



## ÜNİTE II

# KİMYASAL REAKSİYONLARDA DENGE

2. 1. FİZİKSEL DENGE

2. 2. KİMYASAL DENGE

a) Homojen Denge

b) Heterojen Denge

2. 3. DENGE BAĞINTISI VE DENGE SABİTİ

2. 4. DENGİNİN NİCEL GÖRÜNÜMÜ

2. 5. DENGİNİN NİTEL GÖRÜNÜMÜ

2.6. DENGEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER (LE CHATELIER PRENSİBİ)

a) Konsantrasyonun Etkisi

b) Basınç veya Hacim İlişkisi

c) Sıcaklığın Etkisi

d) Katalizörün etkisi

2. 7. DENGE SABİTİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

a) Sıcaklık

b) Kat sayıların Değişimi

**BU ÜNİTENİN AMAÇLARI**

Bu üniteyi çalıştığımızda;

- Denge durumunu tanımayı öğrenecek,
- Fiziksel ve kimyasal dengenin nasıl kurulduğunu kavrayacak,
- Homojen denge ile heterojen dengenin ne olduğunu öğrenecek,
- Denge bağıntısını çıkartacak,
- Denge ile ilgili problemleri çözecek,
- Denge durumunu etki eden faktörleri öğrenecek,
- Denge sabitini hesaplayacak,
- Denge sabitini değiştiren etkenleri öğrenebileceksiniz.

**BU ÜNİTEYİ NASIL ÇALIŞMALIYIZ ?**

Bu bölümü kavrayabilmek için;

- TV programını izlemeden önce konuyu gözden geçiriniz.
- Günlük yaşamdaki denge durumlarını tanımaya çalışınız.
- Çözümlü örnekleri dikkatle inceleyiniz.
- Değerlendirme sorularını mutlaka çözünüz. Çözemediğiniz sorular için konuyu tekrar gözden geçiriniz.
- Bu bölümü iyice öğrenmeden diğer bölümlere geçmeyiniz.

## ÜNİTE II

### DENGE

Yapılan deneyler kimyasal tepkimelerin her zaman tam verimle gerçekleşmediğini göstermiştir.

Evrende özelliklerini incelemek istediğimiz bölgeye sistem denir. Sistemin dışında kalan ortama da çevre denir.

Çevre ile sistem arasında enerji ve madde alış verişi olursa söz konusu sistem açık sistemdir. Kapalı sistemlerde ise çevre ile sistem arasında madde alış verişi yoktur. Sadece enerji alış verişi vardır.



**Denge; kapalı bir sistemde ve sabit sıcaklıkta gözlenebilir özelliklerin sabit kaldığı, gözlenemeyen olayların devam ettiği dinamik bir olaydır.**

Dengeyi belirten faktörlerden birisi de enerjidir. Denge en az enerjili hâle doğru eğilim gösterir.

Dengeyi belirten başka bir faktörde sıcaklığın sebep olduğu düzensizliktir. Denge en büyük düzensizliğe doğru eğilim gösterir.

Çok düşük sıcaklıklarda enerji daha önemli bir faktördür. Bu durumda denge en düşük enerjili maddelerden yanadır. Çok yüksek sıcaklıklarda düzensizlik artmaya başlar.

#### 2.1. FİZİKSEL DENGE

Bir cam kabın içine 20°C'ta su koyar ve ağzını kapatırsak bir kısım su molekülleri sıvı fazdan gaz fazına geçerler. Su molekülleri gaz fazına geçtikçe suyun kısmî basıncı yükselir. Öte yandan bazı su buharı molekülleri enerji kaybederek sıvı faza geçer. Sonunda basınç yükselmesi durur ve suyun buhar basıncı sabit olur. Bu durumda sistem dengeye erişmiş olur.

Dengede bile olsa sıvıdan su molekülleri buharlaşabilir. Gaz fazında rastgele hareket eden moleküller devamlı olarak, sıvı yüzeyine çarpar ve yoğunlaşırlar. Ancak su seviyesi ve buhar basıncı değişmez.

Sıvı-buhar dengesi kurulduğunda gözle görülmeyen olayların (buharlaşma-yoğunlaşma) devam ettiği gözle görülebilen olayların (su seviyesindeki değişiminin) devam etmediği görülür. Bu nedenle denge dinamiktir denir.

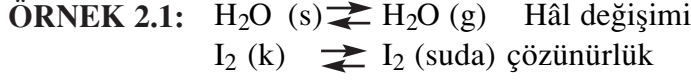


**Maddelerin yapısını değiştirmeden fiziksel hâllerinde değişikliklerle kurulan dengeye fiziksel denge denir.**

Suyun buharlaşması ve yoğunlaşması her iki yönde de gerçekleşebilen tersinir bir olaydır. Çift yönlü okla  $\rightleftharpoons$  gösterilir.



*Kapalı sistemlerdeki hâl değişimleri ve çözünürlük olayları fiziksel dengeye örnektir.*



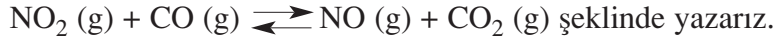
## 2. 2. KİMYASAL DENGE



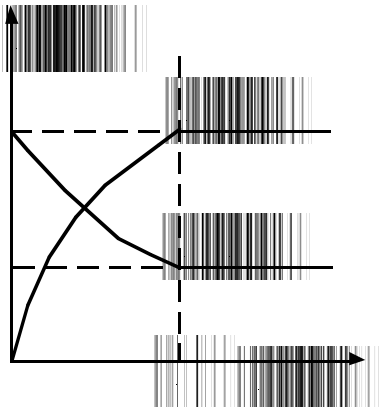
Kapalı bir kaptaki kırmızımsı- kahverengi  $\text{NO}_2$  gazı ve renksiz  $\text{CO}$  gazı tepkimeye girence tepkime olurken renk gittikçe açılır. En sonunda öyle bir an gelir ki renk değişimi artık durur. Bu, sistemin dengeye erişmesi demektir.

Sistem dengeye ulaşırken, önce çok miktarda olan  $\text{NO}_2$  ve  $\text{CO}$ 'ten belirli bir hızla  $\text{NO}$  ve  $\text{CO}_2$  oluşur. Fakat sistemdeki  $\text{NO}$  ve  $\text{CO}_2$  derişiminin gittikçe artışı, ters yöndeki tepkimeyi gittikçe hızlanmasına neden olur. Bir süre sonra iki yöndeki tepkime hızları eşitlenip kimyasal dengeye varılır.

Dengedeki bu tepkimeyi



*Madde derişimlerinin sabit olması, tersinir tepkimelerde ileri tepkime hızının, geri tepkime hızına eşit olduğunu ve kimyasal dengeye ulaşıldığını gösterir. Grafik 2.1'de gösterildiği gibi dengeye ulaşan bir sistemde madde derişimleri sabittir. Madde derişimlerinin sabit olması, tersinir tepkimelerde ileri tepkime hızının geri tepkime hızına eşit olduğunu ve kimyasal dengeye ulaşıldığını gösterir. (Grafik 2.2)*



Grafik 2.1: Kimyasal tepkimelerde derişim zaman grafiği



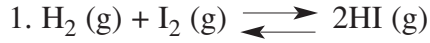
Grafik 2.2: Hız-Zaman grafiği

Kimyasal denge homojen ve heterojen olmak üzere ikiye ayrılır.

### a. Homojen Denge

Tepkimede yer alan maddelerin hepsi aynı fazda iseler bu tür tepkimelerin dengesine homojen denge denir.

#### ÖRNEK 2.2:

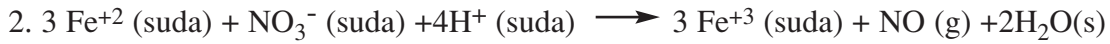


Yukarıdaki tepkimelerde; girenlerin ve ürünlerin hepsi ya gaz ya da sulu çözeltide iyonlar hâlinde olduğu için bu tepkimeler homojendir.

### b. Heterojen denge

Bir kimyasal tepkimede tepkimeye giren ve çıkan maddeler farklı fazda ise kurulan dengeye heterojen denge denir.

#### ÖRNEK 2.3:



verilen örneklerde girenler ve ürünler farklı fazda oldukları için kurulan iki denge de heterojendir.

## 2. 3. DENGE BAĞINTISI VE DENGE SABİTİ

Tepkimeye giren ve ürünlerin gaz olduğu bir kimyasal tepkime düşünelim.

Tepkimemiz,



Başlangıçta tepkime kabında sadece A ve B gazları bulunsun. A ve B molekülleri çarpışarak C ve D moleküllerini oluştururlar.



$$\text{Hız}_1 = k_1 [\text{A}]^a [\text{B}]^b$$

$$\text{Hız}_2 = k_2 [\text{C}]^c [\text{D}]^d \text{ şeklinde yazılır.}$$

Denge konumunda ileri ve geri tepkime hızları eşit olacağından,

$$Hız_1 = Hız_2$$

$$k_1 [A]^a [B]^b = k_2 [C]^c [D]^d \text{ eşitliği yazılır.}$$

Burada  $k_1$ ,  $k_2$  iki ayrı tepkimeye ait hız sabitidir. Belli sıcaklıkta  $k_1$  ve  $k_2$  sabit olduğuna göre  $k_1/k_2$  oranı da sabit bir sayıdır. Bu sabit sayı  $K$  ile gösterilirse

$$\frac{k_1}{k_2} = K \text{ den bağıntı}$$

$$K_d = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

**▶▶** Yukarıda görüldüğü gibi denge bağıntısında ürünlerin derişimlerinin çarpımı, girenlerin derişimlerinin çarpımına bölünür. Tepkimedeki maddelerin stokiyometrik kat sayıları, denge bağıntısında derişimlere üs olarak yazılır.

**▶▶** Hız denkleminde olduğu gibi, denge bağıntısında da saf katılar ve sıvılar yer almaz. Mekanizmalı tepkimelerde denge bağıntısı toplam tepkimeye göre yazılır.

$K_d$  derişimler türünden denge sabiti olup, sayısal değeri sadece sıcaklıkla değişir.

Gazlar arasında yürüyen tepkimelerde, gazların derişimleri yerine kısmî basınçları alınarak denge bağıntısı yazılabilir. kısmî basınçlar cinsinden denge sabiti  $K_p$  ile gösterilir.

$$K_p = \frac{P_C^c P_D^d}{P_A^a P_B^b} \text{ bu bağıntıya kısmî basınçlar türünden denge bağıntısı denir.}$$

**▶▶** kısmî basınçlar türünden denge sabiti  $K_p$  ile derişime bağlı denge sabiti  $K_d$  arasında

$$K_p = K_d (RT)^{\Delta n} \text{ şeklinde bir eşitlik vardır.}$$

$$\Delta n = (\text{ürünlerin mol sayıları toplamı}) - (\text{girenlerin mol sayıları toplamı})$$

$$n_{\text{ü}} - n_{\text{g}}$$

T = sıcaklık (kelvin)

R = Genel gaz sabiti

**ÖRNEK 2.4:**

$N_2(g) + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3(g)$  için  $K_p$  ile  $K_d$  ilişkisini yazalım.

$$\Delta n = 2 - (1+3) = -2$$

$$K_p = K_d (RT)^{-2}$$

**ÖRNEK 2.5:**

$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$   $K_p$  ile  $K_d$  ilişkisini yazalım.

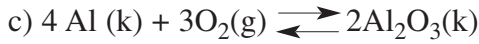
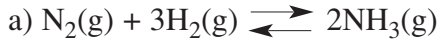
$$\Delta n = 2 - (1+1) = 0$$

$$K_p = K_d (RT)^0 \Rightarrow K_p = K_d$$



*Gaz hâlinde girenlerin ve ürünlerin mol sayıları eşit ( $\Delta n = 0$ ), olduğundan  $K_p = K_d$  olur.*

**ÖRNEK 2.6:** Aşağıdaki tepkimelerin derişimler türünden denge bağıntılarını yazınız.



**ÇÖZÜM:** Katılar ve sıvılar denge bağıntısında yer almaz.

$$a) K_d = \frac{[NH_3]^2}{[N_2][H_2]^3}$$

$$b) K_d = \frac{[Zn^{+2}]}{[Cu^{+2}]}$$

$$c) K_d = \frac{1}{[O_2]^3}$$

**ÖRNEK 2.7:**  $X(g) + Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$  tepkimesine göre  $127^\circ C$ 'ta 1L'lik kap içinde 0,8 mol X, 0,8 mol Y ve 0,64 mol Z ile dengededir. Bu sistemin derişim ve basınç türünden denge sabitleri ne olur?

**ÇÖZÜM:**  $X(g) + Y(g) \rightleftharpoons 2Z(g)$   $V = 1 L$   $n = M$ 'dir.

$$0,8 \text{ mol/L} \quad 0,8 \text{ mol/L} \quad 0,64 \text{ mol/L}$$

$$t = 127^\circ C$$

$$T = 127 + 273 = 400 \text{ }^\circ K$$

$$K_d = \frac{[Z]^2}{[X][Y]} \Rightarrow K_d = \frac{[0,64]^2}{[0,8][0,8]} \Rightarrow K_d = 0,64$$

$$K_p = K_d (RT)^{\Delta n} \text{ ise } \Delta n = n_{\text{ü}} - n_{\text{g}} \quad \Delta n = 2 - 2 = 0$$

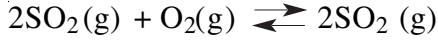
$$\Delta n = 0 \text{ ise } K_p = K_d \text{ 'dir.}$$

$$K_p = 0,64$$

## 2.4. DENGENİN NİCEL GÖRÜNÜMÜ

Denge sabitinin belli bir birimi yoktur, dengedeki maddelerin kat sayılarına göre, değişik birimler olabilir.

$K_d$ 'nin farklı birimlerde olabileceği aşağıdaki örneklerde gösterilmiştir.



$$K_d = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]} \Rightarrow K_d = \frac{(\text{mol/L})^2}{(\text{mol/L})^2 \times \text{mol/L}} \Rightarrow K_d = \text{L/mol}$$



$$K_d = \frac{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}{[\text{PCl}_5]} = \frac{\text{mol/L} \times \text{mol/L}}{\text{mol/L}} = \text{mol/L}$$

**ÖRNEK 2.8:**  $\text{X}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Y}(\text{g})$  tepkimesine göre 1 L kaba konulan 1 mol X gazının %50 si ayrıştığında sistem sabit sıcaklıkta dengeye ulaşıyor. Aynı sıcaklıkta tepkimenin denge sabiti nedir?

**ÇÖZÜM:** 1 mol gazın %50'si ayrışacağından

$$1 \times \frac{50}{100} = 0,5 \text{ mol ayrışıyor.}$$



Başlangıç 1 mol 0

Değişim -0,5 mol 1 mol

Denge 0,5 mol 1 mol

$V = 1 \text{ L}$  olduğundan, derişim yerine mol sayısını alabiliriz.

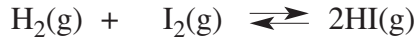
$$K_d = \frac{[Y]^2}{[X]} \Rightarrow K_d = \frac{[1]^2}{0,5} = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ bulunur.}$$



**ÖRNEK 2.9:**  $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$  tepkimesinin belli sıcaklıktaki denge sabiti 16'dır. 1 L kapta 0,4 mol  $H_2$  ve 0,4 mol  $I_2$  ile başlayan tepkime dengeye ulaştığında her maddenin derişimi ne olur?

**ÇÖZÜM:**

Başlangıçtaki  $H_2(g)$  ve  $I_2(g)$ 'un mol sayıları 0,2,  $HI(g)$ 'ün mol sayısı ise sıfırdır. Denkleşmiş denklemin kat sayılarından 1 mol  $H_2$ 'nin, 1 mol  $I_2$  ile birleşip, 2 mol  $HI$  oluşturduğunu görüyoruz. Eğer dengeye ulaşmak için  $X$  mol  $H_2$ ,  $X$  mol  $I_2$  ile birleşirse,  $2X$  mol  $HI$  oluşur. Bu bilgileri denklemi de içeren bir tablo hâlinde gösterebiliriz.



Başlangıç 0,4 mol      0,4 mol      0

Değişim     $-X$  mol     $-X$  mol     $+ 2X$  mol

Denge     $(0,4-X)$  mol     $(0,4-X)$  mol     $2X$  mol

$$K_d = \frac{[HI]^2}{[H_2][I_2]} \Rightarrow 16 = \frac{(2X)^2}{(0,4-X)(0,4-X)} \Rightarrow \sqrt{16} = \sqrt{\frac{(2X)^2}{(0,4-X)^2}}$$

$$4 = \frac{2X}{0,4-X} \Rightarrow 1,6 - 4X = 2X$$

$$1,6 = 6X$$

$$X = 0,26 \text{ mol/L}$$

$$[I_2] = 0,4 - X$$

$$[H_2] = 0,4 - X$$

$$[I_2] = [H_2] = 0,4 - 0,26$$

$$[I_2] = [H_2] = 0,14 \text{ mol/L}$$

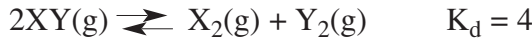
$$[HI] = 2X \Rightarrow [HI] = 2 \times 0,26$$

$$[HI] = 0,52 \text{ mol/L}$$

?

$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$  tepkimesine 1 L kapta 0,8 mol  $A$  ve 0,9 mol  $B$  ile başlanmış sabit sıcaklıkta dengeye ulaşıldığında dengede  $C$ 'nin mol sayısı 0,3 mol olarak bulunmuştur. Tepkimenin bu sıcaklıktaki denge sabiti  $K_d$ 'nin sayısal değeri nedir?

**ÖRNEK 2.10:** 1 litrelik bir kaba bir miktar  $XY$  konuyor.



tepkimesi dengeye ulaştığında kapta 0,2 mol  $Y_2$  bulunduğuna göre başlangıçta kaba konan  $XY$  kaç moldür?

**ÇÖZÜM:**  $V = 1$  L olduğundan  $n = M$ 'dir.

	$2XY(g) \rightleftharpoons X_2(g) + Y_2(g)$		$X_2$ ve $Y_2$ nin denklemdaki mol kat sayıları eşit olduğundan $X_2$ ve $Y_2$ nin dengedeki mol sayıları eşittir.
Başlangıç	$X$ mol      0      0		
Değişim	$-2 \times 0,2$ mol $+0,2$ mol $+0,2$ mol		
Denge	$(X-0,4)$ mol    0,2 mol      0,2 mol		

$$K_d = \frac{[X_2][Y_2]}{[XY]^2} \Rightarrow \sqrt{4} = \sqrt{\frac{(0,2)(0,2)}{(X - 0,4)^2}}$$

$$2 = \frac{0,2}{X - 0,4} \Rightarrow 2X - 0,8 = 0,2$$

$$2X = 1$$

$$X = 0,5 \text{ mol}$$

Kapalı bir kapta gerçekleşen tepkimenin dengede olup olmadığını veya hangi yönde ilerlediğini denge kesri ile açıklayabiliriz.

$a(A(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g))$  genel tepkimesinde kat sayılar üs alınarak ürünlerin molar derişimlerinin, girenlerin molar derişimlerine oranına denge kesri Q denir.

$$Q = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \quad \text{Eğer } Q = K_d \text{ ise sistem dengededir.}$$

Denge kesri Q, denge sabitinden ( $K_d$ ) farklı ise sistem denge durumuna gelmemiştir.

$Q > K_d$  ya da  $Q < K_d$  olabilir. Bu durumda tepkimenin hangi yönde ilerlediğini anlayabiliriz.

\*  $Q > K_d$  ise; ürünlerin derişimleri daha fazladır.

$Q = K_d$  olana kadar tepkime girenlerin derişimini artıracak yönde daha hızlı ilerlemelidir.

\*  $Q < K_d$  ise; girenlerin derişimleri daha fazladır.

$Q = K_d$  olana kadar tepkime ürünlerin derişimini artıracak yönde daha hızlı ilerlemelidir.



tepkimesi için belli sıcaklıkta denge sabiti  $K = 16$ 'dır.

Bu sıcaklıkta 1 litrelik kapta 0,04 mol A, 0,1 mol B, 0,2 mol C ve 0,6 mol D bulunduğuna göre tepkime dengede midir?

**ÇÖZÜM:** Denge kesrini buluruz.  $V = 1 \text{ L}$  olduğundan  $n = M$ 'dir.

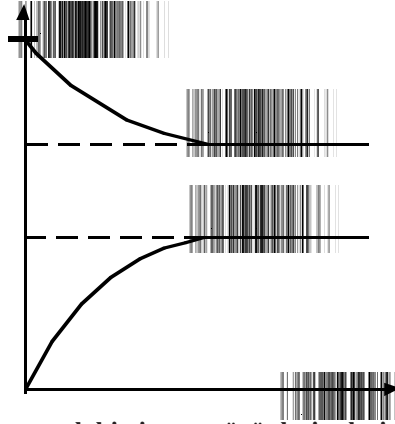
$$Q = \frac{[C]^2 [D]}{[A][B]} \Rightarrow \frac{(0,2)^2 \times (0,6)}{(0,04) \times (0,1)}$$

$$\Rightarrow \frac{0,04 \times 0,6}{0,04 \times 0,1} = 6$$

$Q < K_d$  olduğundan sistem dengede değildir. Sistemin dengeye ulaşması için tepkimenin ürünler lehine daha hızlı ilerlemesi gerekir.

## 2. 5. DENGENİN NİTEL GÖRÜNÜMÜ

$A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g) + D(g)$  kapalı bir sistemde gerçekleştirilen yukarıdaki genel tepkimede başlangıçta A ve B'lerin derişimi büyüktür. A ve B gazları çarpışarak C ve D oluştururken C ve D gazları da çarpışarak A ve B gazlarına dönüşür. Zamanla girenler azalırken ürünler artar. Başlangıçta girenlerin derişimleri büyük olduğundan ileri tepkimenin hızı da büyüktür. Tepkime gerçekleştikçe ileri tepkimenin hızı azalır ve geri tepkimenin hızı artar. İleri ve geri yöndeki tepkime hızları eşitlendiğinde denge kurulmuş olur.



Grafik 2.3: Denge karışımındaki giren ve ürünlerin derişimlerinin zamanla değişimi

## 2. 6. DENGEEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER (Le Chatelier Prensibi)

Denge hâlinde bulunan bir tepkimenin ileri ve geri yöndeki hızlarının eşitliği bir dış etki ile bozulursa yeni bir denge kuruluncaya kadar, dengenin bozuluş biçimine bağlı olarak ileri ya da geri yöndeki tepkime daha hızlı olarak yürür.



**Le Chatelier (Lö Şatölye) Prensibi: Dengedeki bir sisteme dışarıdan bir etki yapıldığında, sistem bu etkiyi azaltacak yönde davranış gösterir.**

### a. Konsantrasyonun etkisi

Denge hâlinde tepkimede yer alan maddelerin derişimleri sabittir. Dışardan madde ekleyerek ya da dengedeki maddelerden birini sistemden uzaklaştırarak maddelerin derişimleri değiştirilirse, sistem bu etkiyi azaltacak yönde davranış gösterir.

Örneğin,  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$  tepkimesinde, sistem belirli sıcaklıkta dengede iken bir miktar  $N_2$  veya  $H_2$  ilâve edilirse denge bozulur. Sistem bu etkileri azaltacak yönde davranış gösterir. Tepkime ürünler yönüne daha hızlı ilerler.

Eğer  $NH_3$  derişimi artırılırsa, sistem bu kez  $NH_3$ 'ın derişimini azaltmak için girenler yönünde daha hızlı ilerler.

**b. Basınç ve hacim etkisi**

Daha önceki konularda gazların basıncının hacim ile ters orantılı olarak değiştiğini öğrenmişsiniz.

Denge hâlindeki bir sistemde kabın hacmi azaltılırsa kaptaki toplam basınç artar ve denge bozulur. Artan basıncı azaltmak için, tepkime gazların mol sayısının az olduğu yöne doğru daha hızlı ilerler.

**Örneğin**  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$  denge tepkimesinde kabın hacmi yarıya indirilirse gazların basıncının iki katına çıkması beklenir ve Le Chatelier Prensibine göre sistem basıncı azaltacak yönde davranış gösterir ve tepkime gazların mol sayısının az olduğu yöne yani ürünler tarafına doğru daha hızlı ilerler.

Kabın hacmi artırılırsa basınç düşeceğinden yine denge bozulur. Bu kez tepkime, basıncı artırmak için gazların mol sayısının çok olduğu yöne yani girenler tarafına doğru daha hızlı ilerler.



*Giren ve ürün mol sayılarının eşit olduğu tepkimelerde hacim değişikliği dengeyi etkilemez*

**Örneğin**  $H_2(g) + I(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$  Bu tepkimede hacim değişikliği dengeyi etkilemez.

1 mol    1 mol
2 mol
2 mol

**c. Sıcaklığın etkisi**

Sıcaklıktaki değişme hem dengeyi, hem de  $K_d$  (denge sabiti)'nin sayısal değerini değiştirir.

Kimyasal bir tepkimede sıcaklığın etkisiyle dengenin hangi yönde bozulacağını aşağıdaki örnekte inceleyelim.

$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + 92,6 \text{ kJ}$  denge tepkimesinde tepkime ortamının sıcaklığı arttırıldığında tepkime bunu azaltmaya çalışır. Bu ancak ısı harcanmasıyla mümkündür. Geri tepkime endotermik (ısı alan) olduğundan geri tepkime hızlanır, yeni denge kuruluncaya kadar devam eder. .

Verilen denge tepkimesinde sıcaklık düşürüldüğünde denge bozulur. Dengenin yeniden kurulabilmesi için sıcaklığın arttığı ekzotermik tepkime yönünde gerçekleşen tepkimenin daha hızlı yürümesi gerekir.

**d. Katalizörün etkisi**

Katalizör ilâvesi ileri ve geri tepkimelerin aktifleşme enerjilerini aynı oranda düşürür. Dolayısıyla ileri ve geri tepkimelerin hızları eşit miktarda artar.

Bu sebeple katalizör ilâvesi kimyasal dengeye ve denge sabitinin sayısal değerine etki etmez. Dengeye çabuk ulaşılmasını sağlar.

**ÖRNEK 2.12:**  $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g})$   $\Delta H = -565,1 \text{ KJ}$  denge tepkimesine aşağıdaki etkiler yapıldığında meydana gelen değişiklikleri açıklayınız.

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| a) CO(g) eklenmesi                      | d) Kap hacminin artırılması        |
| b) CO <sub>2</sub> (g) uzaklaştırılması | e) Katalizör kullanılması          |
| c) Sıcaklığın artırılması               | f) Sabit hacimde He gazı eklenmesi |

**ÇÖZÜM:**  $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{CO}_2(\text{g}) + 565,1 \text{ KJ}$

- a) CO(g) eklenirse CO derişimi artacağından sistem bunu azaltmak için tepkime ürünler lehine daha hızlı ilerler.
- b) CO<sub>2</sub>(g) uzaklaştırılması ürünlerin derişimini azaltacağından tepkime ürünler lehine daha hızlı ilerler.
- c) Sıcaklık artırılırsa artan sıcaklığı düşürmek için endotermik olan geri tepkime hızlanır. Yani tepkime girenler lehinedir.
- d) Kabın hacmi artırılırsa basınç azalır. Basıncın artması için tepkime, mol sayısının çok olduğu yönde yani girenler yönünde daha hızlı ilerler.
- e) Katalizör dengeyi değiştirmez, sadece dengeye ulaşma süresini kısaltır.
- f) He soy gazdır. Sabit hacimde He gazı eklenmesi dengedeki maddelerin derişimlerini değiştirmez. Dolayısıyla denge bozulmaz.

**ÖRNEK 2.13:**  $92,6 \text{ kJ} + 2\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$  denge tepkimesinde aşağıdaki değişimler yapılırsa denge nasıl değişir?

- |  |                                |
|--|--------------------------------|
| a) NH <sub>3</sub> (g) eklenmesi       | d) Kabın hacminin artırılması  |
| b) N <sub>2</sub> (g) uzaklaştırılması | e) Toplam basıncın artırılması |
| c) H <sub>2</sub> (g) eklenmesi        | f) Sisteme ısı verilmesi       |
|  | g) Sıcaklığın düşürülmesi      |
|  | k) Katalizör eklenmesi         |



- $\text{NH}_3(\text{g})$  eklenirse girenlerin derişimi artacağından tepkime ürünler lehinde ilerler.
- $\text{N}_2(\text{g})$  uzaklaştırılırsa, ürünlerin derişimi azalacağından tepkime ürünler yönünde ilerler.
- $\text{H}_2$  ilâvesi ürünlerin derişimini artıracığından sistem bunu azaltmaya çalışır ve tepkime girenler lehinde ilerler.
- Hacmin artırılması basıncı düşürür. Sistem dengeyi kurabilmek için mol sayısının fazla olduğu yöne yani ürünler lehine ilerler.
- Basıncı artırıldıktan sonra yeni dengenin kurulması için tepkime mol sayısı çok olan yönden, az olan yöne yani girenler lehine ilerler.
- Sisteme ısı verilirse, tepkime endotermik olduğundan, tepkime ürünler yönüne ilerler.
- Sıcaklık düşürülürse sistem, düşen sıcaklığı arttırmak için ekzotermik (ısı veren) tepkimeyi hızlandırır. Yani tepkime girenler yönüne daha hızlı ilerler.
- Denge katalizörden etkilenmez. Sadece dengeye ulaşma süresini kısaltır.

**ÖRNEK 2.14:**  $\text{CO}(\text{g}) + \text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$  tepkimesi 1 L kaptaki dengede iken, denge karışımının 0,4 mol/L  $\text{CO}_2$ , 0,6 mol/L  $\text{SO}_2$ , 0,8 mol/L  $\text{SO}_3$ , 0,1 mol  $\text{CO}$  içerdiği gözleniyor. Sabit hacim ve sıcaklıkta  $\text{CO}$ 'ün mol sayısını 0,3 e çıkarmak için kaba kaç mol  $\text{CO}_2$  eklenmelidir?

**ÇÖZÜM :**  $\text{CO}(\text{g}) + \text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$  denge tepkimesinin denge sabitini hesaplayalım.

$$K_d = \frac{[\text{SO}_2][\text{CO}_2]}{[\text{CO}][\text{SO}_3]} \Rightarrow \frac{(0,6) \times (0,4)}{(0,1) \times (0,8)} = 3$$

$V = 1 \text{ L}$  olduğu için  $M = n'$ 'dir.

	$\text{CO}(\text{g})$	+	$\text{SO}_3(\text{g})$	$\rightleftharpoons$	$\text{SO}_2(\text{g})$	+	$\text{CO}_2(\text{g})$
Denge	0,1 mol		0,8 mol		0,6 mol		0,4 mol
Etki							+X
Değişim	+0,2 mol		+0,2 mol		-0,2 mol		-0,2 mol
Yeni denge	0,3 mol		1 mol		0,4 mol		(0,2 + X) mol

Denge sabiti, sıcaklık sabit olduğundan değişmez.

$$K_d = \frac{[\text{SO}_2][\text{CO}_2]}{[\text{CO}][\text{SO}_3]} \Rightarrow 3 = \frac{(0,4) \times (0,2 + X)}{0,3 \times 1}$$

$$\Rightarrow 0,9 = 0,08 + 0,4 X$$

$$0,82 = 0,4 X$$

$$X = 2,05 \text{ mol ilâve edilmeli}$$

## 2. 7. DENGE SABİTİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

### a) Sıcaklık

$\text{CO(g)} + \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons \text{CO}_2\text{(g)} + \text{H}_2\text{(g)} + \text{ısı}$  tepkimesi ısıtılırsa Le Chatelier prensibine göre sistem fazladan verilen ısıyı yok etmek için girenler yönünde ilerler. Girenlerin derişimi artarken, ürünlerin derişimi azalır,  $K_d$  küçülür.

$$K_d = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}$$

$\text{Isı} + \text{N}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons 2\text{NO(g)}$  tepkimesi ısıtılırsa Le Chatelier prensibine göre, tepkime ürünler yönünde ilerler. Ürün derişimi ve  $K_d$  artar.



*$K_d$ 'nin değeri , sıcaklık azaltıldığında ekzotermik tepkimelerde büyür, endotermik tepkimelerde küçülür.*

**ÖRNEK 2.15:**  $2\text{A(g)} \rightarrow \text{B(g)} + 3\text{C(g)}$  tepkimesi için

$$100^\circ\text{C}'ta K_{d1} = 3$$

$$225^\circ\text{C}'ta K_{d2} = 7'dir.$$

Buna göre tepkime ekzotermik mi, endotermik midir?

**ÇÖZÜM:** Sıcaklık artınca  $K_d$  artıyor.  $K_d$ 'nin artmasından dolayı tepkime endotermiktir.

### b) Kat sayıların değışimi

$\text{A(g)} + \text{B(g)} \rightleftharpoons \text{C(g)} + \text{D(g)}$  tepkimesi için denge bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$K_d = \frac{[\text{C}][\text{D}]}{[\text{A}][\text{B}]}$$

Verilen tepkimenin tersi olan  $\text{C(g)} + \text{D(g)} \rightleftharpoons \text{A(g)} + \text{B(g)}$  tepkimesinin denge sabitine  $K'_d$  diyelim ve denge bağıntısını yazalım:

$$K'_d = \frac{[\text{A}][\text{B}]}{[\text{C}][\text{D}]}$$

Eğer  $K_d$  ve  $K'_d$  karşılaştırılırsa  $K'_d = \frac{1}{K_d}$  olduğu görülür

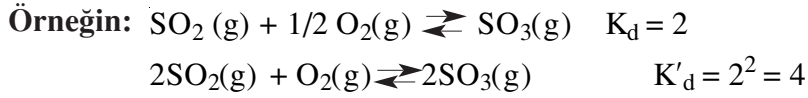
Verilen bir tepkimenin denklemi ters çevrilirse denge sabitinin de tersi alınır.

**Örneğin :**  $\text{NO(g)} + 1/2\text{O}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{NO}_2\text{(g)}$   $K_d = 2$  tepkimesine ve denge sabitine göre

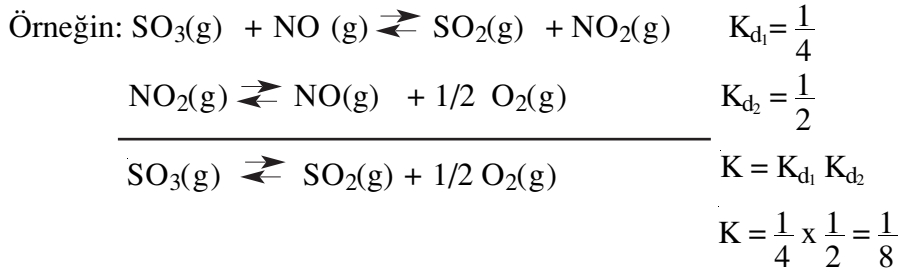
$$\text{NO}_2\text{(g)} \rightleftharpoons \text{NO(g)} + 1/2\text{O}_2\text{(g)} \text{ tepkimesinin denge sabiti } K'_d = \frac{1}{2}'dir.$$

Bu örnekte görüldüğü gibi ikinci tepkime, ilk tepkimenin ters çevrilmesiyle elde edilmiştir.  $K_d$ 'de ters çevrilerek  $K'_d = 1/2$  bulunmuştur.

Bir tepkime denklemi n gibi sayı ile çarpıldığında elde edilen tepkime denkleminin n. dereceden kuvvetine eşittir.



İki ya da daha fazla tepkime denklemi toplanırsa elde edilen tepkime denkleminin ağırlık dengesi sabiti toplanan tepkimelerin dengesi sabitlerinin çarpımına eşit olur.



**ÖRNEK 2.16:**  $\text{A}_2(\text{g}) + 2\text{B}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{AB}_2$  tepkimesi için belli sıcaklıktaki dengesi sabiti 4'tür. Aynı sıcaklıkta aşağıdaki tepkimelerin dengesi sabitlerini bulunuz.

- A)  $1/2 \text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{AB}_2$   
 B)  $2\text{AB}_2 \rightleftharpoons \text{A}_2(\text{g}) + 2\text{B}_2(\text{g})$   
 C)  $\text{AB}_2 \rightleftharpoons 1/2 \text{A}_2(\text{g}) + \text{B}_2(\text{g})$

### ÇÖZÜM:

A) Bu tepkime, denklemi verilen tepkime denkleminin 1/2 ile çarpılması sonucunda elde edilmiştir.

Bu sebeple bu tepkimenin  $K'_d$  si

$$K'_d = K_d^{1/2} \Rightarrow K'_d = 4^{1/2} = 2 \text{ dir.}$$

B) Tepkime, denklemi verilen denklemin ters çevrilmesiyle elde edilmiştir.

$$K'_d = \frac{1}{K_d} \text{ dir.} \quad K'_d = \frac{1}{4} \Rightarrow 0,25$$

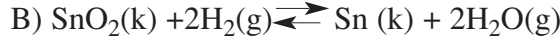
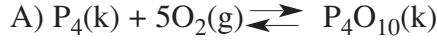
C) Verilen tepkime denklemi hem ters çevrilmiş, hem de 1/2 ile çarpılmıştır. Böylelikle C'deki denklem elde edilmiştir. Buna göre;

$$K'_d = \frac{1}{K_d^{1/2}} \Rightarrow \frac{1}{4^{1/2}} \Rightarrow \frac{1}{2} = 0,5 \text{ tir.}$$



## ÖĞRENDİKLERİMİZİ PEKİŞTİRELİM

1. Aşağıdaki tepkimelerin denge bağıntılarını yazınız.



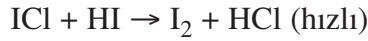
2. Bir litrelik bir tepkime kabına 2 mol CO ve 2 mol H<sub>2</sub>O konuluyor.

$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g)$  tepkimesi dengeye ulaşınca kabta 1,2 mol H<sub>2</sub> bulunuyor. Buna göre denge sabiti kaçtır?

3.  $CaCO_3(k) \rightleftharpoons CaO(k) + CO_2(g)$  tepkimesinin belirli sıcaklıkta denge sabiti 0,5'tir. 2 L'lik bir kaba 2 mol CaCO<sub>3</sub> konularak ayrıştırılırsa dengede kabta kaç mol CaCO<sub>3</sub> bulunur?

4.  $X_{(g)} + Y_{(g)} \rightarrow Z_{(g)}$  tepkimesinin 0°C'ta derişime bağı denge sabiti 0,224'tür. Aynı sıcaklıkta kısmî basınçlar türünden denge sabiti K<sub>p</sub> değeri kaç olur?

5. Mekanizması aşağıda verilen tepkimenin denge bağıntısını yazınız.



6.  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$   $\Delta H < 0$  tepkimesi dengede iken

I. Sıcaklığı artırmak

II. H<sub>2</sub> (g) eklemek

III. Basıncı artırmak

işlemleri ayrı ayrı uygulanırsa NH<sub>3</sub>'ın mol sayısı nasıl değışir?

7.  $SO_2(g) + NO_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g) + NO(g)$

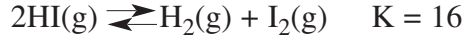
tepkimesi dengede iken 1 L kabta 2 mol SO<sub>2</sub>, 2 mol NO<sub>2</sub>, 2 mol NO ve 8 mol SO<sub>3</sub> bulunuyor. Bu kaba 6 mol NO eklenirse dengede SO<sub>2</sub> mol sayısı ne olur?

8. 1 atmosfer basıncındaki N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(g)'ın %50'si NO<sub>2</sub>(g) ayrışıyor



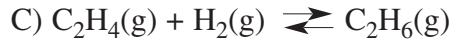
Buna göre denge sabiti K<sub>p</sub> kaçtır?

9. Bir litrelik kaba bir miktar HI konuyor.



tepkimesi dengeye ulaştığında kapta 0,2 mol  $\text{H}_2$  olduğuna göre başlangıçta kaba konan HI kaç moldür?

10. Aşağıdaki tepkimelerde sabit sıcaklıkta hacim artırılırsa yeni dengede hangi maddelerin mol sayıları artmıştır?





## ÖZET

- Denge; kapalı bir sistemde ve sabit sıcaklıkta gözlenebilir özelliklerin sabit kaldığı, gözlenemeyen olayların devam ettiği dinamik bir olaydır.
- Maddelerin yapısını değiştirmeden, fiziksel hâllerinde değişiklik yapılarak kurulan dengeye fiziksel denge denir.
- Madde derişimlerinin sabit olması, tersinir tepkimelerde ileri tepkime hızının geri tepkime hızına eşit olduğunu ve kimyasal dengeye ulaşıldığını gösterir.
- $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g)$  gibi bir tepkimenin denge bağıntısı

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b} \text{ şeklinde yazılır.}$$

- Denge bağıntısında derişimleri sabit olduğu için katı ve sıvılar yer almaz.
- Denge sabiti ( $K_d$ )'nin değeri yalnız sıcaklıkla değişir.
- Gazlar arasında yürüyen tepkimelerde gazların derişimleri yerine kısmî basınçları alınarak denge bağıntısı yazılabilir.

kısmî basınçlar cinsinden denge sabiti ( $K_p$ ) ile derişime bağı denge sabiti ( $K_d$ ) arasında

$$K_p = K_d (RT)^{\Delta n} \text{ şeklinde bir eşitlik vardır.}$$

- Denge hâlindeki bir sisteme dışardan bir etki yapıldığında sistem bunu azaltacak yönde davranış gösterir. (Le Chatelier prensibi)
- Girenlerin ve ürünlerin mol sayılarının eşit olduğu tepkimelerde hacim değişikliği dengeyi etkilemez.
- Sıcaklıktaki değişme hem dengeyi, hem de  $K_d$  (denge sabiti)'nin sayısal değerini değiştirir.
- Katalizör ilâvesi kimyasal dengeye ve denge sabitinin sayısal değerine etki etmez. Dengeye çabuk ulaşmasını sağlar.
- Tepkime denklemi ters çevrilirse denge sabitinin de tersi alınır.
- Tepkime denklemi n gibi bir sayı ile çarpılırsa bu sayı denge sabitine üs olarak yansıtılır.
- İki ya da daha fazla tepkime denklemi toplanırsa toplam tepkimenin denge sabiti, toplanan tepkimelerin denge sabitlerinin çarpımına eşit olur.



## DEĞERLENDİRME SORULARI

- $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{NO}(\text{g})$  tepkimesi, belirli sıcaklıkta denge sabiti 16 dır. 2 L lik bir kaba 2 mol  $\text{SO}_2$  ile 2 mol  $\text{NO}_2$  konulursa dengeye ulaşıldığından  $\text{SO}_3$ 'ün molar derişimi ne olur?

A) 1,6                      B) 1,2                      C) 1                      D) 0,8
- $2\text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$  dengesi için,  $K_p$  ile  $K_d$  arasındaki ilişkiyi aşağıdakilerden hangisi verir?

A)  $K_p = K_d (\text{RT})^2$                       B)  $K_p = K_d \text{RT}$                       C)  $K_p = \frac{1}{K_d}$                       D)  $K_p = K_d$
- $\text{X}_2\text{Y}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{X}(\text{g}) + \text{Y}(\text{g})$  tepkimesi endotermiktir. Aşağıdakilerden hangisi Y'nin derişimini **artırmaz**?

A) Kaba  $\text{X}_2\text{Y}$  ilâvesi                      B) Sıcaklığın artırılması  
C) Kaba X ilâvesi                      D) Hacmin büyütülmesi
- $2\text{A}(\text{k}) + \text{B}(\text{suda}) + 2\text{C}(\text{g}) \rightleftharpoons 3\text{D}(\text{suda}) + \text{E}(\text{k})$  tepkimesinin denge bağıntısı aşağıdakilerden hangisidir?

A)  $K = \frac{[\text{D}]^3}{[\text{B}][\text{C}]^2}$                       B)  $K = \frac{[\text{E}]}{[\text{A}]^2 [\text{C}]^2}$   
C)  $K = \frac{[\text{D}]^3}{[\text{A}] [\text{C}]^2}$                       D)  $K = \frac{[\text{D}]^3}{[\text{C}]^2}$
- Bir tepkimenin denge sabitini aşağıdakilerden hangisi değiştirir?

A) Basınç artması                      B) Sıcaklık değişimi  
C) Maddelerin derişiminin değişmesi                      D) Tepkime kabının hacminin değişimi
- $\text{SO}_2(\text{g}) + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) \quad K_1 = 2$   
 $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}(\text{g}) + 1/2 \text{O}_2 \quad K_2 = 3$

denge sabitleri bilindiğine göre

$\text{CO}(\text{g}) + \text{SO}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{SO}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$  tepkimesinin denge sabiti kaçtır?

A)  $\frac{1}{6}$                       B)  $\frac{1}{4}$                       C)  $\frac{1}{2}$                       D)  $\frac{6}{1}$

7. Sadece katı ve gaz fazlarından oluştuğu bilinen,



$K = [Z]$  şeklindedir. Dengedeki bu tepkime için

I. X ve Y katıdır.

II. Hacim azalırsa denge ürünler lehine değişir.

III. Ortama katalizör eklendiğinde daha çok Y ve Z oluşur.

Yargılarından hangileri doğrudur?

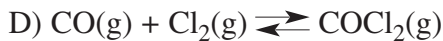
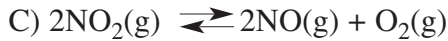
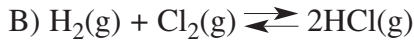
A) I- II ve III    B) II ve III    C) I ve III    D) I ve II

8.  $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

tepkimesi dengede iken kaptan bir miktar  $NH_3$  çekiliyor ve yeni denge kuruluyor. Sıcaklık sabit tutulduğuna göre aşağıdakilerden hangisi gerçekleşir?

Denge sabiti	$H_2$ derişimi	$NH_3$ derişimi
A) Değişmez	azalır	artar
B) Değişmez	artar	azalır
C) Büyür	azalır	artar
D) Küçülür	azalır	artar

9. Aşağıdaki denge tepkimelerinden hangisinde hacim değişmesi dengeyi **bozmaz**?



10.  $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$  tepkimesi belirli sıcaklıkta 1 L'lik kaptan dengeye ulaştığında 1 mol  $PCl_5$ 'in %50 sinin ayrıştığı gözlenmiştir. Buna göre denge sabiti nedir?

A) 5    B) 2,5    C) 1    D) 0,5

KİMYA 4