

# 1. TEORİK BİLGİ

## 1.1. Distilasyon İşleminin Teorisi ve İşletmesi

Distilasyon, bir karışımı meydana getiren bileşenlerin uçuculuklarının (buhar basınçlarının) farklı olmasından yararlanan ayırma işlemidir. Bu işlemde gerekli olan ikinci faz diğer kütle aktarım işlemlerinde olduğu gibi dışarıdan getirilmeyip, sıvının bir kısmını buharlaştırmak suretiyle oluşturulur. Görüldüğü üzere distilasyon işleminde sistemi oluşturan fazlar sıvı ve buhardır. Bu iki faz arasında gerçekleştirilen kütle aktarımları sonucu fazlar bileşenlerce zenginleştirilir. Bir sıvı çözeltinin bileşenlerini birbirinden ayırmak için temel şart, denge durumuna erişmiş buhar sıvı sisteminde buharın, sıvı fazdan farklı bir bileşime sahip olmasıdır. Buhar fazı bileşim bakımından sıvı fazla aynı olursa, distilasyon operasyonundan bir ayırma beklenemez. Teorik olarak distilasyon operasyonu ile tamamen saf bileşenler üretilmez. Fazlar arası kütle transferini etkileyen en önemli faktör buhar ile sıvı fazın arasındaki dengedir. Bunun için kaynama noktası diyagramlarından yararlanılır. Bu diyagramların esasını Raoult Kanunu teşkil eder.

$$p_A^* = P_A \times x_A \quad (1-1)$$

$P_A$  : Çözelti sıcaklığındaki saf A bileşeninin buhar basıncı  
 $p_A^*$  : Çözelti içindeki  $x_A$  mol fraksiyonun'da A'nın kısmi basıncı

$$p_B^* = P_B \times (1 - x_A) \quad (1-2)$$

$$P_T = p_A^* + p_B^* \quad (1-3)$$

Toplam basınç:

$$P_T = P_A \times x_A + P_B \times (1 - x_A) \quad (1-4)$$

Bu kanuna göre, mol fraksiyonunun sıfırdan birim değere değişmesine karşılık, kısmi basınç sıfırdan saf maddenin buhar basıncına kadar değişir.

A bileşeninin buhar fazdaki mol fraksiyonu:

$$y = \frac{p_A^*}{(p_A^* + p_B^*)} = P_A \times \frac{x_A}{P_T} \quad (1-5)$$

Raoult kanunu, kimyasal yapı bakımından birbirine benzeyen ve moleküller arasında karşılıklı tesir olmayan karışımlara uygulanabilir.

Henry kanununa göre ise çözeltili fazı üzerindeki gaz fazında bir bileşenin kısmi basıncı, bileşenin çözeltili fazındaki mol fraksiyonu ile orantılıdır.

$$p_A^* = H \times x_A \quad (1-6)$$

Dalton Kanunu'na göre bir gaz karışımının toplam basıncı, karışımı oluşturan gazların kısmi basınçlarının toplamına eşittir. Gazların kısmi basınçlarının toplam basınca oranı ise, karışım içindeki hacimlerinin toplam hacme oranına eşittir.

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n \quad (1-7)$$

## 1.2. Distilasyon Çeşitleri

### 1.2.1. Basit (Diferansiyel) distilasyon

Aralarında en az 80'lik kaynama noktası farkı bulunan sıvıların birbirinden ayrılmasında kullanılır. Bu metot genel olarak % 80 - 95 oranında saf olan sıvıların safsızlıklardan kurtarmak için kullanılır. Distilasyon işleminde termometredeki sıcaklık yavaş yavaş artmaya başladığı zaman, düşük kaynama noktalı safsızlıklar buharlaşır ve soğutucuda yoğunlaşarak toplanmaya başlar. Termometrede okunan sıcaklık sabit kaldığı andan itibaren ana fraksiyon toplanabilir. Bu durum göz önüne alınarak toplama balonunda ilk safsızlıklar toplanmamalıdır. Ana fraksiyon alındıktan sonra yüksek kaynama noktalı safsızlıklar distilasyon sonunda balonda kalır ve sıvı saflaştırılmış olur.

### 1.2.2. Flaş distilasyon

Sıvı karışımının belirli bir kısmı, bir tank içerisinde buharlaştırılır; buhar fazı sıvı fazla temasta bırakılarak, fazların denge durumuna erişmeleri sağlanır. Buhar fazı alınır ve bir kondensörde yoğunlaştırılır.

### 1.2.3. Fraksiyonlu distilasyon

Bir karışımdaki kaynama noktaları birbirine çok yakın maddelerin fraksiyon başlığı kullanılarak ayrıştırılması (saflaştırılması) olayına fraksiyonlu distilasyon denir.

#### **1.2.4. Su buharı distilasyonu**

Su ile karışmayan uçucu sıvılar su ile birlikte distile edilerek saflaştırılabilirler. Normal distilasyonun aksine her bir bileşen ayrı ayrı toplam basınca katkıda bulunur. Su buharı distilasyonunu uygulamak için en emin yollardan birisi dışarıda elde edilen buharın distilasyon balonunun içerisinden geçirilmesidir.

#### **1.2.5. Vakumlu distilasyon**

Kaynama noktaları çok yüksek olan ya da kaynama noktasında dekompoze olabilen sıvıların distilasyonunda kullanılır.

### **1.3. Distilasyon Modları**

#### **1.3.1. Kesikli distilasyon**

Özellikle küçük işletmelerde ve uçuculukları yeterince farklı olan bileşenleri ayırmak için tercih edilen bir yöntemdir. Distile edilecek madde miktarı az olduğunda, distilasyonun periyodik olmayan zaman aralıklarında yapılması gerektiğinde, sadece belli bir kaynama aralığında fraksiyonun alınmasının istendiği durumlarda kesikli distilasyon uygulanabilir.

#### **1.3.2. Sürekli distilasyon**

Karışım kolona sürekli olarak beslenir ve oldukça yüksek kapasiteli tesislerde kullanılır. Sürekli distilasyon kolonlarının tüm kısımlarında akış hızları ve bileşenleri zamandan bağımsızdır.

### **1.4. Distilasyonun Avantajları ve Dezavantajları**

#### **Avantajları:**

- Distilasyon kolonu boyunca birim yükseklikteki basınç düşüşü azdır.
- Düşük kapasitelerde rahat ve ekonomik olarak çalışabilmektedir.
- Korozyif çözeltiler ile kullanılabilirliği yüksektir.
- Isıya duyarlı çözeltilere bile uygulanabilir.

### **Dezavantajları:**

- Dolgu yüksekliği fazla olduğunda sıvı dağılımının güç olması
- Geniş işletme alanına sahip olmamaları.

## **1.5. Kabarcıklanma ve Çiğlenme Noktasının Bulunması**

### **1.5.1. Kabarcıklanma noktası**

Bir sıvı karışımının kabarcıklanma noktası, belirli bir sabit toplam basınçta sıvı ısıtıldığında buharın oluşturduğu ilk kabarcığın görüldüğü sıcaklıktır. Oluşan kabarcığın çok küçük olduğu ve dolayısıyla sıvının kompozisyonunu değiştirmedeği kabul edilir. Kabarcıklanma noktasının hesabı deneme - yayılma metodunun kullanımını gerektirir. Toplam basınç sabit olarak alındığından, bir sıcaklık varsayımı yapılır. Bu sıcaklıkta bileşenlerin buhar basınçları belirlenir. Yapılan varsayımın doğruluğu, aşağıdaki kriter ile kontrol edilir:

$$y_i = P_i \times \frac{x_i}{P_T} \quad (1-8)$$

ile bulunur.

$$\sum y_i = 1 \text{ olmalıdır.}$$

### **1.5.2. Çiğlenme noktası**

Belirli sabit bir toplam basınçta buhar soğutulduğunda yoğunlaşan sıvının oluşturduğu ilk damlanın görüldüğü sıcaklık çiğlenme noktasıdır. Sabit toplam basınç şartlarında, çiğlenme noktasını bulmak için önce bir sıcaklık varsayımı yapılır. Bu sıcaklıkta bileşenlerin buhar basınçları bulunur. Yapılan varsayımın doğruluğu, aşağıdaki kriter ile kontrol edilir:

$$x_i = P_T \times \frac{y_i}{P_i} \quad (1-9)$$

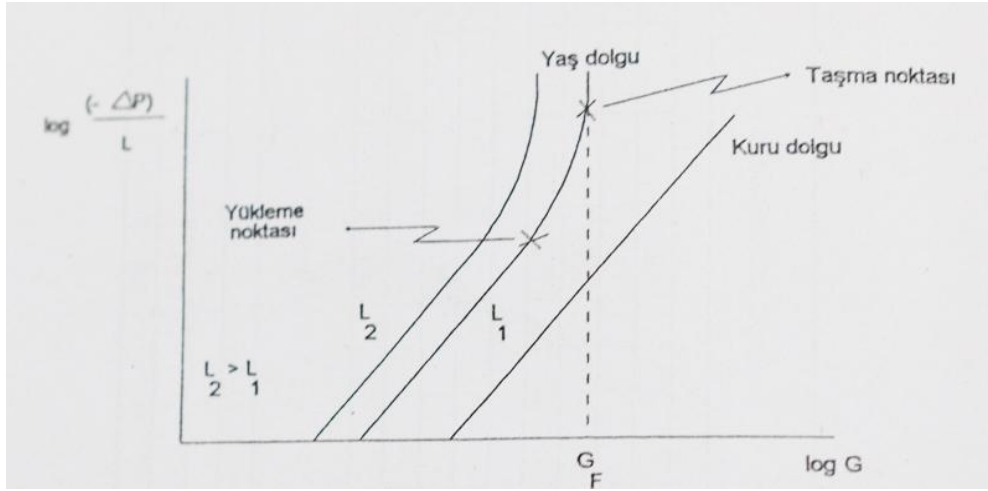
ile bulunur.

$$\sum x_i = 1 \text{ olmalıdır.}$$

### **1.5.3. Damlama noktası ve taşma noktasının bulunması**

Gaz hızı artırıldığında kolon içinde bazı yerlerde lokal olarak sıvının birikmeye başladığı görülür. Bu noktaya damlama noktası denir. Gaz hızı arttıkça toplam sıvı tutulması da artar. Kolon içinde biriken sıvı bütün kolon kesit alanını kapsar. Tüm kolon kesit alanı

sıvıyla kaplandığında, gazda ani olarak çok büyük basınç düşmesi görülür. Şekil 1.1'de eğimin sonsuza ulaştığı, yani eğrinin dik bir doğruya dönüştüğü nokta taşma noktasıdır.



Şekil 1.1. Dolgulu kolonlarda basınç kaybı

## 1.6. Tepsili ve Dolgulu Kolon Distilasyonu İçin Matematiksel Verilerin Bulunması

### 1.6.1. Kolon çapı

Tepsili kolon için;

$$U_v = (-0.171 \text{ ft}^2 + 0.27 \text{ ft} - 0.047) \times \left( \frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V} \right)^{0.5} \quad (1-10)$$

$$D_c = \frac{4 \times V_w}{\pi \times \rho_V \times U_v} \quad (1-11)$$

$U_v$ : Kolonda izin verilen maksimum buhar akış hızı

$V_w$ : Maksimum buhar akış hızı

ft: Raflar arası mesafe

$D_c$ : Kolon çapı

Dolgulu kolon için;

$$\frac{V}{A \times G_F} = \frac{\pi d_c^2}{4} \quad (1-12)$$

$G_F$ : Gaz taşıma hızı

A: Gaz hızının taşıma hızına oranı

### 1.6.2. Reflaks oranı

Ayırma işlemlerinde kolona geri dönen sıvının uzaklaştırılan distilanta oranıdır. Zenginleşme bölgesinde buharı "A" bileşeni cinsinden beslemeye göre daha da

zenginleştirmek için yoğunlaştırıcıdan çıkan sıvının bir kısmı ( $L_0$ ) kolona geri döndürülmektedir.

$$R_D = L_0/D \quad (1-13)$$

**Toplam Reflaks;** Reflaks kolonunun tamamen kapalı olduğu durumdur. Bu sayede yoğunlaştırıcıda yoğunlaşan sıvı, distilant olarak dışarıya çıkmak yerine kolona geri döner.

### 1.6.3. Basınç düşüşü

Tepsilerdeki deliklerin varlığından ve sıvının tepsilerdeki akışından dolayı meydana gelmekte olup her iki etkinin toplamına eşittir. Kolondan yukarı tırmanan buhar akımlarının hızı arttıkça toplam basınç düşüşü de artmaktadır. Bu hız, kazana verilen güç dolayısıyla kaynama hızı değiştirilerek kontrol edilmektedir. Sıvı olmadığı durumlarda, delikli tepsiler birer orifis gibi davranır ve basınç düşüşü hızın karesiyle orantılı olur. Ancak sistemde sıvı akışı olduğundan dolayı bu orantı, sıvı akışı yenileme ve köpürme olana kadar geçerli olmamaktadır. Basınç düşüşü – kaynama hızı grafiğinde (log/log) düşük kaynama hızlarında basınç düşüşü köpürme olana kadar sabit kalırken, yüksek kaynama hızlarında hızlı bir şekilde artmaktadır

## 1.7 Etanol – Su Karışımının Özellikleri

Etanol:  $C_2H_5OH$

$M_A$ :46,07 gr/mol

$\rho$ :0,789 g/cm<sup>-3</sup>

Erime Noktası:-114°C

Kaynama Noktası:78°C

$n_D$ :1,36

$\mu$ :0,0012Pa.s

$P_0$ :5.95 kPa (20°C)

## 1.8. Etanol – Su Karışımının Konsantrasyonunun Deneysel Olarak Bulunması

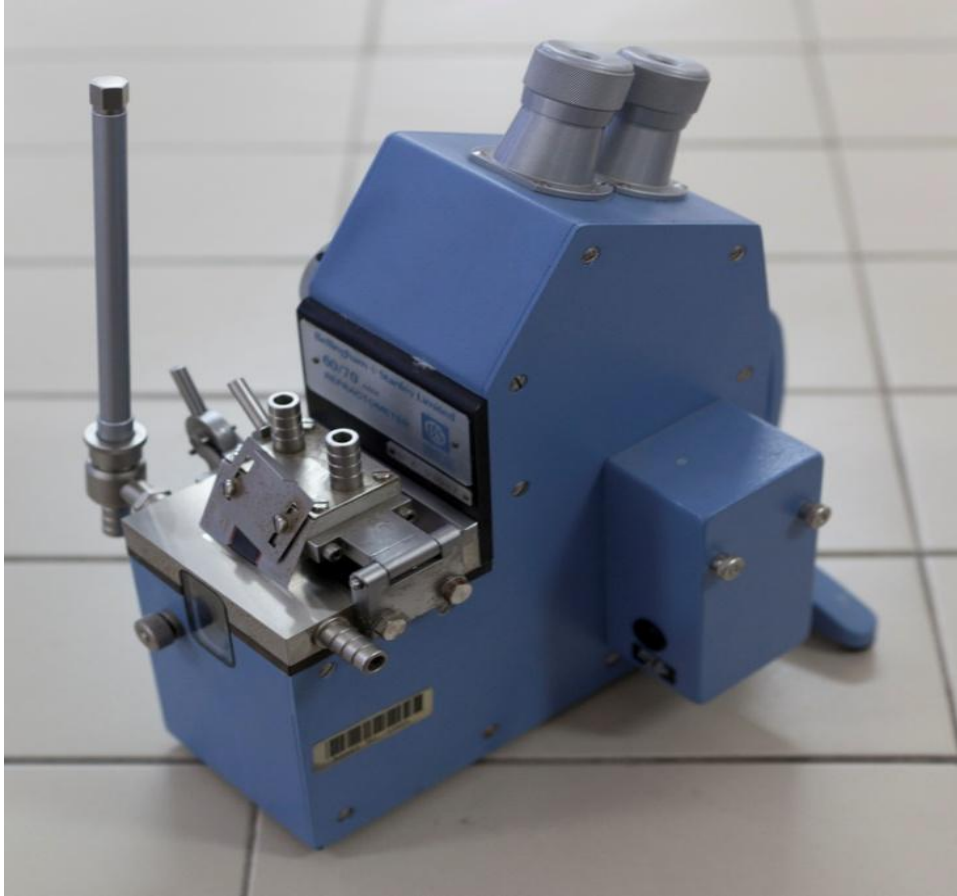
Etanol su karışımının konsantrasyonu deneysel olarak şu şekilde bulunur. Belirli zaman aralıklarında alınan etanol distilantların refraktif indeksi refraktometre cihazıyla bulunur.

Okunan RI için ağırlıkça % etanol tablosundan x'in ağırlıkça % etanole karşılık değeri okunur. X değerinden y değerine geçilir.

$$C_i = \frac{P_T \times y_i}{R \times T} \quad (1-14)$$

## 1.9 Refraktif Index

Maddelerin saydamlığı eşit değildir. Saydamlıkların da kendi arasında derecesi vardır. Bu derecelere ya da sayılara refraktif indeks denir. Refraktif indeks bize o maddenin ışığı ne oranda geçirdiği bilgisini verir. Yani kırılma indisidir. Işık saydam bir ortamdan diğer saydam bir ortama geçerken yolundan sapar, bu olaya ışığın kırınımı olayı denir. Işığın kırınımı ortamların yoğunluğu ile değişir. İşte bu olaydan yararlanılarak yapılan konsantrasyon belirlemelerine refraktometri, bu amaçla kullanılan aletlere de refraktometre (Şekil 1.2) denir. Şekil 1.3'de etanol için 20°C'de refraktif indekse karşılık konsantrasyon değerleri görülmektedir.



Şekil 1.2. Refraktometre.

Ethanol	
Concentration vs. refractive index (20°C)	
% by wt.	nD
0.00	1.3330
0.50	1.3333
1.00	1.3336
1.50	1.3339
2.00	1.3342
2.50	1.3345
3.00	1.3348
3.50	1.3351
4.00	1.3354
4.50	1.3357
5.00	1.3360
5.50	1.3364
6.00	1.3367
6.60	1.3370
7.00	1.3374
7.50	1.3377
8.00	1.3381
8.50	1.3384
9.00	1.3388
9.50	1.3392
10.00	1.3395
11.00	1.3403
12.00	1.3410
13.00	1.3417
14.00	1.3425
15.00	1.3432
16.00	1.3440
17.00	1.3447
18.00	1.3455
19.00	1.3462
20.00	1.3469
22.00	1.3484
24.00	1.3498
26.00	1.3511
28.00	1.3524
30.00	1.3535
32.00	1.3546
34.00	1.3557
36.00	1.3566
38.00	1.3575
40.00	1.3583
42.00	1.3590
44.00	1.3598
46.00	1.3604
48.00	1.3610
50.00	1.3616
52.00	1.3621
54.00	1.3626
56.00	1.3630
58.00	1.3634
60.00	1.3638
62.00	1.3641
64.00	1.3644
66.00	1.3647
68.00	1.3650
70.00	1.3652
72.00	1.3654
74.00	1.3655
76.00	1.3657
78.00	1.3657
80.00	1.3658
82.00	1.3657
84.00	1.3656
86.00	1.3655
88.00	1.3653
90.00	1.3650
92.00	1.3646
94.00	1.3642
96.00	1.3636
98.00	1.3630
100.00	1.3614
Sensitivity: %	0.0650

Şekil 1.3. 20°C'de Etanol için refraktometrik indekse karşılık konsantrasyon verileri.



## 1.11. Azeotrop Karışım

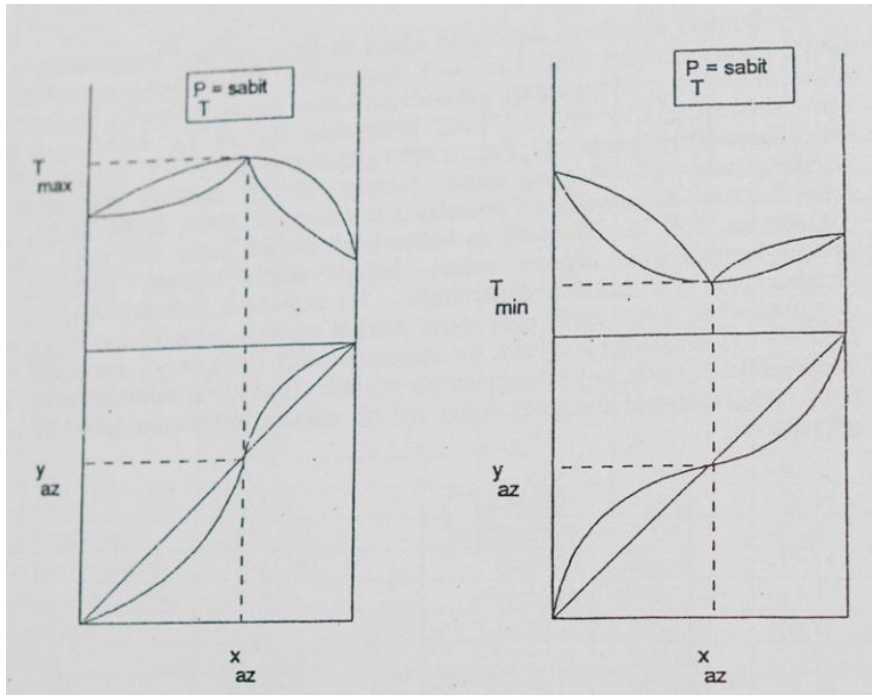
Sabit bir kaynama noktası bulunan ve sıvı ile gaz hallerindeki bileşimi aynı olan yani sıvı fazdaki bileşen yüzdesinin gaz fazdaki bileşen yüzdesine eşit olduğu karışımlardır. Şekil 1.4'de azeotropik karışımların faz diyagramları görülmektedir.

### 1.11.1. Minimum kaynayan azeotroplar

Karışımı oluşturan sıvıların saf haldeki kaynama noktalarından daha düşük sıcaklıklarda kaynayan karışımlardır.

### 1.11.2. Maksimum kaynayan azeotroplar

Karışımı oluşturan sıvıların saf haldeki kaynama noktalarından daha yüksek sıcaklıklarda kaynayan karışımlardır.



Şekil 1.4. Azeotropik karışımların faz diyagramları.

### 1.11.3. Azeotropik karışımların ayrılması

Azeotropik karışımlar sabit basınçta distilasyon ile ayrıştırılamazlar. Böyle azeotropik karışımları distilasyon ile “A” ve “B” bakımından zengin iki değişik karışıma ayırabilmek için, ya toplam basıncı değiştirmek veya azeotropik yapıyı bozmak için üçüncü bir bileşen ilave etmek gerekir. Böylece üç bileşenli distilasyon ile “A” ve “B” yi birbirinden ayırmak mümkün olur. Ayrıca, sıvı – sıvı ekstraksiyon da böyle azeotropik karışımların ayrıştırılmasında kullanılabilir.

### 1.12. Dolgulu Kolonda Kütle Denkliği

**Sıvı faz için:**

$$L = K_{xa} \times HTU \times s \quad (1-15)$$

$$K_{xa} = \frac{L}{HTU \times s} \quad (1-16)$$

$$HTU \times NTU = L^* \quad (1-17)$$

$$NTU = \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x-x^*} \quad (1-18)$$

**Gaz faz için:**

$$V = K_{ya} \times HTU \times s \quad (1-19)$$

$$K_{ya} = \frac{V}{HTU \times s} \quad (1-20)$$

$$HTU \times NTU = L^* \quad (1-21)$$

$$NTU = \int_{y_1}^{y_2} \frac{dy}{y^*-y} \quad (1-22)$$

L: Sıvı akış hızı

V: Buhar akış hızı

$x_a$ : Sıvıdaki kütle transfer katsayısı

$y_a$ : Gazdaki kütle transfer katsayısı

HTU: Bir transfer ünitesinin yüksekliği

s: Kolon yüzey alanı

$L^*$ : Kolon boyu

NTU: Kütle Transfer Birim Sayısı

**Kütle denkliği:**

$$F = D + B \quad (1-23)$$

F: Beslemeye giren toplam sıvı

D: Distilant

B:Reboiler'dan çıkan sıvı

$$F \times x_f = D \times x_D + B \times x_B \quad (1-24)$$

## 2. DENEYSEL KISIM

### 2.1.Ön Çalışma

#### 2.1.1. Teorik altyapı

1. Distilasyon işleminin teorisini ve işletmesini çalışınız.
2. Çok bileşenli bir karışımda kabarcıklanma ve çığlenme noktalarını nasıl bulursunuz.?
3. P- buhar akış hızı grafiğini kullanarak aşağıdakileri açıklayınız.:
  - a. tepsili kolonlar için damlama noktası
  - b. dolgulu ve tepsili kolonlar için taşma noktası
4. Tepsili ve dolgulu distilasyon kolonları için aşağıdakileri nasıl bulursunuz?
  - a. Kolon çapı
  - b. Tepsi yada transfer ünite sayısı
  - c. Reflux oranı, L/D
  - d. Basınç düşüşü,  $\Delta P$
5. Etanol-su karışımının özelliklerini ve sıvı-buhar denge datasını bulunuz.
6. Deneysel olarak etanol-su karışımının konsantrasyonlarını nasıl bulursunuz?
7. Refraktifindex, RI nedir? Etanol-su karışımı için RI-konsantrasyon grafiğini bulunuz.
8. FenskeUnderwood Denklemine açıklayınız.
9. Rayleigh Denklemine açıklayınız.
13. Azeotrop ne demektir ve azeotropik karışımları ayırmak için neler yapılabilir?

#### 2.1.2 Kolon ebatları ve deneysel ön çalışma:

1. Deney düzeneğini inceleyiniz, nasıl çalıştığını anlayınız.
2. Kolon ve ek parçalarının boyutlarını ölçünüz.
3. Yeterli miktarda numune şişesi var mı kontrol ediniz.
4. Gerekli olan entalpi-konsantrasyon, denge diyagramları ve refraktif indeks konsantrasyon bilgilerini hazırlayınız.
6. Kazandaki solüsyonun seviyesini kontrol ediniz.
7. Data tablosu hazırlayınız.

## 2.2 Deney Prosedürü

### Kısım A: Toplam reflux

1. Reflaks ayırıcısı toplam reflaks konumuna getiriniz.
2. Kondenser için soğutma suyunu açınız.
3. Besleme kabını arzu edilen konsantrasyon değerindeki etanol-su karışımı ile doldurunuz.
4. Isıtıcıyı açınız ve sistem sıcaklıklarını her 5 dakikada bir kayıt ediniz.
5. Sistem kararlı hale gelinceye kadar reflux hattından her 10 dakikada bir numune alınız ve analiz ediniz.
6. Deneyi bitirmek için ısıtıcıyı ve soğutma suyunu kapatınız.
7. Numuneleri oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutunuz.

### Kayıtlar:

#### Sistem kararlı hale ulaştığında aşağıdakileri ölçüp kaydediniz.

1. Kolon alt ve üst sıcaklıkları.
2. Kolon alt ve üst konsantrasyonları.
3. Kolona verilen enerji miktarı.
4. Soğutma suyunun sıcaklığı ve akış hızı.
5. Reflux hızı.

### VERİ UYGULAMA:

1. Kararsız işletme periyodu için sıcaklık ve konsantrasyon değişim grafiklerini çiziniz.
2. Kararlı hal için besleme balonundan ayrılan buharın molar ve kütleli akış hızlarını bulunuz.
3. Kararlı halde reflux akımının molar ve kütleli akış hızlarını bulunuz.
4. Entalpinin sıvı ve buhar fazın denge bileşimlerinin fonksiyonu olarak grafiğini çiziniz
5.
  - a. Ana akımların entalpisini (molarbazda) sıcaklık ve bileşim belirterek hesaplayınız ve tablolaştırınız.
  - b. Kolonun dolgulu kısmının etrafındaki entalpi dengesini uygulayınız.
  - c. Akabindeki akımların enerji hızlarını hesaplayınız ve kıyaslayınız: reflux'a karşı buhar,kazandan çıkan buhar,kolonun tepesinden çıkan buhar,
6. Buhar fazı ve sıvı faz için NTU ve HTU değerlerini hesaplayınız.

7. Buhar ve sıvı faz için toplam kütle transferi katsayılarını hesaplayınız.
8. Transfer tabakasının yükseklik eşdeğer (HETP) değerini hesaplayınız.
9. Sonuçlarınızı tablolarınız.

### **Kısım B:**

1. Kazanın etanol-su karışımıyla tamamen dolu olduğundan emin olun.
2. Sistem kararlı hale ulaştığında toplam reflux'da reflux oranını ölçün.
3. Reflux ayırıcısı istenilen reflux pozisyonuna getirin.
4. Soğutma suyunu damıtma hattına açın.
5. Kazanın ve reflux hattının sıcaklığını 10 dakikalık aralıklarla ölçerek kaydedin.
6. Toplam işlem süresine ulaşıncaya kadar 10 dakikalık aralıklarla kazandan ve reflux hattından örnekler alın hacimlerini ölçün ve analiz edin.

### **Kayıtlar:**

#### **Her zaman aralığı için ölçün ve kaydedin.**

1. Kolonun tepesindeki ve dibindeki sıcaklıklar.
2. Buharın oranı, basıncı ve sıcaklığı
3. Kolonun tepesindeki ve dibindeki bileşimler
4. Soğutma suyu hızı ve sıcaklığı.
5. Reflaks hızı..

### **VERİ UYGULAMA**

1. Kazandaki ve damıtık alkol miktarını bulunuz.
2. Gereken ısıyı ve işlem sonundaki damıtığın ortalama bileşimini hesaplayınız.

### **TARTIŞMA**

1. Örnek toplamak , tüm akımların hızlarını ve konsantrasyonlarını bulmak için kullanılan prosedürü gözden geçirin. Kabullerinizi ve hatalarının muhtemel kaynaklarını belirleyiniz.
2. Kolon etrafındaki toplam ısı dengesi hakkında yorum yapınız.
3. NTU, HTU, ve HETP değerlerinin hesaplanmasındaki kabullerinizi açıklayınız.
4. Kütle transfer katsayılarını etkileyen parametreler nelerdir?
5. Diğer kabullerinizi, hesaplamalarınız ve sonuçlarınızdaki hataların sebepleri hakkında yorum yapınız.
6. Sonuçlarınız hakkında yorum yapınız. Hepsisi doğru mu? Neden?

## **KAYNAKLAR**

1. Geankoplis, C. J., *Transport Processes and Unit Operations*, 3<sup>rd</sup> Ed., Allynand Bacon Series in Engineering, USA, 1993
2. Kister, H. Z., *Distillation Operation*, McGraw Hill Company, New York, 1992
3. McCabe, W. L., Smith J. C., andHarriott, P., *Unit Operations of Chemical Engineering*, 6<sup>th</sup> ed., McGrawHillCompany, New York, 2001
4. Perry, R. H., Green, D., Maloney, J. O., *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 6<sup>th</sup> Ed, McGrawHillCompany, 1985
5. Sherwood, T. K., Pigford R. I. , Wilke C. R., *Mass Transfer*, McGraw Hill Company, New York, 1985
6. Sinnott, R. K., *ChemicalEngineering: An Introduction to Chemical Engineering Design*, Pergamon Press, London, 1979
7. Treybal, R. E., *Mass Transfer Operations*, Mc Graw Hill Company, New York, 1980
8. Wankat, P. C., *Separations in Chemical Engineering: Equilibrium Staged Separations*, Elsevier, NewYork, 1988
9. Seader, J.D., Henley, E.J., *Separation Process Principles*, John Wileyand Sons, New York, 1998.
10. Schweitzer, A. Philip, *Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers*, 3<sup>rd</sup> McGrawHill, America, 1997.