

هشتمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ايران
دانشکده مهندسی مواد، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲۱ و ۲۲ مهرماه ۱۳۸۳

مکانیزم و ترمودینامیک استخراج حلالی کبالت - نیکل توسط حلال های اورگانوفسفر، بخش دوم: مخلوط DEHPA و Cyanex 272[®]

داریوش درویشی^۱، داود حق شناس فتمه سری^۲، اسکندر کشاورز علمداری^۳
سید خطیب الاسلام صدرنژاد^۴، محمد حلالی^۵
۱، ۲، ۴ و ۵- دانشکده مهندسی و علم مواد - دانشگاه صنعتی شریف
۳- دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت - دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیده

در این مقاله ترکیبی از DEHPA و Cyanex 272[®] برای استخراج کبالت و نیکل مورد استفاده قرار گرفته است. در بررسی صورت گرفته مشاهده شد که مکانیزم استخراج نیکل توسط ترکیبی از DEHPA و Cyanex 272[®] به شکلی است که در آن Cyanex 272[®] نقشی در واکنش استخراج نیکل ندارد، در حالی که Cyanex 272[®] در استخراج کبالت تاثیر گذاشته اما همانند DEHPA عمل نمی کند. همچنین این نتایج نشان می دهند که افزایش Cyanex 272[®] به استخراج کننده DEHPA منجر به جدایش بهتر کبالت از نیکل می شود. در این بررسی مشاهده می شود که افزایش دما منجر به افزایش مقدار $(\text{pH}_{0.5}^{\text{Ni}} - \text{pH}_{0.5}^{\text{Co}})$ در نسبت های مختلف مولی از DEHPA و Cyanex 272[®] می گردد.

واژه های کلیدی: مکانیزم، ترمودینامیک، استخراج حلالی، کبالت، نیکل، DEHPA، Cyanex 272[®]

مقدمه

مکانیزم و ترمودینامیک استخراج حلالی کبالت و نیکل با استفاده از استخراج کننده‌های ترکیبی (Di-2-EthylHexyl Phosphoric Acid) DEHPA و Cyanex 302[®] (Di-4,4,2-TrimethylPenthyImonoThio Phosphonic Acid) مورد بررسی قرار گرفته است [۱]. مقاله فوق به بررسی نقش این استخراج کننده‌ها بر روی استخراج کبالت و نیکل پرداخته است. در بخش اول این مقاله نشان داده شده است که Cyanex 302[®] عامل افزایش استخراج نیکل نمی‌باشد، در حالی که در استخراج کبالت Cyanex 302[®] همانند DEHPA عمل می‌کند. علاوه بر این با استفاده از ضریب n (ضریب [RH] در معادله استوکیومتریکی استخراج) مکانیزم و چگونگی استخراج کبالت و نیکل مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس اطلاعات بدست آمده مشخص شد در صورت استفاده از استخراج کننده ترکیبی DEHPA و Cyanex 302[®]، مقدار ضریب n در استخراج کبالت و نیکل به ترتیب ۴ و ۵ بدست می‌آید.

کارهای زیادی بر روی مکانیزم و ترمودینامیک استخراج حلالی کبالت و نیکل توسط استخراج کننده‌هایی از قبیل Cyanex 302[®]، Cyanex 272[®]، TOA، PC-88A، Versatic 10 و Ionquest انجام شده است [۲-۹] که هنگامی که از Cyanex 302[®] و Cyanex 272[®] (Di-4,4,2-Trimethyl Penthyl Phosphoric Acid) به عنوان استخراج کننده استفاده می‌شود، مقدار ضریب n، در استخراج کبالت ۴ و در استخراج نیکل به ترتیب ۶ و ۴ بدست آمده است [۱۰-۱۴].

همچنین کارهای زیادی نیز بر روی اثر همپوشان (Synergistic) یک استخراج کننده بر روی استخراج کننده‌های دیگر انجام شده است که با توجه به مشکل بودن جدایش کبالت و نیکل با استفاده از استخراج کننده‌های عمومی، سعی شده است شرایط جدایش کبالت و نیکل را بهبود بخشند. استخراج کننده‌های گروه سیانکس انتخاب پذیری مناسبی را جهت جدایش کبالت و نیکل از خود نشان می‌دهند اما استفاده از آنها به دلیل قیمت بالای آن، چندان مقرون به صرفه نیست.

به دنبال تحقیقات انجام شده بر روی خواص استخراج کننده ترکیبی DEHPA و Cyanex 302[®] در بخش اول، در این مقاله نیز سعی شده است مکانیزم، ترمودینامیک استخراج حلالی کبالت و نیکل توسط ترکیب استخراج کننده DEHPA و Cyanex 272[®] به عنوان گروه جدیدی از استخراج کننده‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش تحقیق

یون‌های فلزی کبالت و نیکل موجود در فاز آبی به صورت جداگانه توسط حلال‌های ترکیبی رقیق شده در کروژین استخراج شدند. Cyanex 272[®] ساخت شرکت سیانامید (Cyanamid) آمریکا و DEHPA

ساخت شرکت فلوکا (Fluka) سوییس می‌باشد. در این آزمایش‌ها نسبت‌های مختلف مولی از DEHPA و Cyanex 272[®] به ترتیب ۰/۱-۰/۵، ۰/۲-۰/۴ و ۰/۳-۰/۳ و همچنین جهت مقایسه DEHPA خالص با غلظت ۰/۶ مولار مورد استفاده قرار گرفتند. در این بررسی حجم‌های مساوی از محلول‌های آبی و آلی به مدت یک ساعت و در دمای محیط توسط یک دستگاه همزن مکانیکی هم‌زده شدند تا به تعادل برسند. جدایش دو فاز توسط قیف دکانتور انجام شد و پس از جدایش pH محلول‌های آبی اندازه‌گیری شدند. برای تعیین درصد استخراج و ضریب توزیع یون فلزی در فاز آبی و فاز آلی، غلظت محلول‌های آبی و آلی مورد آنالیز قرار گرفت. آنالیز محلول‌های آبی به روش تیتراسیون مستقیم و با استفاده از محلول EDTA و شناساگر Moruxide انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت فاز آلی مقدار ۱۰ cc از فاز آلی باردار شده توسط ۲۰ cc اسید سولفوریک ۲۰۰ gr/lit به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط تحت عملیات تهی‌سازی قرار گرفت. سپس غلظت محلول‌های آبی حاصل از تهی‌سازی به روش تیتراسیون آنالیز شدند. همچنین این آزمایش‌ها در سه دمای ۲۰، ۴۰، ۶۰ °C با دقت دمایی $\pm 1^\circ\text{C}$ انجام شد که برای کنترل دما از یک حمام بن‌ماری استفاده شد.

یافته‌ها و بحث

در بررسی‌ها و مطالعاتی که انجام شد، مشاهده شد که Cyanex 272[®] در pH های پایین قادر به استخراج نیکل نمی‌باشد در حالی که در مورد کبالت در $\text{pH} < 3$ Cyanex 272[®] قادر به استخراج کبالت نمی‌باشد. این در حالیست که در بالاتر از این pH Cyanex 272[®] می‌تواند در استخراج کبالت نقش داشته باشد. شکل ۱ تغییرات درصد استخراج کبالت و نیکل بر حسب pH را با استفاده از ۰/۳ مولار DEHPA و Cyanex 272[®] نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در pH های پایین ($\text{pH} < 5$) Cyanex 272[®] نقشی در استخراج نیکل ندارد. بر همین اساس فرضیه جدایش کبالت و نیکل با استفاده از استخراج کننده‌های ترکیبی سرچشمه گرفت. بنابراین تعیین مکانیزم و ترمودینامیک استخراج کبالت و نیکل با استفاده از استخراج کننده‌های ترکیبی نیز از اهداف اصلی این پروژه قرار گرفت.

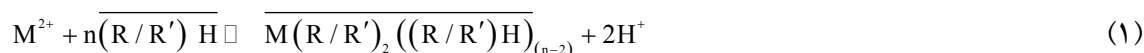
مکانیزم استخراج

تعیین مکانیزم استخراج منوط به تشخیص چگونگی اندرکنش DEHPA و Cyanex 272[®] بر روی یکدیگر می‌باشد. برای این کار آزمایش‌هایی صورت گرفت تا در آن نقش DEHPA و Cyanex 272[®] بر روی استخراج کبالت و نیکل مشخص شود. شکل ۲ تغییرات درصد استخراج کبالت بر حسب pH را با استفاده از ۲۰ درصد در صد حجمی (۰/۶ مولار) DEHPA و استخراج کننده ترکیبی مجموع ۰/۶ مولار DEHPA و Cyanex 272[®]، نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود نمودار تغییرات درصد استخراج بر حسب pH برای تمامی نسبت‌های مختلف [DEHPA]:[Cyanex 272[®]] بر خلاف Cyanex 302[®]

بصورت یکسان نمی‌باشد و با افزایش مقدار Cyanex، نمودار زیگمویدی کبالت به سمت راست شیفت پیدا می‌کند.

شکل ۳ تغییرات درصد استخراج نیکل بر حسب pH را با استفاده از ۲۰ درصد در صد حجمی (۰٫۶ مولار) DEHPA و استخراج کننده ترکیبی مجموع ۰٫۶ مولار DEHPA و Cyanex 272[®] نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش مقدار Cyanex، نمودار زیگمویدی نیکل به سمت راست شیفت پیدا می‌کند. شکل ۴ تغییرات درصد استخراج نیکل بر حسب pH را با استفاده از ۱۰ درصد حجمی (۰٫۳ مولار) DEHPA و مخلوط DEHPA و Cyanex 272[®] با نسبت ۰٫۳-۰٫۳ را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود نمودارهای زیگمویدی مربوط به استخراج نیکل با استفاده از این دو استخراج کننده بر روی یکدیگر منطبق شده‌اند. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از شکل‌های ۱ و ۴ به نظر می‌رسد که قابلیت استخراج مخلوط DEHPA و Cyanex 272[®] با نسبت ۰٫۳-۰٫۳ همانند ۱۰ درصد حجمی (۰٫۳ مولار) DEHPA باشد.

با توجه به اینکه مشاهده می‌شود عملاً Cyanex 272[®] بر روی منحنی زیگمویدی نیکل در محدوده $2 < \text{pH} < 5$ (شکل ۴) تاثیری ندارد، در اولین نگاه منطقی به نظر می‌رسد که واکنش استخراج نیکل با استفاده از مخلوط DEHPA و Cyanex 272[®] با نسبت ۰٫۳-۰٫۳ مشابه با ۱۰ درصد حجمی (۰٫۳ مولار) DEHPA در نظر گرفته شود. از طرفی چون Cyanex 272[®] به تنهایی عامل استخراج کننده مناسبی برای نیکل نمی‌باشد (شکل ۱)، می‌توان این نتیجه را برای سایر نسبت‌های Cyanex 272[®]: DEHPA تعمیم داد. بر این اساس می‌توان واکنش استخراج را بصورت زیر در نظر گرفت:



که در آن R و R' به ترتیب بیانگر گروه بنیان فسفریک و متو تیوفسفینیک اسید می‌باشند. بنابراین ثابت واکنش به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K = \frac{[M(R/R')_2((R/R')H)_{(n-2)}][H^+]^2}{[M^{2+}][R/R'H]^n} \quad (2)$$

بر اساس رابطه ضریب توزیع $(D = \frac{[M(R/R')_2((R/R')H)_{(n-2)}]}{[M^{2+}]})$ و با لگاریتم گرفتن از رابطه فوق رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\text{Log}D = \text{Log}K + 2\text{pH} + n\text{Log}[(R/R')H] \quad (3)$$

که در آن ثابت واکنش (K) تابعی از دماست و بصورت رابطه زیر می‌باشد:

$$\text{Log}K = -\frac{\Delta H}{2.3RT} + \frac{\Delta S}{2.3R} \quad (4)$$

بررسی اثر غلظت استخراج کننده و تعیین ضریب استوکیومتری واکنش

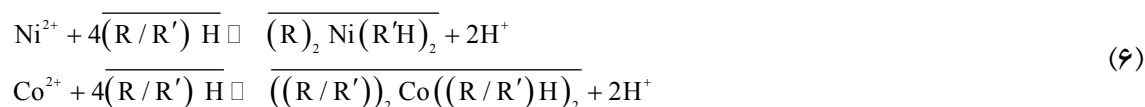
از آنجایی که واکنش استخراج به ازای یک مول از کاتیون فلزی مورد نظر نوشته می شود و نیز کاتیون مورد نظر دو ظرفیتی است، بنابر اصل موازنه بار در یک واکنش، ضریب یون هیدروژن (H^+) برابر با ۲ در نظر گرفته می شود. همچنین جهت محاسبه ضریب استوکیومتری عامل استخراج کننده (n)، در معادله ثابت تعادل، می بایست غلظت تعادلی عامل استخراج کننده منظور گردد.

$$[(R/R')H]_{\text{equ}} = [(R/R')H]_o - n \times [M]_{\text{Org}} \quad (5)$$

که در آن $[(R/R')H]_{\text{equ}}$ غلظت تعادلی عامل استخراج کننده، $[(R/R')H]_o$ غلظت اولیه عامل استخراج کننده، $[M]_{\text{Org}}$ مقدار فلز جذب شده توسط فاز آلی و n ضریب استوکیومتری عامل استخراج کننده می باشد. بنابراین با رسم تغییرات $f(D) = \text{Log}D - n\text{Log}[(R/R')H]_{\text{equ}}$ بر حسب pH و به کمک روش سعی و خطا و با استفاده از نرم افزار KaleidaGraph، می توان مقدار n را به صورتی محاسبه کرد که مقدار شیب نمودار (ضریب pH در معادله (۳)) برابر با ۲ بدست آید.

شکل (۵) تغییرات $f(D) = \text{Log}D - n\text{Log}[(R/R')H]_{\text{equ}}$ بر حسب pH را برای کبالت و نیکل توسط مخلوطی از DEHPA و Cyanex 272[®] با نسبت (۰/۳-۰/۳) نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود مقدار شیب در جاییکه مقدار n به ترتیب برای کبالت و نیکل ۴-۳/۸ و ۵ در نظر گرفته می شود برابر با ۲ بدست می آید. مقدار n برای سایر ترکیبات محاسبه شد، که نتایج حاصل از آن در جدول ۱ درج شده است.

همانطور که ملاحظه می شود در صورتی که تنها DEHPA عامل استخراج باشد، مقدار n برای کبالت و نیکل برابر با ۴ خواهد بود. همچنین در صورتیکه مخلوطی از DEHPA و Cyanex 272[®] نیز عامل استخراج باشد، مقدار n برای کبالت و نیکل برابر با ۴ خواهد بود. با توجه به اینکه مقدار n برای DEHPA و Cyanex 272[®] بصورت مجزا برابر با ۴ است [۱۰-۱۲] واکنش پیشنهادی برای استخراج کبالت و نیکل به صورت زیر می باشد:



بررسی اثر دما و تعیین انتالپی ظاهری واکنش استخراج

با توجه به نتایج حاصل از جدول ۱ و معادله (۳)، مقادیر عرض از مبدا برابر با $\text{Log}K$ می باشد. همچنین با انجام آزمایش های فوق در دو دمای ۶۰°C و ۴۰°C، می توان مقادیر $\text{Log}K$ را نیز در این دو دما بدست آورد. با رسم تغییرات $\text{Log}K = \text{Log}D - n\text{Log}[(R/R')H]_{\text{equ}} - 2\text{pH}$ بر حسب $1000/T$ (بر اساس معادله (۴)) می توان مقادیر انتالپی ظاهری را محاسبه نمود.

شکل ۶ تغییرات $\text{Log}K$ بر حسب $1000/T$ را برای استخراج کبالت و نیکل نشان می دهد. همانطور که

ملاحظه می شود واکنش استخراج کبالت و نیکل گرماگیر می باشد. نتایج حاصل از این شکل نشان می دهد که با افزایش مقدار Cyanex 272[®] بر خلاف Cyanex 302[®]، تاثیر دما روی استخراج این دو فلز کمتر می شود بطوریکه میزان انتالپی ظاهری برای هر دو فلز کاهش می یابد. همچنین نتایج حاصل از شکل ۶ نشان می دهند که مقادیر انتالپی ظاهری کبالت در تمام نسبت های DEHPA به Cyanex 272[®] کمتر از مقادیر مربوط به نیکل می باشد. این تفاوت در مقادیر انتالپی ظاهری باعث می شود تا در دمای بالا نمودارهای زیگمویدی کبالت بهتر از نمودارهای زیگمویدی نیکل به سمت چپ شیفت پیدا کند که در نتیجه آن شرایط جدایش کبالت و نیکل بهتر می شود.

اثر افزودن Cyanex 272[®] بر جدایش کبالت و نیکل

در بخش اول مقاله مشاهده شد که افزودن Cyanex 302[®] بر DEHPA به ازای غلظت مولی عامل استخراج کننده ثابت (۰/۶ مولار) نمودارهای زیگمویدی کبالت را شیفت نمی داد (با توجه به مشابه بودن خواص Cyanex 302[®] با DEHPA در استخراج کبالت در حالی که نمودارهای زیگمویدی نیکل را به سمت راست شیفت می داد. اما افزودن Cyanex 272[®] به DEHPA منجر می شود تا نمودارهای زیگمویدی کبالت و نیکل به سمت راست شیفت پیدا کند. البته نتایج حاصل از شکل های ۲ و ۳ نشان می دهند که جابجایی نمودارهای زیگمویدی نیکل بیشتر از کبالت است. بنابراین می توان انتظار داشت که مخلوط DEHPA و Cyanex 272[®] جدایش بهتری نسبت به استخراج کننده DEHPA داشته باشد و منجر به افزایش مقدار $pH_{0.5}^{Ni} - pH_{0.5}^{Co}$ (اختلاف pH نیکل و کبالت به ازای ۵۰ درصد استخراج) شود، در حالیکه به خوبی مخلوط DEHPA و Cyanex 302[®] نباشد. مقادیر $pH_{0.5}^{Ni}$ و $pH_{0.5}^{Co}$ در جدول ۲ درج شده است. این نتایج نشان می دهند که بهترین جدایش مربوط به مخلوط استخراج کننده DEHPA و Cyanex 272[®] با نسبت ۰/۳-۰/۳ می باشد.

فاکتور جدایش عامل مهمی جهت تعیین انتخاب پذیری در استخراج فلزات می باشد. در مورد کبالت و نیکل فاکتور جدایش به صورت زیر تعریف می شود:

$$\beta_{Co/Ni} = \frac{D_{Co}}{D_{Ni}} \quad (V)$$

هر چه مقدار ضریب توزیع نیکل کاهش یابد، جدایش بهتری بدست می آید. به عبارتی دیگر ضریب جدایش بیشتر منجر به استخراج انتخابی بهتری می گردد. نتایج مربوط به فاکتور جدایش کبالت و نیکل در جدول ۳ ذکر شده است. همانطور که ملاحظه می شود مخلوط DEHPA و Cyanex 272[®] جدایش بهتری را نسبت به حالتی که تنها DEHPA عامل استخراج است، می دهد. همچنین این مقادیر نشان می دهند که با مخلوط DEHPA و Cyanex 272[®] در $pH < 3$ بهترین جدایش صورت می گیرد.

نتیجه گیری کلی

- ۱- در $pH < 3$ و $pH < 5$ عمل کرد و نقش Cyanex 272[®] در استخراج کبالت و نیکل بسیار ضعیف می باشد. اما در $pH > 3$ ، Cyanex 272[®] در استخراج کبالت تاثیر گذار است
- ۲- در ترکیبات مختلف DEHPA و Cyanex 272[®]، ضریب استوکیومتری n (ضریب (R/R') در معادله (۱)) برای کبالت و نیکل در شرایطی که تنها DEHPA عامل استخراج است، این ضریب برای کبالت و نیکل ۴ بدست می آید.
- ۳- واکنش استخراج کبالت و نیکل توسط مخلوطی از DEHPA و Cyanex 272[®] گرماگیر است و با افزایش مقدار Cyanex 272[®] میزان انتالپی ظاهری کاهش می یابد.
- ۴- با افزایش مقدار Cyanex 272[®] میزان $pH_{0.5}^{Ni} - pH_{0.5}^{Co}$ افزایش می یابد و جدایش کبالت از نیکل بهتر صورت می گیرد. همچنین با افزایش دما میزان جدایش بیشتر می شود.
- ۵- در $pH < 3$ بهترین شرایط جدایش کبالت از نیکل بدست می آید.

مراجع

- ۱- داود حق شناس فتمه سری، داریوش درویشی، اسکندر کشاورز علمداری، سید خطیب الاسلام صدرنژاد، محمد حلالی، "مکانیزم و ترمودینامیک استخراج حلالی کبالت - نیکل توسط حلال های اورگانوفسفرو، بخش اول: مخلوط DEHPA و Cyanex 302[®]"، هشتمین کنگره سالانه انجمن مهندسين متالورژی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۱ و ۲۲ مهرماه ۱۳۸۳.
- 2- N.B. Devi, K.C. Nathsarma, V. Chakravortty, "Separation and recovery of cobalt (II) and nickel (II) from sulphate solutions using sodium salts of D2EHPA, PC 88A and Cyanex 272", Hydrometallurgy, 1998; 49: 47-61.
- 3- Pingwei Zhang, Toshiro Yokoyama, Osamu Itabashi, Yoshito Wakui, Toshishige M.Suzuki, Katsutoshi Inoe, "Recovery of metal values from nickel-metal hydride rechargeable batteries", Journal of Power Sources, 1999; 77: 116-122.
- 4- P.V.R. Bhaskara Sarma, B.R.Reddy, "Liquid-liquid extraction of nickel at macro-level concentration from sulphate/chloride solution using phosphoric acid based extractants", Minerals Engineering, 2002; 15: 461-464.
- 5- C.A. Nogueira, F. Delmas, "New flowsheet for the recovery of Cd, Co and Ni from spent Ni-Cd batteries by solvent extraction", Hydrometallurgy, 1999; 52: 267-287.
- 6- Taili Zhou, Batric Pesic, "A pyridine-based chelating solvent extraction system for selective extraction of nickel and cobalt", Hydrometallurgy, 1997; 46: 37-53.
- 7- J.S. Preston, A.c. du Preez, "Separation of nickel and calcium by solvent extraction using mixtures of carboxylic acids and alky pyridines", Hydrometallurgy, 2000, 58: 239-250.
- 8- S.K. Sahu, A. Agrawal, B.D. Pandey, V.Kumar, "Recovery of copper, nickel and cobalt from the leach liquor of a sulphide concentrate by solvent extraction", Hydrometallurgy, 2004; Article in Press.
- 9- Chu Yong Cheng, "Purification of synthetic laterite leach solution by solvent

- extraction using D2EHPA” , Hydrometallurgy , 2000 ; 56 : 369–386.
- 10- Jhon S. Preston , “Solvent extraction of cobalt and nickel by organophosphorus acids” , Hydrometallurgy, 1982; 9 : 115–133.
- 11- P.E. Tsakiridis, S. Agatzini-Leonardou , “Process for recovery of cobalt and nickel in presence of magnesium from sulphate solutions by Cyanex 272[®] and Cyanex 302[®]” , Minerals Engineering , 2004 ; Article in Press.
- 12- Brain K. Tait , “Cobalt-nickel separation: the extraction of cobalt(II) and nickel(II) by Cyanex 301 , Cyanex 302[®] and Cyanex 272[®]” , Hydrometallurgy, 1993; 32 : 365–372.
- 13- P.E. Tsakiridis, S.L. Agatzini , “Process for recovery of cobalt and nickel in presence of magnesium and calcium from sulphate solutions by Versatic 10 and Cyanex 272[®]” , Minerals Engineering , 2004 ; 17 : 535-543 .
- 14- Zbigniew Hubicki, Halina Hubicka , “Studies on the extraction of nickel (II) sulphate purification using Cyanex 272[®]” , Hydrometallurgy , 1996; 40 : 65–76.

جدول ۱- مقادير n محاسبه شده و معادلات f(D)

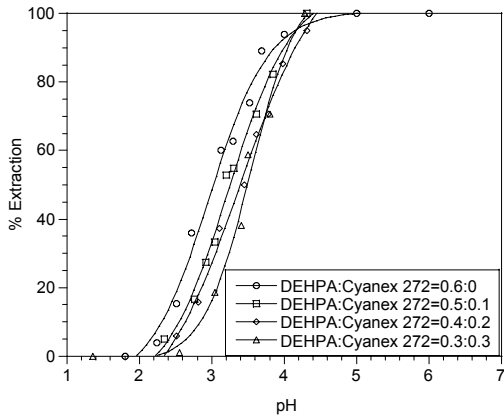
(R / R') _H	Co			Ni		
	F(D)	R	n	f(D)	R	n
DEHPA:Cyanex 302 [®] =0.6:0.0	-4.92+2.08pH	0.99	4.0	-5.11+1.99pH	0.99	4.0
DEHPA:Cyanex 302 [®] =0.5:0.1	-5.17+2.03pH	0.99	4.0	-5.87+2.05pH	0.99	4.0
DEHPA:Cyanex 302 [®] =0.4:0.2	-5.45+2.05pH	0.99	4.0	-6.68+2.06pH	0.99	4.0
DEHPA:Cyanex 302 [®] =0.3:0.3	-5.64+2.01pH	0.98	3.8	-6.59+1.95pH	0.99	4.0

جدول ۲- مقادير $pH_{0.5}^{Ni}$ و $pH_{0.5}^{Co}$ و $pH_{0.5}^{Ni} - pH_{0.5}^{Co}$

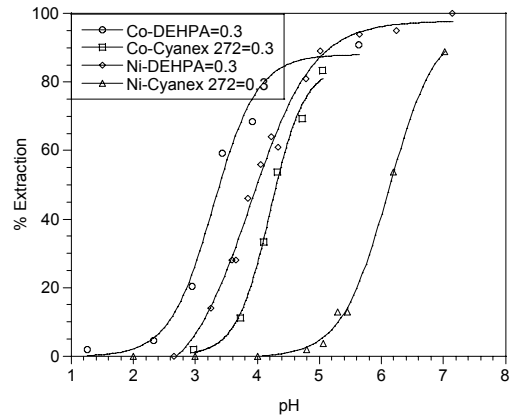
[DEHPA]: [Cyanex 272 [®]]	$pH_{0.5}$				
	Ni	Co	Ni-Ni _{[DEHPA]=0.6 molar}	Co-Co _{[DEHPA]=0.6 molar}	Ni-Co
0.6:0.0	3.3	3.04	0	0	0.26
0.5:0.1	3.59	3.25	0.29	0.21	0.34
0.4:0.2	3.91	3.39	0.61	0.35	0.52
0.3:0.3	4.12	3.48	0.82	0.44	0.64

جدول ۳- مقادير ضريب توزيع و فاکتور جدایش کبالت و نیکل

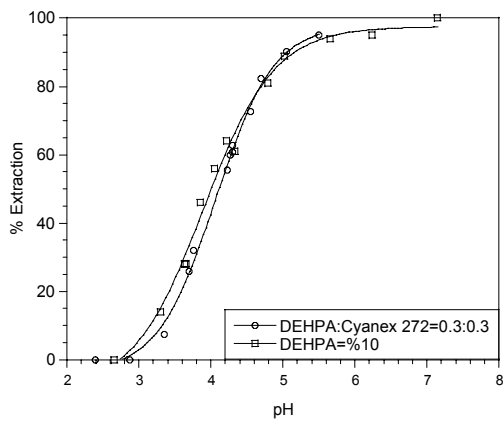
pH	DEHPA=0.6			DEHPA:Cyanex 272 [®] =0.3:0.3		
	D _{Co}	D _{Ni}	$\beta_{Co/Ni}$	D _{Co}	D _{Ni}	$\beta_{Co/Ni}$
2.3	0.108	0.044	2.437	0.014	0	∞
2.5	0.223	0.082	2.709	0.04	0	∞
2.8	0.543	0.223	2.435	0.112	0	∞
3	0.934	0.405	2.308	0.216	0.025	8.677
3.25	1.776	0.844	2.105	0.472	0.071	6.656
3.5	3.371	1.713	1.968	1.05	0.167	6.298
3.75	6.610	3.452	1.915	2.417	0.354	6.831
4	12.870	6.868	1.874	6.968	0.718	9.698
4.2	22.585	11.422	1.977	25.110	1.225	20.503



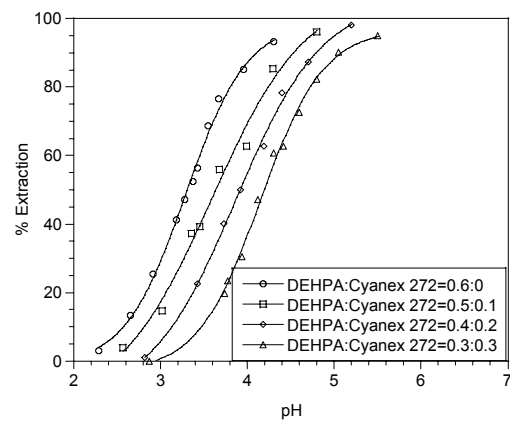
شکل ۲- تغییرات درصد استخراج کبالت بر حسب pH



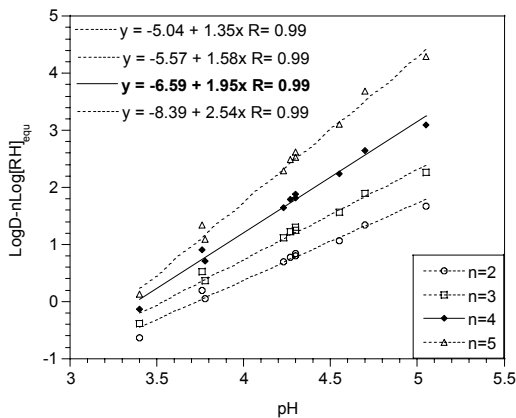
شکل ۱- تغییرات درصد استخراج کبالت و نیکل بر حسب pH



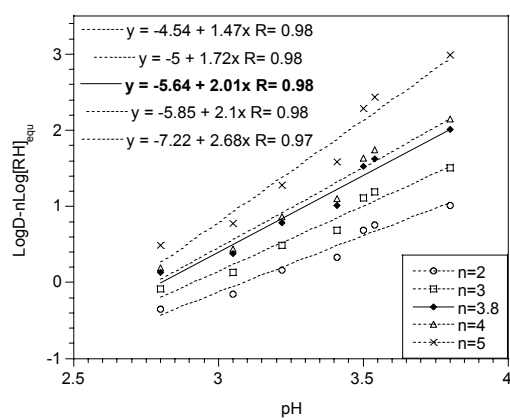
شکل ۴- تغییرات درصد استخراج نیکل بر حسب pH



شکل ۳- تغییرات درصد استخراج نیکل بر حسب pH



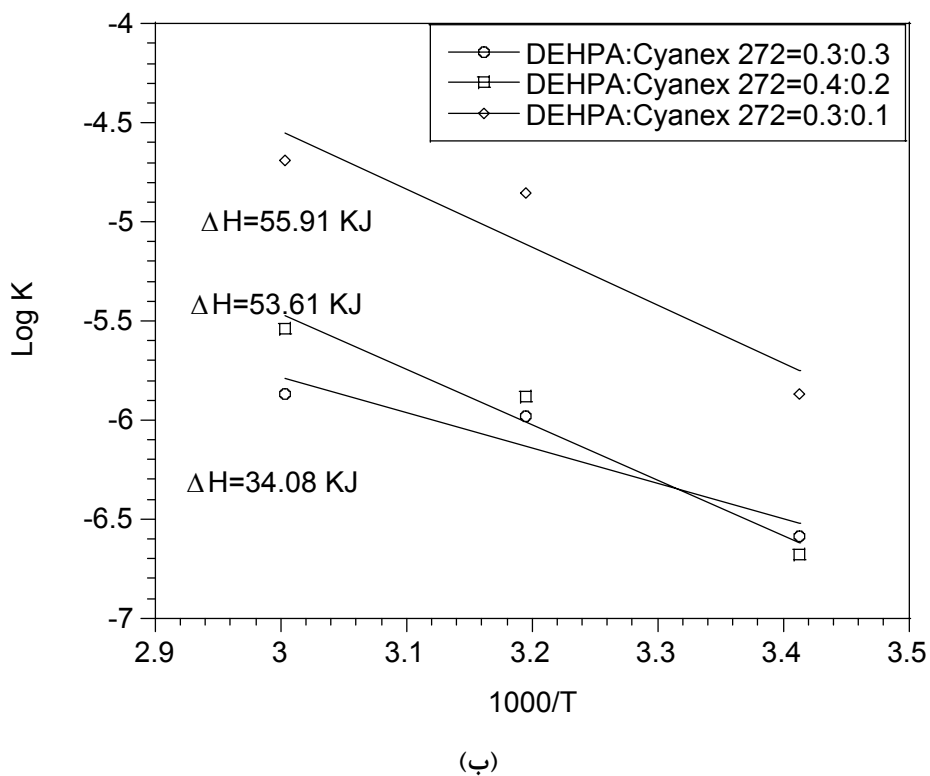
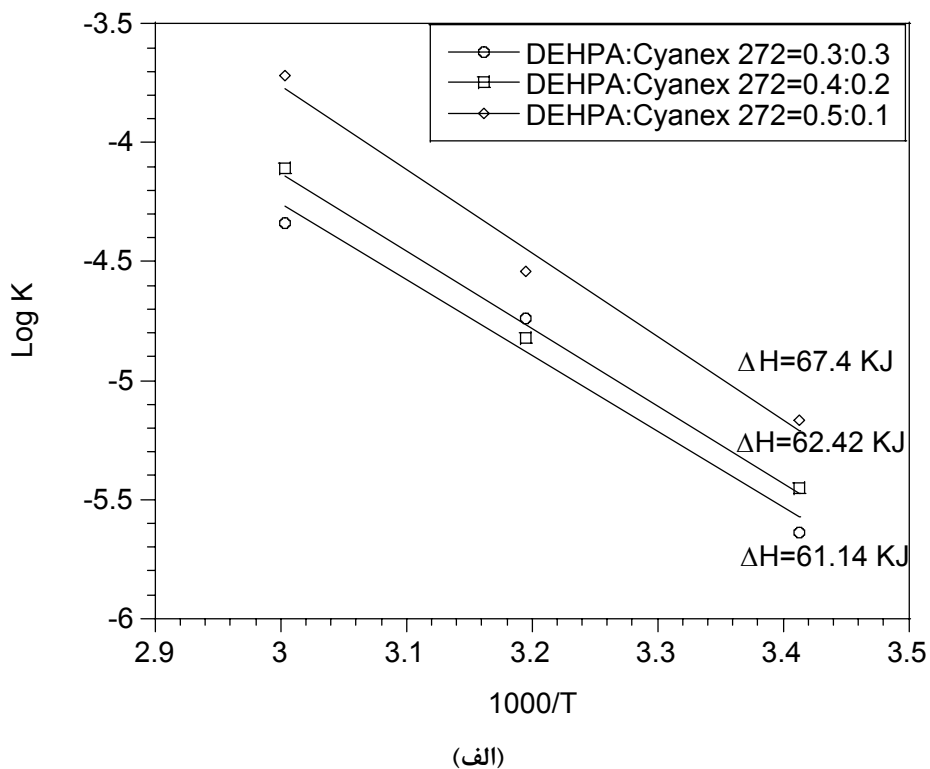
(ب)



(الف)

شکل ۵- تغییرات $f(D) = \text{Log}D - n\text{Log}[(R/R')H]_{\text{equ}}$ بر حسب pH

الف کبالت ب نیکل



شکل ۶- تغییرات Log K بر حسب 1000/T

الف) کبالت ب) نیکل