

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSORBSİYON
KOLONLARINDA N.T.U VE H.T.U ' NUN
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mak. Müh. Hilal ÇALIK
F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
hazırlanan
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Oğuz SOYLU

İSTANBUL , 1997

İÇİNDEKİLER :

SEMBOL LİSTESİ	
TEŞEKKÜR	
ÖZET , SUMMARY	
GAZ ABSORPSİYONU	
1. DOLGULU KULELER	1
1.1. Dolgulu Kulelerde Kullanılan Dolgu Malzemeleri Özellikleri	1
1.1.1. Dolgu Malzemeleri	1
1.2. Kule Yapısı	5
1.2.1. Seramik Kule	5
1.2.2. Astarlanmış Kule	6
2. DOLGULU KULE İÇİNDE İKİ FAZIN AKIMI	7
3. DOLGULU KULEDE GAZ ABSORPSİYONU	10
4. DEBİ EŞİTLİKLERİ	12
5. DENGE (ÇÖZÜNÜRLÜK)	16
6. TÜM KÜTLE TRANSFER KATSAYILARI	17
7. DOLGULU KULELERDE SIVI FAZA AİT KÜTLE TRANSFERİ	20
8. SULANMAMIŞ DOLGU MALZEMELERİNDE ISI VE KÜTLE TRANSFERİ	21
9. SULANDIRILMIŞ DOLGU MALZEMELERİNDE ISI VE KÜTLE TRANSFERİ	27
10. SULANDIRILMIŞ DOLGU MALZEMELERİNDE GAZ FİLM KÜTLE TRANSFERİ	29
11. RASTGELE DOLGULARDA ABSORPSİYON İÇİN KÜTLE TRANSFER KATSAYILARI	31
12. GAZ FAZA AİT KÜTLE TRANSFER KATSAYILARI	33
13. ABSORPSİYON KOLONLARINDA N.T.U.(VERİMLİLİK KATSAYISI) VE H.T.U.	34
13.1. N.T.U. 'nun Önemi ve Değişimi	
13.2. Sonuç	

KAYNAKLAR
ÖZGEÇMİŞ



SEMBOL LİSTESİ :

A = Fazlar arası temas alanı	(m ²)
C , C _p = Konsantrasyon	(mol . kg / m ³)
D = Difüzyon sabiti	(m ² / h)
F = Aralıkların (boşlukların) hacim fraksiyonu	
G = Yüzeysel hız (debi)	(kg /m ²)
H = Henry kanunu sabiti	(atm.)
H.T.U = Transfer ünitesi yüksekliği	
L = Sıvı faz akım debisi	(mol .kg / h)
N = Kütle transfer debisi	(mol .kg / h)
N.T.U = Verimlilik katsayısı	
P = Total basınç	(atm.)
S = Boş kulenin kesit alanı	(m ²)
T = Mutlak temperatur	(⁰ C)
V =Gaz faza ait akım debisi	(mol .kg / h)
D _p = Parçacık çapı	(m)
(G _L) _{min} = Sıvı fazın devamlı faz olması halinde , sıvı faza ait minimum yüzeysel hız	(kg / m ² .h)
K _G = Gaz fazı esas alan tüm kütle transfer katsayısı	(mol .kg / h .m ² .atm.)
V' ^l = Gaz faza ait akım debisi (çözünen hariç)	(mol .kg / h)
a =Birim hacme karşılık gelen temas alanı	(m ² / m ³)
b = Sayısal sabit	
ε = Fraksiyonel boşluk , en kesit alanı	(m ²)
g = İvme	(9,81 m / s ²)
m = Denge eğrisinin eğimi	
n = Üs sayısı	
p , p _{BM} = Kısmi basınç	(atm.)
r = Üs sayısı	
t = Temperatur	(⁰ C)

x = Sıvı fazın mol fraksiyonu

u = Gaz gerçek hızı

y = Gaz fazın mol fraksiyonu

z = Dolgu yüksekliği (m)

a' = Islak çevre (m)

b' = Sayısal sabit

j_D = Chilton - Colburn faktörleri

j_H = Chilton - Colburn faktörleri

k_G = Gaz faza ait kütle transfer katsayısı (mol .kg / h.m²atm)

k_L = Sıvı faza ait kütle transfer katsayısı (mol .kg / h.m²atm)

k'_{L_1} = Sıvı faza ait kütle transfer katsayısı (mol .kg / h.m² . atm.)

r_H = Hidrolik yarıçap (m)

x^* = Bileşimi y olan gaz fazla dengeye erişmiş sıvı faz bileşimi ,mol fraksiyonu

y^* = Bileşimi x olan sıvı fazla dengeye erişmiş gaz faz bileşimi ,mol fraksiyonu

Δp = Basınç düşüşü (farkı) , mm.su /mdolgu yüksekliği

Altlıklar :

G = Gaz fazı

L = Sıvı fazı

GF = Gaz faza ait taşma debisi

LF = Sıvı faza ait taşma debisi

OG =Gaz faza ait transfer ünitelerinin sayısı

OL = Sıvı faza ait transfer ünitelerinin sayısı

a = Fazlar arasında transfer olan komponent

i = Fazlar arası temas yüzeyi

m = Logaritmik ortalama

$1, 2$ = Dolgulu kısmın alt ve üst kısımlarındaki şartlar

α = Sayısal sabit

γ = Küre için şekil faktörü

ϕ_{ca} = Gamson şekil faktörleri

μ = Viskozite	(kg . s / m ²)
ρ = Yoğunluk	(kg / m ³)
ρ_m = Sıvı faza ait molar yoğunluk	(mol . kg / m ³)
Re = Reynolds sayısı	
Sc = Schmidt sayısı	
Sh = Sherwood sayısı	





Bana araştırmalarım ve çalışmalarım sırasında karşılaştığım sorunlarda yardımlarımı esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Sayın Oğuz Soylu 'ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hilal alık
F.B.E. Makina Müh. Anabilim Dalı
Isı Proses Programı Öğrencisi
9443007

ÖZET :

Yüksek Lisans Bitirme Tezimi “ Absorbsiyon kolonlarında N.T.U ve H.T.U ’ nun etkisinin araştırılması ” konusunda yaptım.

Absorbsiyon kolonlarında N.T.U ve H.T.U katsayılarının etkilerini anlayabilmek için gaz absorpsiyonu , kuleler , denge , kütle transferi katsayıları gibi temel kavram ve konuların açıklanması gerekir. Bu nedenle bu konularda çeşitli açıklamalarda bulunuldu. 8. , 9. ,10. ve 11. bölümlerde ise bu konularda yapılmış çeşitli deney ve araştırmalara değinildi. Isı ve kütle transfer katsayıları hakkında zaman içinde yapılan deneysel çalışmalar sonucu çıkarılan grafik ve denklemlere ayrıntılarıyla yer verildi.Tez kapsamında ayrıca N.T.U ve H.T.U ’ ya ait çeşitli tanımlar , N.T.U ve H.T.U’ nun birbirleri ve z (dolgu yüksekliği) ile ilişkileri açıklandı.

Sonuç olarak ; en yüksek verimin elde edilebilmesi için yerine getirilmesi gereken şartlar belirlenmeye çalışıldı.

SUMMARY :

The subject of my thesis is “The investigations of the effect of N.T.U. and H.T.U. on the absorption towers.”

Basic subjects like gas absorption , towers , equilibrium and mass transfer should be explained in order to understand the effects of the coefficients of N.T.U. and H.T.U. on the absorption towers. For this reason , necessary explanations are made about these subjects. The experiments and investigations about these subjects are mentioned in parts 8, 8 , 9 , 10 and 11. The experimental study , which are done in many periods , about heat and mass transfer , the graphics and equations obtained as a result of this work are also mentioned in these parts in detail. In the thesis , some definitions about N.T.U. and H.T.U. , the relations between N.T.U. and H.T.U. and between N.T.U. , H.T.U. and z are explained.

As a result , to be able to get the maximum performance which is explained by N.T.U. , conditions which have to be got are tried to be determined.

GAZ ABSORBSİYONU:

Bir gaz karışımında bulunan komponentlerden birinin , bu gaz karışımından bir sıvı faz ile temas ettirilmesi sureti ile gaz karışımından uzaklaştırılmasıdır.

1. DOLGULU KULELER:

Dolgulu kulelerde sıvı ve gazın karşılıklı etkileşiminin kolaylaştırılması için özel dolgu malzemeleri kullanılır.

Uygun dolgu malzemeleri ile doldurulmuş dikey kulelerdir.

1.1. DOLGULU KULELERDE KULLANILAN DOLGU MALZEMELERİ ÖZELLİKLERİ:

- 1-Yoğunluğu yani birim hacminin ağırlığı az olmalıdır.
- 2-Dolgu malzemesinin tuttuğu sıvı ağırlığı az olmalıdır.Böylece sıvı fazı kuleyi çabuk terk edecek ve yükü de o oranda azalacaktır.
- 3-Malzeme birim hacminin aktif yüzeyi fazla olmalıdır.
- 4-Serbest kesit alanı büyük olmalıdır.
- 5-Serbest hacim büyük olmalıdır.
- 6-Temasa geldiği gaz ve sıvı fazlar ile kimyasal reaksiyona girmemelidir.

1.1.1. Dolgu Malzemeleri:

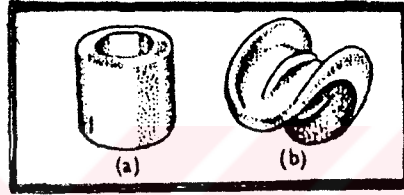
- 1- **Tahta Parçaları:**Absorbsiyon çözeltisi nötral, hafif asidik ya da bazik olursa kullanılırlar.Hafif ve ucuz bir malzemedir.Genellikle dikdörtgen kesitli kulelerde kullanılırlar.
- 2-**Kırılmış Taşlar:**Kolaylıkla bulunan bir malzeme olmasına rağmen inert olanı zor bulunur.Kırılmış taşlar bazı istenmeyen özelliklere sahiptir.Bu özellikler ağırlıklarının fazla olması , birim hacme ait yüzeyin ve serbest kesit alanlarının oldukça ufak olmasıdır. En önemli kullanım alanları sülfat asidi üretiminde Glover Kulelerinde kullanılan kırılmış kuartz ve sülfat selülozu için gereken çözeltinin hazırlanmasında kullanılan kırılmış kireç taşıdır.

3-Kok Kömürü:Hafiftir ve birim hacmi büyük bir yüzeye sahiptir.Zararlı yönleri ise serbest kesidi ufaktır ve bir kısım komponentleri pek az da olsa çözünerek çözeltiye geçer.Kırılgandır.Ufak ve basit operasyonlarda kullanılır.

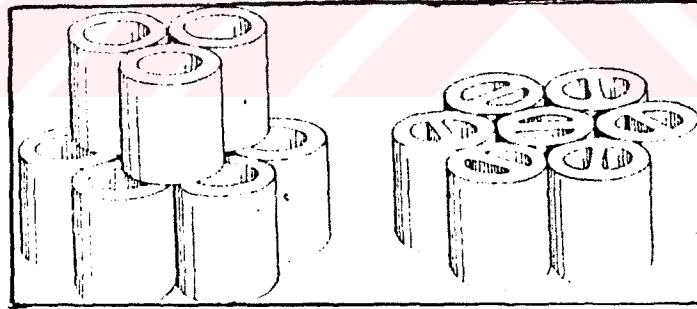
4-Topraktan Yapılmış Malzemeler:

Çözücü olarak asidik çözeltilerin kullanıldığı durumlarda kullanılırlar.

a)**Rasching Halkaları:**Yüksekliği çapına eşit silindirik halkalardır.Seramik Rasching Halkalarının çapları 50-150mm arasında, duvar kalınlıkları 10-16mm arasında değişir. Kulelere gelişigüzel doldurulurlar.



Şekil: 1.a
(Rasching halkaları ve Berl Eyerleri)



Şekil: 1.b
(Rasching halkaları ve Spiral halkalar)

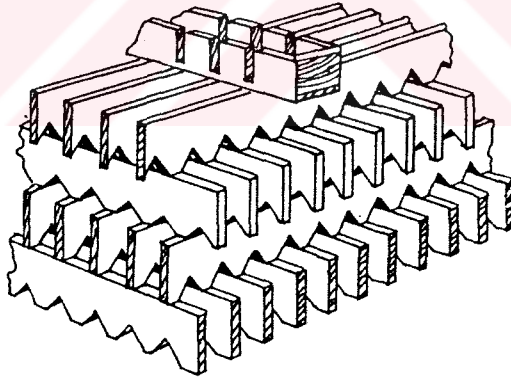
b)**Berl Eyerleri:**Porselenden yapılmış eyer şeklindeki malzemelerdir.Önemli üstünlükleri gaz akımına karşı oldukça düşük sürtünme dirençleri vermeleri ve yeterli gaz-sıvı temas yüzeyine sahip oluşlarıdır.Kuleler gelişigüzel doldurulurlar.

c)**Spiral Halkalar:**Rasching Halkalarına benzemekle beraber içlerinde spiral bir bölme bulunur.Bu bölme halka kesidini tamamen veya kısmen örter.Gaz-sıvı temasını önemli ölçüde artırır.Fiyatları fazladır.Kule içinde muntazaman dizilirler.

d)**Delikli Tuğlalar:**10x10x18 cm boyutlarında dikdörtgen şeklinde seramikten tuğlalardır.Gaz geçişinin sağlanması için düşey delikleri vardır.Kesit alanı büyük dikdörtgen şeklindeki kulelerde iyi sonuç verirler.

e)**Diğer Malzemeler:**Fiberglastan hasır şeklinde örülmüş parçalar ,cam boncuklar spiral teller v.b.olup ancak laboratuvarlar küçük absorbsiyon kuleleri ve distilasyon kolonlarında kullanılırlar.

f)**Tırtıllı Levhalar:**Yer 25 mm'den büyük ise tavsiye edilir.Dar yerlerde ise yassı levhalar kullanılır.Tırtıllı ızgara dolgu malzemelerinin tipik olanları şekilde gösterilmiştir. Levhalar arasında ve kulenin yanında bırakılan boşluklar sıvının dolgu maddesinden kule duvarına akmasını önler.



Şekil :1-c
(Tırtıllı levhalar)

Rastgele dolgu malzemesi olan **Tırtullı Levhalar** ile yığın halindeki dolgu malzemeleri karşılaştırıldığında şu bulgular elde edilir.

Yığın halindeki dolgu malzemeleri sıvıya adeta dikey bir yol sağlar , yana doğru akış olmaz. Dolgu malzemesi üzerinde homojen sıvı dağılımı olmalıdır. Bu sağlandıktan sonra sıvı aşağıya doğru akar.

Rastgele dolgu malzemeleri ise sıvıya farklı birçok yol sağlar ve bu nedenle yana akış da kolaylıkla sağlanmış olur. İlk sıvı dağılımındaki düzensizlikler giderilir. Büyük kulelerde ise yana akış istenmez. Çünkü sıvı kule tabanına doğru inerken dolgunun alt yollarında tercihli yolları izleme eğiliminde olabilir. Bu olaya “**kanallama**” denir. Sıvı dağılımı farklı seviyelerde farklı olur. Dağılım , dolgunun şekline , boyuna , kule üzerindeki ilk dağılıma , dolgunun yüksekliğine bağlıdır. Dolgu malzemesi yoğunluğu m^2 / m^3 olarak ifade edilir ve dolgu malzemesinin kuleye yerleştirim yöntemine göre %10 kadar farklılık gösterir. Düşük dolgu yoğunluğunun sağlanabilmesi , dolgu malzemesini kuleye yerleştirilirken kırılmasının önlenmesi için kuleye dolgu malzemesinden önce su doldurulur.

1.2. KULE YAPISI :

1.2.1. Seramik Kule:

A:Çapları geniş olan kısa kesilmiş geçme zıvanalı borular,ana kule kısmı

B:Gaz girişi

C:Sıvı çıkışı

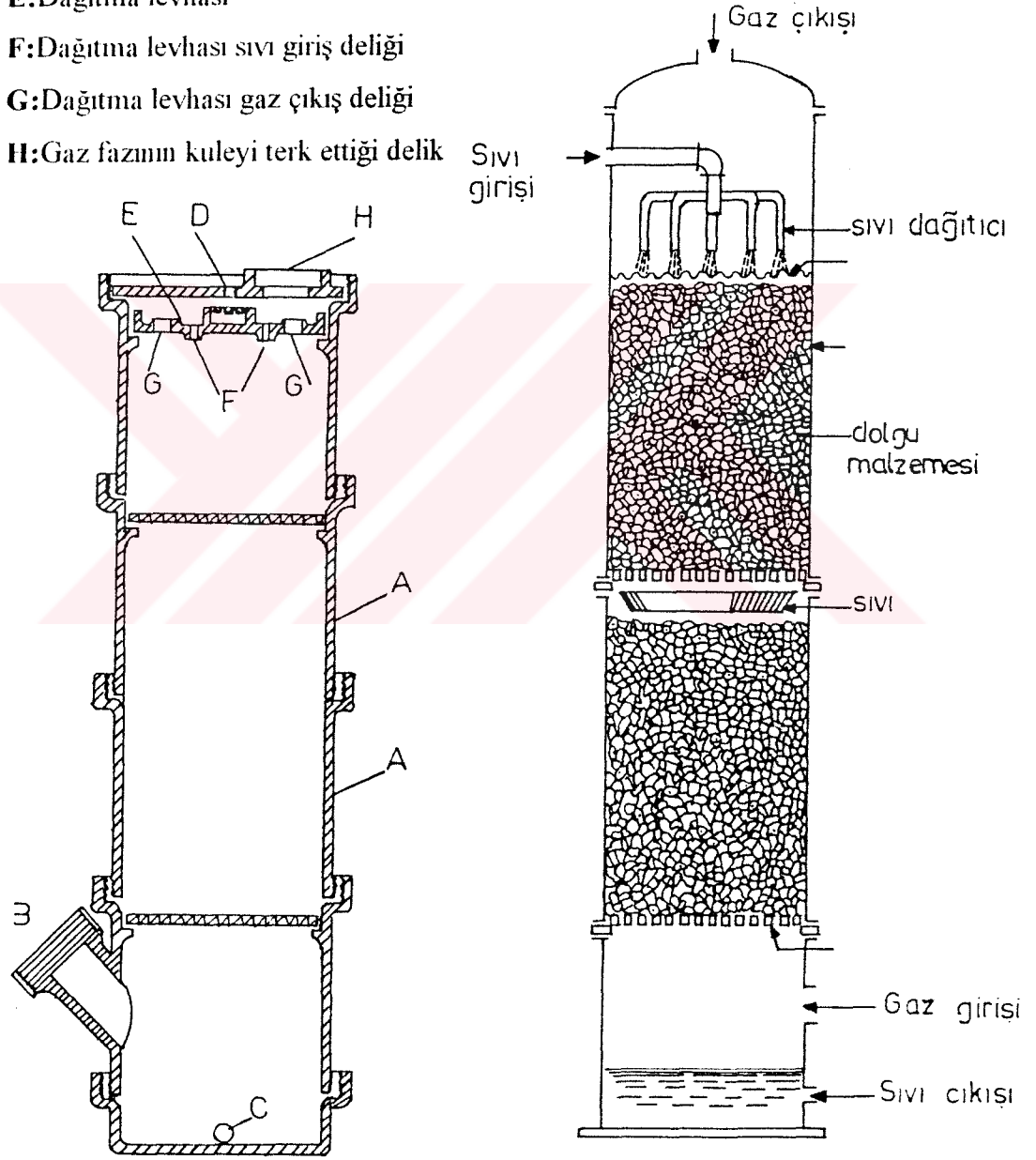
D:Sıvı girişi

E:Dağıtma levhası

F:Dağıtma levhası sıvı giriş deliği

G:Dağıtma levhası gaz çıkış deliği

H:Gaz fazının kuleyi terk ettiği delik

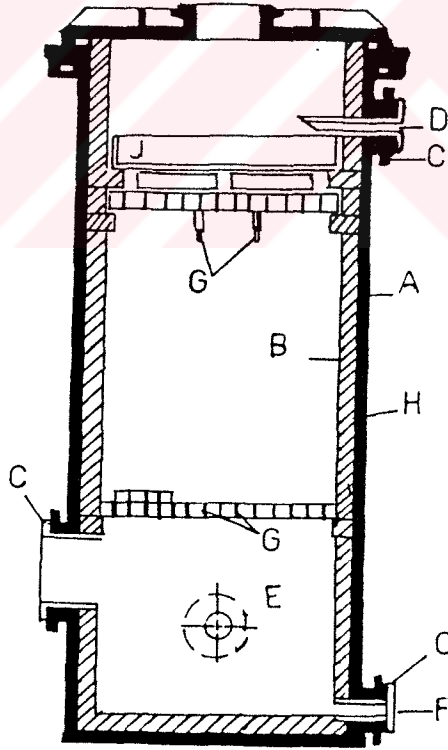


SERAMİK KULE YAPISI
Şekil: 1.2.1

DOLGULU KULE
Şekil: 1.2

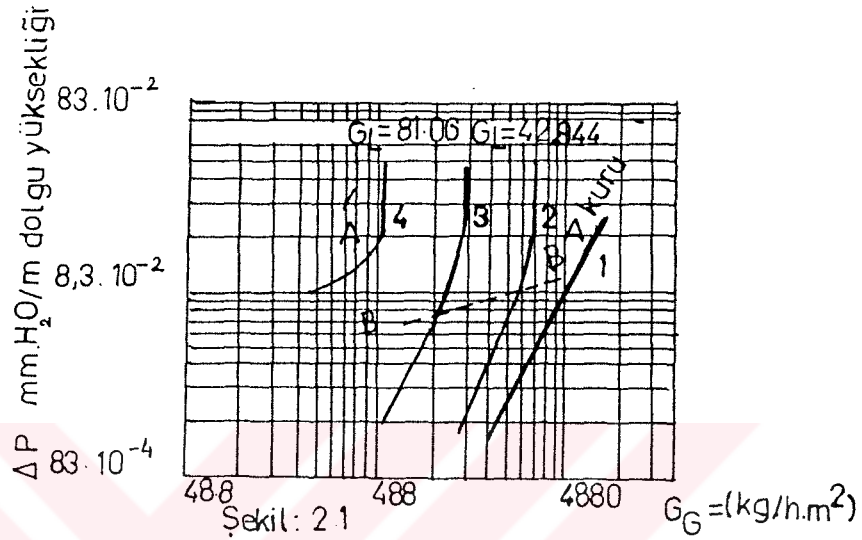
1.2.2. Astarlanmış Kule:

- A:Çelik gövde
- B:Aside dayanıklı tuğla kaplama
- C:Seramik kaplamalar
- D:Sıvı girişi
- E:Sıvı çıkışı
- F:Boşaltma deliği
- G:Seramik dayanma çubukları
- H:Macun kaplama
- J:İkinci sıvı oluğu
- K:İlk sıvı oluğu



2. DOLGULU KULE İÇİNDE İKİ FAZIN AKIMI:

Suyun dolgu malzemelerini ıslatarak yukarıdan aşağıya doğru aktığı ve gazın ise dolgu malzemeleri aralıklarından yukarıya doğru geçtiği tipik bir dolgulu kulenin basınç ile debi bağıntısı şu şekildedir:Şekil 2.1



1 No'lu Eğri:Dolgu malzemelerinin kuru olduğu hale aittir.

2,3,4 No'lu Eğriler:Sabit bir sıvı faz debisi (GL)ne ait olmakla birlikte 2'den 4'e doğru sıvı faz debisi artmaktadır.

A-A Doğrusu:Eğrilerin düşey bir durum aldığı nokta AA Doğrusu ile gösterilir. Ve bu noktaya "taşma noktası" denir. Taşma noktası dolgu malzemesinin taşıyabileceği maksimum yüklemeyi belirtir.

Taşma noktasında gaz ile sıvı arasındaki sürtünme ,sıvı fazı yukarıya doğru iterek kulenin tüm kesit alanını kaplayan devamlı bir sıvı faz oluşturacak büyüklüktedir. Bu durumda gaz ,zaman zaman fişkırmalar şeklinde kuleden geçer.

2 ve 3 numaralı eğrilerin alt kısımlarının düz bir doğru olduğu görülmektedir. Bu düz doğrunun eğriye dönüştüğü nokta (B-B Doğrusu) "yükleme noktası" adını alır. Bu noktada gaz akım hızı , dolgu malzemesi tarafından tutulan sıvı miktarında artmanın başlamasına sebep olacak kadar yüksektir. Taşma ve yükleme noktaları arasında çalışma dengesiz olmaya elverişlidir.

4 no'lu eğri, sıvı faz debisinin kulenin tümünde sıvı fazın devamlı bir faz olmasını temin edecek kadar yüksek olduğunu göstermektedir.

Taşma noktası kullanılan dolgu malzemesinin tipine ve basınç düşüşüne bağlıdır.

G_{GF} =Taşma anında gaz debisi [kg / h.m²] (boş kule için)

$g = 9,81 \text{ m / s}^2$ ivme

a_v =Dolgu malzemesinin özgül yüzeyi, [m² / m³] doldurulmuş kısım

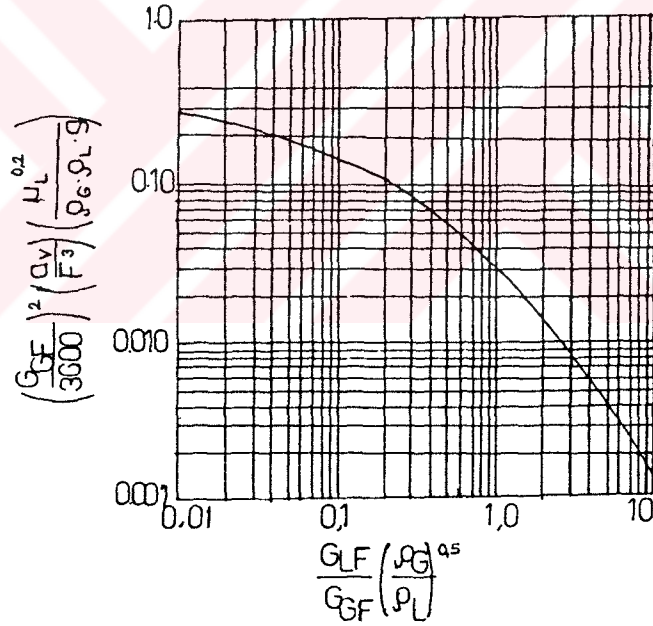
F = Boşlukların hacim fraksiyonu, [m³ / m³] doldurulmuş kısım

ρ_G = Gazın yoğunluğu [kg / m³]

ρ_L =Sıvının yoğunluğu [kg / m³]

μ_L =Sıvının viskozitesi, santipauaz [cm² / s]

G_{LF} =Taşma anında sıvı debisi [kg / h.m²] (boş kule için kesit alanı)



Sekil : 22
Dolgulu kulede taşma şartı ile ilgili bağıntı

Tablo 2.1. Rastgele doldurulmuş kule malzemeleri için (a_v / F^3)

<u>Dolgu malzemesinin tipi :</u>		<u>(a_v / F^3) Değerleri</u>
Rasching halkası	6,0 mm	7.640
Rasching halkası	9,5 mm	1.480
Rasching halkası	12,5 mm	1.330
Rasching halkası	16,0 mm	1.150
Rasching halkası	19,0 mm	700
Rasching halkası	25,0 mm	565
Rasching halkası	31,0 mm	305
Rasching halkası	38,0 mm	330
Rasching halkası	50,0 mm	220
Berl eyeri	6,0 mm	13.860
Berl eyeri	12,5 mm	1.480
Berl eyeri	25,0 mm	390
Berl eyeri	38,0 mm	260
İntalox eyeri	19,0 mm	460
İntalox eyeri	25,0 mm	320
İntalox eyeri	38,0 mm	170

Tablo 2-2. Taşma noktasında basınç düşüşü

<u>Dolgu malzemesinin tipi :</u>		<u>Taşma noktasında basınç düşüşü, (mm H₂O /m)</u>
Rasching halkası	50,0 mm	210
Rasching halkası	38,0 mm	210
Rasching halkası	31,0 mm	200
Rasc.halk. (bölmeli)	25,0 mm	250
Rasc.halk.(düz)	25,0 mm	330
Rasching halkası	19,0 mm	250
Rasching halkası	16,0 mm	210

<u>Dolgu malzemesinin tipi :</u>	<u>Taşma noktasında basınç düşüşü , (mm H₂O /m)</u>
Rasching halkası 12,5 mm	290
Rasching halkası 9,5 mm	330
Rasching halkası 6,3 mm	330
Berl eyeri 38,0 mm	180
Berl eyeri 25,0 mm	210
Berl eyeri 19,0 mm	210
Berl eyeri 12,5 mm	165
Berl eyeri 6,0 mm	105

3. DOLGULU KULEDE GAZ ABSORBSİYONU:

Zıt yönlü akımda eş yönlü akıma oranla absorbsiyon debisi büyük olur. Bu nedenle dolgulu kulelerde normal olarak gaz ve sıvı fazın zıt yönlü akımı kullanılır.

$$\text{Tüm kütle dengesi , } dL = dV \quad (3 - 1)$$

$$\text{Komponent dengesi, } d(Lx) = d(Vy) \quad (3 - 2)$$

L= sıvı faz debisi (mol.kg / h)

V= gaz faz debisi (mol.kg / h)

x=herhangibir komponentin sıvı fazdaki mol fraksiyonu

y= herhangibir komponentin gaz fazdaki mol fraksiyonu

Gaz fazdan sıvı faza sadece bir komponent transfer olursa sıvı fazın buharlaşması ihmal edilebilecek kadar az olursa ;

$$d(Lx) = dL \quad \rightarrow \quad (3 - 3)$$

$$d(Vy) = dV \text{ yazılabilir.}$$

$d(Lx) = d(Vy)$ kule tabanından z yüksekliğine kadar integre edilirse :

$$L \cdot x + V_1 \cdot y_1 = L_1 \cdot x_1 + V \cdot y \quad \text{elde edilir.} \quad (3 - 4)$$

x 'in x_1 'den x_2 'ye ; y'nin y_1 'den y_2 'ye kadar olan her değeri için bu eşitlik kullanılabilir.

Yüksek sıvı faz debilerinde yukarıdan aşağıya doğru gaz akımı oluşabilir. Eş yönlü akım oluşur. Bu durumda eşitlik kullanılamaz.

Bu eşitlik iki akım arasındaki bağıntıyı ifade etmektedir. Bu nedenle "Operasyon Doğrusu" adını alır. Gaz ve sıvı faza ait akım debileri kule boyunca değişir ve eşitlik bir eğriyi ifade eder.

Gaz fazı bir çözülebilir komponent ihtiva eder, diğer komponentler inerttirler. Operasyon sırasında değişmeden kalırlar. Aynı husus sıvı içinde doğru olursa L' sıvı faz (çözünen hariç), V' gaz faz (çözünen hariç) sabit kalır.

$$V' = V \cdot (1 - y) = V_1 \cdot (1 - y_1) = V_2 \cdot (1 - y_2) \quad (3-5)$$

$$L' = L \cdot (1 - x) = L_1 \cdot (1 - x_1) = L_2 \cdot (1 - x_2) \quad (3-6)$$

$$V = V' / (1 - y) \quad V_1 = V' / (1 - y_1)$$

$$L = L' / (1 - x) \quad L_1 = L' / (1 - x_1)$$

$$L \cdot x + V_1 \cdot y_1 = L_1 \cdot x_1 + V \cdot y$$

$$L' \cdot x / (1 - x) + V' \cdot y_1 / (1 - y_1) = L' / (1 - x_1) + V' y / (1 - y)$$

$$V' \cdot [y_1 / (1 - y_1) - y / (1 - y)] = L' \cdot [x_1 / (1 - x_1) - x / (1 - x)]$$

$$y / (1 - y) = L' \cdot x / [V' \cdot (1 - x)] + y_1 / (1 - y_1) - L' \cdot x_1 / [V' \cdot (1 - x_1)]$$

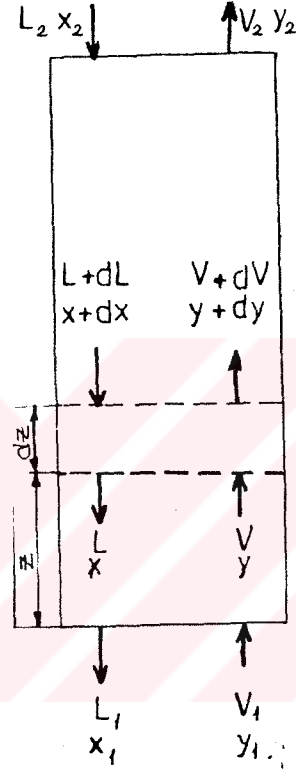
(3-7) ile ifade edilen denklem elde edilir.

4. DEBİ EŞİTLİKLERİ :

Kararlı operasyon şartları altında kütle transfer debisi dN_a pozitif alınıp şu bağıntı yazılır :

$$dN_a = -d(V \cdot y) = -d(L \cdot x) \quad (4-1)$$

$$dN_a = -V \cdot dy / (1-y) = -L \cdot dx / (1-x) \quad (4-2)$$



Şekil: 4.1

İslatılmış duvarlı bir kolonda kütle dengesi

$$dN_a = V \cdot dy / (1-y) = k_G \cdot (p_i - p_G) \cdot dA$$

P_i = fazların temas yüzeyinde su buharının kısmi basıncı (atm.)

p_G = gaz fazı içerisinde su buharının kısmi basıncı (atm.)

$$dA = \pi \cdot D \cdot dz \quad (m^2)$$

D = ıslatılmış duvarlı kolonun iç çapı (m)

$$P_i - P_G = P \cdot (y_i - y)$$

$$dN_a = V \cdot dy / (1-y) = k_G \cdot (P_1 - P_G) \cdot dA$$

$$dN_a = V \cdot dy / (1-y) = k_G \cdot P \cdot (y - y_i) \cdot a \cdot S \cdot dz$$

$$- V \cdot dy / (1-y) = k_G \cdot P \cdot (y - y_i) \cdot a \cdot S \cdot dz \quad (4-3)$$

$$- L \cdot dx / (1-x) = k_L \cdot \rho_m \cdot (x_i - x) \cdot a \cdot S \cdot dz \quad (4-4)$$

$$\int_{y_2}^{y_1} dy / [(1-y) \cdot (y - y_i)] = \int_0^z k_G \cdot a \cdot S \cdot P / V \cdot dz \quad (4-5)$$

$$\int_{x_2}^{x_1} dx / [(1-x) \cdot (x_i - x)] = \int_0^z k_L \cdot a \cdot S \cdot \rho_m / L \cdot dz \quad (4-6)$$

$k_G \cdot a$ = gaz kütle transfer katsayısı (mol . kg / h . atm.)

$k_L \cdot a$ = sıvı kütle transfer katsayısı (mol . kg / h . atm.)

P = total basınç (atm .)

S = boş kulenin kesit alanı (m²)

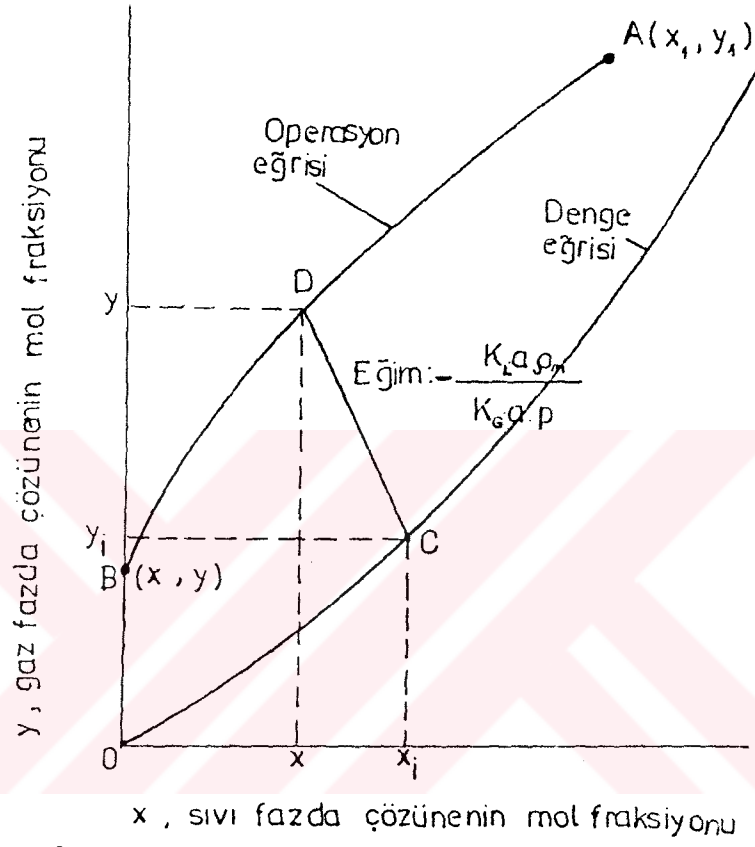
Bu eşitliklerin kullanılabilmesi için şu veriler sağlanmalıdır:

- 1- V ve L 'nin fonksiyonu olarak $k_G \cdot a$ ve $k_L \cdot a$ kütle transfer katsayıları, gaz ve sıvı fazın özellikleri bilinmelidir.
- 2 - Kulenin herhangi bir kısmına ait y ve y_1 değerleri ya da x ve x_1 arasındaki bağıntının bilinmesi gerekir.

(4-3) ve (4-4) bağıntılarının birleştirilmesinden belirli bir y değeri ve ona karşılık gelen y_i değeri arasındaki bağıntı elde edilir.

$$- k_L \cdot a \cdot \rho_m / (k_G \cdot a \cdot P) = (y_i - y) / (x_i - x) \quad (4-7)$$

Bu bağıntı operasyon doğrusu üzerindeki herhangi bir noktanın (x, y) kendisine karşılık gelen ve fazların temas yüzeyinin durumunu gösteren nokta (x_i, y_i) ile $- k_L \cdot a \cdot \rho_m / (k_G \cdot a \cdot P)$ eğimine sahip olan düz bir doğru halinde birleştirileceğini ifade eder.



Şekil:4.2

Bu şekil sabit sıcaklıkta çalışan bir absorpsiyon kulesinin şematik x, y diyagramıdır.

Atmosfer basıncında çalışan bir absorpsiyon kulesinde oluşan basınç düşüşü total basınca göre ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu nedenle basınç sabit kabul edilebilir. Absorpsiyon olabilmesi için operasyon eğrisinin AB, denge eğrisinin üzerinde yer alması gerekmektedir. Çünkü bu durumda itici güç $y - y_i$ veya $x - x_i$ sınırlı yüksekliğe sahip bir kule için sıfırdan büyük olur.

A noktası kulenin alt kısmındaki durumu (x_1, y_1) , B noktası ise kulenin üst kısmındaki durumu (x_2, y_2) göstermektedir. Çözünen madde içermeyen bir çözücü kullanıldığından $x = 0$ ' dir.

C noktası, fazların temas yüzeyindeki durumu (x_i, y_i) , D noktası ise (x, y) gaz ve sıvı faz kütlelerindeki durumu göstermektedir.

Sıvı faza ait kütle transfer katsayısı, gaz faza ait kütle transfer katsayısına oranla büyük bir değere sahipse :

$$- k_L \cdot a \cdot \rho_m / (k_G \cdot a \cdot P) \gg y_i - y / (x_i - x)$$

Oran çok büyük olur ve dolayısı ile $x_i \cong x$ olur. $x_i \cong x$ olması halinde sıvı faz içinde konsantrasyon farkı ortadan kalkar ve direnç sadece gaz fazdaki dirençten ibaret olur. Bu durumda absorpsiyon operasyonunun, gaz faz direncinin kontrolü altında olduğu söylenir.

Gaz faza ait kütle transfer katsayısı sıvı faza ait kütle transfer katsayısına oranla büyük bir değere sahipse :

$$- k_L \cdot a \cdot \rho_m / (k_G \cdot a \cdot P) \cong 0 \text{ olur.}$$

Bu durumda $y = y_i$ ' dir. Absorpsiyon operasyonunun sıvı faz direncinin kontrolü altında olduğu söylenir.

5. DENGEL (ÇÖZÜNÜRLÜK) :

Sıvı da çözünmüş bir gaz belirli bir sıcaklık ve konsantrasyonda , çözünen gaza ait belirli bir kısmi basınç gösterir. Total basınç büyük olursa gazın çözünürlüğü total basınçla değişir. Bu tesir yüksek basınçlarda geçerlidir. 5 atm .'nin ise altında ihmal edilir.

Çeşitli gazlar , çözeltilerinin denge durumunda gösterdiği kısmi basınçlardan oldukça farklı basınçlar gösterirler. Gaz kendisini absorblayan sıvı ile sağlam bir bileşik oluşturursa , kısmi basıncı geniş bir konsantrasyon alanında sıfır (0) olur.

Çözünmüş gazın kısmi basıncının düşük olması onun çözünürlüğünün ifadesidir.

Oksijen su içinde çözüldüğü zaman çok seyreltik sulu çözeltiler büyük değerlerde oksijen kısmi basıncı gösterirler. Bu da O_2 'nin suda az çözüldüğü şeklinde ifade edilir.

Çözünme , sıvı ile temasta bulunan çözünmüş gazın , kısmi basıncına göre meydana gelir.

Çözünürlüğü fazla: Belirli bir konsantrasyonda gazın sıvı içerisinde çözünebilmesi için sıvı ile temasta bulunan gazın düşük bir kısmi basıncı yeterli ise o gazın çözünürlüğü fazladır.

Çözünürlüğü az: Belirli bir konsantrasyonda gazın sıvı içerisinde çözünebilmesi için sıvı ile temasta bulunan gazın yüksek bir kısmi basınca sahip olması gerektiğini ifade eder.

Henry Kanunu:

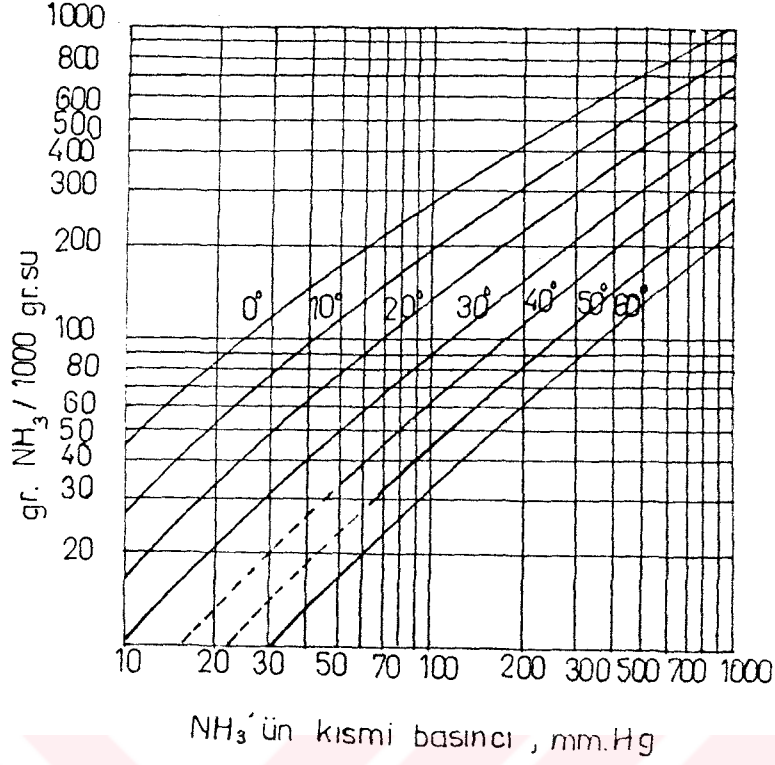
Gaz çözünürlüğünün özel bir hali çözünürlük eğrisinin düz bir doğru olduğu haldir. Bu durumda gaz , **Henry Kanunu** ' na uyar ve çözünürlük eğrisi şöyle ifade edilir.

$$p = H \cdot x \quad (5 - 1)$$

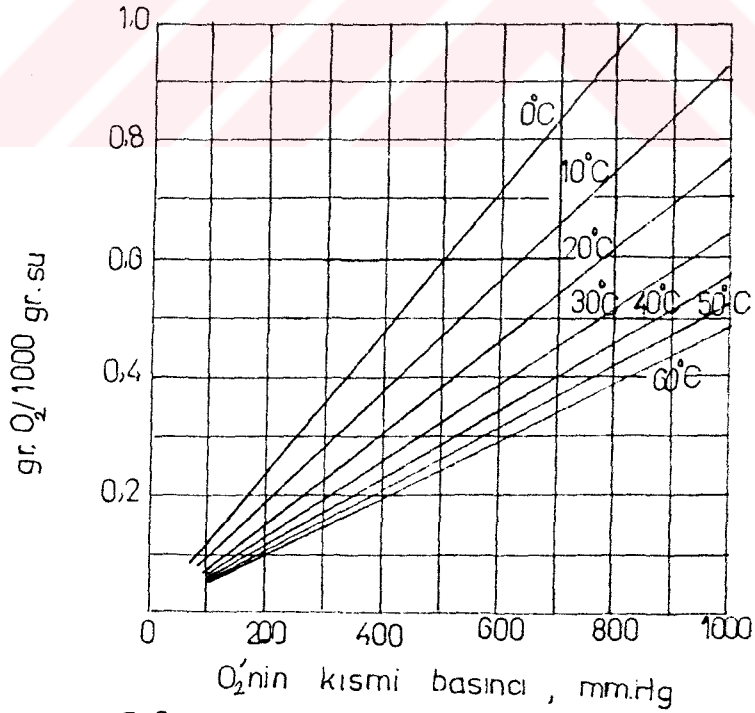
p = çözünen gazın kısmi basıncı (atm.)

H = Henry kanunu sabiti (atm.)

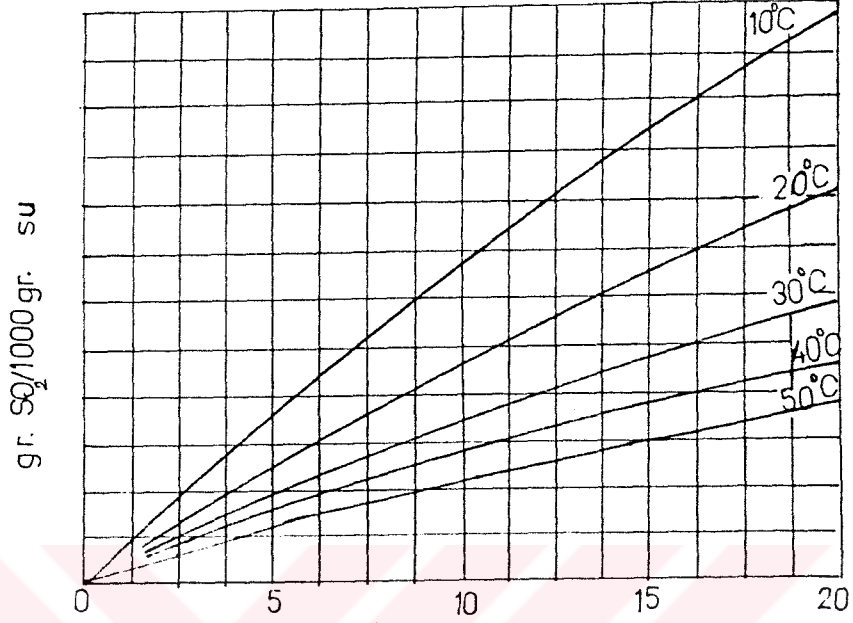
x = çözünen gazın sıvı fazdaki mol fraksiyonu



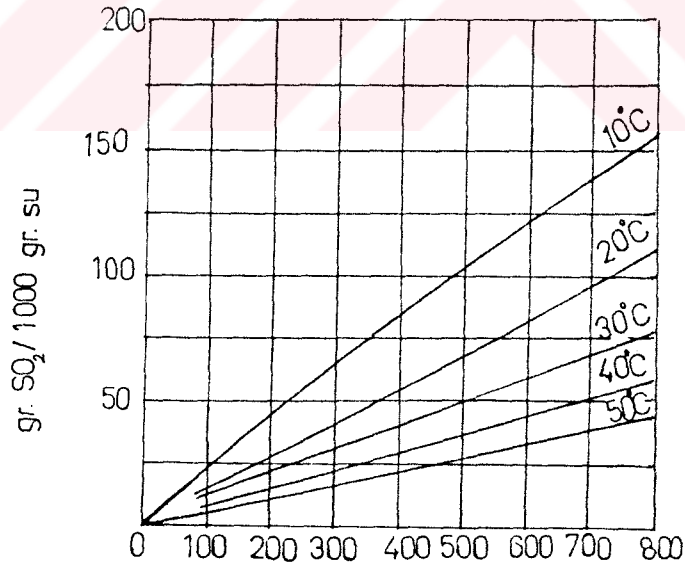
Şekil:5.1 Amonyakın su içerisindeki çözünürlüğü



Şekil:5.2 Oksijenin sudaki çözünürlüğü



Şekil: 5.3 SO₂'nin kısmi basıncı, mm.Hg.
Kükürt dioksitin su içerisindeki çözünürlüğü
(düşük konsantrasyonda)



Şekil: 5.4 SO₂'nin kısmi basıncı, mm.Hg.
Kükürtdioksitin su içerisindeki
çözünürlüğü (yüksek konsantrasyonda)

6 . TÜM KÜTLE TRANSFER KATSAYILARI:

Bir gaz fazından bir sıvı faza kütle transferi halinde konsantrasyon farkı söz konusudur. Fazların temas yüzeyinde konsantrasyon eğrisi süreksizlik gösterir ve x -y tüm kütle transfer katsayısının ifadesinde bir anlam taşımaz. Tüm katsayının bulunması istenirse hayali konsantrasyon x^* (y ile dengede bulunan) veya y^* (x ile dengede bulunan) esas alınmalıdır.

Tüm kütle transfer katsayılarından biri tüm hayali konsantrasyon farkı $(x^* - x)$ ile ve diğeri de yine tüm hayali konsantrasyon farkı $(y - y^*)$ ile ifade olunabilirler.

$$-V \cdot dy / (1-y) = K_G \cdot a \cdot S \cdot P \cdot (y - y^*) \cdot dz \quad (6 - 1)$$

$$-L \cdot dx / (1-x) = K_L \cdot a \cdot S \cdot \rho_m \cdot (x^* - x) \cdot dz \quad (6 - 2)$$

$K_G \cdot a$ = gaz faza ait tüm kütle transfer katsayısı (mol . kg / h.m³ .atm.)

$K_L \cdot a$ = sıvı faza ait tüm kütle transfer katsayısı (mol . kg / h.m³ .atm.)

y^* = gerçek sıvı faz konsantrasyonu x ile dengede bulunan gaz fazda çözünen
komponentin mol fraksiyonu

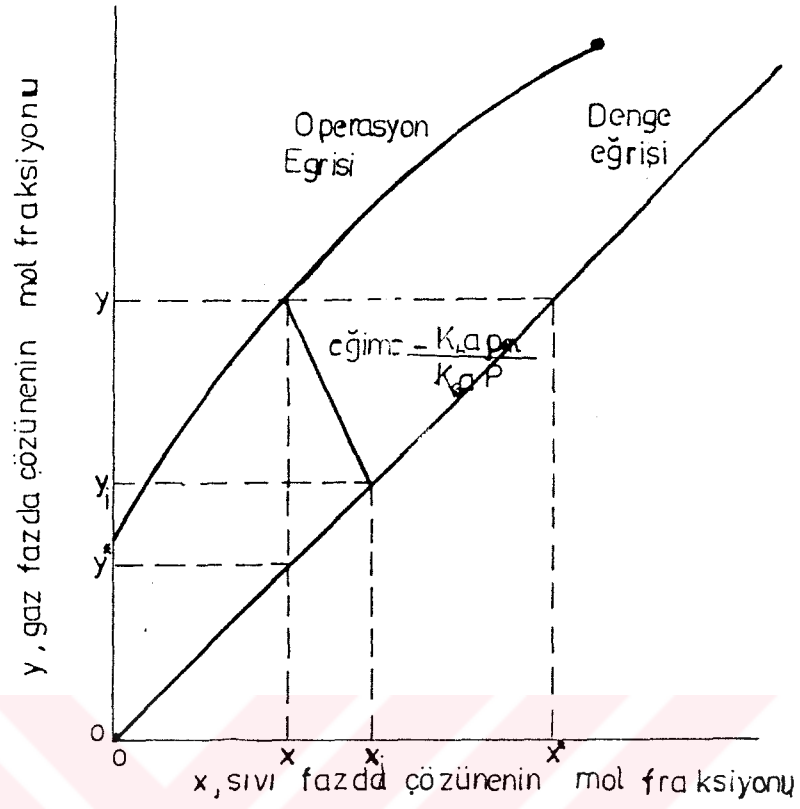
x^* = gerçek gaz faz konsantrasyonu y ile dengede bulunan sıvı fazda çözünen
komponentin mol fraksiyonu

$y - y^*$ = itici güç

$x - x^*$ = itici güç

Denge eğrisinin düz bir doğru olması halinde bireysel kütle transfer katsayıları ile tüm kütle transfer katsayıları arasındaki bağıntı (4 - 4) ve (6 - 1) eşitliklerinin birleştirilmesinden aşağıdaki gibi bulunur:

$$k_L \cdot a \cdot \rho_m \cdot (x_i - x) = K_G \cdot a \cdot P \cdot (y - y^*) \quad (6 - 3)$$



Şekil: 6.1. Gaz absorpsiyonda itici güçler

$m =$ denge doğrusunun eğimi

$$p = P \cdot y = H \cdot x$$

$$y = (H/P) \cdot x$$

Şekilden $m = (y_i - y^*) / (x_i - x)$ olarak alınır.

(6 - 4)

$$x_i - x = (y_i - y^*) / m$$

Formül (6 - 3) 'de bu eşitliği yerleştirirsek şu denklem bulunur:

$$y_i - y^* = m \cdot K_G \cdot a \cdot P \cdot (y - y^*) / (k_L \cdot a \cdot \rho_m)$$

(6 - 5)

Debi eşitlikleri bölümünden (4 - 3) eşitliği ile (6 - 1) eşitliğini birleştirilirse :

$$k_G . a . (y_i - y^*) = K_G . a . (y - y^*)$$

$$y_i - y^* = K_G . a . (y - y^*) / k_G . a \quad \text{elde edilir.} \quad (6 -6)$$

(6 - 5) ve (6 - 6) eşitliklerini toplarsak :

$$(y - y^*) = (y - y_i) + (y_i - y^*)$$

$$(y - y^*) = m . K_G . a . P . (y - y^*) / (k_L . a . \rho_m) + K_G . a . (y - y^*) / k_G . a \quad (6 -7)$$

$$1 / K_G . a = 1 / k_G . a + m . p / (k_L . a . \rho_m)$$

$$1 / K_L . a = 1 / k_L . a + \rho_m / (m . k_G . a . P)$$

$m = H / P$ olduğu için

$$1 / K_G . a = 1 / k_G . a + H / (k_L . a . \rho_m) \quad (6 - 8)$$

$$1 / K_L . a = 1 / k_L . a + \rho_m / (H . k_G . a) \quad (6 -9)$$

Tüm direnç = (gaz faz direnci) + (sıvı faz direnci)

Karşılaşılan herhangi bir durumda bireysel katsayılar $k_G . a$ ve $k_L . a$ nispeten sabit olsa bile , denge eğrisinin eğimi değişiyorsa ya da molal yoğunluk değişiyorsa tüm katsayılar değişirler. Bu sebepten dolayı sadece m ve ρ_m ' in sabit olması halinde tüm katsayılar kullanılmalıdır.

Eğim çok küçük bir değere sahip , $k_G . a$ ve $k_L . a . \rho_m$ aynı büyüklükte ise $k_L . a \cong k_G . a$ olur. Bu , çözünürlüğü fazla olan gazlar için gaz faza ait direnç en büyük önemi taşır anlamındadır. Aynı biçimde eğim çok büyük bir değere sahipse sıvı faza ait direnç en büyük önemi taşır.

7. DOLGULU KULELERDE SIVI FAZA AİT KÜTLE TRANSFERİ:

Bir gaz karışımı uygun bir sıvı ile temasa geçirilsin ve bu karışımda bulunan çözünebilir bir komponenti bu karışımdan uzaklaştırılsın. Kimyasal reaksiyon oluşmasın. Kararlı durumun oluşması halinde gaz kütlesindeki çözünebilir komponent , bulunduğu yerden gaz faz ile sıvı fazın temasa geldiği yüzeye transfer olacak ve burada sıvı tarafından çözünecektir. Bundan sonra ise temas yüzeyinden esas sıvı faz kütlesine transfer olacaktır. Bu durumda gaz fazdaki kütle transfer debisi ile birlikte sıvı faz içerisindeki kütle transfer debisini de gözönüne almak gerekmektedir. Çünkü sıvı faz artık tek bir komponent değildir ve bir konsantrasyon farkı vardır.

Sıvı fazdaki komponent transferine ait debi eşitliği , fazların temas yüzeyinde itici gücün varolması durumunda şöyledir:

$$dN_a = k_L \cdot (C_{a,i} - C_{a,l}) \cdot dA \quad (7 - 1)$$

N_a = çözünebilir komponentin transfer debisi (mol . kg / h)

k_L = sıvı faz kütle transfer katsayısı (mol . kg / h . m²)

C_a = fazlar arasında transfer olan komponentin konsantrasyonu (mol . kg / m³ çözelti)

A = fazların temas alanı (m²)

$$dN_a = k_L' \cdot (x_{a,i} - x_{a,l}) \cdot dA \quad (7 - 2)$$

k_L' = sıvı faz kütle transfer katsayısı (mol . kg / h . m²)

x_a = transfer olunan komponentin mol fraksiyonu

$$dN_a = k_L \cdot \rho_m \cdot (x_{a,i} - x_{a,l}) \cdot dA \quad (7 - 3)$$

ρ_m = sıvı fazın molar yoğunluğu (mol . kg / m³) (çözen + çözünen) / çözelti

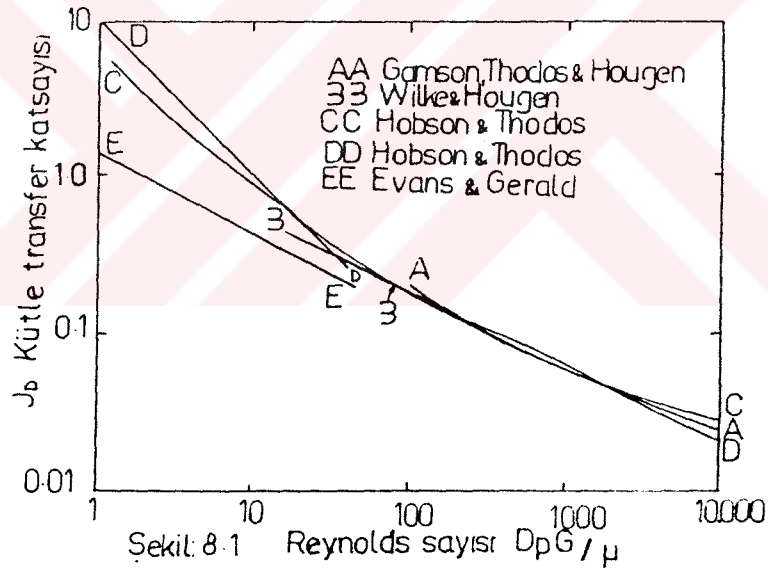
Seyreltik sulu çözeltiler ve ufak konsantrasyon farkları için ρ_m farklı olabilir.

Genellikle ρ_m bileşimle değişir.

8. SULANMAMIŞ DOLGU MALZEMELERİNDE ISI VE KÜTLE TRANSFERİ :

Silindirik ve küresel parçacıkların kurutulması ile ilgili araştırma sonuçları 1943 yılında *Gamson, Thodos ve Hougen* tarafından açıklanmıştır.

Boyları 2,286 ile 18,79 mm arasında olan bu parçacıklar gözenekli selit yapıdadır. Bu parçacıklar bir tel elek desteği ile dağıtılır. Yataktan aşağıya doğru esen sıcak hava akımında kurutulur. Kurutma olayının başında suyun buharlaşma hızı parçacıkların nem oranına bağlı olmaksızın sabit kalır.



Kurutma ile ilgili önceki çalışmalar şu sonucu ortaya çıkarmıştır:

Sabit hız periyodunda , buharlaşma hızı aynı sıcaklık ve hava hızında serbest su yüzeyindeki buharlaşma hızına eşittir. Yalnız yüzey ile hava akımı arasındaki gaz film katsayısına bağlıdır. Kuruma hızı sıvıdan hava akımına yayılan su buharı kütle transfer katsayısına bağlıdır. Denge koşullarında yüzey sıcaklığı , havadan alınan ısı ile buharlaşma sonucu kaybolan ısı arasındaki dengedir. Bu sıcaklık hava akımını ıslak kabarcık sıcaklığına eşittir.

Hava ve yüzey arasındaki sıcaklık farklılığı havanın ıslak ve kuru kabarcık ısıları arasındaki farka eşittir.

Gamson , Thodos ve Hougen çıkardıkları sonuçları *Chilton -Colburn* j_D ve j_H faktörleri olarak şu denklemlerle ifade etmişlerdir :

$$j_D = k_G \cdot P_{B,m} \cdot M_M \cdot [\mu / (\rho \cdot D_p)]^{2/3} \cdot 1 / G \quad (8 - 1)$$

$$j_H = h \cdot (\mu \cdot C_p / k)^{2/3} \cdot 1 / (C_p \cdot G) \quad (8 - 2)$$

μ = viskozite (kg . s / m²)

G = yüzeysel debi ,hız (kg / m²)

C_p = konsantrasyon (mol .kg / m³)

D_p = parçacık çapı (m)

k_G = gaz faza ait kütle transfer katsayısı (mol .kg / h.m² .atm .)

$P_{B,m}$ = kısmi basınç (atm.)

Reynolds (Re) > 350 ise türbülanslı akım söz konusudur. Bu durumda j_D ve j_H faktörleri şu denklemler ile ifade edilir :

$$j_D = 0,989 \cdot (D_p \cdot G / \mu)^{-0,41} \quad (8 - 3)$$

$$j_H = 1,064 \cdot (D_p \cdot G / \mu)^{-0,41} \quad (8 - 4)$$

j faktörlerinin oranı $j_H = 1,076 j_D$ 'dir. *Wilke ve Hougen* 1945 'te Re sayılarını 40 ile 350 arasında alarak deneyler yapmışlardır . Çıkan eğrinin negatif eğiminin yavaş yavaş arttığını görmüşlerdir. Bu bölgeye " *geçiş bölgesi* " denir. Geçiş bölgesinde şu denklem geçerlidir:

$$j_D = 1,82 \cdot (D_p \cdot G / \mu)^{-0,51} \quad (8 - 5)$$

1949 ' da *Hobson ve Thodos* küresel parçacık yataklarındaki sıvılara kütle transferi konusunda çalışmalar yapmış ve Re sayısının 3 ile 4.000 arasındaki değerleri için şu bağıntıyı bulmuştur:

$$Re = D_p \cdot G / \mu \quad (3 \text{ ile } 4000 \text{ arası değerlerde}) \quad (8 - 6)$$

$$\log j_D = 0,7683 - 0,9175 \cdot \log (D_p \cdot G / \mu) + 0,0817 \cdot (\log D_p \cdot G / \mu)^2 \quad (8 - 7)$$

Hobson ve Thodos 1951 'de su , bütanol , toluen ,oktanın havaya buharlaşmasını ölçmüşlerdir. Sonuçlar göstermiştir ki türbülanslı akıma geçmeden önceki geçiş bölgesi Re sayısının 50 ile 150 arasında olduğu kısımdır.

Geçiş bölgesinin alt ve üst kısmında şu denklemler geçerlidir:

$$j_D = 1,30 \cdot (D_p \cdot G / \mu)^{-0,45} \quad (8 - 8)$$

$$j_D = 10 \cdot (D_p \cdot G / \mu)^{-1,0} \quad (8 - 9)$$

Evans - Gerald 1953 ' te su içinde benzoik solüsyonu için bazı değerler ,sonuçlar bulmuştur.Bunlar *Şekil 8 - 1* de görülmektedir.

Gamson , Thodos ve Hougen ' in 1949 yılında uyguladıkları deneysel tekniği *Taecker ve Hougen* Berl eyerleri , Rasching halkalarının kütle transfer katsayılarının havada saptanması için kullanmış ve şu sonuçları elde etmişlerdir.

Rasching halkaları :

$$j_D = 1,07 \cdot (G \cdot (A_p)^{1/2} / \mu)^{-0,41} \quad (8 - 9)$$

Berl eyerleri :

$$j_D = 0,855 \cdot (G \cdot (A_p)^{1/2} / \mu)^{-0,34} \quad (8 - 10)$$

A_p = dolgu maddesi yüzey alanı (m^2)

Halkaların kütle transfer katsayıları , katı kürelerin ve silindirelerin kütle transfer katsayılarından %19 daha düşüktür.

Parçacık yataklarındaki boşluklar hakkında şunlar söylenebilir : Kürelerde % 40 ' m üzerinde sabit boşluğu vardır. Boşluk , parçacıkların doldurulmasında kullanılan yöntem ve bir dereceye kadar parçacıkların şekline bağlı olarak %35 -45 arasında değişir. Kama Rasching halkaları v.b fabrikasyon dolgular % 70 -80 arası serbest yere sahiptir.

Gazın gerçek hızı parçacık yataklarındaki fraksiyonel boşlukla ters orantılıdır.

$$v = G / (\rho \cdot \epsilon) \quad (8-10)$$

ϵ = fraksiyonel boşluk en kesit alanı (m^2)

Dolgu yatağındaki akışın Re sayısını hesaplamak için , yataktaki çatlakların boyunu ölçmek çok gereklidir. Boruda veya dairesel olmayan kanaldaki akışın Re sayısını hesaplarken uzunluk hidrolik yarıçap r_{H1} olarak alınabilir.

$$r_{H1} = \epsilon / a' \quad (8-11)$$

a' = ıslak çevre (m)

$$Re = 4 \cdot v \cdot \rho \cdot r_{H1} / \mu = 4 \cdot \mu \cdot \rho \cdot \epsilon / \mu \cdot a' \quad (8-12)$$

$$r_{H1} = (\pi \cdot d^2 / 4) / (\pi \cdot d)$$

$$r_{H1} = d / 4 \quad (8-13)$$

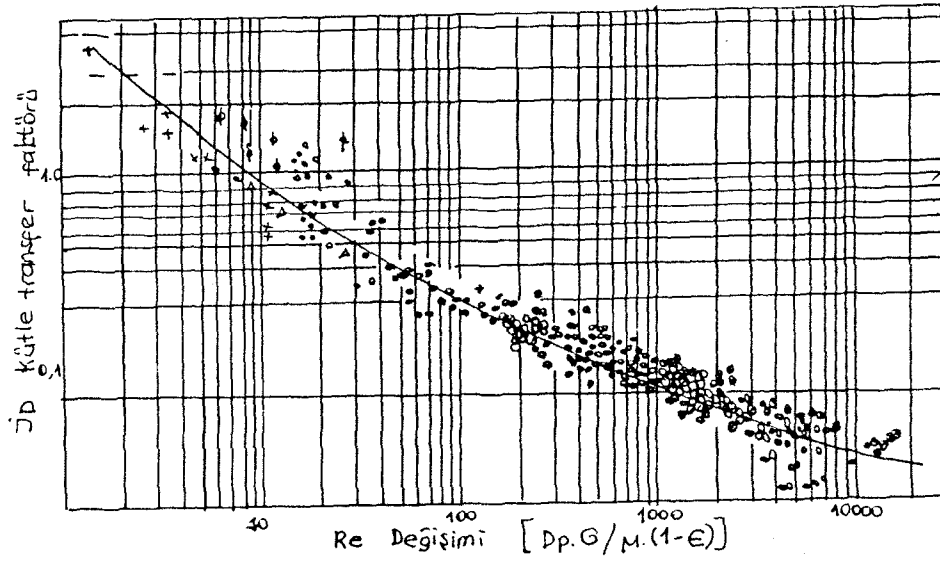
olarak ifade edilir.

Şekil faktörleri kullanılarak silindirler ve pullar arasında bağlantı kurmak ve ayrıca *Taецkar ve Hougен*'in halkalar ve eyerler için elde ettikleri sonuçları aşağıdaki denklemlerle açıklamak mümkündür.

$$j_D / (1-\epsilon)^{0.2} = 1,46 \cdot [6 \cdot G / (a \cdot \varnothing_{ea} \cdot \mu)]^{0.41} \quad (8-14)$$

Tablo 8 -1. Şekil faktörleri

<u>Parçacıklar :</u>	<u>\varnothing_{ea}</u>
Küreler :	1,0
Silindirler:	0,91
Pullar :	0,86
Rasching halkaları :	0,79
Bölümlü halkalar :	0,67
Berl eyerleri:	0,80



Sekil:8.2 Sabit ve akıcı yataklarda kütle transferi bilgi korrelasyonu (Chu - Kalil ve Wetteroth, 1953)

Sembol	Sistem	Schmidt No.
⊙	Naftalin - hava	2,57
⊕	Metil Etil Keton - su	776

Thones ve Kramers 1958 ' de akışkan ve parçacık yatakları arasındaki 3 farklı akış rejimi tarafından kontrol edildiğini göstermişlerdir. Herhangi bir parçacığın bazı bölümleri türbülanslı akıma maruz kalabilir. Fakat diğer bölümlerinde akış laminardır. Komşu parçacıklar tarafından korunan alanlar durgun sıvıyla kaplıdır. Kütle transfer oranının deneysel sonuçları ile düzenli dolgularda bulunan bir tek küre arasında şu ilişki kurulabilir :

$$Sh = 1,25 \cdot Re^{1/2} \cdot Sc^{1/3} + 0,054 \cdot Re^{0,8} \cdot Sc^{0,4} + 0,8 \cdot Re^{0,2} \quad (8-15)$$

$$Sh = \epsilon \cdot k_c \cdot d / ((1 - \epsilon) \cdot \gamma \cdot D) \quad (8-17)$$

$$Sc = \mu / (\rho \cdot D) \quad (8-18)$$

k_c = birim konsantrasyon farkına dayalı kütle transfer katsayısı (mol .kg / h.m²)

d = parçacık çapı (m)

γ = şekil faktörleri (küre)

u = hız (boş kuledeki) (m /s)

ϵ = fraksiyonel boşluk en kesit alanı (m²)



9. SULANDIRILMIŞ DOLGU MALZEMELERİNDE ISI VE KÜTLE TRANSFERİ :

Sıvıların gözenekli katı dolgulardan buharlaşmasını inceleyebilmek için , dolgu yüzeyi ile gaz akışı arasındaki ortalama kütle transfer katsayısını hesaplamak gerekir. Transfer katsayısı dolgunun ıslanmış alanına bağlı olduğu için sıvı , geçirgen olmayan dolgunun üzerinde akarken ek bir değişken girer. Sıvı ile ıslatılmış olan yüzey fraksiyonu gözenekli ve su geçirmez dolgular için bulunan kütle transfer katsayılarının karşılaştırılmasından elde edilir.

Dolgu üzerindeki sıvı filmdeki ısı ve kütle transfer hızları sıvı , kulede yeniden sabit denge sıcaklığına erişene kadar , yeniden sirküle edilerek hesaplanır. Bu sıcaklıkta buharlaşma nedeni ile oluşan ısı kaybının hızı gazdan transfer edilen hassas ısı ile dengelenmiştir. Bu operasyon “*Adyabatik nemlendirme*” olarak bilinir. Denge sıvı ısısının , gazın ıslak kabarcık ısısına eşit olması gerekir.

Mc. Adams , Pohlentz ve St. John 1949 ' da 25 mm. karbon halkaları ile dolu adyabatik nemlendirme kulesi için ısı ve kütle transfer katsayısını hesaplamışlardır. Isı transfer katsayılarını $h_G . a_{II}$ olarak ifade etmişlerdir.

Gaz hızı G , 1.708 ile 4.880 $kg / m^2 .h$, sıvı hızı L , 2.440 ile 12.688 $kg / m^2 .h$ arasında olduğu zaman şu denklem yazılabilir :

$$h_G . a_{II} = 1,78 . G^{0,7} . L^{0,07} . e^{0,0023 t_f} \quad (9 -1)$$

t_f = gaz film sıcaklığı (46 ,11⁰ C ile 96,11⁰ C arasında)

G = 1. 708 ile 2.440 $kg / m^2 .h$

L = 2.440 ile 12.688 $kg / m^2 .h$

$$h_{G,aII} = 1,78 \cdot G^{0,7} \cdot L^{0,07} e^{0,0023 \cdot t} \quad (9 - 1)$$

Isı ve kütle transferi arasında analogi olduğu varsayılarak kütle transfer katsayılarının bu denklemde hesaplanandan % 30 ' a kadar daha düşük olduğu söylenebilir. Sıvı yüzeyi ısı transfer yüzeyinden daha az etkindir. Çünkü ısı , dolgunun yüzeyini kurutmak için transfer edilebilir ve ayrıca ısı , sıvı filmle kaplı yüzeye halkalarla iletilir.

Kulenin tabanını terkeden sıvının sıcaklığı ,hesaplanan denge sıcaklığından $-17,22^{\circ}C$ ile $-16,77^{\circ}C$ yüksektir. Bu da ısınmı dolguda iletilmesini kanıtlar .

Yoshida ve Tanaka 1951 ' de 312,5 mm. derinliğindeki 250 mm.çaplı 15, 25 veya 35 mm. seramik halkalarla dolu kolonda havanın içindeki suyun buharlaşması üzerinde çalışmışlardır. Adyabatik nemlendirici deneylerindeki ısı ve kütle transfer katsayılarının gaz hızı ile doğrudan orantılı olduğu saptanmıştır. 669 ile 2.860 $kg/h.m^2$ arasındaki G değerleri ve 981 ile 20.300 $kg/h.m^2$ arasındaki L değerleri için , üç dolguya ait sonuçlar şu denklemlerle bağlantılandırılmışlardır.

$$h_{G,a} = 0,117 \cdot G \cdot L^{0,2} \quad (9 - 2)$$

$$k_{G,a} = 0,45 \cdot G \cdot L^{0,2} \quad (9 - 3)$$

$$h_{G,a} = \text{ısı transfer katsayısı (kg / h.m}^2)$$

$$k_{G,a} = \text{kütle transfer katsayısı (kg / h.m}^2)$$

1952 'de *Hensel ve Treybal* adyabatik nemlendirme konusunda 40 mm. Berl eyerleri ile dolu kule kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Düşük su hızlarında ısı transferi etkin alanın , kütle transferi alanının yaklaşık iki katı olduğunu ve daha yüksek su akış hızlarında ise (dolgu tam olarak ıslanır) ısı ve kütle transfer alanlarının eşitliğe ulaştığını bulmuşlardır.

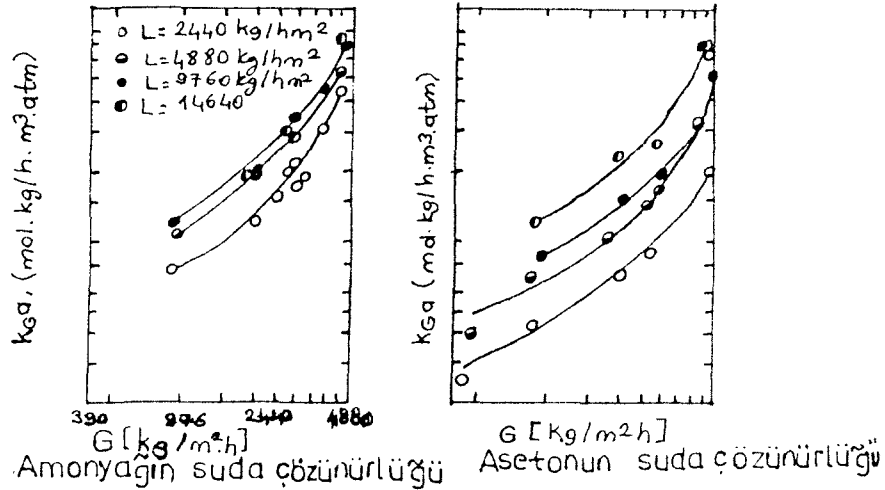
10. SULANDIRILMIŞ DOLGU MALZEMELERİNDE GAZ FİLM KÜTLE TRANSFER KATSAYISI:

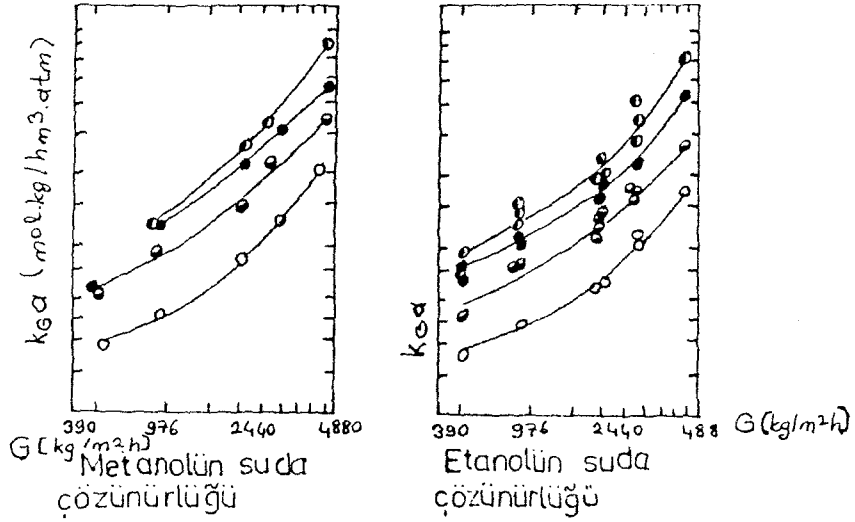
Gaz filmi için kütle transfer katsayısı yayılgenlikle orantılıdır. Sulandırılmış dolgularda , kütle transferi konusunda yapılan çeşitli incelemeler arasında görüş birliği mevcut değildir.

1940 ' da *Sherwood ve Holloway , Mehta ve Parekh* ' in 16 mm ' lik halkalarla dolu bir kulede akan havada su , metanol , benzen ve toluenin buharlaşmasma dayalı deney sonuçlarını bildirmişlerdir. Bu dört malzeme için gaz film katsayılarının ,havadaki buhar yayılgenliği ile orantılı olduğu bulunmuştur. Aynı sonuca *Surosky ve Dodge* tarafından çalışmalarda da ulaşılmıştır.

Houston ve Walker 1950 'de amonyak , metanol , etanol ve aseton buharının , 25 mm. karbon halkalarla 610 mm. yüksekliğe kadar dolu olan , 305 mm. çapındaki kolonda su tarafından absorpsiyonu için bütün katsayıları belirlemişlerdir.

Amonyak ve aseton deneylerinde sıvı film genellikle toplam direncin %10 ile %40'ını oluşturur. Fakat etanol ve metanol için sıvı film direnci nerede ise bütün deneylerdekinin % 10 ' undan daha azdır.





Şekil: 8-3 25 mm lik karbon halkalarındaki absorpsiyon için gaz film kütlesi transfer katsayıları

Şimdiye kadar sözü edilen bütün çalışmalarda gaz fazı hava idi. Farklı bir sistem *Lynch ve Wilke* tarafından 1955'te suyun , helyuma , havaya ve Freon 12'ye buharlaşması konusunda yapılmış çalışmalarla irdelenmiştir.

$$j'_H = h / C_p \cdot G \cdot (\mu \cdot C_p / k)^{1/2} \quad (11-1)$$

$$j'_D = k_G \cdot \rho_{BM} \cdot M_M / G \cdot (\mu / \rho \cdot D)^{1/2} \quad (11-2)$$

Yoshida 1955'te suyun , hava , helyum ve karbondioksit gibi üç farklı gaza buharlaşması konusundaki incelemelerini açıklamıştır. Bu inceleme 25 mm.'lik seramik halkalarla dolu 100 mm.'lik kolonda yapılmıştır. Gaz hızı 131 ile 4.880 kg m.h² arasında değişmektedir. Bu durumda sabit sıvı hızında ve sabit Re sayısında gaz akış hızı Schmidt sayısı ile orantılıdır.

$$H_G = 0.24 \cdot (G / \mu)^{0.3} \cdot L^{-0.25} \cdot (Sc)^{0.77} \quad (11-3)$$

$$k_G \cdot a = 4.2 \cdot (G \cdot \mu / \rho_{BM}) \cdot (G / \mu)^{-0.3} \cdot L^{0.25} \cdot (Sc)^{-0.77} \quad (11-4)$$

11. RASTGELE DOLGULARDA ABSORBSİYON İÇİN KÜTLE

TRANSFER KATSAYILARI :

Tasarı için done olarak kullanılacak kütle transfer katsayıları büyük ölçme ekipmanlarında yapılacak testler sonucu belirlenmelidir. Çünkü dolgu kulesinin performansı doğru tasarıma dolayısı ile doğru donelere bağlıdır. Ancak çalışmaların çoğu nispeten küçük kolonlarla ilgili olarak yapılmıştır . Bu nedenle büyük sanayi kulelerindeki sıvı dağılımı ve etkilerle mukayese edilemeyeceği tartışmalıdır. Bundan önceki çalışmaların absorbsiyon konusundaki eksikliği dolgu yüksekliğinin küçük olması ve son etkilerin hesaba katılmaması idi. Sonuçta bildirilen katsayıların büyük kolonlarda elde edilen sonuçlardan çok büyük olması muhtemeldir.

Dwyer ve Dodge 1941 ' de amonyağın su tarafından absorbsiyonu konusunda 305 mm . karbon halkaları ile dolu , 1.219 mm. çaplı kulede araştırmalar yapmışlardır. 2.440 kg / m² .h sabit sıvı hızında hacimce % 2 amonyak içeren karışımda hava hızı 488 ile 4.880 kg / m² .h arasında değişir. 2.440 kg / m² .h sabit gaz hızında da sıvı hızının 488 ile 4.880 kg / m² .h arasında değiştiği görülmüştür.

Deneysel sonuçlar $K_G \cdot a$ toplam katsayı değerleri olarak ifade edilmişlerdir:

$L = 500$ kg / m² .h sabit sıvı hızında :

$$15 \text{ mm. halkalar} \quad K_G \cdot a = 0,18 \cdot G^{0,70}$$

$$25 \text{ mm. halkalar} \quad K_G \cdot a = 0,29 \cdot G^{0,57}$$

$$40 \text{ mm. halkalar} \quad K_G \cdot a = 0,26 \cdot G^{0,57}$$

$G = 500$ kg / m² .h sabit gaz hızında :

$$15 \text{ mm. halkalar} \quad K_G \cdot a = 0,64 \cdot L^{0,49}$$

$$15 \text{ mm. halkalar} \quad K_G \cdot a = 0,77 \cdot L^{0,41}$$

$$15 \text{ mm. halkalar} \quad K_G \cdot a = 0,48 \cdot L^{0,47}$$

1940 ' ta *Sherwood ve Holloway* tarafından bildirilen 25 mm. 'lik halkalara ait bilgiler *Borden ve Squires* ' in sonuçlarından % 20 daha düşüktür.

1950 ' de *Perry* ve 1952 ' de *Sherwood* ve *Pigford* tarafından sağlanan bilgilerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. H.T.U , sabit sıvı hızında gaz hızı yükleme noktasına ulaşıncaya kadar artar.

Yükleme noktasından itibaren ise H.T.U ' da belirgin bir düşüş olur.

$$H.T.U = G^n \quad (\text{yükleme noktasının altında})$$

$$n = 0,25 \div 0,50 \quad (\text{dolgu boyu ve sıvı hızına bağlıdır.})$$

2. H.T.U , sabit gaz hızında sıvı hızına bağlı olarak düşer.

$$H.T.U = L^{-1/2}$$

3. Eşit gaz ve sıvı hızlarında H.T.U değerleri , Rasching halkaları ve aynı nominal boydaki eyerler de eşittir. Ancak eyerlerin yükleme ve taşıma hızları ortalama % 50 daha fazladır.

4. 25 mm. 'den küçük dolgu boylarında H.T.U ' da büyük bir düşüş olmaz.



12. GAZ FAZA AİT KÜTLE TRANSFER KATSAYILARI:

Orta büyüklükte boyutlara sahip ıslak duvarlı bir kolonda buharlaşan saf sıvıyı göz önüne alırsak gaz fazının sıvı fazla dengeye erişmediği ve kısmi basınç farklarının oluştuğu görülür. Dolgulu kulede , dolgulu kısmın çok ufak bir parçasında sistem hemen hemen dengeye erişebilir ve kısmi basınç farkları ölçülemeyecek kadar ufak bir değer alabilir . Bundan başka dolgulu kule deneylerinde sıvı fazdaki sıcaklık farkları , dolgulu kısmın ufak bir parçası kullanıldığı zaman ortadan kalkar ve henüz tamamen aydınlatılmamış diğer faktörler , konuyu daha da karışık bir hale sokar.

Belirli bir dolgu malzemesi , doldurma düzeni ve sistem için , elde mevcut bilgilerin kullanılmasında genellikle izlenen yol kütle transfer katsayısının , gaz ve sıvı fazlara ait kütleli debilerin G_G ve G_L bir fonksiyonu olduğunun , kabul edilmesi esasına dayanır . Bu husus aşağıdaki şekilde ifade olunur:

$$k_G a = b.(G_G)^p . (G_L)^r \quad (12 - 1)$$

Yukarıdaki eşitlikte b , p ve r 'nin herbiri özel bir hale ait sabitlerdir. p ve r üslerinin birer sabit olduğu düşüncesi gerçekleşmeyebilir. Bu değişimlere sebep k_G ve a 'nın aynı değişkenlerden aynı şekilde etkili olmamalarıdır. Sıvı fazı seyreltik sulu çözelti olan sistemler takdirinde çeşitli inert gaz-çözünen komponent karışımlarının $k_G a$ değerlerinde meydana getirdiği değişimler (12 - 1) numaralı eşitlikte , boyutsuz bir grup olan Schmidt sayısının eşitliğe dahil edilmesi ile dikkate alınmış olur.

$$k_G a = b' (G_G)^p . (G_L)^r . (\mu_G / \rho_G . D_G)^s \quad (12 - 2)$$

Tablo 12 -1 Üs ve sabitler				
Dolgu malzemesinin tipi:	b	p	r	Referanslar
12,5 mm. Rasching halkaları	0,0135	0,9	0,39	1
25,0 mm. Rasching halkaları	0,1238	0,77	0,2	1
38,0 mm. Rasching halkaları	0,0392	0,72	0,38	1
25,0 mm. Berl eyerleri	0,62	0,75	0,4	2
75,0 mm. tek spiralli tuğla (şaşıtmalı yerleştirir	0,0577	0,65	0,29	2
75,0 mm. bölmeli tuğla (devamlı yerleştirme)	0,000097	0,42	1,06	2

$s = - 2/3$ olarak alınmalıdır.

13. ABSORPSİYON KOLONLARINDA N.T.U (VERİMLİLİK KATSAYISI)

VE H.T.U. :

Dolgulu kulelerde kütle transferini veren debi eşitliğinin entegre edilmiş hali :

$\int dy / [(1-y) \cdot (y-y_i)]$ veya $\int dH / (H_i - H)$ 'nin sayısal değeri operasyonda karşılaşılan güçlüğü bir ölçümüdür.

Herhangi bir özel hal için entegral değerinin büyük olması lüzumlu cihaz yüksekliğinin büyük olması demektir.

Ayrımanın güçlüğü oranında bu gibi ünitelere ihtiyaç oranının artması transfer ünitesi olarak tanımlanır.

$$\text{Lüzumlu Dolgu Yüksekliği} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Lüzumlu transfer} \\ \text{ünitesinin sayısı} \end{array} \right\} \cdot \left\{ \begin{array}{l} \text{Bir transfer ünitesinin} \\ \text{yüksekliği} \end{array} \right\}$$

$$z = (N.T.U) \cdot (H.T.U) \quad (13 - 1)$$

Gaz absorpsiyonu için *Colborn* şu tanımları yapmıştır:

$$\int_{y_2}^{y_1} (1-y)_f \cdot dy / [(1-y) \cdot (y-y_i)] = \int_0^z k_G \cdot a \cdot (1-y)_f \cdot S \cdot P / V \cdot dz \quad (13 - 2)$$

$$(N.T.U)_g = \int dy / [(1-y) \cdot (y-y_i)] = z / (H.T.U)_g \quad (13 - 3)$$

$$(N.T.U)_l = \int dx / [(1-x) \cdot (x_i-x)] = z / (H.T.U)_l \quad (13 - 4)$$

$(N.T.U)_g$ = gaz filmine ait verimlilik katsayısı

$(N.T.U)_l$ = sıvı filmine ait verimlilik katsayısı

$(H.T.U)_g$ = gaz filmine ait transfer ünitesinin yüksekliği

$(H.T.U)_l$ = sıvı filmine ait transfer ünitesinin yüksekliği

z = lüzumlu dolgu yüksekliği (m)

$$(H.T.U)_g = (V / S) / (k_G \cdot a \cdot P) \quad (13 - 5)$$

$$(H.T.U)_l = (L / S) / (k_L \cdot a \cdot \rho_m) \quad (13 - 6)$$

H.T.U. terimi tek bir boyuta sahiptir , bu nedenle tercih olunur. Buna karşılık kütle transfer katsayıları içerisinde , çok sayıda boyut biraraya getirilmektedir.

$$(N.T.U)_{og} = \int dy / [(1-y) \cdot (y-y^*)] = z / (H.T.U)_{og} \quad (13 - 7)$$

$$(N.T.U)_{ol} = \int dx / [(1-x) \cdot (x^*-x)] = z / (H.T.U)_{ol} \quad (13 - 8)$$

$$(H.T.U)_{og} = (V / S) / (K_G \cdot a \cdot P) \quad (13 - 9)$$

$$(H.T.U)_{ol} = (L / S) / (K_L \cdot a \cdot \rho_m) \quad (13 - 10)$$

$$(H.T.U.)_{OG} = (H.T.U.)_G + (mV/L) \cdot (H.T.U.)_L \quad (13-11)$$

$$(H.T.U.)_{OL} = (H.T.U.)_L + (L/mV) \cdot (H.T.U.)_G \quad (13-12)$$

(N.T.U.)_{OG}'nin $\int_{y_2}^{y_1} dy / (y - y^*)$ değerine eşit olduğu, operasyon ve denge eğrilerinin doğru şeklini aldığı düşük konsantrasyonlar için aşağıdaki bağıntılar türetilebilir:

$$(N.T.U.)_{OG} = \ln \left[(1 - mV/L) \cdot \left[\frac{(y_1 - y_2^*)}{(y_2 - y_2^*)} \right] + mV/L \right] / (1 - mV/L) \quad (13-13)$$

$$(N.T.U.)_{OL} = \ln \left[(1 - L/mV) \cdot \left[\frac{(x_1 - x_2^*)}{(x_2 - x_2^*)} \right] + L/mV \right] / (1 - L/mV) \quad (13-14)$$

13. 1. N.T.U. NUN ÖNEMİ VE DEĞİŞİMİ :

Önemli olan en düşük maliyetle maksimum verimle çalışacak bir kule dizaynıdır. Optimum değerleri bulmak dolgulu kule dizaynında kullanılacak transfer katsayılarının doğru olmasını sağlamak şarttır. $k_G \cdot a$, $h_G \cdot a$, P , G_G , G_L dolayısıyla H.T.U. , N.T.U. ve z bulunmalıdır.

Absorpsiyonda iki durum söz konusudur :

1 - Gaz faz direncinin hakim olduğu $-k_L \cdot a \cdot \rho_m / (k_G \cdot a \cdot P)$ 'nin oranının yani denge eğrisi eğiminin çok büyük olduğu durum $x_i = x$ olur.

Çözünürlüğü fazla gazlar için bu direnç büyük önem taşır. (Bölüm 4)

$$(N.T.U.) = \int dy / [(1 - y) \cdot (y - y_i)] = k_G \cdot a \cdot S \cdot P \cdot z / V$$

a (temas alanı) , S (boş kule kesit alanı) , P (toplam basıncı) ve V (gaz geçiş hızı) sabit kabul edilirse :

$N.T.U. \approx k_G \cdot a \cdot z$ denilebilir.

Görüldüğü gibi N.T.U, kütle transfer katsayısının z (dolu yüksekliğinin) değerinin artmasına göre artış gösterir.

2 - Sıvı faz direncinin hakim olduğu denge eğrisi eğimi "0" olduğu durumda gaz kütle transfer katsayısı , sıvıya göre çok fazla olduğu durumda ise N.T.U. şöyle bulunur :

$$(N.T.U.) = \int dx / [(1 - x) \cdot (x_i - x)] = k_L \cdot a \cdot S \cdot \rho_m / L$$

S (boş kule kesit alanı) , ρ_m (sıvı yoğunluğu) , L (sıvı hızı) sabit kabul edilirse $N.T.U. \approx k_L \cdot a \cdot z$ 'dir.

Her iki durumda da görüldüğü gibi N.T.U.'nun artışı transfer katsayısı ve dolu yüksekliğine bağlıdır.

13. 2. SONUÇ :

Maksimum verim için gerekli şartları şöyle özetleyebiliriz: (N.T.U'nun max. olması)

* Dolgu malzemelerinin hafif , yoğunluklarının az , geçirgen olması verimliliği olumlu yönde etkiler.

* Optimum G_G (yüzeysel gaz hızı) = G_{GF} (%50 ila %70 arası taşma anındaki gaz hızı) olmalıdır.

*Kulede oluşan basınç düşüşünün minimum olması istenir.

*Kütle transfer katsayıları büyük olmalıdır.



KAYNAKLAR :

Cooper , Christl and Peery , 1941 , “Transactions of the American Institute of Chemical Engineers”

Prof. Dr. Çataltaş . İhsan , 1986 , “Kimya Mühendisliğine Giriş”

Gamson , 1951 , “Chemical Engineering Progress”

Houston and Walker , 1950 , “Industrial and Engineering Chemistry”

Treybal , R.E. , 1955 , “Mass Transfer Operations”



ÖZGEÇMİŞ :

- Doğum Tarihi : 11 Ekim 1973
- Doğum Yeri : Kırşehir
- Eğitim : 1979 - 1984 Etiler Cumhuriyet İlkokulu
1984 - 1987 Etiler Lisesi Orta Kısım
1987 - 1990 Gültepe Lisesi
1990 - 1994 Y.T.Ü. Makina Fak. Makina Müh. Bölümü
1994 - 1997 F.B.E. Makina Müh. Anabilim Dalı İst
Proses Yüksek Lisans
- İş Hayatı : 1995 - 1996 Beşiktaş , Yapım Mühendislik
1996 - Takosan Otomobil Göstergeleri A.Ş.
(Halen orada çalışmaktayım.)

