



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



KMB405 KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI III
DENEY FÖYLERİ

2025

İÇİNDEKİLER

Laboratuvar İzlenesi	3
Güvenlik Kuralları.....	5
Deney 1: Kabuk-Tüp Isı Değiştirici	6
Deney 2: Üç Bileşenli Sistemlerde Faz Dengesi.....	10
Deney 3: Saf Suyun Termodinamik Özelliklerinin İncelenmesi	16
Deney 4: Yakıt Pili.....	19
Deney 5: UV-Vis Spektrofotometre.....	24
Deney 6: Kesikli Reaktör	27

Laboratuvar İzlenesi

Dersin Sorumlu Öğretim Üyeleri: Prof. Dr. Selim CEYLAN

Prof. Dr. Nihan KAYA

Dersin Sorumlu Araştırma Görevlisi: Arş. Gör. Dr. Gülce ÇAKMAN

Ders Saati/Günü: 08.15 – 12.00/Pazartesi

Dersi Alan Öğrencilerin Dikkat Etmesi Gereken Hususlar

- Deney öncesi ve/veya sonrası ilgili öğretim elemanı tarafından yazılı ve/veya sözlü sınav yapılır. Bu sınavdan **40 ve üzeri** not alamayan öğrenci deneye devam edemez ve telafiye kalır. Bunlar dikkate alınarak belirlenen not dönem sonu notuna etki eder.
- Laboratuvara geç kalan öğrenci deneye **kabul edilmeyecektir**. Deney esnasında kurallara uymayan ve laboratuvar düzenini bozan öğrenciler deneye devam edemez, bu öğrencilere rapor yazma ve telafi hakkı verilmez.
- **Her ne sebeple olursa olsun** deney gününü ve/veya saatini değiştirmek için dönem başında ilan edilen gruplarda değişiklik **yapılmayacaktır**. Her grup deney takviminde belirtilen gün ve saatte deneye girmek zorundadır.
- Her deney için, her grubun **bilgisayarda hazırladıkları tek** bir raporu **deneyden sonraki pazartesi günü** sorumlu öğretim elemanına teslim etmeleri gerekmektedir. Raporların geç teslim edilmesi durumunda her gün için 10 puan rapor notundan düşülecektir. 3 günü geçtiği takdirde rapor notu “sıfır” olarak yazılır. Raporlar, **Kapak Sayfası, Deneyin Yapılışı, Veriler ve Hesaplamalar, Değerlendirme ve Yorum, Kaynaklar** başlıklarından oluşmalıdır. Rapor formatına Kimya Mühendisliği Bölümü web sayfasında Belgeler sekmesi içerisindeki “Deney Föyleri ve İzlemleri” sayfasından ulaşabilirsiniz. Birbirinden kopya edildiği belirlenen veya istenen düzene uygun hazırlanmayan raporlar **iade edilip** raporda **düzeltilme** istenebilecektir.
- Dersi alan öğrencilerin, deneylerin **%80’ini** tamamlamaları ve raporlarını zamanında teslim etmeleri gerekmektedir. Geçerli mazeretini koordinatör öğretim üyesine **belgelendirmek kaydıyla** laboratuvara gelemeyen ve/veya telafiye kalan öğrencilere **en çok bir** deney için telafi yapılır. Her ne sebeple olursa olsun **birden** fazla eksik deneyi olan öğrenci laboratuvardan başarısız sayılır ve final sınavına giremez.
- Yıl sonu başarı notu (BN) aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$BN = 0.40 \times [0.50 \times \text{Vize} + 0.10 \times \text{Quiz Ort.} + 0.25 \times \text{Rapor Ort.} + 0.15 \times \text{Proje}] + 0.60 \times [\text{Final}]$$

- Ders ya da deneylerle ilgili sorularınız için Arş. Gör. Dr. Gülce ÇAKMAN (gulce.cakman@omu.edu.tr) ile görüşebilirsiniz.

Deneye gelirken;

- Hesap makinesi getirilmesi,
- **Çıktı halinde** her bir öğrencinin föyünün bulunması,

ELDİVEN-GÖZLÜK-ÖNLÜK (kişisel koruyucu ekipman) getirilmesi, **ZORUNLUDUR**.

Kişisel koruyucu ekipmanları yanında olmayan öğrenci deneye devam edemez.

Deneyler

Deney No	Deney Adı	Deney Yeri	Sorumlu Araştırma Görevlisi
1.D	Kabuk-Tüp Isı Değiştirici	Kimya Müh. Lab. (4.Kat)	Arş. Gör. Dr. Gülce ÇAKMAN
2.D	Üç Bileşenli Sistemlerde Faz Dengesi	MAYMER Laboratuvarı	Arş. Gör. Esmâ Yeliz KAYA
3.D	Saf Suyun Termodinamik Özelliklerinin İncelenmesi	MAYMER Laboratuvarı	Arş. Gör. Esra BAKKALOĞLU
4.D	Yakıt Pili	MAYMER Laboratuvarı	Arş. Gör. Agah YILDIZ
5.D	UV-VIS Spektrofotometre	Kimya Müh. Araştırma Lab. (Zemin Kat)	Arş. Gör. Dr. Buğçe AYDIN
6.D	Kesikli Reaktör	Kimya Müh. Araştırma Lab. (Zemin Kat)	Arş. Gör. Rukan Can SEYFELİ

Deney Takvimi

Deney No	Deney Günü	Deney Saati	Deney Grupları
	29 Eylül	10.00	Bilgilendirme Toplantısı
1.D	6 Ekim	09.00	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10.30	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	13 Ekim	09.00	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10.30	Grup B4/Grup B5/Grup B6
2.D	20 Ekim	09.00	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10.30	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	27 Ekim	09.00	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10.30	Grup B4/Grup B5/Grup B6
3.D	3 Kasım	09.00	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10.30	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	10 Kasım	09.00	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10.30	Grup B4/Grup B5/Grup B6
	15-23 Kasım	VİZE HAFTASI	
4.D	24 Kasım	09.00	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10.30	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	1 Aralık	09.00	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10.30	Grup B4/Grup B5/Grup B6
5.D	8 Aralık	09.00	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10.30	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	15 Aralık	09.00	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10.30	Grup B4/Grup B5/Grup B6
6.D	22 Aralık	09.00	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10.00	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	29 Aralık	09.00	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10.30	Grup B4/Grup B5/Grup B6

Güvenlik Kuralları

1. Laboratuvara girişlerde laboratuvar önlüğü, eldiven ve koruyucu gözlük takmak zorunludur.
2. Laboratuvara gelirken deney föy kitapçığının getirilmesi zorunludur.
3. Laboratuvar içerisinde yiyecek, içecek ve kişisel eşyalar bulundurulmamalıdır.
4. İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tüm uyarı ve talimatlara eksiksiz uyulmalıdır.
5. Kimyasal/cam malzemeler talimatlara aykırı şekilde kullanılmamalıdır.
6. Deney sırasında meydana gelebilecek kazalar, dökülmeler veya arızalar derhal laboratuvar sorumlusuna bildirilmelidir.
7. Acil durum ekipmanlarının (yangın söndürücü, göz duşu, acil çıkış) yerlerini bilmek ve gerektiğinde kullanmak konusunda bilgi sahibi olunmalıdır.
8. Kimyasal atıklar uygun şekilde ve laboratuvar kurallarına göre bertaraf edilmelidir.
9. Laboratuvar cihazları yalnızca eğitim kapsamında ve laboratuvar sorumlusundan izin alarak kullanılmalıdır.
10. Tehlikeli reaksiyonlar, açık alev veya basınçlı sistemler ile çalışırken ekstra dikkat gösterilmelidir.
11. Laboratuvar çalışmalarına uygun olmayan davranışlarda bulunulmamalı ve başkalarının güvenliği tehlikeye atılmamalıdır.
12. Deney bitiminde çalışma alanı temizlenmeli, kullanılan cam ve ekipmanlar uygun şekilde toplanmalıdır.

Deney 1: Kabuk-Tüp Isı Değiştirici

Deneyin Amacı

1. Kabuk-tüp ısı değiştiricinin çalışma prensibini incelenmesi ve deneysel olarak ısı transferi performansını değerlendirilmesi.
2. Sıcak akışkandan soğuk akışkana geçen ısı transferinin hesaplanarak kabuk-tüp ısı değiştiricideki enerji denklerinin kurulması.

Teorik Bilgi

Kabuk-tüp Isı değiştiriciler farklı sıcaklıklara sahip iki akışkan arasında, akışkanların birbiri içerisinde karışmalarına müsaade etmeden, ısı transferinin gerçekleştirildiği cihazlardır. Silindirik bir gövde (kabuk) içine yerleştirilmiş, bir veya birden fazla demet hâlinde düzenlenmiş borulardan (tüpler) oluşur. Bir akışkan boruların içinden, diğer akışkan ise kabuk tarafında, boruların dış yüzeyinden akarak ısı transferi gerçekleşir. Endüstride en yaygın kullanılan ısı değiştirici tipidir. Kimya, petrokimya, enerji, gıda ve proses endüstrilerinde ısıtma-soğutma, yoğunlaştırma ve buharlaştırma işlemlerinde kullanılır.

Boruların içinde akan akışkan ile kabuk tarafındaki akışkan arasında iletim (conduction) ve taşınım (convection) yoluyla ısı transferi meydana gelir. Akışkanların akış yönü paralel akış, zıt akış veya karma akış olabilir. Zıt akışlı (counter-current) düzenlemede sıcaklık farkı daha yüksek tutulabildiği için genellikle daha verimlidir.

Avantajları

- Yüksek basınç ve sıcaklıklarda çalışabilir.
- Büyük ısı transfer yüzeyi elde edilebilir.
- Modüler tasarım ile farklı uygulamalara uyarlanabilir.

Isı değiştiricide bir akışkandan diğerine aktarılan ısı miktarı:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

Burada:

m: Kütlesel debi (kg/s)

C_p : Özgül ısı kapasitesi (kJ/kg·K)

ΔT : Sıcaklık değişimi (K)

İdeal durumda alınan ısı verilen ısıya eşittir. Deneysel uygulamada enerji denge hatası genellikle %5–10 içinde olmalıdır.

Teorik olarak ısı değiştiricide aktarılabilecek ısı miktarı ise:

$$Q = U \times A \times \Delta T_{LM}$$

Burada:

U: Toplam ısı transfer katsayısı (W/m²·K)

A: Isı transfer yüzeyi alanı (m²)

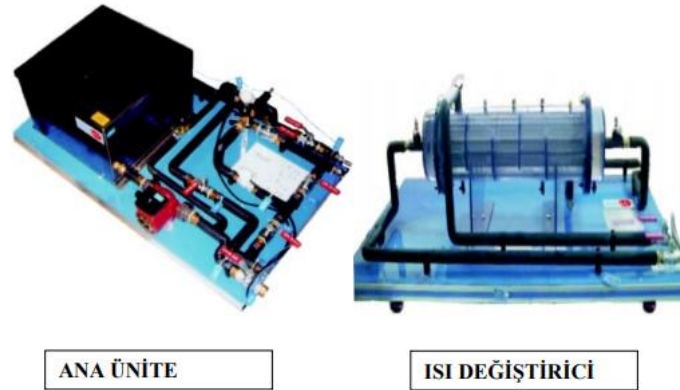
ΔT_{lm} : Logaritmik ortalama sıcaklık farkı (LMTD) (K)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)}$$

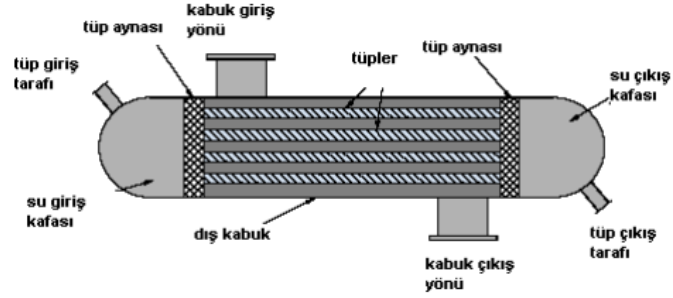
Bu denklemde ΔT değerleri paralel ve zıt akışa göre değişmektedir.

Deney Düzeneği

Şekil 1 ve Şekil 2’de kabuk tüp ısı değiştirici deney düzeneği ve genel görünümü verilmiştir.



Şekil 1. Kabuk tüp ısı değiştirici deney düzeneği



Şekil 2. Kabuk tüp ısı değiştirici

Deneyin Yapılışı

1. Isıtıcı tankı ve soğuk su tankını üst seviyesine kadar su ile doldurunuz.
2. Paralel/zıt akış için gerekli vana ayarlamalarını yapınız.
3. Cihazı ve soğuk su tankını açınız.
4. Tank sıcaklığı için istenilen sıcaklık değerini giriniz. (ST16)
5. Sıcak su akış hızını (SC1) ayarlamak için pompa gücünü giriniz ve deneyi başlatınız.

Deneyisel Veriler ve Hesaplamalar

1. Deney sonunda sonuç tablosuna sıcaklık ve akış hızı değerlerini yazınız.
2. Bu sonuçlardan yararlanarak sıcak sudan aktarılan ısı transferini (q_h), soğuk su tarafından alınan ısıyı (q_c), ısı kaybını (q_l), logaritmik ortalama sıcaklık farkını (ΔT_{lm}) ve toplam ısı aktarım kat sayısını (U) bulunuz.

Çizelge 1. Deneyisel Sonuçlar

	Paralel Akış	Zıt Akış
ST16		
ST...		
ST...		
ST...		
ST...		
SC1		
SC2		
Tank Hacmi	5,5 L	5,5 L

Kaynaklar

Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007). Fundamentals of heat and mass transfer (6th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Holman, J. P. (2010). Heat transfer (10th ed.). New York, NY: McGraw-Hill.

Coulson, J. M., Richardson, J. F., Backhurst, J. R., & Harker, J. H. (1999). Chemical engineering: Vol. 6. Design (3rd ed.). Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.

Deney 2: Üç Bileşenli Sistemlerde Faz Dengesi

Deneyin Amacı

İkisi birbiri ile karışmayan veya kısmen karışan ve üçüncüsü diğer iki çözücü içerisinde tam karışan üç bileşenli sistem için faz dengesinin çalışılması ve faz diyagramının incelenmesidir.

Teorik Bilgi

Element ya da bileşik halindeki üç madde karıştırıldığında bu maddelerden herhangi ikisi ya da üçü arasında basınç, sıcaklık ve bileşime bağlı olarak yeni kimyasal bileşikler oluşabilmektedir. Başlangıçta alınan maddeler yanında yenilerinin de ortaya çıktığı böyle bir sistem bir fazlı olabildiği gibi çok fazlı da olabilmektedir. Sistemlerin serbestlik derecesi içerdikleri bileşen ve faz sayısına göre değişmektedir. Kimyasal reaksiyonun söz konusu olmadığı sistemlerde faz ilişkisi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$F = C - P + 2 \dots \dots \dots (1)$$

Burada F serbestlik derecesi, C bileşen sayısı, P sisteme bulunan faz sayısı, 2 ise sıcaklık ve basınç sabitini göstermektedir. Üç bileşenli sistemlerin serbestlik dereceleri içerdikleri fazların sayılarına bağlı olarak değişir. Buna göre 1, 2 ve 3 fazlı bölgelerde serbestlik dereceleri Gibbs'in faz kuralından sırasıyla 4, 3 ve 2 olarak bulunur. Bu sistemlerde sıcaklık, basınç ve üç bileşenden herhangi ikisinin değişimi bağımsız değişkenleri oluşturmaktadır. Bu durumda bir fazlı bölgeleri iki boyutlu uzayda, iki fazlı bölgeleri üç boyutlu uzayda ve üç fazlı bölgeleri ise dört boyutlu uzayda çalışmak/çizmek gerekir.

Çizim zorluğundan dolayı, üç bileşenli faz diyagramları genellikle sabit basınç ve sıcaklıkta çizilir. Dış etkilerin sabit tutulduğu sistemlerde serbestlik dereceleri 2 eksiltilerek 1, 2 ve 3 fazlı bölgelerde sırasıyla 2, 1 ve 0 olarak bulunur. Sabit basınç ve sıcaklıkta üç bileşenli sistemlerin faz diyagramlarını iki boyutlu uzayda yani bir düzlem üzerine çizmek için eşkenar üçgen ya da ikizkenar üçgen (dik açılı) şeklinde grafik çizimlerinden faydalanılabilir. Denge ilişkilerinin oluşturulması ve yorumlanmasında sıkça eşkenar üçgen çizimlerinden faydalanılır ("Roozeboom" diyagramları) [1- 2]. Eşkenar üçgen şeklinde hazırlanan örnek bir çizim Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu tür çizimlerde sabit basınç ve sıcaklık altında, eşkenar üçgenin her bir köşesine bir bileşen saf olarak yerleştirilir ve üçgenin her bir kenarı 100 eşit parçaya bölünerek bileşenlerin yüzdesi mol veya ağırlık cinsinden verilir. Örneğin Şekil 1 üzerinde

Şekil 1’de yer alan M_1 noktası üç bileşenli sistemi göstermektedir. M_1 noktasındaki bileşenlerin yüzdesi bu noktadan üçgen kenarlarına çizilen paralel doğruların kenarlarını kestiği yerlerden okunarak belirlenir. Burada kloroform (C) bileşeninin konsantrasyonu KM_1N doğrusu ile belirlenebilir ve bu doğru üzerinde kloroform konsantrasyonu sabittir. Benzer şekilde aseton (B) bileşeninin konsantrasyonu LM_1P doğrusu ile belirlenebilir. Su (A)

bileşeninin konsantrasyonu RM_1O doğrusu ile belirlenir. Buna göre M_1 sistemi % 20 su (A), % 40 aseton (B) ve % 40 kloroform (C) bileşiminden oluşmaktadır. Eğer Şekil 1’de M_2 noktası üzerinde gösterildiği gibi üçgenin kenarlarına dik doğrular çizilirse, çizilen bu üç dik doğrunun toplamı üçgenin yüksekliğine eşittir [1-4].

Deney Malzemeleri

Deneyisel çalışma kapsamında incelenecek olan üç bileşenli sistem asetik asit-kloroform-su sistemidir. Deneyde ağız kapaklı erlenler, ayırma hunileri ve titrasyon için büretler kullanılacaktır. Denge bağlantı doğrularının çizilebilmesi için 1 M NaOH ve indikatör olarak fenolftalein çözeltileri gereklidir.

Deneyin Yapılışı

1. Belirlenen kompozisyonlarda (M_1 , M_2 ve M_3) asetik asit-kloroform-su karışımlarını toplam 20 ml olarak hazırlayınız.
2. Karışımları ayırma hunisine aktararak kuvvetlice çalkalayınız ve fazların dengeye gelmesini bekleyiniz.
3. Faz ayrımları gerçekleştikten sonra ayrılan iki fazın hacim ve kütlelerini ölçünüz.
4. Fazlardaki asetik asit miktarını 1 M NaOH yardımı ile belirleyiniz.

Güvenlik: Bu deneyde kimyasal olarak asetik asit ve kloroform kullanılacaktır. Asetik asit güçlü bir organik asit olup cilt, göz ve solunum yollarına zarar verebilir; ayrıca aşındırıcı ve yanıcıdır. Kloroform ise toksik ve kanserojen etkileri bilinen bir solventtir. Kloroform buharlarının solunmaması için çeker ocakta çalışılması önerilir. Deney sırasında eldiven, laboratuvar önlüğü ve koruyucu gözlük kullanılmalıdır. Tehlikeli ve aşındırıcı yapıları nedeniyle, kimyasalları kullanırken cilt ve göz temasından kaçının. İyi havalandırılan bir ortamda çalışmak, olası buhar maruziyetini azaltır. Kimyasallarla herhangi bir cilt veya göz teması olması durumunda, temas eden bölgeyi bol suyla yıkayın. MSDS formlarını [5] [6] inceleyerek her iki kimyasalın risklerini ve ilk yardım önlemlerini önceden öğrenmek güvenli çalışma için esastır.

Deneyisel Veriler ve Hesaplamalar

T= °C

P= atm

Bileşen	Asetik Asit	Kloroform	Su
Yoğunluk			

Tablo 1. Denge doğruları üzerinde seçilen noktalardaki kompozisyonların oluşturulması

	Bileşen					
	Asetik Asit		Kloroform		Su	
	Kütle (%)	Hacim (ml)	Kütle (%)	Hacim(ml)	Kütle (%)	Hacim (ml)
M1						
M2						
M3						

Titrasyonda kullanılan asetik asit-su-kloroform karışımı: **1 ml**

Titrasyon için kullanılan baz ve konsantrasyonu: **NaOH, 1 M**

Tablo 2. Denge doğrusu üzerinde seçilen noktalardaki alt ve üst bileşimlerin belirlenmesi

Nokta Adı	Üst Faz			Alt Faz		
	Hacim (ml)	Kütle (g)	Harcanan baz (ml)	Hacim (ml)	Kütle (g)	Harcanan baz (ml)
M1						
M2						
M3						

Kaynaklar

- [1] Sarıkaya Y., “Fizikokimya”, Gazi Kitabevi, Ankara, 1993
- [2] R.H. Perry, D. W. Green, Perry’s Chemical Engineers Handbook, 8th Ed., McGraw-Hill, New York (2007)

[3]Ankara Üniversitesi, Açık Ders Notları,

https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/56057/mod_resource/content/0/8.%20Hafta.pdf,

[4] C. J. Geankoplis, Transport Processes and Unit Operations, 3rd E., John Wiley & Son, New York (1999)

[5] Safety Data Sheet for Acetic acid,

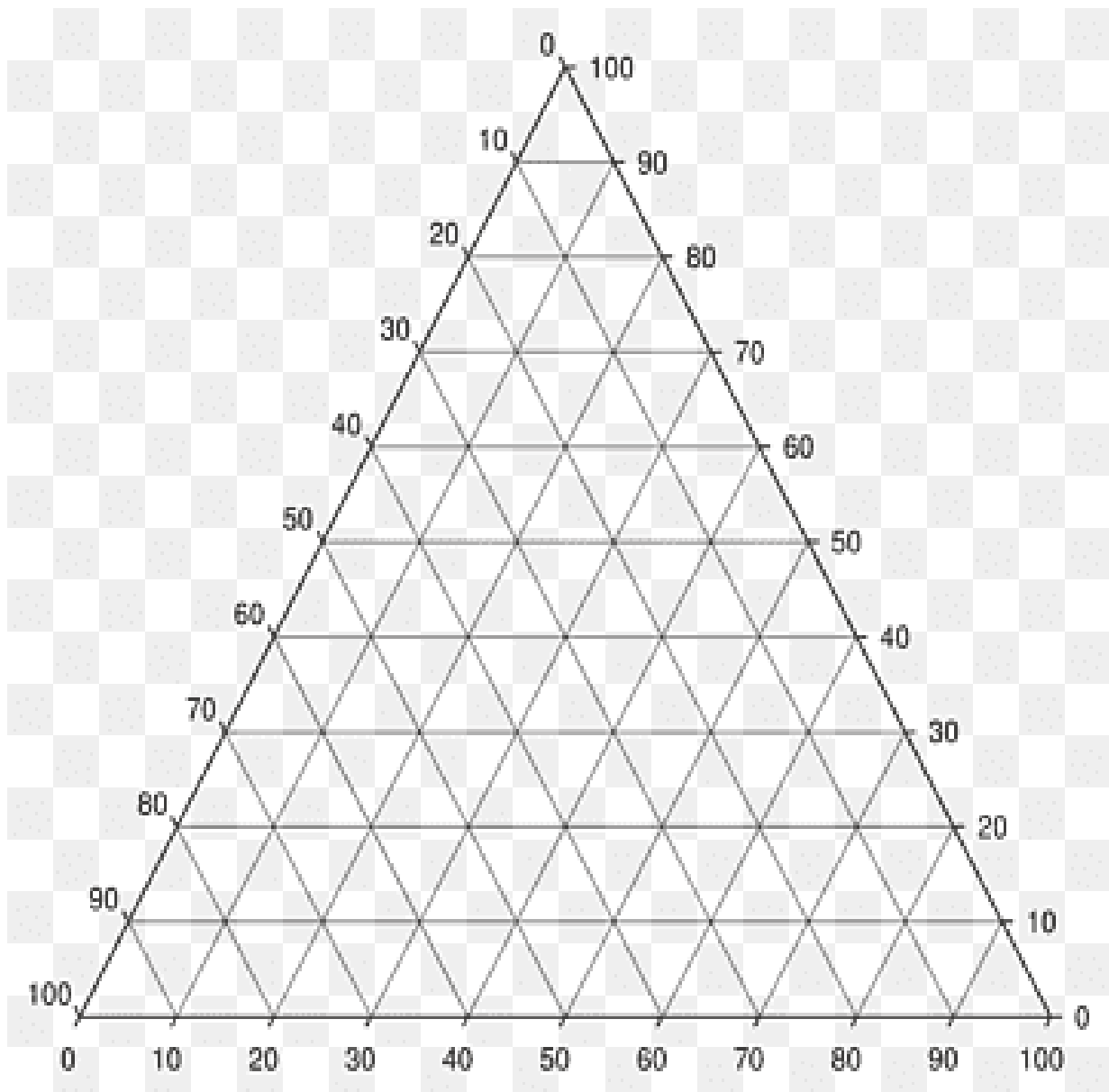
https://www.merckmillipore.com/TR/tr/product/msds/MDA_CHEM-100063, (Erişim: 13.09.2024)

[6] Safety Data Sheet for Chloroform,

https://www.merckmillipore.com/TR/tr/product/msds/MDA_CHEM-107024,

(Erişim:13.09.2024)

EK-1



Deney 3: Saf Suyun Termodinamik Özelliklerinin İncelenmesi

Deneyin Amacı

Saf su için buharlaşma entalpisi ve buharlaşma entropisi gibi termodinamik özellikleri Clausius-Clapeyron bağıntısı ile hesaplamaktır.

Teorik Bilgi

Sıvılar her sıcaklıkta buharlaşırlar. Yani, her sıcaklıkta sıvıdaki atom ya da moleküller, gaz fazına geçme eğilimindedir. Moleküller yeterli enerjiye sahipse sıvı fazı terk ederek gaz faz geçecek ve bu moleküllerin bir kısmı çarpışmalarda enerjilerini kaybettikten sonra sıvıya geri dönecektir. Sıcaklık arttıkça buharlaşma artar, böylelikle buhar basıncı da artmış olur. Kapalı kaptaki her sıvı, buharlaşmadan kaynaklı üzerinde oluşan buhar basıncıyla dengededir.

Sıvıların buhar basıncını etkileyen bir diğer faktör, sıvının kimyasal yapısıdır. Aynı sıcaklıkta, bir sıvıdaki tüm moleküller aynı kinetik enerjiye sahiptir. Moleküller arası çekim kuvveti buharlaşma hızını etkiler. Genellikle molekülün boyutu ve karmaşıklığı arttıkça çekim kuvveti artar.

Saf bir maddenin buhar ve sıvı fazlarından oluşan bir sistem için bu denge durumu maddenin buhar basıncı ile doğrudan ilişkilidir. Saf maddenin buhar basıncı Clausius-Clapeyron bağıntısıyla verilen sıcaklığa göre doğrusal olmayan bir şekilde değişir:

$$\frac{d \ln P}{d(1/T)} = \frac{-\Delta H^{lv}}{R \Delta v} \quad (1)$$

Denklemin doğrusallaştırılmış hali:

$$\ln P_{vap} = \frac{-\Delta H_{vap}}{R} \frac{1}{T} + \frac{\Delta S_{vap}}{R} \quad (2)$$

İdeal gazlarda moleküler arası etkileşimlerin olmadığı varsayılır ve sıkıştırılabilirlik faktörü “1” kabul edilir. Öte yandan, bir sıvının hem sıvı hem de buhar fazlarının P-V-T davranışları geniş bir sıcaklık ve basınç aralığını kapsamalıdır. Bu deneyde, sıvının buhar fazı için 2 farklı varsayım kullanılacaktır. Birincisi, buhar fazının ideal gaz davranışına uyduğu varsayılacaktır. İkinci durumda ise, buharın gerçek gaz olduğu varsayılar, Van der Waals hal denklemi

kullanılarak buhar basıncı hesaplanacaktır.

Van der Waals denklemi:

$$P = \frac{R \times T}{\left(\frac{V}{n} - b\right)} - a \left(\frac{n}{V}\right)^2 \quad (3)$$

$$a = \frac{27 \times (R \times T_c)^2}{64 \times P_c} \quad (4)$$

$$b = \frac{(R \times T_c)}{8 \times P_c} \quad (5)$$

Deney Malzemeleri

Isıtıcı, mezür, spor, beher (1000 mL), termometre

Deneyin Yapılışı

1. 1000 mL'lik bir beher, neredeyse tamamen dolana kadar distile su ile doldurulur.
2. 10 mL'lik dereceli silindir, üstten 2,5 cm'lik bir boşluk bırakılarak damıtılmış su ile doldurulur.
3. Açıklığın üzerine bir parmak yerleştirilir ve ardından dereceli silindir hızla ters çevrilir ve yine distile su ile doldurulmuş behere yerleştirilir. Bunun sonucunda ters çevrilmiş silindirin tepesinde bir hava kabarcığı tutulur.
4. Dereceli silindir tamamen kaplanana kadar beher tekrar distile su ile doldurulur.
5. Termometre behere yerleştirilir.
6. Su, bir ısıtıcı kullanılarak 75 °C'ye ısıtılır.
7. İstenilen sıcaklık değerine ulaşıldıktan sonra ısıtıcı kapatılır.
8. Sıcaklık değerindeki her 5 °C'lik düşüşte, silindirdeki hava seviyesi okunur ve kaydedilir.
9. Sıcaklık 50 °C'nin altına düştüğünde beher etrafına buz eklenerek soğutma işlemi yapılır ve 10 °C'nin altında bir sıcaklık değeri elde edilir.

Güvenlik: Sıcak su ve cam malzemelerin kırılma riski açısından dikkatli olunmalıdır.

DeneySEL Veriler ve Hesaplamalar

1. Hem ideal gaz hem de Van der Waals denklemi ile buhar fazın basıncını hesaplanır.

2. Clasius-Clapeyron denkleminin doğrusallaştırılmış hali kullanılarak buharlaşma entalpisi ve entropisi hesaplanır.
3. Her iki durumda elde edilen sonuçlar kıyaslanır.

Kaynaklar

1. <http://courses.che.boun.edu.tr/che302/Chapter%206.pdf> , Boğaziçi Üniversitesi Che 302 Laboratuvarı Deney Föyleri, Ziyaret Tarihi: 05.10.2021.

Deney 4: Yakıt Pili

Deneyin Amacı

Yenilenebilir enerji sistemleri kapsamında, **PEM (Proton Exchange Membrane: Proton Değişim Zarı)** yakıt pilleri, **PEM elektrolizörleri** ve **güneş panelleri** gibi çeşitli elektriksel enerji dönüşüm sistemlerinin çalışma prensipleri, performans karakteristikleri ve enerji üretim mekanizmaları detaylı olarak tanıtılacaktır. Deneyin temel amacı, öğrencilerin bu sistemlerin teorik bilgilerini pratiğe dökerek elektriksel enerji üretim süreçlerini anlamalarını sağlamaktır. Tüm deneyler, laboratuvar ortamında **Heliocentris 392 Fuel Cell Professional** test sistemi kullanılarak gerçekleştirilecektir (Şekil 1). Bu sistem hem yakıt pili hem de elektrolizör deneylerini destekleyen gelişmiş bir platform olup, sistem parametrelerinin gerçek zamanlı izlenmesini, performans karakteristiklerinin ölçülmesini ve farklı yük koşullarında sistem davranışlarının gözlemlenmesini mümkün kılmaktadır. Ayrıca, güneş paneli deneylerinde fotovoltaiik dönüşüm verimliliği, ışık şiddetine ve yük değişimlerine bağlı olarak ölçülecek ve analiz edilecektir.

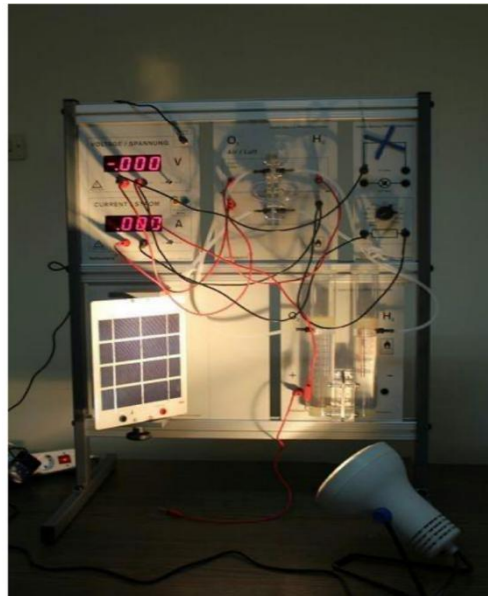
Teorik Bilgi

Yakıt pilleri, elektrik üretmek veya gerektiğinde depolamakta kullanılabilecek elektriksel enerji dönüşüm sistemlerinin bir parçasıdır¹. Bu deneyde incelenen yakıt pili, düşük sıcaklıklarda çalışan Polimer Elektrolit Membran (PEM) yakıt pilleridir. Anotta hidrojen oksidasyon yarı tepkimesi, katotta oksijen indirgenme yarı tepkimesi gerçekleşmektedir. Deney sistemimizde, iki adet tekli yakıt hücresi bulunmaktadır. Bu iki yakıt hücresi gerektiğinde paralel veya seri bağlanabilmektedir. PEM yakıt pilinin anot tarafında, gaz difüzyon katmanı (GDL) ve bu katmanın membrana bakan yüzeyinde karbon destekli bir katalizör bulunmaktadır.

Bu katalizör ile hidrojen protonlarına ayrışıp, seçici geçirgen katı polimer elektrolit membrandan geçerek protonlar katot kısmına ulaşır. Membran, elektronları geçirmediği için elektronlar dış devreden dolaşarak pilin katot bölümüne gelir ve oksidant oksijen ile birleşip su molekülünü oluşturur. Bu elektrokimyasal proses sürecinde; su, ısı ve elektrik açığa çıkar. Yakıt pilinin temel görevi, hidrojen gibi bir enerji taşıyıcısını kullanarak istenen güçte elektriği üretebilmektir². Heliocentris sisteminde, bir lamba aracılığıyla güneş panelinin elektrik üretmesi sağlanmaktadır. Güneş panelinden elde edilen elektrik, PEM elektrolizörüne beslenmektedir. PEM elektrolizörü, deiyonize suyu parçalayarak belirli bir debide hidrojen ve oksijen üretmektedir. Elde edilen hidrojen ve oksijen gazları, PEM yakıt piline beslenmektedir. PEM yakıt piline bağlanan yük (dirençler) sayesinde yakıt pilinin performans eğrileri (güç ve polarizasyon), voltmetre ve ampermetre aracılığıyla saptanmaktadır.

Deney Düzeneği

Heliocentris 392 Fuel Cell Professional Test Sistemi, 1 L deiyonize su, piset, lamba, seramik dirençler, multimetre, termometre, deney veri kâğıdı (birkaç tane boş A4 kâğıt), cetvel, hesap makinesi.



Şekil 1. Heliocentris 392 Fuel Cell Professional Test Sistemi

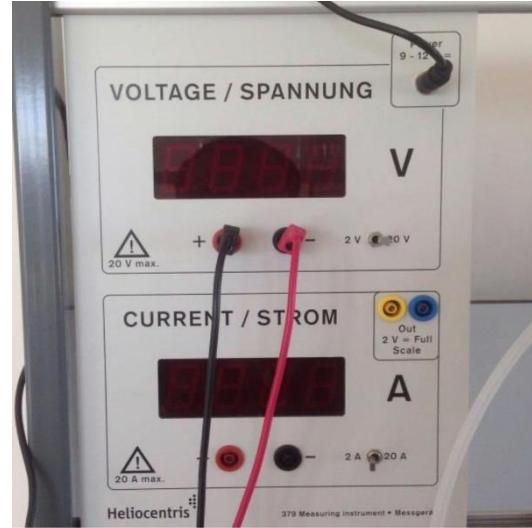
Deneyin Yapılışı

a. Güneş Panelinin Test Edilmesi

1. Güneş paneli gerilimlerini kaydedebilmek için güneş panelinin artısı, voltmetrenin artısına bağlanır; güneş panelinin eksisi, voltmetrenin eksisine bağlanır.
2. Lamba kapalı iken güneş panelinin gerilimi ölçülür ve deney veri kağıdına kaydedilir.
3. Lamba açıldığında, güneş panelinin gerilimi seçilen üç farklı lamba konumu ($30^\circ, 45^\circ, 90^\circ$) ve üç farklı uzaklıklar (10 cm, 20 cm, 30 cm) için kaydedilir.



Şekil 2. Güneş Paneli



Şekil 3. Voltmetre ve Ampermetre

b. PEM Elektrolizörünün Çalıştırılması

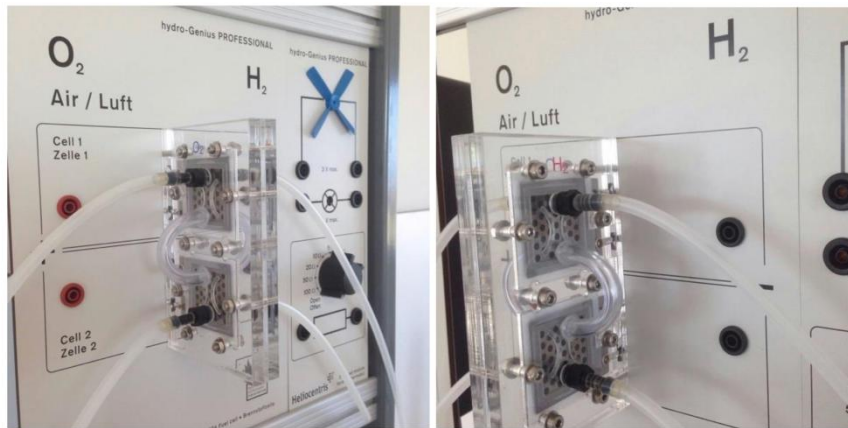
1. Siyah ve kırmızı bağlantı kabloları kullanılarak elektrolizörün artısı, güneş panelinin artısına; elektrolizörün eksisi, güneş panelinin eksisine bağlanır.
2. PEM elektrolizör hücresine (Şekil 4) bağlı su tanklarının sıfır seviyesinde olup olmadığı kontrol edilir. Su seviyeleri farklı bir konumda ise, pisete doldurulmuş deiyonize su ile tanktaki su seviyeleri sıfırlanır.



Şekil 4. PEM Elektrolizör hücresi

c. PEM Yakıt Piliinin Çalıştırılması

1. Tekli hücre testi için güneş paneli, elektrolizör, PEM yakıt pili, voltmetre, ampermetre bağlanır.
2. Tekli PEM yakıt piline (Şekil 5) bağlanan dirençler değiştirilerek sistemin performansı (gerilim ve akım değerleri) kaydedilir.



Şekil 5. PEM Yakıt Pili hücreleri

Deneyisel Veriler ve Hesaplamalar

1. Güneş panelinden elde ettiğiniz gerilim uzaklık eğrilerini tablo ve grafik halinde çiziniz.
2. Heliocentris'e entegre dirençleri kullanarak tekli yakıt pili hücresi için polarizasyon ve güç eğrilerini elde ediniz. Tablo ve grafik halinde rapora ekleyiniz.
3. Size sağlanacak seramik dirençler ile adımı tekrar ediniz.
4. Heliocentris sisteminde kullanılan her bir malzemenin (örneğin; PEM yakıt pili ve PEM elektrolizör bileşenleri) özelliğini rapora ekleyiniz.

Kaynaklar

- 1: Karaoğlu, M. U., & Kuralay, N. S. (2014). PEM yakıt hücresi modeli. *Mühendis ve Makina*, 55(650), 37–47.
- 2: Lazarou, S., Pyrgioti, E., & Alexandridis, A. T. (2009). A simple electric circuit model for proton exchange membrane fuel cells. *Journal of Power Sources*, 190(2), 380–386.

Deney 5: UV-Vis Spektrofotometre

Deneyin Amacı

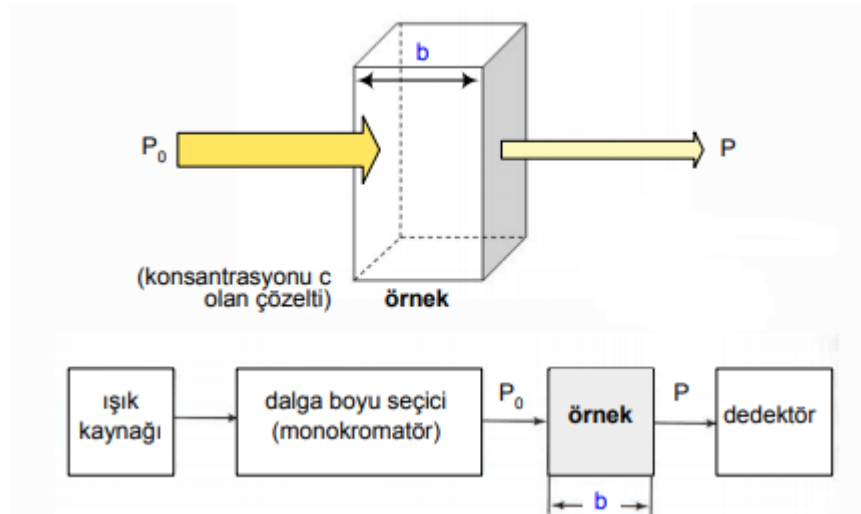
UV-Vis spektrofotometre kullanarak bilinmeyen konsantrasyondaki metilen mavisi çözeltisinin konsantrasyonunun bulunması.

Teorik Bilgi

UV-Vis spektrofotometre daha çok kantitatif amaçla kullanılan bir spektroskopik yöntemdir. Cihaz tek veya çift ışın demetli olabilir. UV bölge için döteryum lamba, görünür bölge için tungsten lamba ışın kaynağı olarak kullanılmaktadır. Kaynaktan gelen ışın bir ışın bölücü yardımıyla iki eşit şiddete bölünür ve biri referans çözeltiden diğeri numune çözeltisinden geçer. Geçen ışınların şiddetleri ölçülerek absorbansa çevrilir.

Bir maddenin çözeltisinden polikromatik bir ışın demeti geçirilirse, demette bulunan bazı ışınlar madde tarafından absorplanır ve demet çözeltiden şiddetinden bir miktar kaybederek çıkar. Bunun sonucu çözeltiye P_0 şiddetinde giren ışın demeti, çözeltiyi P şiddetinde terk eder (Şekil 1). Işın demetinin çözeltiden geçme oranı P/P_0 olur. Bu orana geçirgenlik (T) denir ve daha çok aşağıda verilen şekilde yüzde geçirgenlik olarak ifade edilir.

$$\% T = \frac{P}{P_0} \times 100$$



Şekil 1. Bir ışın demetinin absorplayıcı çözeltiden geçerken zayıflaması

Bir maddenin absorbansı A ile gösterilir ve aşağıda verilen şekilde formüle edilir. Geçirgenliğin tersine ışın demetinin şiddeti arttıkça absorbans da artar.

$$A = \log \frac{P_0}{P} = -\log T$$

Absorbans, ışının çözelti içinde aldığı yol (b) ve çözeltide absorpsiyon yapan taneciklerin konsantrasyonu (c) ile doğru orantılıdır. Buna göre a (absorptivite) bir sabit olmak üzere absorbans aşağıdaki şekilde de verilebilir.

$$A = abc$$

Bağıntıdan da görülebileceği gibi absorptivitenin birimi, b ve c için kullanılan birimlere bağlıdır. Konsantrasyon mol/L ve hücre kalınlığı cm olarak alındığında, absorptiviteye "molar absorptivite" denir ve ϵ harfi ile gösterilir. Bu durumda absorbans ifadesi aşağıdaki şekli alır. Bu eşitlik *Lambert-Beer* yasasının matematiksel ifadesi olarak bilinir.

$$A = \epsilon bc$$

Bir absorpsiyon cihazının diğer parçalarında olduğu gibi, numune kabı veya hücreleri ile çalışılan spektrum bölgesinde ışını geçiren maddelerden yapılmalıdır. Örneğin, UV bölgede kuvars kullanılırken, görünür bölgede plastik küvetler kullanılır. Silikat camlar ise 350-2000 nm aralığındaki bölgede kullanılabilir. Küvetlerde, ışının yansımaları en aza indirmek için yüzeyler ışın geliş yönüne mükemmel dik olmalıdır. UV ve görünür bölgede en yaygın kullanılan hücrelerin ışın yolları 1 cm'dir.

Absorbans verilerinin kalitesi, hücrelerin kullanım şekli ve bakımına göre değişir. Yüzeylerdeki parmak izleri ve kirler hücrelerin geçirgenliğini önemli oranda etkiler. Bu nedenle kullanılmaya başlamadan önce ve sonra hücreleri yıkamak esastır ve kullanırken de hücrelerin pencere yüzeylerine dokunulmamalıdır.

Deney Malzemeleri

UV/Vis spektrofotometre, küvet, pipet, balon joje, metilen mavisi çözeltisi, saf su.

Deneyin Yapılışı

1. Kalibrasyon eğrisi oluşturmak için en az 5 farklı konsantrasyonda metilen mavisi çözeltisi hazırlanır.
2. Cihaz ölçüm yapılacak dalga boyuna ayarlanır.
3. Küvete çözücü konularak 'Blank' işlemi yapılır.

4. Hazırlanan standart çözeltiler küvete sırasıyla konularak *Absorbans* değerleri okunur.
5. Küvete konsantrasyonu bilinmeyen numune çözeltisi konularak ölçüm alınır.

Güvenlik: Boyar maddelerin taşınması ve kullanımı sırasında dökülmelere karşı dikkatli olunmalıdır. Yüzeyle yayılan boyar maddeler kalıcı leke ve kirlilik bırakabilir.

Deneyel Veriler ve Hesaplamalar

1. Standart çözeltilerin absorbans değerleri tabloya eklenir.

Tablo 1. Deney verileri

Konsantrasyon, C	Absorbans, A

2. Konsantrasyon-Absorbans grafiği çizilerek doğru denklemi belirlenir.
3. Denklem yardımıyla konsantrasyonu bilinmeyen çözeltinin konsantrasyonu hesaplanır.

Kaynaklar

Douglas A. Skoog, F. James Holler, Stanley R. Crouch, Enstrümantal Analiz İlkeleri (Çev. Esma Kılıç, Hamza Yılmaz), 6. Baskı, Bilim Yayınevi, Ankara, 2013.

Turgut Gündüz, İnrümental Analiz, 11. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 2007.

Deney 6: Kesikli Reaktör

Deneyin Amacı

1. Kesikli reaktör verilerini kullanarak tepkime için hız yasasının saptanması.
2. Tepkime ve hız sabitinin sıcaklık ile değişiminin incelenmesi.

Teorik Bilgi

Kimyasal kinetik, reaksiyon hızları ve mekanizmaları ile ilgili çalışmaları içerir [1]. Kimyasal reaksiyon mühendisliği, kimyasal kinetiği reaktörlerle birleştirir [1]. Reaktör, hammaddelerin tepkimeyle istenilen ürüne dönüşmesini sağlayan bir ekipman olarak tanımlanabilir [2].

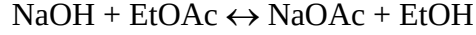
Reaksiyon hızı; belirli bir kimyasal bileşenin, ürün oluşturmak üzere ne hızla tüketildiğini ifade eder. Bir ya da daha fazla kimyasal madde kendi özelliklerini kaybeder ve bileşen içindeki atom sayısının değişmesi ve/veya bu atomların diziliminin değişmesi sonucu yeni bir kimyasal oluşursa, bu olaya kimyasal reaksiyon denir. Kimyasal değişim için kullanılan bu klasik yaklaşımda, kimyasal reaksiyon meydana gelirken toplam kütlenin azalıp artmadığı, sabit kaldığı varsayılır [1].

Kimyasal kinetik ve reaktör tasarımı, kimyasal madde üretim proseslerinin kalbidir. Reaktörler, içlerinde meydana gelen reaksiyonların tipine göre çeşitli adlar alır. Polimerleşme reaksiyonlarının meydana geldiği reaktörlere polimerizasyon reaktörü; nükleer reaksiyonların meydana geldiği reaktörlere nükleer reaktör, kimyasal reaksiyonların meydana geldiği reaktörler kimyasal reaktör olarak isimlendirilir. Genellikle sıvı- katı veya sıvı -sıvı karışımlarının olduğu reaktörler homojen karışımı sağlamak için karıştırıcılı olurken, gaz fazı reaksiyonlarının olduğu reaktörlerde karıştırıcı olmaz [1]. İdeal reaktörler kesikli ve sürekli olmak üzere ikiye ayrılırlar [1, 2, 3]. Sürekli reaktörler ise, PAR ve DKTR olmak üzere iki çeşittir [2].

Endüstriyel kimyasal proseslerde ham maddelerin istenilen ürünlere dönüştürülmesi işlemi bütün prosesin en önemli ekipmanı olarak düşünebileceğimiz reaktörlerde yürütülmektedir. Bu nedenle, kimyasal reaktörlerin tasarımı ve çalıştırılması endüstriyel uygulamanın başarılı olması için oldukça önemlidir.

Kesikli reaktörler çoğunlukla düşük ürün kapasitelerinde kullanılmaktadır. Örneğin iş gücü maliyeti ürünün birim maliyetinin küçük bir oranını oluşturmaktadır. Kesikli reaktörlerde reaktantlar reaktöre beslenir ve tepkime reaktörün çalışma koşullarında belirli zamanda

gerçekleştirildikten sonra reaktör boşaltılır. Kesikli reaktörlerde reaktant ve ürünlerin kompozisyonu zaman ile değişmektedir. Bu deney için seçilen tepkime etil asetat ve kostik sodanın sabunlaşma tepkimesidir:



Bir çözeltinin elektriksel iletkenliği iyonların sayısına, büyüklüğüne, yüküne ve aynı zamanda çözücünün viskozitesi gibi bazı özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle bir çözeltide kimyasal tepkimeler yoluyla iyon türlerinde ve miktarında değişiklik olursa çözeltinin iletkenliği değişir. Reaksiyon kesikli bir reaktörde gerçekleştirildiğinde, iletkenlik verileri kullanılarak konsantrasyona geçilebilir

Deney Malzemeleri

Su Banyosu, Erlen, 5ml pipet, büret, kronometre, beher, iletkenlik ölçer

Deneyin Yapılışı

1. Çeşitli konsantrasyonlarda NaOH çözeltileri hazırlanır ve iletkenlikleri ölçülerek kalibrasyon grafiği oluşturulur.
2. 250 ml 0,1 M NaOH ve 250 ml 0,1 M EtOAc bileşiklerini iki farklı erlene döküp ağzı kapalı biçimde su banyosu içine yerleştiriniz.
3. Su banyosunu belirlenen sıcaklığa ısıtınız.
4. Isıl denge oluştuğunda 250 ml NaOH çözeltisini 250 ml EtOAc çözeltisi ile karıştırın ve tepkime başlayınca kronometreyi çalıştırın. İletkenlik ölçer ile çözeltinin iletkenliğini ölçüp reaktantların konsantrasyonunun zamanla değişimine ilişkin verileri elde ediniz.
5. Kesikli reaktör deneylerini 2 farklı sıcaklıkta tekrarlayınız.

Güvenlik: Sodyum hidroksit ve etil asetat ile çalışılacağından eldiven, önlük ve gözlük kullanımına dikkat edilmelidir. Ayrıca reaksiyonun farklı sıcaklıklarda olması sebebiyle su banyosu ve erlenlere temaslarda dikkat edilmelidir.

Deneysel Veriler ve Hesaplamalar

1. Her bir deney için dönüşüm oranlarını hesaplayınız.
2. Reaksiyon derecesini ve reaksiyon hız sabitini belirleyiniz.
3. Reaksiyonun aktivasyon enerjisini ve reaksiyonun hız sabitinin sıcaklık bağımlılığını belirleyiniz.
4. Artan sıcaklığın reaksiyon hızını ve reaksiyon hız sabitini nasıl etkilediğini açıklayınız.
5. Sıcaklık ve konsantrasyon dışında, yapılan deneyde reaksiyon hızını ve reaksiyon hız sabitini etkileyebilecek diğer faktörleri açıklayınız.

Kaynaklar

1. Fogler, H.S., Elements of Chemical Reaction Engineering, Prentice-Hall Inc., USA, 2nd Ed, 1992.
2. Levenspiel, O., Chemical Reaction Engineering, Third ed., John Wiley and Sons, New York, 1999.
3. Smith, J.M., Chemical Engineering Kinetics, McGraw Hill Book Co., Singapore, 1981.