

ÜNİTE 5

Kimyasal Reaksiyonlar ve Hesaplamalar

Amaçlar

Bu üniteyi çalıştıktan sonra,

- Kimyasal reaksiyonları kavrayarak, kimyasal denklemleri yazabilecek,
- Kimyasal denklemleri denkleştirebilecek ve denkleştirilmiş denklemleri yorumlayabilecek,
- Kimyasal denklemlere dayanan hesaplamaları öğrenerek stokiyometri problemlerini çözebileceksiniz.

İçindekiler

- Giriş
- Kimyasal Reaksiyonlar
- Kimyasal Denklemlerin Yazılması, Denkleştirilmesi ve Yorumu
- Kimyasal Denklemlere Dayanan Hesaplamalar
- Özet
- Değerlendirme Soruları

Öneriler

- Bu üniteyi çalışmaya başlamadan önce **Ünite 1** ve **Ünite 2** 'deki bilgilerinizi gözden geçiriniz.
- Bu üniteyi çalışırken verilen örnekleri dikkatlice inceleyiniz ve üniteye verilen soruları mutlaka çözünüz.
- Soruların çözümü için gerekli atom ağırlığı değerlerini kitabın arkasındaki Ek 1'den bulabilirsiniz.

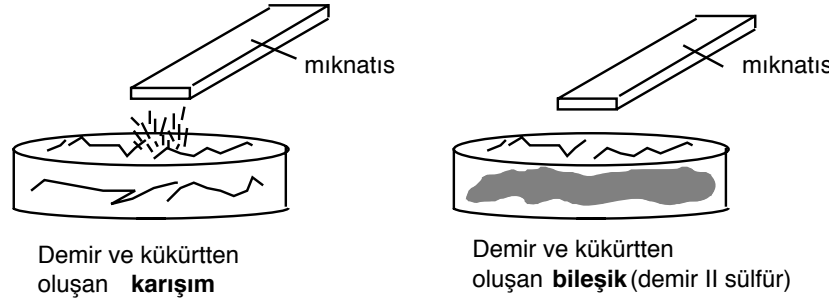
1.GİRİŞ

Birinci ünite de kimyayı **maddenin bileşimini, yapısını, özelliklerini ve değişimini** inceleyen bir bilim dalıdır şeklinde tanımlamıştık. Bundan önceki ünitelerde tanımın ilk bölümünü gördük. Bu ünite de ise tanımın ikinci bölümü **değişmeyi** yani "**kimyasal değişme süreci**" olarak tanımlanabilen **kimyasal reaksiyonları** göreceğiz.

Laboratuarda ve endüstride istenilen verimle çalışabilmek için reaksiyona giren maddeler arasındaki bağıntıları çok iyi bilmek gerekir. Bu ünite de **kimyasal reaksiyonlar** ve bileşimlerin nicel incelemesini konu alan kimyasal hesaplamalar (**stokiyometri**) üzerinde duracağız.

2. KİMYASAL REAKSİYONLAR

Bir kimyasal reaksiyon, "**kimyasal değişme süreci**" olarak tanımlanabilir. **Kimyasal değişmeler**, maddenin özelliklerinin ve bileşiminin değişmesine neden olan değişmelerdir. Örneğin **demir tozu (Fe)** üzerine, toz halindeki **kükürt (S)** oda sıcaklığında eklendiğinde

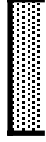


Şekil 5.1 Demir ve kükürtün, karışım veya bileşik oluşturduğunda mıknatısla ayrılması

bir **Fe/S karışımı** elde edilir. Bu karışımdan demir ve kükürtü özellikleri hiç değişmeden mıknatıs yardımıyla ayırmak mümkündür. Fakat karışım ısıtılırsa aynı işlem gerçekleştirilemez. Çünkü bir kimyasal değişme sonucu farklı özellikte **demir II sülfür (FeS)** bileşiği oluşmuştur. Artık demir ve kükürt arasında kimyasal bağlar olduğundan demiri kükürtlü karışımdan mıknatıs yardımıyla ayırmak mümkün değildir. Benzer şekilde odunun yanması demirin paslanması, yiyeceklerin sindirilmesi gibi pek çok başka olay kimyasal değişmeye örnek olarak verilebilir.

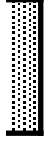
Bilindiği gibi maddenin kimyasal özelliklerinin ve bileşiminin değişmeksizin gösterebileceği değişmelere "**fiziksel değişmeler**" denir. Örneğin maddenin **kokusunda, renginde, yoğunluğunda** veya **halinde** (gaz, sıvı veya katı) meydana gelen değişmeler birer **fiziksel değişmedir**. Her **fiziksel değişme** sonucunda **kimyasal değişme beklenemez**. Örnek olarak suyun kaynatılması olayını düşünelim. Kaynama sonucu buharın oluşumu fiziksel bir değişmedir. Bu olayda suyun kimyasal bileşimi aynı kaldığı için, kimyasal bir değişim söz konusu değildir. Öte yandan **kimyasal değişimler** genellikle **fiziksel değişimleri de birlikte getirirler**.

Bir kimyasal değişme süreci olan kimyasal reaksiyon, "**kimyasal bağların kırılması ve yeni bağların oluşumu**" ile meydana gelir. Kimyasal reaksiyonlar atomların veya moleküllerin, bağları kırmaya ve yeni bağlar yapmaya yetecek enerji ile birbirleriyle etkileşimleri sonucunda oluşurlar. Bir kimyasal reaksiyon süresince atomlar kendi aralarında yeniden düzenlenerek yeni bileşimler meydana getirirler.



Bir bileşik farklı kimyasal reaksiyonlarla elde edilebilir.

Ancak bileşik hangi yoldan elde edilirse edilsin, o bileşiğin **bileşimi her zaman aynıdır**.

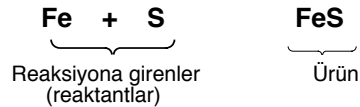


Örneğin, su hangi şekilde elde edilirse edilsin, her zaman iki hidrojen atomu bir oksijen atomundan oluşmaktadır.

3. KİMYASAL DENKLEMLERİN YAZILMASI, DENKLEŞTİRİLMESİ VE YORUMU

3.1. Kimyasal Denklemlerin Yazılması

Bir **kimyasal denklem**, reaksiyondaki maddelerin formülleri ile meydana gelen kimyasal değişmeyi özetler. Kimyasal denklemleri, kimyasal cümleler olarak düşünebiliriz. Ancak bu denklemler belirli kurallara göre yazılır. Örneğin demir ve kükürt reaksiyonu için denklem aşağıdaki şekilde yazılır.



Bu denklemi değişik şekillerde ifade edebiliriz:

"Demir artı kükürt demir (II) sülfürü verir."

veya

"Demir ile kükürt reaksiyona girerek demir (II) sülfürü oluşturur."

veya

"Demir (II) sülfürü oluşturmak üzere demir ve kükürt reaksiyona girerler."

Başlangıç maddeleri, "**reaksiyona girenler**" veya "**reaktantlar**" olarak adlandırılırlar ve "**ürün**" olarak adlandırılan yeni maddelerden okla ayrılırlar. **Ok** (\rightarrow), reaktantlardan ürünlerle doğru **kimyasal değişme yönünü** gösterir. Bazen **çift ok** (\rightleftharpoons) geri dönüşümlü reaksiyonları, yani hem reaktantların hem de ürünlerin yönünde olabilen reaksiyonları ifade etmek üzere kullanılabilir (Bkz. **Ünite 8**, denge konusu).

Okun bir yanında birden fazla madde olduğunda aralarına **(+)** işareti konulur. Örnek denklemde Fe ve S 'ün arasına konduğu gibi. Bazen reaksiyonda oluşan ürünlerden biri fiziksel olarak diğerlerinden ayrılabilir. Bu durumu belirtmek üzere;

ürün **gaz** olarak uzaklaşmakta ise, **yukarı doğru ok ≠**,

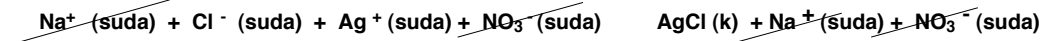
ürün bir **katı** olarak çöküyorsa, **aşağı doğru ok**

kullanılır. Örneğin **sodyum klorür** çözeltisinin, **gümüş nitrat** çözeltisiyle karıştırılması reaksiyonunu yazalım:

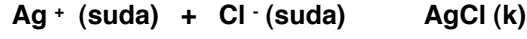


Bu reaksiyon sonunda beyaz bir katı (yani AgCl) çöker. Bu reaksiyonu daha açık bir şekilde ifade etmeye çalışalım. Sodyum klorür çözeltisinde sodyum iyonları ve klorür iyonları; gümüş nitrat çözeltisinde ise gümüş iyonları ve nitrat iyonları vardır. İki çözelti karıştırıldığında oluşan reaksiyon sonucunda **gümüş klorür** çöker. Geride kalan çözeltide ise, **sodyum iyonları** ile **nitrat iyonları** başlangıçta oldukları gibi bulunurlar.

Reaksiyonu şu şekilde yazabiliriz:



Burada iyonun çözelti içinde veya suda olduğunu belirtmek üzere iyonun yanına **(suda)** yazılmıştır. Bazen **(suda)** yerine **(aq)** kullanılır. Zira **(aq)** suda çözünmüş sulu anlamına gelen **aqueous** kelimesinin kısaltılmışıdır. Öte yandan **(k)** ise, maddenin **katı** halde olduğunu ifade eder. Madde **gaz** halinde ise **(g)**, **sıvı** halde ise **(s)** harfleri kullanılır. Semboller üzerindeki çapraz çizgiler reaksiyon sırasında değişmeyen iyonları silmek içindir. Bu durumda net reaksiyonu ifade etmek üzere,



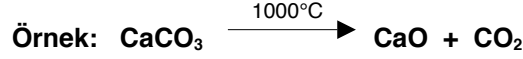
denklemini yazılabilir.



Yanıt: Katı karbon oksijen gazı ile reaksiyona girerek karbon dioksit gazını verir.

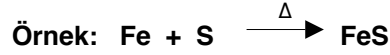
Çoğu kez reaksiyon şartları ok üzerinde ifade edilebilir:

- Reaksiyon oluşumu için gerekli sıcaklık ok üzerine yazılabilir.



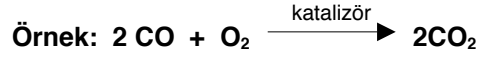
Bu denklem, kalsiyum karbonatı kalsiyum oksit ve karbon dioksit'e dönüştürmek için **1000°C** sıcaklığın gerekli olduğunu ifade eder.

- Belirli olmayan bir sıcaklık ifade edilmek istenirse, okun üzerine **Δ (delta)** işareti konulur.

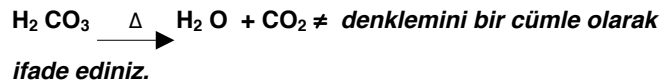


Denklem bu şekliyle demir ile kükürtün ısıtılarak demir (II) sülfürü verdiğini ifade eder.

- Reaksiyonda **katalizör** kullanılmışsa, okun üzerine "**katalizör**" sözcüğü veya **katalizörün formülü** yazılır.



Bu denklem, karbon monoksit'in karbon dioksit'e dönüşümünün katalizörle hızlandırılarak gerçekleştiğini belirtir. (Katalizörler konusu **Ünite 7**'de daha ayrıntılı olarak işlenecektir).



Yanıt: Karbonik asit ısıtılmasıyla su ve karbon dioksit oluşur, ve ürünlerden karbon dioksit gaz olarak ortamdaki uzaklaşmıştır.



Bir kimyasal reaksiyon ifadesinin anlamlı olabilmesi için hangi koşullar gereklidir?

- Öncelikle denklem deneysel olayla uyumlu olmalıdır. Yani reaksiyona giren maddelerin ve ürünlerin neler olduğu bilinmeli ve bunların doğru formülleri yazılmalıdır.
- **Kütlelerin Korunumu Yasası** ile uyumalıdır.
- Her bir elementin toplam sayısı reaksiyondan önce ve sonra değişmemelidir. Yani denklem elementlerin korunumu ilkesine uymalıdır.
- Kimyasal denklem elektrik yüklerinin korunumu ilkesine uymalıdır.

Buradaki son üç koşul denklemin **denkleştirilmiş** olması ile ilgilidir. Şimdi kimyasal denklemlerin denkleştirilmesini görelim.

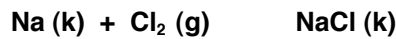
3.2. Kimyasal Denklemlerin Denkleştirilmesi

Her kimyasal denklem denkleştirilmelidir. Reaksiyona giren ve çıkan atom sayılarının, reaktantların veya ürünlerin önüne katsayı denen çarpanlar yazılarak eşitlenmesi "**denkleştirme**" işlemidir. Bu işlem yapılırken **asla formül değiştirilmez**. Genellikle basit reaksiyonlar için **denetleme (deneme-yanılma)** yolu kullanılır. Bu yöntemde;

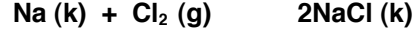
- Denkleştirmede kullanılacak katsayılara ilişkin bir açıklama yoksa, formüllerin önüne yazılacak katsayıların kesirli olmamasına ve küçük katsayı serilerinin kullanılmasına dikkat edilmelidir.
- Bir reaktantın veya ürünün önündeki katsayı denklığı bozuyorsa bu taktirde denklığı bozulmuş olan atom veya grubun uygun bir katsayı ile çarpımı ile denkleştirme yapılır.
- Bu işlem atomların tümünün sayısı denkleşinceye kadar sürdürülür.

Örnek 5.1 Katı sodyum ile klor gazı arasındaki reaksiyondan katı sodyum klorür meydana gelir. Klor gazının iki atomlu olduğunu göz önüne alarak bu reaksiyona ilişkin denklemi denkleştiriniz.

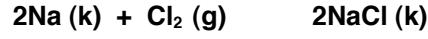
Çözüm 5.1 Öncelikle kimyasal denklem aşağıdaki gibi yazılır.



Bu denklemi denkleştirirken reaktant tarafında **2 klor** atomu, ürün tarafında ise **1 klor atomu** bulunduğuna dikkat etmek gerekir. **NaCl** formülündeki Cl'ün altındaki sayı (bu sayı 1) değiştirilmez, aksi halde farklı bir bileşik formülü yazılmış olur. **Formül asla değiştirilmez**, ancak **katsayı değiştirilebilir**. Bu durumda **NaCl** 'ün önüne **2** yazılması gerekir.



Ancak bu durumda da **ürünler** tarafında **2** tane **sodyum** atomu olurken **reaktantlar** tarafında **1** tane **sodyum** atomu vardır. O halde sodyumun önüne de **2 katsayısı** yazılmalıdır.

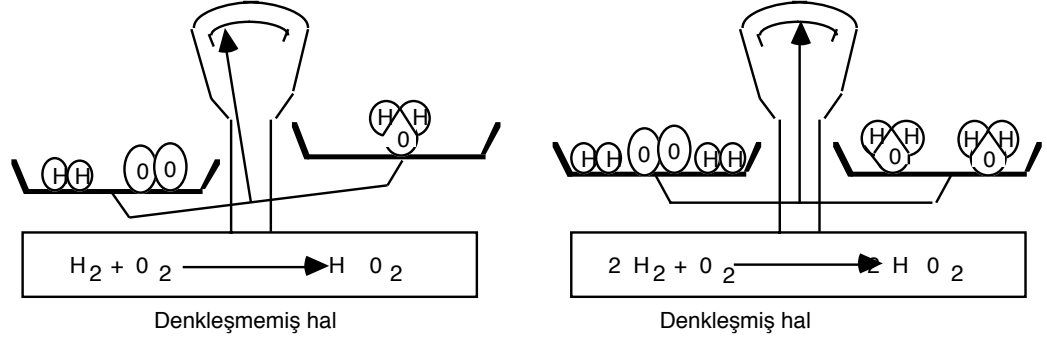


Denklem artık denetleme yoluyla denkleştirilmiştir.

Örnek 5.2 $\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ Denklemi denkleştirerek;

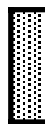
- her elementin reaktant ve ürün tarafındaki atom sayısının eşit olduğunu
- reaktantların toplam kütlelerinin, ürünlerin toplam kütlelerine eşit olduğunu görsel olarak ifade ediniz.

Çözüm 5.2 Önce denklemin denkleşmemiş halini sonra denkleşmiş halini terazinin kefelelerine atomları yerleştirerek görselleştirelim.

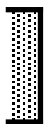


Denge sağlanamamış ve her atomun sayısı terazinin iki kefesinde **farklı**: Soldaki kefedeki; 4 H atomu 2 O atomu, sağdaki kefedeki; 4 H atomu 2 O atomu bulunmaktadır.

Denge sağlanmış ve her atomun sayısı terazinin iki kefesinde de **aynı**: Soldaki kefedeki; 8 H atomu ve 2 O atomu, sağdaki kefedeki; 8 H ve 4 O atomu bulunmaktadır.

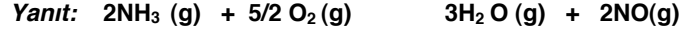


Bir denklemin tüm **katsayılarını aynı sayı ile çarpmak** ya da **bölmek denkliliği bozmaz.**





Denklemini denkleştiriniz.



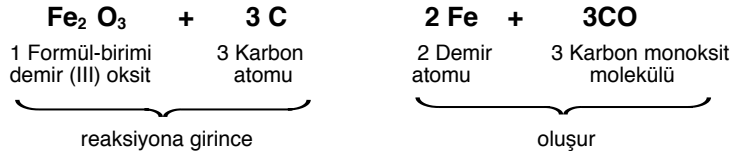
veya



Bu çözümdeki iki denklem aynı reaksiyonu gösterir. Katsayıların tam sayı olması kimyasal hesaplamalarda kolaylık sağlar. Eğer tüm formüllerin katsayılarının tam sayı olmasını istiyorsak yukarıdaki örnekte olduğu gibi katsayıları uygun sayı ile çarpabiliriz.

3.3. Denkleştirilmiş Denklemlerin Yorumu

Denkleştirilmiş bir denklem, kimyasal reaksiyonun hem atom ölçeğinde hem de laboratuvar ölçeğinde faydalı bir özetini verir. Örneğin **atom ölçeğinde**,



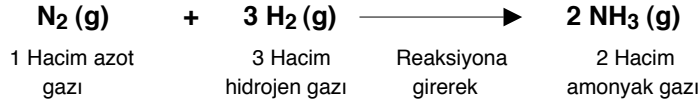
şeklinde ifade edilebilir.

Denklemini, **Avogadro sayısı** ile çarparak atom ölçeğinden daha kullanışlı olan **laboratuvar** ölçeğine çevirebiliriz. Avogadro sayısı kadar formül-birimi, atom veya molekül "**1 mol**" olduğuna göre, bileşiklerin formül ağırlıklarından faydalanarak denklemini;



"160 g Fe₂O₃ ile 3 x 12 = 36 g C reaksiyona girerek, 2 x 56 = 112 g Fe ile 3 x 28 = 84 g CO oluştururlar" şeklinde ifade edebiliriz. Denklemin reaktantlar tarafındaki toplam kütlesi; 160 + 36 = 196 g, ürünler tarafındaki toplam kütesinin ise; 112 + 84 = 196 g olduğu görülmekte ve beklendiği gibi **kütle korunmaktadır**.

Reaktantların ve ürünlerin **gaz** halinde olduğu reaksiyonlar **hacim** ile ifade edilebilir. Örneğin amonyak eldesi reaksiyonunu,



oluşturur şeklinde ifade edebiliriz. Çünkü aynı sıcaklık ve basınçtaki yani aynı koşullardaki gazların mol sayıları hacimleri ile doğru orantılı olarak değişir. Ancak bu konu **Ünite 6** 'da gazlar konusunda daha ayrıntılı olarak görülecektir.

Denkleştirilmiş bir denklemin katsayıları arasındaki oran, reaktantların ve ürünlerin

- **atom veya molekül sayıları arasındaki oranı**
- **mol sayıları arasındaki oranı**
- **gazların aynı koşullardaki hacim oranını**

doğrudan **gösterir**.

Denkleştirilmiş bir kimyasal denklem artık kimyasal reaksiyonlardaki ağırlık bağıntılarıyla ilgili problemlerin çözümünde kullanılabilir. Şimdi bu tür hesapları görelim.

4. KİMYASAL DENKLEMLERE DAYANAN HESAPLAMALAR

Bu bölümde **stokiyometriyi** tanımlayarak, verilen maddenin mol sayısı ile istenen maddenin mol sayısı arasında denkleştirilmiş denkleme göre ilişki kurarak istenen maddenin mol sayısını hesaplayacağız. Bulunan mol sayısını kütleye dönüştürerek kütle problemlerini çözeceğiz. Ayrıca Avogadro sayısını kullanarak stokiyometri problemlerini, sınırlayıcı reaktif içeren problemleri ve reaksiyon verimini hesaplamayı göreceğiz.

4.1 Stokiyometri

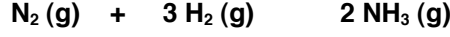
Stokiyometri, element ölçme anlamına gelen Yunanca, **stocheion (element)** ve **metron (ölçme)** kelimelerinden oluşmuştur. Stokiyometri, bir kimyasal reaksiyonda yer alan element veya bileşiklerin niceliklerinin hesaplanması ve ağırlık bağıntılarıyla ilgilidir.

Kimyasal değişmelerde harcanan veya oluşan madde miktarları, kimyasal formülleri nicel olarak anlamlandıran atom kütlelerinden yararlanılarak hesaplanır. Bir kimyasal reaksiyondaki nicelikler arasındaki ilişkilerin hesaplanmasını içeren hesaplamalara "**stokiyometrik hesaplamalar**" denir. Bu tür hesaplamalarda reaksiyonun belirtilen yönde tam olarak yürüdüğünü **yani reaktantların tümünün ürüne dönüştüğünü** varsayacağız. Bilindiği gi-

bi denkleştirilmiş bir denklemin katsayıları, reaktantların ve ürünlerin mol sayısı buna bağlı olarak **kütleleriyle** ilgidir. Şimdi bu kavramları örnekler üzerinde pekiştirelim.

Örnek 5.3 Amonyak oluşumuna ilişkin reaksiyonu **mol** ve **kütle** terimleriyle ifade ediniz.

Çözüm 5.3 Reaksiyon denklemini yazarak;



"1 mol azot ve 3 mol hidrojen, 2 mol amonyak vermek üzere reaksiyona girerler"
veya

"28 g azot ve 6 g hidrojen, 34 g amonyak vermek üzere reaksiyona girerler"

şeklinde ifade edebiliriz. Buradaki gram miktarlarını açıklamak üzere,

$$1 \frac{\text{mol N}_2}{1 \text{ mol N}_2} \times \frac{28 \text{g N}_2}{1 \text{ mol N}_2} = 28 \text{g N}_2, \quad 3 \frac{\text{mol H}_2}{1 \text{ mol H}_2} \times \frac{2 \text{g H}_2}{1 \text{ mol H}_2} = 6 \text{g H}_2, \quad 2 \frac{\text{mol NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} \times \frac{17 \text{g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} = 34 \text{g NH}_3$$

yazabiliriz. Burada ayrıca, reaktantların toplam kütesinin, ürünlerin toplam kütesine eşit olduğunu görebiliriz:

Reaktantların toplam kütesi = Ürünün kütesi

$$28 \text{ g} + 6 \text{ g} = 34 \text{ g}$$

Problemden probleme kullanılan **azot** ve **hidrojenin gram miktarı farklılık gösterebilir**, fakat reaksiyonda yer alan **bağıl miktarlar tam olarak her zaman aynı kalır**. Diğer bir deyişle **kaç mol azot** reaksiyona girerse, her zaman **3 katı mol hidrojen** harcanarak **2 katı mol amonyak** üretilir.

Stokiyometrik hesaplamaların hepsi **reaktantlar** ve **ürünlerin** mol sayıları arasındaki bağıntıya dayanır. Bu bağıntılar denkleştirilmiş denklemin kat sayılarından çıkarıldığından **denklemin doğru bir şekilde denkleştirilmiş olması** oldukça önemlidir.

4.2. Mol - Mol Problemleri

Stokiyometri problemlerinin en basit tipi, reaksiyonda **yer alan bir maddenin mol sayısı** ile **istenen maddenin mol sayısını** bulmayı içerir. Söz konusu iki maddenin her ikisi birden reaktant veya ürün olabildiği gibi biri reaktant diğeri ürün de olabilir.

Bu tür mol-mol problemlerini çözmek için, bağlı mol sayılarına dayanan bir **dönüşüm faktörüne** gereksinim vardır. Bu dönüşüm faktörünü denkleştirilmiş denklemin katsayılarından elde edebiliriz.

Örnek 5.4 $\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow 2 \text{NH}_3$ Reaksiyonu için dönüşüm faktörlerini yazınız.

Çözüm 5.4

$$\frac{1 \text{ mol N}_2}{3 \text{ mol H}_2} \text{ veya } \frac{3 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol N}_2}; \frac{1 \text{ mol N}_2}{2 \text{ mol NH}_3} \text{ veya } \frac{2 \text{ mol NH}_3}{1 \text{ mol N}_2}; \frac{3 \text{ mol H}_2}{2 \text{ mol NH}_3} \text{ veya } \frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \text{ mol H}_2}$$

Mol dönüşüm faktörü reaksiyondaki iki maddenin mol sayıları ile ilgili bir kesir olup, "**mol oranı**" olarak da adlandırılır.

Problemde hangi mol oranının kullanılacağı, problemde bulunmak istenene göre belirlenir.

Örnek 5.5 Örnek 5.4.'e bağlı olarak 50 mol azot ile yeteri kadar hidrojenin reaksiyona girmesiyle oluşan amonyağın mol sayısını bulunuz.

Çözüm 5.5 Önce problemi özetleyelim:

Bilinmeyen	Verilen	Bağıntı
NH_3 mol sayısı	50 mol N_2	$\frac{1 \text{ mol N}_2}{2 \text{ mol NH}_3}$ veya $\frac{2 \text{ mol NH}_3}{1 \text{ mol N}_2}$

Burada doğal olarak amonyak mol sayısının, azot mol sayısına oranı ile ilgili olan dönüşüm faktörünü seçmemiz gerekir. Problemi dönüşüm faktörünü kullanarak çözelim.

$$\text{NH}_3 \text{ mol sayısı} = 50 \text{ mol N}_2 \times \frac{2 \text{ mol NH}_3}{1 \text{ mol N}_2} = 100 \text{ mol NH}_3$$

Burada dönüşüm faktörünün N_2 mol'leri birbirini götürülecek, NH_3 mol'ünü verecek şekilde seçildiğine dikkat ediniz.



0,10 mol NH_3 elde etmek için yeteri kadar azotla reaksiyona giren hidrojenin mol sayısını hesaplayınız.

Yanıt: 0,15 mol H_2

Örnek 5.6 Sudaki fosfat iyonları, kalsiyum hidroksit ile uzaklaştırılır. 120 Mol sodyum fosfatı uzaklaştırmak için kaç mol kalsiyum hidroksite gereksinim vardır?

Çözüm 5.6 Öncelikle denkleştirilmiş denklemi yazarak problemi özetleyelim:

Bilinmeyen	Verilen	Bağıntı
Ca(OH)_2 'in mol sayısı	120 mol Na_3PO_4	$\frac{2 \text{ mol Na}_3\text{PO}_4}{3 \text{ mol Ca(OH)}_2}$ veya $\frac{3 \text{ mol Ca(OH)}_2}{2 \text{ mol Na}_3\text{PO}_4}$

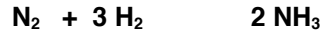
$$\text{Ca(OH)}_2\text{'in mol sayısı} = 120 \text{ mol Na}_3\text{PO}_4 \times \frac{3 \text{ mol Ca(OH)}_2}{2 \text{ mol Na}_3\text{PO}_4} = 180 \text{ mol}$$

4.3. Mol - Kütle Problemleri

Bu tip problemler, verilen bir maddenin **mol sayısı** ile istenen maddenin **kütlesini** bulmayı içerir. Bu tür hesaplamalarda, **mol oranı** ve **molü grama çevirme faktörü** olmak üzere iki dönüşüm faktörü kullanılır.

Örnek 5.7 Yeteri kadar **azot** kullanılarak **30 mol** hidrojenden kaç **gram amonyak** elde edileceğini hesaplayınız.

Çözüm 5.7 Reaksiyon denklemini yazarak problemi özetleyelim:



Bilinmeyen	Verilen	Bağıntı
NH_3 gram miktarı	30 mol hidrojen	$\frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \text{ mol H}_2}$ veya $\frac{3 \text{ mol H}_2}{2 \text{ mol NH}_3}$ $\frac{1 \text{ mol NH}_3}{17,0 \text{ g NH}_3}$ veya $\frac{17,0 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3}$

$$\text{NH}_3 \text{ gram miktarı} = 30 \text{ mol H}_2 \times \frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \text{ mol H}_2} \times \frac{17,0 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3} = 340 \text{ g}$$

Burada ilk dönüşüm faktörü $\frac{2 \text{ mol NH}_3}{3 \text{ mol H}_2}$ oranı, 30 mol H_2 'i, karşılık gelen NH_3 mol sayısına çevirir. İkinci dönüşüm faktörü ise NH_3 'in mol kütlesini, amonyak mol sayısına dönüştürerek karşılık gelen kütleyi gram cinsinden verir. Özet olarak,

H₂ mol sayısı **NH₃ mol sayısı** **NH₃ gram miktarı**

dönüşümü sağlar.

Mol-kütle probleminin tersi **kütle-mol** problemleri de aynı şekilde çözülür. Bu tip problemlerde maddenin kütlesi **g** cinsinden verilerek, reaksiyondaki diğer maddenin **mol sayısı** bulunmak istenir.

Örnek 5.8 Yeteri kadar **hidrojen** kullanarak **68 g** amonyak elde etmek için kaç **mol azot** gerektiğini hesaplayınız.

Çözüm 5.8 Problemi özetleyerek azot mol sayısı hesaplayalım.

Bilinmeyen	Verilen	Bağıntı
N ₂ mol sayısı	68 g NH ₃	$\frac{2 \text{ mol NH}_3}{1 \text{ mol N}_2}$ veya $\frac{1 \text{ mol N}_2}{2 \text{ mol NH}_3}$ $\frac{17,0 \text{ g NH}_3}{1 \text{ mol NH}_3}$ veya $\frac{1 \text{ mol NH}_3}{17,0 \text{ g NH}_3}$

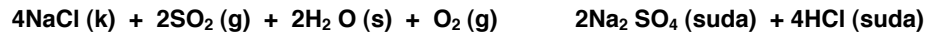
$$\text{N}_2 \text{ 'un mol sayısı} = 68 \text{ g NH}_3 \times \frac{1 \text{ mol NH}_3}{17,0 \text{ g NH}_3} \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{2 \text{ mol NH}_3} = 2 \text{ mol}$$

Burada ilk dönüşüm faktörü, amonyak gram miktarını mol sayısına çevirir. İkinci faktör ise amonyak mol sayısını azot mol sayısına çevirir. Kısaca

NH₃ 'ın gram miktarı **NH₃ 'ın mol sayısı** **N₂ 'un mol sayısı dönüşümü**
sağlanır.

Aşağıdaki reaksiyonu gözönünde bulundurarak, 30 mol sodyum

klorürden kaç gram sodyum sülfat elde edilebilir?



Yanıt: 2130 g Na₂SO₄

4.4. Kütle - Kütle Problemleri

Çoğu stokiyometri problemleri **kütle-kütle** dönüşümlerini içerir. Bu tür problemlerde reaksiyondaki bir maddenin **kütlesi** verilerek, diğer maddenin **kütlesinin** bulunması istenir.

Kütle - kütle problemleri ile çok sık karşılaşılmasının nedeni; bir reaktant veya ürün miktarının genellikle kütesinin ölçümü ile belirlenmesidir. (Gazlar hariç, gazların genellikle hacmini ölçmek daha uygun olur. Bu tip problemler Ünite 6 'da görülecektir.)

Kütle - kütle problemlerini çözmek için **üç dönüşüm faktörü** kullanılır. Sadece iki maddenin mol sayısını bulmak yeterli olmayıp, her iki maddenin mol sayısının da grama çevrilmesi gerekir.

Örnek 5.9 Yeteri kadar **hidrojen** kullanarak **280 g N₂** 'dan kaç **gram NH₃** elde edileceğini hesaplayınız.

Çözüm 5.9 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ Reaksiyonuna göre problemimizi özetleyelim:

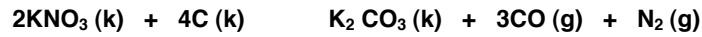
Bilinmeyen	Verilen	Bağıntı
NH ₃ gram miktarı	280 g N ₂	$\frac{1 \text{ mol } N_2}{2 \text{ mol } NH_3}$ veya $\frac{2 \text{ mol } NH_3}{1 \text{ mol } N_2}$; $\frac{1 \text{ mol } N_2}{28,0 \text{ g } N_2}$ veya $\frac{28,0 \text{ g } N_2}{1 \text{ mol } N_2}$; $\frac{1 \text{ mol } NH_3}{17,0 \text{ g } NH_3}$ veya $\frac{17,0 \text{ g } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3}$

$$NH_3 \text{ gram miktarı} = 280 \text{ g } N_2 \times \frac{1 \text{ mol } N_2}{28,0 \text{ g } N_2} \times \frac{2 \text{ mol } NH_3}{1 \text{ mol } N_2} \times \frac{17,0 \text{ g } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3} = 340 \text{ g}$$

Burada birinci dönüşüm faktörü N₂ gram miktarını, N₂ mol sayısına, ikinci dönüşüm faktörü N₂ mol sayısını, NH₃ mol sayısına, üçüncü dönüşüm faktörü ise NH₃ mol sayısını, g cinsinden kütleyle çevirir. Özet olarak,

N₂ 'un gram miktarı **N₂ 'un mol sayısı** **NH₃ 'ın mol sayısı** **NH₃ gram miktarı** dönüşümü sağlanır.

Yukarıdaki örnek bir reaktant ve bir ürün arasındaki bağıntıya dayalı idi. Benzer şekilde kütle-kütle problemleri iki reaktantı veya iki ürünü de içerebilir.



Reaksiyonuna göre, 7,25 g karbon ile reaksiyona girecek kaç gram potasyum nitrat gereklidir?

Yanıt: 30,5 g KNO₃

4. 5. Avogadro Sayısını İçeren Problemler

Bir nicelik, parçacık sayısı (atom, molekül veya formül birimi) ile ifade edilmek istenildiğinde, stokiometri problemlerinde **Avogadro sayısı** kullanımını gerektirir. Bu tip problemler kütle-kütle problemlerine benzer, ancak mol ve gram arasındaki dönüşüm yerine, **mol ve parçacık sayısı dönüşümü** yapılır.

Örnek 5.10 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$ Reaksiyonuna göre, **20 g** hidrojenen yeteri kadar azotla oluşacak **amonyak molekülünün sayısını** hesaplayınız.

Çözüm 5.10

Bilinmeyen	Verilen	Bağıntı
NH_3 molekül sayısı	20 g H_2	$\frac{1 \text{ mol } H_2}{2,02 \text{ g } H_2}$ veya $\frac{2,02 \text{ g } H_2}{1 \text{ mol } H_2}$; $\frac{3 \text{ mol } H_2}{2 \text{ mol } NH_3}$ veya $\frac{2 \text{ mol } NH_3}{3 \text{ mol } H_2}$ $\frac{1 \text{ mol } NH_3}{6,02 \times 10^{23} \text{ molekül } NH_3}$ veya $\frac{6,02 \times 10^{23} \text{ molekül } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3}$

$$\begin{aligned} NH_3 \text{ molekül sayısı} &= 20 \text{ g } H_2 \times \frac{1 \text{ mol } H_2}{2,02 \text{ g } H_2} \times \frac{2 \text{ mol } NH_3}{3 \text{ mol } H_2} \times \frac{6,02 \times 10^{23} \text{ molekül } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3} \\ &= 3,97 \times 10^{24} \text{ molekül} \end{aligned}$$

Örnek 5.11 $3,01 \times 10^{24}$ molekül amonyak oluşturmak için yeteri kadar hidrojen ile reaksiyona giren **azot kütleini** hesaplayınız.

Çözüm 5.11

Bilinmeyen	Verilen	Bağıntı
N_2 gram miktarı	$3,01 \times 10^{24}$ molekül NH_3	$\frac{1 \text{ mol } N_2}{2 \text{ mol } NH_3}$ veya $\frac{2 \text{ mol } NH_3}{1 \text{ mol } N_2}$ $\frac{1 \text{ mol } NH_3}{6,02 \times 10^{23} \text{ molekül } NH_3}$ veya $\frac{6,02 \times 10^{23} \text{ molekül } NH_3}{1 \text{ mol } NH_3}$ $\frac{1 \text{ mol } N_2}{28,0 \text{ g } N_2}$ veya $\frac{28,0 \text{ g } N_2}{1 \text{ mol } N_2}$

$$\begin{aligned} N_2 \text{ gram miktarı} &= 3,01 \times 10^{24} \text{ molekül } NH_3 \times \frac{1 \text{ mol } NH_3}{6,02 \times 10^{23} \text{ molekül } NH_3} \times \frac{1 \text{ mol } N_2}{2 \text{ mol } NH_3} \times \frac{28,0 \text{ g } N_2}{1 \text{ mol } N_2} \\ &= 70 \text{ g} \end{aligned}$$

Burada, birinci faktör amonyak molekül sayısını, amonyak mol sayısına, ikinci faktör amonyak mol sayısını, azot mol sayısına, üçüncü faktör azot mol sayısını, azot gram miktarına çevirir. Kısaca,

NH₃ molekül sayısı **NH₃ mol sayısı** **N₂ mol sayısı** **N₂ gram miktarı**
dönüşümü sağlar.



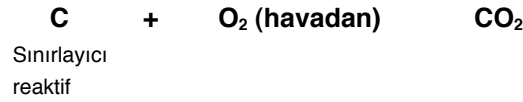
Yukarıdaki reaksiyona göre $2,00 \times 10^{22}$ formül birimi sodyum karbonattan kaç gram sodyum tiyosülfat elde edilebilir?

Yanıt: 15,75 g Na₂S₂O₃

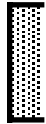
4. 6. Sınırlayıcı Reaktif Problemleri

Pek çok gerçek kimyasal reaksiyonun yer aldığı laboratuarda, endüstride veya doğada en azından bir reaktant fazla miktarda olup tamamı kullanılmadan kalır. Örneğin, karbonu kömür olarak açıkta yaktığımızı düşünelim. Karbonun hepsinin yanıp bitmesinden sonra havada hala oksijen bulunacaktır.

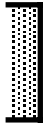
Bu durumda oksijen reaktantı aşırı miktarda mevcuttur.



Bu reaksiyon, karbonun tamamı harcandığında, ne kadar oksijenin bulunduğuyla bağlı olmaksızın duracaktır. Burada karbon "**sınırlayıcı madde**" veya "**sınırlayıcı reaktif**" olarak adlandırılır.



Sınırlayıcı reaktif, reaksiyonda ilk önce harcanan ve dolayısıyla reaksiyonun yürümesini engelleyen reaktiftir.



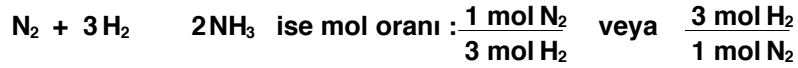
Bir reaksiyonda, sınırlayıcı reaktifi bulmak için reaktantların kütlelerini mole çevirmek gerekir.

Örnek 5.12 15,0 g N₂ ve 2,5 g H₂ , amonyak eldesi için reaksiyona sokulduğunda, sınırlayıcı reaktif hangisidir?

Çözüm 5.12 Öncelikle verilen nicelikleri mole çevirelim:

$$15,0 \text{ g N}_2 \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{28,0 \text{ g N}_2} = 0,54 \text{ mol N}_2 ; 2,5 \text{ g H}_2 \times \frac{1 \text{ mol H}_2}{2,02 \text{ g H}_2} = 1,24 \text{ mol H}_2$$

Sonra bu miktarları mol oranları ile kıyaslayalım.



Mol oranı; 1 mol azot molekülü için, 3 mol hidrojen molekülü olduğunu gösterir. Dolayısıyla azotun hepsini kullanmak için,

$$0,54 \text{ mol N}_2 \times \frac{3 \text{ mol H}_2}{1 \text{ mol N}_2} = 1,62 \text{ mol H}_2 \text{ olmalıdır.}$$

Fakat sadece 1,24 mol H₂ mevcuttur. O halde H₂ 'nin hepsi harcanacak, azotun tamamı reaksiyonuna girmeden kalacaktır.

$$1,24 \text{ mol H}_2 \times \frac{1 \text{ mol N}_2}{3 \text{ mol H}_2} = 0,41 \text{ mol N}_2$$

0,54 mol N₂ bulunmakta fakat 0,41 mol N₂ gerekmektedir. Bu durumda **hidrojen sınırlayıcı reaktiftir.**

Reaksiyona girmeden kalan N₂ mol sayısı $0,54 - 0,41 = 0,13 \text{ mol'dür.}$

$$\text{Kalan N}_2 \text{ kütlesi : } 0,13 \text{ mol N}_2 \times \frac{28,0 \text{ g N}_2}{1 \text{ mol N}_2} = 3,64 \text{ g N}_2$$



Reaksiyonunu gözönüne alarak, 15,1 g plutonyum florür 12,5 g kalsiyum ile reaksiyona girdiğinde sınırlayıcı reaktifin reaktantlarda hangisi olduğunu bulunuz.

Yanıt: PuF₃ sınırlayıcı reaktiftir.

4.7. Yüzde Verim

Bir stokiyometri probleminde teorik olarak **hesaplanan ürün miktarı**, gerçekte **elde edilen miktar** ile genellikle aynı değildir. Çünkü, reaksiyon sırasında yan ürünler oluşabilir veya reaksiyon tamamlanmayabilir veya ürünün bir miktarı deneysel koşullara bağlı olarak kaybolabilir. Bu faktörlerin hepsi sonuçta ürün miktarında azalmaya neden olur.

Bir reaksiyon sonunda elde edilen ürün saflaştırıldıktan sonra tartılır, bu nicelik reaksiyonun gerçek verimidir. Teorik verim ise hesaplama ile bulunan miktardır. Bir reaksiyonun teorik verimi, reaksiyon ürünlerinin en yüksek, yani % 100 verimle ve denklemden beklenildiği miktarda olmasına karşılık gelir. Gerçek verimle, teorik verim oranı yüzde olarak ifade edilirse, "**yüzde verim**" olarak adlandırılır.

$$\% \text{ verim} = \frac{\text{gerçek verim (g)}}{\text{teorik verim (g)}} \times 100$$

Örnek 5.13. Bir reaksiyonda hesaplanan teorik verim 9,0 g'dır. Ancak elde edilen ürün ise 7,2 g'dır. Buna göre % verim nedir?

Çözüm 5.13.

$$\% \text{ verim} = \frac{7,2 \text{ g}}{9,0 \text{ g}} \times 100 = \% 80$$



Yukarıdaki reaksiyonu göz önüne alarak, 200 g kurşun nitrat ısıtıldığında 120 g kurşun oksit elde edilmişse, bu deneyin yüzde verimini hesaplayınız?

Yanıt: % 88,9

Özet

Kimyasal değişme, maddenin özelliklerinin ve bileşiminin değişmesine neden olan bir değişme olup, yeni bir maddenin oluşumu sonucunu verir.

Bir **kimyasal reaksiyon**, bazı kimyasal bağların kırıldığı ve yeni bağların oluştuğu bir kimyasal değişme sürecidir. Reaksiyonlar, atomların veya moleküllerin uygun şekilde çarpışması ve atomların yeniden düzenlenerek yeni bileşikler vermesiyle gerçekleşir.

Bir **kimyasal denklem**, reaksiyondaki maddelerin formülleri ile meydana gelen kimyasal değişmeyi özetler. Kimyasal denklemde, başlangıç maddeleri yani reaktantlar ürün olarak adlandırılan yeni maddelerden bir ok ile ayrılır. Bu ok kimyasal değişmenin yönünü belirtir.

Denkleştirme, reaktantların veya ürünlerin önüne uygun katsayı denen çarpanlar konularak yapılır. Denkleştirilmiş bir denklemde her çeşit elementin atom sayısı denklemin her iki yanında aynıdır. Denkleştirilmiş denklem, bir kimyasal reaksiyon için faydalı bir özet sağlar. Sadece hangi elementlerin veya bileşiklerin kullanıldığını ve oluştuğunu ifade etmekle kalmayıp, aynı zamanda bağlı miktarları da gösterir. Denklemler atom, molekül, formül birimi veya mol sayısı terimleri ile yorumlanabilir.

Stokiyometri terimi, bir kimyasal reaksiyonda yer alan element veya bileşiklerin niceliklerinin hesaplanmasını ifade eder. Bu hesaplamalar, reaktantların ve ürünlerin mol sayıları terimi ile kimyasal denklemin yorumuna dayandırılır ve **stokiyometrik hesaplamalar** adını alır.

Stokiyometri problemlerinin en basit tipi **mol-mol** dönüşümüdür. Verilen bir maddenin mol sayısına göre reaksiyonda istenen maddenin mol sayısını bulmayı içerir. **Mol-kütle** problemleri ise verilen bir maddenin mol sayısına göre istenen maddenin kütleini bulmayı içerir. Çoğu stokiyometri problemleri **kütle-kütle** dönüşümlerini içerir. Bir kütle-kütle probleminde reaksiyonda verilen maddenin kütlesi ile istenen maddenin kütleinin bulunması amaçlanır.

Bazı stokiyometri problemleri, nicelikleri parçacık sayısı ile ifade etmek için **Avogadro sayısının** kullanımını gerektirir. Bu tür problemler kütle-kütle problemlerine benzer ancak moller ve gramlar arasındaki dönüşüm yerine, moller ve parçacık sayıları arasındaki dönüşümler yapılır.

Çoğu gerçek kimyasal reaksiyonlarda, bir reaktant reaksiyonun ne kadar gideceğini sınırlar. Bu reaktant **sınırlayıcı reaktif** olarak bilinir. Çünkü ilk önce bu reaktant harcanır. Stokiyometrik hesaplar bir reaksiyonda sınırlayıcı reaktife dayandırılır.

Stokiyometri probleminde hesaplanan ürünün miktarı gerçekte reaksiyonda elde edilen miktarlarla aynı değildir. Bir reaksiyonun **yüzde verimi**, gerçek verimin teorik verime bölünüp 100 'le çarpılmasıyla bulunur.

Değerlendirme Soruları

Aşağıdaki soruların doğru yanıtlarını verilen seçenekler arasından bulunuz.

1. Aşağıdakilerden hangisi **yanlıştır**?

- A) Kimyasal reaksiyon "kimyasal değişme" süreci olarak tanımlanabilir.
- B) Kimyasal reaksiyonda kütle korunumu yasası geçerli değildir.
- C) Denkleştirilmiş kimyasal denklemde elementlerin korunumu sağlanır.
- D) Bir kimyasal denklemin tüm katsayılarını aynı sayı ile çarpmak denkliği bozmaz.
- E) Denkleştirme işleminde formül değiştirilmez.

2. Karbon + kükürt dioksit karbon disülfür + karbon monoksit

Reaksiyonu için aşağıdakilerden hangisi denkleştirilmiş denklemi ifade eder?

- A) $K + CO_2 \rightarrow KS_2 + CO$
- B) $2C + SO_2 \rightarrow CS + CO$
- C) $5C + 2SO_2 \rightarrow CS_2 + 4CO$
- D) $5C + SO_2 \rightarrow CS_2 + CO$
- E) $2Cu + CO_2 \rightarrow CuS + CuO$

3. $xBaCl_2 + yLi_3(PO_4) \rightarrow zBa_3(PO_4)_2 + tLiCl$

Reaksiyon denkleminin denkleştirilebilmesi için x, y, z ve t değerleri aşağıdakilerden hangisindeki gibi olmalıdır?

- | | <u>x</u> | <u>y</u> | <u>z</u> | <u>t</u> |
|----|----------|----------|----------|----------|
| A) | 1 | 2 | 2 | 3 |
| B) | 3 | 2 | 1 | 6 |
| C) | 2 | 1 | 3 | 6 |
| D) | 3 | 1 | 6 | 2 |
| E) | 6 | 1 | 3 | 2 |

4. "Katı amonyum klorür ile kalsiyum hidroksit çözeltisi reaksiyona sokulduğunda amonyak gazı ve suda kalsiyum klorür ve sıvı su oluşturur." ifadesi için aşağıdakilerden hangisi denkleştirilmiş denklemi ifade eder?

- A) $\text{NH}_4 \text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{NH}_4^+ + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
B) $2\text{NH}_4 \text{Cl} (\text{k}) + \text{Ca}(\text{OH})_2 (\text{suda}) \rightarrow 2\text{NH}_3 (\text{g}) + \text{CaCl}_2 (\text{suda}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{s})$
C) $2\text{NH}_4 \text{Cl} (\text{g}) + \text{Ca}(\text{OH})_2 (\text{k}) \rightarrow 2\text{NH}_3 (\text{suda}) + \text{CaCl}_2 (\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O} (\text{g})$
D) $\text{NH}_4 \text{Cl}_2 (\text{k}) + \text{Ca}(\text{OH})_2 (\text{suda}) \rightarrow 2\text{NH}_4^+ (\text{suda}) + \text{CaCl}_2 (\text{suda}) + \text{H}_2\text{O} (\text{s})$
E) $2\text{NH}_4 \text{Cl} (\text{s}) + \text{Ca}(\text{OH})_2 (\text{suda}) \rightarrow \text{NH}_3 (\text{suda}) + \text{CaCl}_2 (\text{k}) + \text{H}_2\text{O} (\text{s})$

5. $\text{Al}_2 \text{S}_3 (\text{k}) + 6\text{H}_2\text{O} (\text{s}) \rightarrow 2\text{Al} (\text{OH})_3 (\text{k}) + 3\text{H}_2 \text{S} (\text{g})$

Reaksiyonuna göre 1,75 mol $\text{Al}(\text{OH})_3$ ile kaç mol $\text{H}_2 \text{S}$ elde edilir? 9,3 mol $\text{H}_2 \text{O}$ ile reaksiyona girecek $\text{Al}_2 \text{S}_3$ mol sayısı nedir?

- A) 2,63 mol $\text{H}_2 \text{S}$, 1,55 mol $\text{Al}_2 \text{S}_3$ B) 1 mol $\text{H}_2 \text{S}$, 2 mol $\text{Al}_2 \text{S}_3$
C) 4,20 mol $\text{H}_2 \text{S}$, 1 mol $\text{Al}_2 \text{S}_3$ D) 2 mol $\text{H}_2 \text{S}$, 5 mol $\text{Al}_2 \text{S}_3$
E) 2,63 mol $\text{H}_2 \text{S}$, 3 mol $\text{Al}_2 \text{S}_3$

6. $\text{KClO}_3 (\text{k}) + 3\text{KNO}_2 (\text{k}) \rightarrow 3\text{KNO}_3 (\text{k}) + \text{KCl} (\text{k})$

Reaksiyonuna göre 25,0 g KClO_3 'tan kaç mol KNO_3 elde edilir? 10,1 mol KNO_2 ile reaksiyona girecek KClO_3 'ın gram miktarı nedir?

- A) 2 mol KNO_3 , 200 g KClO_3 B) 1 mol KNO_3 , 100 g KClO_3
C) 0,612 mol KNO_3 , 413 g KClO_3 D) 0,612 mol KNO_3 , 214 g KClO_3
E) 0,200 mol KNO_3 , 413 g KClO_3

7. $\text{PbS} (\text{k}) + 2\text{PbO} (\text{k}) \rightarrow 3\text{Pb} (\text{k}) + \text{SO}_2 (\text{g})$

Reaksiyonuna göre, 625 g kurşun elde edilmişse, oluşan kükürt dioksit kaç gramdır?

- A) 64,4 g SO_2 B) 32,0 g SO_2 C) 128,0 g SO_2 D) 10,0 g SO_2 E) 23,0 g SO_2

