

## **MODİFİYE EDİLEN VANİSCHENİ MODEL DENKLEMİ KULLANILARAK MONOETANOLAMİN İLE KARBONDİOKSİDİN ABSORPSİYONUNDA DOLGULU KOLON YÜKSEKLİĞİNİN SICAKLIK DEĞİŞİMİ**

**Seyfullah KEYF**

Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya-Metalurji Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü 34210 Esenler –  
İSTANBUL

**Özet:**Dolgulu kolonda karbondioksitin monoethanolaminle absorpsiyonu kararlı halde teorik olarak incelendi. Vanicheninin model denklemi kimyasal reaksiyon etkisiyle değişen gaz-sıvı arayüzey konsantrasyonu ve etkin arayüzey değerlerinin yerine konulması ile modifiye edildi. Modifiye edilen model denklemi, karbondioksitin sulu monoethanolamin çözeltisiyle absorpsiyonunda kullanılarak elde edilen dolgulu kolonun yüksekliği çözeltinin sıcaklığının bir fonksiyonu olarak hesaplandı. Reaksiyonun ekzotermik olmasından dolayı sıcaklık artmış olup, bu artış yaklaşık olarak 4.25m de 52.5 °C olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Absorpsiyon, Monoetanolamin, Karbondioksit, Dolgulu kolon*

## **THE TEMPERATURE CHANGE WITH PACKED COLUMN HEIGHT USING MODIFIED MODEL EQUATION OF VANİSCHENİ ON ABSORPTION OF CARBONDIOXIDE BY MONOETHANOLAMINE**

**Summary:**Absorption of CO<sub>2</sub> by monoethanolamine in a packed column was theoretically investigated for the steady state conditions. Model equation of Vanischeni was with chemical reaction effect. Kinetics of the absorption of CO<sub>2</sub> into aqueous solution of monoethanolamine in suggested modified model was used. The height of packed column was calculated as a function of temperature of aqueous solution in the packed column in this modified model. Because of temperature is increase due to reaction exothermic. Temperature increase approximately 52.5°C for 4.25 m packed column height.

**Keywords:** *Absorption, Monoethanolamine, Carbondioxide, Packed Column*

*Geliş Tarihi: 01.11.2005*

*Kabul Tarihi : 31.10.2006*

\* Sorumlu yazar  
keyf@yildiz.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Bu alandaki ilk çalışmalar, tasarım amacıyla absorpsiyon hızı ile fiziksel değişkenler arasında ilişki kurulmasıyla beraber MEA nin diğer absorplayıcı çözeltilerle mukayesesi inceler. Emert, Pigford'un çalışmasında MEA çözeltilisinde CO<sub>2</sub> absorpsiyonuyla ilgili elde edilen deneysel sonuçları, kimyasal reaksiyonlu kütle aktarımıyla fiziksel kütle aktarımını karşılaştıran ilk çalışmadır.

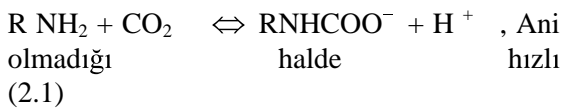
Bu çalışmaların sonucunda daha sonraki araştırmalarda DeCoursey'in (1974) Danckwerts rastgele yüzey yenileme modelinin daha gerçekçi sonuçlar verdiği, araştırmacılar tarafından belirlenmiştir [6].

Vanichseni Karbondioksitin monoethanolamin ile dolgu kolonda absorpsiyon hızı için teorik model geliştirildi. Bu teorik modelin değişik operasyon şartlarında deneysel olarak elde edilen datalarla oldukça uyumlu olduğu incelendi [11].

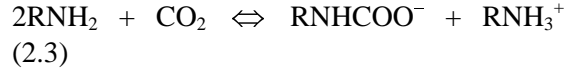
## 2. TEORİK ESASLAR

Karbondioksitin, endüstriyel gazlardan uzaklaştırılması için genellikle alkol aminlerin sulu çözeltileri kullanılır. Burada önemli olan ve üzerinde geniş bir çalışma yapılmış olan çözücü Monoetanolanin (MEA) dir. MEA, HO C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> NH<sub>2</sub> iki fonksiyonel gruba sahiptir. -NH<sub>2</sub>, -OH her ikisi de CO<sub>2</sub> ile reaksiyona girer.

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>OH yerine R yazarsak;



İki tepkime toplanırsa,



Reaksiyonunun karbonizasyon oranı  $\alpha$  (mol CO<sub>2</sub> / mol RNH<sub>2</sub>) 0.5 den küçük olduğu durumda gerçekleştiği birçok araştırmacının ortak görüşü olarak bilinmektedir.  $\alpha < 0.5$  durumunda reaksiyon rejimini incelendiğinde reaksiyonun ikinci mertebeden reaksiyon olduğu yine ortak görüş olarak belirlenmiştir [2].

### 2.1. İkinci Mertebeden Tersinmez Reaksiyon Modeli

Gaz absorpsiyonunda sıvıda tutulan, tersinmez reaksiyonlar içeren durumlar için önemli olanın gaz fazından gelen bileşenin konsantrasyonunun sıvıda ihmal edilecek kadar küçük olmasını sağlamak olduğu belirtilmiştir. Danckwerts' e göre tersinmez reaksiyonlar için; eğer reaksiyon , artım faktörünü ( $\phi$ ) 1'den büyük yapabilecek kadar hızlıysa ve sıvının hacmi filmde veya nufuz etme bölgesinde olduğundan çok daha büyükse tersinmez reaksiyonlarda gazın reaksiyondaki konsantrasyonu ihmal edilecek kadar küçük olmalıdır.

DeCoursey (1974), Danckwerts rastgele yüzey yenileme modeline göre sıvı faz içinde tersinmez 2. mertebe reaksiyonlu gaz absorpsiyonu için zaman ortalama konsantrasyonların arayüzeyde yer değiştirmesi durumunda s çarpımlı Laplace dönüşümleri yapılarak hızlı reaksiyonlar için sonuç denklemleri yaklaşık çözümü aşağıdaki gibidir [6].

$\phi_i$  ani reaksiyonlarda artma sınırı faktörü olarak verilmiştir[5].

$$\phi_i = 1 + \frac{C_{Bb}}{bC_{Ai}} \sqrt{\frac{D_B}{D_A}} \quad (2.4)$$

$$M = \frac{D_A k_2 C_{Bb}}{k_L^2} \quad (2.5)$$

Danckwerts rastgele yüzey yenileme modelinde , artım faktörü aşağıdadır.

$$\phi = -\frac{M}{2(\phi_i - 1)} + \left[ \frac{M^2}{4(\phi_i - 1)^2} + \frac{\phi_i M}{(\phi_i - 1)} + 1 \right]^{0.5} \quad (2.6)$$

$\phi$  ara yüzeyde  $(C_{Ai} - C_{Ab})$  aynı konsantrasyon farklarındaki kimyasal reaksiyonlu ve reaksiyonsuz ortalama kütle akılarının oranıdır. Aynı hidrodinamik koşullar için kimyasal reaksiyonlu ve reaksiyonsuz kütle aktarım katsayıları oranında  $(k_L' / k_L)$  aynı olması demektir [5].

2.6 denklemi yerine yalancı 1. mertebe reaksiyon bölgesindeki artma faktörünü yeniden türetebilmek için;

$$\phi = -\frac{M}{2(\phi_i - 1)} + \left[ \left( \frac{M}{(\phi_i - 1)} + 1 \right)^2 \right]^{0.5} \quad (2.7)$$

$$\frac{\sqrt{M}}{2(\phi_i - 1)} < \frac{1}{4} \quad (2.8)$$

$$\sqrt{M} > 3 \quad (2.9)$$

2.1.4 denklemi yukardaki kabuller aralığında yeniden düzenlersek ,

$$\phi = \frac{\sqrt{M}}{1 + \frac{\sqrt{M}}{2(\phi_i - 1)}} \quad (2.10)$$

## 2.2. Dolgulu Kolondaki CO<sub>2</sub> 'nin Sulu Monoetanolamin Çözeltilisinde Absorpsiyon Prosesinde Tasarımı İçin Kullanılan Fizikokimyasal Değişkenler

Birinci adımda bağımsız değişkenler örneğin, her fazın akış debileri, çözelti ve gaz viskoziteleri, dolgu cinsi ve özellikleri, P, T değerleri belirlenmiştir. İkinci adımda ise bağımlı değişkenlerden  $k_L$ ,  $a$ ,  $h_L$ ,  $D_A$ ,  $D_B$  gibi değerler bağımsız değişkenlerden elde edildi.  $R_A$ ,  $H$ ,  $k_2$  ise bağımlı ve bağımsız değişkenler yardımıyla hesaplanmıştır (1). Monoethanolamin-CO<sub>2</sub> sistemi 25°C'deki monoethanolamin sulu çözeltisinin kimyasal ve fiziksel özellikleri tablo hesaplanmıştır [7].

2.75 10<sup>5</sup> Pa 25°C'de 0.9525 10<sup>-2</sup> m Rasching halkası içeren 50 kg/h'lik CO<sub>2</sub>'i absorblayan dolgulu kolon için öncelikle bağımsız değişkenlerin hesaplanması. Daha sonra bağımsız değişkenler yardımıyla bağımlı değişkenlerin hesaplanması gereklidir.

### 2.2.1 Yoğunluk ve viskozite hesabı

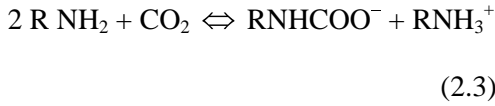
(0 -5.02 kmol / m<sup>3</sup> aralığında geçerli yoğunluk ve viskozite denklemleri) [10]

$$\rho_L = 1.01 - 3.1327 10^{-3} (5.02 - C_B)^{0.8923} \quad (2.11)$$

$$\mu_L = 2.39 - 0.4825 (5.02 - C_B)^{0.70308} \quad (2.12)$$

$$D_B = 5.11 \cdot 10^{-10} \quad (2.13)$$

### 2.2.2 Dolgulu kolonda çapraz akış alanı ve kolon çapı hesabı ;



Yukarıdaki reaksiyon stokiometrisine göre saatte  $\alpha < 0.5$  olacak şekilde 50 kg CO<sub>2</sub> absorplanabilmesi için gerekli MEA (3.34 kmol / m<sup>3</sup>) çözeltisi miktarı:

$$\text{MEA'nin molekül ağırlığı} = 61.08 \text{ kg / m}^3$$

(50 / 44) . 2 . 61.09 = 138.81 kg / h debide MEA gereklidir. Bu ise  $\alpha = 0.5$ 'ya karşılık gelmektedir. Çalışılan  $\alpha$  değeri ise 0.5'ten küçük olması seçilmiştir. Bu yüzden 3.34

kmol / m<sup>3</sup> konsantrasyonunda 150 kg / h MEA çözeltisinde gerekli su miktarı için;

$$150 / 204 \cdot 796 = 585 \text{ kg / h su gerekmektedir.}$$

$$\text{MEA çözeltisinin miktarı} = 150 + 585 = 735 \text{ kg / h debiye sahiptir.}$$

$$\text{Beslemenin karbonizasyon oranı } \alpha = (50 / 44) / (150 / 61.08) = 0.46$$

### 2.2.3 Boş kolonun çapraz akış alanı hesabı

$$D_p = 2 \sqrt{\frac{A}{3.14}} \quad (2.14)$$

$$D_p / d_p = 10 - 20 \quad (2.15)$$

arasında olması gerekmektedir[9].

### 2.2.4 Çözeltinin yüzey gerilimi hesabı

$$\sigma_L = \left[ \left[ \rho_{L,mol} \left[ \frac{(MEA_p n_{MEA} + H_2O_p n_{H_2O})}{(n_{MEA} + n_{H_2O})} \right] \right] 10^{-3} \right]^4 \quad (2.16)$$

Yukarıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır [7].

### 2.2.5 CO<sub>2</sub> 'in yayınıcı

$$D_{A,su} = 2.35 \cdot 10^{-6} e^{-\left(\frac{2119}{T}\right)} \quad (2.17)$$

Stokes-Einstein denklemine göre [11].

$$D_A = D_{A,su} \left( \frac{\mu_{su}}{\mu_L} \right)^{0.82} \quad (2.18)$$

### 2.2.6 Kimyasal reaksiyonda modifiye edilmiş etkin ara yüzey hesabı

$$2.48 \cdot 10^{-4} \leq v_L \leq 0.011, \quad 0.01 \leq d_p \leq 0.0375, \\ 0.3 \leq \sigma_L / \sigma_D \leq 1.3, \quad 0.08 \leq a / a_t \leq 0.8$$

Yukarıdaki aralıklar için geçerli denklemdir [8].

$$a_{Ac} = 1.045 \left( \frac{\rho_L v_L}{a_t \mu_L} \right)^{0.041} \left( \frac{\rho_L v_L^2}{a_t \sigma_D} \right)^{0.133} \left( \frac{\sigma_L}{\sigma_D} \right)^{0.182} a_t \quad (2.19)$$

### 2.2.7 Sıvı tarafı kütle aktarım katsayısı

$$1 \leq \rho_L v_L / a_i \mu_L \leq 500, \quad 0.006 \leq d_p \leq 0.05 \quad 0.06 \leq D_p \leq 0.5$$

$$k_L = 0.005 \left( \frac{\mu_L g}{\rho_L} \right)^{1/3} \left( \frac{v_L}{a \mu_L} \right)^{2/3} \left( \frac{\mu_L}{\rho_L D_A} \right)^{-1/2} (d_p a_i)^{0.4} \quad (2.20)$$

Yukarıdaki aralıklar için geçerli denklemdir[4].

### 2.2.8 Modifiye Ara yüzey konsantrasyonu hesabı ;

$C_{Ai}$  değeri seyreltik sulu çözeltilerde Henry kanunu yardımıyla bulunur. Yüksek konsantrasyonlarda çözeltilerde yapılan çalışmalar devam etmektedir.  $CO_2$  'in Monoethanolaminin yüksek konsantrasyonundaki sulu çözeltilerindeki Henry sabiti için aşağıdaki denklem kullanılır[3].

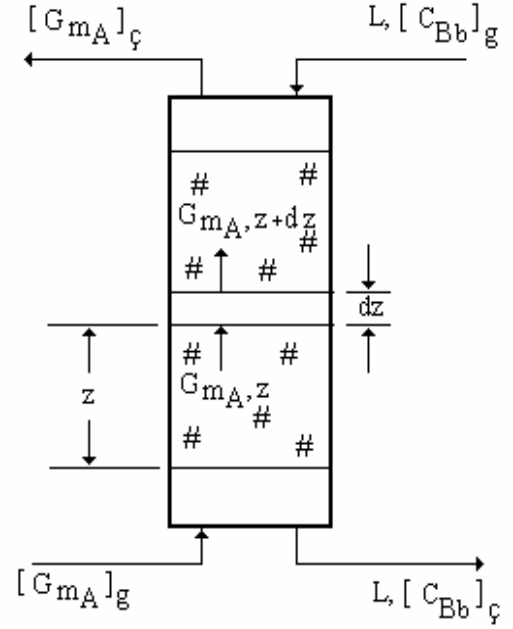
Aşağıdaki 2.21 denklemin sapması % 0.52 olarak belirtilmiştir.

$$m_A \sqrt{D_A} = 3.61 \cdot 10^{-5} - 1.87 \cdot 10^{-7} (C_B) - 8.73 \cdot 10^{-7} (C_B)^2 \quad m / s^{0.5} \quad (2.21)$$

Kimyasal reaksiyon etkisiyle  $C_{Ai}$  konsantrasyonunun artacağı bilinmesine rağmen bu zamana kadar yapılan çalışmalarda kullanılmamıştır.  $C_{Ai}$  konsantrasyonu reaksiyon hızı hesabını doğrudan etkilemektedir.

### 2.2.9 Dolgulu Kolon Model Denklemleri

Dolgulu kolonun kimyasal reaksiyonlu gaz absorpsiyonunda türetilen model denklemleri için aşağıdaki şekilde birim hacim elementine enerji denkliği uygulanırsa; dz yüksekliğinde ve A çapraz akış alanında küçük hacim elementini ele alırsak; dz yüksekliğindeki enerji denkliği elde edilir.



Şekil 1. Çapraz akışlı dolgulu kolon

### dz Yüksekliğinde Enerji Denkliği :

Giren sıvının enerji miktarı+reaksiyon ve absorpsiyonda açığa çıkan enerji :sıvıyla çıkan enerji + gaz fazına aktarılan enerji + buharlaşmayla kayıp enerji + biriken enerji

$$\left[ \rho_L c_{pL} \left[ (T - T_0) L_V - A D_H \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] \right]_{z} dt + [R_A a A dz dt (-dH)] =$$

$$\left[ \rho_L c_{pL} \left[ (T - T_0) L_V - A D_H \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] \right]_{z+dz} dt + [h_G a_h A dz dt] + [G_{mT} M (w_{z+dz} - w_z) dH_V dt] + [h_L A dz \rho_L c_{pL} (T_{t+dt} - T_t)] \quad (2.22)$$

$[G_{mT}M(w_{z+dz} - w_z)dH_V dt]$  terimi, çözeltinin kaynama noktası Monoethanolamin (kaynama sıcaklığı 1 atm.'de 170°C) konsantrasyonu artacağından buharlaşma olmadığı kabul edilebilir.

Yukarıdaki denklemi  $dz/dt$  ye bölünüp,  $dz \rightarrow 0$  ve  $dt \rightarrow 0$  gitmesi halinde denklem;

$$-A(\rho_L c_{pL} D_H \left( \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \rho_L c_{pL} \left( \frac{\partial L_V T}{\partial z} \right) + R_A a A (-dH) - h_G a_h A (T - T_0) = A \rho_L c_{pL} \left( \frac{\partial L_V T}{\partial z} \right) \quad \dots(2.23)$$

Kolon boyunca aşağıdaki kabuller yapılması [14],

1.  $\rho_L c_{pL}$  sabit
2.  $T_G = T$
3. Zamanla sıcaklığın değişmediği
4. Eksenel dağılımı ihmal edersek ( $D_H = 0$ )
5. Her iki fazda piston akışlı

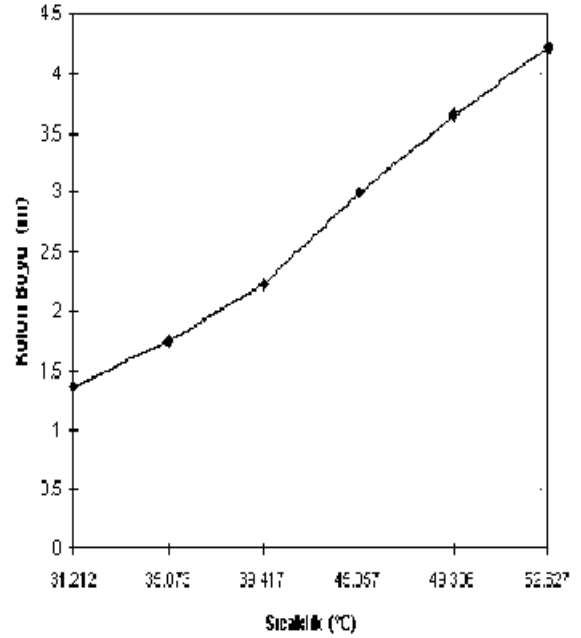
Reaksiyon ve absorpsiyondan dolayı  $-dH$  değeri  $1.025 \cdot 10^5$  kJ / kmol olarak bilinmektedir.

Böylece yatışkın halde enerji denkliği;

$$\rho_L c_{pL} \left( \frac{\partial L_V T}{\partial z} \right) + R_A a A (-dH) = 0 \quad (2.24)$$

$$\frac{dT}{dz} = \left[ \frac{(-dH) A}{\rho_L c_{pL} L_V} \right] \phi k_L a_{Ac} C_{Ai} \quad (2.25)$$

2.25 Denklemi ; içindeki terimler yerine konup integre edilip çözümlerse kolon boyunca ekzotermik reaksiyondan dolayı sıcaklığın artacağı görülmektedir.



Şekil 2. Sıcaklık ile dolgulu kolon boyunun değişimi

Burada kolonun başlangıçtaki 25°C sıcaklık ekzotermik reaksiyondan dolayı 4.25 m yükseklikte 52.5°C sıcaklığa kadar yükseleceği belirlenmiştir.

### 3. SONUÇLAR

1. CO<sub>2</sub> gazının dolgulu kolonda absorplanmasında  $\phi$  artım faktörü denkleminin belirlenmesi üzerine deneysel ve kuramsal çalışmalar yapılmış bunlardan Danckwerts yüzey yenileme modelini kullanan vanischeni denklemi modifiye edilerek bu makalede kullanılmıştır.

2.  $a_{Ac}$  etkin ara yüzeyin kimyasal reaksiyonun etkisiyle artımı daha önceki çalışmalarda dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada etkin ara yüzeyin artması hesaplanarak kimyasal reaksiyonlu absorpsiyonda absorpsiyon hızına etkisi dikkate alınmıştır.

3.  $\phi$  artım faktörü denkleminde akış türü, akış hızından bağımsız terimlere indirgenmiştir.  $\phi_i$  ve  $R_A$  denklemlerindeki  $C_{Ai}$  (ara yüzey konsantrasyonu) kimyasal reaksiyondan dolayı artan ara yüzey konsantrasyonu dikkate alınarak yeniden  $\phi_i$  ve  $R_A$  denklemlerinde yerine konularak modifiye edilmiştir. kimyasal reaksiyondan dolayı artan ara yüzey konsantrasyonunun absorpsiyon hızına etkisi dikkate alınarak yeniden hesaplanmıştır.

4. Henry kanunu seyreltik çözeltiler için geçerli olmakla beraber yüksek konsantrasyonlardaki  $C_{Ai}$  (ara yüzey konsantrasyonu) boyutsuz çözünürlük ten yararlanılarak hesaplanmıştır.

5. Dolgulu kolon boyunca eksenel dağılım etkisinin ihmal edilebilir olduğu, piston akış modeli kullanmanın çözümü oldukça kolaylaştırdığı saptanmıştır.

6.  $CO_2$  ve sulu MEA çözeltilerinin karbonizasyon oranı  $\alpha < 0.5$  olduğu durumlarda, düşük sıcaklıklarda tersinmez 2. mertebe reaksiyon reaksiyon olduğu tespit edilmiştir.  $k_2$  reaksiyon hız sabitinin değeri yapılan önceki çalışmalarla uyum içindedir.

7. Dolgulu kolon reaktöre  $2.75 \cdot 10^5$  Pa 'da giren  $CO_2$  gazı kolon boyunca  $0.27 - 0.9 \cdot 10^5$  Pa basınca düşürüldüğünde, kolonun başlangıçtaki  $25^\circ C$  sıcaklık ekzotermik reaksiyondan dolayı  $4.25$  m yükseklikte  $52.5^\circ C$  sıcaklığa kadar yükseleceği belirlenmiştir.

## SEMBOLLER

$a$	: Etkin ara yüzey	$m^{-1}$
$a_{Ac}, a_h$	: Kolonun birim hacmi başına etkin ara yüzeyi	$m^{-1}$
$a_t$	: Kuru kolonun birim hacmi başına dolgu yüzey alanı	$m^{-1}$
$A$	: Kolonun çapraz akış alanı	$m^2$
$b$	: Stokiyometrik katsayı	
$C_{Ab}$	: $CO_2$ 'in yığın içindeki konsantrasyonu	$kmol / m^3$
$C_{Ai}$	: Ara yüzey konsantrasyonu	$kmol / m^3$
$C_{Bi}$	: Ara yüzey MEA konsantrasyonu	$kmol / m^3$
$C_{Bo}$	: Toplam konsantrasyonu	$MEA \ kmol / m^3$
$C_{Bb}$	: MEA'in yığın konsantrasyonu	$kmol / m^3$
$C_{pL}$	: Sıvının spesifik ısısı	$kJ / kg \ ^\circ C$
$D_A$	: $CO_2$ 'in çözeltideki yayılım katsayısı	$m^2/s$
$D_{A,su}$	: $CO_2$ 'in sudaki yayılım katsayısı	$m^2/s$
$D_B$	: MEA 'nin sudaki yayılım katsayısı	$m^2/s$
$D_L$	: Sıvı fazı yayılım katsayısı	$m^2/s$
$D_p$	: Kolon çapı	$m$
$d_p$	: Dolgu çapı	$m$
$D_H$	: Isı aktarım difüzyon	$m^2/s$

	katsayısı		$T_0$	: Referans sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$
$G_{mA}$	: $\text{CO}_2$ 'in molar akış hızı	$\text{kmol} / \text{s}$	$t$	: Zaman	$\text{s}$
$G_{mT}$	: $\text{CO}_2$ 'in molar akış hızı	$\text{kmol} / \text{s}$	$v_G$	: Gaz boşluk hızı	$\text{m} / \text{s}$
$H$	: Isı aktarım katsayısı	$\text{kJ} / \text{m}^2 \text{s}^{\circ}\text{C}$	$v_L$	: Sıvı boşluk hızı	$\text{m} / \text{s}$
$h_i$	: Entalpi	$\text{kJ} / \text{kg}$	$w$	: $\text{CO}_2$ 'in içerdği çözelti buharı	$\text{kg} / \text{kg}$
$h_G$	: Gaz tutulması	$\text{m}^3 / \text{m}^3$	$x$	: Aralık	$\text{m}$
$h_L$	: Sıvı tutulması	$\text{m}^3 / \text{m}^3$	$z$	: Yükseklik	$\text{m}$
$dH$	: Reaksiyon ısısı	$\text{kJ} / \text{kmol}$	$\rho_L$	: Sıvı yoğunluğu	$\text{kg} / \text{m}^3$
$H_V$	: Buharlaştırma ısısı	$\text{kJ} / \text{kg}$	$\rho_{L,mol}$	: Çözeltinin molar yoğunluğu	$\text{kmol} / \text{m}^3$
$k_2$	: Reaksiyon hız sabiti	$\text{m}^3 / \text{kmol s}$	$\mu_L$	: Çözelti viskozitesi	$\text{kg} / \text{m s}$
$K_L$	: Kimyasal reaksiyonlu kütle aktarım katsayısı	$\text{m} / \text{s}$	$\alpha$	: Karbonizasyon oranı	$\text{mol} / \text{mol}$
$k_L$	: Sıvı tarafı kütle aktarım katsayısı	$\text{m} / \text{s}$	$\sigma_L$	: Çözeltinin yüzey gerilimi	$\text{N m}$
$L_V$	: Sıvının hacimsel hızı	$\text{m}^3 / \text{s}$	$\sigma_D$	: Dolgunun yüzey gerilimi	$\text{N m}$
$m_A$	: Boyutsuz çözünürlük				
$M$	: Kimyasal reaksiyon parametresi				
$M_{MEA}$	: Monoetanolaminin molekül ağırlığı	$\text{kg} / \text{kmol}$	<b>İndis</b>		
$M_{SU}$	: Suyun molekül ağırlığı	$\text{kg} / \text{kmol}$	$G$	: Gaz	
$n_i$	: $i$ 'nin molü	$\text{kmol}$	$L$	: Sıvı	
$p_A$	: $\text{CO}_2$ 'in basıncı	$\text{bar}$	$MEA$	: Monoethanolamin	
$R$	: Reaksiyon hızı	$\text{kmol} / \text{s}$	$p$	: Yüzey gerilim katsayısı	
$R_A$	: $\text{CO}_2$ 'in absorpsiyon debisi	$\text{kmol} / \text{m}^2 \text{s}$	$SU$	: Su	
$Q_i$	: Isı miktarı	$\text{kJ}$	$Abs.$	: Absorpsiyon kolonu	
$\phi$	: Artma faktörü				
$\phi_i$	: Artma sınırı faktörü				
$T$	: Sıvı sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$			
$T_G$	: Gaz sıcaklığı	$^{\circ}\text{C}$			

## Kaynaklar

- [1] Alper, E., "Mass transfer with chemical reaction in multiphase systems", NATO ADVANCED INSTITUTE, İzmir, August 1981.
- [2] Astarita, G., "CO<sub>2</sub> Absorption in aqueous Monoethanolamine solutions" Chem. Engng. Sci., 16 (1): 202-207 (1961).
- [3] Blauwhoff, P. M. M., Versteeg, G. F. , Van Swaaij, W. P. M., "A study on the reaction between CO<sub>2</sub> and Alkanolamines in aqueous



- solutions" Chem. Eng. Sci., 39(2): 207-225 (1984).
- [4] Carberry, J. J., and Varma, A., "Chemical Reaction and Reactor Engineering", Marcell Dekker, 585-592 (1987).
- [5] Danckwerts, P. V., "Gas Liquid Reactions", McGraw-Hill Book Co. Inc., London (1970).
- [6] DeCoursey, W. J., "Absorption with chemical reaction : development of a new relation for the Danckwerts Model ", Chem. Eng. Sci., 29 (2): 1867-1872 (1974).
- [7] Kazunori, U., Hirofumi, M., Ryo, O., Yasuki, H. M., "Gas absorption into "string-of- beads" liquid flow with chemical reaction: application to carbon dioxide separation ", International Journal of Heat and Mass Transfer, 46 , p.p. 457-468 (2003).
- [8] Perry, R. H., and Green, D., Perry's Chemical Engineer Handbook, McGraw-Hill Book Comp., Singapore. Chap. 3 ((1984).
- [9] Puranik, S. S., and Wogelpohl, A., " Effective Interfacial Area In Irrigated Packed Column.", Chem. Eng. Sci., 29, p.p. 510-517 (1974).
- [10] Sawistowski, H., and Smith, W., Mass Transfer Process Calculations., John Willey Chap.1 ((1963).
- [11] Sheng, H. L., and Ching, T. S., "Performance characteristics and modeling of carbon dioxide absorption by amines in a packed column ", Waste Management ., 19 , p.p. 255-262 (1999).
- [12] Thomas, W. J. and Furzer, I. A., "Diffusion Measurements in Liquids by the Gouy method.", Chem. Eng. Sci., 17, p.p. 115-120 ((1962).
- [13] Versteeg, G. F., and Van Swaaij, V. P. M., "Solubility and Diffusivity of Acid Gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O) in Aqueous Alkonolamine Solutions", J. Chem. Eng. Data., 33, p.p. 29-34 ((1988).
- [14] Vanisчени, S., " Modelling and Parameter Estimation in the Absorption of CO<sub>2</sub> in Aqueous MEA Solution in a Pilot-Scale Packed Column", PhD. Thesis ,Imperial College. London, (1977).

