

# Çok Bileşenli Karışımların Short Cut Metodu ile Tasarımı[1-4]

## KAYNAKLAR

1. J.M. Coulson, J.F. Richardson ve R.K. Sinnott, 1983. Chemical Engineering V: 6, Design, 1st Ed., Pergamon, Oxford.
2. M.S. Peters ve K.D. Timmerhaus, 1985. Plant Design and Economics for Chemical Engineers, 3rd Ed., McGraw-Hill, New York.
3. R.H. Perry, D. Green, 1984. Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6rd Ed., McGraw-Hill, New York.
4. R. Turton, R.C.Bailie, W.B.Whiting, J.A. Shaeiwitz, 1998. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes, 1st Ed., Prentice Hall, New Jersey.

# DİSTİLASYON

Kimya ve buna bağlı endüstrilerde en çok kullanılan ayırma prosesi distilasyondur.

Uygulama alanı antik çağda yapılan alkol rektifikasyonundan günümüze ham petrolün fraksiyonlarına ayrılması proseslerine kadar uzanır.

Distilasyon ve diğer denge-kademeli prosesleri iyi bir şekilde anlayabilmek için **buhar-sıvı denge verilerinin** korelasyonunda kullanılan yöntemleri bilmek gerekir.

# Distilasyon Kolonlarının Tasarımı

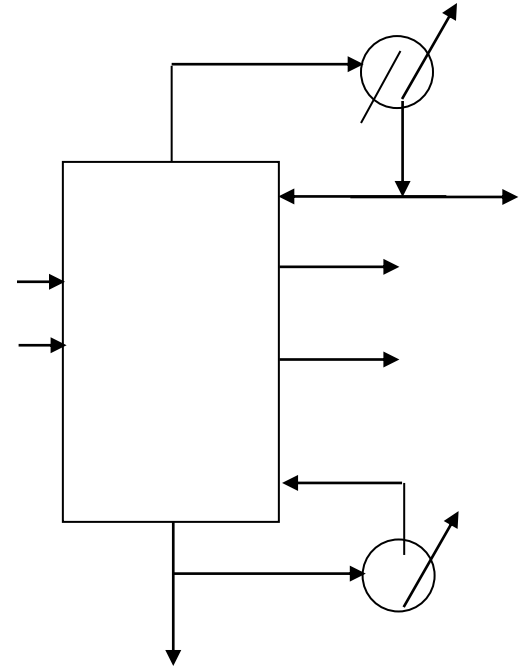
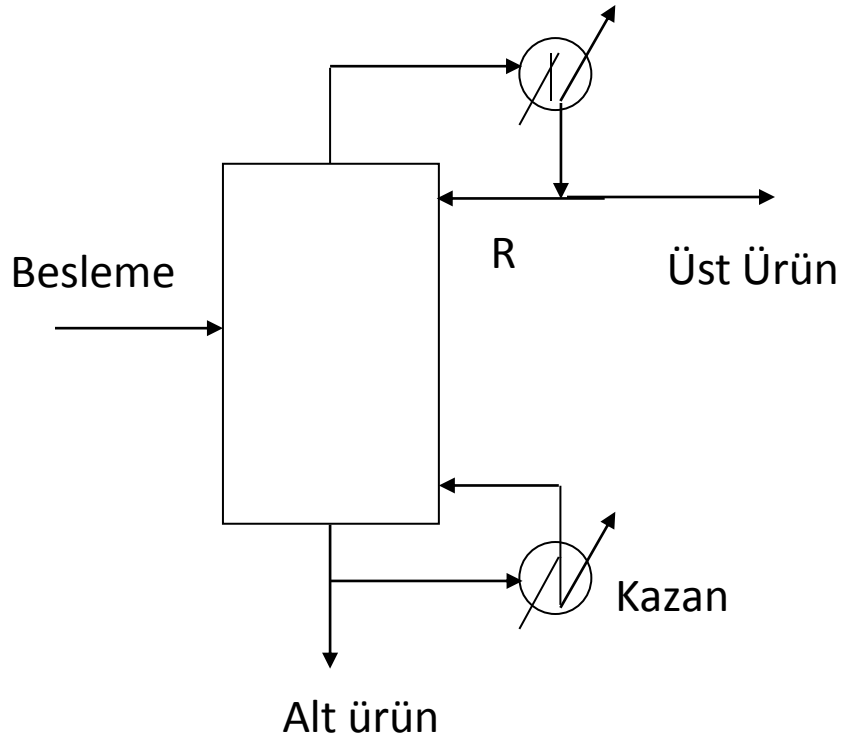
Bir distilasyon kolonununun tasarımında genellikle aşağıdaki adımlar izlenir.

1. İstenilen ayırma derecesinin belirlenmesi. **Ürün spesifikasyonu.**
2. İşletme koşullarının seçilmesi. **Kesikli veya sürekli distilasyon** proseslerinden birinin seçilmesi ve **işletme basıncının belirlenmesi.**
3. Kolon içindeki temas tipinin seçilmesi: **Rafli veya dolgulu kolanlar.**
4. Kademe ve geri akma oranının (reflux) belirlenmesi: **Denge kademe sayısının bulunması.**
5. Kolon boyutlarının hesaplanması: **çap, yükseklik, gerçek kademe sayısı ve benzeri değerler.**
6. Kolon iç tasarımı, **kademeler, dağıtıcılar, dolgu destekleyici.**
7. Mekanik tasarım, **kolon ve iç fittingler**

Kolon tasarımında önemli adımlardan birisi **kademe sayısının ve geri akma oranının** belirlenmesidir. Besleme akımı ikili bir karışım olduğunda bu hesaplamalar nispeten kolaydır. Fakat besleme çok bileşenli bir karışım olduğunda kompleks ve zordur.

## **SÜREKLİ DİSTİLYASYON: Prosesin Tanımı**

Bir sıvı karışımın damıtılarak ayrılması, karışımı oluşturan bileşenlerin **uçuculukları** arasındaki farka dayanır. Bağıl uçuculuğun büyük olması ayırmanın kolay olması anlamına gelir .



**Şekil-1** Sürekli Akımla İşletilen Distilasyon Kolonu

Üst ürünün buhar olarak istendiği bazı işletim şekillerinde, kolonda geri akımı temin etmek için sadece yeteri kadar sıvı yoğuşturulur. Bu tip yoğuşturuculara **kısmi yoğuşturucu** adı verilir.

Sıvının tümü yoğuşturulduğunda kolona geri gönderilen sıvı üst ürün ile aynı bileşimde olur. Geri akım ile yoğuşturucudan çıkan **buhar akımı dengededir.**

Gerçekte basit bir kolon kullanarak **iki bileşenli** bir beslemeden saf dip ve üst ürünler elde edilebilir.

Fakat besleme ikiden fazla bileşen içeriyorsa kolonun üstünden veya altından **sadece bir tek** saf ürün alınabilir. O nedenle çok bileşenli bir girdiyi bileşenlerine ayırabilmek için genellikle **daha fazla sayıda kolona** gereksinim vardır.

## ÇOK BİLEŞENLİ KARIŞIMLARIN DİSTİLYASYONU

- Çok bileşenli karışımların distilasyonunda **kademe sayısının ve geri akma oranının tayin** edilmesi ikili karışımlara kıyasla çok daha kompleksdir. Çok bileşenli karışımlarda bileşenlerden birisinin derişimini bilmekle diğerlerinin derişimini ve kademe sıcaklığını hesaplamak mümkün değildir.
- Alt ve üst ürünler arasındaki ayırma, ayrılması istenen iki **anahtar bileşeni** ( key components) belirleyerek spesifiye edilebilir.

Burada çok bileşenli karışımların ayrılmasında kullanılan kolonların tasarımı için gerekli hesaplamaların yapılması amacıyla **KESTİRME YÖNTEMLER** (Short-Cut Methods) geliştirilmiştir.

Kestirme Yöntemler İki Gruba Ayrılır.

1. **Hengstebec Yöntemi** (Grafiksel yöntem)

2. **Empirik yöntemler**: Bugün uygulamada kesin tasarımların sonuçlarını veya işletilen kolonların performanslarını temel alarak kullanılmaktadır. İleride açıklanacak olan

“Gilliland ” ve “Erbar Maddox”

bağıntıları bu yaklaşım için birer örnektir.



## ANAHTAR BİLEŞENLER

Kolon tasarımına başlamadan önce, ayrılması istenen bileşenler arasında iki tanesi anahtar bileşen olarak seçilmelidir.

**Hafif anahtar**, dip üründe olmaması istenen bileşen

**Ağır anahtar**, üst üründe olmaması istenen bileşen olarak tanımlanır.

**Spesifiye etme**, alt ve üst ürün içerisindeki anahtar bileşenlerin maksimum derişimlerini belirleyerek yapılır.

Hangi bileşenlerin anahtar bileşenler olacağı kolaylıkla belirlenebilir.

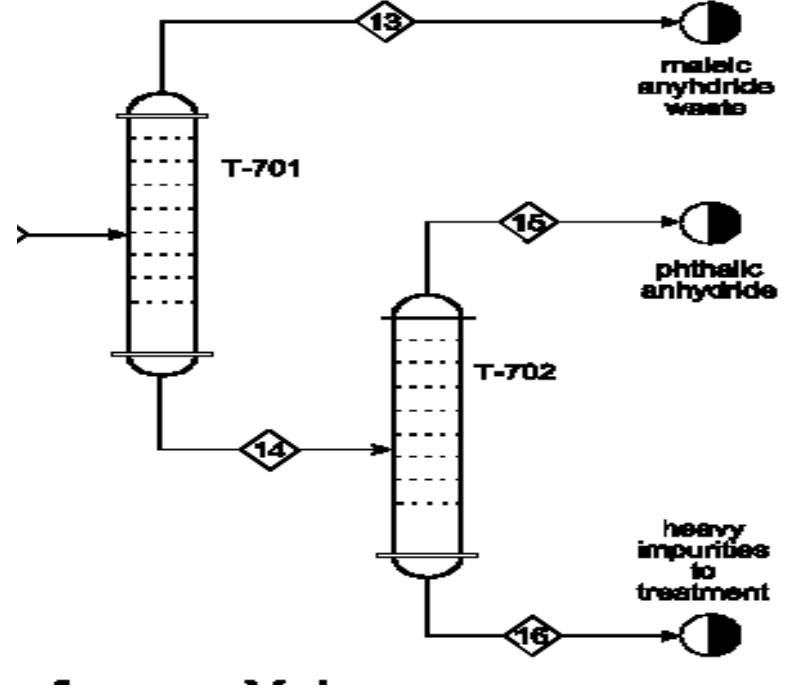
Fakat bazı durumlarda, özellikle kaynama noktaları birbirine çok yakın **izomerlerin karışım** içerisinde bulunması halinde herhangi birisinin seçilmesine karar verilir (herhangi bir kriter olmaksızın).

Anahtar olmayan bileşenlerden, dip ve üst ürünler

içerisinde bulunanlara “**dağılmış bileşenler**” adı verilir.

## KOLON SAYISI

ÇBK distilasyonunda tek bir kolon kullanarak saf bir bileşen elde etmek yani tam bir ayırma yapmak mümkün değildir. Eğer ÇBK dan birkaç tane bileşen saf halde elde edilmek isteniyorsa birkaç tane kolon kullanılması gerekir. Saf olmayan ürünler yan akım olarak alınabilir.



- Ayrıcı raf sayısının çok fazla olduğu kolonlarda kolon boyunun büyüklüğünü azaltmak amacıyla tek kolon yerine **iki ayrı kolon** kullanılması tercih edilir.

## KESTİRME YÖNTEMLER (Short-cut Methods)

- Bu bölümde bilgisayar kullanımını gerektirmeyen bazı kestirme yöntemler verilmiştir.
- Kestirme yöntemlerin çoğu petrol ve petrokimya endüstrisinde hidrokarbon karışımlarının ayrılmasında kullanılan ayırma kolonlarının tasarımı için geçerlidir.
- Kestirme yöntemler genellikle sabit bağıl uçuculuk varsayımını temel alır ve ideal olmayan sistemler için kullanılmamalıdır.

## EŞDEĞER-İKİLİ SİSTEMLER (pseudo-binary systems)

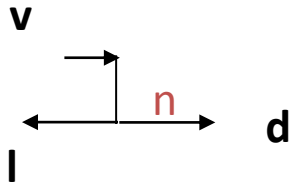
- Eğer diğer bileşenlerin mevcudiyeti, anahtar bileşenlerin uçuculuğunu önemli ölçüde etkilemiyorsa sistem anahtar bileşenlerden oluşan eşdeğer ikili karışım gibi düşünülebilir.
- Kademe sayısı, McCabe Thiele diagramı veya ikili sistemler için verilen diğer yöntemler kullanılarak hesaplanabilir. Bu basitleştirme, anahtar olmayan bileşenlerin karışım içindeki miktarı küçük olduğunda veya bileşenler hemen hemen ideal bir karışım oluşturduklarında yapılabilir.
- Anahtar olmayan bileşenlerin derişimi % 10'dan daha az ise anahtar bileşenle birlikte ele alınır.

Daha yüksek derişimlere sahip olduklarında ise Hengstebeck yöntemi ile ikili eşdeğer hale indirgenir.

### Hengstebeck Yöntemi:

- Herhangi bir  $i$  bileşeni için, bileşenlerin derişimleri yerine her bir bileşenin molar akış hızlarına bağlı olarak yazılabilir.

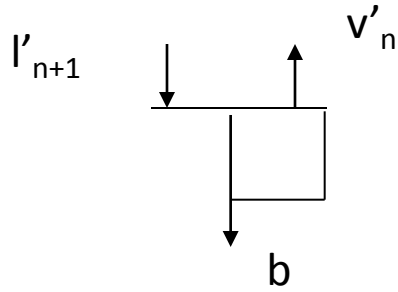
### Zenginleştirme bölgesi için



$$v_{n+1,i} = l_{n,i} + d_i \quad (9)$$

$$v_{n,i} = K_{n,i} \frac{V}{L} l_{n,i} ; y_n = K_n x_n \quad (10)$$

## Sıyırma bölgesi için



$$I'_{n+1,i} = v'_{n,i} + b_i \quad (11)$$

$$v'_{n,i} = K_{n,i} \frac{V}{L} I'_{n,i} ; y_n = K_n x_n \quad (12)$$

**V,L** Toplam akış hızları olup, sabit olduğu kabul edilmiştir.

Çok bileşenli sistemi, eşdeğer ikili sisteme indirgemek için **anahtar bileşenlerin** kolon boyunca akış hızlarını hesaplamak gerekir.

Her bir bölgedeki anahtar olmayan bileşenlerin akış hızlarını limit hızlara eşitleyerek anahtar bileşenlerin eşdeğer akış hızları hesaplanır.

$$L_e = L - \sum \underline{l}_i \quad V_e = V - \sum \underline{v}_i \quad (13)$$

$$L'_e = L' - \sum \underline{l}'_i \quad V'_e = V' - \sum \underline{v}'_i \quad (14)$$

$V_e, L_e$ : Anahtar bileşenlerin akış hızları

$v_i, l_i$ : Zenginleştirme bölgesinde, anahtar bileşenlerden daha hafif olan bileşenlerin kısıtlı (limitli) sıvı ve buhar akış hızları.

$\underline{v}'_i, \underline{l}'_i$  : Sıyırma bölgesinde anahtar bileşenlerden daha ağır bileşenlerin limitli sıvı ve buhar akış hızları olarak verilmektedir.



Limit akış hızlarını hesaplamak için, aşağıdaki bağıntılar verilmiştir.

$$l_i = \frac{d_i}{\alpha_i - 1} \quad v_i = l_i + d_i \quad (15)$$

$$l'_i = v'_i + b_i \quad v'_i = \frac{\alpha_i b_i}{\alpha_{Lk} - \alpha_i} \quad (16)$$

$\alpha_{LK}$  : Hafif anahtar bileşenin bağıl uçuculuğu

$\alpha_i$  : i bileşenin bağıl uçuculuğu (ağır anahtar bileşene göre )

- Eşdeğer anahtar bileşenlerin hızlarının hesaplanmasından sonra eşdeğer ikili sistem için işletme doğrularını çizmek mümkün olur.
- Hafif anahtar için sabit bir bağıl uçuculuk varsayılarak denge eğrisi çizilebilir;

$$y = \frac{\alpha_{Lk} x}{1 + (\alpha_{Lk} - 1)x} \quad (17)$$

Burada,  $y$  ve  $x$  hafif anahtarın buhar ve sıvı fazdaki derişimleridir.

## Örnek 1

- Bütan-pentan ayırıcısında aşağıda bileşimi verilen karışımı ayırmak için gerekli kademe sayısını hesaplayınız. Kolon 8.3 bar basınç altında çalıştırılacak ve geri akma oranı 2.5 olacaktır. Besleme akımı kaynama sıcaklığındadır.

Bileşen	Besleme, f	Üst Ürün, d	Alt Ürün, b
Propan C3	5	5	0
i-bütan i-C4	15	15	0
n-bütan n-C4 <sub>(LK)</sub>	25	24	1
i-pentan i-C5 <sub>(HK)</sub>	20	1	19
n-pentan n-C5	35	0	35
Toplam, kmol	100	45	55

Kolonun üst ve alt sıcaklıkları;  
üst ürün için çığlenme sıcaklığı ve  
alt ürün için kaynama sıcaklığı hesaplanarak bulunur.

Kolonun tepe sıcaklığı  $65^{\circ}\text{C}$

dip sıcaklığı  $120^{\circ}\text{C}$  bulunur.

Bağıl uçuculuklar;

$$\alpha_{ij} = \frac{K_i}{K_j}$$

$$K_i = \frac{y_i}{x_j}$$

$$K_j = \frac{y_i}{x_j}$$

$$\alpha_i = \frac{K_i}{K_{HK}}$$

Bağıntılarından

hesaplanabilir

Denge sabitleri ise Depriester diyagramlarından okunur.

## Bağıl uçuculuklar

<b>Sıcaklık</b>	<b>Üst 65 ° C</b>	<b>Alt 120° C</b>	<b>Ortalama</b>
<b>Propan C3</b>	5,5	4,5	5,0
<b>i-bütan i-C4</b>	2,7	2,5	2,6
<b>n-bütan n-C4</b>	2,1	2,0	2,0
<b>i-pentan i-C5</b>	1,0	1,0	1,0
<b>n-pentan n-C5</b>	0,84	0,85	0,85

Anahtar bileşenlerin haricindeki bileşenlerin akım hızları 15, 16 nolu bağıntılardan yararlanılarak hesaplanır.

	$\alpha_i$	$d_i$	$\underline{l}_i = \frac{d_i}{\alpha_i - 1}$	$\underline{v}_i = \underline{l}_i + d_i$
C3	5	5	1,3	6,3
i-C4	2,6	15	9,4	24,4
			$\sum \underline{l}_i = 10,7$	$\sum \underline{v}_i = 30,7$

	$\alpha_i$	$b_i$	$\underline{v}'_i = \frac{\alpha_i b_i}{\alpha_{Lk} - \alpha_i}$	$\underline{l}'_i = \underline{v}'_i + b_i$
n-C5	0,85	35	25,9	60,9
			$\sum \underline{v}'_i = 25,9$	$\sum \underline{l}'_i = 60,9$

- Anahtar bileşenlerin eşdeğer akış hızları:

$$L_e = L - \sum \underline{l}_i D - \sum \underline{l}_i \quad V_e = V - \sum \underline{D}_i (R + 1) - \sum \underline{V}_i$$

$$= 2,5 \times 45 - 10,7 = 101,8 \quad = 45(2,5 + 1) - 30,7 = 126,8$$

Burada L, zenginleştirme bölgesinde sabit sıvı akış hızı olup geri akış hızına (L<sub>0</sub>) eşittir.

V, zenginleştirme bölgesinde sabit buhar akış hızı olup

$$V = L_0 + D = D(L_0/D + 1) = D(R + 1)$$

$$V'_e = V' - \sum \underline{D}'_i (R + 1) - \sum \underline{V}'_i = 45(2,5 + 1) - 25,9 = 131,6$$

$$L'_e = L' - \sum \underline{l}'_i (V' + B) - \sum \underline{l}'_i = (2,5 + 1)45 + 55 - 60,9 = 151,6$$

Burada,  $V'$  sıyrma bölgesinde sabit buhar akış hızıdır.

$$V' = L_0 + D = D(R+I)$$

$L'$  ise sıyrma bölgesinde sabit sıvı akış hızıdır.  $L' = V' + B$

Üst işletme doğrusunun eğimi  $Le/Ve = 101.8/126.8 = 0,8$

ve alt işletme doğrusunun eğimi  $Le'/Ve' = 151.6/131.6 = 1,15$  dir.

$$x_b = \frac{LK}{(LK + HK)} = \frac{1}{19+1} = 0,05$$

$$x_d = \frac{24}{24+1} = 0.96$$

$$x_f = \frac{25}{25+20} = 0,56$$

$$y = \frac{\alpha_{LK}}{1 + (\alpha_{LK} - 1)x} = \frac{2,0x}{1 + (2-1)x} = \frac{2x}{1+x}$$



x	0.1	0.20	0.40	0.60	0.80
y	0.18	0.33	0.57	0.75	0.89

Yukarıdaki hesaplamaların sonuçlarından yararlanılarak McCabe Thiele diagramı çizilir.

1. Denge eğrisi çizilir.

2. Diagram üzerinde  $x_b$ ,  $x_d$  noktaları işaretlenir.

3. Eğimi  $L/V = 0,8$  olan ve  $x_d'$  den geçen üst işletme doğrusu çizilir.

$$y = ax + b$$

$$x = 0,96 \text{ için}$$

$$x = 0,6 \text{ için}$$

$$y = 0,8x + b$$

$$y = 0,96 \text{ olup } b = 0,192$$

$$y = 0,67$$

4. Eğimi  $Le'/Ve' = 1.15$ , olan ve  $x_b'=0.05$

noktasından geçen alt işletme doğrusu çizilir.

$$y = ax + b$$

$$x = 0,05 \text{ için}$$

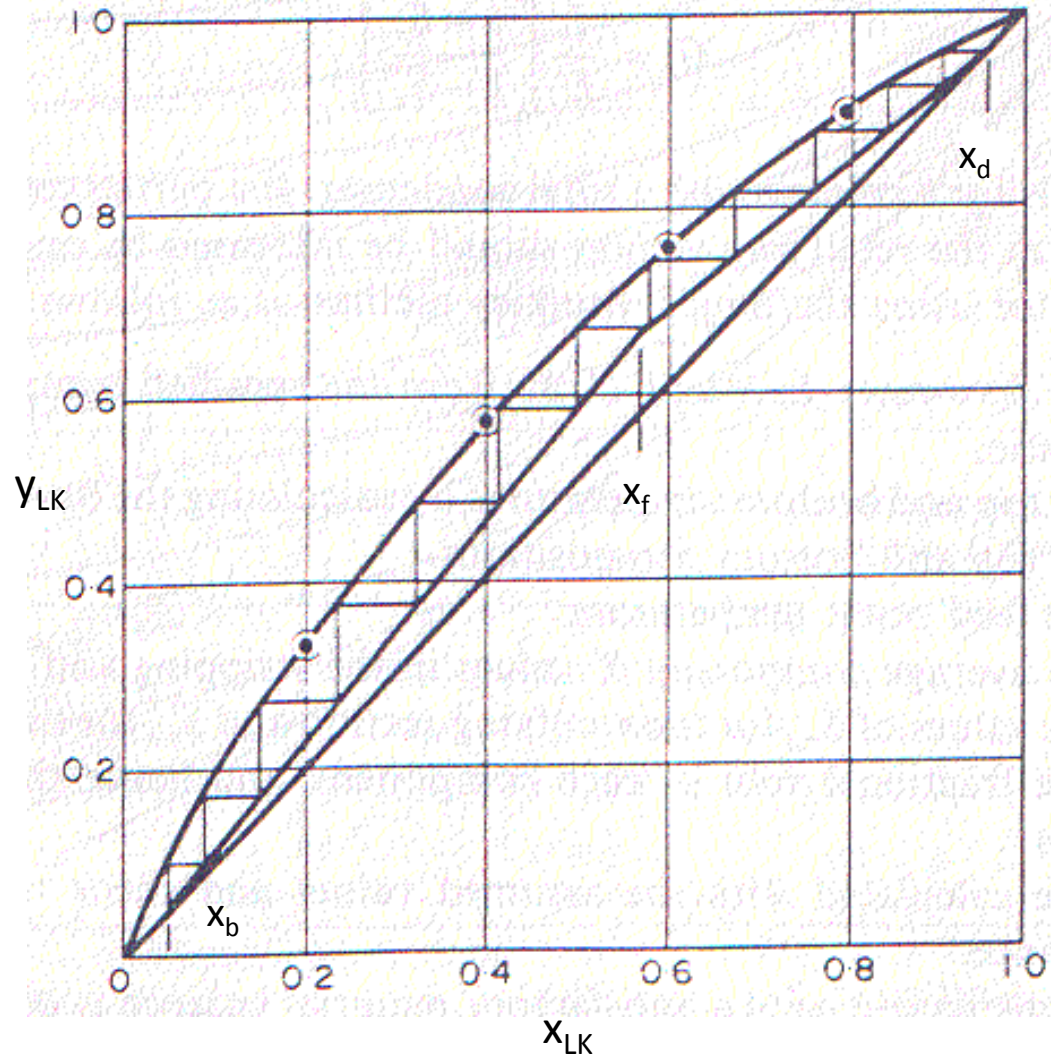
$$y = 0,4 \text{ için}$$

$$y = 1,15x + b$$

$$y = 0,05 \text{ olup}$$

$$y = 0,4525$$

$$b = -0,0075$$



McCabe-Thiele Diyagramı çizildiğinde ayırma için 12 kademe gerektiği ve besleme akımının dipten itibaren 8. kademedan yapılması gerektiği görülür.