

1. ÜNİTE

1. BÖLÜM

İndirgenme - Yükseltgenme Tepkimelerinde İstemlilik ve Elektrik Akımı

2. BÖLÜM

Elektrotlar ve Elektrokimyasal Hücreler

3. BÖLÜM

Ne Neyi Yükseltir/İndirir?

4. BÖLÜM

Kimyasallardan Elektrik Üretimi

5. BÖLÜM

Elektroliz

6. BÖLÜM

Korozyon



KİMYA VE ELEKTRİK

Benzin, mazot gibi sıvı yakıtlarla çalışan bir otomobil, yakıtta depolanan kimyasal enerjiyi kinetik enerjisine yaklaşık % 25 verimle çevirir. Ancak elektrik enerjisi ile hareket eden bir otomobilde enerjinin çevrilmesi sırasındaki verim yaklaşık üç kat daha fazladır. Ancak şimdiye kadar kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren teknolojiler yeterince gelişmediğinden ve düşük maliyetli benzin elde edilebildiğinden, içten yanmalı motorlarla çalışan araçların egemenliği devam etmektedir. Fosil yakıtların tüketilmesindeki artış ve çevre kirliliği de elektrik enerjisiyle çalışan otomobillerin önemini artırmıştır.

Bu ünite de istemli ve istemsiz indirgenme-yükseltgenme tepkimelerini, elektrik akımının oluşmasını, elektrokimyasal hücreleri, pilleri, elektrolizi ve korozyon olayını öğreneceğiz.

1. ÜNİTE

1. BÖLÜM

İÇERİK

- 1.1.1 İndirgenme - Yükseltgenme
- 1.1.2 Nötr Redoks Tepkimelerinin Denkleştirilmesi
- 1.1.3 İyonik Redoks Tepkimelerinin Denkleştirilmesi
- 1.1.4 Elektrik Enerjisi ve Tepkimenin İstemliliği

İndirgenme - Yükseltgenme Tepkimelerinde İstemlilik ve Elektrik Akımı

Demir, oda koşullarında katı, yeni kesilmiş yüzeyi parlak bir metaldir. Yeterli süre beklenildiğinde yüzeyi matlaşır ve metalin tamamı oksitlenerek demir pası hâline dönüşür. Demir metali mıknatıs tarafından çekilirken, tepkime sonucunda yeni oluşan $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ yapısındaki pas mıknatıs tarafından çekilmez. Demir metalinin paslanarak demir pası haline gelmesi kolay oluşabilen bir tepkimedir. Ancak demir pasından demir metalinin oluşması zor gerçekleşir.

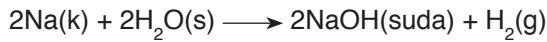
Bu bölümde indirgenme-yükseltgenme olayı, yükseltgenme basamakları değişimi ve elektronların izlenmesi, iyonik redoks tepkimelerinin denkleştirilmesi ve tepkime istemliliğinin elektrik enerjisini oluşturmasını öğreneceğiz.



1.1.1 İndirgenme - Yükseltgenme

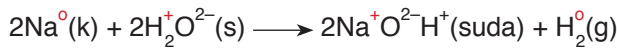
Kimyasal enerjinin elektrik enerjisine veya elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşümünü inceleyen kimya alt dalına **elektrokimya** denir. Elektrokimyasal işlemler sırasında oluşan tepkimeler indirgenme ve yükseltgenme olaylarının gerçekleştiği redoks tepkimeleridir.

Sodyum metalinin [Na(k)] su ile verdiği şiddetli tepkime sonucunda hidrojen gazı (H₂(g)) oluşur. Resim 1.1'de görüldüğü gibi ekzotermik tepkime sonucunda açığa çıkan ısı enerjisi ile oluşan H₂ gazı alevli bir şekilde yanabilmektedir.



Resim 1.1 ▶ Sodyum metalinin su ile tepkimesi

Sodyum metalinin su ile verdiği bu tepkimede Na(k) elektron kaybederken H₂O bileşiğindeki H atomu da elektron kazanır. Elektron kaybeden veya kazanan elementleri belirleyebilmek için, tepkimedeki her elementin yükseltgenme basamağını görecektir şekilde tepkimeyi tekrar yazalım.

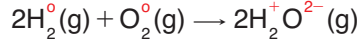


Elektronların bir türden başka bir türe aktarılması bir yükseltgenmedeki gerekli olay olarak kabul edilir. Elektronların göç ettiği atom veya iyonlar dikkate alınmaksızın elektron kaybı **yükseltgenme** olarak tanımlanır.

Elektron kaybını, bir türün yükseltgenme basamağındaki artışı gözlemleyerek anlayabiliriz. Tepkimedeki sodyum metalinin yükseltgenme basamağı Na⁰ atomundaki sıfır değerinden Na⁺ iyonundaki +1 değerine artış göstermiştir. Sodyum metali bir elektron kaybederek yükseltgenmiştir.

Aynı tepkimede H₂O molekülünde bulunan hidrojen atomunun yükseltgenme basamağı (+)'dir. H₂O molekülündeki H⁺ iyonu bir elektron kazanarak yükseltgenme basamağını sıfır yapmıştır. Yükseltgenme olayındakine benzer şekilde elektronların göç ettiği atom veya iyonlara bakılmaksızın elektron kazanımı **indirgenme** olarak tanımlanır. H⁺ iyonu bir elektron kazanarak yüksüz hidrojen atomuna indirgenmiştir.

Sodyum metalinin H₂O sıvısı ile olan tepkimesinde elektron kaybı (yükseltgenme) ve elektron kazanımı (indirgenme) olduğundan bu tepkime bir redoks tepkimesidir. Bu tepkime sonucunda oluşan H₂ gazı ortam sıcaklığının artışı nedeni ile havadaki O₂ gazı ile tepkime vererek alevli bir şekilde yanar.



Bu yanma tepkimesinde H₂^o molekülündeki yüksüz H atomu elektron kaybederek H₂O molekülündeki H⁺ iyonunu oluşturur. Bu olay elektron kaybı olduğundan yükseltgenmedir. O₂ molekülündeki yüksüz O atomu ise elektron kazanarak H₂O molekülündeki O²⁻ iyonunu oluşturur. Bu olay ise elektron kazanımı olduğundan indirgenmedir. H₂ molekülünün yanma tepkimesinde yükseltgenme ve indirgenme olayları birlikte gerçekleştiğinden bu tepkime bir redoks tepkimesidir.

İndirgenme Latince “reductio” kelimesinden hareketle redüksiyon olarak adlandırılırken, yükseltgenme orijinal olarak “oksijenle tepkime” anlamında oksitlenme olarak adlandırılır. Redüksiyon ve oksitlenme (oksidasyon) kelimelerinden indirgenme-yükseltgenme anlamında **redoks** kelimesi türetilmiştir.

Yükseltgenme olayının elektron kaybetme, indirgenme olayının elektron kazanma olduğunu öğrendik. Elektronlar kütleli, gerçek taneceklerdir. Bir tür elektron kaybediyorsa başka bir türün elektron kazanması gerekir. Bu yüzden bir tür yükseltgendiğinde diğer bir tür indirgenir. Ayrı ayrı incelediğimiz yükseltgenme ve indirgenme olayları birbirine eşlik eden olaylardır. Bir kimyasal tepkimede yükseltgenme varsa kesinlikle indirgenme olayı da vardır. Kaybedilen elektronları kazanan bir tür kesinlikle bulunmalıdır.

1. Etkinlik



İndirgenme-Yükseltgenmenin İzlenmesi

Ne Öğreneceğiz?

- ◆ Magnezyum metalinin oksijenle tepkimesindeki indirgenme ve yükseltgenme olaylarının oluşunu gözleyeceğiz.

Araç ve Gereçler

- ◆ Magnezyum şeridi, pens, çakmak.

Etkinlik Basamakları

- ▶ Magnezyum şeridinden 4-5 cm'lik bir parça kesilir.
- ▶ Bir pens yardımı ile magnezyum parçası tutularak çakmak yardımı ile ısıtılır.
- ▶ Tutuşma sıcaklığına gelen magnezyum metali çok şiddetli ve parlak bir alevle tutuşarak yanar.
- ▶ Oluşan reaksiyonun tepkime denklemi yazılarak denklem yorumlanır.



Yorum

- ▶ Magnezyum kolaylıkla yükseltgenir. Su ve karbondioksit içinde bile yanmaya devam edebildiğinden magnezyum yangınlarının söndürülmesi oldukça zordur.
- ▶ $2\text{Mg}(k) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{MgO}(k)$

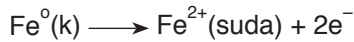
Resim 1.2'de görülen bu tepkime havai fişeklerde beyaz kıvılcıklar oluşturmak için kullanılır. Tepkime devam ederken katı Mg parçasındaki Mg atomları elektron kaybederek Mg^{2+} iyonlarını oluştururken moleküler oksijendeki O atomları elektron alarak O^{2-} iyonlarını oluşturur. Bu tepkime Mg metalinin yükseltgenme tepkimesidir. Yanma sırasında O_2 molekülündeki O atomları da indirgenir. Tepkime bir redoks tepkimesidir.



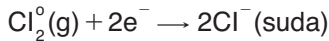
Resim 1.2 ▶ Beyaz ışık saçan havai fişek gösterilerinde magnezyum metalinin kullanılması

1.1.2 Nötr Redoks Tepkimelerinin Denkleştirilmesi

Her elemente bir yükseltgenme basamağı verilerek elektronların izlenmesi sağlanabilir. Yükseltgenme, yükseltgenme basamağındaki artış, indirgenme ise yükseltgenme basamağındaki azalmadır.



Fe elementin yükseltgenme basamağı 0, Fe^{2+} iyonunun yükseltgenme basamağı +2'dir. Fe elementi 2 tane elektron vererek +2 yükseltgenme basamağına yükseltgenmiştir.

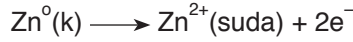


Cl_2 molekülündeki sıfır yükseltgenme basamağındaki her bir Cl atomu bir elektron alarak -1 yükseltgenme basamağına indirgenmiştir.

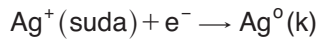
Yükseltgenmeye neden olan türler **yükseltgen madde (yükseltgen)**, indirgenmeye neden olan türler ise **indirgen madde (indirgen)** olarak tanımlanır. Yükseltgen madde indirgenen, indirgen madde yükseltgenendir.

Bir yükseltgen madde yükseltgenen türün verdiği elektronları alır, kendisi indirgenir. Bir indirgen madde ise indirgenen türe elektron verir, kendisi yükseltgenir.

İndirgenme-yükseltgenme tepkimelerinin denkleştirilmesinin anahtarı, indirgenme ve yükseltgenme tepkimelerini ayrı ayrı düşünmektir. Yükseltgenmenin elektronların kaybedilmesi, indirgenmenin elektronların kazanılması olduğu düşünülerek yarı tepkimeler yazılır. Bir **yarı tepkime**, bir tepkimenin sadece yükseltgenme veya indirgenme kısmıdır. Yükseltgenme yarı tepkimesi bir redoks tepkimesinde yükseltgenen türden elektron uzaklaşmasını gösterir.



Zn atomunun Zn^{2+} iyonuna yükseltgenmesini gösteren yükseltgenme yarı tepkimesinde verilen 2 elektron, denkleğin ürünler kısmında gösterilmiştir.



Ag^+ iyonunun Ag atomuna indirgenmesini gösteren indirgenme yarı tepkimesinde alınan bir elektron denkleğin girenler kısmında gösterilmiştir.

Yükseltgenme ve indirgenme yarı tepkimelerindeki türler ortaklaşa bir yükseltgenme-indirgenme çiftini oluştururlar. Bu yarı tepkimeler birlikte gösterilirse bir redoks tepkimesi yazılmış olur. Bu redoks tepkimesinde atom sayıları ve yüklerin eşitliği dikkate alınarak denkleştirme yapılır.

Bir kimyasal tepkimenin redoks tepkimesi olup olmadığının belirlenebilmesi için tepkimeye giren türlerdeki her bir elementin yükseltgenme basamaklarının belirlenmesi gerekir. Bu nedenle bir redoks tepkimesinin denkleştirilmesinde kullanmak için bazı anyon ve kationların yükseltgenme basamakları Tablo 1.1'de verilmiştir.

Tablo 1.1 ► Bazı iyonların yükseltgenme basamakları

Yükseltgenme Basamağı	İyonlar
+1	H^+ , H_3O^+ , Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Ag^+ , Cu^+ , NH_4^+ , Hg^+
+2	Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{2+} , Pb^{2+} , Hg^{2+} , Mn^{2+} , Sn^{2+} , Ni^{2+}
+3	Al^{3+} , Bi^{3+} , Co^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+}
+4	Pb^{4+} , Mn^{4+} , Sn^{4+}
+6	Cr^{6+} , Mn^{6+}
-1	H^- , F^- , Cl^- , Br^- , I^- , MnO_4^- , NO_3^- , HSO_4^- , HCO_3^- , CN^- , OH^- , NO_2^- , ClO_3^- , CH_3COO^- , HCOO^-
-2	O^{2-} , S^{2-} , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , CrO_4^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, CO_3^{2-} , MnO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, $(\text{O}_2)^{2-}$
-3	PO_4^{3-} , P^{3-} , N^{3-} , C^{3-}

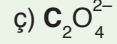
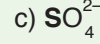
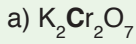
Tablo 1.1'de bazı elementlerin birden fazla yükseltgenme basamağı aldığı görülmektedir. Bir ametal olan hidrojen -1 veya $+1$, belirli metallerde farklı pozitif yükseltgenme basamaklarında bulunabilir.

Elementlerin yükseltgenme basamaklarının belirlenmesinde aşağıdaki kurallar bize kolaylık sağlayacaktır:

- 1) Atomik veya moleküler yapıdaki bütün elementlerin yükseltgenme basamakları sıfırdır (Na^0 , Cu^0 , H_2^0 , F_2^0 , P_4^0 , S_8^0 gibi).
- 2) Tek atomlu iyonların yükleri yükseltgenme basamaklarını verir. Na^+ iyonunda yükseltgenme basamağı $+1$, O^{2-} iyonunda yükseltgenme basamağı -2 'dir.
- 3) Hidrojen, ametallerle yaptığı bileşiklerinde $+1$ yükseltgenme basamağına sahipken metallere oluşturduğu hidrür bileşiklerinde -1 yükseltgenme basamağında bulunur. Hidrojen; H_2O , NH_3 , CH_4 , HNO_3 bileşiklerinde $+1$ yükseltgenme basamağında bulunurken; NaH , CaH_2 , KH , MgH_2 gibi hidrür bileşiklerindeki yükseltgenme basamağı -1 'dir.
- 4) Oksijen bileşiklerinde genellikle -2 yükseltgenme basamağında bulunurken, peroksit bileşiklerinde -1 yükseltgenme basamağında, süperoksit bileşiklerinde $-\frac{1}{2}$ yükseltgenme basamağında bulunur. Sadece OF_2 bileşiğinde ise $+2$ yükseltgenme basamağında bulunur. Oksijen elementi; H_2O , Na_2O , NO_2 bileşiklerinde -2 yükseltgenme basamağında; H_2O_2 , Na_2O_2 , CaO_2 bileşiklerinde -1 yükseltgenme basamağında, NaO_2 ve KO_2 bileşiklerinde ise $-\frac{1}{2}$ yükseltgenme basamağında bulunur.
- 5) 17. grup elementleri olan halojenlerin genelde bileşiklerindeki yükseltgenme basamakları -1 'dir. Ancak bir halojen kendinden daha elektronegatif bir atomla bağ oluşturduğunda $+1$ ile $+7$ arasında yükseltgenme basamağına sahip olabilir. Elektronegatifliği florndan büyük element bulunmadığı için flor bütün bileşiklerinde sadece -1 yükseltgenme basamağında bulunur.
- 6) Moleküller veya iyonik bütün bileşiklerdeki atomların yükseltgenme basamaklarının toplamı her zaman sıfırdır. H_2O , H_2SO_4 , KMnO_4 bileşikleri dışarıya karşı sıfır yüküdür.
- 7) Çok atomlu iyonlardaki element atomlarının yükseltgenme basamaklarının toplamı iyon yüküne eşittir. CO_3^{2-} iyonunda karbon ve oksijen C^{4+} ve O^{2-} yükseltgenme basamağında olduğundan $(\text{C}^{4+}\text{O}_3^{2-})^{2-}$ yapısındaki karbonat iyonu -2 iyon yüküne sahiptir. Benzer şekilde NH_4^+ iyonunda azot ve hidrojen H^+ ve N^{3-} yükseltgenme basamağında olduğundan $(\text{N}^{3-}\text{H}_4^+)^+$ yapısındaki amonyum iyonu $+1$ iyon yüküne sahiptir.

Örnek

Aşağıda verilen bileşik ve iyonlardaki koyu renkle gösterilen element atomlarının yükseltgenme basamaklarını hesaplayınız.



Çözüm

- a) $K_2Cr_2O_7$ bileşiğinde elementlerin yükseltgenme basamaklarının toplamı sıfırdır. K ve O elementlerinin yükseltgenme basamaklarını K^+ ve O^{2-} olarak bildiğimizden Cr iyonunun yükseltgenme basamağını X olarak hesaplayalım.

$$[2x (+1)] + 2X + [7 \times (-2)] = 0$$

$$X = +6$$

$K_2Cr_2O_7$ bileşiğindeki Cr iyonunun yükseltgenme basamağı +6'dır.

- b) $KMnO_4$ bileşiğinde elementlerin yükseltgenme basamaklarının toplamı sıfırdır. Mn iyonunun yükseltgenme basamağını X olarak hesaplayalım.

$$+1 + X + [4 \times (-2)] = 0$$

$$X = +7$$

$KMnO_4$ bileşiğinde Mn iyonunun yükseltgenme basamağı +7'dir.

- c) SO_4^{2-} iyonunda elementlerin yükseltgenme basamaklarının toplamı -2'dir. S iyonunun yükseltgenme basamağını X olarak hesaplayalım.

$$X + [4 \times (-2)] = -2$$

$$X = +6$$

SO_4^{2-} iyonundaki S elementinin yükseltgenme basamağı +6'dır.

- ç) $C_2O_4^{2-}$ iyonunda elementlerin yükseltgenme basamaklarının toplamı -2'dir. C elementinin yükseltgenme basamağını X olarak hesaplayalım.

$$2X + [4 \times (-2)] = -2$$

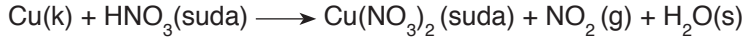
$$X = +3$$

$C_2O_4^{2-}$ iyonundaki C elementinin yükseltgenme basamağı +3'tür.

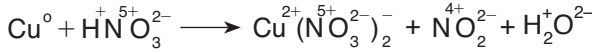
Nötr bir redoks tepkimesinin denkleştirilmesi için yarı-reaksiyon yöntemi kullanılabilir. Bu bölümde yapacağımız denkleştirmelerde tepkimelerdeki bütün bileşenler iyon yükü bakımından nötrdür.

Yarı-Reaksiyon Yöntemi

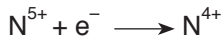
Nötr ortamda yarı-reaksiyon yöntemi ile tepkime denklemlerinin denkleştirilme kurallarını aşağıda verilen redoks tepkimesi üzerinde görelim:



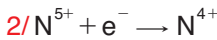
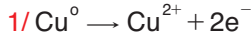
- 1) Tepkimedeki her bir element atomunun yükseltgenme basamağı belirlenir.



- 2) Verilen tepkimede yükseltgenme basamağı değişen elementler ile indirgenme ve yükseltgenme yarı tepkimeleri yazılır.



- 3) Yarı tepkimeler, elektron sayılarını eşitlemek amacı ile uygun katsayılarla çarpılır ve taraf tarafa toplanır.



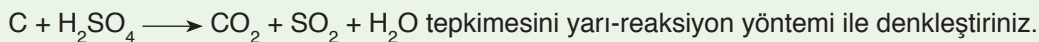
- 4) Bulunan katsayılar toplam tepkime denklemi üzerine aktarılır. Redoksa katılmayan atomların denklığı ayrıca sayılarak yapılır.



HNO₃ bileşiğindeki +5 yükseltgenme basamağındaki atomların tamamı NO₂ bileşiğindeki +4 yükseltgenme basamağına indirgenmediğinden HNO₃ bileşiğine 2 katsayısı yazılmaz.

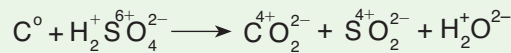
Örnek

Nötr ortamda gerçekleşen,

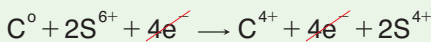
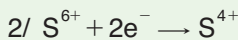
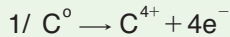


Çözüm

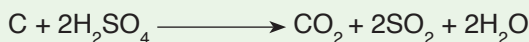
Öncelikle tepkimedeki bütün element atomlarının yükseltgenme basamaklarını bulalım.



Yükseltgenme basamağı değişen elementlerle yarı tepkimeleri yazarak elektron sayılarını eşitleyelim. Yarı tepkimeleri de taraf tarafa toplayalım.



Bulduğumuz katsayıları toplam tepkime üzerine aktararak redoksa katılmayan atomların denklığını yapalım.



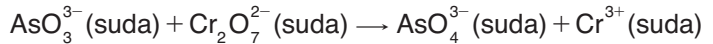
Öğrendiklerimizi Uygulayalım

- 1) Aşağıda verilen bileşiklerde ve iyonlarda koyu renkle gösterilen element atomlarının yükseltgenme basamaklarını bulunuz.
- a) $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ b) NaH_2PO_3 c) AsO_2^- ç) ClO_3^-
- 2) Aşağıda verilen kimyasal tepkimelerdeki indirgen ve yükseltgen türleri belirleyiniz.
- a) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{HCl} \longrightarrow \text{KCl} + \text{MnCl}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
b) $\text{Al} + \text{HNO}_3 \longrightarrow \text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
c) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{KI} \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{I}_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
ç) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HCl} \longrightarrow \text{KCl} + \text{CrCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 3) Nötr ortamda gerçekleşen aşağıdaki tepkimeleri yarı-reaksiyon yöntemi ile denkleştiriniz.
- a) $\text{Fe} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
b) $\text{KMnO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$
c) $\text{KClO}_3 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{KCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$
ç) $\text{NaNO}_3 + \text{NaOH} + \text{Zn} \longrightarrow \text{Na}_2\text{ZnO}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$

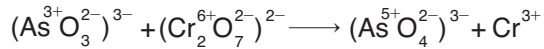
1.1.3 İyonik Redoks Tepkimelerinin Denkleştirilmesi

Redoks tepkimeleri nötr ortamda gerçekleşebileceği gibi asidik veya bazik ortamda da gerçekleşebilir. Bu durumda ortamın asidik veya bazik olduğu belirtilmelidir. Asidik veya bazik ortamda gerçekleşen redoks tepkimelerinin yarı-reaksiyon yöntemi ile denkleştirilmesi kurallarını aşağıda verilen asidik redoks tepkimesi üzerinde görelim.

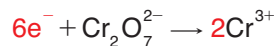
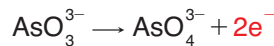
1.1.3.1 Asidik Redoks Tepkimelerinin Denkleştirilmesi



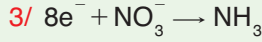
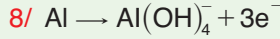
- 1) Tepkimedeki her bir element atomunun yükseltgenme basamağı belirlenir.



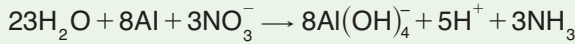
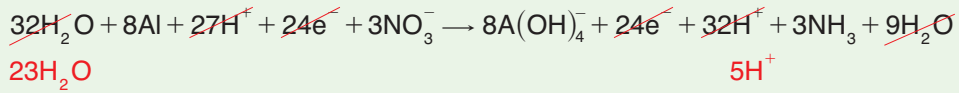
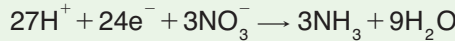
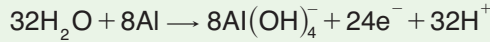
- 2) Tepkime, yükseltgenen ve indirgenen elementleri içeren türlerin tamamı alınarak iki yarı reaksiyona ayrılır. Bu yarı reaksiyonlardaki hidrojen ve oksijen dışındaki elementlerin atom sayıları eşitlenir. Alınan ve verilen elektron sayıları yarı reaksiyonlarda gösterilir.



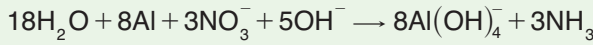
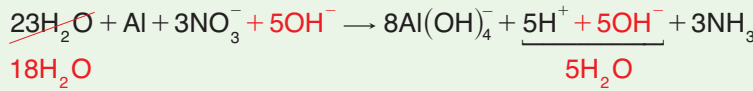
- 3) Yarı reaksiyonlar, elektron sayıları eşitlenecek şekilde uygun katsayılarla çarpılır.



- 4) Yarı reaksiyonlarda, oksijen atomunun eksik olduğu tarafa eksik oksijen atomu sayısı kadar H_2O , hidrojen atomunun eksik olduğu tarafa ise eksik hidrojen atomu sayısı kadar H^+ eklenir. Yarı reaksiyonlar taraf tarafa toplanıp gerekli sadeleştirmeler yapıldığında asidik ortamda kabul edilen denkleştirme yapılmış olur.

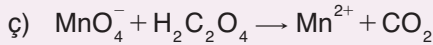
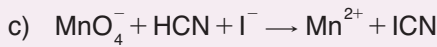
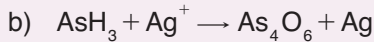
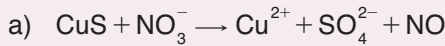


- 5) Elde edilen tepkimenin her iki tarafına 5 tane (H^+ iyonu sayısı kadar) OH^- iyonu eklenir. Aynı tarafta bulunan H^+ ve OH^- iyonları yerine H_2O yazılır. Sadeleştirmeler yapıldığında bazik ortamda denkleştirilmiş olan tepkime elde edilir.

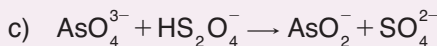
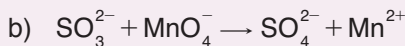
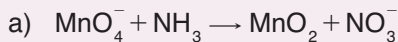


Öğrendiklerimizi Uygulayalım

- 1) Asidik ortamda gerçekleşen aşağıdaki reaksiyonları denkleştiriniz.



- 2) Bazik ortamda gerçekleşen aşağıdaki reaksiyonları denkleştiriniz.



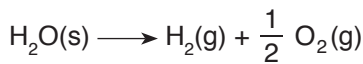
1.1.4 Elektrik Enerjisi ve Tepkimenin İstemliliği

18. yüzyılın sonlarında İtalyan bilim insanı L. Galvani (L. Galvani), (Resim 1.3), ölü hayvan kaslarına elektrik yüklü çubukla dokunduğunda kasların seğirdiğini keşfetmiştir. Galvani elektriğin kaslardan oluştuğunu düşünüyordu. Aynı yüzyılın sonunda diğer bir İtalyan bilim insanı A. Volta (A. Volta), ölü hayvan kaslarındaki kasılmanın iki farklı metal levha arasındayken çubuklarla dokunulduğunda oluştuğunu ileri sürmüştür. Hazırladığı sodyum klorürün sulu çözeltisini kâğıt şeritlere emdirmiş, bu şeritlerle ayırdığı farklı metal levhalardan elektriğin oluştuğunu ispatlamıştır. Resim 1.4'te görülen Volta pili sürekli elektrik akımı elde eden basit bir pildir.

J.F. Daniell (J.F. Daniell), Volta'nın oluşturduğu ve ilk sürekli akımı elde ettiği pili geliştirerek daha kullanışlı hâle getirmiştir. Bakır levhayı bakır(II) sülfat çözeltisine, çinko levhayı çinko sülfat çözeltisine batırıp oluşturduğu iki yarı hücreyi iletken bir tel ve tuz köprüsü ile birbirine bağlayarak kullanılabilir elektrik enerjisi elde etmiştir. Çinko ve bakır yarı hücrelerine **çinko-bakır hücresi (pili)** veya **Daniell pili** denir.

Volta'nın keşfedip, Daniell'in geliştirdiği pil, dışarıdan bir etki olmaksızın kendiliğinden çalışan ve kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemdir. Pil sisteminde indirgenme ve yükseltgenme olayları ayrı kaplarda gerçekleşir. Kaplar bir iletken telle birbirine bağlandığında elektronların akışı sağlanır. Elektronların bir iletken-den akması ile **elektrik akımı** oluşur.

İstemli tepkimeler dışardan bir etki olmaksızın kendiliğinden gerçekleşen tepkimelerdir. İstemsiz bir tepkime ise kendiliğinden gerçekleşmez. İstemsiz tepkimenin gerçekleşmesi için dışardan sürekli bir etki yapılması gerekir. H₂O bileşiği kendiliğinden H₂ ve O₂ gazlarına ayrışmaz. H₂O bileşiğinin,



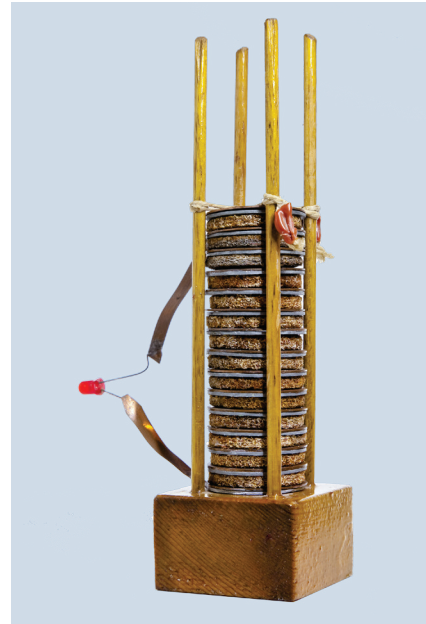
tepkimesi gereğince H₂ ve O₂ gazlarına ayrıştırılması sürekli olarak elektrik enerjisi verilmesi ile olur. Böyle bir redoks tepkimesi istemsizdir, kendiliğinden başlamaz ve devam etmez.

Ancak H₂ ve O₂ gazlarından H₂O elde tepkimesi başladıktan sonra kendiliğinden devam eder. Böyle bir redoks tepkimesi istemlidir ve başladıktan sonra dışarıdan bir etki olmaksızın devam eder.

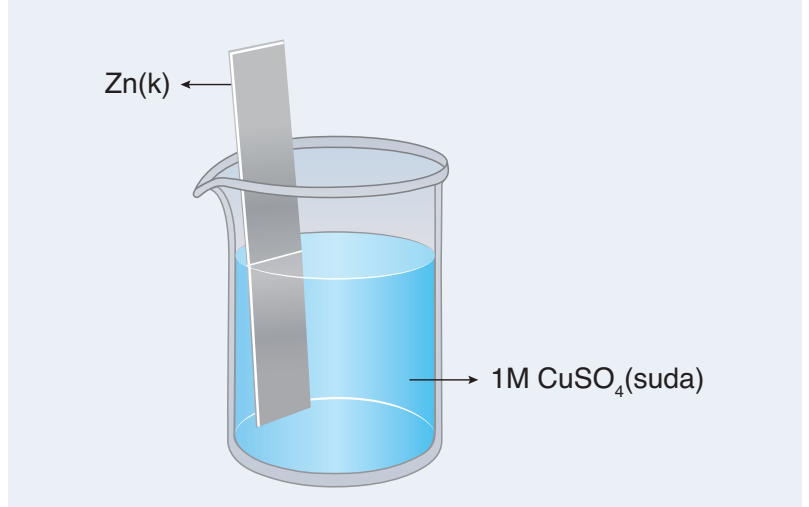
Zn metalinin aktifliği (elektron verme yatkınlığı), Cu metalinin aktifliğinden büyüktür. Zn metalini 1M CuSO₄ sulu çözeltisinin içine batırılır.



Resim 1.3 ▶ L. Galvani'nin ünlü kurbağa deneylerinden birisini gözlemlerken tasvir edilmiş mermer heykeli



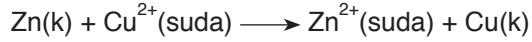
Resim 1.4 ▶ Sürekli elektrik akımı elde etmek için hazırlanıp kullanılan ilk düzeneğe benzer bir pil sistemi



Şekil 1.1 ► Zn metali ve Cu^{2+} iyonları arasındaki etkileşim

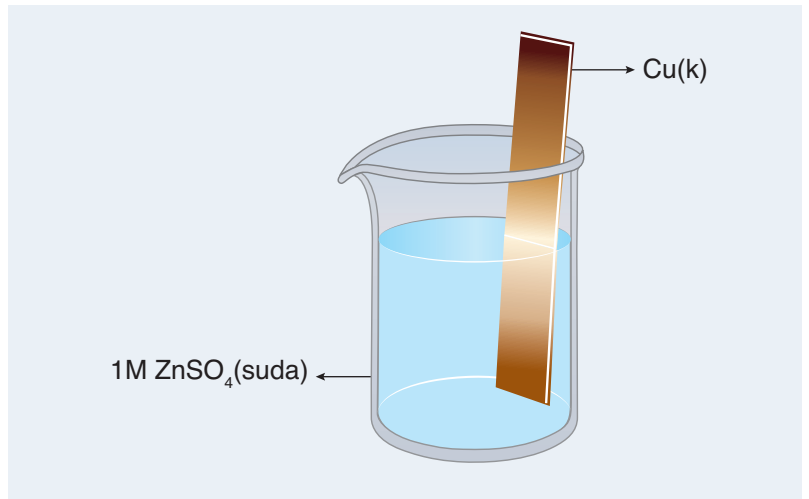
Şekil 1.1’de görüldüğü gibi bir beherglasta bulunan 1M CuSO_4 (bakır(II)sülfat) sulu çözeltisine metalik Zn batırıp bir süre beklendiğinde çinko parçasının üzerinde kırmızı renkli Cu metalinin toplandığı, çözeltinin mavimsi yeşil renginin de kaybolduğu gözlenir. Gözle görülür bu değişim kaptaki kimyasal bir değişimin olduğunu anlamına gelir.

Aktifliği Cu elementinden daha fazla olan Zn metali Zn^{2+} iyonlarına yükseltgenir, aktifliği Zn metalinden daha düşük olan Cu^{2+} iyonları da indirgenerek Cu atomlarını oluşturur ve Zn levhanın üzerinde toplanır. Bu olayın tepkimesi şu şekildedir:



Bu kimyasal değişim kendiliğinden gerçekleşmiş istemli bir redoks tepkimesidir.

Cu metalini 1M ZnSO_4 sulu çözeltisi içine batıralım.



Şekil 1.2 ► Cu metali ve Zn^{2+} iyonları arasındaki etkileşim

Şekil 1.2'de görüldüğü gibi bir beherglasta bulunan 1M ZnSO₄ sulu çözeltisine metalik Cu batırılıp bir süre beklendiğinde herhangi bir değişim olmadığı gözlenir.



Zn metalinin elektron verme yatkınlığı Cu metalinden büyüktür. Bunun için Zn²⁺ iyonları indirgenmez, Cu atomları da Cu²⁺ iyonlarına yükseltgenmez.

Kimyasal bir değişimde indirgenecek ve yükseltgenecek türü belirlemek için sulu çözelti hazırlayıp metal levhayı batırmak gibi bir sistem kullanışlı değildir. Bunun için elementlerin indirgenme eğilimlerinden bahsedilir. Cu²⁺ ve Zn²⁺ iyonlarının indirgenme eğilimlerine bakıldığında Cu²⁺ iyonunun indirgenme eğiliminin Zn²⁺ iyonunun indirgenme eğiliminden büyük olduğu görülür. Bu karşılaştırma bize Cu²⁺ iyonlarının Zn²⁺ iyonlarından daha kolay indirgenmesini gösterir.

Şekil 1.1'de oluşan indirgenme ve yükseltgenme olaylarında indirgenen ve yükseltgenen türler aynı kabın içinde temas hâindedir. Elektron vererek yükseltgenen türün verdiği elektronları onunla temas hâlinde olan başka bir tür alır ve indirgenir.

Daniell'in çalışmalarında gerçekleştirdiği gibi indirgenme ve yükseltgenme olayları farklı kaplar içinde gerçekleştirilip aralarında bir tuz köprüsü ve iletken bir telle bağlantı yapıldığında elektrik enerjisi elde edilebilir. İletken telden akan elektronların oluşturduğu elektrik enerjisi de sisteme bağlanacak bir voltmetrenin sapması ile gözlenebilir. Bu açıklamalar ışığında indirgenme ve yükseltgenme olaylarının her zaman aynı kap içinde ve temas hâlinde olan türler arasında gerçekleşmesi zorunluluğu olmadığı söylenebilir.

Daniell pilinde, farklı kaplarda oluşan kimyasal değişimler kendiliğinden gerçekleşmiştir. İstemli redoks tepkimelerinde kimyasal enerji, elektrik enerjisine dönüşür. Bu enerji de bir iletken telden akıtılarak elektrik akımı elde edilebilir. Bu şekildeki bir düzenden **pil** olarak bahsedilir. Ancak kendiliğinden gerçekleşmeyen istemsiz bir redoks tepkimesinde dışardan enerji verilmesi gerekir. Tepkime istemsiz olduğu için elektrik enerjisi harcanarak yükseltgenme ve indirgenme gerçekleştirilir. Böyle bir redoks tepkimesinde elektrik enerjisi kimyasal enerjiye dönüşür. Böyle bir düzenek de **elektroliz** olarak adlandırılır.