



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ



KMB405 KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI III
DENEY FÖYLERİ

İÇİNDEKİLER

Güvenlik Kuralları	6
Deney 1: Üç Bileşenli Sistemlerde Faz Dengesi	7
Deney 2: Saf Suyun Termodinamik Özelliklerinin İncelenmesi	19
Deney 3: Proses Kontrol	22
Deney 4: Kesikli Reaktör	36
Deney 5: UV-Vis Spektrofotometre	39
Deney 6: Kabuk-Tüp Isı Değiştirici	42
DENEY S1-Absorpsiyon Kolonu	46
DENEY S2- Çok Kademeli Distilasyon	49

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KMB 405 KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LAB.-III
2026-2027 Güz Dönemi

Dersin Sorumlu Öğretim Üyeleri: Prof. Dr. Selim CEYLAN- Prof. Dr. Nihan KAYA

Dersin Sorumlu Araştırma Görevlisi: Arş. Gör. Agah YILDIZ

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 hazırladığı 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 belgelemek 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×[0.50×Vize+0.10×Quiz Ort.+0.25×Rapor Ort.+0.15×Proje]+0.60×[Final]
 - Ders ya da deneylerle ilgili sorularınız için Arş. Gör. Agah YILDIZ (agah.yildiz@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

D deney No	D deney Adı	D deney Yeri	D deneyin sorumlu olduđu arařtırma görevlisi
1	Üç Bileşenli Sistemlerde Faz Dengesi	MAYMER Laboratuvarı	Arş. Gör. Ema Yeliz KAYA
2	Saf Suyun Termodinamik Özelliklerinin İncelenmesi	Maymer Lab	Arş. Gör. Esra BAKKALOĞLU
3	Proses Kontrol	Kimya Müh. Lab. (4.Kat)	Arş. Gör. Agah YILDIZ
4	Kesikli Reaktör	Kimya Müh. Arařtırma Lab. (Zemin Kat)	Araş. Gör. Dr. Rukan Can SEYFELİ
5	UV-VIS Spektrofotometre	Kimya Müh. Arařtırma Lab. (Zemin Kat)	Araş. Gör. Dr. Buğçe AYDIN
6	Kabuk-Tüp Isı Değıřtirici	Kimya Müh. Lab. (4.Kat)	Araş. Gör. Dr. Candan KARA EYVAZ
S1	Absorpsiyon Kolonu (Simülasyon deneyi)	Kimya Müh. Simülasyon Lab. (Zemin Kat)	Araş. Gör. Dr. Candan KARA EYVAZ, Arş. Gör. Esra BAKKALOĞLU
S2	Çok Kademeli Distilasyon (Simülasyon deneyi)	Kimya Müh. Simülasyon Lab. (Zemin Kat)	Araş. Gör. Dr. Buğçe AYDIN, Araş. Gör. Dr. Rukan Can SEYFELİ

DENEY TAKVİMİ

Deney No	Deney Günü	Deney Saati	Deney Grupları
	28 Eylül	10:00	Bilgilendirme Toplantısı
1D	5 Ekim	08:15	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10:15	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	12 Ekim	08:15	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10:15	Grup B4/Grup B5/Grup B6
2D	19 Ekim	08:15	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10:15	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	26 Ekim	08:15	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10:15	Grup B4/Grup B5/Grup B6
3D	2 Kasım	08:15	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10:15	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	9 Kasım	08:15	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10:15	Grup B4/Grup B5/Grup B6
4D	23 Kasım	08:15	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10:15	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	30 Kasım	08:15	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10:15	Grup B4/Grup B5/Grup B6
5D	7 Aralık	08:15	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10:15	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	14 Aralık	08:15	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10:15	Grup B4/Grup B5/Grup B6
6D	21 Aralık	08:15	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10:15	Grup A4/Grup A5/Grup A6
	28 Aralık	08:15	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10:15	Grup B4/Grup B5/Grup B6

SİMÜLASYON DENEYLERİ TAKVİMİ

Deney No	Deney Günü	Deney Saati	Deney Grupları
S1	7 Aralık	08:15	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10:15	Grup B4/Grup B5/Grup B6
	14 Aralık	08:15	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10:15	Grup A4/Grup A5/Grup A6
S2	21 Aralık	08:15	Grup B1/Grup B2/Grup B3
		10:15	Grup B4/Grup B5/Grup B6
	28 Aralık	08:15	Grup A1/Grup A2/Grup A3
		10:15	Grup A4/Grup A5/Grup A6

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: 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

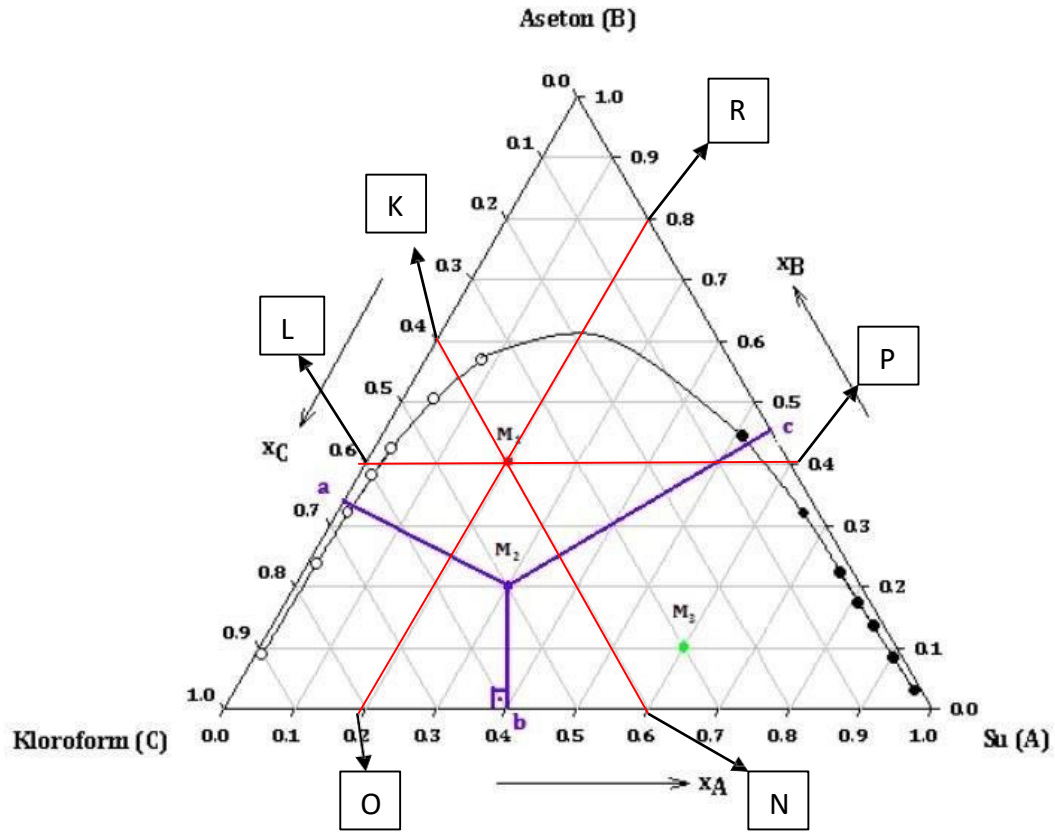
Element ya da bileşik halindeki üç madde karıştırıldığında bu maddelerden herhangi ikisi ya da üçü arasında basınç, sıcaklık ve bileşime bağlı olarak yeni kimyasal bileşikler oluşabilmektedir. Başlangıçta alınan maddeler yanında yenilerinin de ortaya çıktığı böyle bir sistem bir fazlı olabildiği gibi 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

üçlü sistemin su-aseton-kloroform maddelerinden oluştuğu düşünülürse A, B ve C olarak simgelenen köşeleri sırasıyla saf (%100) su, aseton ve kloroformu göstermektedir. Buna göre Şekil 1 üzerinde eşkenar üçgenin her bir kenarında yer alan nokta iki bileşenli sistemi temsil eder. Buna göre AB kenarı üzerinde su+aseton karışımı, BC kenarı üzerinde aseton+kloroform karışımı ve CA kenarı üzerinde ise kloroform+su ikili karışımı bulunmaktadır. Şekil 1’de gösterilen BC kenarı üzerinde yer alan K noktası % 60 aseton % 40 kloroform iki bileşenli sistemi göstermektedir. Eşkenar üçgenin içerisindeki herhangi bir nokta/karışım ise üç bileşen içermektedir.



Şekil 1. Üç noktalı faz diagramı örneği [3]

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 Kitapevi, 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)

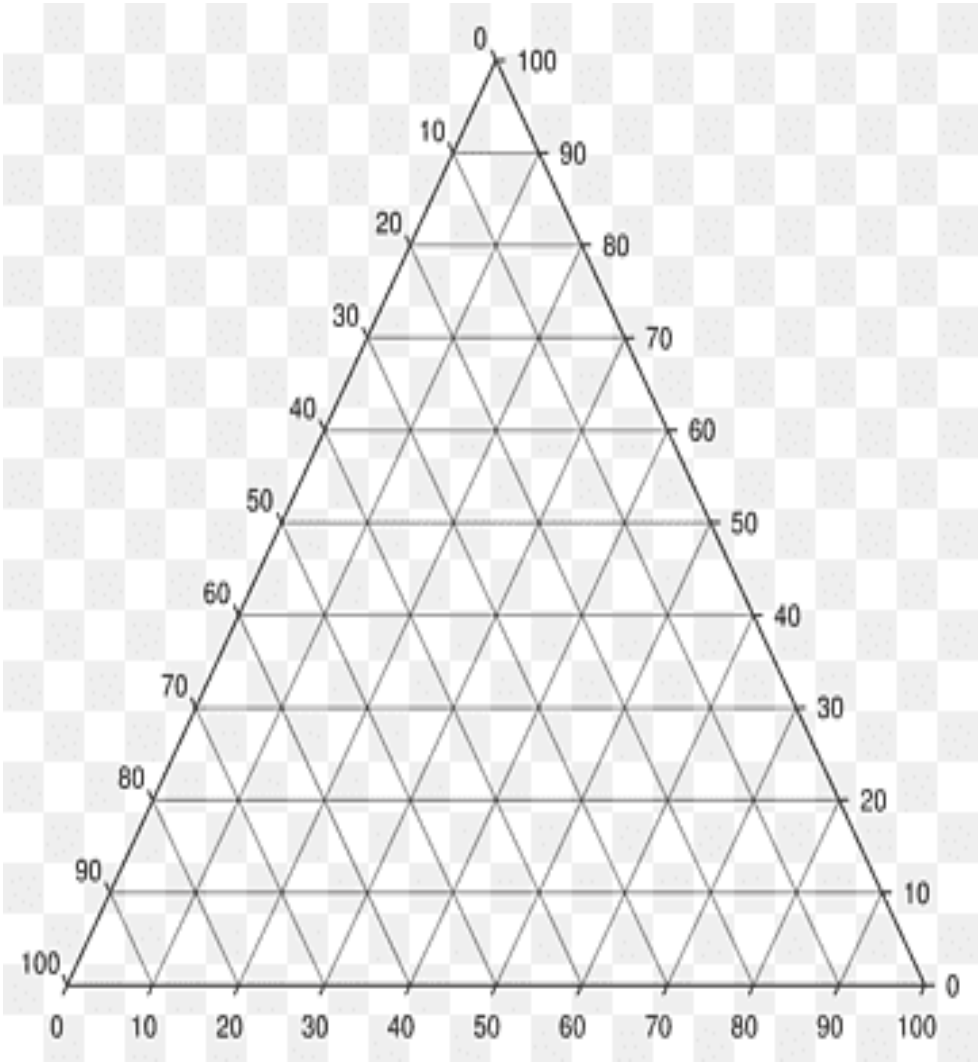
[5] Safety Data Sheet for Acetic acid,

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

[6] Safety Data Sheet for Chloroform,

https://www.merckmillipore.com/TR/tr/product/msds/MDA_CHEM-107024, (Eriřim:13.09.2024)

EK-



Deney 2: 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 varsayılıp, 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 dođ
3. rusallařtırılmıř hali kullanılarak buharlařma entalpisi ve entropisi hesaplanır.
4. Her iki durumda elde edilen sonular kıyaslanır.

Kaynaklar

1. <http://courses.che.boun.edu.tr/che302/Chapter%206.pdf> , Bođazii Üniversitesi Che 302 Laboratuvarı Deney Fyleri, Ziyaret Tarihi: 05.10.2021.

Deney 3: Proses Kontrol

Teorik Bilgi

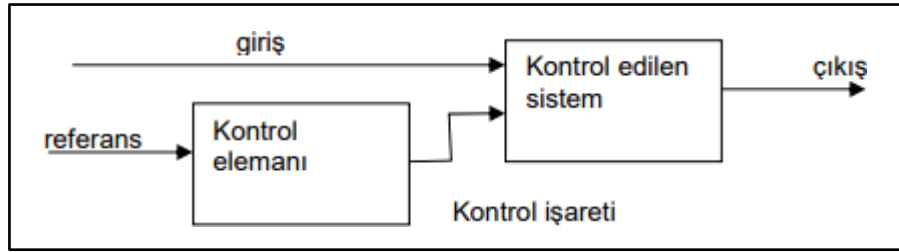
Proses, dilimize İngilizceden girmiş yapancı kökenli bir kelimedir. Tam Türkçe karşılığı, süreç demektir. Kimya endüstrisinde süreçten kasıt, ısıtma, soğutma, damıtma, ekstraksiyon, ayırma gibi her türlü kimyasal işlemin yapıldığı sistemin genel ismi diyebiliriz. Proses kontrol ise, bu gibi kimyasal süreçlerde, ürün verimini doğrudan etkileyen sıcaklık, pH, derişim gibi parametrelerin verimi artırmak amacıyla istenilen aralıkta tutma işlemi olarak tanımlanır. Prosesler, normal şartlarda çalışırken bütün değişkenler zamana göre değişmeyerek belli sabit değerlerdedir ve sistem yatışkın haldedir. Ancak işletim esnasında birtakım etkiler çıkış değişkenlerini etkilemekte ve sistemi yatışkın olmayan hale geçirmektedir. Tam bu noktada proses kontrol kavramı devreye girer ve otomasyondan yararlanarak sisteme veya sürece müdahale eder. Prosesi kontrol edilen parametrenin istenilen değerine **setpoint** noktası denir. Bir kimyasal süreçte, sıcaklık, basınç, seviye, kimyasal madde bileşimi, iletkenlik, pH, akış vb. parametreler kontrol edilir. Kontrol edilen bu değişkenlere, **proses değişkenleri** denir. Bu proses değişkenleri, direkt kendileri ölçülerek te kontrol altına alınıyorsa, bu parametrelere hem proses değişkeni hem de ölçüm değişkeni denir. Başka bir parametre ölçülerek de kontrol altına alınabilir. Örneğin, sıvı seviyesi kontrolünde, amaç seviyeyi kontrol etmektir. Fakat burada, seviye, gelen akışkanın debisi üzerinden kontrol ediliyorsa, burada ölçüm değişkeni debidir, proses değişkeni tanktaki sıvı seviyesidir.

Bir prosesin kontrolü, temelde iki denetim sistemi üzerinden yapılır. Bu denetim sistemlerinin isimleri; açık çevrim kontrol, kapalı çevrim kontrol.

1) Açık Çevrim Kontrol

Sistemi kontrol eden düzeneğin sistemin çıkışından etkilenmediği, sadece verilen referans değerine göre denetim işleminin yapıldığı sistemlerdir. Hassasiyet gerektirmeyen sistemlerde kullanılan bir denetim sistemi mekanizmasıdır. Sisteme etkileyen bozucu faktörlerin algılanması insan faktörüyle olabilmektedir. Verilen referans işareti kontrol elemanı tarafından alınır ve oransal bir kontrol işareti üretir. Bu işaret, kontrol edilen sisteme verildiğinde sistem giriş değişkenini süreç içine alır ve istenilen çıkış işaretini verir. Açık çevrim denetim, genellikle kumanda edilen sistemin yapısının ve sisteme etkileyen diğer girişlerin önceden çok iyi bilindiği uygulamalarda kullanılır.

Bir otomobilin cam sileceđi düzeneđini ele alalım. Otomobilin bu düzeneđi sürücü tarafından kontrol edilir. Sürücü otomobilin konsoluna bađlı olan anahtar yardımıyla silecek motorunu harekete geçirebilir. Genellikle 2–3 hız kademeli olarak tasarlanan bu sistemlerde herhangi bir şekilde yağmurun yağmaya başlaması, şiddeti gibi parametreler algılanmaz. Düzeneđin başlatılması ve hangi kademede çalıştırılacağı tamamen sürücünün karar vermesine bađlıdır. Yağmurun kesilmesi ya da şiddetini artırıp azaltması, camların kuru ya da ıslak olması düzenek tarafından dikkate alınmaz. Bu nedenle sileceklerin kontrolünde uygulanan proses tipik bir açık çevrim kontrol mekanizmasıdır. Sistemin çıktısı çok iyi bilinen bir sonuçtur. Yani “Cam yüzeyi silinirse ıslaklık temizlenir ve görüş netleşir.” prensibine dayanır. Ayrıca, açık çevrim sistemine ait şematik bir denetim sistemi Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1: Açık çevrim denetim sistemi.

2) Kapalı Çevrim Kontrol

Bir kapalı çevrim denetim sisteminde çıkış değışkeni, ölçme elemanı ile ölçölür ve ölçme büyüklüğü girişe geri beslendikten sonra referans bir değeri ile karşılaştırılır. Karşılaştırma sonucunda hata sinyali elde edilir, hata sinyalinin yapısına ve denetlenen çıkış değışkenine uygun bir denetim sinyali üretilir. Kapalı çevrim denetim sistemine “geri beslemeli denetim sistemi” de denilebilir. Geri beslemeli denetim sisteminde üç işlem gerçekleşir. Bunlar; **Ölçme**, **Karar**, **Uygulama** olarak verilebilir. Ölçme aşamasında, denetlenen çıkış değışkeni ölçölür. Karar aşamasında ölçölen değerin, istenen değerden ne kadar farklı olduđu hesaplanır; diđer bir ifade ile hata hesaplanır. Denetim uygulaması için bu hata değeri kullanılır. Uygulama aşamasında hatayı azaltıcı yönde, değışkenler üzerinde, etkili olan bir denetim sinyali uygulanır.

Şekil 2’de verilen sistemde kapalı bir odanın sıcaklık kontrolü yapılmaktadır. Sıcaklığın verilen referans değeri (ω) seviyesinde tutulması için öncelikle, oda sensöründen alınan ortam

KONTROL MEKANİZMALARI

I. ON-OFF Kontrol

Bu kontrol, K_c değerinin çok yüksek olduğu, oransal kontrolün özel bir durumudur. Bu kontrol basit bir denetleyici olup bu sisteme, ev ısıtma sisteminde kullanılan termostatlar örnek olarak verilebilir.

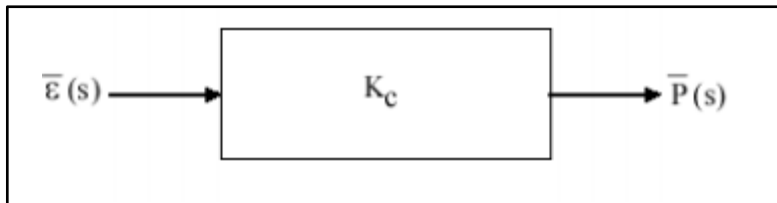
Açma-kapama (On- off) denetleyiciler, kontrol edilen değişkenin belirlenen set değeri etrafında salınım göstermesine neden olur. Bu salınımın büyüklüğü ve periyodu, proses gecikme süresine bağlıdır. Bu kontrol sisteminde, soğutma suyunun akış hızı, termometre kovanı ve setpoint değeri değiştirilerek, bu dağılım parametrelerinin sistem üzerindeki etkileri gözlemlenir.

II. Oransal Kontrol

Oransal kontrolde; nihai kontrol elemanı, kontrol edilen değişkenin değişim miktarına bağlı olarak konumlanır. Kontrol elemanının oransal bandı içinde kontrol edilen değişkenin her değerine karşılık nihai kontrol elemanının tek bir konumu vardır. Başka bir deyişle kontrol edilen değişken ile nihai kontrol elemanı arasında doğrusal bir bağlantı kurularak gereksinim duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge oluşturulur.

Nihai kontrol elemanının hareket boyunu (stroke) değiştirerek kullanılan enerjinin %0'dan %100'e kadar ayarlanabilmesi için gerekli kontrol edilen değişkendeki (sıcaklık, basınç vb.) sapma miktarı Oransal band olarak tanımlanır. Genel olarak oransal bant kontrol cihazının kontrol skalası (span) değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri etrafında eşit olarak yayılır.

Oransal denetleyici, bir hata sinyali alıp bu hata sinyalini oransal olarak sönümlemeye çalışan bir araç olarak düşünülebilir (Şekil 3).



Şekil 3: Denetlenen sisteme verilen etkiye karşı alınan tepki fonksiyonu.

$$p = K_c \varepsilon + p_s \quad (*)$$

P : Denetleyiciden çıkan sinyal

ε : Set değeri ile ölçüm değeri arasındaki hata

p_s : hata değerini sıfırlamak için gerekli sabit

Burada K_c , kazanç veya son kontrol elemanı için gerekli hata olarak tanımlanan ters oransal bant olarak tanımlanır.

$$\text{Oransal band (PB)} = \frac{1}{K_c} 100\%$$

(*) eşitliğinden transfer fonksiyonunu elde edebilmek için, sapma değişkeni (P) aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$P = p - p_s$$

$$P(t) = K_c \varepsilon(t)$$

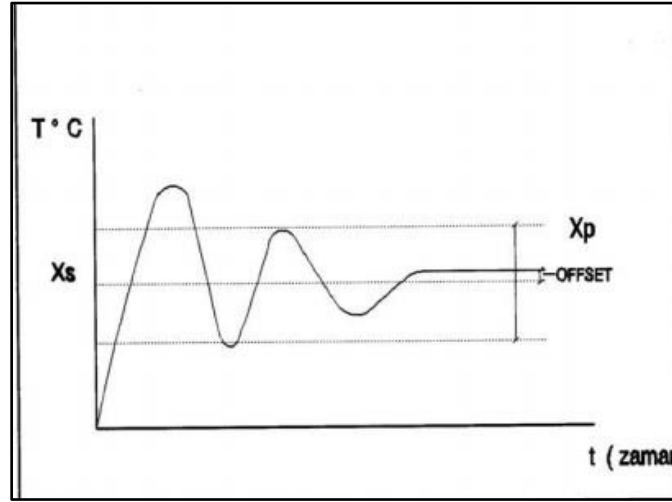
denkleminin laplace dönüşümü alınarak,

$$P(s) = K_c \varepsilon(s)$$

$$\frac{P(s)}{\varepsilon(s)} = K_c$$

Bu eşitlik, ideal bir oransal denetleyicinin transfer fonksiyonunu verir.

Aşağıda sembolize edilen Şekil 4'te, oransal kontrol reaksiyon eğrisinden de gözüktüğü gibi; set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı değer arasındaki farka sapma (off-set) denir. Sapmayı azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak oransal band küçüldükçe, iki konumlu (on-off) kontrole yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir ve sistem dengeye oturamaz.



Şekil 4: Oransal kontrol reaksiyon eğrisi.

Geniş oransal bant seçeneğinde ise sapmanın daha büyük olacağı düşünülürse; oransal bant seçiminin kullanıldığı prosesin şartlarına uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Oransal bant birçok proseste tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı proseslerde kazanç tanımı kullanılmaktadır. Oransal bant ve kazanç arasındaki bağlantıyı;

III. Oransal + İntegral Kontrol (PI)

Oransal kontrolde oluşan sapmayı azaltmak veya ortadan kaldırmak için kontrol cihazı integratör (integral alıcı devre) kullanır. Ölçülen değer ile set edilen değer arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal bant kaydırılmış olur.

İntegral mekanizması, hatanın zamana göre integrali ile orantılı olarak sinyal üretir. PI kontrol modu, aşağıdaki ilişki ile tanımlanır;

$$p(t) = K_c \varepsilon(t) + \frac{K_c}{\tau_1} \int_0^t \varepsilon(t) dt + p_s$$

Burada τ_1 , integral zaman sabitidir.

$$p(t) - p_s = P(t) = K_c \varepsilon(t) + \frac{K_c}{\tau_1} \int_0^t \varepsilon(t) dt$$

Lablace alınırsa;

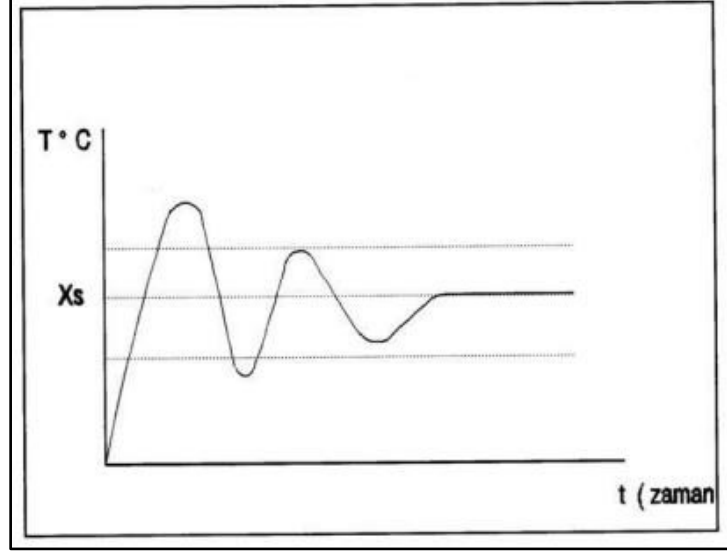
$$P(s) = K_c \varepsilon(s) + \frac{K_c}{\tau_1 s} \varepsilon(s)$$

Transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi verilir;

$$\frac{P(s)}{\varepsilon(s)} = K_c(1 + \frac{1}{\tau_1 s})$$

Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır ve proses değişkeni set değerine oturtulur. İntegratör devresi, gerekli enerji değişkenliğine set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark kalmayınca kadar devam eder. Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. Herhangi bir şekilde sistem dengesi bozulup, proses değişkeni değeri set değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi düzeltici etkisini gösterir.

Şekil 5'te, sapması kalkmış bir oransal + integral kontrol reaksiyon eğrisinden de görüleceği gibi, Oransal+ İntegral kontrolün en belirgin özelliği sistemin başlangıcında proses değişkeni değeri, set değerini önemli bir miktarda ki bu ilk yükselme noktası üst tepe değeri (overshoot) olarak tanımlanır. Üst tepe değerini alt tepe değeri izler (undershoot). Set değeri etrafında sistem yük değerine bağlı olarak birkaç kere salınım yaptıktan sonra, set değerine oturur. Sistem reaksiyon eğrisinde başlangıçtan itibaren olmak üzere eğrinin set değeri etrafındaki tolerans bandına (bir daha çıkmamak üzere) giriş yaptığı noktaya kadar geçen zaman, sistemin kararlı (dengeye oturmuş) rejim süresidir. Başlangıçtan itibaren bu noktaya kadar geçen zaman aralığında sistem set değeri etrafında salınım yapar ve kararsız bir davranış sergiler (kararsız rejim). Otomatik kontrol sistemlerinde amaç salınımları oldukça azaltıp sistemi kararlı rejime oturtmaktır. Kararlı rejim süresi sistemin zaman sabiti ile doğru orantılıdır. Pratik olarak sistemler, üç zaman sabiti süre toplamı sonunda %66 oranında kararlı hale geçerler. Dört zaman sabiti süre toplamı sonunda ise sistem %98 oranında kararlı rejime geçmiş demektir. Her sistemin ve onu oluşturan alt sistemlerin farklı zaman sabitleri vardır.

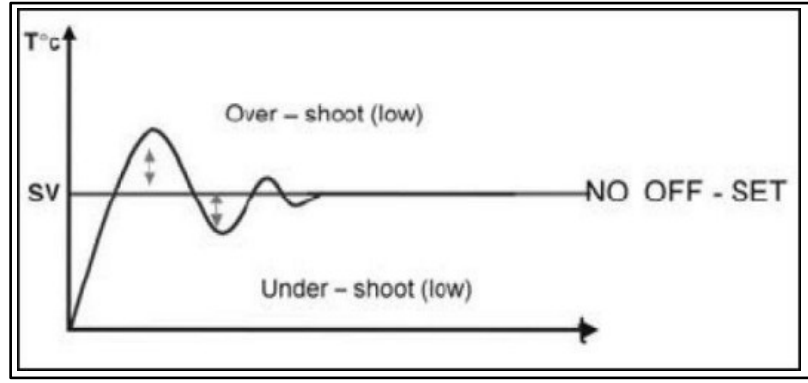


Şekil 5: Oransal integral kontrol grafiği.

IV. Oransal + İntegral + Türevsel Kontrol (PID)

Kontrolü güç, diğer kontrol türlerinin yeterli olmadığı proseslerde tercih edilen bu kontrol türünde; oransal kontrolde oluşan sapma, integral fonksiyonu ile giderilir. Meydana gelen overshoot'lar undershoot'lar bu kontrole türevsel etkisinde eklenmesi ile minimum seviyeye indirilir veya tamamen ortadan kaldırılır.

Esas amaç; ayar değeri ile ölçüm değeri arasındaki hatayı sıfıra indirmek ve bu sayede istenilen değere ulaşmak olan tüm kontrol türlerinde; Oransal (P), integral (I), Türev (D) parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmaları sayesinde kontrol edilen değişkenin ayar değerine, minimum zamanda ve minimum üst ve alt tepe (overshoot ve undershoot) değerlerinden geçerek ulaşmasını sağlarlar. İntegral ve türevsel parametrelerin söz konusu olmadığı ve sadece P tip kontrol cihazları ile kurulan sistemlerde de dengeye ulaşmak mümkündür. Ancak sadece P'nin aktif olduğu bu tür kontrol sistemlerinde az da olsa set değeri ile kontrol edilen değer arasında sıfırdan farklı (+) / (-) değerde ve de sıfıra indirilmeyen bir sapma mevcuttur. Sadece P ile kontrol edilen böyle bir sisteme I'nın ilavesi sapmayı ortadan kaldırmaya yöneliktir. Diğer bir deyişle P+I türündeki bir kontrol cihazı ile denetlenen bir proseste normal şartlar altında sistem dengeye oturduktan sonra sapma oluşması söz konusu değildir. İntegral etki sapmayı sıfıra indirirken sisteme faz gecikmesi katarak sistemin kararlılığını azaltır.



Şekil 6: Oransal integral türevsel (PID) kontrol eğrisi.

Bununla beraber integral zamanın çok kısa olması prosesin osilasyona (salınım) girmesine neden olabilir. P+I denetim mekanizmasına D ilavesi ise set değerine ulaşmak için geçen zamanı kısaltmaya yaramaktadır. Diferansiyel etki sisteme faz avansı getirir ve sistemin kararlı hale gelmesinde yardımcı olur. Böylece büyük orantı kazançları elde edilebilir. Fakat büyük nakil gecikmeleri olan sistemlerde diferansiyel etkinin önemi çok azalır.

Bu kontrol modu, önceki kontrol modlarının birleşimi olup aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$p(t) = K_c \varepsilon(t) + \frac{K_c}{\tau_1} \int_0^t \varepsilon(t) dt + K_c \tau_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + p_s$$

$$p(s) = K_c \varepsilon(s) + \frac{K_c}{\tau_1 s} \varepsilon(s) + K_c \tau_D s \varepsilon(s)$$

Transfer fonksiyon;

$$\frac{P(s)}{\varepsilon(s)} = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_1 s} + \tau_D s \right)$$

Burada, τ_1 , integral zaman sabiti

DENEY SİSTEMİN GENEL TANIMI

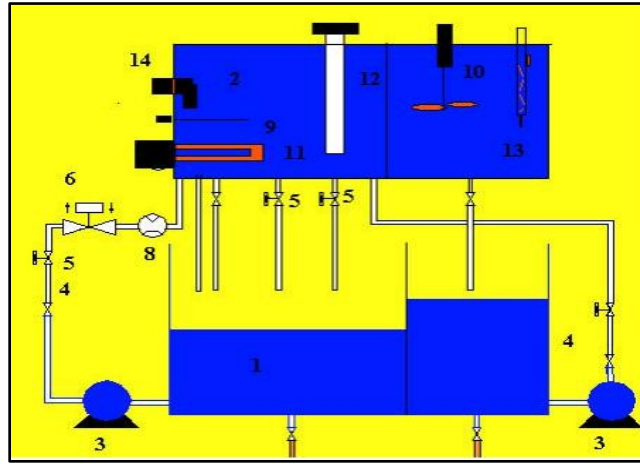
Bu sistemde, seviye, akış, sıcaklık ve pH düzenlemesi için deneyler ölçümünde kullanılan kontrol döngüleri ve proses birimi, ilgili dinamik sistemin fiziksel simülasyonu için gerekli ekipmanları ile birlikte tanımlanacaktır.

A) Sistemin Genel Tanımı

Bu sistem, bir alt tank (1) ve bir üst tanka (2) sahip bir hidrolik döngüden oluşmaktadır. Bu tanklara bağlı santrifüj sirkülasyonlu iki pompa (3), manuel kontrol vanalı iki akış ölçer (4), üç tane elektromanyetik vana (5), motorlu bir oransal vana (6) bulunmaktadır. Yukarıda bahsedilen sistem, bir çalışma masası üzerine yerleştirilmiş olan bir destek yapı (7) üzerine kurulmuştur (Şekil 7).

Sistemin bu sabit elemanlarına ek olarak, yukarı giden akışın birisine yerleştirilmiş olan bir türbin akış sensörü (8), proses tankının alt yan tarafına yerleştirilmiş olan bir sıcaklık sensörü (9) ve elektriksel ısıtma özelliği olan bir serpentine (11) vardır.

Değiştirilebilen ek elemanlar, bir karıştırıcı (10), proses tankı içerisine yerleştirilmiş olan bir seviye sensörü (12), proses tankı içerisinde veya ikinci tankın içerisine yerleştirilmiş pH sensörü (13) dür.



Şekil 7: Ekipmanın ana diyagramı.

Proses Kontrol Ekipmanları

1. Ana Tank
2. Proses tankı
3. Santrifüj pompası
4. Değişken alanlı akış ölçer
5. Elektromanyetik vana
6. Motorlu kontrol vanası
7. Akış sensörü
8. Sıcaklık sensörü
9. Sarmal karıştırıcı
10. Elektrik rezistörü
11. Seviye sensörü
12. PH sensörü
13. On/ off seviye sensörü

DENEYSEL PROSEDÜR

1) On-Off Kontrol

A) Seviye Kontrol

- Cihazın arabirimlerini bağlayın ve kontrol yazılımını çalıştırın.
- On /off kontrol seçeneğini seçin
- On / off kontrol üzerine çift tıklayın, istenilen bir akış değerini seçin.
- Seviye kontrolü, tek bir aktüatörün aktif hale getirilmesi ile yapılabilir.
- Bir set değeri seçin ve sistemi çalıştırarak verileri kaydetmeye başlayın.

B) Sıcaklık Kontrol

- Cihazın arabirimlerini bağlayın ve kontrol yazılımını çalıştırın.
- On /off kontrol seçeneğini seçin
- On / off kontrol üzerine çift tıklayın, istenilen bir sıcaklık değeri (set point) seçin.
- Sistemi çalıştırarak verileri kaydetmeye başlayın.

2) Oransal Kontrol (P)

A) Seviye Kontrol

- Arabirimi bağlayın ve kontrol yazılımını çalıştırın.
- Ekran üzerinden PID denetleyiciyi seçin
- Bir set değeri ve bir oransal sabit değeri seçin.
- İntegral ve türevsel performans için 0 (sıfır) değerini girin. Bu deneyde, sadece oransal hareketin sistem üzerindeki etkisini gözlemlemek istiyoruz.
- PID denetleyiciyi aktif hale getirin. Sistemi çalıştırın ve değerleri kaydedin. Motorlu vananın çalışmaya başladığını gözlemleyeceksiniz.
- Pompa 1 (AB-1) 'i bağlayın.

- Selenoid vana'yı (AVS-2) 'yi aktif hale getirin.
- Denetleyici, tank içindeki su seviyesini kontrol eden akışı ayarlamak üzere AVP-1 (oransal vana)'nın konumunu modifiye edecektir.

B) Sıcaklık Kontrol

- Arabirimi bağlayın ve kontrol yazılımını çalıştırın.
- Ekran üzerinden PID denetleyiciyi seçin
- Bir set değeri ve bir oransal sabit değeri seçin.
- İntegral ve türevsel performans için 0 (sıfır) değerini girin. Bu deneyde, sadece oransal hareketin sistem üzerindeki etkisini gözlemlemek istiyoruz.
- PID denetleyiciyi aktif hale getirin. Sistemi çalıştırın ve değerleri kaydedin. Motorlu vananın çalışmaya başladığını gözlemleyeceksiniz.

3) Oransal ve Türevsel Kontrol (PI)

A) Seviye Kontrol

- Arabirimi bağlayın ve kontrol yazılımını çalıştırın.
- Ekran üzerinden PID denetleyiciyi seçin
- Bir set değeri, bir oransal sabit değeri ve bir integral zamanı değeri seçin. Hata birikiminin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için İntegral sabiti değeri büyük olmalı,
- Türevsel performans için 0 (sıfır) değerini girin çünkü biz bu deneyde sadece oransal ve türevsel kontrolün sistem üzerindeki etkisini gözlemlemek istiyoruz.
- PID denetleyiciyi aktif hale getirin ve sistemi çalıştırarak verileri almaya başlayın. Motorlu vananın çalışmaya başladığını gözlemleyeceksiniz.
- Pompa 1 (AB-1) 'i bağlayın.
- Denetleyici, set değeri için akışı ayarlamak üzere AVP-1 vanasını konumunu modifiye edecektir.

B) Sıcaklık Kontrol

- Arabirimi bağlayın ve kontrol yazılımını çalıştırın.
- Ekran üzerinden PID denetleyiciyi seçin
- Bir set değeri, bir oransal sabit değeri ve bir integral zamanı değeri seçin. Hata birikiminin düzgün bir şekilde yapılabilmesi için İntegral sabiti değeri büyük olmalı,

- Türevsel performans için 0 (sıfır) değerini girin çünkü biz bu deneyde sadece oransal ve türevsel kontrolün sistem üzerindeki etkisini gözlemlemek istiyoruz.
- PID denetleyiciyi aktif hale getirin ve sistemi çalıştırarak verileri almaya başlayın. Rezistansın çalışmaya başladığını gözlemleyeceksiniz.

4) Oransal, Türevsel ve İntegral Kontrol (PID)

A) Seviye Kontrol

- Arabirimi bağlayın ve kontrol yazılımını çalıştırın.
- Ekran üzerinden PID denetleyiciyi seçin
- Bir set değeri, bir oransal sabit değeri, bir integral zamanı ve bir integral zaman sabiti değeri seçin. Türevsel zaman sabiti küçük ve integral zaman sabiti değeri büyük olmalıdır.
- PID denetleyici aktif hale getirin ve sistemi çalıştırarak verileri kaydetmeye başlayın. Motorlu vananın harekete geçtiğini gözlemleyeceksiniz.
- Pompa-1 'i bağlayın.
- AVS-2 selenoid vanasını açın.
- Denetleyici seviyeyi set değerine getirmekle görevli akışı ayarlamak için AVP-1 vanasının konumunu değiştirecektir.

B) Sıcaklık Kontrol

- Arabirimi bağlayın ve kontrol yazılımını çalıştırın.
- Ekran üzerinden PID denetleyiciyi seçin
- Bir set değeri, bir oransal sabit değeri, bir integral zamanı ve bir integral zaman sabiti değeri seçin. Türevsel zaman sabiti küçük ve integral zaman sabiti değeri büyük olmalıdır.
- PID denetleyici aktif hale getirin ve sistemi çalıştırarak verileri kaydetmeye başlayın. Motorlu vananın harekete geçtiğini gözlemleyeceksiniz.

Deney 4: 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].

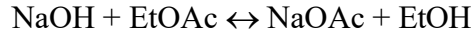
Reaksiyon hızı; belirli bir kimyasal bileşenin, ürün oluşturmak üzere ne hızla tüketildiğini ifade eder. Bir ya da daha fazla kimyasal madde kendi özelliklerini kaybeder ve bileşen içindeki atom sayısının değişmesi ve/veya bu atomların diziliminin değişmesi sonucu yeni bir kimyasal oluşursa, bu olaya 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 düşünülebileceğimiz 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.

Deney 5: UV-Vis Spektrofotometre

Deneyin Amacı

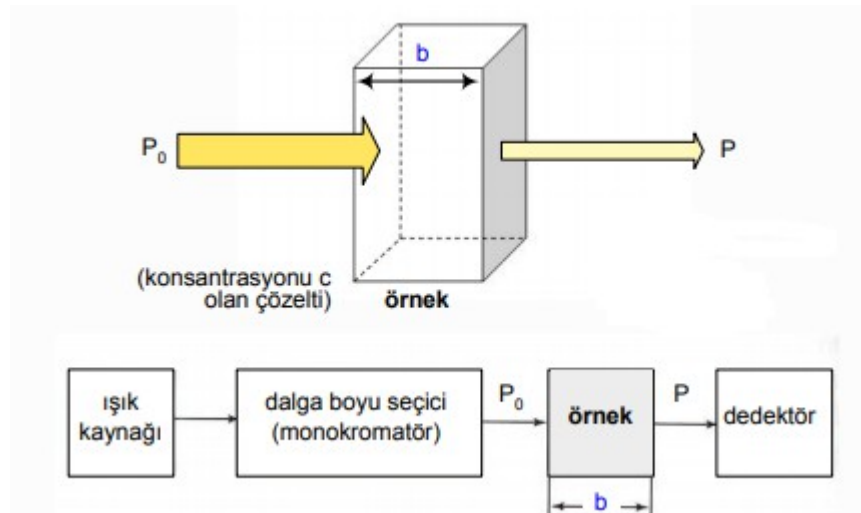
UV-Vis spektrofotometre kullanarak bilinmeyen konsantrasyondaki metilen mavisi çözeltisinin konsantrasyonunun bulunması.

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.

DeneySEL Veriler ve Hesaplamalar

1. Standart çözeltilerin absorbans değerleri tabloya eklenir.

Tablo 1. Deney verileri

Konsantrasyon, C	Absorbans, A

2. Konsantrasyon-Absorbans grafiğı 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, İnrümantal Analiz, 11. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara, 2007.

Deney 6: 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)

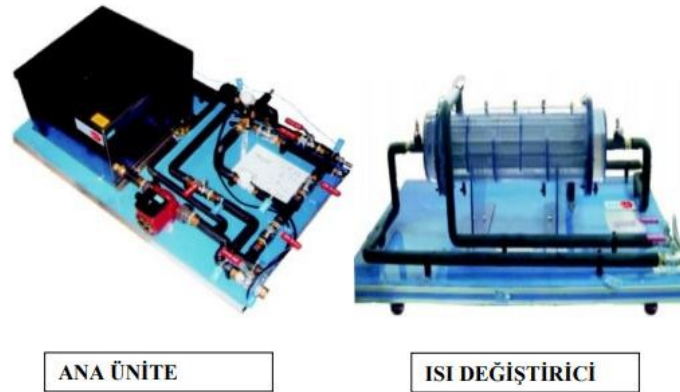
ΔT_{lm} : Logaritmik ortalama sıcaklık farkı (LMTD) (K)

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

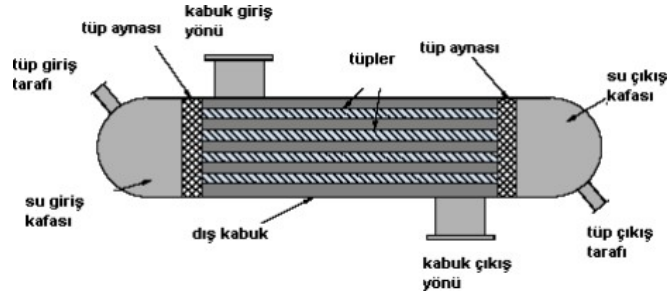
Bu denklemde ΔT değerleri paralel ve zıt akışa göre değişmektedir.

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 değıştirici

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 değeri 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 değeri 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 S1-Absorpsiyon Kolonu

Ön çalışma soruları

- 1) Absorpsiyon nedir? Absorpsiyon kolunun endüstriyel uygulamalarını bulunuz.
- 2) Bir absorpsiyon sisteminde çalışma sıcaklığı ve basıncı nasıl olmalıdır?
- 3) Henry yasası nedir?
- 4) Çalışma ve denge doğruları nasıl elde edilir?

Teorik Bilgi

Absorpsiyonda (gaz absorpsiyonu veya gaz yıkama olarak da adlandırılır), bir gaz karışımı bir sıvıyla (absorban veya çözücü) temas ettirilerek gazdan sıvıya kütle transferi yoluyla bir veya daha fazla bileşen seçici olarak çözünmektedir. Örneğin amonyağın havadan su ile soğurulması absorpsiyona bir örnektir. Absorpsiyon, gaz karışımlarını ayırmak; bir gazdan safsızlıkları, kirleticileri, kirleticileri gidermek veya değerli kimyasalları geri kazanmak için kullanılır. Absorpsiyon işlemi esas olarak plakalı kulelerde (levha kolonlar) ve dolgulu kolonlarda gerçekleştirilir. Her bir plakada sıvı çözücü ve gaz temas ederek kütle transferi desteklenmektedir [1,2].

Genel olarak, kademe gereksinimlerini ve/veya absorbent akış hızını en aza indirmek ve gaz akışını karşılamak için gereken ekipman hacmini düşürmek amacıyla bir absorber için çalışma basıncı yüksek ve sıcaklık düşük olmalıdır. Çalışma sıcaklığı ve basıncı, temas edilen akışların gerekli faz koşullarıyla uyumlu olmalıdır. Örneğin, bir absorber, besleme gazını yoğunlaştıracak bir basınç ve/veya sıcaklıkta çalıştırılmamalıdır [2].

Denge çizgisi Henry yasası kullanılarak hesaplanmıştır (Denklem 1).

$$y_n = \frac{H}{P} X_n \quad \text{Denklem 1}$$

Çalışma çizgisi için ise madde denkliği yapılmalıdır. Denklem 2’de kademe 1’den kademe n’e çözünen madde için madde denkliği yapılmıştır. (n; 1’den toplam kademe sayısı olan N’e kadar herhangi bir sayıdır.)

$$x_0L + y_{n+1}V = x_nL + y_1V \quad \text{Denklem 2}$$

Denklem 2 düzenlendiğinde çalışma çizgisi için denklem aşağıdaki gibi elde edilir.

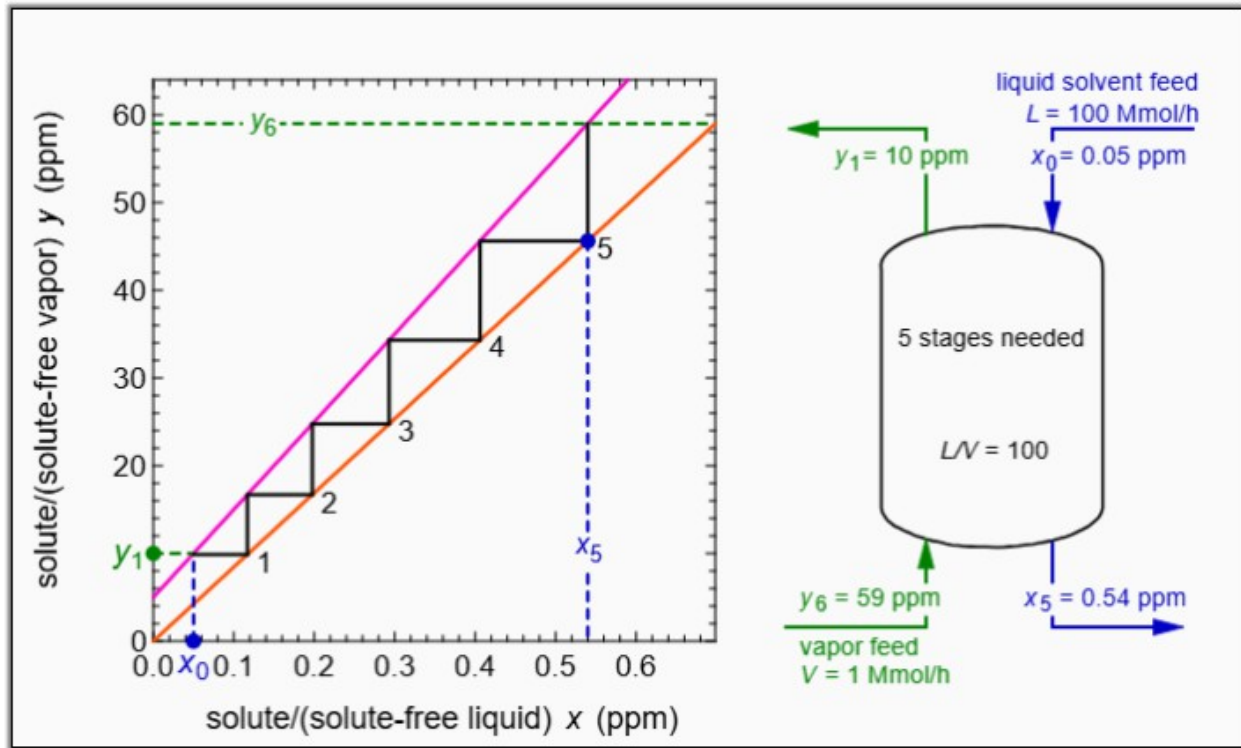
$$y_{n+1} = \frac{L}{V} (x_n - x_0) + y_1 \quad \text{Denklem 3}$$

Simülasyon

Bu simülasyonda, tepsili bir absorpsiyon kolonu, bir gaz beslemesindeki safsızlığı (**kloroform**) sıvı bir çözücüde absorbe edilerek uzaklaştırmak için kullanılmaktadır. Deney sistemi Şekil 1’de gösterilmektedir. Gaz akımında istenilen çıkış konsantrasyonunu elde etmek için gereken tepsi/kademe sayısı hesaplanmaktadır.

Kolondaki basınç, sıcaklık, sıvı çözücü molar akış hızı (L), ve sıvı besleme akımının mol fraksiyonu (x_0), gaz fazındaki çözünenin giriş mol fraksiyonu (y_{N+1}) ve çıkış mol fraksiyonu (y_1) panel üzerinden değiştirilebilmektedir. Gaz fazı molar akış hızı (V) 1 Mmol/saat olarak sabitlenmiştir. Şekil 1’de çalışma çizgisinin (pembe çizgi) eğimi L/V ’dir. " $(L/V)_{\min}$ " kutusu işaretlendiğinde, çalışma çizgisi için minimum eğimi görülür; daha düşük bir eğimde yapılan ayırma sonsuz sayıda kademe gerektirmektedir. Denge çizgisi Şekil 1’de turuncu çizgi ile gösterilmiştir.

Kademe sayısını bulabilmek için çalışma çizgisindeki (x_N, y_{N+1}) noktasından denge çizgisine dik bir çizgi çizersiniz, burada denge kompozisyonu olan (x_N, y_N) noktasındasınız. Bu noktadan çalışma çizgisine yatay bir çizgi çekerek bu işleme x_0 değerine ulaşana dek devam ediniz.



Şekil 1. Simülasyonda gösterilen absorpsiyon kolonu ve x-y grafiği ile kademe sayısının hesaplanması

Simülasyon sonu soruları

- 1) Bu simülasyonda değiştirilen her bir parametre ile kademe sayısının nasıl değiştiğini inceleyiniz ve yorumlayınız.
- 2) Ayırmanın mümkün olmadığı koşullar var mıdır? Varsa sebebi nedir?
- 3) Seçtiğiniz herhangi bir deney setinde örnek hesaplama yaparak kademe sayısını kendiniz bulunuz.

Referanslar

- 1) Geankoplis, C.J., Transport processes and unit operations, 4th ed., Pentice-Hall, New Jersey, 2003.
- 2) Seader, J. D., Henley, E. J., Separation process principles, 2nd ed., John Wiley and Sons, 2006.

DENEY S2- Çok Kademeli Distilasyon

Ön çalışma soruları

- 1) Kazan ve damıtılan ürünlerdeki kompozisyonda zamanla bir değişim olur mu? Olursa ne beklenir?
- 2) Sıcaklık nasıl değişir?
- 3) İki bileşenli bir sistemde A bileşeninin doymuşlaşma basıncı B bileşeninin doymuşlaşma basıncından düşükse, hangi bileşen daha uçucudur?
- 4) Çok kademeli kesikli distilasyonun kesikli distilasyona göre avantajı nedir?
- 5) Ayırıştırma verimliliği hangi değişkenlere bağlı olarak değişir?

Teorik Bilgi

Kesikli ayırma işlemlerinde, bir besleme karışımı ekipmana yüklenir ve bir veya daha fazla ürünün ayırma işlemi gerçekleştirilir. En bilinen örnek laboratuvarlarda gördüğümüz basit damıtma düzenekleridir. Burada sıvı bir karışım bir damıtma kabına veya balona yüklenir ve bir alev veya elektrikli manto ile kaynama noktasına kadar ısıtılır. Oluşan buhar sürekli olarak uzaklaştırılır ve yoğunlaştırılarak toplanır. Bu tip kesikli bir distilasyonda hem ilk karışımın hem de distilatın bileşimi zamanla değişir; sabit bir durum (yatışkın hal) yoktur. Damıtma ilerledikçe damıtma kabının sıcaklığı artar ve damıtma kabında kalan düşük kaynama noktalı bileşenlerin göreceli miktarı azalır [1,2].

Kesikli distilasyon aşağıdaki durumlarda avantaj sağlayabilir [1]:

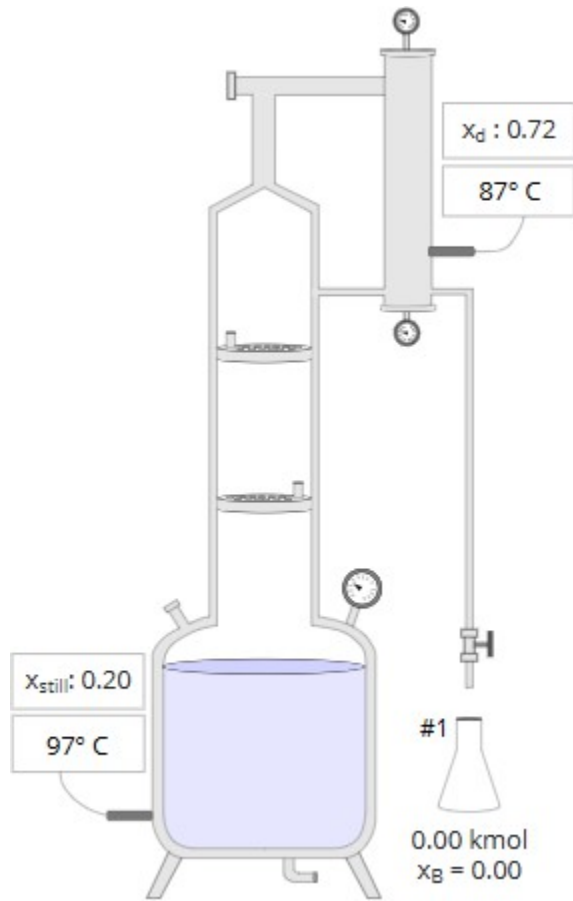
- 1) Bir tesisin kapasitesi, pratik bir oranda sürekli çalışmaya izin vermeyecek kadar küçüktür.
- 2) Mevsimsel talepler nedeniyle, farklı ürünler üretmek için farklı hammaddelerin tek bir üniteye damıtılması gerekmektedir.
- 3) Potansiyel alıcıların değerlendirmesi için tek bir damıtma ünitesi ile birden fazla yeni ürün üretilmesi istenmektedir.
- 4) Yukarı akış proses operasyonları parti bazlıdır ve damıtma için hammaddelerin bileşimi zamana veya partiden partiye değişir.
- 5) Besleme, sürekli bir damıtma kolonunu tıkayabilen veya kirletebilen katı maddeler veya katı maddeler, katranlar veya reçine oluşturan maddeler içerir.

Kesikli damıtmanın en basit örneği, geri akışın ve kademelerin olmadığı bir damıtma sistemidir. Herhangi bir anda, damıtma kabından çıkan buharın, damıtma kabındaki mükemmel karışım sıvıyla dengede olduğu varsayılır. Tam yoğunlaşma gerçekleştirilir. Dolayısıyla, tek denge aşaması damıtma kabı ya da balonudur. Bu sistem, kaynama noktaları arasında çok fark olan karışımları ayırmak için kullanışlıdır [1,2].

Daha etkin bir ayırma yapabilmek için damıtma kabının üzerine Şekil 1’de olduğu gibi tepsili ya da dolgulu bir kolon yerleştirilir. Bu tip bir sistemde yaygın olarak iki mod kullanılmaktadır. Bunlardan ilki sabit bir geri dönüş oranında ikinci ise sabit distilat kompozisyonunda çalışmaktır. Sabit geri dönüş oranında çalışıldığında, anlık distilat ve durgun dip bileşimleri değişir. Distilat ve dip bileşimini bulmak için Rayleigh denklemi kullanılmaktadır.

Simülasyon

Deney sisteminde iki bileşenli bir A-B karışımı ayrıştırılmaktadır. B bileşeninin daha uçucu olduğu bilinmektedir. Simülasyonun sağ tarafındaki “details” kısmından deney ile ilgili madde denklğine, çalışma doğrusu için denkleme ve Rayleigh denkleminde erişilebilmektedir. Deney sistemi Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Simülasyonda kullanılan deney düzeneği

Simülasyonda başlangıç kompozisyonu, kademe sayısı, geri dönüş oranı ve toplanacak ürün miktarı değiştirilebilmektedir. Bu simülasyonda her bir parametrenin değişimi incelenecektir.

Seçilen değişkenler değiştirildikten sonra, “collect” butonuna basılarak ürün toplanır. Toplanacak ürün miktarı tamamlandığında simülasyon durur bu aşamada yeniden ürün toplamak için ürün çıkışındaki erlen değiştirilir. Toplanan ürünler ile ilgili bilgiye “display→collected distillate” kısmından ulaşılmaktadır. Deney seti tamamlandıktan sonra yeni parametre değişimi öncesinde simülasyon “reset” butonuna basılarak sıfırlanır.

Display kısmından x-y ve T-x-y grafikleri görülmektedir. Simülasyonda gösterilen grafiklerin üzerinde ve şekildeki kademelerin üzerinde mouse ile gezinilebilir, grafikteki ve şekil üzerindeki mevcut bilgi bu sayede görülebilmektedir.

Simülasyon sonu soruları

- 1) Başlangıç kompozisyonu, kademe sayısı, geri dönüş oranı ve toplanacak ürün miktarının değiştirilmesi ile ürün kompozisyonunun nasıl değiştiğini yorumlayınız.
- 2) Sistem sıcaklığındaki değişimin sebebi nedir?
- 3) Simülasyonda gördüğünüz, x-y, T-x-y grafiklerinin ne anlama geldiğini kısaca açıklayınız.
- 4) Simülasyondan elde ettiğiniz verilerle Rayleigh denklemi çözülebilir mi?

Referanslar

- 1) Geankoplis, C.J., Transport processes and unit operations, 4th ed., Pentice-Hall, New Jersey, 2003.
- 2) Seader, J. D., Henley, E. J., Separation process principles, 2nd ed., John Wil