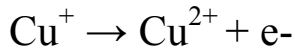
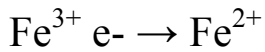
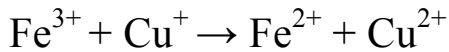


## **Yükseltgenme/İndirgenme (Redoks) Tepkimeleri**

Tepkimede iki tür arasında elektron alış veriş oluyorsa bu tür tepkimelere indirgenme yükseltgenme tepkimeleri denir. Elektron alan tür indirgenir elektron veren tür yükseltgenir. Elektron alış verişini göstermek için tepkime yarı tepkimelere ayrılır.

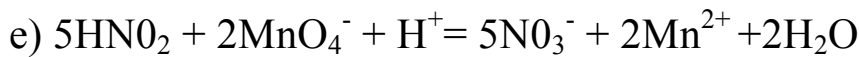
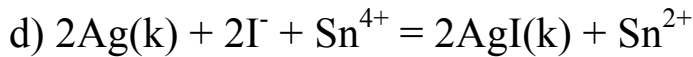
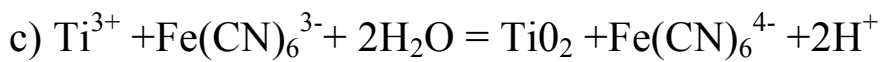
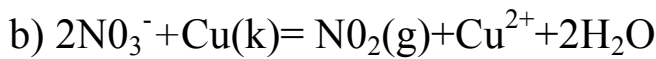
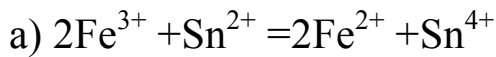
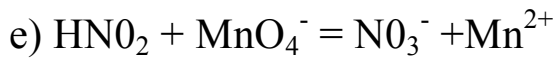
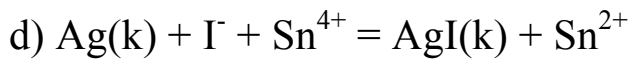
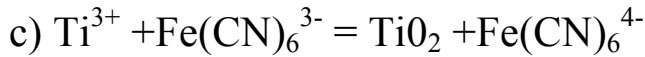
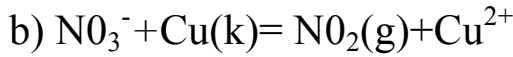
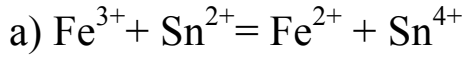


İndirgen elektron vericisidir. Kendi yükseltgenirken diğer türün indirgenmesine sebep olur. Yükseltgen elektron alıcısıdır. Kendi indirgenirken diğer türün yükseltgenmesini sağlar.

## **Redoks tepkimelerini denkleştirme**

1. 2 yarı tepkime yazılır.
2. Her bir yarı tepkime ayrı ayrı denkleştirilir önce indirgenen ve yükseltgenen atomlar denkleştirilir. Yükseltgenme veya indirgenmeyi göstermek için elektron eklenir. Yükleri denkleştirmek için asidik ortamda  $\text{H}^+$  eklenip diğer taraftan su eklenir bazik ortamda  $\text{OH}^-$  eklenip diğer tarafa su eklenir kütle ve yüklerin denk olup olmadığı kontrol edilir.
3. Yarı tepkimeler birleştirilir. Alınan verilen elektron sayısı eşit olacak şekilde toplanır.

Asağıdaki tepkimeler için denkleştirilmiş net iyonik eşitlikleri yazınız. Denkleştirmek için gerektiğinde  $H^+$  ve/veya  $H_2O$  kullanınız.



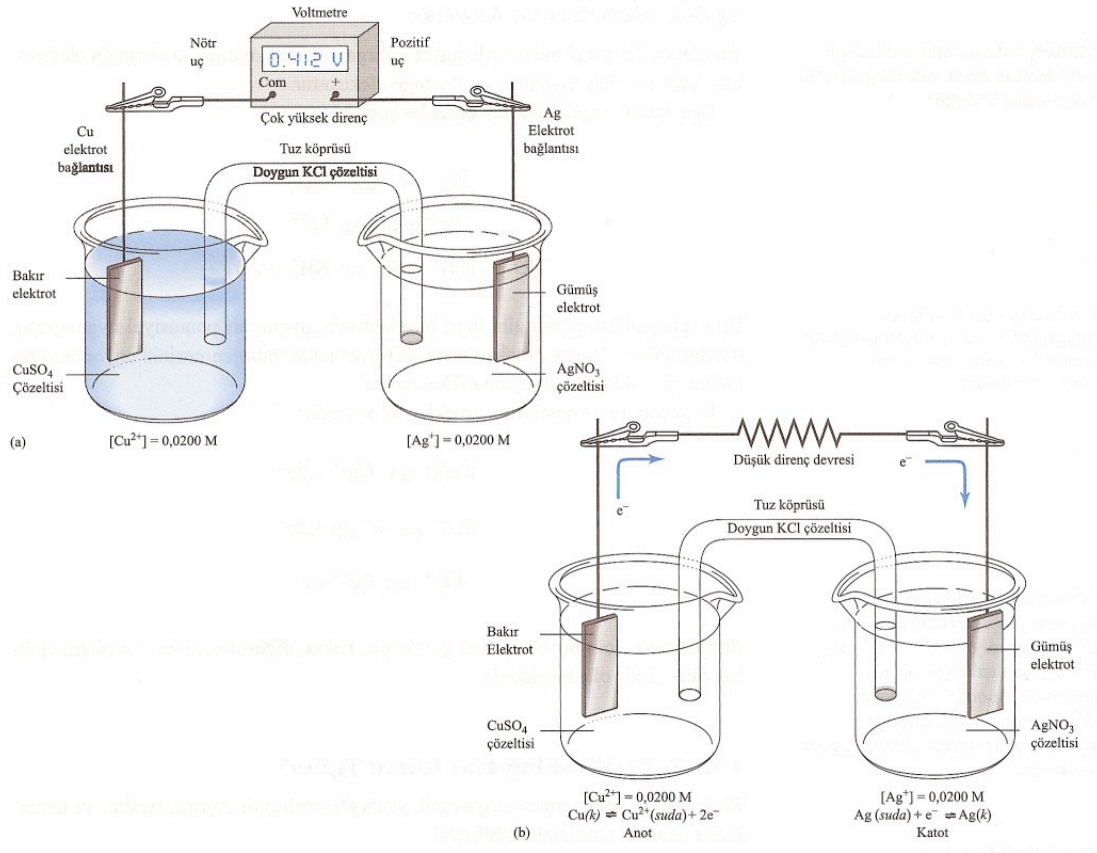
İndirgenme-yükseltgenme tepkimeleri, bir kap içerisinde indirgen ile yükseltgen maddenin birbiri ile doğrudan temas ettiği bir kaptaki tepkimeye giren maddelerin birbiri ile temas etmediği elektrokimyasal hücrede gerçekleştirilebilir.

## Elektrokimyasal

## Hücreler

Bir elektrokimyasal hücre, her biri bir elektrolit çözeltisine daldırılmış, **elektrot** adı verilen iki iletken içerir. Bu iki elektrot bazen aynı çözeltiye de daldırılabilir. Bizim ilgileneceğimiz hücrelerin çoğunda, iki elektrodun daldırıldığı çözeltiler farklıdır ve reaktifler

arasındaki doğrudan tepkimeyi önlemek için birbirinden ayrılmalıdır. Karışmayı önlemek için, çözeltiler arasına bir tuz köprüsü konulur.

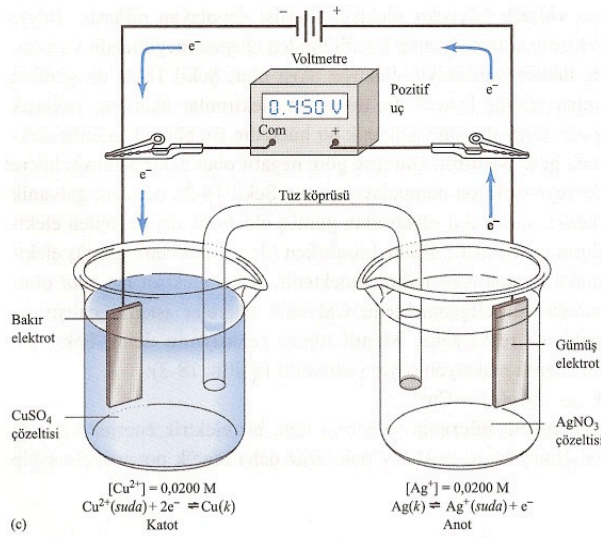


a)Devre açıkken galvanik hücre; b)galvanik hücre iş yaparken.

Bir elektrolit çözeltisinden diğerine elektrik, tuz köprüsünden bir yöne potasyum iyonlarının ve diğer yöne klorür iyonlarının göçüyle iletilir. Ancak, bakır metali ve gümüş iyonları arasında doğrudan temas önlenir.

Anot yükseltgenmenin olduğu elektrota denir. Katot indirgenmenin olduğu elektrota denir. Elektrokimyasal hücreler galvanik ve elektrolitik olarak ikiye ayrılır. Bununla birlikte hücreler tersinir veya tersinmez şeklinde de sınıflandırılabilir. Galvanik Hücre, elektrik enerjisi depolar. Tepkime kendiliğinden olur. Elektrolitik hücre

elektrik enerjisi harcar. Tepkimenin gerçekleşmesi için dışarıdan enerji verilir.



### Elektrolitik hücre

Akımın yönü değiştirmekle elektrotlarda oluşan tepkime tersine çevrilirse bu tür hücreye tersinir hücre denir. Akımın yönü ters yöne çevrildiğinde elektrotlarda farklı tepkime oluşursa hücre tersinmezdir.

### Hücrenin şematik gösterimi



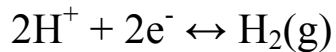
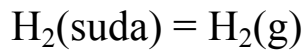
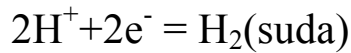
I bir elektrot ve çözeltisi arasındaki faz sınırı ara yüzey olarak

adlandırılır. II tuz köprüsünü ifade eder. Önce yükseltgenmenin olduğu (anot) yarı hücre (elektrot ve çözeltisi) daha sonra indirgenmenin olduğu (katot) yarı hücre (çözeltisi ve elektrot) yazılır,

## **Elektrot Potansiyelleri**

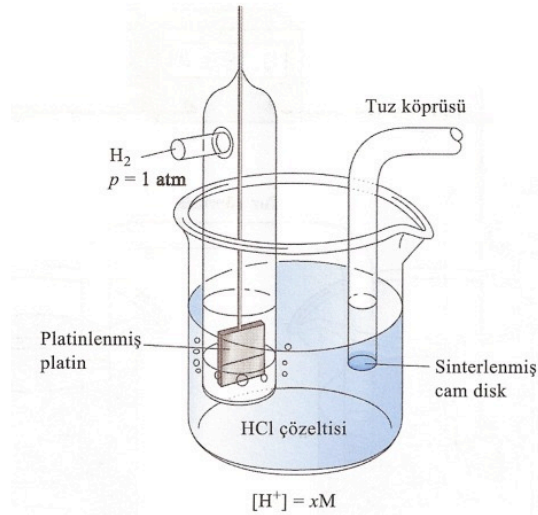
Bir hücrede katot ile anot arasında potansiyel farkı oluşur, tepkime ilerledikçe potansiyel farkı azalır, ve dengede sıfır olur. Voltmetrede hücre potansiyeli okunur. Yarı hücre potansiyeli okunamaz. Yarı hücre potansiyellerinin eldesinde elektrot potansiyeli bilinen referans elektrotlar kullanılır. Elektrot potansiyelleri, referans elektrot olarak standart hidrojen elektrot kullanılan bir hücrenin potansiyeli olarak tanımlanır.

Standart hidrojen referans elektrodu, SHE



Pt, H<sub>2</sub> (p=1.00 atm) I [H<sup>+</sup>]= (M) II

Hidrojen elektrot diğer yarı hücreye göre anot veya katot olarak davranabilir. Standart hidrojen elektrotun potansiyeli bütün sıcaklıklarda sıfır kabul edilir. Hazırlanması oldukça zor bir elektroddur. Rutin ölçümler için daha uygun olan birkaç referans elektrot da geliştirilmiştir.

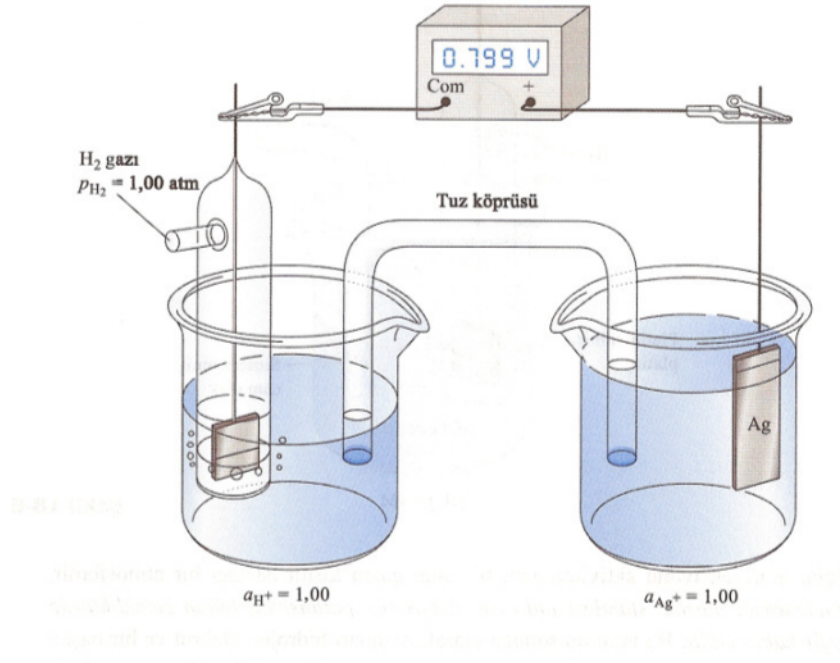


## Elektrot potansiyeli ve standart elektrot potansiyeli

**Elektrot potansiyeli**, söz konusu elektrodun sağ tarafa, standart hidrojen elektrodun da sol tarafa yerleştirilerek oluşturulmuş hücrenin potansiyelidir. Buna göre,  $\text{Ag}^+$  çözeltisine daldırılmış bir gümüş elektrodun potansiyeli için bir hücre hazırlanır. Bu hücrenin sağ bölmesi, bir gümüş iyonları çözeltisine batırılmış saf gümüş metalinden, sol bölme ise standart hidrojen elektrodundan ibarettir. Hücre potansiyeli, soldaki standart hidrojen elektrodun potansiyeli 0,000 V kabul edildiği için,

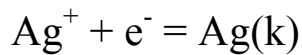
$$E_{\text{hücre}} = E_{\text{sağ}} - E_{\text{sol}} = E_{\text{Ag}} - E_{\text{SHE}} = E_{\text{Ag}} - 0,000 = E_{\text{Ag}} \text{ yazılabilir.}$$

Burada,  $E_{\text{Ag}}$  gümüş elektrodun potansiyelidir.



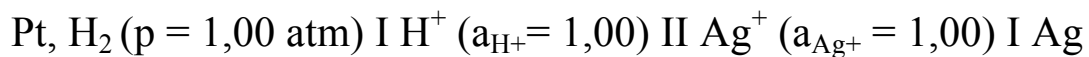
**Standart elektrot potansiyeli**,  $E^\circ$ , tepkimede yer alan bütün türlerin aktiviteleri 1 birim olduğu zamanki elektrot potansiyelidir. Standart Elektrot potansiyeli potansiyelleri indirgenme yönünde yazılır. Hidrojen için standart elektrot potansiyeli sıfır kabul edilerek diğer tepkimeler için bağıl olarak hesaplanır. Sıcaklığa bağlıdır. Yarı tepkimede yer alan bileşenlerin mol sayısından bağımsızdır.

Yukarıdaki şekildeki yarı-hücre tepkimesi aşağıdaki gibidir.

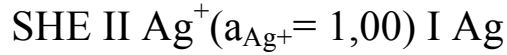


yarı-tepkimenin standart elektrot potansiyeli gümüş iyonu aktivitesi 1,00 olduğunda  $E_{\text{hücre}}$  'nin ölçülmesiyle elde edilebilir.

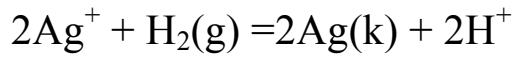
Bu galvanik hücrenin şematik gösterimi,



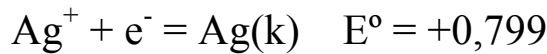
veya



Sağda gümüş elektrot bulunan bu galvanik hücrede, +0,799 V'luk potansiyel oluşur; yani kendiliğinden oluşan hücre tepkimesi sol bölmede yükseltgenme ve sağ bölmede indirgenmedir:

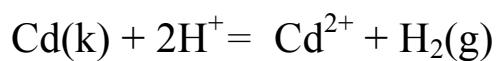


Gümüş elektrot sağda olduğundan, ölçülen potansiyel **tanımdan** dolayı gümüş yarı tepkimesi veya **gümüş çifti** için standart elektrot potansiyelidir. Gümüş elektrot hidrojen elektroda göre pozitifdir. Bu yüzden, standart elektrot potansiyeli pozitif işaretli olarak verilir.



Aşağıdaki şekil,  $\text{Cd}^{2+} + 2\text{e}^- = \text{Cd}(\text{k})$  yarı-tepkimesi için standart elektrot potansiyelinin ölçülmesinde kullanılan bir hücreyi gösterir.

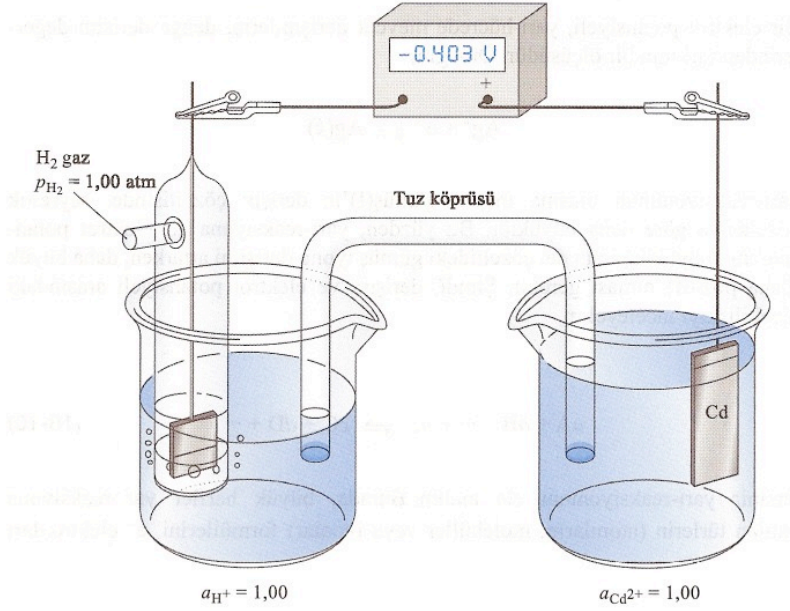
Gümüş elektrodun tersine, kadmiyum elektrot, standart hidrojen elektroduna göre negatiftir. Bu yüzden *kural gereği*,  $\text{Cd}/\text{Cd}^{2+}$  çiftinin standart elektrot potansiyeli negatif işaretlenir ve  $E^\circ_{\text{Cd}^{2+}/\text{Cd}} = -0,403 \text{ V}$  yazılır. Hücre potansiyelleri negatif olduğu için, yazıldığı haliyle tepkime istemli hücre tepkimesi değildir. Yani, solda yükseltgenme sağda indirgenme olduğunu düşünmek yanlıştır. Aksine, istemli tepkime diğer yöne doğrudur:



Çinko iyonu aktivitesi birim olan bir çözeltiye daldırılmış bir çinko elektrot,



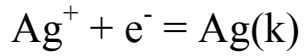
standart hidrojen elektrotla bir hücre oluşturduğunda, -0,763 V'luk bir potansiyel oluşturur.



## Elektrot Potansiyellerine Derişimin Etkisi

### Nernst Esitligi

Bir elektrot potansiyeli, yarı-hücrede mevcut derişimlerin, denge derişim değerlerinden farkının bir ölçüsüdür. Örneğin,



yarı-tepkimesinin oluşma meyli, gümüş(I)'in derişik çözeltisinde, seyreltik çözeltisine göre daha büyüktür. Bu yüzden, yarı-tepkimeye ait elektrot potansiyelinin büyüklüğünün de, çözeltideki gümüş iyonu derişimi artarken, daha büyük (daha pozitif) olması gerekir. Şimdi, derişim ve elektrot potansiyeli arasındaki nicel ilişkiyi inceleyelim.

$aA + bB + \dots + ne^- = cC + dD + \dots$  tersinir yarı-tepkimesini ele alalım. Burada, büyük harfler yarı-tepkimeye katılan türlerin (atomların, moleküller veya iyonlar) formüllerini,  $e^-$  elektronları gösterir ve küçük harfler yarı-tepkimede yer alan her bir türün mol sayısını belirtir. Bu yarı-tepkimenin elektrot potansiyeli,

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[C]^c [D]^d \dots}{[A]^a [B]^b \dots}$$

$E^0$  = her bir yarı-reaksiyonun kendine özgü sabiti olan *standart elektrot potansiyeli*.

$R$  = gaz sabiti,  $8,314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

$T$  = sıcaklık, K

$n$  = elektrot yarı-reaksiyonunda yer alan elektronların mol sayısı

$F$  = faraday =  $96485 \text{ C (coulomb)}$

$\ln$  = doğal logaritma =  $2,303 \log$

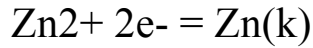
$25^\circ\text{C}$  için bu sabitlerin sayısal değerleri yerine konduğunda

$$E = E^0 - \frac{0,0592}{n} \log \frac{[C]^c [D]^d \dots}{[A]^a [B]^b \dots} \text{ eşitliği elde edilir.}$$

## Standart elektrot potansiyelleri

Standart Elektrot Potansiyelleri*	
Reaksiyon	$E^0 \text{ V (} 25^\circ\text{C'da)}$
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Cl}^-$	+1,359
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
$\text{Br}_2(\text{suda}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1,087
$\text{Br}_2(\text{s}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Br}^-$	+1,065
$\text{Ag}^+ + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{k})$	+0,799
$\text{Fe}^{3+} + e^- \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$	+0,771
$\text{I}_3 + 2e^- \rightleftharpoons 3\text{I}^-$	+0,536
$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}(\text{k})$	+0,337
$\text{UO}_2^{2+} + 4\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{U}^{4+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,334
$\text{Hg}_2\text{Cl}_2(\text{k}) + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{Hg}(\text{s}) + 2\text{Cl}^-$	+0,268
$\text{AgCl}(\text{k}) + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{k}) + \text{Cl}^-$	+0,222
$\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-} + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{k}) + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	+0,017
$2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g})$	0,000
$\text{AgI}(\text{k}) + e^- \rightleftharpoons \text{Ag}(\text{k}) + \text{I}^-$	-0,151
$\text{PbSO}_4 + 2e^- \rightleftharpoons \text{Pb}(\text{k}) + \text{SO}_4^{2-}$	-0,350
$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cd}(\text{k})$	-0,403
$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Zn}(\text{k})$	-0,763

**Örnek:**  $0,060 \text{ M Zn(NO}_3)_2$  çözeltisine daldırılmış çinko elektrottan oluşan yarı hücre potansiyelini hesaplayınız.  $E^0 = -0,763 \text{ V}$



$$E = E^\circ - 0,0592/2 \log 1/ [\text{Zn}^{2+}]$$

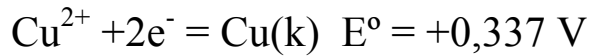
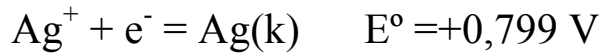
$$E = -0,763 - 0,0592 \log 1/0,060 = -0,799 \text{ V}$$

### **Elektro Kimyasal Hücrelerin Potansiyeli**

Bir hücrenin termodinamik potansiyeli katodun elektrot potansiyeli anodun elektrot potansiyelinden çıkarılarak bulunur.

$$E_{\text{hücre}} = E_{\text{katot}} - E_{\text{anot}}$$

**Örnek:** Cu(k) I Cu<sup>2+</sup>( 0,0200M) II Ag<sup>+</sup>( 0,0200M) I Ag hücresinin potansiyelini hesaplayınız.



$$E_{\text{Ag}^+} = 0,799 - 0,0592 \log 1/ 0,0200 = 0,6984 \text{ V}$$

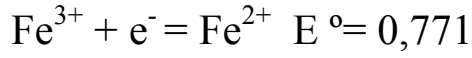
$$E_{\text{Cu}^{2+}} = 0,337 - 0,0592/2 \log 1/0,0200 = 0,2867 \text{ V}$$

$$E_{\text{hücre}} = E_{\text{katot}} - E_{\text{anot}} = E_{\text{Ag}^+} - E_{\text{Cu}^{2+}} = 0,6984 - 0,2867 = +0,412 \text{ V}$$

### **Denge sabiti, çözünürlük çarpımı sabiti hesapları**

Elektrot potansiyelleri kullanarak yükseltgenme indirgenme sistemi için denge sabiti hesaplanabilir. Denge anında  $E_{\text{hücre}}$  sıfıra eşit olacaktır, buradan  $E_{\text{katot}}$  ve  $E_{\text{anot}}$  birbirine eşit olur ve anot ve katot tepkimeleri için Nernst eşitliği kullanarak denge sabiti hesaplanabilir.

Örnek:  $2\text{Fe}^{3+} + 3\text{I}^- = 2\text{Fe}^{2+} + \text{I}_3^-$  tepkimesinin denge sabitini hesaplayınız.



İlk yarı-tepkime 2 ile çarpılır, böylece  $\text{Fe}^{3+}$  ile  $\text{Fe}^{2+}$  nın mol sayıları eşit olur.

Dengede  $E_{\text{Fe}^{3+}} = E_{\text{I}_3^-}$ .

$$E_{\text{Fe}^{3+}} = E^\circ_{\text{Fe}^{3+}} - 0,0592/2 \log [\text{Fe}^{2+}]^2 / [\text{Fe}^{3+}]^2$$

$$E_{\text{I}_3^-} = E^\circ_{\text{I}_3^-} - 0,0592/2 \log [\text{I}^-]^3 / [\text{I}_3^-]$$

$$E^\circ_{\text{Fe}^{3+}} - 0,0592/2 \log [\text{Fe}^{2+}]^2 / [\text{Fe}^{3+}]^2 = E^\circ_{\text{I}_3^-} - 0,0592/2 \log [\text{I}^-]^3 / [\text{I}_3^-]^2$$

Bu eşitlik düzenlenirse,

$$2 (E^\circ_{\text{Fe}^{3+}} - E^\circ_{\text{I}_3^-}) / 0,0592 = \log [\text{Fe}^{2+}]^2 / [\text{Fe}^{3+}]^2 - \log [\text{I}^-]^3 / [\text{I}_3^-]$$

$$= \log [\text{Fe}^{2+}]^2 [\text{I}_3^-] / [\text{Fe}^{3+}]^2 [\text{I}^-]^3 \text{ elde edilir.}$$

Yani,

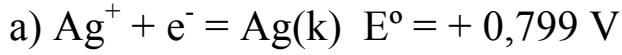
$$\log K_d = \log [\text{Fe}^{2+}]^2 [\text{I}_3^-] / [\text{Fe}^{3+}]^2 [\text{I}^-]^3 = 2 (E^\circ_{\text{Fe}^{3+}} - E^\circ_{\text{I}_3^-}) / 0,0592 \text{ dir.}$$

$$\log K_d = 2 (0,771 - 0,536) / 0,0592 = 7,939$$

$$K_d = \text{antilog } 7,94 = 8,7 \times 10^7$$

Örnek:

- a)  $E^\circ_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} = 0,799 \text{ V}$  ve (b)  $E^\circ_{\text{AgCl}/\text{Ag}} = 0,222 \text{ V}$  değerlerini kullanarak  $0,0500 \text{ M NaCl}$  çözeltisine daldırılmış bir gümüş elektrodun elektrot potansiyelini hesaplayınız.



Bu çözeltideki  $\text{Ag}^+$  derişimi şöyle bulunur:

$$[\text{Ag}^+] = K_{\text{çç}} / [\text{Cl}^-] = 1,82 \times 10^{-10} / 0,0500 = 3,64 \times 10^{-9} \text{ M}$$

Bu değer Nernst eşitliğinde yerine konduğunda,

$$E = +0,799 - 0,0592 \log 1/ 3,64 \times 10^{-9} = 0,299 \text{ V}$$

Burada sunu yazabiliriz:

$$\text{b) } E = 0,222 - 0,0592 \log [\text{Cl}^-] = 0,222 - 0,0592 \log 0,0500 = 0,299 \text{ V}$$

## Redoks

## Titrasyon

## eğrileri

Eşdeğerlik noktası öncesi ve sonrası indirgenme yükseltgenme tepkimeleri genelde hızlı ve tersinirdir bu yüzden her titrant ilavesinden sonra denge kurulur dolayısıyla  $E_{\text{anot}} = E_{\text{katot}}$  olur ve nernst eşitliği ortamda herhangi biri için uygulanarak potansiyel hesaplanır.

### Eşdeğerlik noktasında;

Eşdeğerlik noktasında da ortamda bulunan türlerde, bir türün indirgenmiş halinin derişimi diğer türün yükseltgenmiş haldeki derişimine eşdeğer olacağı varsayılarak  $E_{\text{eşdeğer}}$  hesaplanır.

### Örnek:

20,00 mL 0,200 M  $\text{Fe}^{2+}$  çözeltisinin 0,200 M  $\text{Ce}^{4+}$  ile titrasyon eğrisini çiziniz.

a) Başlangıçta

$$[Ce^{4+}] = 0.00 \quad E_H = \text{Belirsiz.}$$

b) 2.00 mL  $Ce^{4+}$  ilave ediliyor,

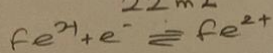
$$\text{mmol } Ce^{4+} = (2.00)(0.200) = 0.400 \text{ mmol } Ce^{4+}$$

0.400 mmol  $Fe^{3+}$  oluşur.

$$\text{Kalan } Fe^{2+} = (20.00)(0.200) - 0.400 = 3.60 \text{ mmol } Fe^{2+}$$

$$[Fe^{2+}] = \frac{0.400 \text{ mmol}}{22.00 \text{ mL}} - [Ce^{4+}]$$

$$[Fe^{2+}] = \frac{3.60 \text{ mmol}}{22 \text{ mL}} + [Ce^{4+}]$$



$$E_{\text{sistem}} = E_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 - \frac{0.0592}{1} \log \frac{[Fe^{2+}]}{[Fe^{3+}]}$$

$$E_{\text{sistem}} = 0.771 - \frac{0.0592}{1} \log \frac{3.60/22}{0.400/22}$$

$$E_{\text{sistem}} = 0.715 \text{ V}$$

$$E_H = E_K - (E_a) \rightarrow 0.09 \text{ V}$$

Standart  
hidrojen  
elektrot

c) 15.00 mL  $Ce^{4+}$  ilave ediliyor;

$$\text{mmol } Ce^{4+} = (15.00)(0.200) = 3.00 \text{ mmol } Ce^{4+}$$

3.00 mmol  $Fe^{3+}$  oluşur.

$$\text{Kalan mmol } Fe^{2+} = 4.00 - 3.00 = 1.00 \text{ mmol}$$

$$E_K = 0.771 - \frac{0.0592}{1} \log \frac{1.00/15.00}{3.00/15.00}$$

$$E_K = \underline{\underline{0.80 \text{ V}}}$$

d) Eşdeğerlik noktası;

$\text{Fe}^{2+}$  tamamen  $\text{Fe}^{3+}$  ya dönmüştür.

ve

$$E_{\text{eq}} = E_{\text{Fe}^{3+}}^{\circ} - \frac{0.0592}{1} \log \frac{[\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Fe}^{3+}]}$$

Bu iki eşitlik toplandığında;

$$2E_{\text{eq}} = E_{\text{Ce}^{4+}}^{\circ} + E_{\text{Fe}^{3+}}^{\circ} - \frac{0.0592}{1} \log \frac{[\text{Ce}^{3+}][\text{Fe}^{2+}]}{[\text{Ce}^{4+}][\text{Fe}^{3+}]} \text{ elde edilir.}$$

Eşdeğerlik noktasında;

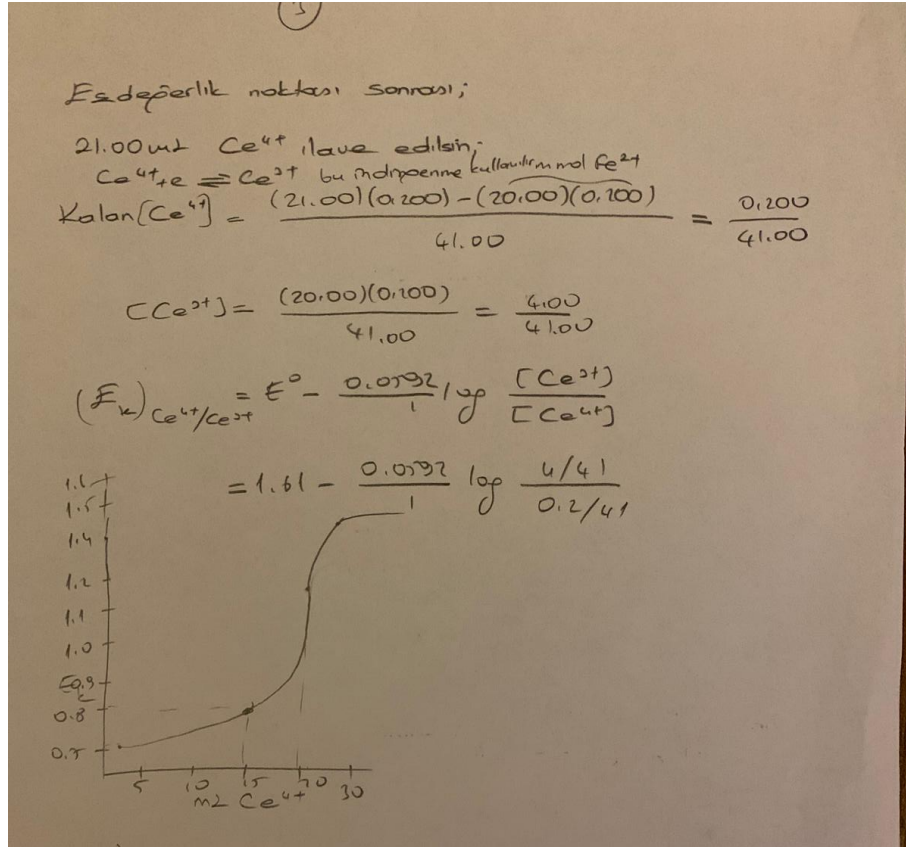
$$[\text{Fe}^{2+}] = [\text{Ce}^{3+}]$$
$$[\text{Fe}^{3+}] = [\text{Ce}^{4+}]$$
$$2E_{\text{eq}} = E_{\text{Ce}^{4+}}^{\circ} + E_{\text{Fe}^{3+}}^{\circ} - \frac{0.0592}{1} \log \frac{[\text{Ce}^{3+}][\text{Ce}^{4+}]}{[\text{Ce}^{4+}][\text{Ce}^{3+}]}$$

Derin oranı 1'dir.

$$2E_{\text{eq}} = E_{\text{Ce}^{4+}}^{\circ} + E_{\text{Fe}^{3+}}^{\circ}$$
$$E_{\text{eq}} = \frac{E_{\text{Ce}^{4+}}^{\circ} + E_{\text{Fe}^{3+}}^{\circ}}{2} = \frac{0.771 + 1.151}{2} = \underline{\underline{1.191 \text{ V}}}$$

e)





## İndirgenme

## yükseltgenme

## İndikatörleri

Genel redoks indikatörleri indirgenmiş ve yükseltgenmiş hallerinin renkleri farklı olan maddelerdir. Renk değişimleri sistemin elektrot potansiyelindeki değişimlere bağlıdır. Spesifik indikatörler titrasyonda yer alan türlerden biri ile tepkime vererek renk değiştirirler. Örneğin nişasta elementel iyot ile koyu renkli kompleks oluşturur.

1)Asağıdaki çözeltilere daldırılmış bir bakır elektrodun potansiyelini hesaplayınız.

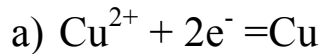
a) 0,0440 M  $Cu(NO_3)_2$

b)  $CuCl$  ile doyurulmuş 0,0750 M  $NaCl$

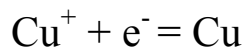
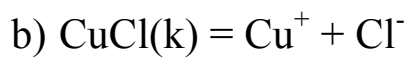


c)  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  ile doyurulmuş 0,0400 M NaOH

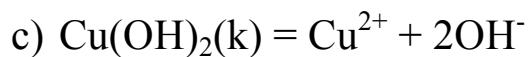
d)  $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  yönünden 0,0250 M ve  $\text{NH}_3$  yönünden 0,128 M çözelti.  
( $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  için  $\beta_4 = 5,62 \times 10^{11}$ ).



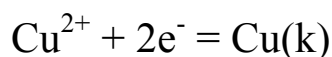
$$E_{\text{Cu}} = +0,337 - 0,0592/2 \log 1/ 0,0440 = +0,297 \text{ V}$$



$$\begin{aligned} E_{\text{Cu}} &= +0,521 - 0,0592 \log 1/ [\text{Cu}^+] = +0,521 - 0,0592 \log 1/ K_{\text{çç}}/[\text{Cl}^-] \\ &= +0,521 - 0,0592 \log [\text{Cl}^-]/ K_{\text{çç}} = +0,521 - 0,0592 \log (0,0750/1,9 \times 10^{-7}) \\ &= +0,521 - 0,0592 (5,596) = + 0,1897 = +0,190 \text{ V} \end{aligned}$$



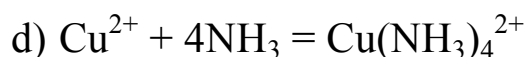
$$K_{\text{çç}} = [\text{Cu}^{2+}] [\text{OH}^-]^2$$



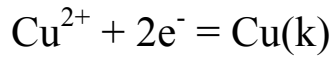
$$E_{\text{Cu}} = +0,337 - 0,0592/2 \log 1/ [\text{Cu}^{2+}] = +0,337 - 0,0592/2 \log 1/ K_{\text{çç}}/ [\text{OH}^-]^2$$

$$E_{\text{Cu}} = +0,337 - 0,0592/2 \log [\text{OH}^-]^2 / K_{\text{çç}} = 0,337 - 0,0298 \log (0,0400)^2/4,8 \times 10^{-20}$$

$$E_{\text{Cu}} = +0,337 - 0,489 = -0,152 \text{ V}$$



$$\beta_4 = [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}] / [\text{Cu}^{2+}] [\text{NH}_3]^4 = 5,62 \times 10^{11}$$



$$E_{\text{Cu}} = +0,337 - 0,0592/2 \log 1/ [\text{Cu}^{2+}] = + 0,337 - 0,0592/2 \log \beta_4 [\text{NH}_3]^4 / [\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]$$

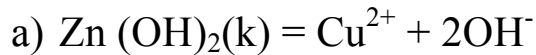
$$E_{\text{Cu}} = +0,337 - 0,0592/2 \log (5,62 \times 10^{11}) (0,228)^4 / 0,0250 = 0,337 - 0,0298 \log (6,03 \times 10^{10})$$

$$= + 0,016 \text{ V}$$

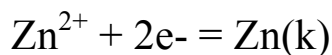
2) Aşağıdaki çözeltilere daldırılmış bir çinko elektrodun potansiyelini hesaplayınız.

a)  $\text{Zn}(\text{OH})_2$  ile doyurulmuş 0,01000 M NaOH

b)  $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  yönünden 0,0100 M ve  $\text{NH}_3$  yönünden 0,250 M çözelti ( $\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}$  için  $\beta_4 = 7,76 \times 10^8$ ).



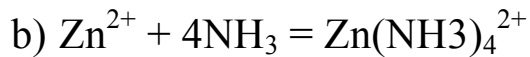
$$K_{\text{çç}} = [\text{Zn}^{2+}] [\text{OH}^-]^2$$



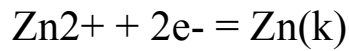
$$E_{\text{Zn}} = -0,763 - 0,0592/2 \log 1/ [\text{Zn}^{2+}] = +0,337 - 0,0592/2 \log 1/ K_{\text{çç}} / [\text{OH}^-]^2$$

$$E_{\text{Zn}} = - 0,763 - 0,0592/2 \log [\text{OH}^-]^2 / K_{\text{çç}} = - 0,763 - 0,0298 \log (0,0100)^2 / 3,0 \times 10^{-16}$$

$$E_{\text{Zn}} = - 0,763 - 0,0298 (11,52) = - 0,763 - 0,343 = -1,106 \text{ V}$$



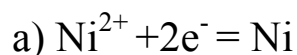
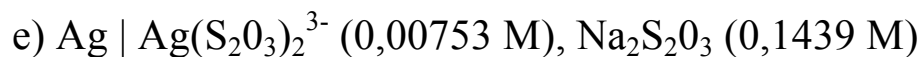
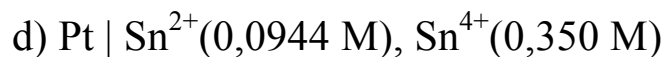
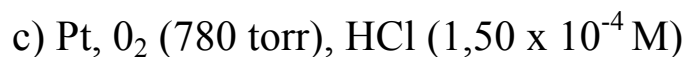
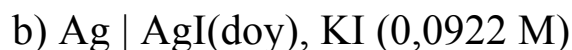
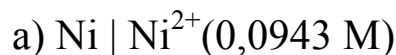
$$\beta_4 = [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}] / [\text{Zn}^{2+}] [\text{NH}_3]^4 = 7,76 \times 10^8$$



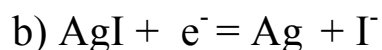
$$E_{\text{Zn}} = +0,337 - 0,0592/2 \log 1/[\text{Zn}^{2+}] = -0,763 - 0,0592/2 \log \beta_4 [\text{NH}_3]^4 / [\text{Zn}(\text{NH}_3)_4^{2+}]$$

$$E_{\text{Zn}} = -0,763 - 0,0592/2 \log (7,76 \times 10^8)(0,250)^4/0,0100 = -0,763 - 0,0298 \log (303,125) = -0,763 - 0,253 = -1,016 \text{ V}$$

3) Aşağıdaki yarı-hücrelerin, soldaki standart hidrojen elektrotla bir galvanik hücre oluşturduğunda hücre potansiyelini hesaplayınız. Hücreye kısa devre yaptırılırsa elektrotların bir anot mu yoksa bir katot mu olduğunu gösteriniz.

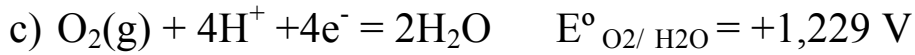


$$E_{\text{Ni}} = -0,250 - 0,0592/2 \log 1/0,0943 = -0,280 \text{ V anot}$$

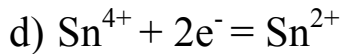


$$E_{\text{Ag}} = -0,151 - 0,0592 \log [I^-]$$

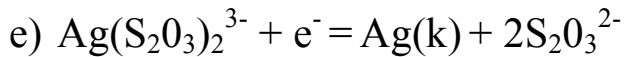
$$= - 0,151 - 0,0592 \log (0,0922) = - 0,090 \text{ V anot}$$



$$E_{\text{O}_2} = + 1,229 - 0,0592/4 \log 1 / P_{\text{O}_2} [\text{H}^+]^4 = + 1,229 - 0,0592/4 \log 1 / 780/760 [1,50 \times 10^{-4}]^4 = + 1,229 - 0,0592/4 \log 1 / 1,026 \times 5,063 \times 10^{-16} = + 1,229 - 0,0592/4 \log 1 / 5,19 \times 10^{-16} = 1,229 - 0,226 = +1,003 \text{ katot}$$

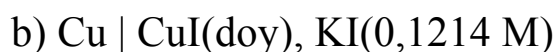
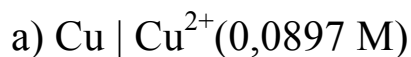


$$E_{\text{Pt}} = + 0,154 - 0,0592/2 \log [\text{Sn}^{2+}] / [\text{Sn}^{4+}] = +0,154 - 0,0592/2 \log (0,0944) / (0,350) = + 0,171 \text{ V katot}$$



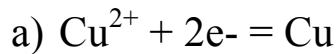
$$E_{\text{Ag}} = + 0,017 - 0,0592 \log [\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]^2 / [\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}] = 0,017 - 0,0592 \log (0,1439)^2 / (0,00753) = -0,009 \text{ V anot}$$

4) Aşağıdaki yarı-hücrelerin, sağdaki standart hidrojen elektrotla bir galvanik hücre oluşturduğunda hücre potansiyelini hesaplayınız. Hücreye kısa devre yaptırılırsa, elektrotların bir anot mu yoksa bir katot mu olduğunu gösteriniz.

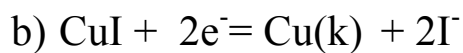


d) Pt | Fe<sup>3+</sup>(0,0906 M), Fe<sup>2+</sup>(0,1628 M)

e) Ag | Ag(CN)<sub>2</sub><sup>-</sup> (0,0827 M), KCN(0,0699 M)



$$E_{\text{Cu}} = + 0,337 - 0,0592/2 \log 1/ 0,0897 = + 0,305 \text{ V katot}$$

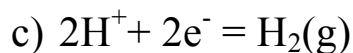


$$E^{\circ} = -0,185 \text{ V}$$

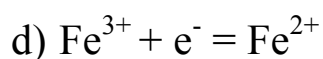
$$E_{\text{Cu}} = E^{\circ} - 0,0592 \log [I^{-}]$$

$$= -0,185 - 0,0592 \log (1,00 \times 10^{-4}) = -0,185 + 0,237 = + 0,052 \text{ V}$$

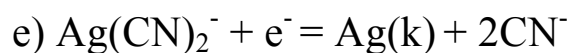
katot



$$E_{\text{H}_2} = 0,00 - 0,0592/2 \log P_{\text{H}_2} / [H^{+}]^2 = -0,0298 \log 0,984 / (1,00 \times 10^{-4})^2 = -0,238 \text{ V anot}$$



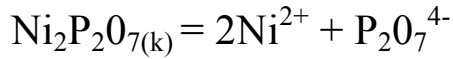
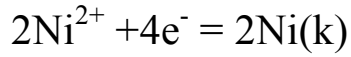
$$E_{\text{Pt}} = + 0,771 - 0,0592 \log [Fe^{2+}] / [Fe^{3+}] = + 0,771 - 0,0592 \log (0,1628) / (0,0906) = 0,771 - 0,015 = + 0,756 \text{ V katot}$$



$$E_{\text{Ag}} = - 0,31 - 0,0592 \log [CN^{-}]^2 / [Ag(CN)_2^{-}] = - 0,31 - 0,0592 \log (0,0699)^2 / (0,0827) = - 0,237 \text{ V anot}$$

6)  $\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7$  nin çözünürlük çarpımı  $1,7 \times 10^{-13}$ 'dür.

$\text{Ni}_2\text{P}_2\text{O}_7 + 4\text{e}^- = 2\text{Ni(k)} + \text{P}_2\text{O}_7^{4-}$  için  $E^\circ$  ı hesaplayınız.



$$K_{\text{çç}} = [\text{Ni}^{2+}]^2 [\text{P}_2\text{O}_7^{4-}] \quad [\text{Ni}^{2+}]^2 = [\text{P}_2\text{O}_7^{4-}] / K_{\text{çç}}$$

$$E = -0,250 - 0,0592 / 4 \log 1 / [\text{Ni}^{2+}]^2 = -0,250 - 0,0592 / 4 \log [\text{P}_2\text{O}_7^{4-}] /$$

$$K_{\text{çç}} = -0,250 - 0,0592 / 4 \log 1 / 1,7 \times 10^{-13} = -0,250 - 0,0148 \log 5,88 \times 10^{-12} = -0,439 \text{ V}$$

$[\text{P}_2\text{O}_7^{4-}] = 1$  olduğunda  $E = E^\circ$  olur