

GAZ ABSORBSİYONU

1. DENEYİN AMACI

Kuru dolgu maddeleri içeren bir kolonda ve çeşitli sıvı akış hızları varlığında kolondaki basınç düşüşünün gaz akış hızı ile değişiminin ve CO₂-hava karışımından CO₂'in saf su ile soğurulmasının incelenmesi ve soğurma hızının belirlenmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER

Bir gaz karışımını içinde bulunan bir bileşeni çözebilecek bir sıvı faz ile temasa getirerek gaz karışımından bu bileşenin uzaklaştırılması işlemine gazın soğurulması (absorpsiyon) denir. Bir gaz karışımı genellikle inert bir gaz ve soğurulacak gazdan oluşur. Ayrıca kullanılan sıvının çalışma koşullarındaki buharlaşmasının oldukça düşük olması gerekir.

Soğurma gaz karışımındaki bileşenin sıvı içinde çözüldüğü "fiziksel" soğurma ya da gaz karışımındaki bileşenin sıvı ile tepkimeye girdiği "kimyasal" soğurma şeklinde olabilir. Fiziksel soğurmaya örnek olarak; hava (suda çözünmeyen) amonyak karışımından (suda belli bir değere kadar çözünen) amonyağın su ile uzaklaştırılması verilebilir. Bu karışımdan amonyağı seyreltik asit çözeltisi kullanarak uzaklaştırmak istediğimizde olay amonyak asit çözeltisi arasında gerçekleşen tepkime nedeniyle kimyasal soğurmaya bir örnek olacaktır.

Bu işlemin tersi yani sıvı fazda çözülmüş haldeki bir bileşenin, bu sıvı içinden inert bir gaz geçirmekle uzaklaştırılması sıyırma (desorpsiyon veya stripping) olarak adlandırılır. Örneğin bir sulu çözelti içinde bulunan amonyak, bu çözelti içinden hava geçirilerek uzaklaştırılabilir.

Soğurma işlemi genellikle dolgu kolonlarda gerçekleştirilir. Dolgu kolonlar, içi çeşitli tipte dolgu maddesi ile doldurulmuş silindirik kolonlardır. Sıvı faz kuleye üstten girer ve dağıtıcı vasıtasıyla tüm kesite dağıtılır. Bu şekilde dağıtılan sıvı dolgu maddesinin boşlukları arasından aşağıya doğru akarken, kolonun altından giren (pompalanan) gaz fazına oldukça geniş bir temas yüzeyi sağlar.

Dolgu absorpsiyon kolonlarında dolgu maddesi olarak kullanılan maddeler aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

Birim hacminin ağırlığı az olmalıdır; bu husus sadece kule tarafından taşınacak tüm ağırlığa etki etmekle kalmaz, aynı zamanda kulenin projelendirilmesine de etki eder. Kule içerisine gelişigüzel doldurulan dolgu malzemeleri kule duvarlarına basınç yapar ve birim hacminin ağırlığı daha fazla olursa, kule yapım fiyatına etki edebilir.

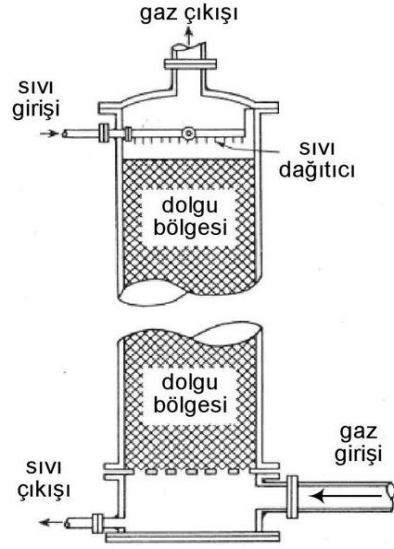
Birim hacmin aktif yüzey alanı fazla olmalıdır; daha fazla temas sağlanabilir. Serbest kesit alanı büyük olmalıdır; kule içerisinde meydana gelen basınç düşüşüne ve dolayısıyla sirkülasyonu için gerekli pompa gücüne etki eder. Bundan başka serbest kesit alanının küçük olması, gaz akım hızının bu serbest kısımlarda artmasına ve belirli bir limitin üzerinde, sıvı fazın kule dışına atılmasına sebep olur. Dolgu malzemesi tarafından tutulan sıvı az olmalıdır; bu genel olarak istenilen bir husustur, çünkü kule yükünün azalmasını ve sıvı fazın kuleden mümkün olduğu kadar çabuk uzaklaşmasını sağlar. Gazın sıvı fazın içerisindeki çözünürlüğünün az olması veya gaz fazla sıvı faz arasında meydana gelen reaksiyonun yavaş olması halinde bu arzulanmayan bir özelliktir. Asit kulelerinde dolgu malzemesi tarafından sıvı miktarının az olması genellikle istenir, çünkü bu olduğunda kulenin boşaltılması esnasında daha az kaza riski vardır. Ayrıca dolgu maddelerinin fiyatı ucuz olmalı, belirli bir dayanıklılığı olmalı, temasta bulunduğu gaz ya da sıvı faz ile reaksiyona girmemelidir.

Kule dolgu maddesi olarak en fazla tercih edilen *Raschig halkalarıdır*. Yüksekliği çapına eşit silindirik halkalardan ibaret olup, duvarların kalınlığı yapıldığı malzemenin cinsine bağlı olarak değişir. Seramik veya metalden yapılabilirler. Birim hacmin ağırlığı, serbest hacim, serbest kesit alanı ve birim hacmin yüzeyi bakımından en iyi kule dolgu malzemeleridir.

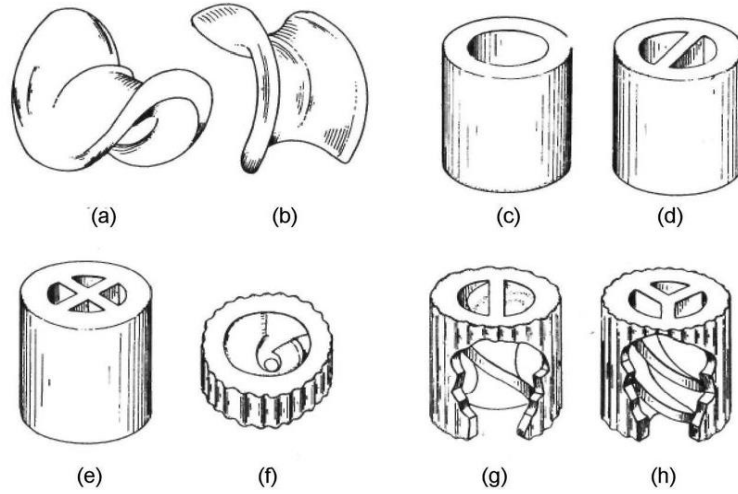
Berl eyerleri; bunlar porselenden yapılmış eyer şeklinde malzemeler olup, kulelere gelişigüzel doldurulurlar. Bunların diğerlerinden üstün tarafı, gaz akımına karşı oldukça düşük sürtünme direnci vermeleri ve yeterli gaz-sıvı temas yüzeyine sahip olmalarıdır.

Spiral halkalar; içlerinde spiral bir bölme bulunan bu halkalar tamamen Raschig halkalarına benzerler, spiral bölme halka kesitini tamamen veya kısmen örter. Bu halkalar daima muntazam sıralar halinde dizilirler ve hiçbir zaman gelişigüzel kule içerisine doldurulmaz. Spiral bölme gaz-sıvı temasını önemli ölçüde artırır, fakat serbest kesit alanını ve serbest hacmi pek fazla azaltmaz. Buna rağmen hem kendi fiyatları hem de yerleştirme ücretleri oldukça yüksektir.

Bahsi geçen kolon dolgu maddelerine örnekler aşağıda görülmektedir.



Dolgulu kolon



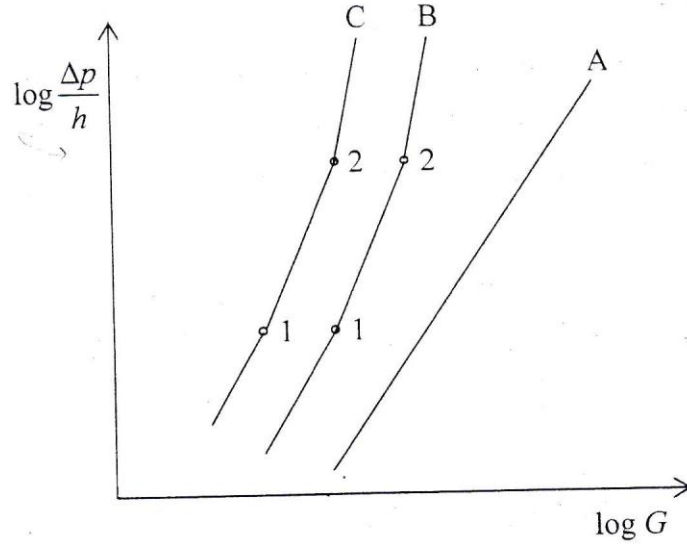
Şekil 1. Tipik kule dolgu maddeleri, (a) ve (b) sele veya eyer, (c) ve (d) raşing halkası, (e) çapraz ayırmalı halka, (f) yel-spiral halka, (g)çift-spiral halka, (h)üçlü spiral halka

Dolgulu kolonlarda işletme giderlerinin en önemlisi gazı dolgulu kolon boyunca pompalama maliyetidir. Pompalama maliyeti gaz akış hızı ve basınç düşüşü ile doğru orantılıdır. Bu nedenle değişik gaz akış hızlarındaki basınç düşüşlerinin bilinmesi gerekir.

Şekil 1’de dolgulu kolonda akan gazdaki basınç düşüşünün, gaz ve sıvı akış hızlarına nasıl bağlı olduğu gösterilmiştir.

$\Delta P/h$ = birim kolon yüksekliği başına basınç düşüşü,

G = gazın kütleli akış hızıdır (mass velocity, mass flux)



Şekil 2. Dolgulu kolonda gaz akış hızı, sıvı akış hızı ve basınç düşüşü arasındaki ilişki

A ile gösterilen doğru, kuru dolgu maddeleri içeren kolonda yapılan ölçümleri temsil eder. Bu doğrunun eğimi yaklaşık 2'dir. B ile gösterilen eğri sıvının sabit bir L_B akış hızında gönderilmesi sırasında ölçülen basınç düşüşlerini gösterir. Görüldüğü gibi bu eğri 1 noktasına kadar A doğrusuna paraleldir. Yalnız bu halde aynı basınç düşüşü çok daha düşük gaz hızlarında ölçülmüştür. Bu beklenen bir sonuçtur, çünkü bu halde, sıvı akımı var olduğundan dolgulu yatağın boş kısımları kısmen sıvı tarafından doldurulur ve gazın geçiş yolu engellenmiş olur. Şekilden görüldüğü üzere, eğrinin 1 noktasından sonra eğimi artmaktadır, yani bu noktadan sonra gaz hızı ile basınç düşüşünün artması çok daha fazla olmaktadır. Gaz hızı daha da artırılırsa eğrinin 2 noktasında tekrar eğim değiştiği gözlenir. Eğer deney şeffaf bir kolonda (cam kolon gibi) yapılırsa, 1 noktasını geçince sıvının dolgulu yatağın önemli bir kısmını doldurduğu ve gazın sıvı içinden kabarcıklar halinde geçtiği görülür, 2 noktasına ulaşıldığında sıvı akımının gaz akımı tarafından engellendiği ve hatta sıvının geriye taşındığı gözlenir. Bu bakımdan 1 noktasına yükleme (loading) noktası, 2 noktasına ise taşma (flooding) noktası denir. Taşma noktasına karşılık gelen hızı taşma hızı denir. Uygulamada yükleme noktası ile taşma noktası arasında bir hızla çalışılır ve hiçbir zaman taşma hızına çıkılmaz. Genellikle kullanılan hız taşma hızının yarısıdır. Her sıvı akış hızının kendine özgü yükleme ve taşma noktaları vardır. C eğrisi daha büyük sıvı akış hızındaki durumu göstermektedir ($L_C > L_B$). Bu halde de yükleme ve taşma noktalarında yaklaşık aynı basınç düşüşleri gözlenirse de, bunlar daha düşük gaz hızlarında gerçekleşir.

Kolonda Kütle Denkliği

Gaz absorpsiyonu inert bir bileşen ile gaz karışımı halinde bulunan çözünen bir maddenin, inert bir sıvı ile absorbe edildiği bir işlemdir. Yatışkın durumda, gaz fazdan absorplanan gazın transferi, sıvı faza transfer olana eşittir.

L_i ve L_o : Kolana giren ve çıkan sıvı fazın hacimsel akış hızları,

G_i ve G_o : kolana giren ve çıkan toplam gazın molar akış hızları,

y_i ve y_o : kolana giren ve çıkan gaz karışımı içindeki karbondioksit mol kesri

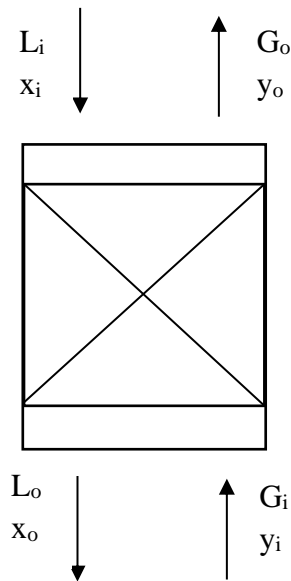
Havanın çözeltide çözünmediği (inert bileşen) durum için, gaz fazından uzaklaşan karbondioksit miktarı;

$$G_i - G_o \text{ (g.mol/s)}$$

Sıvı faza absorbe edilen karbondioksit ise;

$$L_o \cdot C_{No} - L_i \cdot C_{Ni} \text{ (g.mol/s)}$$

olarak yazılır.



Şekil 3. Absorpsiyon kolonuna giren çıkan akımlar

Hava-karbondioksit-kostik çözültisi sisteminde sıvı akış hızı kolon boyunca değişmemekle birlikte ($L_o = L_i$), gaz akış hızı, karbondioksit uzaklaşması ve kolon boyunca basınç düşmesinden dolayı değişmektedir ($G_o = G_i$). Gaz fazı akış hızındaki değişikliğin belirlenmesinde madde denkleğinden elde edilen aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$G_o (1 - y_o) = G_i (1 - y_i)$$

Gaz fazı toplam kütle transfer katsayısının (K_{OG}) belirlenmesi için, dolgu adsorpsiyon kolonları için verilen eşitlikten yararlanılabilir.

Seyreltik gaz karışımı için eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$H = \frac{d[G_y]}{K_{OG} \cdot a \cdot A \cdot (y^* - y)}$$

$$K_{OG} = \frac{G d_y}{H a A (y^* - y)}$$

y^* ve y : kolonun herhangi bir noktasında sıvı ile dengede olan gazın mol kesri ve yığın fazın mol kesri,

A : kolonun kesit alanı,

H : dolgu maddesinin yüksekliğı,

a : dolgu maddesinin birim hacimdeki yüzey alanıdır.

Eşitliğin sağ tarafındaki teriminin integralini almak zor olduğundan, K_{OG} daha basit fakat daha az hassasiyet ile aşağıdaki eşitlikten belirlenebilir;

$$N = K_{OG} \cdot a \cdot A \cdot H \frac{(P_i - P_o)}{\ln \ln \left(\frac{P_i}{P_o} \right)}$$

Burada; N : absorpsiyon hızı (g.mol/s)'dir.

Bu eşitlik düzenlenirse;

$$K_{OG} = \frac{N \cdot \ln \ln \left(\frac{P_i}{P_o} \right)}{a \cdot A \cdot H \cdot (P_i - P_o)}$$

elde edilir.

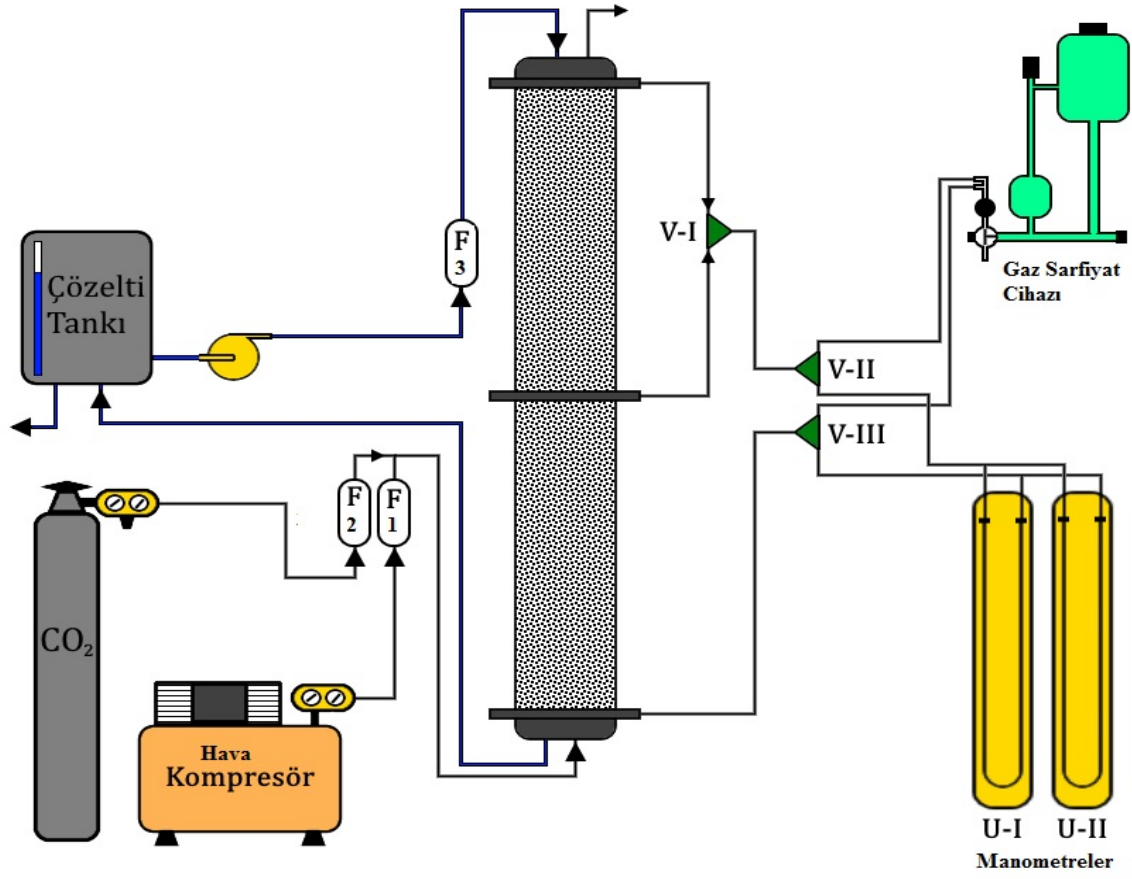
3. DENEY DÜZENEGİ VE YÖNTEM

3.1 Deney Düzenegi

Bu deneyde kullanılan düzenek Resim 1 ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Soğurma kolonu 7,5 cm çapında ve içinde Raşing halkaları bulunan 150 cm dolgu yüksekliğine sahip silindirik bir borudur. Dolgunun üstünden (S_1), ve altından (S_3) yapılan manometre bağlantıları basınç düşüşünü ölçmeyi sağlar. Su alttaki depodan alınarak kolonun üstüne pompalanır. Su akış hızı F_3 akış metresinden okunur. Hava kompresörle kolonun altına gönderilir ve havanın akış hızı F_1 akış mertebesi ile ölçülür. Deney B için gerekli olan CO_2 ve hava karışımı ise F_2 akış metresinin kullanılmasıyla ayarlanır.



Resim 1. Deney Düzenegi



Şekil 4. Deney Düzenegi Blok Diyagramı

3.2. Deneyin Yapılışı

3.2.1 Deney A: Dolgulu Kolonda Basınç Düşüşlerinin Belirlenmesi

1. Kompresör çalıştırılır. F₁ akış metresi üzerinde 1 m³/saat'lik hava akış hızı ayarlanır ve manometreden basınç düşüşü değeri okunur. Hava akış hızındaki 1 m³/saat 'lik artışlar için ölçümler tekrarlanır. Sıvı pompası kapalı tutularak kuru dolgu için elde edilen bu veriler Çizelge 1'e kaydedilir.
2. Hava kompresörü kapatılır. Sıvı pompası çalıştırılır ve F₃ akış metresi üzerinde 1 L/dk'lık sıvı akış hızı ayarlanır. Sistemin bir müddet dengeye gelmesi için beklenilir. Denge sağlandıktan sonra farklı hava akış hızlarında basınç düşüşleri ölçülür. Basınç düşüşü ölçümleri Çizelge 2'deki sıvı akış hızları için tekrarlanır ve Çizelge 2'ye kaydedilir,

Çizelge 1. Kuru dolgu maddesi için çeşitli hava akış hızlarında ölçülen basınç düşüşü değerleri

Hava Akış Hızı (m ³ /saat)	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
Basınç düşüşü (mbar)								

Çizelge 2. Sıvı akımı varlığında çeşitli hava akış hızlarında ölçülen basınç düşüşü değerleri

	Su akış hızı (L/dk)					
	1	2	3	4	5	6
Hava Akış Hızı (m ³ /saat)	ΔP_{TT}	ΔP_{TT}	ΔP_{TT}	ΔP_{TT}	ΔP_{TT}	ΔP_{TT}
1						
1,5						
2						
2,5						
3						
3,5						
4						
4,5						

TT: Kolon tabanı ile kolon tepesi bölgesi

3.2.1.1 Deney A: Dolgulu Kolonda Basınç Düşüşlerinin Belirlenmesi

1. Eşitlik 1 kullanılarak kütleli hava akış hızları hesaplanır ve bu değerlerin logaritması alınır. (Log G)

$$G = (\alpha \cdot \rho / S) \text{ kg/m}^2 \cdot \text{sa} \quad (1)$$

$$G = \text{Kütleli hava akış hızı, kg/m}^2 \cdot \text{sa}$$

$$\alpha = \text{Hacimsel hava akış hızı, m}^3/\text{sa}$$

$$\rho = 20 \text{ C}' \text{ de havanın yoğunluğu} = 1,21 \text{ kg/m}^3$$

$$S = \text{Kolon kesit alanı} = \pi D^2/4$$

2. Aşağıdaki veriler kullanılarak “mbar” olarak ölçülen basınç düşüşü değerlerinden birim kolon başına basınç düşüşü ($\Delta P/h$, Pa/m) değerleri hesaplanır ve logaritması alınır. (Log($\Delta P/h$))

$$1 \text{ atm} = 1,01 \text{ bar}$$

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

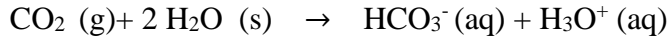
$$h = \text{dolgu yüksekliği} = 1,5 \text{ m}$$

Log G değerlerine karşı log($\Delta P/h$) değerleri Şekil 2’deki gibi grafiğe yerleştirilir.

3.2.2 Deney B: Dolgulu kolonda CO₂’in saf sudaki absorpsiyonunun incelenmesi

1. Kompresör çalıştırılır. Sıvı pompası açılmadan, F₁ akış metresi üzerinde 1 m³/sa ‘lik hava akış hızı ayarlanır ve CO₂ tüpünün vanası açılarak F₂ akış metresi üzerinde 5 L/dk’lık CO₂ akış hızı ayarlanır. Manometreden basınç düşüşü değeri okunarak kaydedilir. Kompresör kapatılır. (Bu aşama sistem kontrolü içindir.)
2. F₁ ve F₂ vanaları kapalıyken sıvı pompası çalıştırılır ve F₃ akış metresi üzerinde 1 L/dk’lık akış hızı ayarlanır.
3. Kompresör çalıştırılır ve F₁ akış metresi üzerinde 1 m³/saat’lik hava akış hızı ayarlanır.
4. CO₂ tüpünün vanası açılarak F₂ akış metresi üzerinde 5 L/dk’lık CO₂ akış hızı ayarlanır.
5. Sisteme CO₂ verildikten 10 dk sonra ya da kolon tepe ve alt arasındaki basınç değişimi sabitlenince analiz için ilk örnek alınır.

6. Örnek, kolon sıvı çıkışından (S4) 50 mL alınarak, karışımdaki CO₂ miktarını belirlemek için titrasyon işlemine tabii tutulur. CO₂'in sudaki absorpsiyonunda;



tepkimesi oluşur ve çözelti H₃O⁺ arttığı için asidiktir.

7. Bu titrasyon için S₄'ten alınan örneklerden 50 mL bir erlene konulur. Her bir erlen için yapılan işlemler aynıdır. Erlene iki-üç damla fenolftalein indikatörü damlatılıp 0,03 M NaOH çözeltisi ile dönüm noktasına (pembe renk oluşana kadar) kadar titre edilir. Kullanılan bazın hacmi Çizelge 3 'e kaydedilir (V_B).

Çizelge 3. Harcanan NaOH sarfiyatları

Süre (dk)	Kule çıkışından alınan, S ₄
	V _B (mL)
0	
15	
30	
45	
60	
75	

3.2.2.1 Deney B: Dolgulu kolonda CO₂'in saf sudaki absorpsiyonunun incelenmesi

Aşağıdaki Çizelge 4'ü doldurup gösterilen hesaplamaları yapınız.

Sudaki CO₂ derişimi;

$$C_d (\text{g mol/L}) = \frac{V_B \cdot 0,03}{V_A}$$

V_A: alınan örnek hacmi (mL)

V_B: harcanan NaOH hacmi (mL)

F₁: Akış debisi (m³/saat)

V_T: Sistemdeki su miktarı (L)

ΔP: Dolgulu kolondaki basınç düşüşü (mbar)

Birim çevirmelerine dikkat ediniz!!!!!!

Çizelge 4. Süreye göre hacim ve derişim verileri

Süre (dk)	Kule çıkışından alınan S ₄		Absorplama Hızı
	V _B (mL)	C _d (gmol/L)	
0			-
15			
30			
45			
60			
75			

Ortalama CO₂ absorplama hızı;

$$\text{Ortalama absorplama hızı} = \frac{[C_d(t = 45) - C_d(t = 15)]}{30 \cdot 60} \cdot V_T$$

(Burada 45 ve 15 dk arasındaki ortalama hız örneği verilmiştir.)

Her bir andaki CO₂ absorpsiyonu;

Giriş akımdaki CO₂ miktarı=F₁ . C_{di}

Çıkış akımdaki CO₂ miktarı=F₁ . C_{do}

Absorpsiyon hızı= F₁ . [C_{di} - C_{do}]

Her bir andaki adsorplama hızı 15. dk'dan başlayarak hesaplanır ve tabloya eklenir.

Adsorplama hızının zamanla değişim grafiği çizilerek yorum yapılır.

4. SORULAR

1. Absorpsiyon nedir? Diğer ayırma prosesleri ile arasındaki temel farklılıklar nelerdir?
2. Kimyasal işlem süreçlerinden, absorpsiyon işleminin uygulandığı üç temel süreç araştırmız.
3. Taşma noktası nedir? Absorpsiyon işlem süreçlerinde bilinmesi neden önem taşır?
4. Yatışkın sistem nedir? Bu sistem yatışkın olarak yorumlanabilir mi?
5. CO₂'in zamanla soğurulma hızındaki değişmeyi nasıl yorumlarsınız.
6. Soğurma hızı hangi faktörlere bağlı olarak değişir?
7. Soğurma işlemi bir tepsili kolon kullanılarak gerçekleştirilebilir mi? Dolgulu kolonun tepsili kolona göre avantajları nelerdir?
8. Bir dolgulu kolon tasarlanırken hangi faktörler göz önünde tutulmalıdır?

5. KAYNAKLAR

- [1] T.C. Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I-II-III, Temmuz 2009, Eskişehir.
- [2] Yılmaz, N., Şahbaz, A.,D., Kimya Mühendisliği Laboratuvarı I Deney Föyü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 2019, Afyonkarahisar.
- [3] Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kimya Mühendisliği Laboratuvarı III Föyü, Ankara.