



---

**Makale / Research Paper**

---

**İzoniazid Çözeltisinde Üç Değerlikli Kromun İndirgemesinin  
Elektrokimyasal Mekanizması**

**Kübra TEHÇİ, Abdullah Ali GÜRTE**

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, 80000 Osmaniye/TÜRKİYE  
kubratehçi5301@hotmail.com, aligurten@osmaniye.edu.tr

**Received/Geliş:** 29.03.2017

**Revised/Düzeltilme:** 26.04.2017

**Accepted/Kabul:** 28.04.2017

**Özet:** Bu çalışmada, izoniazid (INH) içeren üç değerlikli krom çözeltisinde metalik kromun elektrokaplama, 40 °C'de camsi karbon elektrot yüzeyinde INH içeren temel banyo çözeltisindeki (TB) üç değerlikli kromun, elektrokimyasal davranışı dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak araştırıldı. Dönüşümlü voltametreden elde edilen sonuçlar, INH içeren TB çözeltisindeki metalik kromun elektrokaplama prosesi tersinmez bir proses olduğu ve camsi karbon elektrot yüzeyinde Cr(III)'ün indirgenmesinin difüzyon denetimli olduğunu göstermiştir. Ortalama  $\alpha n \alpha$  değeri 40 °C'de 0,314 ve Cr(III)'ün difüzyon katsayısı büyüklüğü  $1,06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  olarak hesaplandı.

**Anahtar kelimeler:** Üç Değerlikli Krom, Elektrokaplama, Difüzyon Katsayısı, İzoniazid

---

**Electrochemical Mechanism of Trivalent Chromium Reduction  
in Isoniazid Solution**

**Abstract:** In this study, the electrodeposition of metallic chromium from trivalent chromium electrolytes (TB) containing isoniazide (INH) on a glassy carbon electrode at 40 °C was researched by using cyclic voltammetry. The results obtained from the cyclic voltammetry showed that the electrodeposition of metallic Cr in the TB containing INH was an irreversible process and controlled by the diffusion of Cr(III) reduction on a glassy carbon electrode. The average  $\alpha n \alpha$  value was calculated to be 0.314 and the diffusion coefficient value of Cr(III) was to be  $1.06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  at 40 °C.

**Keywords:** Chromium, Electrodeposition, Diffusion Coefficient, Isoniazid.

---

## 1. Giriş

Sert krom kaplamalar, yüzeydeki krom filminin olağanüstü özelliğinden dolayı modern endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Krom kaplamalar, yüksek toksik özelliğe sahip altı değerlikli krom içeren kromik asit çözeltisinden elde edilir. Altı değerlikli krom kaplamalar oldukça küçük akım veriminden dolayı, diğer metal kaplama işlemlerinden farklıdır. Gerçekte, tipik Cr(VI) banyolarındaki akım etkinliği değeri %10-%20'yi aşmaz. Kaplamadan gelen Cr oranı 0,1-0,5 µm/dk dolayındadır. Çevresel problemlere dikkatlerin artması sebebiyle Cr(VI) içerikli bileşikler endüstriyel uygulamalarda devre dışı bırakılmaya başlanmıştır. Bu yüzden, geleneksel Cr(VI) banyo çözeltilerine alternatif olarak çevreye dost Cr(III) bileşiği banyoların krom kaplama

*Bu makaleye atıf yapmak için*

Tehçi, K., Gürten, A.A., "İzoniazid Çözeltisinde Üç Değerlikli Kromun İndirgemesinin Elektrokimyasal Mekanizması" El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi 2017, 4(2); 156-164.

*How to cite this article*

Tehçi, K., Gürten, A.A., T., "Electrochemical Mechanism of Trivalent Chromium Reduction in Isoniazid Solution" El-Cezerî Journal of Science and Engineering, 2017, 4(2); 156-164.

işlemlerinin gelişimi, modern kaplama endüstrisinde çok önemli bir hedefdir. Üç değerlikli krom içerikli banyo çözeltilerinin oluşturulmasında bir dizi gelişmeler olmuştur.

Krom (III) banyo çözeltilerinin süreklilik arz eden kararlılığa sahip olmadığı literatürde vurgulanmaktadır [1]. Ayrıca Cr(III) içerikli çözeltiler kullanılarak, krom kaplamaların oldukça zor olduğu bilinmektedir [2]. Aynı zamanda, krom (III) içerikli banyolardan elde edilen krom kaplamalarda, kaplama hızının kaplama zamanı ile hızlı bir şekilde azaldığı, ayrıca akım verimi kadar kaplama hızının da Cr(VI) banyo çözeltilerinde daha yüksek kararlılığa sahip olduğu literatürde belirtilmiştir [2].

Son yıllarda araştırmacılar üç değerlikli krom elektrolitlerden, krom kaplamalar yapılabilen ve geleneksel Cr(VI) kaplama yerine uygun, düşük maliyetli ve krom kaplama üretim teknolojisine önem verildiğini ifade etmektedirler [3,4]. Bunun sebepleri arasında, krom (III) tuzlarının krom anhidritlere göre çok daha az toksik, arıtmalarının çok daha kolay [5] ve krom (III) içerikli çözeltilerin kullanımının korozyona dayanıklı elektrolitik alaşım kaplamalarda ürün yelpazesinin genişlemesine neden olacağı belirtilmiştir. Ancak Cr(III) tabanlı kaplamaların, Cr(VI) kaplamalara göre daha düşük korozyon ve dayanım direncine sahip olduğu bilinmekte, bu tür kaplamaların özellikleri; Fe, Ni, Co gibi metal iyonları ile alaşım kaplamalar yapılarak korozyon ve dayanım direncinin artırıldığı bildirilmektedir [6]. Örneğin, Co-Cr alaşım kaplamalar; tıbbi protezlerde, deniz ve hava araçlarında, hava ve gaz endüstrisinde, dayanımı ve metal yorgunluk direncini arttırdığından dolayı kullanılmaktadır. Literatürde bu tür alaşımlarda kromun %10-%30 olduğu oranlarda mekanik ve korozyon direncinin yüksek olduğu rapor edilmiştir [7]. Krom (III) içerikli banyo çözeltilerinde, Co-Cr alaşım kaplamalarda krom içeriğinin, elektrolit sıcaklığı artırılarak ya da akım yoğunluğu düşürülerek azalabileceği ifade edilmiştir [8].

Kobalt-krom alaşım kaplamada, elektrolit bileşenin etkisi, çözeltinin pH'ı, alaşım bileşenin elektroliz koşulları ve kaplama kalitesini Efimow ve arkadaşları tarafından çalışılmış ve en yüksek krom içeriğinin % 15 olduğu alaşımın, tek başına Cr kaplamadan daha iyi korozyon direncine sahip olduğunu rapor etmişlerdir [9]. Benzer bir çalışmada, [10] krom (III) banyo çözeltisine farklı derişimlerde  $\text{CoCl}_2$  eklenmesiyle farklı oranlarda krom içeren (%19 - %35) alaşım kaplamalar elde etmişlerdir. Krom içeriğinin %35 olduğu alaşımın, içeriği %19 olan alaşımdan daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu Saravanan ve Mohan tarafından da rapor edilmiştir [7]. Bir başka araştırmada, Co-Cr alaşımlarının sertliği, korozyon direnci ve dayanım direncini arttırmak için bioaktif materyal olarak bilinen  $\text{TiO}_2$  ile Co-Cr/ $\text{TiO}_2$  kaplamalar elde etmişler ve başarılı sonuçlar almışlardır [11]. Başka bir çalışmada, korozyona karşı etkili bir koruma sağlanmak isteniyorsa krom-molibden ve krom-tungsten gibi kaplamaların oluşturulmasının son derece anlamlı olabileceği ifade edilmektedir. Literatürde, molibden ve tungsten gibi metallerin az miktarda safsızlık olarak krom kaplamalarda bulunmasının klorürlü ortamlarda önemli ölçüde korozyon direncini artırdığı belirtilmektedir. Ancak, krom anhidrit içerikli çözeltilerden molibden ve tungsten alaşımlarının oluşturulmasının çok zor olduğu, elektrolitik olarak Mo ya da W oranının % 0,1 den daha fazla olamayacağı Kuznetsovs ve Matveev tarafından rapor edilmiştir [12,13].

Krom kaplamaların yüksek korozyon dirençlerinin nedeni; sülfürik asit ve nitrik asit, alkali çözeltiler gibi bazı korozif ortamlarda kendi pasivasyonunu sağlamasındandır [14,15]. Bu yüzden, krom yüzeyinde oluşan ince bir oksit film metalin çözülmesini önler. Ancak, krom kaplamaların önemli bir dezavantajı da, klorür iyonlarının ortamda bulunmasına bağlı olarak korozyon oluşumunun gerçekleşmesidir. Bu durum, krom kaplama prosesi içerisine küçük miktarlarda fosfor, molibden, tungsten veya niyobyum katılması suretiyle aşılabılır [6,16,17]. Örneğin, metalin çözülmesini önleyen Molibden'in oluşturduğu çok ince olan yüzey tabakası korozyon hızını yaklaşık 10 kat azaltmaktadır [18]. Elektrokimyasal olmayan yöntemlerle Cr-W ve Cr-Mo kaplamalar elde etmek yüksek erime noktalarından dolayı çok zordur. Krom (VI) içerikli banyo çözeltilerinden elde edilen alaşım kaplamalar küçük miktarlardaki tungsten ya da Molibden ile gerçekleştirilmektedir. Cr-W alaşım kaplamalar elde etmek için krom (III) içerikli banyo çözeltileri

kullanıldığı banyo çözeltisi bir dizi özelliğe sahip olmaktadır. Kaplamanın önemli bir kısmı krom karbür içermektedir. Sulu çözeltilerden elde edilen kaplamalar için belirtilen deneysel verilerden karbonun ağırlıkça % 2 olduğu rapor edilmiştir. Kaplamalarda karbon içeriğinin nedeninin, sulu çözeltideki organik asitlerin (formik ve ya oksalik asit) anyonları ile Cr(III) iyonlarının kompleks oluşturmasından kaynaklandığı literatürde belirtilmiştir [18,19].

Krom (III) çözeltisinden hazırlanan krom kaplama banyo çözeltilerinde kompleksleştirici olarak sodyum ve amonyum format ve asetat Song ve Chin tarafından 2002 yılında yapılmış oldukları araştırmalarında kullanmışlardır. Böylece, krom kaplamada bu tür kompleks ajanların aktif  $Cr^{3+}$  indirgenme tepkimesinde kullanıldığını deneysel olarak göstermişlerdir [20]. Sulu çözeltide, üç değerlikli krom iyonları  $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ ,  $[(H_2O)_4Cr(OH)(OH)Cr(H_2O)]^{4+}$ ,  $[(H_2O)_5Cr(OH)Cr(H_2O)_5]^{5+}$ ,  $[Cr(H_2O)_5(OH)]^{2+}$ ,  $[Cr(H_2O)_5Cl]^{2+}$  vb gibi çeşitli kompleks formlarında bulunmaktadır. Çözeltide organik türden ligand bulunduğunda,  $Cr^{3+}$  iyonu ile kompleks yapmış bir ya da daha fazla  $H_2O$ ,  $OH^-$  ve  $Cl^-$  gibi türler, organik ligandlar ile yer değiştirebilir ve  $[Cr(H_2O)_5(HCOO)]^{2+}$ ,  $[Cr(H_2O)_5(CH_3COO)]^{2+}$  ve  $[Cr(EDTA)]^-$  gibi organo-krom kompleksleri oluşturabilir. Kaplama banyosunda; format ya da asetat gibi kompleksleştirici organik ligandlar olmadan, üç değerlikli kromun indirgenmesi mümkün değildir [21].

Çalışmanın amacı, dönüşümlü voltametri (CV) yöntemiyle izoniazid (INH) içeren üç değerlikli krom çözeltisinden camı karbon elektrot yüzeyinde Cr(III)'ün indirgenmesinin incelenmesi ve elde edilen CV sonuçlarından; tersinirlik, aktarılan elektron sayısı, difüzyon katsayısı gibi elektrokimyasal parametrelerin belirlenmesidir.

### 3. Deneysel Çalışmalar

Dönüşümlü voltammogram, elektrot yüzeyindeki reaksiyon hakkında faydalı bilgiler elde etmek için kullanılan etkili bir yöntemdir. Üç değerlikli kromun indirgenmesinin elektrokimyasal mekanizması, 0,20 M  $CrCl_3 \cdot 6H_2O$ , 0,10 M  $H_3BO_3$  ve 0,10 M  $NH_4Cl$  karışımı olan Temel Bileşim (TB) çözeltisinde INH içeren ve içermeyen koşullarda 40 °C'de pH'nın 2 olduğu koşullarda katot elektrot reaksiyonunu araştırmak için dönüşümlü voltametri tekniği kullanılarak elektrokimyasal çalışmalar yapılmıştır.

Deneylerde % 99,99 saflıkta 3,0 mm çapında camı karbon çalışma elektrotu, CHI marka mikro Ag/AgCl referans elektrot, 0,10 mm çaplı platin tel karşı elektrot olarak kullanıldı. Yüzey alanı  $0,0707 \text{ cm}^2$  olan çalışma elektrodun açık olan yüzeyi mekanik olarak 0,05  $\mu\text{m}$  alümina kolloid çözeltisinde çulha üzerinde parlatıldı. Ardından önce etanol ile daha sonra distile su ile yıkandı ve kurutuldu.

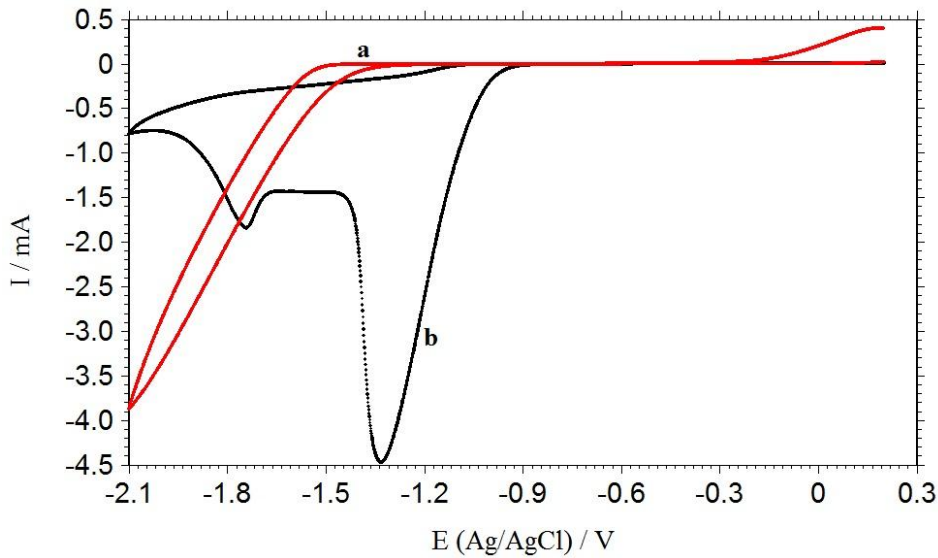


Şekil 1. CV ölçümlerinde kullanılan hücre

Şekil 1’de gösterilen hücrede, TB ve TB + INH çözeltisine; çalışma elektrotu olarak camsı karbon elektrot, karşı elektrot olarak platin (Pt) tel ve referans elektrot olarak da Ag/AgCl elektrot daldırıldıktan sonra bilgisayar entegreli CHI 6094D model elektrokimyasal analizör ile CV ölçümleri farklı tarama hızlarında gerçekleştirilmiştir. Voltamogramlardan, pik potansiyeli ( $E_p$ ), yarı pik potansiyeli ( $E_{p/2}$ ) ve pik akımı ( $i_p$ ) değerleri bulunarak ortalama yük transfer katsayısı ve difüzyon katsayısı değerleri hesaplandı.

#### 4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Camsı karbon elektrot (GC) yüzeyindeki izoniazid’in (izonikotinihidrazid, INH) 313 K’deki dönüşümlü voltamogramı Şekil 2’de verilmiştir. Öncelikle INH’nin pH 2,0’da sulu çözeltide 0,2 V ile -2,1 V aralığında dönüşümlü voltamogramı alınmıştır (Şekil 2). Şekilden de görüldüğü gibi (a eğrisi) yaklaşık -1,35 V’den itibaren hidrojen indirgenmesi dışında pik gözlenmemiştir. Bu sonuç, tarama yapılan potansiyel aralığında INH’nin elektrokimyasal olarak kararlı olduğunun kanıtıdır.

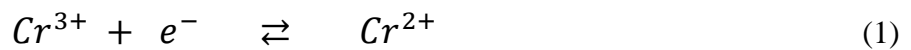


Şekil 2. GC elektrot yüzeyinde 313 K’de INH sulu çözeltisi (a) ve 0,20 M Cr(III)-INH (b) çözeltisi. ( $\nu = 50 \text{ mV s}^{-1}$ )

GC yüzeyinde 0,20 M Cr(III)-INH çözeltisinde 313 K’deki dönüşümlü voltamogramı da Şekil 2’de (b eğrisi) verilmiştir. Potansiyel taraması 0,20 V dan negatif potansiyele doğru -2,10 V’a kadar ve daha sonra başlangıç potansiyeline doğru tarama yapılmıştır. Başlangıç potansiyelinden -0,9 V’a kadar akım değeri artış göstermemiştir. Bu potansiyelden itibaren akım değeri hızla azalmış ve -1,35 V potansiyelde Cr (III)’ün Cr(II)’ye indirgenme pikine ait olduğu literatürde rapor edilmiştir [20,22]. Yaklaşık -1,50 V’a kadar akımın dik bir şekilde artması elektrot yüzeyinde Cr (II)’nin metalik kroma indirgenmesinin başladığını göstermektedir.

İndirgeme işlemi sırasında, metalik krom çökeltilerinin oluşmasıyla, Ferreira ve arkadaşları tarafından yaklaşık -1,50 V’dan daha katodik potansiyelerde kaplamanın gerçekleşebileceği, rapor edilmiştir [22]. Yaklaşık -1,60 V’dan itibaren metalik kroma indirgenme başlamış ve -1,75 V’da Cr (II)’nin Cr(0)’a indirgenme piki görülmüştür.

Kromun elektrokaplanması, hidrojen oluşumuyla birlikte üç aşamada gerçekleşmektedir [23,24].  $\text{Cr}^{+3}$  iyonlarının tamamlanmamış indirgenmesi;



Krom metalinin elektrokaplama;

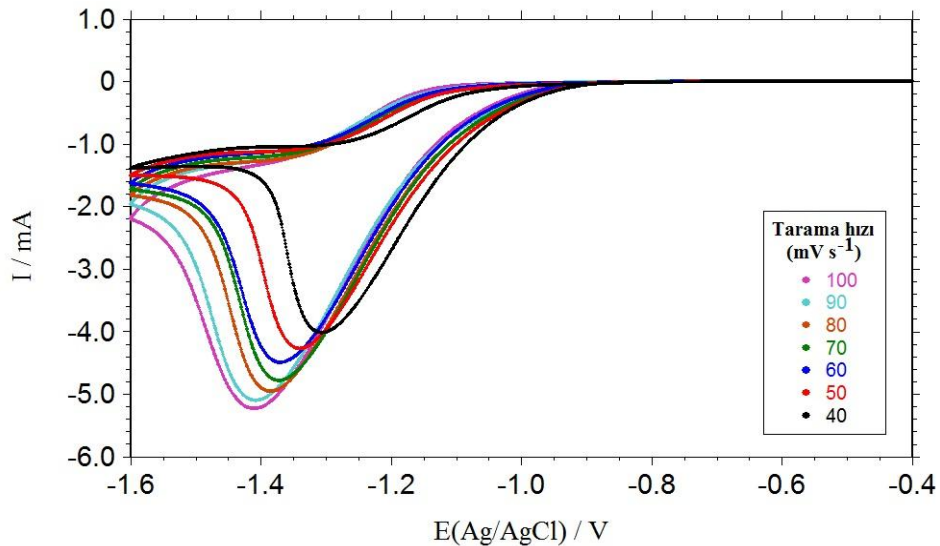


Eşzamanlı hidrojen oluşumu;



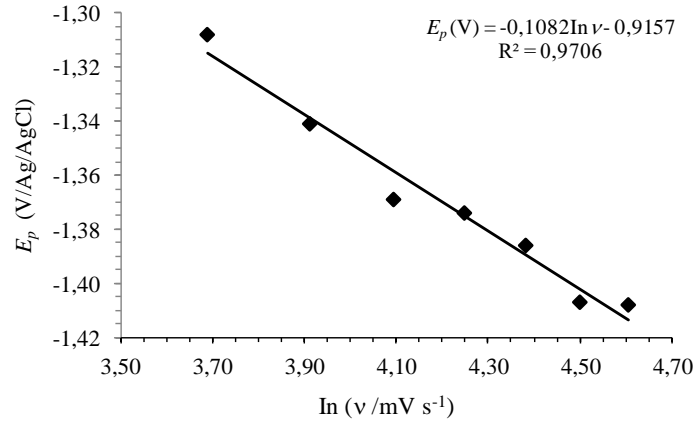
Şekil 2'den de görüldüğü gibi, olası tarama tersine çevirildiğinde, -2,10 V'dan itibaren başlangıç potansiyeline anodik tarama yapıldığında, oksidasyon piki gözlenmemiştir. Bu durum Cr (III)'ün GC yüzeyinde indirgenmesinin tersinmez olduğunu düşündürmüştür. Ayrıca, 0,500 ile -2,100 V aralığında INH çözeltisinde (Şekil 2.a) oluşan çözücü sistemine ait hidrojenin indirgenmesi dışında herhangi bir indirgenme-yükseltgenme pikine rastlanmadı. Bu nedenle, çalışmaya uygun potansiyel aralığının -0,400 - 1,600 V olarak seçilmesine karar verildi.

Dönüşümlü voltametri yöntemi ile Cr(III)-INH çözeltisinin elektrokaplama kinetiğini araştırmak ve difüzyon katsayısı belirleme için GC elektroda uygulanan potansiyelin zamanla değişim hızını ifade eden tarama hızı çalışması yapılmıştır. Tarama hızının pik potansiyeline ve pik akımına etkisinin incelenmesi amacıyla 0,20 M Cr(III)-INH içeren çözeltilerde 40 mV s<sup>-1</sup>-100 mV s<sup>-1</sup> arasında çalışmalar yapıldı. Farklı tarama hızıyla, pik potansiyellerinin daha negatif değerlere kaydığı görülmüştür (Şekil 3).



Şekil 3.Farklı tarama hızlarında 0,20 M Cr(III)-INH çözeltisinin 313 K'de GC elektrot yüzeyinde elde edilen dönüşümlü voltamogramları

Ayrıca, tarama hızının artmasıyla katodik pik akımlarının artması da incelenen elektrot tepkimesinin tersinmez ya da yarı tersinir olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, anodik tarama yönünde belirgin bir anodik pikin oluşmaması ve katodik pik potansiyellerine karşı tarama hızlarının logaritması arasında doğrusal bir ilişkinin olması (Şekil 4), GC elektrot yüzeyinde Cr (III) iyonlarının indirgenmesinin tersinmez olduğunun kanıtıdır [25,26].



Şekil 4. Katodik pik potansiyelinin tarama hızının logaritması ile değişimi

Pik potansiyelinin tarama hızına karşı oluşturulan grafikten yük transfer katsayıları ( $\alpha$ ) ve elektron sayıları ile ilgili hesaplamaları da yapmak mümkündür. Tersinmez elektrot mekanizmalarında, pik potansiyeli ( $E_p$ ) ile yarı pik potansiyeli ( $E_{p/2}$ ) arasındaki farktan yararlanılarak  $n_\alpha$  değerleri hesaplanmıştır (Eşitlik (5)).

$$|E_p - E_{p/2}| = \frac{1,857 RT}{\alpha n_\alpha F} \quad (5)$$

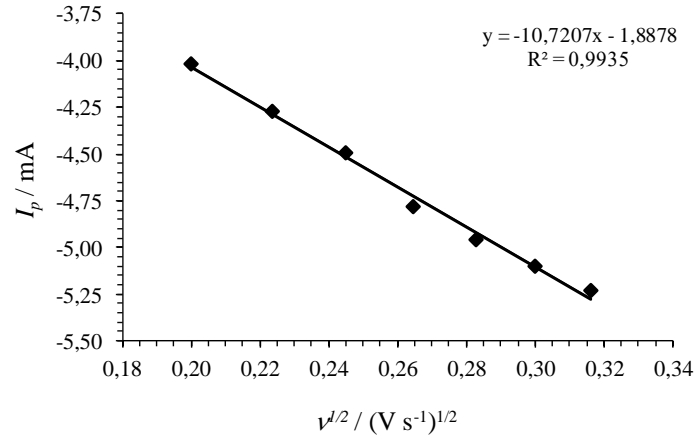
Eşitlik 5'deki  $\alpha$  yük transfer katsayısı,  $n_\alpha$  hız belirleyici basamaktaki elektron sayısı,  $R$  evrensel gaz sabiti,  $F$  Faraday sabiti ve  $T$  sıcaklıktır. Tersinmez prosesteki  $\alpha n_\alpha$ 'nın değerleri Eşitlik 5'den hesaplanmış ve Çizelge 1'de verilmiştir. Eşitliğe göre 313 K'de hesaplanan ortalama  $\alpha n_\alpha$  değeri 0,314 olarak bulunmuştur.

Çizelge 1. 0,2 M Cr (III)-INH çözeltisinin pik potansiyellerinin tarama hızı ile değişimi

Tarama Hızı (mV s <sup>-1</sup> )	$E_p$ (V)	$E_{p/2}$ (V)	$\Delta E$ (mV)	$n_\alpha=50,1/\Delta E$
0,040	1,308	1,159	149	0,336
0,050	1,341	1,189	152	0,330
0,060	1,369	1,216	153	0,327
0,070	1,374	1,212	162	0,309
0,080	1,386	1,220	166	0,302
0,090	1,407	1,239	168	0,298
0,100	1,408	1,239	169	0,296

Ortalama= 0,314

Katodik pik akımının tarama hızının karekökü ile doğrusal değişimi Cr (III) iyonunun indirgenmesinin difüzyon kontrollü ve elektron aktarım basamağının tersinmez olduğunun kanıtıdır [25]. Şekil 5'de görüldüğü gibi,  $i_p$ 'e karşı  $v^{1/2}$  eğrisinin doğrusal olması Cr(III)-INH çözeltisinde  $Cr^{3+}$  iyonunun indirgenmesinin difüzyon kontrollü olduğunu göstermektedir. Buna göre, GC elektrot yüzeyinde  $Cr^{3+}$ 'dan  $Cr^{2+}$ 'ye indirgenmenin tersinmez ve difüzyon kontrollü olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 5. Katodik pik akımının tarama hızının karekökü ile değişimi

Tersinmez reaksiyonlar ya da yarı tersinir için pik akım yoğunluğu ve potansiyel tarama hızı arasındaki ilişki Eşitlik 6'da verilmektedir.

$$I_p = \frac{0,282 \pi^{1/2} F^{3/2}}{(RT)^{1/2}} n(\alpha n_\alpha)^{1/2} D^{1/2} A C_0 v^{1/2} \quad (6)$$

Eşitlik 6'daki  $F$  Faraday sabiti ( $96485 \text{ C mol}^{-1}$ ),  $R$  evrensel gaz sabiti ( $8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ),  $T$  sıcaklık (K),  $A$  elektrodun yüzey alanı ( $0,0707 \text{ cm}^2 \text{ GC}$ ),  $n$  indirgenen elektron sayısı,  $\alpha$  yük transfer katsayısı,  $n_\alpha$  hız belirleyici basamaktaki elektron sayısı,  $D$  difüzyon katsayısı ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ),  $C_0$   $\text{Cr}^{3+}$  derişimi ve  $\alpha n_\alpha$ 'nin ortalama değeri Eşitlik 5'den hesaplanmıştır.

Krom (III) iyonunun difüzyon katsayısı Eşitlik 6'ya göre  $313\text{K}$ 'de  $1,06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Bu değer, literatürdeki  $[25,27]$   $\text{CrCl}_3$ -[BMIM]Br çözeltisindeki değerler ( $353 \text{ K}$  de  $2,30 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ,  $303 \text{ K}$ 'de  $2,91 \times 10^{-8} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ ) ile karşılaştırıldığında daha büyüktür. Bu sonuç,  $\text{Cr(III)-INH}$ 'nin krom kaplamada ticari uygulamalar için oldukça umut verici olduğunu göstermektedir.

## 5. Sonuçlar

Üç değerlikli krom iyonu içeren çözeltiden elde edilen krom kaplamalarda INH molekülünün etkisi araştırılan çalışmada; GC elektrotta INH katkılı krom kaplama çözeltisinde  $\text{Cr(III)}$  iyonunun elektrokimyasal indirgenmesi incelenmiştir. GC elektrot yüzeyinde INH katkılı TB çözeltisinde farklı tarama hızlarında  $\text{Cr}^{3+}$ 'nin dönüşümlü voltamogramları alınarak  $\text{Cr}^{3+}$ 'nin indirgenmesinin iki basamakta gerçekleştiği, tepkimenin tersinmez ve difüzyon kontrollü olduğu belirlenmiştir. INH katkılı TB çözeltisinde, dönüşümlü voltametri verilerinden hesaplanan  $\text{Cr}^{3+}$  iyonlarının difüzyon katsayısı  $313 \text{ K}$ 'de  $1,06 \times 10^{-5} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  dir. Bu değer büyük değerde olması  $\text{Cr(III)-INH}$ 'nin krom kaplamada ticari uygulamalar için oldukça umut verici olduğunu sonucuna varılmıştır.

## Teşekkür

OKÜBAP-2017-PT3-002 nolu projeyi destekleyen Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- [1] Drela, I., Szykarczuk, J., Kubicki, J., "Electrodeposition of chromium from Cr (III) electrolytes in the presence of formic acid", *Journal of Applied Electrochemistry*, 19, (1989) 933-936.
- [2] Protsenko, V.S., Danilov, F.I., Gordienko, V.O., Kwon, S.C., Kim, M., Lee, J.Y., "Electrodeposition of hard nanocrystalline chrome from aqueous sulfate trivalent chromium bath", *Thin Solid Films* 520, (2011) 380-383.
- [3] Safonova, O.V., Vykhodtseva, L.N., Polyakov, N.A., Swarbrick, J.C., Sikora, M., Glatzel, P., Safonov, V.A., "Chemical composition and structural transformations of amorphous chromium coatings electrodeposited from Cr(III) electrolytes", *Electrochimica Acta*, 56, (2010) 145-153.
- [4] Danilov, F.I., Protsenko, V.S., Gordienko, V.O., Kwon, S.C., Lee, J.Y., Kim, M., "Nanocrystalline hard chromium electrodeposition from trivalent chromium bath containing carbamide and formic acid: Structure, composition, electrochemical corrosion behavior, hardness and wear characteristics of deposits", *Applied Surface Science*, 257, (2011) 8048-8053.
- [5] Bagchi, D., Stohs, S.J., Downs, B.W., Bagchi, M., Preuss, H.G., "Cytotoxicity and oxidative mechanisms of different forms of chromium", *Toxicology* 180, (2002) 5-22,.
- [6] Ramezani-Varzaneh, H.A., Allahkaram, S.R., Isakhani-Zakaria, M., "Effects of phosphorus content on corrosion behavior of trivalent chromium coatings in 3.5 wt.% NaCl solution", *Surface and Coatings Technology*, 244, (2014) 158-165.
- [7] Saravanan, G., Mohan, S., "Structure, composition and corrosion resistance studies of Co–Cr alloy electrodeposited from deep eutectic solvent (DES) ", *Journal of Alloys and Compounds*, 522, (2012) 162-166.
- [8] Czako-Nagy, I., El-Sharif, M.K., Vertes, A., Chisholm, C.U., "Studies of electrodeposited chromium-cobalt alloy coatings by emission Co-57 Mössbauer spectroscopy", *Electrochimica Acta*, 39, (1994) 801-805.
- [9] Efimov, E.A., Chernykh, V.V., "Electroplating with chromium-cobalt alloy", *Protection of Metals*, 37, (2001) 396-397.
- [10] Surviliene, S., Jasulaitiene, V., Cesuniene, A., Lisowska-Oleksiak, A., "The use of XPS for study of the surface layers of Cr–Co alloy electrodeposited from Cr(III) formate-urea baths", *Solid State Ionics*, 179, (2008) 222-227.
- [11] Mahdavi, S., Allahkaram, S.R., "Composition, characteristics and tribological behavior of Cr, Co–Cr and Co–Cr/TiO<sub>2</sub> nano-composite coatings electrodeposited from trivalent chromium based baths", *Journal of Alloys and Compounds*, 635, (2015) 150-157.
- [12] Kuznetsov, V. V., Matveev, D. V., "Electrodeposition of chromium-molybdenum alloy from electrolyte based on chromium (III) sulfate", *Russian Journal of Electrochemistry*, 44, (2008) 740-744.
- [13] Kuznetsov, V. V., Pavlov, L. N., Vinokurov, E. G., Filatova, E. A., Kudryavtsev, V. N., "Electrodeposition of chromium-tungsten alloy from organo-aqueous solutions containing dimethyl formamide", *Russian Journal of Electrochemistry*, 51, (2015) 174-179.
- [14] Kumar, U.P., Kennady, C.J., "Characterization of chromium electrodeposits obtained from trivalent electrolytes containing formaldehyde as additive", *International Journal of Thin Films Science and Technology*, 4, (2015) 147-153.
- [15] Kellner, F.J.J., Killian, M.S., Yang, G., Spiecker, E., Virtanen, S., "TEM and ToF-SIMS studies on the corrosion behavior of vanadium and chromium containing W-C-Co hard metals in alkaline solutions", *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 29, (2011) 376-383.
- [16] Castillejo, F.E., Marulanda, D.M., Olaya, J.J., Alfonso, J.E., "Wear and corrosion resistance of niobium-chromium carbide coatings on AISI D2 produced through TRD", *Surface and Coating Technology*, 254, (2014) 104-111.



- [17] Lloyd, A.C., Noël, J.J., McIntyre, S., Shoesmith, D.W., "Cr, Mo and W alloying additions in Ni and their effect on passivity", *Electrochimica Acta*, 49, (2004) 3015-3027.
- [18] Kuznetsov, V.V., Pavlov, L.N., Vinokurov, E.G., Filatova, E.A., Kudryavtsev, V.N., "Corrosion resistance of Cr-C-W alloys produced by electrodeposition", *Journal of Solid State Electrochemistry*, 19, (2015) 2545-2553.
- [19] Zeng, Z., Sun, Y., Zhang, J., "The electrochemical reduction mechanism of trivalent chromium in the presence of formic acid", *Electrochemistry Communications*, 11, (2009) 331-334.
- [20] Song, Y.B., Chin, D.T., "Current efficiency and polarization behavior of trivalent chromium electrodeposition process", *Electrochimica Acta*, 48, (2002) 349-356.
- [21] Ibrahim, S.K., Gawne, D.T., Watson, A., "Plasma-sprayed PMMA coatings on steel", *Transactions of the Institute of Materials Finishing*, 76, (1998) 156-161.
- [22] Ferreira E.S.C., Pereira C.M., Silva A.F., "Electrochemical studies of metallic chromium electrodeposition from a Cr(III) bath", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 707, (2013) 52-58.
- [23] Kumar, U.P., Kennady, C.J., "Characterization of chromium electrodeposits obtained from trivalent electrolytes containing formaldehyde as additive", *International Journal of Thin Films Science and Technology*, 4, (2015) 147-153.
- [24] Zeng, Z., Sun, Y., Zhang, J., "The electrochemical reduction mechanism of trivalent chromium in the presence of formic acid", *Electrochemistry Communications*, 11, (2009) 331-334.
- [25] He X., Hou B., Li C., Zhu Q., Jiang Y., Wu L., "Electrochemical mechanism of trivalent chromium reduction in 1-butyl-3-methylimidazolium bromide ionic liquid", *Electrochimica Acta*, 130, (2014) 245-252.
- [26] Jayakumar, M., Venkatesan, K.A., Srinivasan, T.G., "Electrochemical behavior of fission palladium in 1-butyl-3-methylimidazolium chloride", *Electrochimica Acta*, 52, (2007) 7121-7127.
- [27] Eugenio S., Rangel C.M., Vilar R., Quaresma S., "Electrochemical aspects of black chromium electrodeposition from 1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate ionic liquid", *Electrochimica Acta*, 56, (2011) 10347-10352.