

## Onda' nın Metodu

Onda et. al. film kütle transfer katsayıları  $k$  ve  $k_L$  ile etkin ıslak bölge alanı  $a_w$  için kullanışlı korelasyonlar yayımlamıştır. Burada  $a_w$ ,  $H_G$  ve  $H_L$  yi hesaplamak için kullanılır.

Onda'nın korelasyonları çok fazla miktarda gaz absorpsiyonu ve destilasyon verilerine bağlanmıştır.

Etkin bölge için eşitlik;

$$\frac{a_w}{a} = 1 - \exp \left[ -1.45 \left( \frac{\sigma_c}{\sigma_L} \right)^{0.75} \left( \frac{L_w^*}{a\mu_L} \right)^{0.1} \left( \frac{L_w^* a}{\rho_L^2 g} \right)^{-0.05} \left( \frac{L_w^* a}{\rho_L \sigma_L} \right)^{0.2} \right]$$

ve kütle aktarım katsayısı için:

$$k_L \left( \frac{\rho_L}{\mu_L g} \right)^{1.3} = 0.0051 \left( \frac{L_w^*}{a_w \mu_L} \right)^{2.3} \left( \frac{\mu_L}{\rho_L D_L} \right)^{-1.2} (ad_p^{0.4})$$

$$\frac{k_G RT}{a D_v} = K_5 \left( \frac{V_w^*}{a \mu_c} \right)^{0.7} \left( \frac{\mu_v}{\rho_v D_v} \right)^{1.3} (ad_p)^{-2.0}$$

- $K_5$  : 15 mm üzerindeki dolgu boyutları için 5.23 ve 15 altındaki için ise 2.0  
 $Lw^*$  : birim kesit alanı başına kütleli akış hızı, kg/ m<sup>2</sup>s  
 $V_w^*$  : birim kesit alanı başına kütleli gaz akış hızı, kg /m<sup>2</sup>s  
 $a_w$  : birim hacim başına dolgunun etkin arayüzey alanı, m<sup>2</sup>/ m<sup>3</sup>  
 $a$  : birim hacim başına dolgunun gerçek alanı, m<sup>2</sup>/ m<sup>3</sup>  
 $d_p$  : dolgu boyutu, m  
 $\sigma_c$  : aşağıda verilen özel dolgu maddeleri için kritik yüzey gerilimi

<u>Madde</u>	<u><math>\sigma_c</math> mN/m</u>
--------------	-----------------------------------

Seramik	61
---------	----

Metal	75
-------	----

Plastik	33
---------	----

Karbon	56
--------	----

$\sigma_L$  : sıvı yüzey gerilimi, mN/m

$k_G$  : gaz film kütle transfer katsayısı, kmol/m<sup>2</sup> s atm ya da kmol/m<sup>2</sup> s

$k_L$  : sıvı film kütle transfer katsayısı, kmol/m<sup>2</sup> s (kmol/m<sup>3</sup> s) = m/s

$k_G'$  nin birimi gaz sabitine bağlıdır;

$R = 0.08206 \text{ atm m}^3 \text{ kmol K}$  ya da  $0.08314 \text{ bar m}^3 \text{ kmol K}$

Film transfer birimleri yüksekliği aşağıdaki gibidir;

$$H_G = \frac{G_m}{k_G a_w P}$$
$$H_L = \frac{L_m}{k_L a_w C_t}$$

Burada;

- P : Kolon işletme basıncı, atm ya da bar
- C<sub>t</sub> : Toplam derişim, kmol/m<sup>3</sup> =  $\frac{\rho_L}{M}$  /çözücü molekül ağırlığı
- G<sub>m</sub> : birim alan başına molar gaz akış hızı, kmol/m<sup>2</sup>s
- L<sub>m</sub> : birim alan başına molar sıvı akış hızı, kmol/m<sup>2</sup>s

## Kolon Çapı (Kapasite)

Bir dolgulu kolonun kapasitesi kesit alanından belirlenebilir.  
Gaz hızı taşma hızının yaklaşık %80'i kadardır.

Tavsiye edilen basınç düşmesinin tasarım değerleri ( mm su/m dolgu);

Absorpsiyon ve desorpsiyon : 15-50

Destilasyon : 40-80

Seçilen basınç düşmesinde kolon kesit alanı ve çapı, Şekil 11.44'de verilen Basınç düşmesi korelasyonundan belirlenebilir .  $K_4$  terimi şekil 11.44'e göre şu şekilde de hesaplanabilir

$$K_4 = \frac{42.9(V_w^*)^2 F_p (\mu_L \rho_L)^{0.1}}{\rho_v (\rho_L - \rho_v)}$$

Burada;

$V_w^*$  : gaz kütle akış hızı,  $\text{kg/m}^2\text{s}$

$F_p$  : dolgu faktörü, dolgu tipi ve boyutunun karakteristiği (Tablo 11.2)

$\mu_L$  : sıvı viskozitesi,  $\text{Ns/m}^2$

$\rho_L \cdot \rho_v$  : sıvı ve buhar yoğunlukları,  $\text{kg /m}^3$

# Örnek

1.5 in'lik seramik Intalox eğerleri ile doldurulmuş bir absorpsiyon kolonunda hava içindeki  $\text{SO}_2$ , su ile absorplanacaktır. Daha sonra saf  $\text{SO}_2$  bir sıyrıcıda çözücünden uzaklaştırılacaktır. Öncelikle absorpsiyon kolon tasarımı yapılacaktır. Kolona beslenen gaz karışımı 5000 kg/h akış hızında olup hacimce %8  $\text{SO}_2$  içermektedir. Gaz daha sonra 20 °C'ye soğutulacaktır. Giren gaz akımı içerisindeki  $\text{SO}_2$ 'nin %95'nin geri kazanılması istenilmektedir. Buna göre,

- Transfer birimleri sayısı,  $N_{OY}$
- Kolon Çapı,  $D_p$
- Aktarım birimleri yüksekliği,  $H_{OG}$
- Kolon yüksekliği  $Z$ 'yi bulunuz.

## Çözüm:

SO<sub>2</sub>'nin sudaki çözünürlüğü yüksek olduğundan, atmosferik basınçtaki işletim yeterli olacaktır. Çözücü giriş sıcaklığı 20°C alınabilir. Çözünürlük verileri;

% w/ w çözünen	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5
SO <sub>2</sub> kısmi basıncı gaz mm Hg	1,2	3,2	5,8	8,5	14,1	26	39	59	92

$$\text{Beslemedeki SO}_2\text{'nin kısmi basıncı : } \frac{8}{100} \times 760 = 60.8 \text{ mmHg}$$

a) Transfer birimleri sayısının ( $N_{OG}$ ) bulunması

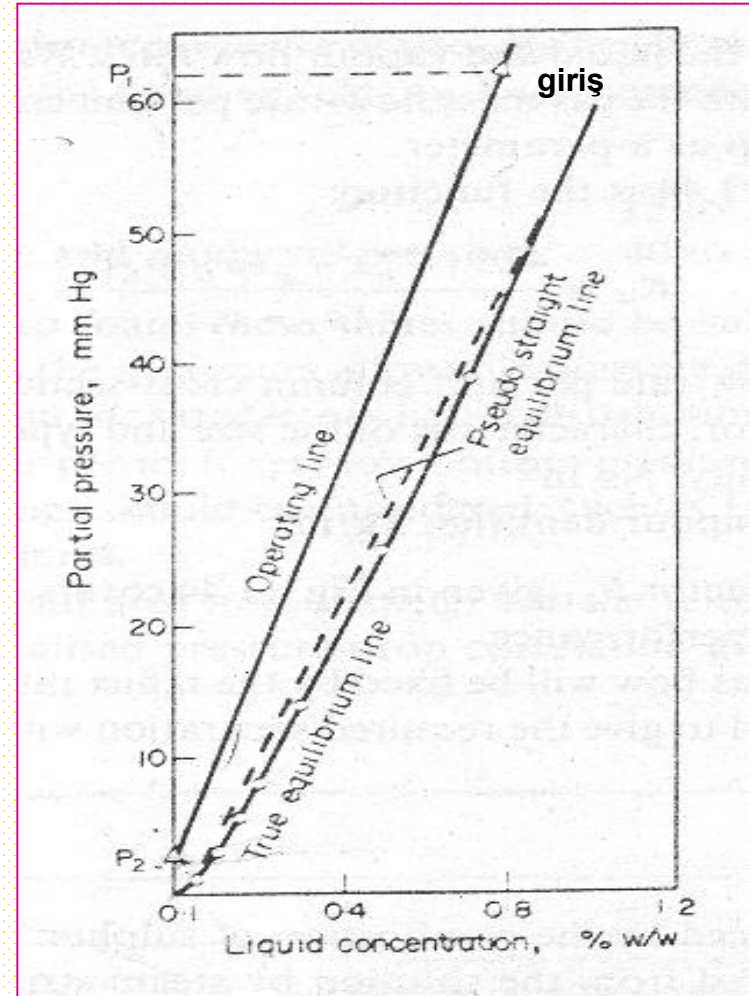
%95 lik geri kazanım için  
çıkış gazındaki kısmi basınç =

$$60.8 \times 0.05 = 3.06 \text{ mm Hg}$$

Moleküler Ağırlık:  $\text{SO}_2$ : 64

$\text{H}_2\text{O}$ : 18, hava: 29

$$N_{OG} = \int_{p_2}^{p_1} \frac{dp}{p - p_e}$$



Şekil 11.40'ı kullanarak ( $y_1/y_2$  ;  $N_{OG}$  grafiği)

Farklı su akış hızlarında gerekli kademe sayısı belirlenebilir ve 'optimum' hız seçilir.

$$y_1/y_2 = p_1/p_2 = \frac{60.8}{3.04} = 20$$

---

$m \frac{G_m}{L_m}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
---------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

---

$N_{OG}$	3,7	4,1	6,3	8	10,8	19
----------	-----	-----	-----	---	------	----

---

Optimum  $m \frac{G_m}{L_m}$  0.6 -0.8 arasında gözükmektedir.



### SEPARATION COLUMNS (DISTILLATION AND ABSORPTION)

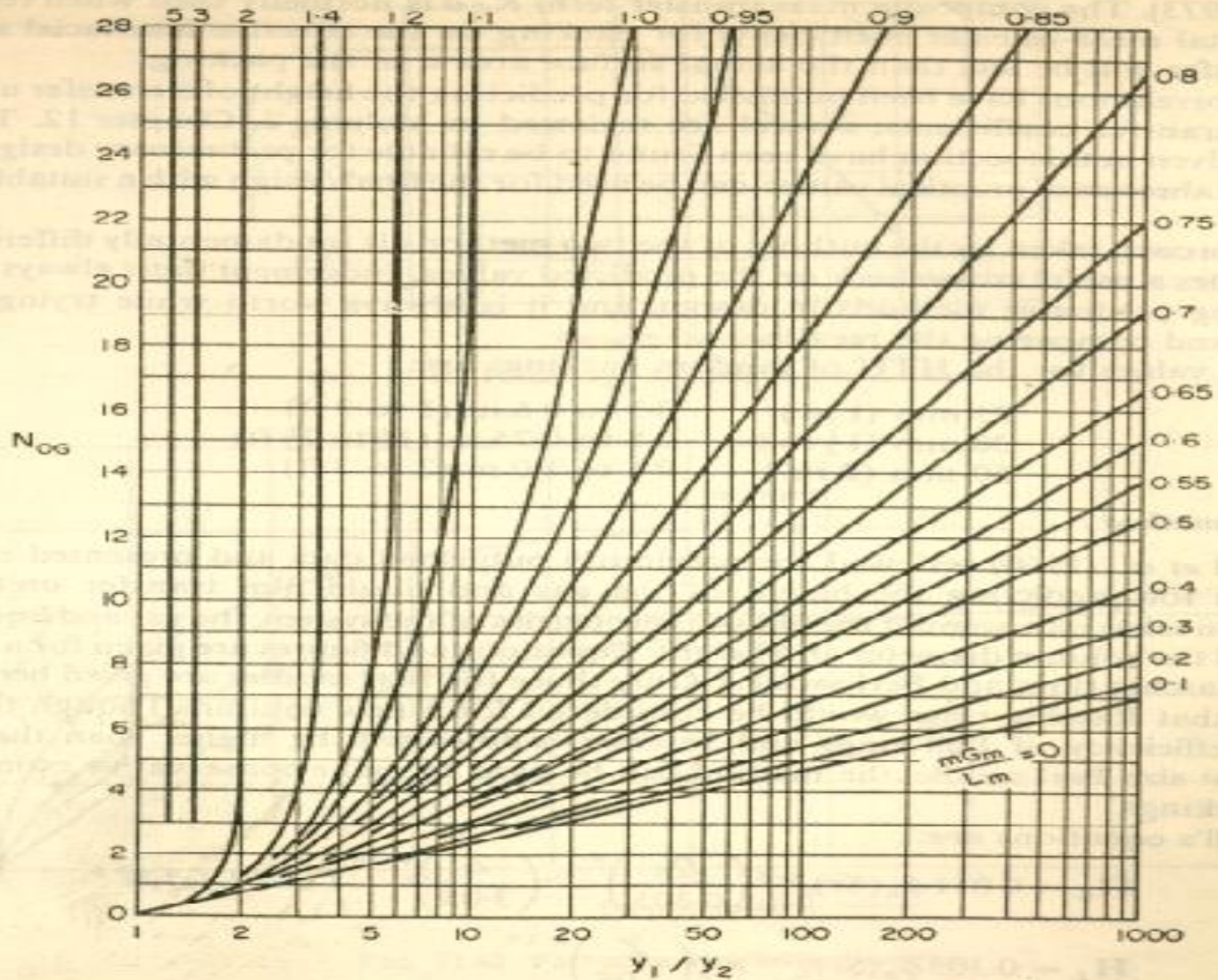


FIG. 11.40. Number of transfer units  $N_{OG}$  as a function of  $y_1/y_2$  with  $mG_m/L_m$  as parameter

0.6'nın altında  $N_{OG}$  değerleri ufak azalma vardır;  
 0.8'in üzerinde ise azalan sıvı akış hızında çok hızlı bir  $N_{OG}$  artışı olmaktadır.

0.6 ve 0.8 de sıvı çıkış bileşimini kontrol edersek:

$$\begin{aligned} \text{Mol. fraction in vapor} &= \frac{59}{760} = 0.0776 \\ \text{Mol. fraction in liquid} &= \frac{\frac{1}{64}}{\frac{1}{64} + \frac{1}{18}} = 0.0028 \\ m &= \frac{0.0776}{0.0028} = 27.4 \end{aligned}$$

Madde denkliği  $L_m x_1 = G_m (y_1 - y_2)$

$$x_1 = \frac{G_m}{L_m} (0.08 \times 0.95) = \frac{m}{27.4} \frac{G_m}{L_m} (0.076)$$

Denge doğrusunun eğimi

$mG_m/L_m = 0.6$  'de  $x_1 = 1.57 \times 10^{-3}$  mol kesri,

$mG_m/L_m = 0.8$  'de  $x_1 = 2.17 \times 10^{-3}$  mol kesri,

0.8 kullanılarak, absorpsiyonda önemli bir kademe sayısını artırmaksızın, daha yüksek derişim elde edilir. Dolayısıyla;

$N_{OG} = 8$

b) Kolon çapının bulunması,  $D_p$

$$\text{Gaz akış hızı} = \frac{5000}{3600} = 1.39 \text{ kg/s} = \frac{1.39}{29} = 0.048 \text{ kmol/s}$$

$$\text{Sıvı akış hızı} = \frac{29.0}{0.8} \times 0.048 = 1.74 \text{ kmol.s} = 31.3 \text{ kg/s}$$

Dolgu maddesi olarak 38 mm seramik Intalox eđeri seçilirse;

Tablo 11.2'den  $F_p = 52$  (dolgu faktörü)

$$20 \text{ }^\circ\text{C deki gaz yoğunluğu} = \frac{29}{22.4} \times \frac{273}{293} = 1.21 \text{ kg / m}^3$$

Sıvı Yoğunluğu  $\sim 1000 \text{ kg m}^3$

Sıvı Viskozitesi  $\sim 10^{-3} \text{ N.s m}^2$

$$\frac{L_w^*}{G_w^*} \sqrt{\frac{\rho_v}{\rho_L}} = \frac{31.3}{1.39} \sqrt{\frac{1.21}{10^3}} = 0.78$$

Şekil 11.44'ün absisi

Şekil 11.44' ten;

20 mmH<sub>2</sub>O/  
mdolgu basınç  
düşmesi tasarımı  
için

$$K_4 = 0.35$$

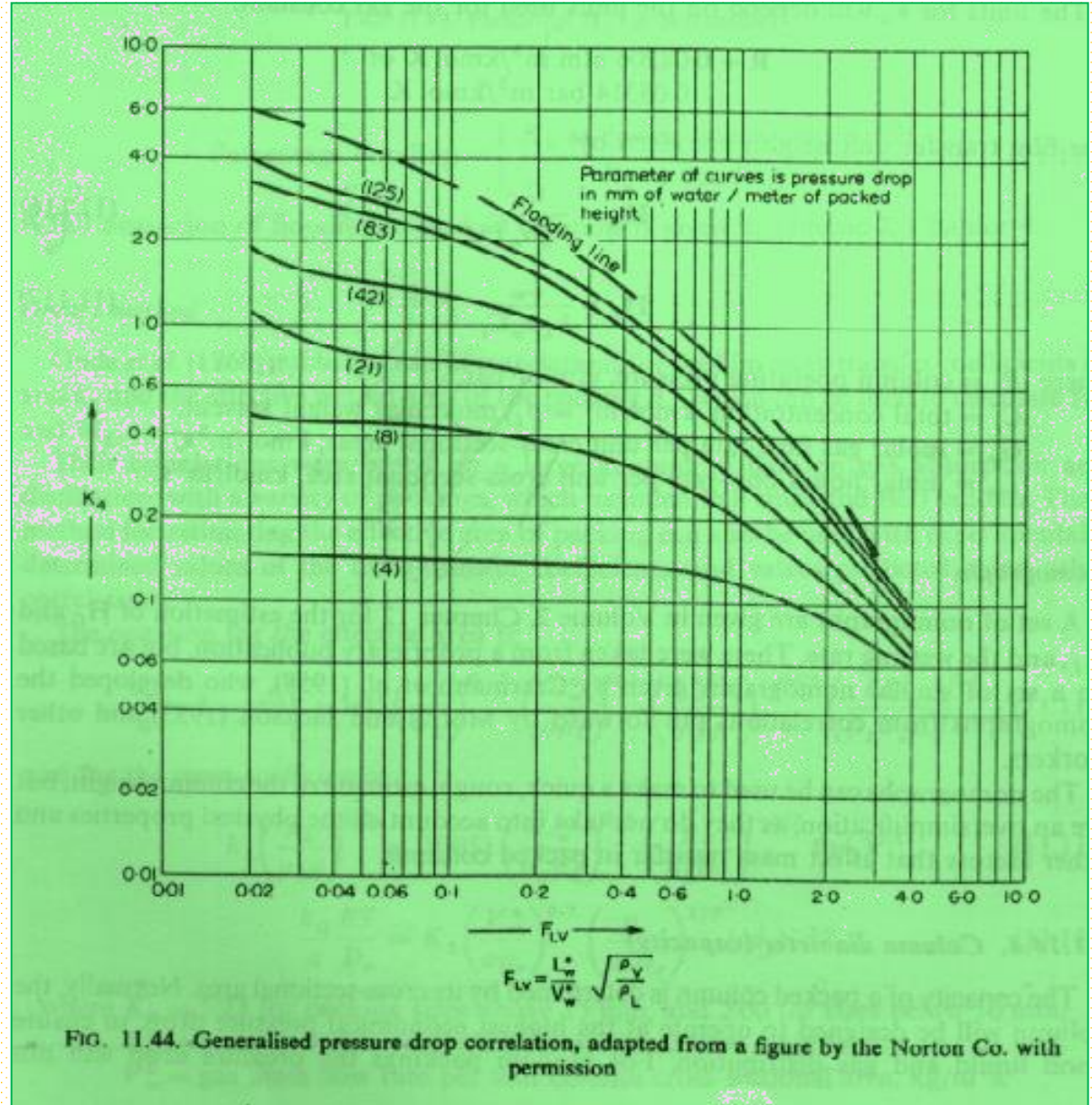
Taşmada;

$$K_4 = 0.8$$

Yüzde taşma = (Tasarlanan  
basınç düşmesindeki  
 $K_4/\text{Taşmadaki } K_4)^{0.5}$

Taşma yüzdesi =

$$\sqrt{\frac{0.35}{0.8}} \times 100 = 66$$



Eşitlik 11.118 den;

$$V_w^* = \left[ \frac{K_4 \rho_v (\rho_L - \rho_v)}{42.9 F_p (\mu_L \rho_L)^{0.1}} \right]^{1.2} = \left[ \frac{0.35 \times 1.21 (1000 - 1.21)}{42.9 \times 52 (10^{-3} \cdot 10^3)^{0.1}} \right]^{1.2} = 0.87 \text{ kg / m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\text{Gerekli kolon alanı} = \frac{1.39}{0.87} = 1.6 \text{ m}^2$$

$$\text{Çap} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 1.6} = 1.43 \text{ m} \quad \text{yaklaşık } 1.50 \text{ m alınabilir.}$$

$$\text{Kolon alanı} = \frac{\pi}{4} \times 1.5^2 = 1.77 \text{ m}^2$$

Kolon çapına karşı dolgu boyutu oranı =  $1.5 / 38 \times 10^{-3} = 39$

Seçilen çapta % taşma =  $66 (1.43 / 1.77) = 53$

Daha geniş dolgu boyutu göz önünde bulundurulmalıdır veya kolon çapı küçültülmelidir.

### c) Cornell's metodu (Tranfer birimleri yüksekliği, $H_{OG}$ )

$$D_L = 1.7 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}$$

$$D_V = 1.45 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\mu_r = 0.018 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$$

$$(\text{Sc})_v = \frac{0.018 \times 10^{-3}}{1.21 \times 1.45 \times 10^{-5}} = 1.04$$

$$(\text{Sc})_L = \frac{10^{-3}}{1000 \times 1.7 \times 10^{-9}} = 588$$

$$L_w^* = \frac{31.3}{1.77} = 17.6 \text{ Kg/s m}^2$$

Şekil 11.41 den %53 taşmada,  $K_3 = 0.95$

Şekil 11.42 den %53 taşmada,  $\phi_h = 80$

Şekil 11.43 den  $L_w^* = 17.6$  da  $\theta_h = 0.1$

$H_{OG}$  değeri yaklaşık 1m olacağı beklenildiğinden Z'nin ilk tahmini 8m alınabilir.

Kolon çapı 0.6 m'den büyük olduğundan çap düzeltme terimi 2.3 alınabilir.

$$H_L = 0.305 \times 0.1 (588)^{0.5} \times 0.95 \left( \frac{8}{3.05} \right)^{0.15} = 0.8 \text{ m}$$

Su sıcaklığı 20 °C alınmıştır ve çözücü sıvı sudur.

$$f_1 = f_2 = f_3 = 1$$

$$H_G = 0.011 \times 80 (1.04)^{0.5} (2.3) \left( \frac{8}{3.05} \right)^{0.33} \bigg/ (17.6)^{0.5} = 0.7m$$

$$H_{OG} = H_G + \frac{mV}{L} H_L$$

$$H_{OL} = H_L + \frac{L}{mV} H_G$$

$$H_{OG} = 0.7 + 0.8 \times 0.8 = 1.3 m$$

d) Kolon yüksekliği Z'nin bulunması

$$Z = H_{OG} N_{OG}$$

$$Z = 8 \times 1.3$$

$$Z = \mathbf{10.4 m}$$