıları;

- ✓ Isı değiştiricileri hakkında genel kavramları bilir,
- ✓ Isı değiştiricilerinde ısı transfer katsayısının nelere bağlı olduğunu ve nasıl hesaplandığını bilir,
- ✓ Bir deney sistemini emniyetli bir şekilde kullanır,
- ✓ Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar,
- ✓ Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.

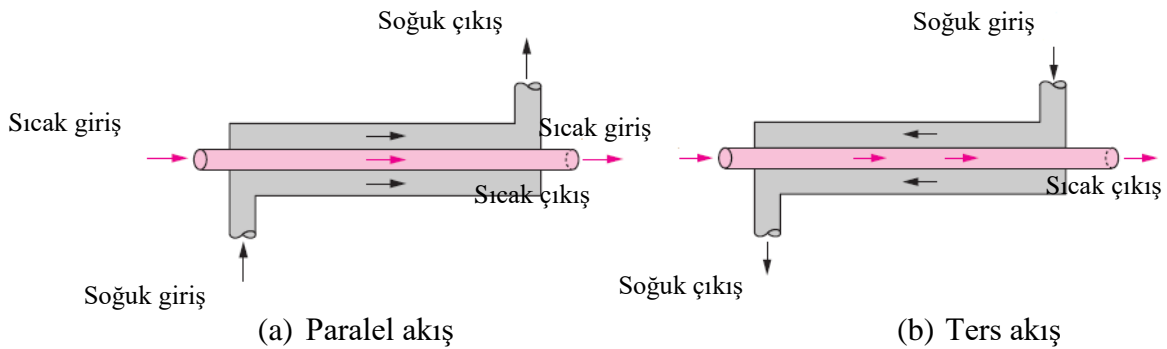
2. Genel Bilgiler

Isı değiştiriciler, birbirine karışmaları engellenen sıcaklıkları farklı iki akışkan arasında ısı değişimini sağlayan aygıtlardır. Isı değiştiriciler, evlerdeki ısıtma ve havalandırma sistemlerinden büyük fabrikalardaki kimyasal işlem ve güç üretimine kadar çok çeşitli uygulama alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Isı Değiştirici Tipleri

Farklı ısı transferi uygulamaları, farklı tiplerde donanım ve farklı düzenlerde ısı transferi aygıtları gerektirir. Belirli sınırlamaları olan ısı transferi gereğini karşılayacak ısı transferi donanımını bulmak için yapılan girişimler, ortaya sayısız yeni ısı değiştirici tasarım tipi çıkarmıştır.

En basit ısı değiştiricisi tipi, Şekil 1’de görüldüğü gibi, çapları farklı eş eksenli iki borudan oluşmuştur ve **çift borulu** ısı değiştiricisi olarak adlandırılır. Çift borulu ısı değiştiricilerde bir akışkan küçük borudan akarken, diğer akışkan iki boru arasındaki halka aralıktan akar. Çift borulu ısı değiştiricide iki tip akış düzeni olabilir: **paralel akışta** sıcak ve soğuk akışkanın ikisi de ısı değiştiriciye aynı taraftan girer ve aynı yönde hareket eder. Öte yandan **ters akışta**, sıcak ve soğuk akışkanlar ısı değiştiriciye ters taraftan girer ve zıt yönde hareket ederler.

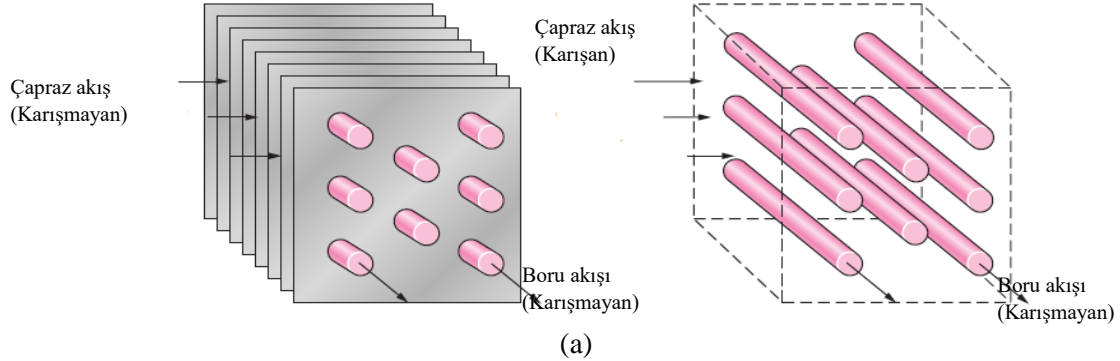


Şekil 1. Çift borulu bir ısı değiştiricide farklı akış rejimleri ve ilgili sıcaklık profilleri.

Birim hacim başına yüksek bir ısı transfer yüzey alanı elde etmek için özel olarak tasarlanan diğer bir ısı değiştirici ise **kompakt ısı değiştiricisidir**. Kompakt ısı değiştiriciler, küçük bir hacimde iki akışkan arasında yüksek ısı transferi hızları elde edilmesini sağlar ve genellikle, ağırlık ve hacim açısından önemli kısıtlamalar içeren ısı değiştirici uygulamalarında kullanılırlar.

Kompakt ısı değiştiricilerde büyük yüzey alanı, iki akışkanı ayıran duvarlara sık dizilmiş ince plaka veya oluklu kanatlar eklenerek elde edilir. Kompakt ısı değiştiriciler genellikle, genişletilmiş yüzey alanındaki gaz akışına bağlı düşük ısı transfer katsayısını önlemek için gaz-gaz ve gaz-sıvı ısı değiştiricilerinde kullanılır.

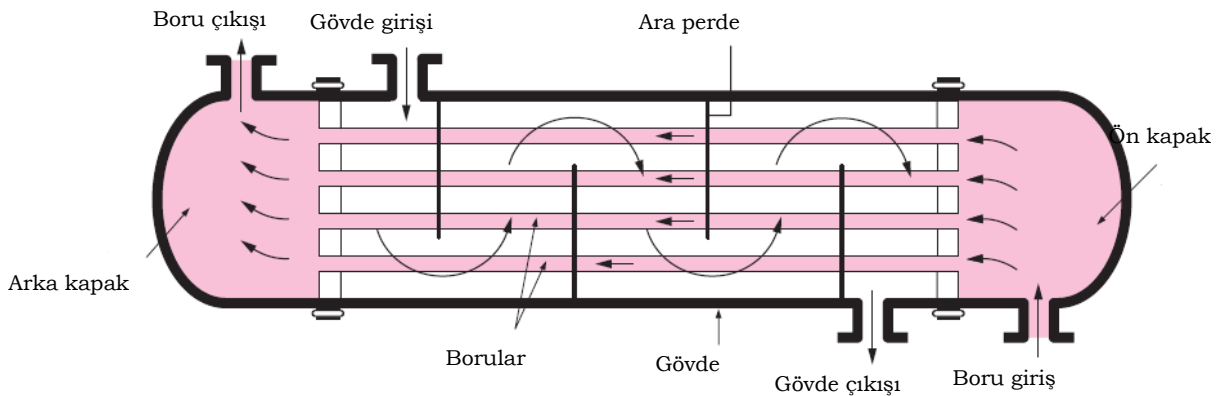
Kompakt ısı değiştiricilerde iki akışkan genellikle birbirine dik olarak hareket eder ve böyle bir akış şekli **çapraz akış** olarak adlandırılır. Ayrıca Şekil 2’de görüldüğü gibi çapraz akış, akışın düzenine bağlı olarak karışan ve karışmayan akış olarak da sınıflandırılabilir.



(b) İki akışkan karışmayan (b) Bir akışkan karışan, bir akışkan karışmayan

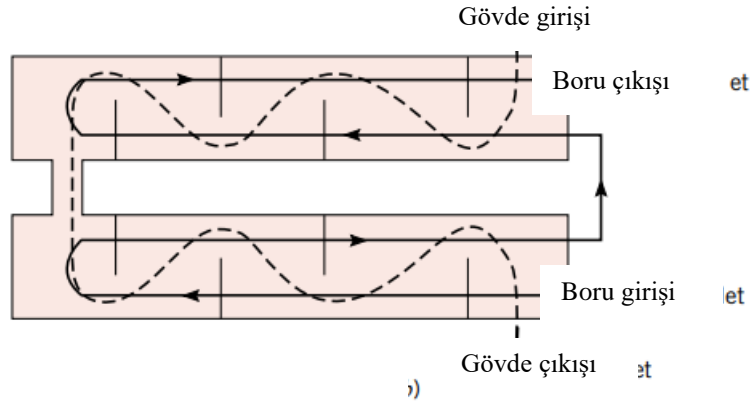
Şekil 2. Çapraz akışlı ısı değiştiricilerde farklı akış şekilleri.

Endüstriyel uygulamalarda belki de en sık rastlanan ısı değiştiricisi tipi, Şekil 3’te verilen gövde-borulu ısı değiştiricisidir. Gövde-borulu ısı değiştiriciler, gövde eksenine paralel olarak yerleştirilmiş çok sayıda (bazen yüzlerce) boru içerirler. Bir akışkan boruların içinden, diğeri boruların dışında gövde boyunca akarken ısı transferi meydana gelir. Isı transferini iyileştirmek ve borular arasında üniform aralığı korumak amacıyla, çoğunlukla gövde tarafındaki akışkanı gövdeye çapraz akmaya zorlayacak şekilde gövde içine ara perdeler yerleştirilir.



Şekil 3. Gövde borulu ısı değiştirici şematik gösterimi (bir gövde geçişli ve bir boru geçişli).

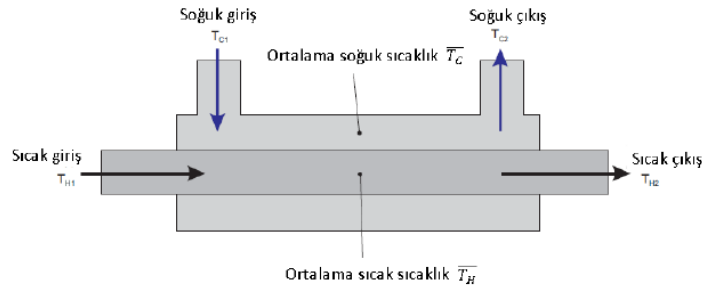
Şekil 4’te ise iki gövde ve dört boru geçişli ısı değiştiricileri gösterilmektedir.



Şekil 4. İki gövde- dört boru geçişli ısı değiştirici.

Isı Değiştiricilerinde Ortalama Sıcaklık

Çoğu ısı transfer denklemleri, özgül ısı kapasitesi ve su yoğunluğu hesaplamaları için ısı değiştiricisinde sıcak ve soğuk akımların ortalama sıcaklığının bulunması gerekir. Bu sistemdeki ortalama sıcaklık giren ve çıkan akımların orta noktasının hesaplanmış değeridir (Şekil 5).



Şekil 5. Isı değiştiricisinde ortalama sıcaklıklar.

Soğuk akımın ortalama sıcaklığı

$$\bar{T}_{C1} = \frac{T_{C1} + T_{C2}}{2} \quad (1)$$

Sıcak akımın ortalama sıcaklığı

$$\bar{T}_{H1} = \frac{T_{H1} + T_{H2}}{2} \quad (2)$$

Isı Kapasitesi (C)

Kütlesi verilen bir malzemenin sıcaklığını 1 derece (Kelvin veya Santigrat) artırmak için gerekli ısının bir ölçüsüdür. Malzemenin kütlesi ile özgül ısı kapasitesinin (c) çarpımına eşittir.

$$C = mxc \quad (3)$$

Sabit Basıncıta Özgül Isı Kapasitesi (C_p)

Özgül ısı kapasitesi, 1 kg malzemenin sıcaklığını 1 derece (Santigrat) artırmak için gerekli ısı enerjisinin miktarıdır. Isı enerjisindeki değişimin sıcaklıktaki değişime oranıdır.

$$c = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (4)$$

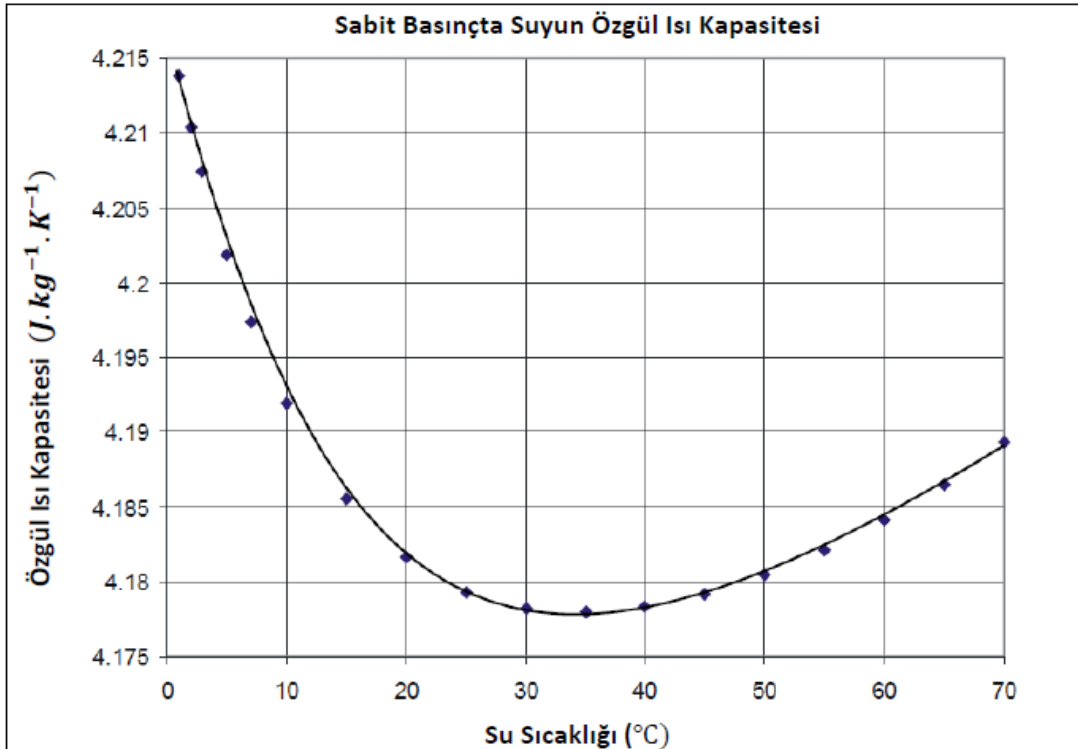
Basıncı ve sıcaklık özgül ısı kapasitesinin değerini etkiler. Bilinen bir sıcaklık aralığında az önce verilen denklemin sabit basınç için de geçerli olduğu kabul edilir.

$$c_p = \frac{Q}{\Delta T} \quad (5)$$

Şekil 6'daki grafik, ortalama sıcaklıkta özgül ısı kapasitesinin bulunması için kullanılabilir. Diğer bir yol olarak aşağıda verilen denklem yardımıyla kesin bir değer bulunabilir. T sıcaklık değeri °C birimindedir. Sıcaklık değeri akış devresinin ortalama sıcaklık değeridir.

$$\frac{c_p(T^{\circ}\text{C}'de)}{c_p(15^{\circ}\text{C}'de)} = 0,996185 + 0,0002874 \left(\frac{T + 100}{100} \right)^{5,26} + 0,011160 \times 10^{-0,036T} \quad (6)$$

Suyun 15 °C'deki özgül ısı kapasitesi 4185,5 J. kg⁻¹.K⁻¹'dir.



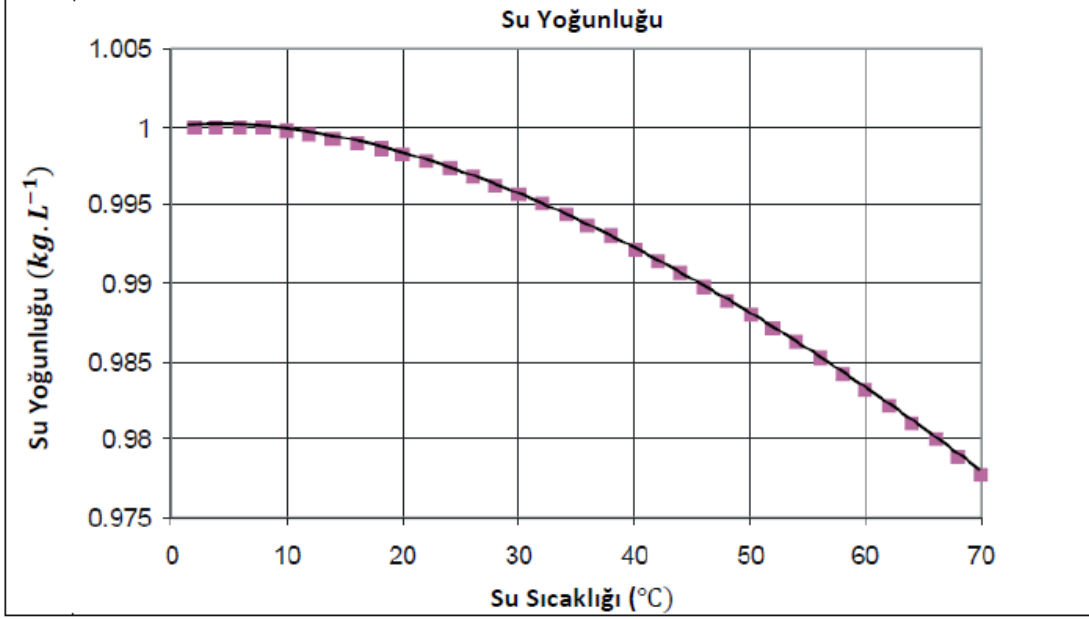
Şekil 6. Sabit basınçta suyun özgül kapasitesi.

Yoğunluk

Suyun sıcaklığı değiştiğinde yoğunluğu da azda olsa değişir. Maksimum yoğunluğu 4 °C 'dedir ve bu, sıcaklık değeri yükseldikçe veya düştükçe azalır. Bu durum tüm hesaplamaları etkiler. Şekil 7'deki grafik,

sabit basınç ve birim kütle için suyun yoğunluğunun sıcaklığa göre değişimini vermektedir. Diğer bir yol olarak aşağıda verilen denklem yardımıyla kesin bir değer bulunabilir. T sıcaklık değeri °C birimindedir. Sıcaklık değeri akış devresinin ortalama sıcaklık değeridir.

$$\rho = \frac{(999,839 + 16,952T - 7,990 \times 10^{-3}T^2 - 46,241 \times 10^{-6}T^3 + 105,846 \times 10^{-9}T^4 - 281,030 \times 10^{-12}T^5)}{(1 + 16,887 \times 10^{-3}T)} \quad (7)$$



Şekil 7. Suyun yoğunluğu.

Isı Transferi, Enerji Dengesi ve Verimler

Isı değiştiricisinde, ısı sıcak su devresinden soğuk su devresine transfer olur. Isı transfer hızı, akışkan kütlelerin akış hızınının, akışkanın sıcaklık değişiminin ve özgül ısı kapasitesinin bir fonksiyonudur (ortalama sıcaklıkta).

$$\dot{Q} = m x c_p x \Delta T \quad (8)$$

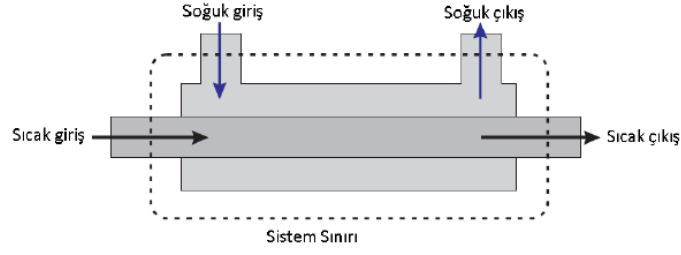
İdeal bir ısı değiştiricisinde, dış ortamdan ne ısı alınır nede dış ortama ısı verilir. Soğuk akışkan tüm ısıyı sıcak akışkandan absorplar. Dolayısıyla ısı transfer hızı:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_e = \dot{Q}_a = m_H x c_{PH} x \Delta_{TH} = m_C x c_{PC} x \Delta_{TC} \quad (9)$$

Hacimsel akış için tekrar düzenlenirse:

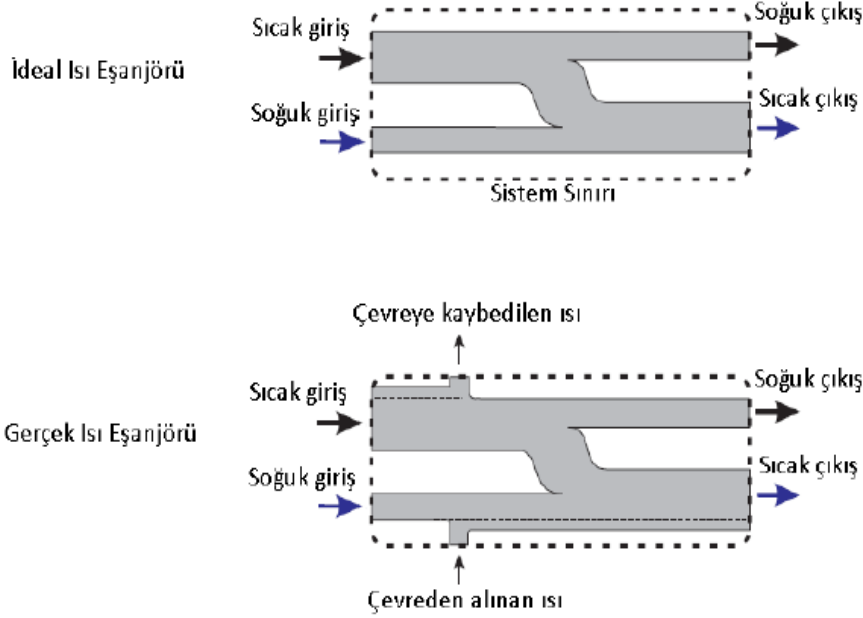
$$\dot{Q} = \dot{Q}_e = \dot{Q}_a = V_H x \rho_H x c_{PH} x \Delta_{TH} = V_C x \rho_C x c_{PC} x \Delta_{TC} \quad (10)$$

Isı değiştiricisinde, ısı transferini daha iyi anlamak için, Şekil 9'daki gibi giriş ve çıkışları olan sıcak ve soğuk su akışlı bir sistem olarak kabul edilmelidir.



Şekil 9. Sistem sınırı.

İdeal ısı değıştiricisinde sistem sınırı boyunca ısı transferi yoktur. Fakat gerçekte sıcak ve soğuk akışkanlar genellikle çevreden farklı sıcaklıktadırlar ve bundan dolayı bir miktar ısı sistem sınırında transfer olur. Örneğin, sıcak bir odadan soğuk akışkana ısı transfer olur. Şekil 10'da girişleri, çıkışları ve kayıpları göreceli miktarları ile şema olarak gösterilmektedir.



Şekil 10. İdeal ve gerçek ısı değıştiricileri.

Enerji denge katsayısı (C_{EB}), absorplanan ve salınan enerji arasındaki ilişkiyi gösterir.

$$C_{EB} = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_e} \quad (11)$$

Fakat gösterildiği gibi sistemin dışına veya içine muhtemel ısı akışından dolayı, eğer ısı değıştiricisi çevresinden enerji absorplarsa enerji denge katsayısı 1'den büyük bir değer çıkar. Dolayısıyla bu sadece yol göstericidir. Çünkü gerçekte:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_a \pm \text{çevreden kazanılan veya kaybolan ısı} \quad (12)$$

şeklindedir. Ortalama sıcaklık verimi ve ısı transfer katsayısı, ısı değıştiricileri arasında kıyaslama yapmak için daha faydalı sonuçlar verir.



Isı değiştiricide **sıcak devrenin** sıcaklık verimi, sıcak devredeki sıcaklık değişiminin sıcak ve soğuk devredeki maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farka bölünmesi ile elde edilir.

$$\eta_H = \frac{T_{H1} - T_{H2}}{T_{H1} - T_{C1}} \times 100 \quad (13)$$

Isı değiştiricide **soğuk devrenin** sıcaklık verimi, soğuk devredeki sıcaklık değişiminin sıcak ve soğuk devredeki maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farka bölünmesi ile elde edilir.

$$\eta_H = \frac{T_{C2} - T_{C1}}{T_{H1} - T_{C1}} \times 100 \quad (14)$$

İki devrenin ortalama sıcaklık verimi her iki devrenin ortalama verimidir:

$$\bar{\eta} = \frac{\eta_H + \eta_C}{2} \times 100 \quad (15)$$

Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı

Bu ısı transferini oluşturan ısı itici kuvvetinin ölçüsüdür. Değeri ısı değiştiricisinin her bir ucundaki sıcak ve soğuk devre arasındaki sıcaklık farkının logaritmik ortalamasıdır.

$$LMTD = \frac{(T_{H2} - T_{C2}) - (T_{H1} - T_{C1})}{\ln \left(\frac{T_{H2} - T_{C2}}{T_{H1} - T_{C1}} \right)} \quad (16)$$

Isı Transfer Katsayısı

Duvar ve sınır tabakalar için genel ısı transfer katsayısıdır. Isı değiştiricisinin ne kadar iyi çalıştığının bir ölçüsüdür. İyi bir ısı değiştiricisi yüksek bir katsayı verecektir, bu nedenle mühendisler için bu değer önemlidir.

$$U = \frac{\dot{Q}_e}{A \times LMTD} \quad (17)$$

Isı transfer katsayısı düzlem ve silindirik duvarlar tarafından ayrılmış akışkanlar arasındaki iletim ve taşınım katsayılarını hesaba katarak belirlenmiştir. Fakat bu sonuçlar yalnızca temiz ve fin (genişletilmiş yüzey) eklenmemiş yüzeylerde uygulanmaktadır. Gerçek ısı değiştirici uygulamalarında, yüzeyler sıklıkla akışkan safsızlıklarına, toz oluşumuna ve akışkan ile duvar arasındaki diğer reaksiyonlara maruz kalmaktadır. Yüzeyde bir film veya ölçek oluşumu akışkanlar arasındaki ısı transferine direnç oluşurmaktadır. Bu etki ısı transfer katsayısına ek kirlilik faktörü olarak adlandırılan, R_f , bir termal direnç eklenmesi ile bir termal direnç değeri eklenerek giderilebilir. Kirlilik faktörü çalışma sıcaklığına, akışkan hızına ve ısı değiştiricinin uzunluğuna bağlıdır.

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{U_C A_C} = \frac{1}{U_H A_H} = \frac{1}{(\eta_o h A)_C} + \frac{R_{f,c}''}{(\eta_o A)_C} + R_w + \frac{R_{f,h}''}{(\eta_o A)_H} + \frac{1}{(\eta_o h A)_H} \quad (18)$$



Eğer $U_C A_C = U_H A_H$ ise UA'nın sıcak veya soğuk taraf olarak belirtilmesine gerek yoktur. Fakat sıcak ve soğuk tarafın alanları farklı ise $A_C \neq A_H$ toplam katsayıları da $U_C \neq U_H$ farklı olacaktır. İletim direnci ise R_w , düzlem duvar veya silindirik duvar olmasına göre aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

Düzlem duvar ise;

$$R_{t,iletim} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA} \quad (19)$$

s, duvar yüzeyidir.

Silindirik duvar ise;

$$R_{t,iletim} \equiv \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi Lk} \quad (20)$$

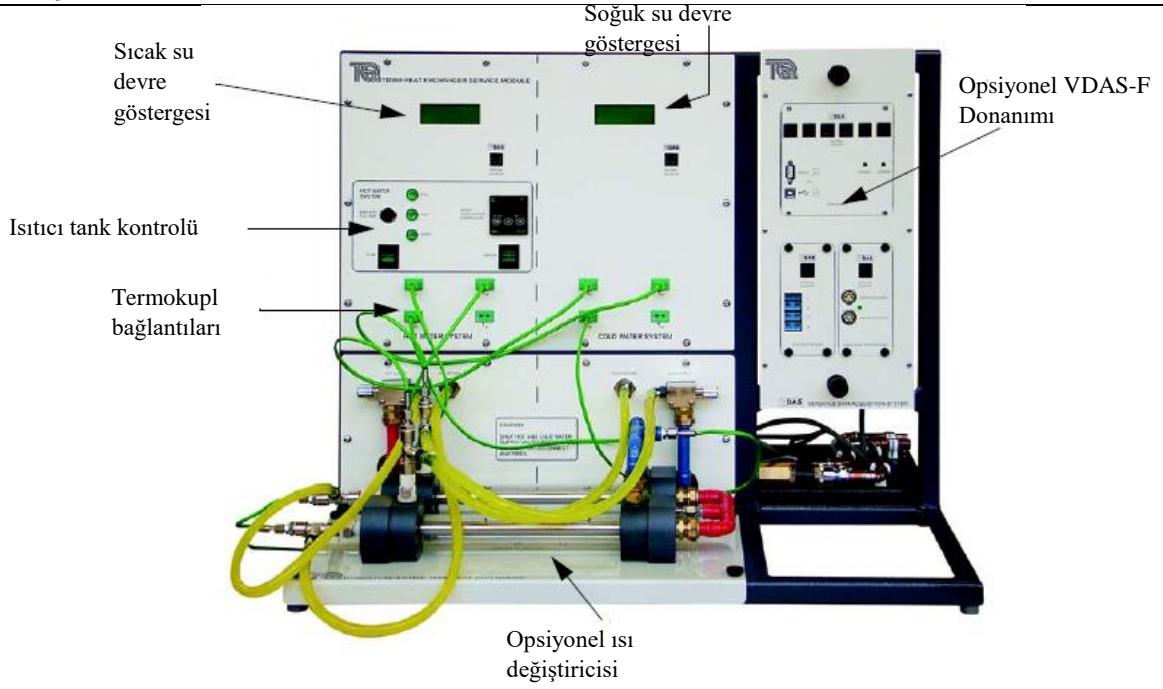
Temsili kirlilik faktörleri Tablo 1'deki gibi gösterilmesine rağmen, ısı değiştirici operasyonlarında kirlilik faktörü bir değişkendir. Temiz bir yüzey için bu değer sıfırken, biriken kirlilik ile değeri artmaktadır.

Tablo 1. Temsili kirlilik faktörleri

Akışkan	R_f'' (m ² K/W)
Denizsuyu ve işlenmiş kaynamış besleme suyu (<50°C)	0,0001
Denizsuyu ve işlenmiş kaynamış besleme suyu (>50°C)	0,0002
Nehir Suyu (<50°C)	0,0002-0,0001
Akaryakıt	0,0009
Dondurucu sıvılar	0,0002
Buhar (yağsız)	0,0001

3. Deney Sistemi

Deney düzeneğinin ana parçası ısı değiştiricisidir. Düzenekte elektrik bağlantıları, soğuk su besleme ve boşaltma sistemi ve düzenek arkasında bulunan sıcak su sağlayan tanktan oluşmaktadır. Akış hızı ölçümü için sıcak ve soğuk suya ait sensörler mevcuttur. Soğuk su musluktan sağlanırken, sıcak su ise elektrikli ısıtıcılı tanktan sağlanmaktadır. Şekil 11'de deney düzeneği Şekil 12'de ise deneyde kullanılacak olan gövde borulu ısı değiştiricisi verilmiştir.



Şekil 11. Deney Düzenegi.



Şekil 12. Gövde borulu ısı değiştiricisi.

4. Deneysel Çalışma

4.1. Değişen Akış Hızının Etkisi

Amaç

- ✓ Farklı soğuk su akış hızlarının, paralel ve ters akış durumunda ısı değiştiricisi performansını nasıl etkilediğini göstermek.

4.1.1. Deneyin Yapılışı

Paralel Akış

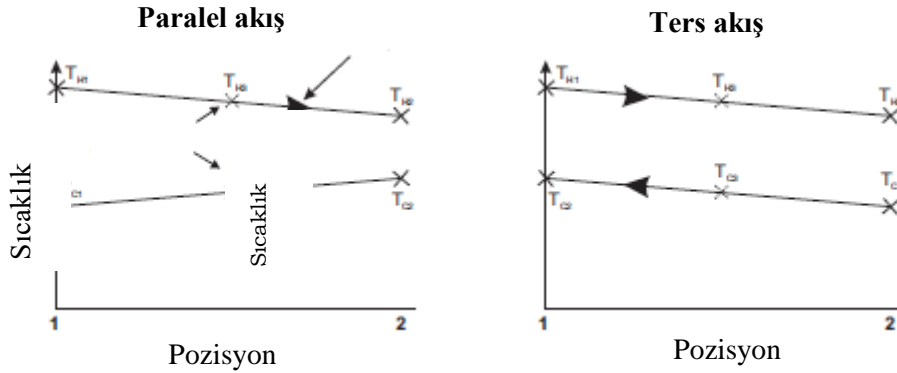
- Isı değiştirici paralel akış için sisteme bağla ve ısıtıcı tankın sıcaklığını 60°C 'ye ayarla.
- Ortam sıcaklığını referans olması için termometre ile ölçün.
- Tablo 2'de test 1 için gösterilen sıcak ve soğuk su akış hızlarını ayarlamak için elle akış kontrol vanalarını kullanın.
- Isı değiştirici sıcaklığının dengeye gelmesi için en az 5 dakika bekleyin.
- Sıcak ve soğuk devre sıcaklıklarını kaydedin.
- Test 2, 3 ve 4 için tabloda gösterilen akış hızlarında test 1 için yapılan işlemleri tekrarlar.

Ters Akış

Isı değiştiricisini ters akış için sisteme bağla ve paralel akış için yapılan prosedürü tekrarlar.

4.1.2. Hesaplamalar

- Her bir akış durumu için aşağıdaki grafikleri çiziniz.



- Tablo 2'yi doldurmak için gerekli hesaplamaları yapınız.
- Soğuk akış hızına (yatay eksen) karşılık enerji denge katsayısı (dikey eksen) ve ortalama sıcaklık verimini (dikey eksen) aynı grafikte çiziniz.
- Sonuçlara göre akış hızının ısı değiştirici performansını nasıl etkilediğini yorumlayınız.

4.2. Değişen Sıcaklığın Etkisi

Amaç

- ✓ Paralel ve ters akışlarda, farklı sıcaklıklardaki sıcak su akımının ısı değiştirici performansını nasıl etkilediğini göstermek.

4.2.1. Deneyin Yapılışı

Paralel Akış

- Isı değiştiricisini paralel akış için sisteme bağla ve ısıtıcı tankın sıcaklığını 30 °C'ye ayarla.
- Ortam sıcaklığını referans olması için termometre ile ölçün.



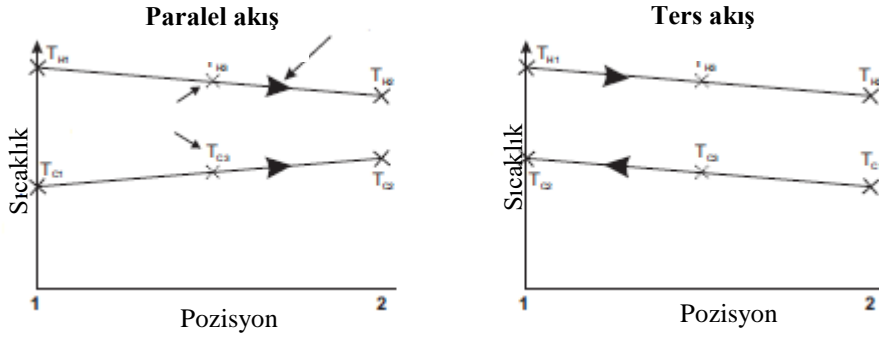
- Tablo 3’de gösterilen sıcak ve soğuk akış hızlarını ayarlamak için elle akış kontrol vanalarını kullanın.
- Isı değiştirici sıcaklığının dengeye gelmesi için en az 5 dakika bekleyin.
- Sıcak ve soğuk devre sıcaklıklarını kaydedin.
- Isıtıcı tank sıcaklığının 40, 50 ve 60 °C’ye ayarlayıp, 30 °C için yapılan işlemleri tekrarlayın.

Ters Akış

- Isı değiştiricisini ters akış için sisteme bağla ve paralel akış için yapılan prosedürü tekrarlayın.

4.2.2. Hesaplamalar

- Her bir akış durumu için aşağıdaki grafikleri çiziniz.



- Tabloyu doldurmak için gerekli hesaplamaları yapınız.
- Isıtıcı sıcaklığına (yatay eksen) karşılık enerji denge katsayısı (dikey eksen) grafiğini çiziniz.
- Sonuçlara göre ısıtıcı sıcaklığının (itici güç) ısı değiştirici performansını nasıl etkilediğini yorumlayın.

Kaynaklar

1. Incropera, F.P. ve DeWitt, D.P., Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Çevirenler: Derbentli, T.,Genceli, O.F., Güngör, A., Hepbaşı, A., İlken, Z., Özbalta, ., Özgüç, F., Parmaksızoğlu, C. Ve Uralcan, Y., Literatür Yayıncılık, Beyoğlu, İstanbul, 2001.
2. TecQuipment, Bench-Top Heat Exchangers Experiments User Guide.
3. Isı eşanjörü Deney Föyü, Bursa Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü.
4. Çengel, Y. A., Isı ve Kütle Transferi, Çevirenler: Tanyıldız, V., Dağtekin, İ., İzmir Güven, İzmir, 2011.



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

5.BOMBA KALORİMETRESİ İLE YANMA İSİSİNİN ÖLÇÜLMESİ

1. Amaç

Yakıtların (sıvı veya katı), gıda maddelerinin ve diğer birçok malzemenin yanma ısılarının bomba kalorimetresi ile ölçülmesi.

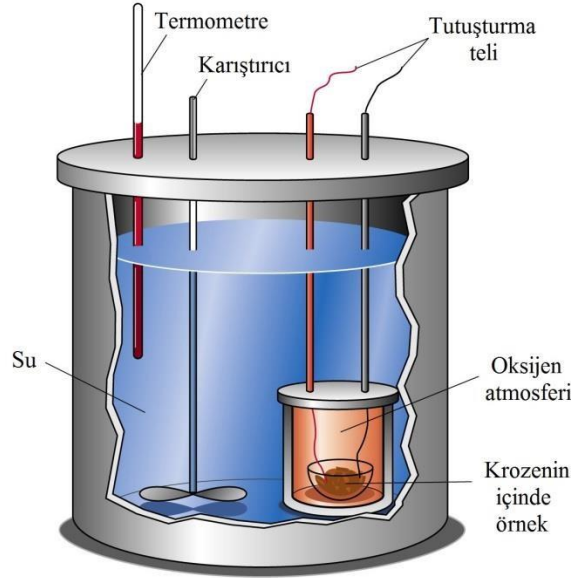
Öğrenme çıktıları

- ✓ Deneysel olarak sıvı bir yakıtın yanma ısısının hesaplanması,
- ✓ Patlama, yaralanma vb. riskler taşıyan bir deneyde güvenlik önlemlerinin nasıl alındığının görülmesi,
- ✓ Deneysel verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması,
- ✓ Deneysel sonuçların bir rapor halinde sunulması.

2. Genel Bilgiler

2.1. Bomba Kalorimetresi

Hammaddenin içerdiği enerjiyi ölçmek için farklı tiplerde kalorimetreler (sabit basınç kalorimetresi, buz kalorimetresi, buhar kalorimetresi vb.) kullanılmakta olup çalışma prensipleri bu deney aşamasında kullanılan modelden farklıdır. Mühendislerin reaksiyondaki yanma ısısını ölçmek için en çok kullandıkları model ise “Bomba Kalorimetresi” olup literatürde “Kap Kalorimetresi” olarak ta adlandırılmaktadır.



Şekil 1. Tipik bir bomba kalorimetresi [1].

“Bomba Kalorimetresi” aynı zamanda gıda maddelerinin ne kadar enerji sağladığını, yakıtların (sıvı ya da katı) yandığında ne kadar enerji verdiğini göstermek için de kullanılır. Bu deney kapsamında hammadde olarak, katı/sıvı yakıtlar kullanılacaktır.

Çalışma prensibi:

- ✓ Yüksek basınçta dayanıklı bir kap (bomba kalorimetresi kabı) içerisinde hammadde saf oksijen ortamında yakılır.
- ✓ Açığa çıkan ısı, kabın çevresindeki suyu ısıtır.



- ✓ Su sıcaklığının değişiminin ölçülmesi ve hesaplama yönteminde belirtilen formüllerin kullanımıyla ürünün yanma ısı/enerjisi belirlenir.

Bir yakıtın yanması sırasında oluşan su, buhar haline geçmiş ise verdiği ısı **alt ısı değer**, oluşan su, sıvı halde kalmış ise verdiği ısı **üst ısı değer** olarak tanımlanır. Bu iki değer arasında, *yoğunlaşma entalpisi* kadar fark vardır. Kalorimetrede yakma işleminin oda sıcaklığında yapılması nedeniyle oluşan su yoğunlaşır. Bu durumda, kalorimetrede hesaplanan ısı değer suyun yoğunlaşma ısını da içereceği için belirlenen ısı değer aslında yakıtın “üst ısı değeri” ne karşılık gelir [2]. Alt ısı değerinin hesaplanma yöntemi ise aşağıda verilmiştir.

2.2. Kalorifik Değer Hesabı

2.2.1. Hammaddenin Üst Isıl Değerinin Hesabı

Bomba kalorimetresinin çalışma prensibini doğru anlayabilmek için termodinamiksel analiz yapılması gereklidir [3]. Bunun için öncelikle; kalorimetre sisteminin adyabatik olduğu (evrenle ısı alışverişinin olmadığı) kabul edilir:

$$q_{\text{kalorimetre}} = 0 \quad (1)$$

Kalorimetre kabında yanma işlemi sabit hacimde gerçekleşir ve iş yoktur dolayısıyla;

$$w_{\text{kalorimetre}} = - \int p dV = 0 \quad (2)$$

Böylece, iç enerji değişiminin sıfır olduğu görülür.

$$\Delta U_{\text{kalorimetre}} = q_{\text{kalorimetre}} + w_{\text{kalorimetre}} = 0 \quad (3)$$

İç enerji de kalorimetrenin sistem ve çevre enerjileri toplamına eşittir:

$$\Delta U_{\text{kalorimetre}} = \Delta U_{\text{kalorimetre sistem}} + \Delta U_{\text{kalorimetre çevre}} = 0 \quad (4)$$

Bu formülde, $\Delta U_{\text{kalorimetre sistem}}$ enerji üretenlere, $\Delta U_{\text{kalorimetre çevre}}$; enerjiyi alanlara (absorblayan) karşılık gelmektedir.

Enerji hesapları yaparken entalpi dikkate alınmalıdır. Sonuçta, entalpi bir malzemenin yapısında depoladığı her tür enerjinin toplamıdır.

Entalpi ile iç enerji arasındaki ilişki ise

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(pV) \quad (5)$$

eşitliği ile tanımlanabilir. Yoğuşan maddelerden dolayı çok küçük bir genişleme işi olduğu varsayılsa bile katı ve sıvılar için " $\Delta(pV) \approx 0$ " olduğu kabul edilir. Bu deney kapsamında da entalpi değeri ile iç enerji değerinin birbirine eşit olduğu kabul edilmektedir. Bu nedenle, Eşitlik (5), Eşitlik (6)'ya dönüşür.

$$\Delta H = \Delta U \quad (6)$$

Ayrıca, karıştırıcının dönmesi sonucunda bir sıcaklık artışı olmaktadır. Eşitlik (4)'ten yararlanarak;

$$\Delta U_{\text{k calorimetre sistem}} = - \Delta U_{\text{k calorimetre çevre}} \quad (7)$$

eşitliği yazılabilir. Burada,

$\Delta U_{\text{k calorimetre sistem}}$: analiz edilecek hammaddenin yanmasıyla gelen enerji,

$Q_{\text{reaksiyon}}$: alevlenme telinin yanma enerjisi ($H_o * m$),

pamuk/iplikçik yanma enerjisi: ekstra yanmaya yardımcı olan malzemenin yanma enerjisi,

Q_{ext} : Dış enerjilerin toplamı olup bunlar; sülfürik asit/nitrik asit çözelti oluşum ısısı, yanma telinin verdiği ısı, yanmayı kolayca sağlamak amacıyla kullanılan ipliğin verdiği ısı ve yanmanın zor olduğu durumlarda kullanılan yardımcı malzemelerin verdiği ısıdır.

$\Delta U_{\text{k calorimetre çevre}}$: cihazın absorbladığı enerji (Q_{cihaz}) ve suyun absorbladığı enerji (Q_{su}) arasındaki farktır.

- H_o** : Analiz edilen ürünün gram başına verdiği yanma üst ısı değeri
- m_{analiz}** : Krozeye konulan ve analiz edilen maddenin kütlesi (*gram*)
- m_{su}** : Cihaza konulan suyun kütlesi (*gram*)
- c** : Suyun öz ısısı (*Joule.gram⁻¹.Celcius⁻¹*) olup *Joule* cinsinden hesap yapıldığı için **4.18 J/g.°C** olarak alınır.
- ΔT** : Yanma işlemi sonrasında bomba kalorimetresinin çevresindeki suyun sıcaklığındaki değişim (*°C*) olup cihaz tarafından ölçülmekte ve doğrudan cihaz ekranında görülebilmektedir
- C** : Cihazın ısı sığası (*J.°C⁻¹*) olup Hesaplanma yöntemi, “2.2.3. Cihazın I Kapasitesi Hesabı” kısmında anlatılmıştır.

2.2.2. Malzemenin Alt Isı Değerinin Hesabı

$$H_u = H_o - 5.85 * (9 * H + K) \quad (8)$$

H_u : Analiz edilen ürünün gram başına verdiği yanma alt ısı değeri (*Joule * gram⁻¹*)

H_o : Analiz edilen ürünün gram başına verdiği yanma üst ısı değeri (*Joule * gram⁻¹*)

H : Analiz edilen üründe ağırlıkça % hidrojen miktarı

K : Analiz edilen üründe ağırlıkça % nem miktarı [5,6]

2.2.3. Cihazın Isı Kapasitesinin Hesabı

İlk önce kalorimetre sisteminin “Isı Kapasitesi (C)” değeri hesaplanmalıdır çünkü bu değer her kalorimetre cihazına göre farklılık gösterir. Bunu hesaplayabilmek için standart maddelerle **kalibrasyon** yapılması gerekir.

Hatırlatma: Standart maddeden kasıt aynı özelliklere sahip ve “*H_o*” değerleri tam/net bilinen maddelerdir ve bu maddeleri kullanılıp kalibrasyon yapılmasındaki amaç; cihazın ısı kapasitesini hesaplamaktır.

C : Cihazın (kalorimetrenin) ısı sığası ($Joule * Celcius^{-1}$)

Ho: Standart maddenin (Benzoik asidin) yanma üst ısı değeri ($Joule * gram^{-1}$) olup laboratuvarında kullanılan benzoik asit tabletleri için $26461 Joule * gram^{-1}$ 'dir.

****Hatırlatma:** Cihazın ısı sığası $1840.98 J/Celcius^{-1}$ olarak bulunmuştur.

2.3. Bomba Kalorimetresi Güvenlik Önlemleri

Bomba kalorimetresinde yüksek basınçlı saf oksijen kullanıldığından, ayrıca yakma işlemi olduğundan ve çoğu zamanda yakıt analizleri yapıldığından tehlike bir cihazdır. Yaralanmalara hatta ölümlere bile yol açabilir. Dolayısıyla bomba kalorimetresi çalıştırılmadan önce bazı güvenlik önlemlerini bilmek ve almak şarttır. Örneğin;

- ✓ Bomba kabının basınca dayanıklı bir kap olması gerekir. Laboratuvardaki deneyde başlangıçta bomba kabı oksijen basılmış hayliyle en fazla basınç 40 bar, çalışır durumda da en fazla 230 bar olmalıdır. Yani en başta oksijen basılırken asla 40 bar'dan fazla basılmaz ve çalışma anında basınç 230 bar'ı geçerse hemen tahliye sistemini açılır. Ayrıca tahliye sistemi de herhangi bir deney yapmadan önce içine oksijen basılmış basınçlı bir bomba kalorimetresi ile çalışıp çalışmadığı test edilmelidir.
- ✓ Bazı maddeler patlama eğilimindedir (örneğin; peroksit oluşumundan dolayı) ve bunlar standart bomba kaplarına (bizim laboratuvarında deney için kullanılan) zarar verebilir. Bu tarz patlayıcı ya da patlayıcı maddeler açığa çıkaran ürünler analiz ediliyorsa; özel tasarımı bomba kapları kullanılmalıdır. Yani her bomba kabıyla her madde analiz edilemiyor. Yüksek riskli maddeler için yüksek güvenli kaplar lazım.
- ✓ Eğer analiz edilecek maddenin patlama özelliği bilinmiyorsa analizin yapıldığı odadan ya da kalorimetre cihazının yakınından uzak durulmalıdır.
- ✓ Bomba kalorimetrelerinde kalibrasyon için kullanılan popüler kimyasallardan olan benzoik asidin sıkıştırılmış hali yanmaktadır. Dolayısıyla benzoik asit ile kalibrasyon yapılacakken önce benzoik asidi biraz sıkıştırmak/baskılamak gerekir. Aynı şekilde yanıcı tozları, pudraları da biraz sıkıştırmak/baskılamak gerekir.
- ✓ Bazı kuru ürünler (örneğin ince tahta çubuklar, saman vb.) yandığından patlayabilir (şiddetli bir patlama değil ama yakma sırasında kroze dışına çıkıp hepsi yanmayabiliyor), Bu gibi durumlarda bu tarz materyalleri daima biraz nemli/ıslak bir şekilde kroze koymak lazım. Tam yanma söz konusu değilse (üründen de kaynaklanabilir, pamuk iplikten de) deney tekrar edilmelidir.
- ✓ Düşük basınç altında yüksek yanıcı sıvılara (Örneğin; tetrametil dihidrojen disiloksan) pamuk iplik direk temas ettirilmez.
- ✓ Gaz, kül vb. toksik yanma artıkları bomba kabının iç duvarında kalabilir. Temizlik yapılırken dikkatli olunmalıdır. (Örneğin; yanma ürünü sonucunda toksik bir gaz oluştuğu biliniyorsa gaz tahliye işlemi bir çeker ocakta yapılabilir).
- ✓ Özetle; analiz ettiğimiz maddenin:
 - Korozyif
 - Yüksek yanıcı
 - Patlayıcı



- Toksik
- Bakteriyel kirletici

Olup olmadığının bilinmesi laboratuvarında çalışanlara minimum zarar gelmesi ve cihazın kullanım ömrünün uzun olması için çok önemlidir.

- ✓ Analiz edilen ürün çok uçucu olabilir ya da yüksek mineral oranına sahip ve dolayısıyla yanması zor, düşük kalori değerlerine sahip olabilir; bunlar için özel tasarımı kapsüller/yanma çantaları bulunmaktadır. Bunlara ulaşmak için cihaz firmalarıyla iletişime geçilebilir. Mümkünse analiz edilen ürün hakkında fikir sahibi olmaya çalışılmalıdır.
- ✓ Sıkıştırılmış oksijen yoğun bir şekilde yanmaya yardım eder ve yanıcı malzemelerle şiddetli bir şekilde reaksiyon verebilir (Örneğin saf oksijenli ortam analizlerinde makine yağı kullanılmamalıdır).
- ✓ Kroze her analizden sonra incelenmelidir (zarar görüp görmediğine, inceliyor incelmediğine). Güvenlik sebebiyle kroze 25 analizden fazla kullanılmamalıdır.
- ✓ Ara ara teknik uzmanlar tarafından cihazı basınç testi, sızıntı testleri gibi testler yaptırılmalıdır. Bu testlerin/kontrollerin sıklığı test edilen maddelere, analizlerin şartlarına (basınç, sıcaklık vb.) göre uzmanlar tarafından belirlenir.
- ✓ Oksijeni dekompozisyon tankına basmak için uygun ekipman kalorimetreye en az 1.5 m uzaklıkta olmalıdır.
- ✓ Uygun maddelerle krozenin ve kalori kabının temizlenmesi gerekir. İyi temizlenmeyen parçalar ısı kapasitesini değiştirebileceği için sonuçları saptırır. Örneğin boyaların yanma ısılarını inceliyorsak; temizlik izopropil alkol ile yapılmalıdır. Yakıt analizi yapıyorsak deterjan yeterli bir temizlik aracıdır.

3. Deneysel Çalışma

Amaç

- ✓ Gaz yağı (kerosen), dizel (motorin), 95 oktan kurşunsuz benzinin (gasoline) (içlerinden seçilecek birinin analizi yapılacaktır) bomba kalorimetresi ile yanma ısısını hesaplamak.

3.1. Gerekli Aletler ve Kimyasal Maddeler:

- ✓ Bomba kalorimetresi Yüksek basınca dayanıklı dekompozisyon tankı
- ✓ 99% saflıkta oksijen
- ✓ Oksijeni dekompozisyon tankına basmak için uygun ekipman Oksijen Regulatorü
- ✓ Gaz yağı
- ✓ Dizel
- ✓ 95 oktan kurşunsuz benzin
- ✓ Kroze
- ✓ Yakma işlemi için tel
- ✓ Yakma adaptörü
- ✓ Manyetik karıştırıcı
- ✓ Pamuk iplik (ya da pamuk)
- ✓ 2 litrelik ölçüm kabı (ya da uygun bir dereceli silindir)
- ✓ Plastik tahliye hortumları ve elektrik kabloları

3.2. Deneyin Yapılışı

- Krozenin içine yaklaşık 0.3 gram örnek konur.
- İçinde analizi yapılacak yakıt bulunan kroze bomba kalorimetresi içine yerleştirilir.
- Pamuk iplik krozenin içine degecek uygun bir şekilde yerleştirilir.
- Bomba kalorimetresi sıkıca kapatılır.
- Büyük oksijen tüpü ve regülatörü kontrol edilir. Bağlantıların tam olduğundan emin olunur.
- Oksijeni dekompozisyon tankına basmak için uygun ekipmanla bomba kalorimetresine oksijen basılır. Ne kadar basınçta oksijenin bomba kalorimetresinin içinde olduğu göstergeden görülmektedir. Laboratuvardaki deneyde 30 bar kadar oksijen basılır. Buda yaklaşık 30 saniye kadar bir sürede olur.
- Oksijen basma işlemi bitince yanma adaptörü bomba kalorimetresinin tepesine takılır.
- Bomba kalorimetresi cihaza konur.
- Bomba kabının bulunduğu bölmeye değil, yanındaki su tankına 2 litre kadar su konur.
- Cihazda gerekli elektronik işlemler asistan tarafından ayarlanır, suyun içindeki karıştırıcıdan kaynaklanan sıcaklık artışının sabitlenmesi için 3 dakika kadar beklenir ve 3 dakika sonunda yakma işlemi olur. 8. dakikada ekrandan sıcaklık değişimi ölçülür.

4. Sorular

1. Bomba kalorimetresi dışındaki kalorimetre tiplerini çalışma prensipleriyle detaylıca anlatınız.
2. Bomba kalorimetresinin kullanım/uygulama alanlarını detaylıca (**makale ve kitaplardan örnekler ile**) anlatınız.
3. Bir yakıtın içindeki nem ve hidrojen miktarı deneysel olarak, hangi cihazlarla nasıl bulunur?

Kaynaklar

1. http://wps.prenhall.com/wps/media/objects/602/616516/Media_Assets/Chapter08/Text_Images/FG_08_09.JPG, [Erişim: 15.09.2017].
2. Ankara Üniversitesi, Ders Kodu KYM453, Kimya Mühendisliği Lab. II Föyü, Kalorimetre, 2012-2013.
3. Çengel YA, Bowles NA (1994) Thermodynamics and engineering approach. 2nd edn., McGraw Hill, New York.
4. IKA Calorimeter System C 200, Operating Instructions (20000008742, C200_012016).
5. IFRF Online Combustion Handbook, ISSN 1607-9116, Gerry Hesselman
6. Combustion Engineering and Fuel Technology, Oxford & IBH Publishing Company - A.K.Shaha, Fuels and Combustion.
7. Pedersen J.R., Ingerarson A., Olsson J. (1999), Oxidation of Rapeseed Methly Ester (RME) and Diesel Fuel Studied with GC/MS, *Chemosphere*, 38, 11, 2467-24



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

6.GAZ ve SIVI DİFÜZYON KATSAYILARININ BELİRLENMESİ

1. Amaç

Çalışmanın amacı gaz ve sıvı difüzyonunun incelenerek ve gaz ve sıvı katsayılarının belirlenmesidir.

Öğrenme çıktıları

- ✓ Gaz difüzyon katsayısının ne olduğunu ve nasıl hesaplanacağını bilir.
- ✓ Sıvı difüzyon katsayısının ne olduğunu ve nasıl hesaplanacağını bilir.
- ✓ Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar,
- ✓ Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.

2. Genel Bilgiler

Katı fiziksel ve kimyasal süreçlerde kullanılan maddelerin özellikleri büyük önem taşır. Proses mühendisliğinde genellikle akışkanların taşınması ve dağıtılması işlemleri ağırlıklı olarak çalışılır. Bu nedenle proses tasarımlarında ve kimya mühendisliği uygulamalarında kullanılan akışkanların özelliklerinin bilinmesi gerekir. Akışkanlar için en önemli özelliklerden biri difüzyon katsayısıdır. Akışkanlar mekaniği ve kütle transferi işlemlerinde difüzyon katsayısının bilinmesi tasarımlarında kolaylık sağlar. Bu deney düzeneğinde ise sıvı çözeltilerin sıvı içinde ve gazların durgun gaz içinde difüzyonu incelenecektir. Bu amaçla aşağıda kısaca verilen bilgilere gereksinim vardır. Durgun bir akışkan içinde konsantrasyon farkı ile kütle transferinin olması difüzyon olayı ile açıklanabilir. Suyla dolu bir bardağa mürekkep damlatıldığında, mürekkebin mavi renginin yavaş yavaş tüm suya dağıldığı ve sonunda üniform bir karışım elde edildiği bilinen bir gerçektir. Benzer bir davranışı gazlar için de gözlemlemek mümkündür. Bu tip örneklerle gözlemlenen difüzyon, kinetik teoriye göre moleküllerin termal enerjileri nedeniyle yaptıkları hareketin bir sonucudur (*Geankoplis, 1993*).

Kütle transferi yüksek konsantrasyon noktasından düşük konsantrasyon noktasına doğru olur. Konsantrasyon kütle veya molar birimlerle ifade edilebilir. Kütle akı; birim zamanda birim alandan geçen kütle miktarını ($\text{kg/m}^2\text{s}$) ve molar akı da birim zamanda birim alandan geçen mol miktarını ($\text{mol/m}^2\text{s}$) ifade eder (*McCabe ve ark., 1993*).

Kütle transferinde, bir maddenin difüzyonla olan transfer akısının o maddenin konsantrasyon gradyanı ile orantılı olduğu ve bu orantı katsayısının difüzyon katsayısı olduğu ifade edilir. Bu Fick'in 1. Difüzyon Yasası ile açıklanır. İki bileşenli sistemler için A'nın B içindeki difüzyon katsayısı D_{AB} olarak gösterilirse, A bileşeni için Fick'in 1. Yasası şu şekilde ifade edilir: (*Geankoplis, 1983*).

$$J_A = -cD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial y} \quad (1)$$

Burada J_A , A bileşeninin y yönünde dik açıyla birim alanda sahip olduğu difüzyon akısı; c konsantrasyon ve dx_A/dy ise y yönünde mol kesri gradyanıdır. J için mol/s.cm^2 ; C için mol/cm^3 , t için saniye birimleri kullanılırsa, difüzyon katsayısının cm^2/s biriminde olması gerektiği bulunur. Eşitlikteki “-” işareti kütle transferinin azalan konsantrasyon yönünde olduğunu gösterir (*Geankoplis, 1993*).

i bileşenli bir karışım için J_i ve N_i arasındaki ilişki aşağıdaki gibi gösterilebilir:



$$\left(\begin{array}{c} \text{"i" bileşenin sabit} \\ \text{referans sistemine} \\ \text{göre molar akısı} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{c} \text{yığın akış içindeki} \\ \text{"i" bileşenin akısı} \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{"i" bileşenin} \\ \text{molar ortalama} \\ \text{hıza göre} \\ \text{difüzyon akısı} \end{array} \right)$$

$$N_i = x_i \sum_{j=1}^n N_j + J_i^* \quad (2)$$

Bu sonuçtan yararlanarak A bileşenin sabit referans sistemine göre akısı, molar birimler kullanılarak düzenlenebilir.

$$N_A = (N_A + N_B)x_A - cD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial y} \quad (3)$$

1.1. Gazlar için Difüzyon Katsayısı

İki bileşenli gazlar için deneysel olarak bulunmuş difüzyon katsayılarına literatür taraması yapılarak ulaşmak mümkündür. Ayrıca düşük yoğunluklu gazlar için difüzyon katsayısı gazların kinetik teorisinden yararlanılarak oluşturulmuş empirik eşitlikler yardımıyla da bulunabilir. Chapman-Enskog teorisi en bilinen ve en yaygın kullanılanıdır (Uysal, 1996).

1.2. Sıvılar için Difüzyon Katsayısı

Sıvı çözeltilerin pek çoğu için deneysel difüzyon katsayıları çeşitli kaynaklardan bulunabilir. Sıvılarda difüzyon katsayılarının hesaplanmasında teorik modeller pek başarılı değildir. Bu yüzden literatürde çok sayıda ampirik korelasyonlar önerilmiştir. Bunlardan en uygun olanı Wilke-Chang denklemidir (Geankoplis, 1983).

2. Deneysel Çalışma

Amaçlar

- Gaz difüzyon katsayısının deneysel olarak belirlenmesi.
- Sıvı difüzyon katsayısının deneysel olarak belirlenmesi.

2.1. Deneyin Yapılışı

2.1.1. Deney A: Gaz Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi

Uçucu bir sıvının buharının hava içindeki difüzyon katsayısı Winklemann yöntemi adıyla bilinen deneysel düzenele belirlenebilir. Bu yöntemde uçucu sıvı dik konumda kapiler bir tüp içine koyulur ve sabit sıcaklıkta tutulur. Kapiler tüpün üzerinden hava akımı geçirilir. Şekil 3.1'de kullanılan deney düzeneği görülmektedir. Şekil 3.2'de ise deney düzeneğinin şeması verilmiştir. Deney düzeneği iki ana bölümden oluşur. Birincisi saydam akrilikten sabit sıcaklık su banyosunu, ikincisi ise hava pompasını içerir. Su banyosundaki su ısıtma elemanı ile ısıtılır ve aç/kapa sıcaklık denetleyicisi ile çalışır. Su banyosunda sıcaklık 60 °C'nin üzerine çıkmamalıdır ve denetleyicide sıcaklık 50 °C'den yüksek değerlere set edilmemelidir. Ayrıca bir termometre ile de sıcaklık ölçülebilir. Sistem içerdeki su seviyesi yeterli olmadığında ısıtmayı durduracak bir kontrolöre sahiptir. Banyonun üstünde difüzyon deneyleri

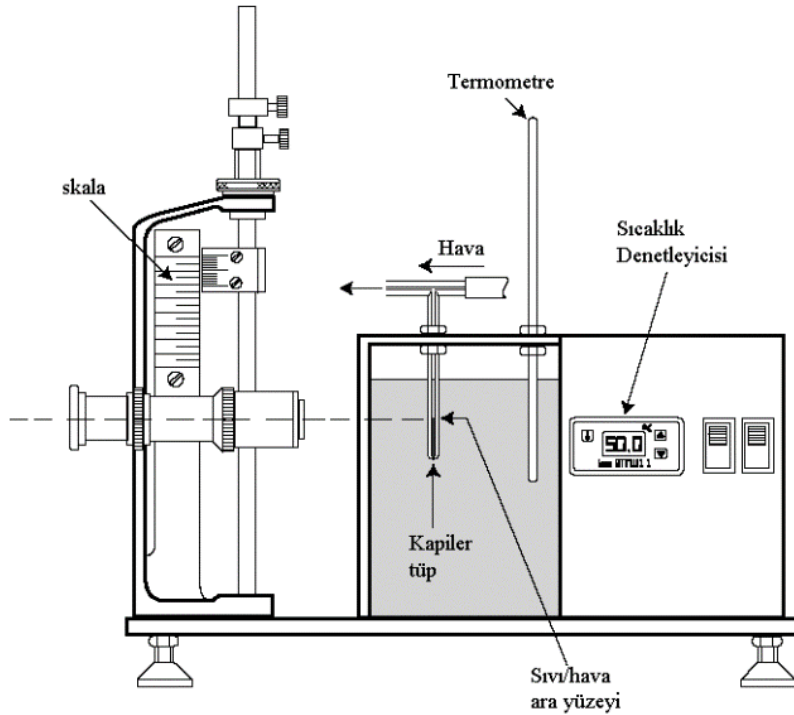
için kullanılacak kapiler tüp yerleştirilmiştir. Bir hortumla kapiler tüp hava pompasına bağlıdır.

Hava pompası açma/kapama düğmesiyle açılıp kapanabilir. Hoffman klip ile havanın üzerinden akış hızı ayarlanır. Kapiler tüpteki sıvının yüksekliği hareket edebilen mikroskopta görülür.

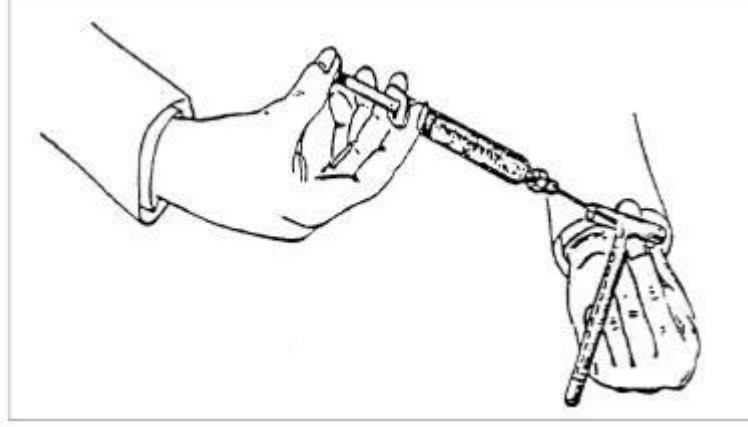
Üst kapaktan "T kapiler tüp" çıkartılıp kılcal boru üstünde bulunan tapa çıkartılarak belirli bir derinliğe kadar damlalık veya şırınga yardımıyla içinde hava kabarcığı oluşmayacak şekilde aseton ile doldurulur. (Şekil 3.3' de bu işlem şematize edilmiş olup, T kapiler borudaki her bir çizgi 1 mL'yi ifade etmektedir.)



Şekil 3.1. Gaz difüzyon katsayısı belirleme deney düzeneği.



Şekil 3.2. Gaz difüzyon katsayısı belirleme deney düzeneği şeması.



Şekil 3.3. Kapiler tüpün doldurulması.

- Doldurulan kapiler tüp dikkatlice su banyosunun kapağındaki yerine yerleştirilir.
- Kapiler tüpteki sıvı seviyesi (menisküs) net bir şekilde görülene kadar mikroskobun yüksekliği ve/veya yakınlığı ayarlanır. Mikroskobun özelliği gereği menisküsün tam tersi şekilde görüleceğinin unutulmaması gerekir.
- Menisküs net bir şekilde görüldüğünde mikroskobun yeri sabitlenir ve hava pompası çalıştırılır. Hava pompası üzerinde bulunan anahtar yardımı ile hava akış hızı ayarlanır.
- Kapiler tüpteki sıvı seviyesi kaydedilir.
- Su banyosu açılır ve sıcaklık 40 °C'ye ayarlanır. Sabit sıcaklığa gelene kadar beklenir.
- 60 dakika sonra su banyosu kapatılarak kapiler tüp içindeki aseton seviyesi kaydedilir. Su banyosunun kapatılmasının nedeni oluşabilecek hava kabarcıklarının yapılmasını engelleyebilecek olmasıdır.
- Su banyosu tekrar açılarak 60 dakikada bir seviye okumaları tekrarlanır.
- Okunan değerler aşağıdaki veri tablosuna kaydedilir.

Zaman (s)	Sıvı seviyesi (L-Lo) (mm)

2.1.2. Deney B: Sıvı Difüzyon Katsayısının Belirlenmesi

Şekil 3.4'de sıvılarda difüzyon katsayısının hesaplanması amacıyla kullanılacak deney düzeneği görülmektedir. Düzenek kabaca dört kısımdan oluşmaktadır;

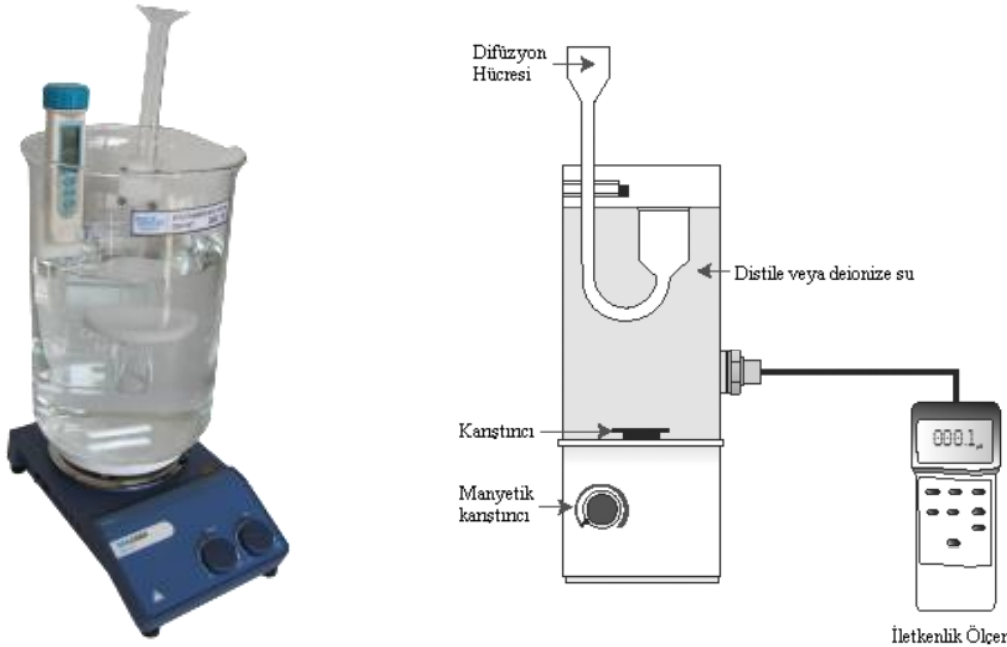
- i) Manyetik karıştırıcı,
- ii) Karıştırma kabı,
- iii) Difüzyon hücresi,
- iv) İletkenlik ölçer.

Difüzyon hücresine doldurulan molaritesi bilinen tuz çözeltisinin karışma kabında bulunan 5 L saf su içinde difüzyonu zamana karşı su içindeki iletkenliğin ölçülmesiyle belirlenir.

- 2 M NaCl çözeltisi hazırlanır.
- Difüzyon hücresi hazırlanan çözelti ile tamamen, hava kabarcığı kalmayacak şekilde doldurulur. Dışarı taşan kısımları kaba süzgeç kâğıdı ile silinir.

- Difüzyon hücresi, karıştırma kabı içinde deneyde kullanılacak su miktarı dikkate alınarak kabın tabanına paralel olacak şekilde yerleştirilir.
- Daha sonra karıştırma kabı 5 L saf su ile kapilerin 20-25 mm üzerine gelecek kadar doldurulur.
- İletkenlik ölçer karışma kabının alt kısmında bulunan uçlar yardımı ile iletkenlik değerlerini ölçer. Su ile doldurulduktan sonra iletkenlik ölçer açılır.
- Manyetik karıştırıcı iyi bir karıştırma yapacak şekilde ayarlanır.
- 60 saniyede bir iletkenlik değerleri okunarak aşağıdaki veri sayfasına kaydedilir.

Zaman (Saniye)	İletkenlik



Şekil 3.4. Sıvılarda difüzyon katsayısı belirlenmesi deney düzeneği.

3.2. Hesaplamalar

3.2.1. Gazların Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Gazların difüzyon katsayısı Winklemann yöntemiyle belirlenebilir. Kütle transfer hızı şu şekilde verildiğinde;

$$N_A = D \left(\frac{C_A}{L} \right) \left(\frac{C_T}{C_{BM}} \right) \quad (4)$$

D: Difüzyon katsayısı (m^2/s)

C_A : Ara yüzeyde doymuş konsantrasyon ($kmol/m^3$)

L: Kütle transferinin gerçekleştiği mesafe (mm)

C_{BM} : Buharın moleküler konsantrasyonunun logaritmik ortalaması ($kmol/m^3$)

C_T : Toplam molar konsantrasyon: $C_A + C_{BM}$ ($kmol/m^3$)

Sıvının buharlaştığı düşünülürse:

$$N_A = \left(\frac{\rho_L}{M}\right) \frac{dL}{dt} \quad (5)$$

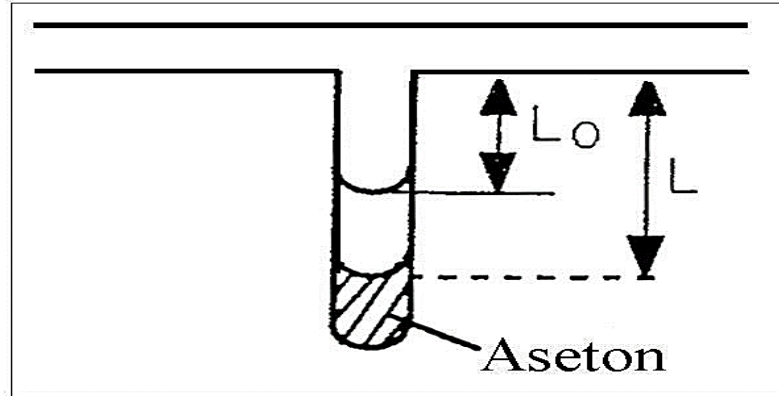
Burada, ρ_L sıvının yoğunluğu, M sıvının mol kütlesi, t ise saniye biriminde ki zamandır. 4 ve 5 numaralı eşitlikler birleştirilirse,

$$D \left(\frac{C_A}{L}\right) \left(\frac{C_T}{C_{BM}}\right) = \left(\frac{\rho_L}{M}\right) \frac{dL}{dt} \quad (6)$$

elde edilir. Eşitlik 6'da integral çözülür ve $t=0$ olduğunda $L=L_0$ olduğu sınır koşulu yerine koyulursa;

$$L^2 - L_0^2 = \left(\frac{2MD}{\rho_L}\right) \left(\frac{C_A C_T}{C_{BM}}\right) t \quad (7)$$

eşitliğine ulaşılır. L ve L_0 değerlerinin doğrudan okunmadığı ancak $L-L_0$ değerinin mikroskopun skalasından okunabildiği unutulmamalıdır (Şekil 3.5). Bu nedenle Eşitlik (7) daha kullanışlı hale getirilebilir.



Şekil 3.5. Kapiler tüp içindeki sıvı seviyesi.

$$(L - L_0)(L - L_0 + 2L_0) = \left(\frac{2MD}{\rho_L}\right) \left(\frac{C_A C_T}{C_{BM}}\right) t \quad (8)$$

veya

$$\frac{t}{(L-L_0)} = \left(\frac{\rho_L}{2MD}\right) \left(\frac{C_{BM}}{C_A C_T}\right) (L - L_0) + \left(\frac{\rho_L C_{BM}}{MDC_A C_T}\right) L_0 \quad (9)$$

Bu durumda $(t/L-L_0)$ 'a karşı $(L-L_0)$ grafiği çizildiğinde y eksenini belli bir noktadan kesen eğimi "s" olan bir doğru elde edilir.

$$s = \frac{(\rho_L C_{BM})}{(2MDC_A C_T)} \text{ veya } D = \frac{(\rho_L C_{BM})}{s(2MC_A C_T)} \quad (10)$$

olarak bulunur. Burada;

$$C_T = \left(\frac{1}{K \text{ molhacim}}\right) \left(\frac{T_{mutlak}}{T_a}\right) \quad (11)$$



Kmol hacim=22.414 m³/kmol

$$C_{B1} = C_T \quad (12)$$

$$C_{B2} = \left(\frac{P_a - P_v}{P_a} \right) C_T \quad (13)$$

$$C_{BM} = \frac{(C_{B1} - C_{B2})}{\ln \left(\frac{C_{B1}}{C_{B2}} \right)} \quad (14)$$

$$C_A = \left(\frac{P_v}{P_a} \right) C_T \quad (15)$$

Bu eşitlikler yardımıyla (t/L-L₀)'a karşı (L-L₀) grafiği çizilerek doğrunun eğimi bulunur ve difüzyon katsayısı hesaplanır.

Asetonun buhar basıncının sıcaklıkla değiştiği unutulmamalıdır. 313 K'de (40 °C) asetonun buhar basıncı P_v = 56 kN/m² dir. Eğer deneyler farklı bir sıcaklıkta yapılırsa, yeni sıcaklık için uygun buhar basıncı literatürden bulunmalıdır. Asetonun yoğunluğu 790 kg/m³ ve mol kütlesi ise 58,08 kg/kmol'dür.

Bu verileri kullanarak asetonun hava içinde difüzyonu için difüzyon katsayısını bulunuz. Bu değeri literatürden bulduğunuz asetonun hava içerisindeki difüzyon katsayısı ile karşılaştırınız.

3.2.2. Sıvı Difüzyon Katsayısının Hesaplanması

Deneyde kullanılacak düzenek 2 M NaCl çözeltisinin su içindeki difüzyon katsayısının belirlenmesine yönelik olarak hazırlanmıştır. Fick'in 1. yasasından yola çıkarak deney düzeneğine uygun eşitlikler türetilir. Deney düzeneğinde 5 mm boyunda ve 1 mm çapında dik kapiler ile difüzyonun tek bir yönde gerçekleştirilmesi sağlanır. Kapilerin en alt kısımlarında konsantrasyon değerinin deney süresince sabit olduğu ve kapilerin en üst noktasındaki konsantrasyon değerinin sıfır olduğu varsayımları yapılabilir. Bu varsayımlar ve bilgiler doğrultusunda eşitlik 1'de verilen Fick Yasası aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\frac{V}{C_M} \frac{dk}{dt} = D \frac{\pi d^2}{4} N \frac{M}{x} \quad (16)$$

Bu eşitlikte:

V: Karıştırma kabındaki su miktarı (5L)

x: Kapilerlerin boyu (0,5cm)

d: Kapilerlerin çapı (0,1cm)

N: Kapilerlerin sayısı (250 adet)

M: Tuz çözeltisinin molaritesi (mol/L)

C_M: Birim molarite değişimi başına elektrik iletkenlik değişimi (seyreltik çözeltiler için) (Ω⁻¹M⁻¹)

Deneyde kullanılan 2M NaCl çözeltisi için bu değer 0,41 olarak alınabilir. Farklı bir tuz kullanıldığı zaman kalibrasyon yapılarak yeni bir C_M değerinin belirlenmesi gerekir.

k: İletkenlik (Ω⁻¹)



Eşitlik 16'nın çözümü ve deneysel verilerle çizilen iletkenlik-zaman grafiği ile tuz çözeltisinin su içindeki difüzyon katsayısı hesaplanabilir.

3. Sorular

1. Eşitlik 3.3'den eşitlik 3.6'nın elde edilmesindeki ara basamakları gösteriniz.
2. 3.1.1. kısmında vurgulanmış olan su banyosunda denetleyici sıcaklığının 50°C'den yüksek değer ayarlanmamasının nedeni nedir?
3. Gaz difüzyon deney sistemi ile metanol, etanol veya su gibi diğer maddelerin de difüzyon katsayıları belirlenebilir mi?
4. Kütle transferinin düşük konsantrasyondan yüksek konsantrasyona olması mümkün müdür? Açıklayınız. Eğer mümkünse bir örnek veriniz.
5. Fick Yasası'ndan yararlanarak iki bileşenli sistemler için D_{AB} ve D_{BA} arasındaki ilişkiyi çıkarınız.
6. Chapman-Enskog teorisi hakkında bilgi veriniz.
7. Wilke-Chang teorisi hakkında bilgi veriniz.
8. Sıvılarda çözelti konsantrasyonunun difüzyon hızına etkisini anlatınız.

Kaynaklar

1. Geankoplis, C.J.,1983, Transport processes–momentum, heat, Allyn and Bacon, Boston. Geankoplis, C.J., 1983, Transport processes and unit operations, 2nd ed., Allyn and Bacon,Boston.
2. Bird, R.B., Stewart, W.E., Lightfoot, E.N., “Transport Phenomena”, Wiley, 2nd Edition, 2007.
3. Geankoplis, C.J., 1993, Transport processes and unit operations, 3rd ed., Prentice-Hall International.
4. Sherwood, T.K., Pigford, R.L., Wilke, C.R, “ Mass Transfer”, McGraw Hill Kogakusha, 1975.
5. McCabe, W.L, Smith, J., Harriot, P., 1993, Unit Operations of Chemical Engineering, McGraw Hill International Editions, Fifth Edition, Singapore.
6. Welty, J.R., Wicks, C.E., Wilson, R.E., Fundamentals of Momentum, Heat and Mass Transfer, John Wiley and Sons, New York, NY (1984).
7. Uysal, B.Z., 1996, Kütle Transferi Esasları ve Uygulamaları, Gazi Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 211, Ankara.



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

7. HAVA AKIŞ

1. Amaç

Akışkan akımının gerçekleştiği silindirik bir kanala mekanik enerji eşitliklerini uygulayarak akışkanın hızının bulunması, ek olarak kanala yerleştirilecek olan orifis plakasına ait orifis sabitinin hesaplanmasıdır.

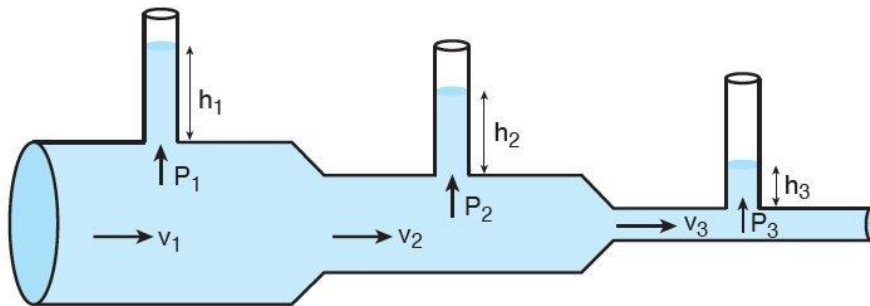
Öğrenme çıktıları;

- ✓ Venturimetre ve orifis metre ile akış ölçümü yapmasını öğrenir,
- ✓ Venturimetre ve orifis metre çalışma prensiplerini bilir,
- ✓ Bir deney sistemini emniyetli bir şekilde kullanır,
- ✓ Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar,
- ✓ Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.

2. Genel Bilgiler

Akışkanlar şekil değiştirmeye karşı direnç göstermeyen maddelerdir. Şekil değiştirmeye yönelik herhangi bir etkiye maruz kaldıklarında yeni bir şekil alana kadar tabakalar halinde birbirlerinin üzerinden kayarak hareket ederler. Belirli sıcaklık ve basınçta akışkanlar belirli bir yoğunluğa sahiptirler. Bütün akışkanların yoğunluğu sıcaklık ve basınçla bağlı olsa da bazı akışkanların yoğunluğu sıcaklık ve basınç değişiminden çok etkilenirken bazı akışkanlar sıcaklık ve basınç değişiminden etkilenmemektedirler. Bu sıcaklık ve basınç değişiminden az etkilenen akışkanlara **sıkıştırılmayan akışkanlar** denir. Sıcaklık ve basınç değişiminden çok etkilenen akışkanlara ise **sıkıştırılabilen akışkanlar** denir. Sıvılar genellikle sıkıştırılmayan gazlar ise sıkıştırılabilen akışkan olarak kabul edilirler.

Deney sisteminde kullanacağımız akışkan **havadır**. Yukarıdaki tanım gereğince akışkanımız sıkıştırılabilen bir akışkandır. Akışkanlarda momentum aktarımıyla gerçekleştirilir. Momentum aktarımında itici güç basınç ya da hız farkıdır. Akışkanın hızını bulmak için Bernoulli denklemi (1) ve süreklilik eşitliği (2) kullanılacaktır. Bernoulli denklemi, momentumun korunum eşitliğinden yola çıkılıp akışkan akışının olduğu sistemler için bazı düzenlemeler yapılarak elde edilen bir eşitliktir. Bu denklem yardımı ile; sistem içinde bulunan belirli noktalarındaki basınçlar, noktasal hızlar, sürtünme kayıpları, yer çekimi kuvveti ve sisteme uygulanan iş arasında bağlantı kurmak mümkündür.



Şekil 1. Akışkanın boru içerisindeki geçişi.

$$\frac{P_a}{\rho} + \frac{V_a^2}{2} + gz_a + \eta W_p = \frac{P_b}{\rho} + \frac{V_b^2}{2} + gz_b + h_f \quad (1)$$

Burada; P_a A noktasındaki basıncı (Pa), V_a A noktasındaki çizgisel hızı (m/s), z_a A noktasının yüksekliğini (m), η sistemde pompa olması durumunda pompanın verimini, W_p pompanın yaptığı işi (J/kg), P_b B noktasındaki basıncı (Pa), V_b B noktasındaki çizgisel hızı (m/s), z_b B noktasının yüksekliğini (m), h_f sürtünme kayıplarını (J/kg), ρ akışkanın yoğunluğunu (kg/m^3) ve g yerçekimi ivmesini (m/s^2) ifade etmektedir.

Sürekli akışta ise akışkan akışında sistemin yatışkın halde olduğu kabul edilir ve kütleli debinin değişmeyeceği sonucuna varılır.

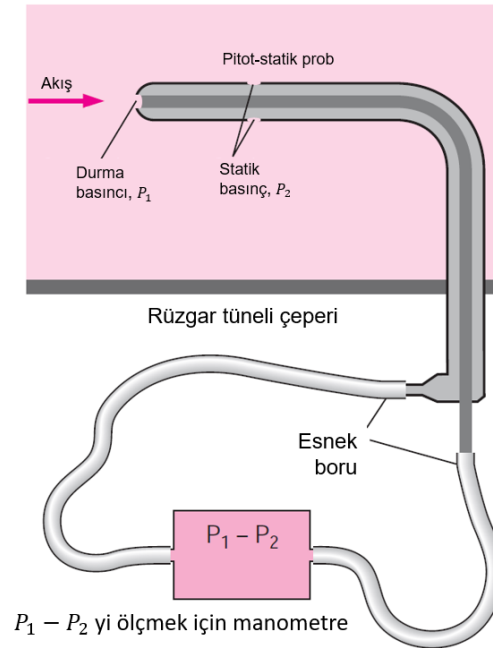
$$\dot{m} = \rho_a \cdot A_a \cdot V_a = \rho_b \cdot A_b \cdot V_b \quad (2)$$

\dot{m} kütleli debiyi (kg/s), A ise borunun kesit alanını (m^2) ifade etmektedir.

Ayrıca sistemin belirli noktalarında ki basınçları ölçmek için manometreden ve noktasal hızı ölçmek için venturimetre ve pitot tüpünden faydalanılacaktır

Pitot Tüpü

Bir boru veya kanal içerisindeki hız ölçümünü bulmak için kullanılan aletlerden birisi de pitot tüpüdür. Pitot-statik tüpü, basınç farkını ölçerek yerel hızı ölçer ve bunu Bernoulli denklemini kullanarak yapar. Bu cihaz akışla aynı hizaya yerleştirilen bir manometreye bağlı ince bir çift tüpten oluşur. İç tüpün burnu, akışa tam açıktır ve dolayısıyla o konumdaki (1.nokta) durma basıncını ölçer. Dış tüpün burnu kapalıdır ancak dış çeperinin (2.nokta) yan yüzeyinde delikler vardır ve dolayısıyla statik basıncı ölçer. Durma şartlarından dolayı $V_1=0$ 'dır. Akış hızı ($V=V_2$) denklem 3 ile elde edilebilir.

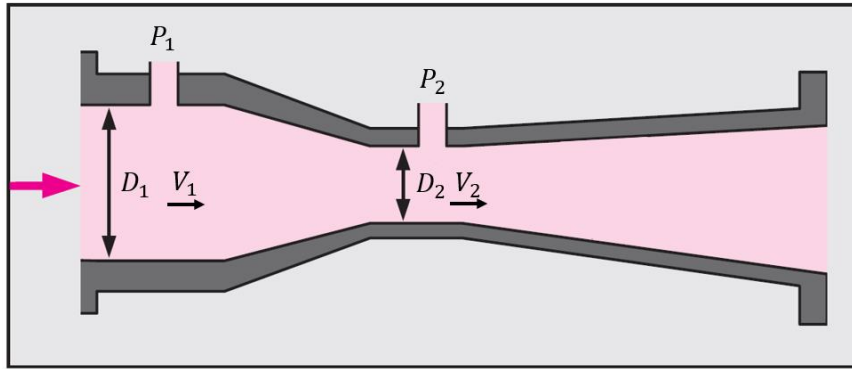


Şekil 2. Pitot Tüpü.

$$V = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \quad (3)$$

Venturimetre

Venturimetre Şekil 3’de görüldüğü gibi, daralan ve genişleyen akış bölgesine sahip olup, boru ve kanallarda akış hızını ölçerek akışın hacimsel debisini belirleyen bir ölçüm cihazıdır. Bu sırada ani daralma ve genişleme sonucu enerji kaybı meydana gelse de venturi eşitliğinin türetilmesi için bu kayıp ihmal edilir ve 1 ve 2 noktaları için Bernoulli eşitliği yazılır ve düzenlenirse hacimsel debi için Denklem 4 elde edilir.

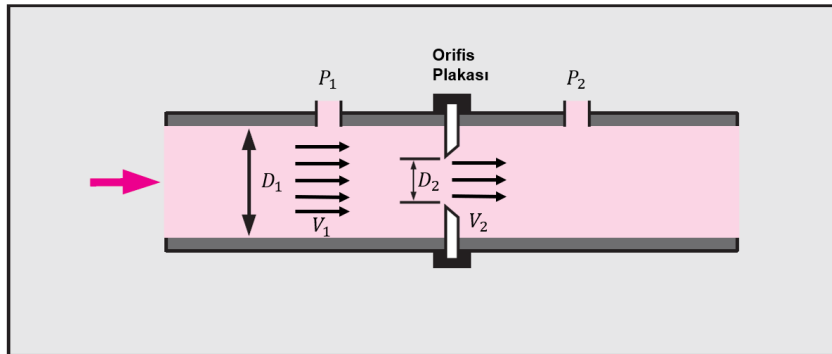


Şekil 3. Venturimetre.

$$\dot{V} = A_2 C_v \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - (\frac{D_2}{D_1})^4)}} \quad (4)$$

Orifis metre

Orifis metreler basınç farkını kullanarak akışın ortalama hızı ölçmek için kullanılan cihazlardır. Venturi ile karşılaştırılırsa orifislerin geometrisi daha basit olup imalatları daha kolaydır ve daha ucuzdurlar. Buna karşılık venturilere göre daha fazla kalıcı basınca neden olurlar. Orifis metreler hesaplama olarak venturimetrelere çok benzerler.



Şekil 4. Orifis metre.

$$\dot{V} = A_2 C_d \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - (\frac{D_2}{D_1})^4)}} \quad (5)$$

3. Deneysel Sistem

Deneysel düzeneği pompa, iris damperi, venturimetre, orifisetre ve basınç düşüşlerinin okunduğu manometreden oluşmaktadır. İris damperi ile akış miktarı ayarlanmaktadır. Basınç farklarını için yükseklikler cm (su) olarak ölçülmektedir. Bu yüzden Pa birimine çevrilmelidir.



Şekil 5. Deneysel Düzeneği.

4. Deneysel Çalışma

4.1. Deneysel Yapılışı

- Akışın sağlanması için pompa çalıştırılır.
- Akış hızı iris damperi yardımıyla ayarlanır.
- Orifisetre ve venturimetrenin bulunduğu yerlerdeki basınç farkları not edilir.
- Deneysel hatayı azaltmak için yükseklikler 3 kez ölçülür.
- İris damperinin konumları değiştirilerek deney 4 kez tekrarlanır.

4.2. Hesaplamalar

Gerekli ölçümler ve hesaplamalar sonucunda Tablo 1 doldurulacaktır.

- Venturimetre ve orifisetredeki basınç ölçerleri kullanarak hacimsel akış debilerini bulunuz.
- Gerçek hız ve dar kesitteki hızları bulunuz.
- Orifisetre için C_d değerini hesaplayınız.



- Hesaplamalara göre elde edilen sonuçları yorumlayınız.

Tablo 1. Orifismetre ve Venturimetre için ölçülen ve hesaplanan değerler.

Akış	$h_1(\text{cm})$	$h_2(\text{cm})$	$P_1(\text{Pa})$	$P_2(\text{Pa})$	$Q(\text{m}^3/\text{s})$	$V_{gerçek}$	$V_{hesaplanan}$	C_d

Kaynaklar

- W.L. McCabe, J.C. Smith, P. Harriott, Unit Operations of Chemical Engineering, McGraw Hill, N.Y., (7th Ed.) 2005.
- C.J. Geankoplis, Transport Processes and Unit Operations, Prentice-Hill Inc., N.J., (3th Ed.) 1993.
- Y. Cengel J.M. Cimbala, Fluid Mechanics: Fundamentals Applications, McGraw Hill, (4th Ed.) 2018.



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

8. IŞINIMLA ISI İLETİMİ



1. Amaç

Isıl ışınlama ile gerçekleşen ısı transferinin gözlenmesi, ters kare ve Stefan Boltzmann kanunlarının ispatlanmasıdır.

Öğrenme Çıktıları;

- ✓ Deneysel olarak ısı ışınlama ile oluşan ısı transferinin gözlenmesi
- ✓ Deneysel verilerin kullanımı ile ters kare ve Stefan-Boltzmann kanunlarının ispatlanması
- ✓ Deneysel verilerin analiz edilmesi ve yorumlanması
- ✓ Deneysel sonuçların bir rapor halinde sunulması

2. Genel Bilgiler

Elektromanyetik dalgalar şeklinde veya fotonlar vasıtasıyla gerçekleşen ısı transferi şekline ışınlama (radyasyonla) ısı transferi denir. Işınlama fiziksel mekanizması henüz tam olarak bilinmemekte ve açıklanamamaktadır. Bazı ışınlama olayları dalga teorisi ile bazı ışınlama olayları ise kuantum teorisiyle açıklanabilmektedir. İster foton karakterinde, ister dalga karakterinde olsun ışınlama, boşlukta ışık hızı ($c_0 = 2,998 \cdot 10^8 \text{m/s}$) ile ilerler. Elektromanyetik dalgaların veya fotonların ilerlemesi için maddesel bir ortama ihtiyaç yoktur.

Bazı ısı transferi problemlerinde ışınlama ile ısı transferi ihmal edilebilmektedir (örn. radyatörlerde ışınlama, toplam ısı transferinin %5-20'sini oluşturur). Fakat sıcak bir borudan çevreye olan ısı transferinde ışınlama olan ısı transferi taşıma yoluyla olan ısı transferine eşit olabilmektedir. Bu durumda ışınlama ihmal etmek büyük hatalara neden olmaktadır. Bu yüzden mühendisler hesaplarında, duruma göre ışınlama olan ısı transferini de hesaba katmak, ihmal etmemek zorundadırlar.

Bir cismin uzaya yaydığı toplam ışınlama enerjisi (G), başka bir cisme rastladığında üç olay meydana gelir. Enerjinin bir kısmı (R) cismin yüzeyinden yansıtılarak uzaya dağılır, bir kısmı (τ) cismin içinden geçerek diğer yerlere akar, bir kısmı da (A) cismin içinde absorplanır (yutulur). Bu durumda denlem (1) yazılabilir.

$$G = R + \tau + A \quad (1)$$

Bu denkleminde bütün terimler G ile bölünürse,

$\rho = R / G$: ışınlama yansıtma oranı, yansıtılan ışınlama gelen ışınlama oranı

$\alpha = A / G$: ışınlama yutma oranı, yutulan ışınlama gelen ışınlama oranı

$\tau = \tau G / G$: ışınlama geçirme oranı, geçirilen ışınlama gelen ışınlama oranı

olmak üzere denlem (2) elde edilir.

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2)$$

Burada ρ , malzemenin cinsine ve yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır. α ve τ ise cismin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Eğer bir yüzey, üzerine gelen bütün ışınlama yansıtıyorsa ($\rho=1$) bu yüzey beyaz cisim olarak adlandırılır. Eğer bir yüzey, üzerine gelen bütün ışınlama yutuyorsa ($\alpha=1$) bu yüzey siyah cisim olarak



adlandırılır. Gazlar ise (özellikle seyrek gazlar) ışınımı hemen hemen yutmadıklarından ve yansıtmadıklarından ($\tau = 1$) saydam cisim olarak adlandırılır.

2.1. Siyah Cismin Neşretme (Yayma) Gücü

İdeal ışığıcı olarak tanımlanan siyah cisim, verilen bir sıcaklıkta mümkün olan maksimum ışınımı neşreden ve üzerine gelen bütün ışınımı yutan bir yüzeydir. İdeal ışığıcının (siyah cismin) ışınım neşretme gücü,

$$E_s = \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (3)$$

Farklı şekilde yazılabilir. Burada σ , Stefan-Boltzman katsayısı olup değeri aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]} \quad (4)$$

Gerçek bir cismin neşrettiği ışınım, aynı sıcaklıkta siyah cismin neşrettiği ışınımdan daha azdır. Gerçek cismin ışınım neşretme gücü,

$$E = \varepsilon \cdot E_s = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (5)$$

bağıntısı ile verilir. Burada ε , gerçek yüzeyin neşretme gücünün aynı sıcaklıktaki siyah yüzeyin neşretme gücüne oranı şeklinde tarif edilir ve yayma katsayısı (emissivite veya yayma oranı) olarak adlandırılır.

Gerçek cisimler için ε , büyük oranda yüzeyin yapısına bağlı olup, radyasyon dalga boyu, ışınım gelişi, yüzey sıcaklığına da bağlıdır. Fakat bu genellikle pratik hesaplama yapılacağı zaman ortalama değerler kabul edilir. Çeşitli malzemelerin yayma katsayıları çeşitli kitap ve kaynaklarda bulunabilir. Gerçek cisimler için yayma katsayısı 0 ile 1 arasında değişir ($0 < \varepsilon < 1$).

2.2. Yüzeyler Arasında Işınım İle Isı Transferi

Yüzeyler arasındaki ışınım ile ısı transferini, yüzeylerin birbirlerine olan geometrik konumları etkilemektedir.

Görüş Faktörü

Herhangi bir yüzeyin (A_i) yapmış olduğu ışınımın diğer bir yüzeye (A_j) düşen kısmına görüş faktörü (F_{ij}) denir. Burada, ilk alt indis ışınımın geldiği ikinci alt indis ışınımın düştüğü yüzeyi gösterir.

Görüş faktörü, sıcak yüzey (ışınım yapan yüzey) ile soğuk yüzey arasındaki pozisyonun geometrisi ile ilgili bir terimdir. Işınım dalgaları doğrusal bir hat boyunca yayıldıklarından, bir cismin diğerini görmek görmemesine veya görme açısına bağlı olarak ışınım değişiklik gösterir. Görüş faktörünün hesaplanabilmesi için birçok yöntem, tablolar ve diyagramlar vardır. Bunların bir kısmı kitaplarınızda verilmiştir. Görüş faktörü verilen tanımdan da anlaşılacağı gibi ışınım yapan cisimlerin birbirlerine olan konumlarına (görüp görmemesine veya ne oranda gördüğüne) göre 0 ile 1 arasında değişir.

Bir yüzeyin neşretme gücü denklem (6)'daki gibidir.



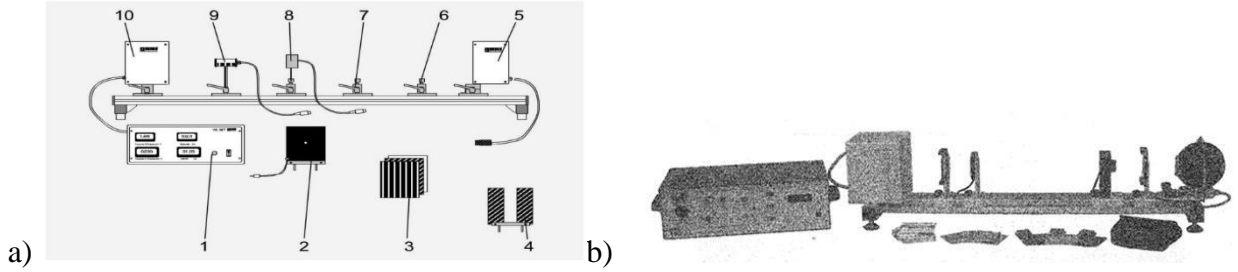
$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2] \quad (6)$$

Buna göre bir yüzeyden ışınlama ile olan net ısı transferi, yüzeyin yapmış olduğu ışınlama ile yüzeye çevreden olan ışınlamının farkıdır.

$$q = \frac{Q}{A} = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad [W/m^2] \quad (7)$$

3. Deney Sistemi

Deney düzeneği deney tezgahı üzerinde yer alan filtreler ve plakalar ve bunların kontrol panelinden oluşur.



1. Kontrol Kutusu	2. Absorpsiyon plakası	3. Renk filtreleri	4. Menfez
5. Dönen ışık kaynağı	6. Filtre	7. Filtre	8. Luxmetre
9. Isı akısı sensörü	10. Isı kaynağı		

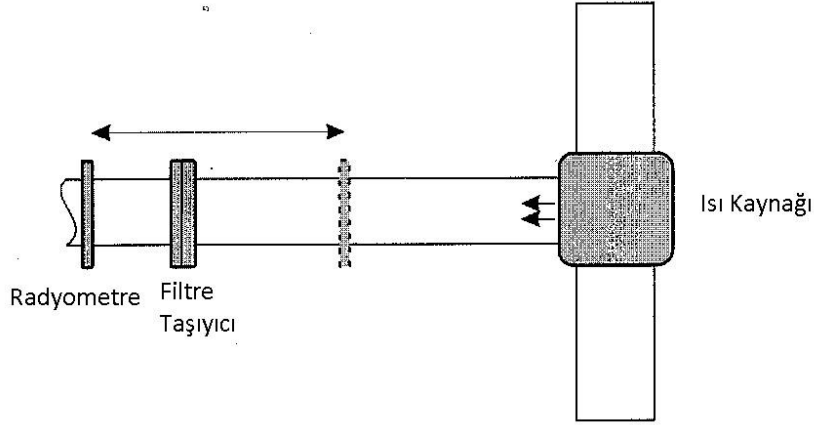
Şekil 1. Deney Düzeneği a) Şematik görünüm b) Gerçek Görünüm

4. Deneyin Yapılışı

4.1. Isı İçin Ters Kare Kanunu

Amaç

- ✓ Bir yüzeydeki ışınlama şiddetinin, yüzeyin ışınlama kaynağı ile olan uzaklığının karesi ile ters orantılı olduğunun gösterilmesi.



Şekil 2. Işınım Transferine uzaklık etkisi.

4.1.1 Deneyin Yapılışı

- Radyometre, ısı kaynağından olabildiğince uzak konuma getirilir.
- Filtre tutucu, ısı kaynağı ile radyometre arasında radyometreye yakın bir pozisyona getirilir.
- Çift tarafı parlak absorplama plakası filtre tutucuya yerleştirilir. Bu, sensörü ısı kaynağından gelen ısıdan gizlemiş olur.
- Isı kaynağı ve radyometre soketleri kontrol paneline bağlanır.
- Isı kaynağı termokuplu kontrol panelindeki T_1 soketine bağlanır.
- Radyometrenin oda içerisindeki ısıdan dolayı olan okumasını sıfırlamak için sıfırlama butonuna basılarak iptal edilir.
- Isı kaynağı açılır ve ısıtıcıdaki sıcaklığın yaklaşık 40 derece olması için %8 ye ayarlanır ve sıcaklık okuması için beklenir. Deney süresince bu sıcaklık sabit korunur.
- Filtre tutucu sabitken, radyometre ısıya maruz kalması için ısı kaynağından 500 mm (0,5 m) uzaklığa yerleştirilir. Radyometrenin maksimum değeri okuması için beklenir ve değer not edilir.
- Radyometre eski uzak konumuna geri getirilir ve sıfır değerini okuması için beklenir.
- Radyometre tekrar ısı kaynağından 450 mm (0,45 m) uzaklığa yerleştirilir ve maksimum değeri okuması için beklenir ve değer not edilir.



Tablo 1. Isı İçin Ters Kare Kanunu için sonuç tablosu

Uzaklık r, m	r^2, m^2	$1/r^2, 1/m^2$	$\log_{10}r$	İrradyans Ee ($W.m^{-2}$)	$\log_{10}Ee$
0,45					
0,40					
0,35					
0,30					
0,25					
0,20					
0,15					
0,10					

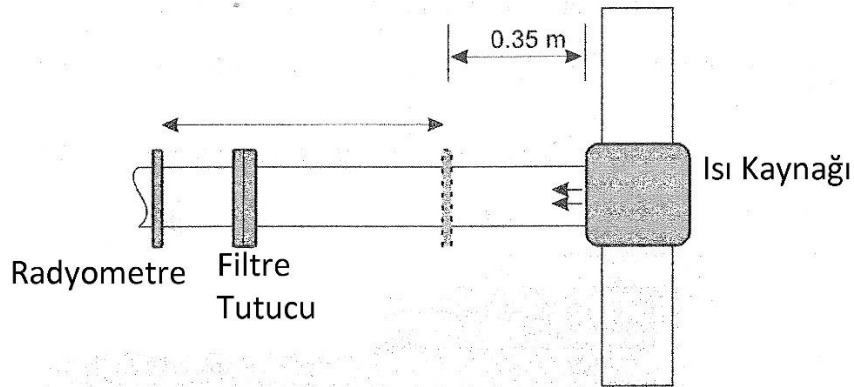
4.1.2. Hesaplamalar

Tablo doldurulduktan sonra $1/r^2$ 'ye karşı ışıınım şiddeti (Irradiance) ve $\log_{10}Ee$ 'ye karşı grafiği çizilir. İkinci grafiğin eğiminin yaklaşık -2 çıkması beklenir.

4.2. Stefan-Boltzman Kanunu

Amaç

- ✓ Işıınım şiddetinin kaynak sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle değiştiğinin gösterilmesidir.



Şekil 3. Işıınım Transferine sıcaklık etkisi.



4.2.1. Deneyin Yapılışı

- ✓ Radyometre, ısı kaynağından olabildiğince uzak konuma getirilir.
- ✓ Filtre tutucu, ısı kaynağı ile radyometre arasında radyometreye yakın bir pozisyona getirilir.
- ✓ Çift tarafı parlak absorplama plakası filtre tutucuya yerleştirilir. Bu, sensörü ısı kaynağından gelen ısıdan gizlemiş olur.
- ✓ Isı kaynağı ve radyometre soketleri kontrol paneline bağlanır.
- ✓ Isı kaynağı termokuplı kontrol panelindeki T₁ soketine bağlanır.
- ✓ Radyometrenin oda içerisindeki ısıdan dolayı olan okumasını sıfırlamak için sıfırlama butonuna basılarak iptal edilir.
- ✓ Isı kaynağı açılır ve ısıtıcıdaki sıcaklığın yaklaşık 40 derece olması için %8 ye ayarlanır ve sıcaklık okuması için beklenir. Deney süresince bu sıcaklık sabit korunur.
- ✓ Filtre tutucu sabitken, radyometre ısıya maruz kalması için ısı kaynağından 100 mm (0,1 m) uzaklığa yerleştirilir. Radyometrenin maksimum değeri okuması için beklenir ve değer not edilir.
- ✓ Radyometre eski uzak konumuna geri getirilir ve sıfır değerini okuması için beklenir.
- ✓ Isı kaynağı sıcaklığı 60 dereceye artırılır ve sıcaklık okuması için beklenir.
- ✓ Radyometre tekrar ısı kaynağından 100 mm (0,1 m) uzaklığa yerleştirilir ve maksimum değer okuması yapılır.
- ✓ Bu işlem sıcaklık 20'şer derece artırılarak 140 dereceye kadar yapılır.

Tablo 2. Işınım İçin Stefan-Boltzman Kanunu .

Kaynak sıcaklığı (°C)	Kaynak sıcaklığı (K)	T ⁴	İrradyans Ee (W.m ⁻²)



4.2.2. Hesaplamalar

Sıcaklık okumaları Kelvin'e çevrilir. T^4 'e karşı ışıınım şiddeti grafiği çizilir.

Teorinin ispatlanması için eğrinin lineer olmalıdır.

Kaynaklar

1. Çengel, Y. A., (2011). Isı ve Kütle Transferi: Pratik Bir Yaklaşım, Üçüncü Baskı, İzmir Güven Kitapevi, İzmir.
2. Erzurum Teknik Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Makine Laboratuvarı Isıl Işıınımla Isı Transferi Deney Föyü.
3. Tec Equipment, TD 1003 Radiant Transfer Experiments User Guide.



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

9. SIKIŞTIRILAMAYAN AKIŞKANLARDA SÜRTÜNME KAYIPLARI



1. Amaç

Sıkıştırılmayan bir akışkan olan suyun silindirik düz bir boru içerisinde akarken ve vanalar, dirsekler, ani daralma ve ani genişleme gibi elemanlardan geçerken sürtünme nedeni ile uğradığı enerji kayıplarının, basınç farkından yararlanılarak tayin edilmesidir.

Öğrenme çıktıları

- ✓ Akışkan hızı ve basınç kayıpları arasındaki ilişkiyi açıklar,
- ✓ Farklı çaplardaki düz borularda, akış ölçüm cihazlarında ve özel boru bağlantı parçalarındaki basınç kayıplarının nedenleri öğrenir,
- ✓ Bir deney sistemini emniyetli bir şekilde kullanır,
- ✓ Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar,
- ✓ Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.

2. Genel Bilgiler

Sıkıştırılmayan bir akışkanın boru içerisindeki akışı için şu denklemler yazılabilir:

$$\text{Süreklilik Denklemi} \quad Q = v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (1)$$

Bernoulli Denklemi

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2}{2g} + \sum h_L \quad (2)$$

Q: Hacimsel akış hızı (m³/s)

P: Statik basınç (N/m²)

N: Ortalama hız (m/s)

$\sum h_L$: Toplam kayıp (m)

A: Borunun kesit alanı (m²)

ρ : Yoğunluk (kg/m³)

z: Yükseklik (m)

g: Yerçekimi ivmesi

Bir boru hattı boyunca akan bir akışkan boru cidarlarındaki sürtünme direnci veya bağlantı noktalarında akışta meydana gelen karışmalar nedeniyle basınç kaybına uğrar. Bu kayıplar iki ana başlık altında toplanabilir.

Sürekli Kayıplar: Boru cidarları ile akışkan arasında oluşan bu sürtünmelerde sınır tabaka duvardan ayrılmaz, fakat boru girişindeki mekanik enerjiler toplamı sürtünme kayıpları nedeni ile azalır. Ortalama lineer hız ve potansiyel seviyenin değişmediği hallerde tüm sürtünme kayıpları basınç düşüşü olarak ortaya çıkar.

Yerel Kayıplar:

- Ani genişleme kaybı
- Ani daralma kaybı
- Depoya giriş, depodan çıkış kaybı
- Dirsek kayıpları
- Çeşitli tesisat elemanlarının oluşturduğu kayıplar

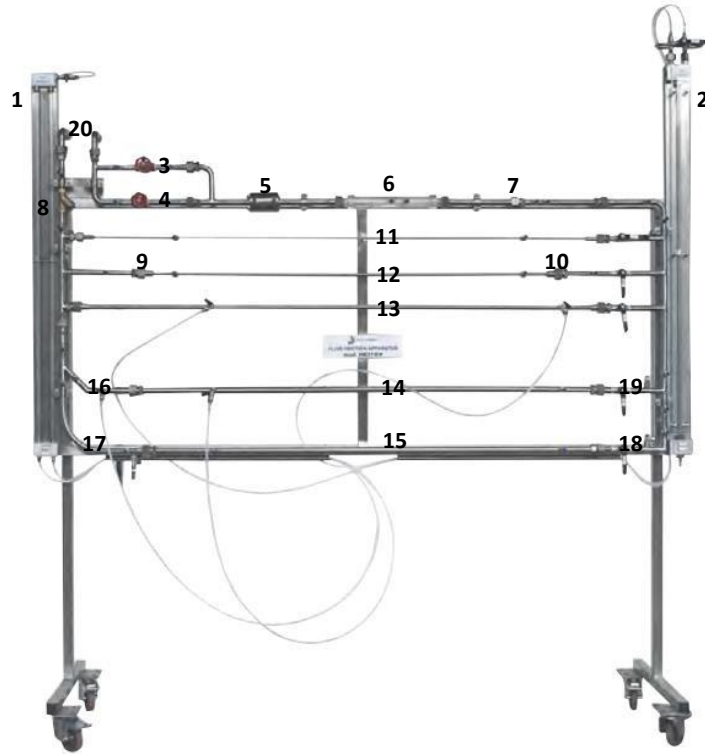


- Arka arkaya bağlanan elemanların kayıpları

Borularda sürtünmeden ileri gelen sürekli yük kayıpları yanında, akım yönünün ve kesit değişmesinin neden olduğu yerel yük kayıpları da vardır. Yerel yük kayıpları boru boyuna bağlı değildir ve çok kısa aralıkta enerji çizgisinin düşmesine neden olurlar.

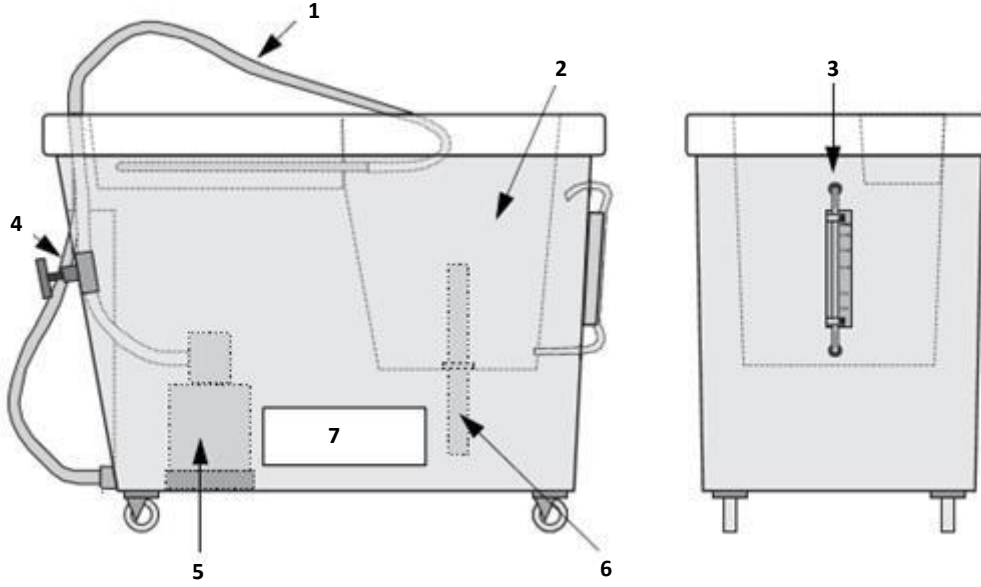
3. Deney Sistemi

Deney düzeneği, sıvı akış düzeneğinde sürekli ve yerel kayıpların ölçülebildiği deney seti (Şekil 1) ve suyun deney setine beslendiği bir hidrolik üniteden (Şekil 2) oluşmaktadır.



Şekil 1. Deney Seti

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| 1. Diferansiyel su manometresi | 2. Diferansiyel civa manometresi |
| 3. Küresel vana | 4. Şiber vana |
| 5. Orifis metre | 6. Venturimetre |
| 7. Pitot tüpü | 8. Y fitre |
| 9. Ani daralma | 10. Ani genişleme |
| 11. Düz boru (6x1mm) | 12. Düz boru (10x1,5mm) |
| 13. Düz boru (14x1,5mm) | 14. Pürüzlü boru (18x1,5mm) |
| 15. Düz boru (20x1,5mm) | 16. 45° dirsek |
| 17. 90° geniş dirsek | 18. 90° dirsek |
| 19. T boru | 20. Su giriş-çıkış bağlantıları |



Şekil 2. Hidrolik Ünite.

- | | |
|------------------------|---------------------|
| 1. Tezgah hortumu | 5. Dalgıç pompa |
| 2. Toplama tankı | 6. Boşaltma musluğu |
| 3. Hacim göstergesi | 7. Rezervuar |
| 4. Akış kontrol vanası | |

4. Deneysel Çalışma

4.1. Sürtünmesiz Boruda Basınç Kayıpları

Amaç

- ✓ Sürtünmesiz boru içinde akmakta olan akışkanın hızı ile basınç kayıpları arasındaki ilişkiyi belirlemek.

4.1.1. Deneyin Yapılışı

- Hidrolik ünite deney seti yakınına yerleştirilir.
- Deney seti ve hidrolik ünite arasındaki hortum bağlantıları yapılır.
- Hidrolik tezgah su ile doldurulduktan sonra G1 pompası ve tanka su aktarımını sağlayan V1 vanası açılır.
- Manometre hortumları ölçüm alınacak noktalara bağlanır.
- Ölçüm alınan kısmın giriş vanası açılır.
- (20x1,5 mm'lik boru için V7, 18x1,5 mm'lik boru için V6, 14x1,5 mm'lik boru için V5, 10x1,5 mm'lik boru için V4 ve 6x1 mm için de V3 vanası açılır.)
- Akış hızını belirlemek için hidrolik ünitedeki boşaltma musluğu kapatılır.
- Hacim göstergesi 0 çizgisine geldiğinde zamanlayıcı başlatılır ve su yüksekliği belirli seviyelere (5, 10, 15, 25 ve 35 L) ulaştığında zamanlayıcı durdurulur.
- Doğru sonuç alabilmek için bu işlem 2 veya 3 kez tekrarlanır.



4.2. Sürtünmeye Bağlı Basınç Kayıpları

Amaç

✓ Sürtünmesiz borudaki basınç kayıplarına ilişkin denklemlerin doğrulanması.

Laminer akışta viskoz etkiler basınç düşüşünün temel sebebiyken türbülanslı bir akışta viskoz etkilerin yanında akışkanla boru iç yüzeyi arasındaki sürtünmeden kaynaklanan kayıplar daha belirleyici olmaktadır. İzotermal ve kararlı akış durumlarında düz borudaki sürtünme kayıpları Fanning-D'Arcy eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta P = \frac{4 \cdot f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot d} \text{ (mH}_2\text{O)} \quad (4)$$

L: Boru uzunluğu (1m)

d: Boru iç çapı (m)

v: Akışkan hızı (m/s)

g: Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²)

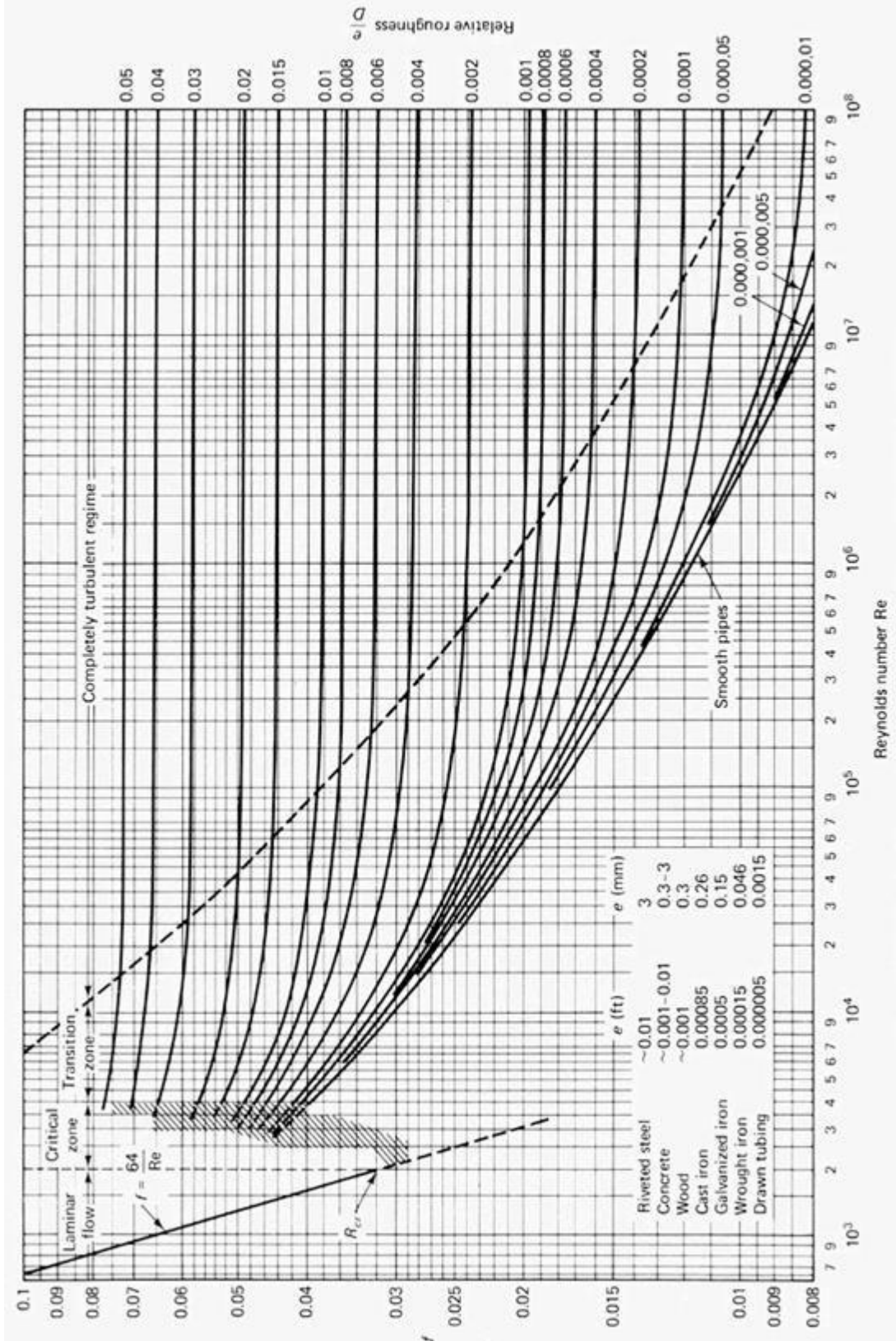
$$\Delta P = \frac{\lambda \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot d} \text{ (mH}_2\text{O)} \quad (5)$$

f: Boru sürtünme katsayısı

λ : Boru sürtünme katsayısı ($\lambda = 4f$)

4.2.1. Deneyin Yapılışı

- Manometre hortumları ölçüm alınacak noktalara bağlanır.
- Ölçüm alınan kısmın giriş vanası açılır.
(20x1,5 mm'lik boru için V7, 18x1,5 mm'lik boru için V6, 14x1,5 mm'lik boru için V5, 10x1,5 mm'lik boru için V4 ve 6x1 mm için de V3 vanası açılır.)
- Akış hızı hidrolik ünite sayesinde manuel olarak belirlenir.
- Manometreleri kullanarak ölçüm noktaları arasındaki basınç kayıpları mH₂O cinsinden okunur ve kaydedilir.
- Deney sonunda deney setindeki tüm vanalar ve G1 pompası kapatılır.





4.3. Yerel Basınç Kayıpları

Amaç

- ✓ Sıvı akışkan hatlarında kullanılan ve akım çizgilerini geometrik olarak değiştirerek kısıtlayan dirsek, vana vb. özel boru bağlantı parçalarındaki basınç kayıplarını ölçmek,
- ✓ Bu ölçüm değerlerine bağlı olarak yerel kayıp katsayısı K değerini hesaplayabilmek.

Özel boru bağlantılarının neden olduğu basınç kayıpları akışkan hızının karesi ile doğru orantılıdır ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta P = \frac{\Delta P \cdot v^2}{2 \cdot g}$$

K : Direnç katsayısı

v : Akışkan hızı (m/s)

g : Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²)

(6)

4.3.1. Deneyin Yapılışı

- Manometre hortumları ölçüm alınacak noktalara bağlanır.
- Ölçüm alınan kısmın giriş vanası açılır.
- (90° dirsek, 90° geniş dirsek, Y filtre, T boru, küresel ve şiber vana ölçümleri için V7 vanası; 45° dirsek ölçümleri için V6 vanası; ani genişleme ve ani daralma ölçümleri için V4 vanası açılır.)
- Akış hızı hidrolik ünite sayesinde manuel olarak belirlenir.
- Manometreleri kullanarak ölçüm noktaları arasındaki basınç kayıpları mH₂O cinsinden okunur ve kaydedilir.
- Deney sonunda deney setindeki tüm vanalar ve G1 pompası kapatılır.

Tablo 3. Yerel kayıp noktalarında basınç kayıpları

V (l)	t (s)	Q (m ³ /s)	di (m)	v (m/s)	ΔP m(Hg-H ₂ O)	ΔP (mH ₂ O)	K = $\frac{2 \cdot g \cdot \Delta P}{v^2}$	Vana pozisyonu

4.3.2. Hesaplamalar

- Değişen akış hızlarında K'nın sabit kaldığını doğrulanır,
- Vana pozisyonu ile K arasındaki ilişkiyi açıklayan grafik çizilir.

4.4. Sürtünmeli Boruda Basınç Kayıpları

Amaç

✓ Sürtünmeli bir borudaki sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasındaki ilişkiyi belirlemek

Moody diyagramında da görüldüğü üzere sürtünme faktörü ($f - \lambda$), borunun bağıl pürüzlülüğüne (ε) bağlı olarak tanımlanır.

$$\varepsilon = \frac{a}{d} \quad \begin{array}{l} a: \text{Ortalama pürüzlülük yüksekliği} \\ d: \text{Borunun iç yarıçapı} \end{array} \quad (7)$$

4.4.1. Deneyin Yapılışı

- Vanalar kapatılır.
- Vanalar açılır.
- Ölçüm alınan kısmın giriş vanası V6 açılır.
- Akış hızı hidrolik ünite sayesinde manuel olarak belirlenir.
- Manometreleri kullanarak ölçüm noktaları arasındaki basınç kayıpları mH₂O cinsinden okunur ve kaydedilir.
- Deney sonunda deney setindeki tüm vanalar ve G1 pompası kapatılır.

Tablo 4. Pürüzlü boruda basınç kayıpları

V (l)	t (s)	Q (m ³ /s)	d _i (m)	v (m/s)	ΔP m(Hg- H ₂ O)	ΔP (mH ₂ O)	Re	F

4.4.2. Hesaplamalar

- Reynolds sayısına karşı sürtünme faktörü değerleri ile bir grafik çizin.
- Elde edilen grafiğin türbülans akış bölgesi pürüzsüz borularda elde edilen sonuçlar ile kıyaslayın.

4.5. Diferansiyel Basıncı Kullanarak Akış Hızını Ölçme

Amaç

✓ Boru içinde akmakta olan akışkanın basınç kaybı verilerini kullanarak akışkan hızının belirlenmesi Bernoulli teoremininden elde edilen eşitlik hem venturimetre hem de orifisetreler için kullanılabilir.



$$x = \frac{c_d A_2 \sqrt{2g\Delta h}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (6)$$

C_d = Deşarj katsayısı

Δh : Basınç kaybı (1m)

A_1 : Borunun giriş kesit alanı

$\beta = \Delta h$: Basınç kaybı (1m)

A_2 : Borunun çıkış kesit alanı

Pitot tüpünde ölçülen statik ve dinamik basınç arasındaki fark, kinetik basınca eşdeğerdir:

$$\Delta h = \frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

$$v^2 = \sqrt{2gh} \quad (8)$$

Δh : Basınç kaybı (1m) v : ortalama hız (m/s)

g : Yerçekimi ivmesi (9,8 m/s²)

4.5.1. Deneyin Yapılışı

- Ölçüm alınan kısmın giriş vanası V7 açılır.
- Akış hızı hidrolik ünite sayesinde manuel olarak belirlenir.
- Manometreleri kullanarak ölçüm noktaları arasındaki basınç kayıpları mH₂O cinsinden okunur ve kaydedilir.
- Deney sonunda deney setindeki tüm vanalar ve G1 pompası kapatılır.

Tablo 4. Akış ölçerinde basınç kaybı

V (l)	t (s)	Q (m ³ /s)	ΔP m(Hg-H ₂ O)	ΔP (mH ₂ O)	c_d	k

4.5.2. Hesaplamalar

- Basınç kaybının kareköküne karşı akış hızı değerlerini gösteren grafik çizin.
- 3 akış ölçer tipi için basınç kayıplarını kıyaslayın.



Kaynaklar

1. Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Yunus A. Çengel & John M. Cimbala, Çev. Tahsin Metin, İzmir Güven Kitabevi, 2011.
2. Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Sürtünme Kayıpları Deney Föyü, 2006.
3. Elettronica Venetta, Flow Channel User Guide.
4. TecQuipment, Volumetric Hydraulic Bench User Guide.

EK

Borular paslanmaz çelik AISI 304

Ani genişleme: $10 \times 1,5 \text{ mm} \rightarrow 17,2 \times 1,6 \text{ mm}$

Ani daralma $17,2 \times 1,6 \text{ mm} \rightarrow 10 \times 1,5 \text{ mm}$

Venturi tübü: tüp çapı = 20,0 mm, boğaz çapı= 10,0 mm, giriş açısı= 21° , çıkış açısı = 12°

Orifis metre: 10 mm.



**BURSA TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ**

MÜHENDİSLİK VE DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
Kimya Mühendisliği Bölümü

10. KISMİ MOLAR HACİMLERİNİN BELİRLENMESİ

1. Amaç

Farklı derişimlerde hazırlanan karışımların yoğunluklarının bulunması, kısmi molar hacimlerin hesaplanması ve hazırlanan çözeltilerin ideallikten ne ölçüde saptığının belirlenmesidir.

Öğrenme Çıktıları:

- ✓ Piknometre kullanımını öğrenir.
- ✓ Farklı konsantrasyonlarda çözelti hazırlanmasını bilir.
- ✓ İkili karışımlarda V-x grafiğinden bileşenlerin kısmi molar hacmini hesaplayabilir.
- ✓ Deneysel verileri amaç doğrultusunda analiz eder ve yorumlar.
- ✓ Deneysel sonuçları bir rapor halinde sunar.

2. Giriş

Saf maddelerin 1 mollerine karşılık gelen özelliklere molar özellikler denir. Bir karışım içerisinde her bir bileşenin molü başına düşen özelliklere ise kısmi molar özellikler denir.

Molar özellikler madde miktarına bağlı değildir ve genel olarak F harfi ile gösterilirler. n mol madde için bu özellikler kapasite özelliği taşır ve f harfi ile gösterildiğinde $f = n.F$ eşitliği yazılabilir.

Kısmi molar özellikler normal molar özelliklerden farklıdır. Örneğin moleküller arası çekme etkilerinin baskın olduğu sistemlerde, kısmi molar hacim normal molar hacimden küçüktür. İtme etkileri etkinse kısmi molar hacmin normal molar hacimden büyük olduğu görülür. Karışımın hacmi ile bileşenlerin karıştırılmadan önceki hacimleri toplamının farklı olması yani karışma sırasındaki hacim değişimi ve eğer varsa ısı alışverişi, hazırlanan karışımın ideal olmadığını göstergesidir. Birbiri içerisinde her oranda karışan ve karıştırılması sırasında ısı, sıcaklık, hacim gibi fiziksel değişmelerin gözlenmediği çözeltilere ideal çözelti denir.

Bir fazın herhangi bir termodinamik özelliği sıcaklık, basınç ve bileşenlerin mol sayılarına bağlı olarak yazılıp diferansiyel alınır;

f: sistemin toplam özelliği

$$f = f(T, P, n_j), \quad j = 1, 2, \dots, i$$

$$\left(\frac{\partial f}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_j \neq i} = F_i \quad (1)$$

F_i şeklinde simgelenir ve kısmi molar özellik olarak adlandırılır. Buna göre; sıcaklık, basınç ve i bileşeni dışındaki bileşenlerin mol sayıları sabit iken tüm f fonksiyonunun i bileşeninin mol sayısı ile değişme hızına kısmi mol özelliği denir. Bir çözeltiyi oluşturan bileşenleri kısmi mol hacmi matematiksel olarak aşağıdaki şekilde

$$\bar{V}_1 = \left(\frac{\partial V}{\partial n_1}\right)_{T, P, n_2} \quad \bar{V}_2 = \left(\frac{\partial V}{\partial n_2}\right)_{T, P, n_1}$$



gösterilebilir. Çözeltinin toplam hacmi V , çözültideki bütün bileşenlerin hacimleri toplamına eşittir. Çözültideki bileşenlerin her birinin hacmi ise kısmi mol hacimlerini mol sayıları ile çarpımına eşittir.

$$V = n_1\bar{V}_1 + n_2\bar{V}_2 \quad (2)$$

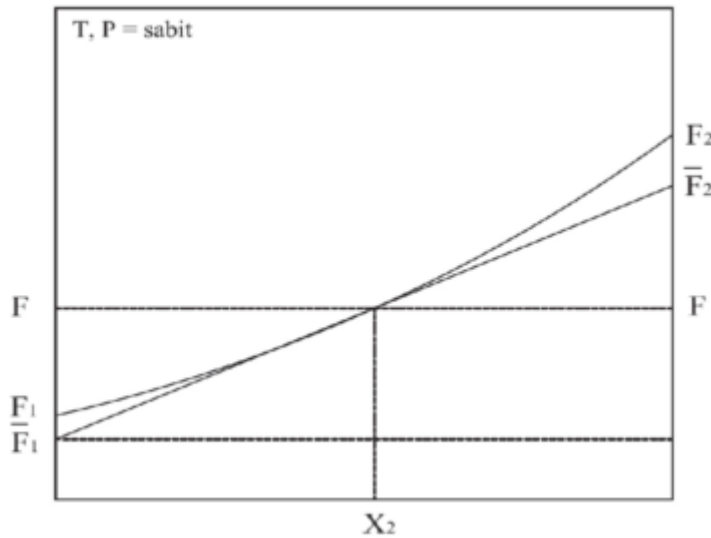
Sabit sıcaklık ve basınçta karışımlardaki bileşenlerden birinin bir kısmi mol özelliğindeki değişmeyi mol sayıları mol kesirleri ve diğer bileşenlerin aynı kısmi mol özelliğindeki değişimlere bağlayan eşitlik Gibbs - Duhem denklemidir.

$$\sum X d\bar{F}_i = X_1 d\bar{F}_1 + X_2 d\bar{F}_2 + \dots X_i d\bar{F}_i + \dots = 0 \quad (3)$$

İki bileşenli bir karışımda sabit sıcaklık ve basınç koşulları altında F molar özelliği için,

$$\begin{aligned} F &= \frac{f}{n_1 + n_2} = \frac{n_1\bar{F}_1 + n_2\bar{F}_2}{n_1 + n_2} = x_1\bar{F}_1 + x_2\bar{F}_2 = (1 - x_2)\bar{F}_1 + x_2\bar{F}_2 \\ &= \bar{F}_1 + (\bar{F}_2 - \bar{F}_1)x_2 \end{aligned} \quad (4)$$

Karışımın bileşimine bağlı olarak değişen F molar özelliği deneysel belirlenerek F - x_2 grafiği çizilirse aşağıdaki eğri elde edilir.



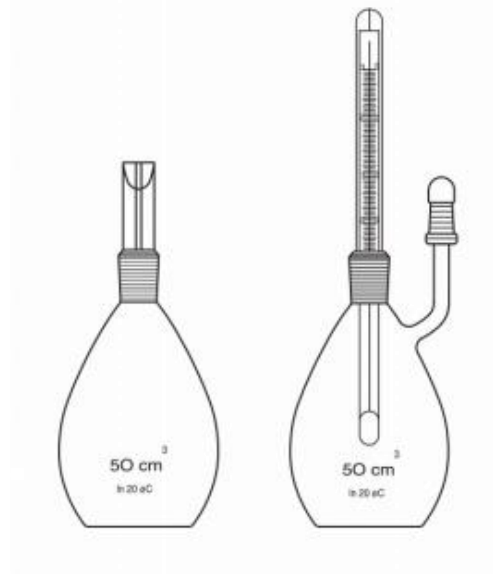
Şekil 1. İkili bir homojen karışımda F molar özelliğinin x_2 ile değişimi.

1 ve 2 kısmi molar özellikleri, F ise karışımın toplam molar özelliğini göstermektedir. Son bağıntı, şekilde görülen eğriye herhangi bir noktadan çizilen teğetin denklemidir. Bu denklemden $x_2=0$ için $F=F_1$ ve $x_2=1$ için ise $F=F_2$ olduğu görüldüğüne göre teğetin eksenleri kestiği noktalardan sırayla F_1 ve F_2 kısmi molar özellikleri doğrudan okunur.



2.1. Çözelti Yoğunluğunun Belirlenmesi

Yoğunluk = kütle/hacim, birim hacmin kütlesi olarak tanımlanır. Sıvı yoğunluklarını belirlemek için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Piknometre ile yoğunluk ölçümü bu yöntemlerden birisidir. Piknometreler, boyaların, pastaların ve benzer akışkanların özgül ağırlıklarını ya da yoğunluklarını belirlemeye yarar. Piknometre ile yoğunluk belirlemek için önce piknometrenin hacmini belirlemek gerekir. Hacim belirlenmesinde damıtık su kullanılır. Öncelikle piknometrenin boş tartımı alınır. Ardından saf su ile doldurulup kapağı kapatılır. Taşan su özenle silinir. Tekrar tartılır. Dolu ve boş piknometrenin tartımları arasındaki fark piknometrenin içerdiği suyun kütlesidir. Bulunan su kütlesi suyun bulunduğu sıcaklıktaki yoğunluğuna bölünerek piknometrenin hacmi bulunur. Aynı işlemler su yerine deney çözeltisi kullanılarak yapılırsa piknometreyi dolduran çözelti kütlesinin değerinin piknometre hacmine bölünmesiyle kullanılan çözeltinin bulunduğu sıcaklıktaki yoğunluğu bulunur.



Şekil 2. Piknometre.

3. Deney Sistemi

3.1. Kullanılan Cihaz ve Malzemeler

Piknometre, hassas terazi, saf su, H₂SO₄.

4. Deneyin Yapılışı

- Deneye başlamadan önce % 20, 40, 60, 80'lik 40 ml H₂SO₄ çözeltileri için gerekli H₂SO₄ ve H₂O miktarları önceden hesaplanıp gelinmelidir.
- Kütlece % 20, 40, 60, 80 H₂SO₄ çözeltileri hazırlanır. Çözeltiler hazırlanırken su üzerine sürekli karıştırılarak derişik sülfürik asit azar azar eklenir!
- Piknometre hacmi saf su kullanılarak yukarıda anlatıldığı gibi belirlenir.
- Daha sonra hazırlanan çözeltilerin yoğunlukları ölçülür.
- Deneysel hatayı azaltmak için Her bir çözelti için iki kez yoğunluk belirlenip ortalama değer alınmalıdır.

5. Hesaplamalar

- Deneyde bulunan ortalama yoğunlukların tersi olan özgül hacim ($1/\rho=v$) hesaplanır. $v-X_{H_2SO_4}$ grafiği çizilir. Kısmi molar hacimleri bulmak için % 50 derişiminden eğriye bir teğet çizilir. Teğetin H_2O ve H_2SO_4 eksenlerini kestiği noktalardan v_1 ve v_2 kısmi özgül hacimleri bulunur. M_1 suyun mol kütlesi M_2 'de sülfürik asidin mol kütlesi ile çarpılarak su ve sülfürik asidin % 50 konsantrasyon için kısmi molar hacimleri \bar{v}_1 ve \bar{v}_2 bulunur.
- Çözeltilerin mol hacmi mol kesri ($X_{H_2SO_4}$) – (V_k) diyagramı ile kısmi mol hacimlerini belirlemek için de önce kullanılan çözeltilerin mol kesirleri ve belirlenen yoğunluklar yardımıyla mol hacimleri hesaplanır.

Aynı çözeltilerin ortalama moleköl ağırlığı;

$$M_{ort} = M_{H_2O} \cdot X_{H_2O} + M_{H_2SO_4} \cdot X_{H_2SO_4} \quad (5)$$

Mol hacmi;

$$V_k = M_{ort} / d \quad (6)$$

eşitlikleri ile bulunur.

Bulunan $X_{H_2SO_4}$ ve V_k değerleriyle $X_{H_2SO_4} - V_k$ grafiği çizilir. Kısmi mol hacimlerini bulmak için örneğin %50 derişimi için tekrar hesap yapmak istersek; bu derişimi karşılayan $X_{H_2SO_4}$ değeri bulunur; bu noktadan eğriye çizilen teğetin eksenleri kestiği noktalar doğrudan H_2O ve H_2SO_4 ün % 50 derişimi için kısmi mol hacimlerini verir.

Kaynaklar

1. Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü lab el kitabı.
2. Tosun, I. (2013). The Thermodynamics of Phase and Reaction Equilibrium. Amsterdam: Elsevier.
3. Fizikokimya Laboratuvar Föyü.

