

الکتروود یون-گزین جدید آهن (II) بر پایه N- فنیل آزا- ۱۵- کران-۵ به عنوان حامل خنثی در ماتریس PVC

حسین آقایی^۱

گروه شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، صندوق پستی: ۷۷۵-۱۴۵۱۵، تهران، ایران

مسعود گیاهی

گروه شیمی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، صندوق پستی: ۱۶۱۶، لاهیجان، ایران

مهران آقایی

گروه شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

محمد پور نقدی

گروه شیمی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، صندوق پستی: ۷۷۵-۱۴۵۱۵، تهران، ایران

چکیده

آهن، بیست و ششمین عنصر در جدول تناوبی و یکی از جالب ترین عناصر قابل بحث می باشد که بطور گسترده ای در زمین توزیع شده است. در این تحقیق، یک الکتروود غشایی PVC برای یون آهن (II) بر پایه N- فنیل آزا- ۱۵- کران-۵ (NPA15C) به عنوان یونوفور تهیه شد. این الکتروود، پاسخ نرنستی به یون های آهن (II) در محدوده غلظتی 10^{-6} تا 10^{-2} مولار با شیب $29/2 \pm 0/7$ mV/decade نشان می دهد. زمان پاسخ آن کوتاه بوده (15 s) و بعد از دو ماه نیز پاسخ پایا و برگشت پذیری دارد. نتایج نشان می دهد که این الکتروود رامی توان بدون مزاحمت در محیط های اتانولی (تا ۲۰٪) و دی اکسان (تا ۵٪) به کار برد. مقدار ثابت تشکیل کمپلکس بین یونوفور و یون آهن (II) برای الکتروود تعیین گردید. ضرایب گزینش پذیری برای یون آهن (II) به عنوان گونه آزمایشی نسبت به یون های مختلف ارزیابی شد. این الکتروود برای اندازه گیری مقدار یون آهن (II) موجود در شربت فروس سولفات به کار گرفته شد.

واژه های کلیدی: الکتروود غشایی PVC، N- فنیل آزا- ۱۵- کران-۵، ضرایب گزینش پذیری، آهن (II).

۱- مقدمه

نخستین الکترودهای یون - گزین (ISEs) بر پایه غشاء شامل یک حامل یونی بیش از ۴۰ سال قبل معرفی شدند. امروزه ISEs یکی از مهم ترین گروه حسگرهای شیمیایی را تشکیل می دهند. بعد از کشف سال ۱۹۶۴ به وسیله Moore و Pressman^(۱) مبنی بر این که بعضی از آنتی بیوتیک ها موجب انتقال یون در میتوکندری می شوند. Simon و همکاران^(۲،۳،۴) در سال ۱۹۶۶-۶۸ نشان دادند که این پدیده اساساً در نتیجه تشکیل کمپلکس هایی بین این ترکیبات و کاتیون های معینی است. آنها به معرفی اولین ISE بر پایه حامل های خنثی پرداختند و توضیح دادند که این آنتی بیوتیک ها موجب انتقال یون می شوند. در سال های بعد کران اترها^(۵) به طور گسترده ای به عنوان حامل های خنثی مناسب برای گزینش و انتقال مؤثر کاتیون های قلیایی و قلیایی خاکی از طریق غشاهای مایع به کار گرفته شدند^(۶). همچنین از این ترکیبات در ساختار الکترودهای غشا گزین به منظور استخراج مؤثر یون های فلزی و گزینش پذیری ویژه آنها استفاده شد^(۷-۱۱). توسعه موفقیت آمیز این الکترودها، در بسیاری از جنبه ها باعث ایجاد یک تئوری معتبر گردید که رفتار گزینشی غشاءها را با حامل های خنثی بخوبی توضیح می دهد. امروزه مقاله های منتشر شده در ارتباط با ISEs به طور فزاینده ای گسترش پیدا کرده است^(۱۲،۱۳،۱۴). استفاده بیش از حد حسگر های یونی در زمینه های محیط زیست، کشاورزی و آنالیزهای پزشکی، شیمیدانان تجربی را بر آن داشت تا حسگر های جدید را برای تعیین گزینشی دقیق گونه های متفاوت، گسترش دهند.

در کار حاضر، بررسی خواص یک الکتروود یون گزین بر پایه یونوفور (NPA15C5) در ماتریس PVC انجام گرفته است. خواص تجزیه ای این الکتروود با استفاده از یون آهن (II) به عنوان گونه آزمایشی به نمایش گذاشته می شود و به منظور نشان دادن کاربرد عملی الکتروود تهیه شده، اندازه گیری آهن موجود در یک دارو به روش افزایش استاندارد انجام شد.

۲- بخش عملی

۲-۱- مواد و وسایل

اندازه گیری پتانسیل با میلی ولت متر دیجیتالی⁺ Aron Model M890 C ساخت (تایوان) و اندازه گیری pH با pH متر EDT Model GP353 ساخت (انگلیس) انجام شد. جهت توزین مواد از ترازوی تجزیه ای Sartorius Model 2842 ساخت (آلمان) با دقت ± 0.0001 g و برای تزریق حجم های کم از سرنگ های هاملتونی ۱۰۰ میکرولیتر استفاده شد. الکتروود مرجع بیرونی و درونی هر دو از نوع SCE بود. در تمام آزمایش ها از آب مقطر استفاده شد. از PVC با جرم مولکولی بالا، اولئیک اسید (OA)، دی بوتیل فتالات (DBP)، استوفنون (AP)، تترا هیدرو فوران (THF)، اتانل (C₂H₅OH)، ۴،۱-دی اکسان (C₄H₈O₂) همگی با خلوص بالا از شرکت Fluka یا Merck استفاده گردید. از یک کران اتر (Crown ether) به نام N-phenylaza-15-crown-5 به عنوان یونوفور استفاده گردید. نمک های کلرید و نیترات همه کاتیون های مورد استفاده (از شرکت Aldrich، Fluka و یا Merck) از خالص ترین مواد در دسترس بوده که بدون هیچ گونه خلوص سازی مجدد از آنها استفاده گردید.

۲-۲- تهیه الکتروُد

برای تهیه غشاء، ۳۰ میلی گرم پودر PVC با وزن مولکولی بالا، ۵ میلی گرم یونوفور، ۳ میلی گرم ماده افزودنی اولئیک اسید و ۶۲ میلی گرم نرم کننده دی بوتیل فتالات را توزین و مخلوط حاصل را در ۲ میلی لیتر THF حل کرده و بهم زده تا بصورت محلول کاملاً همگن در آید. در دمای اتاق حلال به تدریج بخار شده و پس از ۲۴ ساعت غشای کاملاً شفاف بدست می آید. غشاء را به وسیله چسب PVC به ته یک لوله شیشه ای پیرکس با قطر تقریبی ۱۰ میلی متر چسبانده می شود. برای آماده سازی غشاء از محلول $M \times 10^{-3} \times 1/0$ آهن (II) به عنوان محلول درونی استفاده و غشاء در محلول $M \times 10^{-2} \times 1/0$ آهن (II) قرار داده شد. پس از ۸ ساعت الکتروُد تقریباً به شیب نرنستی مورد نظر می رسد.

۲-۳- اندازه گیری emf

تمام اندازه گیری ها توسط یک میلی ولت متر دیجیتال و در دمای $C \pm 0/1 \times 25$ به وسیله ترموستات Univeba مدل ۴۰۰ انجام شد. محلول های مورد آزمایش همگی توسط یک هم زن مغناطیسی بهم زده می شود، زیرا بهم زدن محلول (به خصوص در غلظت های پایین) باعث تسریع در پاسخ الکتروُد می شود^(۱۵). الکتروُد آماده شده با الکتروُد های مرجع درونی و بیرونی SCE به ترتیب در داخل محلول های $M \times 10^{-7}$ تا $M \times 10^{-2} \times 1/0$ قرار داده شد و پتانسیل الکتروُد ضمن بهم زدن محلول ها پس از گذشت ۳۰ تا ۹۰ ثانیه و ثابت شدن ثبت و سپس بر حسب pm رسم گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- آزمایش های مقدماتی و بهینه سازی اجزای غشاء

در یک سری آزمایش های مقدماتی، الکتروُد های با ترکیب درصد غشای ۵٪ وزنی یونوفور، ۵٪ وزنی افزودنی یونی (OA)، ۳۰٪ وزنی پلیمر PVC و ۶۰٪ وزنی حلال غشاء (DBP) و در محلول حاوی یون های گوناگون آماده سازی گردید. نتایج حاصل نشان داد که الکتروُد ساخته شده گزینش پذیری خوبی نسبت به یون آهن (II) دارد (شکل ۱). اثر ترکیب درصد اجزای غشاء بر پاسخ الکتروُد یون-گزین آهن (II) در جدول نشان داده شده است. همان طوری که در جدول ۱ مشاهده می شود استفاده از ۳۰٪ PVC، ۶۲٪ DBP، ۳٪ اولئیک اسید و ۵٪ یونوفور،

بهترین گزینش پذیری با یک شیب نرنستی $29/2 \text{ mV/decade}$ در گستره خطی $M \times 10^{-2}$ - $M \times 10^{-6}$ - ۱۰×۱۰ نشان می دهد. از داده های جدول چنین بر می آید که استفاده از نرم کننده DBP به جای استوفون (AP) در بهبود عملکرد الکتروُد نقش بسزایی دارد. غشاءهایی که درصد نرم کننده آنها بالا باشد نه تنها دارای خواص فیزیکی مطلوبی می باشند بلکه تحرک گونه هارا در غشاء بهبود می بخشند^(۱۶). حضور اولئیک اسید در ساختار غشاء منتج به افزایش قابل ملاحظه ای در حساسیت پاسخ الکتروُد می شود.

۲-۳- تاثیر pH

جهت تأثیر pH محلول مورد آزمایش بر پاسخ پتانسیل حسگر آهن (II)، محلول‌هایی با pH های ۱ تا ۹ از آهن (II) با غلظت 10^{-4} تا 10^{-1} M تهیه و پتانسیل الکتروود اندازه‌گیری شد. آنگاه نمودار پتانسیل بر حسب pH ترسیم گردید (شکل ۲). همان طوری که مشاهده می‌شود پتانسیل در محدوده pH ۵ تا ۷ تقریباً ثابت باقی می‌ماند اما کاهش شدید پتانسیل در $pH < 4$ احتمالاً مربوط به پروتونه شدن یونوفور می‌باشد. همچنین کاهش ملایم پتانسیل در $pH > 7$ می‌تواند مربوط به تشکیل تدریجی رسوب آهن (II) هیدروکسید باشد که در این حالت از غلظت یون‌های آهن (II) در محیط به تدریج کاسته می‌شود. بنا بر این محدوده ۵ تا ۷ که پتانسیل مستقل از pH است برای الکتروود پیشنهاد شده مناسب می‌باشد که تمام اندازه‌گیری‌ها در این محدوده انجام شد.

۳-۳- تکرار پذیری پاسخ الکتروود

به منظور تعیین تکرار پذیری پاسخ الکتروود، پتانسیل غشاء چندین بار متوالی در محلول‌های 10^{-4} تا 10^{-1} M و ۵-۱۰× 10^{-1} مولار آهن (II) اندازه‌گیری شد. نتایج این بررسی در شکل ۳ نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که پاسخ پتانسیل حسگر تکرار پذیر است. نتایج فوق حاکی از آن است که سینتیک مبادله یون در غشاء سریع بوده و یونوفور موجود در این غشاء به خوبی می‌تواند ضمن تشکیل کمپلکس پایدار با یون Fe^{2+} و انتقال آن به درون غشای آلی، آن را در داخل غشاء به راحتی و به سرعت آزاد کند.

۳-۴- زمان پاسخ دهی الکتروود

زمان پاسخ دهی استاتیک حسگر غشایی به روش آیوپاک اندازه‌گیری شد^(۱۷). متوسط زمان لازم الکتروود برای رسیدن به یک پتانسیل ثابت در حالی که غلظت محلول آهن (II) 10^{-4} تا 10^{-1} M انتخاب گردیده بود حدود ۱۵ ثانیه بدست آمد. نمودار پاسخ پتانسیل الکتروود بر حسب زمان در شکل ۴ نشان داده شده است. پتانسیل تعادلی پس از گذشت حدود ۵ دقیقه ثابت باقی مانده و یک تغییر کمی در حدود $1 \text{ mV} \pm$ مشاهده گردید.

۳-۵- اثر حلال‌های غیر آبی

عملکرد الکتروود یون - گزین آهن (II) در محیط‌های غیر آبی حاوی مخلوط آب - اتانول و آب - ۴،۱ - دی اکسان بررسی شد که نتایج آن در جدول ۲ نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود حضور اتانول تا حدود ۲۰٪ مزاحمت چندانی نداشته و الکتروود یون - گزین در این محیط قابل استفاده می‌باشد. ولی از ۲۰٪ به بالا افت شیب شدید می‌شود. اما افزایش دی اکسان در حد ۵٪ تغییر محسوسی در عملکرد الکتروود ایجاد نمی‌کند ولی بالاتر از آن موجب کاهش شدید در شیب الکتروود می‌شود، به طوری که عملاً الکتروود یون - گزین در این محیط قابل استفاده نخواهد بود. زیرا، به دلیل انحلال یونوفور در دی اکسان، غشاء به تدریج خاصیت خود را از دست داده و پتانسیل‌ها فاقد ارزش تجزیه‌ای می‌باشند.

۳-۶- گزینش پذیری

تاثير يون هاي مزاحم بر پاسخ غشايي الكتروود يون - گزين. معمولاً در جمله ضرايب گزینش پذیری بیان می شود. ضرايب گزینش پذیری پتانسیو متری، $K_{Fe,M}^{pot}$ حسگر غشایی Fe-NPA15C5 با استفاده از روش های زیر محاسبه گردید:

۳-۶-۱ روش يون اوليه ثابت (FPI): ضرايب گزینش پذیری در این روش با یک غلظت ثابت يون Fe^{2+} و مقادير متفاوتی از يون های مزاحم (M^{n+}) مطابق معادله زیر محاسبه شد.

$$K_{Fe,M}^{pot} a_M^{2/n} = a_{Fe} \{ \exp[(E_2 - E_1)F/RT] \} - a'_{Fe} \quad (1)$$

که E_1 و E_2 به ترتیب پتانسیل الكتروود در حضور يون آهن (II) تنها و يون آهن (II) همراه با يون های مزاحم می باشد. a_{Fe} و a'_{Fe} فعالیت يون آهن (II) در غیاب و حضور يون مزاحم و a_M فعالیت يون مزاحم است. مقادير ضرايب گزینش پذیری برای يون های مختلف از رسم $a'_{Fe} \{ \exp[(E_2 - E_1)F/RT] \} - a_{Fe}$ مقابل $a_M^{2/n}$ و محاسبه شیب خط حاصل بدست می آید.^(۱۸،۱۹)

۳-۶-۲ روش پتانسیل سازگار (MPM): در این روش ابتدا با تغییر غلظت يون آهن (II)، تغییر پتانسیل اندازه گیری می شود. سپس افزایش تدریجی يون مزاحم با یک غلظت مشخص به محلول اوليه آهن (II) ادامه داده می شود تا تغییر پتانسیل یکسان حاصل گردد. با استفاده از معادله زیر، $K_{Fe,M}^{pot}$ محاسبه می شود.

$$K_{Fe,M}^{pot} = \frac{\Delta a_{Fe}}{a_M} \quad (2)$$

که a_M فعالیت يون مزاحم و Δa_{Fe} تغییر فعالیت يون آهن (II) است. مقادير $K_{Fe,M}^{pot}$ در جدول ۳ خلاصه شده است. همان طوری که در جدول مشاهده می شود الكتروود گزینش پذیری حدود $10^{-7} \times 10^{-1}$ برای بسیاری از يون ها دارد. آنچه که از این نتایج بر می آید متفاوت بودن $K_{Fe,M}^{pot}$ برای کاتیون های $+1$ و $+3$ در دو روش بکار رفته است که علت این تفاوت را می توان به وابسته بودن روش اول (FPI) به بار يون های اصلی و مزاحم و مستقل بودن روش دوم (MPM) از آن نسبت داد. بنا بر این از بین این دو روش، روش MPM نتایج بهتری ارائه می دهد.

۳-۷- تعیین مقدار ثابت تشکیل (K_f)

جهت تعیین ثابت تشکیل کمپلکس بین یونفور و يون آهن (II) ابتدا مقدار معینی از یونفور را در سیستم آب-دی اکسان با ۳٪ حجمی دی اکسان حل نموده و محلولی با غلظت مشخص از آن تهیه گردید. سپس در همین سیستم محلول هایی از يون آهن (II) با غلظت های 10^{-2} تا $10^{-7} M$ تهیه شد. سپس پتانسیل الكتروود يون - گزين آهن (II) در این محلول اندازه گیری شد و منحنی کالیبراسیون آن در دمای $25^\circ C$ ، ترسیم گردید. در ادامه عمل ابتدا پتانسیل حجم معینی از محلول آهن (II) با غلظت مشخص در سیستم آب-دی اکسان اندازه گیری شد (E). سپس مقدار معینی از محلول یونفور با غلظت مشخص به آن اضافه گردید و پتانسیل الكتروود مجدداً اندازه گیری شد (E_1). آنگاه با استفاده از رابطه زیر مقدار يون آهن (II) باقیمانده محاسبه شد.^(۲۰)

$$[\text{Fe}^{2+}]_{\text{free}} = C_M \times 10^{\frac{c}{r} \frac{r}{D}} \quad (3)$$

که C_M غلظت اولیه یون آهن (II) ، $[\text{Fe}^{2+}]_{\text{free}}$ غلظت یون آهن (II) باقیمانده و D معادل $\frac{RT}{nF}$ یعنی همان شیب الکتروود می باشد. با توجه به اینکه نسبت یونفور به یون در تشکیل کمپلکس ، یک به یک است بنا بر این با استفاده از روابط زیر می توان مقدار ثابت تشکیل (K_f) را محاسبه کرد:



$$[\text{FeL}^{2+}] = [\text{Fe}^{2+}]_{\text{initial}} - [\text{Fe}^{2+}]_{\text{free}} \quad (5)$$

$$[\text{L}]_{\text{free}} = [\text{L}]_{\text{initial}} - [\text{FeL}^{2+}] \quad (6)$$

$$K_f = \frac{[\text{FeL}^{2+}]}{[\text{Fe}^{2+}][\text{L}]} \quad (7)$$

نتایج این بررسی در جدول ۴ نشان داده شده است.

۳-۸- کاربرد الکتروود یون-گزین ساخته شده

جهت بررسی کاربرد تجزیه ای الکتروود یون-گزین آهن (II) ساخته شده از روش افزایش استاندارد استفاده گردید. در این روش پتانسیل الکتروود را قبل و بعد از افزایش حجم کمی از استاندارد به حجم معلومی از نمونه اندازه گیری می کنند. بدین ترتیب ۱ ml از شربت فروس سولفات ایرانی (شرکت پارس مینو) را به حجم ۱۰۰ ml رسانده و پتانسیل تعادلی ۱۰ ml از آن اندازه گیری شد (E_1). سپس به مقدار ۰/۱ ml از محلول استاندارد آهن (II) M به آن اضافه و پتانسیل تعادلی مجدداً ثبت گردید (E_2). از روی تغییر در پتانسیل ، $\Delta E = (E_2 - E_1)$ می توان غلظت محلول نمونه را با استفاده از معادله زیر محاسبه کرد:

$$C_x = \frac{C_s V_s}{(V_x + V_s) 10^{\frac{VE}{D}} - V_x} \quad (8)$$

مقدار C_x بدست آمده $M = 1/43 \times 10^{-3}$ بود که معادل ۰/۷۹۹ mg آهن می باشد. از طرف دیگر مطابق کاتالوگ دارو، هر ۵ ml شربت شامل ۴۱ mg آهن است ، بنا بر این درصد آهن ۹۷/۴۵ محاسبه شد که نشان می دهد این الکتروود برای اندازه گیری آهن در نمونه های حقیقی فوق بسیار مناسب است.

۴- نتیجه گیری

الکتروود یون-گزین آهن (II) ساخته شده دارای گزینش پذیری بالایی نسبت به یون Fe^{2+} بوده و محدوده

pH مناسب ۵ الی ۷ و زمان پاسخ دهی آن کوتاه (حدود ۱۵ ثانیه) و طول عمر آن نیز حدود ۲ ماه است.

این الکتروود در حضور اتانول در آب با غلظت ۲۰٪ حجمی - حجمی می تواند بکار رود. ثابت تشکیل کمپلکس محاسبه شده در محدوده مقدار ثابت تشکیل مناسب برای غشاهای یون-گزین می باشد. یعنی نه آنقدر کوچک است که گزینش پذیری ناممکن باشد و نه آنقدر بزرگ است که موجب ورود یون های مخالف در غشاء شود. این الکتروود به خوبی می تواند برای اندازه گیری آهن موجود در یک دارو بکار رود.

جدول ۱: بهینه سازی ترکیب درصد اجزای غشاء برای الکتروود یون-گزین آهن (II)

شماره غشاء	ترکیب درصد					شیب (MV/DECADE)	گستره خطی (M)	نسبت تولید
	PVC	نرم کننده	افزودنی (OA)	یونوفور				
1	33	60(DBP)	3	4	16.78	1.0×10^{-6} - 1.0×10^{-2}	0.9945	
2	30	62(DBP)	5	3	22.18	1.0×10^{-6} - 1.0×10^{-2}	0.9959	
3	32	62(DBP)	3	3	18.20	1.0×10^{-6} - 1.0×10^{-2}	0.9807	
4	30	62(AP)	3	5	11.22	1.0×10^{-5} - 1.0×10^{-2}	0.9962	
5	30	62(DBP)	3	5	29.22	1.0×10^{-6} - 1.0×10^{-2}	0.9961	
6	30	60(AP)	5	5	9.49	1.0×10^{-5} - 1.0×10^{-2}	0.9831	
7	30	60(DBP)	5	5	31.23	1.0×10^{-6} - 1.0×10^{-2}	0.9919	
8	30	59(DBP)	3	8	18.10	1.0×10^{-6} - 1.0×10^{-2}	0.9968	

جدول ۲: عملکرد الکتروود یون-گزین آهن (II) در محیط های غیر آبی

درصد ماده آلی در آب (V/V)		شیب (MV/DECADE)	محدوده خطی (M)
اتانول	0	30.22	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
	5	31.07	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
	10	29.09	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
	15	28.032	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
	20	26.45	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
	25	23.72	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
دی اکسان	0	29.11	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
	5	26.85	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
	10	20.70	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$
	15	18.87	$1.0 \times 10^{-6} - 1.0 \times 10^{-2}$

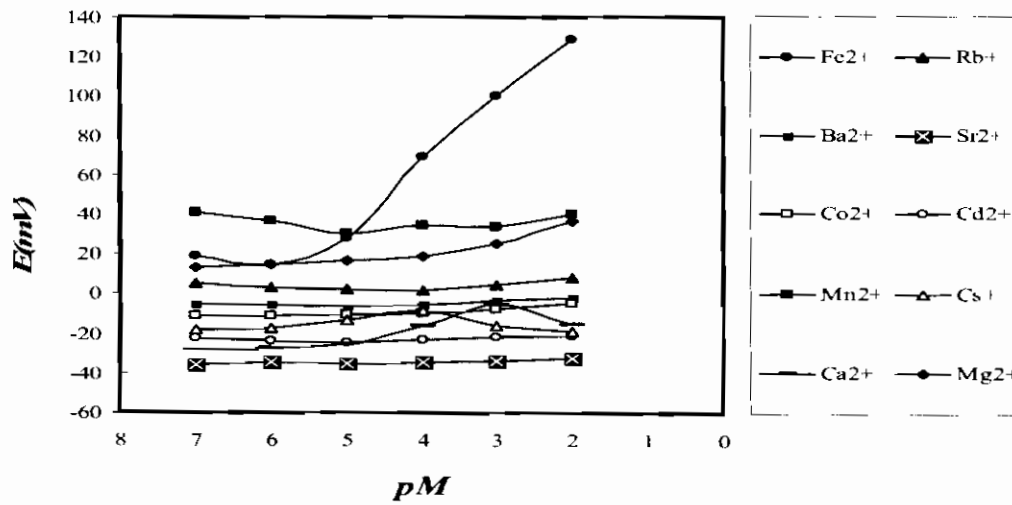
جدول ۳: ضرایب گزینش پذیری یون های مزاحم مختلف برای الکتروود یون-گزین آهن (II)

M^{n+}	$K_{Fe,M}^{pot}$	
	FPI	MPM
Ag^+	13.07	1.87×10^{-2}
Cs^+	2.682	5.64×10^{-3}
Sr^{2+}	2.28×10^{-2}	4.96×10^{-2}
Ba^{2+}	4.09×10^{-2}	3.15×10^{-2}
Ca^{2+}	1.73×10^{-2}	1.40×10^{-2}
Co^{2+}	4.34×10^{-2}	2.80×10^{-2}
Cd^{2+}	2.41×10^{-2}	0.99×10^{-2}
Fe^{3+}	0.114	0.828

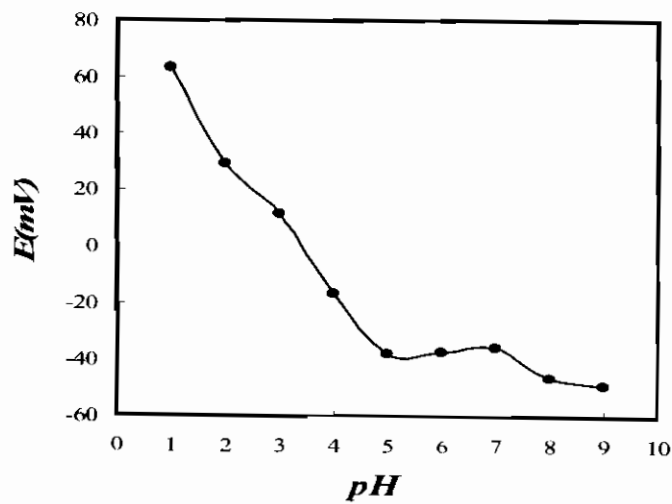
جدول ۴: محاسبات تعیین ثابت تشکیل کمپلکس بین یونفور و یون آهن (II)

شماره	SLOPE (MV/DECA DE)	E (MV)	E _i (MV)	غلظت باقیمانده آهن (II)	غلظت باقیمانده یونفور (M)	غلظت کمپلکس (M)	K _F	LOG K _F	محاسبات آماري
1	27.65	-27. 8	-32. 3	6.8066 × 10 ⁻⁵	1.8561 × 10 ⁻⁵	3.0944 × 10 ⁻⁵	24493.16 2	4.38 9	
2	27.65	-28. 4	-32. 6	6.9788 × 10 ⁻⁵	2.0283 × 10 ⁻⁵	2.9222 × 10 ⁻⁵	20644.14 9	4.31 5	X = 4.278
3	27.65	-29. 3	-33	7.2755 × 10 ⁻⁵	2.3250 × 10 ⁻⁵	2.6255 × 10 ⁻⁵	15521.23 3	4.191	S = ±0.09
4	27.65	-29.1	-32. 9	7.2152 × 10 ⁻⁵	2.2647 × 10 ⁻⁵	2.6858 × 10 ⁻⁵	16436.69 9	4.21 6	RSD% = 2.10

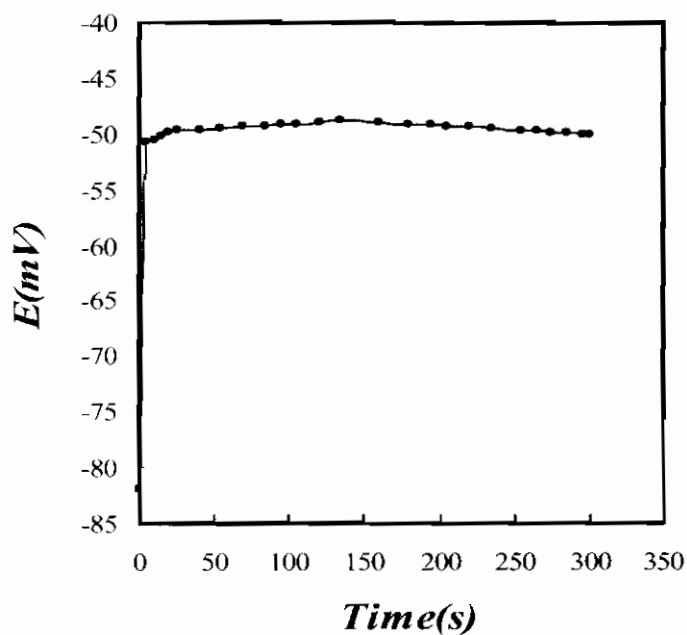
تصاویر



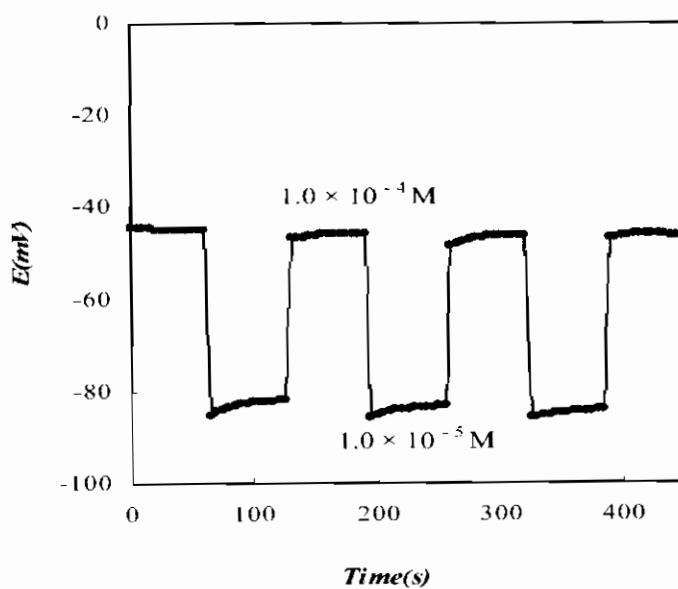
تصویر ۱- پاسخ پتانسیل الکتروود های یون - گزین بر اساس NPA15C5 به یون های مختلف .



تصویر ۲- اثر pH محلول مورد آزمایش بر پاسخ الکتروود آهن(II).



تصویر ۳- زمان پاسخ دهی استاتیک حسگر آهن (II).



تصویر ۴- پاسخ مشخصه دینامیکی الکتروود آهن (III) برای چند دور متوالی از غلظت بالا به پایین

References

- 1- Moore C., Pressman B.C., *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, **15**, 562 (1964).
- 2- Stefanac Z., Simon W., *Chimia*, **20**, 436 (1966).
- 3- Stefanac Z., Simon W., *Microchem. J.*, **12**, 125 (1967).
- 4- Pioda L. A. R., Wipf H. K., Simon W., *Chimia*, **22**, 189 (1968).
- 5- Pedersen c. j., *J. Am. Chem. Soc.*, **89**, 7017 (1967).
- 6- Lzatt, R. M., Clark G. A., Bradshaw, J. S., Lamb, J. D., and Christensen, J. J., *Sep. Purif. Methods.*, **15**, 121 (1986).
- 7- Visser, H. C., Reinhoudt D. N., and Dejong, F., *Chem. Soc. Rev.*, **75** (1994).
- 8- Ammann, D., Morf, W. E., Anker, P., Meier, P. C., Pretsch, E., and Simon, W., *Ion-Sel. Electrode Rev.*, **5**, 3 (1983).
- 9- Arnold, M. A., and Meyerhoff, M. E., *Crit. Rev. Anal. Chem.*, **20**, 149 (1988).
- 10- Janata, J., *Anal. Chem.*, **64**, 196R (1992).
- 11- Janata, J., Jasowicz, M., and Devaney, D. M., *Anal. Chem.*, **66**, 207R (1994).
- 12- Mousavi, M. F., Sahari, S., Alizadeh, N., and Shamsipur M., *Anal. Chim. Acta*, **414**, 189 (2000).
- 13- Mousavi, M. F., Alizadeh, N., Shamsipur, M., and Zohari, N., *Sens. Actuators B*, **66**, 98 (2000).
- 14- BÜhlmann, P., Pretsch, E., and Bakker, E., *Chem. Rev.*, **98**, 1593 (1998).
- 15- Fu, B., Bakker, E., Yun J. H., Yang, V. C., and Meyeroff M. E., *Anal. Chem.*, **66**, 2250 (1994).
- 16- Bakker, E., BÜhlmann, P., and Pretsch, E., *Chem. Rev.*, **97**, 3083 (1997).
- 17- Guilbault, G.G., Durst, R.A., Frant, M.S., Freiser, H., Hansen, E.H., Light, T. S., Pungor, E., Rechnitz, G., Rice, N.M., Rohm, T. J., Simon, W., and Thomas, J. D. R., *Pure Appl. Chem.*, **46**, 127 (1976).
- 18- Srinivasan, K. and Rechnitz, G. A., *Anal. Chem.*, **41**, 1203 (1969).
- 19- Umezawa, Y., Umezawa K., and Sato, H., *Pure Appl. Chem.* **67**, 507 (1995).
- 20- Chia-ching, Su, Chaug, M. and Kaoliu, L., *Analytica Chimica Acta*, **431**, 261 (2001).