

رسوب دهی طلائی فلزی از محلول کلریدی با استفاده از احیاءکننده فرواگزالات

سپیده جوانشیر^{۱*}؛ شکوفه نادری چگنی^۲؛ معصومه ترابی^۳

۱- استادیار گروه فرآوری مواد معدنی، دانشگاه بیرجند، sepideh.javanshir@gmail.com

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه بیرجند

۳- پژوهشگر هیدرومتالورژی امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه

(دریافت ۶ مرداد ۱۳۹۴، پذیرش ۳ مهر ۱۳۹۵)

چکیده

در این تحقیق بازیابی طلا از محلول لیج کلریدی لجن آندی مس زدایی شده سرچشمه با استفاده از احیاءکننده فرواگزالات و تأثیر پارامترهای مؤثر بر آن بررسی شده است. اسید اگزالییک که یک احیاءکننده مرسوم است، سینتیک کندی دارد و طلائی حاصل نیز بسیار ریز و چسبنده است. در این مطالعه احیاءکننده فرواگزالات معرفی و تأثیر دما، pH، زمان و غلظت احیاءکننده بر رسوب طلا بحث شده است. مقایسه اسید اگزالییک و فرواگزالات تأیید کرد که در محلول فرواگزالات به علت حضور یون‌های آهن (II) قدرت احیاءکنندگی تقویت شده و سرعت واکنش افزایش می‌یابد؛ به طوری که بازیابی طلا در فرواگزالات نسبت به اسید اگزالییک ۱۰-۱۵٪ بیشتر است. با افزایش دما سرعت فرایند به شدت افزایش می‌یابد و با تغییر دما از ۲۵°C به ۵۰°C، رسوب طلا بین ۲-۱/۵ برابر بهبود یافته است. تأثیر تغییرات pH نیز نشان داد که تأثیر یون اگزالات و بی اگزالات بر بازیابی طلا از گونه‌های بی بار آن بیشتر است، از این رو در pH=۶ بیشینه بازیابی به دست می‌آید. در نهایت در شرایط بهینه دما ۸۰ درجه سانتیگراد، زمان ۶۰ دقیقه، غلظت فرواگزالات ۱/۵ g/l و pH=۶ بازیابی ۹۹٪ طلا حاصل شد.

کلمات کلیدی

بازیابی طلا، احیاء، فرواگزالات، لجن مس آندی

۱- مقدمه

با توجه به کاهش عیار عناصر با ارزش و افزایش رو به رشد قیمت آن‌ها، بازیابی طلا به‌عنوان محصول ثانویه اهمیت ویژه‌ای یافته است. لجن مس آندی که حاصل تصفیه الکترولیتی مس است دارای طلا و عناصر با ارزشی مانند Ag, Te, Sb, Co, Se و Pb است. از این رو در دنیا تلاش‌های فراوانی روی استحصال عناصر با ارزش از آن انجام شده است.

اولین بار عمل‌آوری لجن الکترولیتی مس به روش هیدرومتالورژی توسط سابرامانیان^۱ و همکاران در سال ۱۹۸۰ انجام شد. وی علاوه بر بازیابی نقره و سلنیم عمل‌آوری دیگر عناصر از قبیل تلوریم، طلا، پلاتین و پالادیم را مورد مطالعه قرار داد. بازیابی طلا از محلول باردار توسط روش استخراج حلالی و با استفاده از دی بوتیل کربیتول (DBC) انجام گرفت و برای استحصال طلای فلزی از اسید اگزالییک و سولفات آهن به‌عنوان احیاءکننده بهره گرفته شد [۱].

در جدول ۱ خلاصه‌ای از پژوهش‌های انجام شده برای بازیابی طلا آورده شده است. این مطالعات نشان می‌دهد که می‌توان بدون انجام فرایند استخراج با حلال، طلا را از محلول آبی ترسیب کرد. طبیعی است این سیستم از نظر اقتصادی دارای مزیت‌های بیشتری است.

یانوپولس^۲ و همکاران برای بازیابی طلا از فاز آبی کلریدی از مخلوط کربن فعال و اسید اگزالییک استفاده کردند [۱]. تأثیر پارامترهای سینتیکی مختلف مانند دما، pH و غلظت احیاءکننده را بر روی نرخ احیاء طلا (III) در محلول آبی کلرید به وسیله H₂O₂ و گوگرد توسط پاکلاوسکی و همکارانش (۲۰۰۴) بررسی شد [۳،۲].

بازیابی انتخابی مس، طلا، نقره، پالادیم و طلا از باطله بردهای مدار چاپی (PCBs) توسط بهنام فرد [۴] نیز بررسی شد که طی

این فرایند بازیابی طلا از تیواوره توسط سدیم برو هیدرید انجام شد. وجنیکی^۳ و همکاران سینتیک احیاء کمپلکس کلرید طلای (III) و رسوب فاز جامد در فاز آبی با استفاده از دی متیل بوران (DMAB) را بررسی کردند [۵]. مکانیزم جذب فیزیکی و احیاء کمپلکس کلرید طلا بر روی مواد معدنی سیلیکاته توسط محمد نژاد و همکاران بررسی شده است [۶].

در مطالعات قبلی عملکرد احیاءکننده‌های سولفیت سدیم، اسید اگزالییک، سولفات فرو بررسی شد. نتایج نشان داد که سولفیت سدیم کمترین و سولفات فرو دارای بیشترین بازیابی طلا را دارد. همچنین بر اساس تحقیقات انجام شده می‌توان گفت حضور یون-های آهن (II) قدرت سایر احیاءکننده‌ها را تقویت کرده و سرعت واکنش را افزایش می‌دهد [۷].

ترسیب طلا توسط احیاءکننده اسید اگزالییک یک فرایند مرسوم و انتخابی است؛ اما سرعت آن بسیار کند است. طلای حاصل نیز به‌صورت پودر بسیار ریزی است که قابلیت بازیابی صنعتی و عملیاتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر سعی می‌شود تأثیر یون فرو بر احیاءکنندگی اسید اگزالییک بررسی شود؛ به این منظور، به جای اسید اگزالییک از نمک آن با آهن فرو (FeC₂O₄) استفاده می‌شود.

هدف از انجام کار بازیابی طلا از محلول لیچینگ لجن آندی مجتمع مس سرچشمه با استفاده از احیاءکننده است. ابتدا کارکرد دو احیاءکننده اسید اگزالییک و فرو اگزالات مقایسه شد و سپس تأثیر پارامترهای موثر مانند pH، زمان و دما بر احیاءکننده مناسب مطالعه شد.

۲- مواد و روش‌ها

فاز آبی استفاده شده در این فرایند از لیچینگ کلریدی لجن آندی مس زدایی شده مجتمع مس سرچشمه به‌دست آمده است. برای تهیه محلول رقیق تیزاب اسید کلریدریک و اسید نیتریک (با

¹ - Subramanian

² - Yannopoulos

³ - Wojnicki

نسبت حجمی ۳:۱ و غلظت های به ترتیب ۲ و ۳ نرمال) ترکیب شد. غلظت مهمترین عناصر موجود در محلول لیچ مورد استفاده در جدول ۲ آمده است.

در مرحله اول در شرایط بهینه مطالعات قبلی (دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد، $\text{pH}=6$ ، زمان ۶۰ دقیقه و غلظت ۵ گرم بر لیتر) از اسید اگزالیك و فرو آگزالات به عنوان احیاء کننده طلا استفاده شد [۱]. سپس تأثیر اسیدیته ($\text{pH}=1-14$)، دما ($80-25$ °C)، زمان ($90-30$ min) و غلظت احیاء کننده ($5-0.5$ g/l) بر ترسیب طلا مطالعه شد.

آزمایش‌های رسوب در شرایط ناپیوسته آزمایشگاهی انجام شد. بر اساس غلظت مورد نظر، مقدار احیاء کننده محاسبه شد و در ۲۰ میلی‌لیتر محلول لیچینگ حل شد. اسید اگزالیك، فرو آگزالات مورد استفاده نیز از شرکت مرک آلمان تهیه شده است. هات پلیت با همزن مغناطیسی مدل SDS-41D ساخت کره جنوبی با ۴۵۰ دور در دقیقه استفاده شد. pH محلول قبل از استخراج با یک pH متر اندازه‌گیری شد و با افزودن سود مرک و اسید سولفوریک تنظیم شد. محلول باقیمانده در پایان هر آزمایش فیلتر و توسط دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی آنالیز شد. شکل ۱ نمایی از تجهیزات مورد استفاده را نشان می‌دهد.

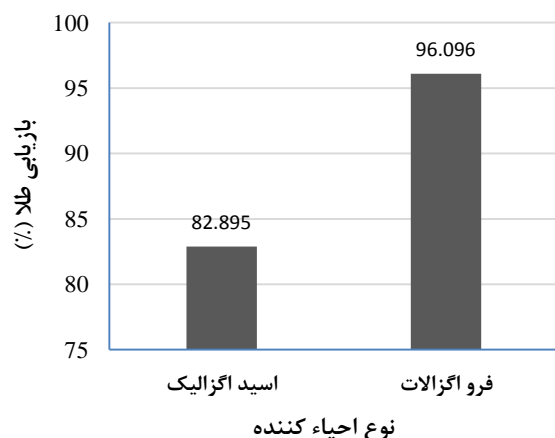
جدول ۱: خلاصه ای از مطالعات انجام شده در زمینه بازیابی طلا

نویسندگان و سال	موضوع تحقیق
یانوپولس (۱۹۷۸)	ترسیب طلا از محلول HCl-HNO ₃ توسط کربن فعال و اسید اگزالیک [۱]
چمیلوسکی (۱۹۹۸)	لیچینگ با تیزاب - استخراج با حلال با دی اتیل مالونات - ترسیب طلا با [۷] H ₂ SO ₄ +H ₂ O ₂ +(COOH) ₂
گویا و ماتیهویک ^۱ (۱۹۹۹)	بازیابی طلا از محلول لیچینگ کلریدی توسط اسید آسکوربیک [۸]
پاکلاوسکی و فیتزner ^۲ (۲۰۰۴)	بازیابی طلا از محلول لیچینگ کلریدی توسط سولفور (IV) [۳]
پاکلاوسکی و فیتزner (۲۰۰۶)	بازیابی طلا از محلول لیچینگ کلریدی توسط H ₂ O ₂ [۲]
پینگ ^۳ (۲۰۰۷)	ترسیب طلا از فاز آلی دارای استخراج کننده DBC با سولفیت سدیم و اسید اگزالیک [۱]
کوانگ ^۴ و همکاران (۲۰۰۸)	لیچینگ کلریدی و هیپو کلریدی - احیای طلا توسط کلرید سدیم [۸]
یانگ ^۵ (۲۰۰۹)	لیچینگ با تیزاب - بازیابی طلا از فاز آلی تولون با احیاء کننده دودکانول [۸]
بیانگ ^۶ (۲۰۰۹)	لیچینگ با تیزاب - استخراج با حلال توسط DBC - بازیابی توسط آمونیاک [۸]
وجینکی و همکاران (۲۰۱۲)	بازیابی مستقیم طلا توسط احیاء کننده دی متیل بوران در محلول کلریدی [۵]
بهنام فرد و همکاران (۲۰۱۳)	لیچینگ توسط تیواوره - احیای طلا با سدیم برو هیدرید [۴]
سعادت جو و همکاران (۲۰۱۳)	لیچینگ با تیزاب - احیای طلا با هیدرازین، فروسولفات و اسید اگزالیک [۱۰]
محمدنژاد و همکاران (۲۰۱۳)	لیچینگ کلریدی - ترسیب طلا بر روی سطح سیلیکاتی

جدول ۲: نتایج آنالیز شیمیایی محلول حاصل از لیچینگ طلا

عنصر	Au	Ag	Cu	Fe
غلظت (ppm)	۶۹۰	۴/۹۱	۴/۸۰	۳/۵

¹ Goia and Matijevic² Paclawski and Fitzner³ Ping⁴ Kwang⁵ young⁶ Byoung



شکل ۲: مقایسه ترسیب طلا توسط اسید اگزالییک و فرو اگزالات (دما: ۸۰°C، pH=۶، زمان = ۶۰ min، غلظت فرو اگزالات ۵ g/l)



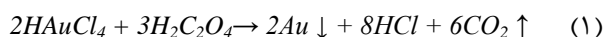
شکل ۱: تجهیزات مورد استفاده در بازیابی طلا از فاز کلریدی

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مقایسه اسید اگزالییک با فرو اگزالات

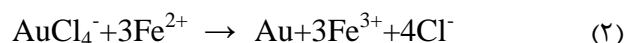
ابتدا در شرایط یکسان از اسید اگزالییک و فرو اگزالات برای ترسیب طلا استفاده شد و میزان بازیابی طلا ارزیابی شد. نتایج این آزمایش‌ها در شکل ۲ آمده است. همان‌طور که دیده می‌شود، بازیابی طلا با استفاده فرو اگزالات نسبت به اسید اگزالییک ۱۳ درصد بیشتر است.

رابطه ۱ چگونگی ترسیب طلا توسط اسید اگزالییک را نشان می‌دهد. مکانیزم احیای طلا به صورت انجام واکنش‌های اکسیداسیون-احیاء است. احیاء کننده اکسید شده و در مقابل یون‌های کلرید طلا (III) به طلا فلزی احیاء می‌شود.



بر اساس استوکیومتری واکنش به ازای میزان معینی از طلا، ۱/۵ برابر احیاء کننده لازم است. وقتی از فرو اگزالات به عنوان احیاء کننده استفاده می‌شود، یون‌های آهن (II) نیز در محلول حل شده و سپس به یون فریک تبدیل می‌شود.

بنابراین با انجام این نیم واکنش اضافی، الکترون بیشتری برای احیای طلا وجود خواهد داشت.



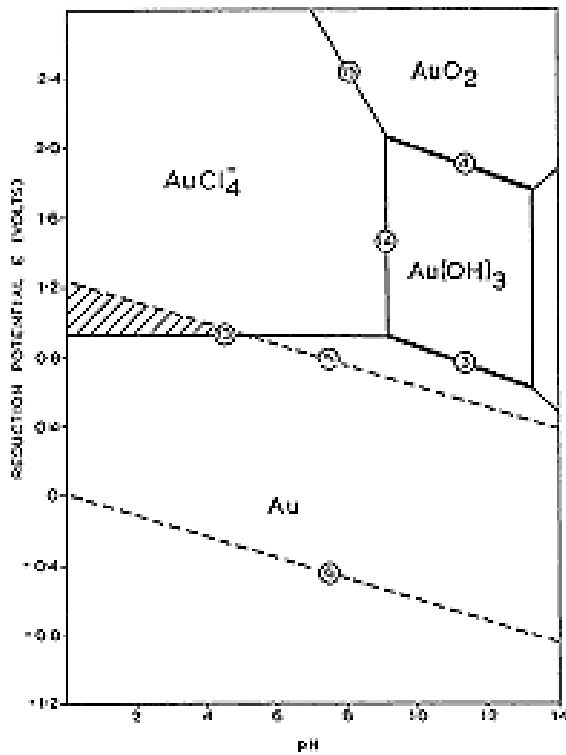
در ادامه تأثیر pH، دما، زمان و غلظت فرو اگزالات بر احیاء طلا بررسی می‌شود.

۳-۲- پارامترهای مؤثر بر احیای طلا توسط فرواگزالات

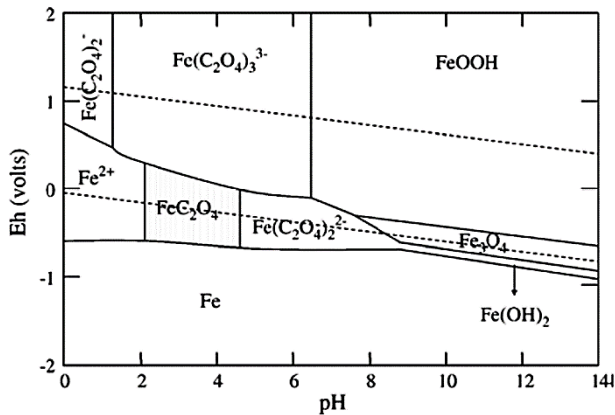
۳-۲-۱- تأثیر pH

پارامتر مهم و تأثیرگذار بر فرایند رسوب، تغییرات اسیدیته محلول است که می‌تواند رسوب طلا را در فاز آبی افزایش یا کاهش دهد. از آنجایی که در pH های مختلف اجزاء و ترکیبات متفاوتی پایدار هستند وجود این اجزاء احیاء را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

در این قسمت تعدادی آزمایش با pH های مختلف در شرایط یکسان با استفاده از فرو اگزالات انجام شد. مطابق شکل ۳ با افزایش pH محیط تا مقدار ۶ درصد بازیابی افزایش می‌یابد. اما در pH های بالاتر (pH=۸)، با توجه به دی‌اگرام های پوره کلرید طلا تبدیل به هیدروکسید شده و بازیابی کاهش می‌یابد (شکل ۴). ضمن این‌که یون فرو نیز به صورت رسوب هیدروکسید آهن ظاهر خواهد



شکل ۴: دیاگرام پوره برای سیستم $\text{Au-H}_2\text{O-Cl}$ در 25°C
 $[\text{Au(III)}]=10^{-2}\text{M}$, $[\text{Cl}^-]=2\text{M}$, $P:1\text{ atm}$.

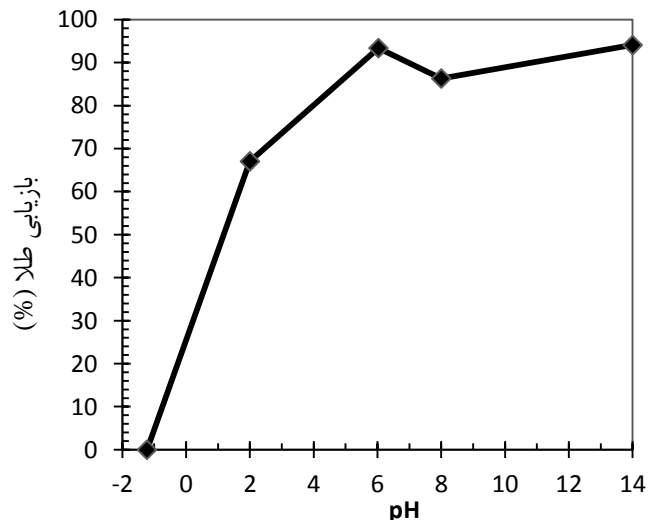


شکل ۵: دیاگرام Eh-pH برای سیستم اگزالات-آهن
 (Sung et al, 2007)

شد(شکل ۵). انتظار بر این بود که در $\text{pH} > 8$ نیز تغییری در میزان بازیابی طلا ایجاد نشود ولی احتمالاً به دلیل پدیده هم‌رسوبی، طلا همراه اکثر فلزات موجود در محلول بصورت هیدروکسید رسوب کرده و پسماند سیاه رنگی برجا می‌گذارد. در هر صورت می‌توان گفت بهترین حالت مربوط به $\text{pH}=6$ است که بازیابی در این وضعیت به $93/4\%$ رسیده است.

در شکل ۶ نمودار غلظت گونه‌های مختلف اگزالات در اسیدیته‌های مختلف ترسیم شده است. با توجه به شکل، در pH های پایین اسید اگزالاتیک در شکل مولکولی و بی بار $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ حضور دارد. با کاهش اسیدیته و افزایش pH بر میزان یون اگزالات $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ و بی اگزالات HC_2O_4^- افزوده شده است و نهایتاً در pH های بالا، تنها یون اگزالات در محلول وجود خواهد داشت.

از طرفی داده‌های بازیابی طلا نیز بر این نمودار منطبق است؛ با افزایش pH بازیابی افزایش می‌یابد و بعد از $\text{pH}=6$ این روند متوقف می‌شود. تکرار این آزمایش با اسید اگزالاتیک نیز نشان داد در شرایط اسیدی بازیابی طلا برابر صفر است؛ در حالی که با تغییر pH به سمت بازی میزان بازیابی به 83% رسیده است که تأییدکننده نتایج قبل است.



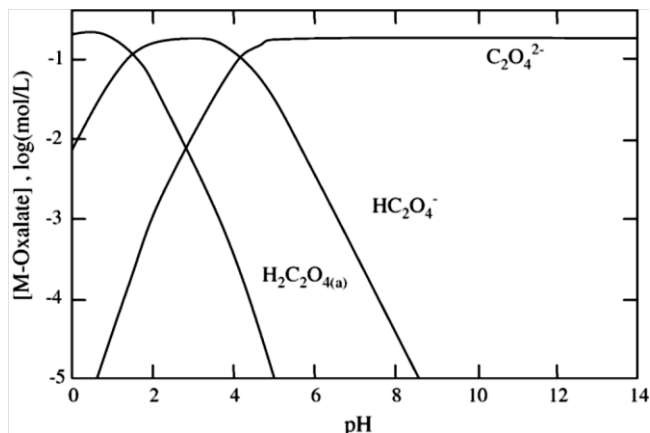
شکل ۶: تأثیر تغییرات pH بر بازیابی طلا از فاز آبی کلریدی با استفاده از فرو اگزالات (دما: 80°C ، غلظت فرو اگزالات 5 g/l)

محیط می‌توان اثر زمان را مشاهده کرد، ولی در دماهای بالاتر به علت سرعت بالای انحلال این اثر قابل اغماض است. علاوه بر این، حین آزمایش‌ها مشاهده شد که در غلظت‌های بالای احیاء کننده، رسوب حاصل دارای خلوص کمتری است، به طوری که در غلظت ۵ گرم بر لیتر رسوبات سیاه رنگ ناخالصی به وضوح دیده می‌شد.

۳-۲-۳- تأثیر دما

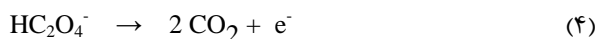
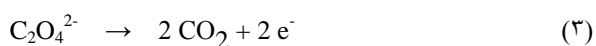
تأثیر دما بر بازیابی طلا با انجام آزمایش‌هایی در سه دمای ۲۵، ۵۰ و ۸۰ درجه سانتیگراد انجام شد. هر ۳۰ دقیقه، نمونه‌ای از محلول گرفته، فیلتر و برای آنالیز ارسال شد. نتایج نشان داد دما تأثیر چشمگیری بر بازیابی دارد و در ۳۰ دقیقه ابتدایی این روند بیشتر مشاهده می‌شود؛ به طوری که بازیابی از صفر به ۹۳ درصد رسیده است (۸-الف).

تکرار آزمایش در غلظت بالاتر احیاء کننده (۵ g/l) نیز نتایج مرحله قبل را تأیید کرد. همچنین مشخص شد که با افزایش غلظت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد بازیابی به ماکزیمم خود می‌رسد. در حالی که در غلظت پایین‌تر تنها در دمای ۸۰°C بازیابی کامل حاصل می‌شود (شکل ۸-ب). به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش دما تا دو برابر (از ۲۵°C به ۵۰°C) رسوب طلا بین ۱/۵-۲ برابر بهبود یافته است.



شکل ۶: غلظت گونه‌های مختلف اسید اگزالیک نسبت به pH [۱۰]

با مقایسه دو شکل ۳ و ۶ می‌توان گفت که تأثیر یون اگزالات و بی اگزالات بر بازیابی طلا از گونه‌های بی‌بار آن بیشتر است. واکنش‌های اکسیداسیون مربوط به این یون‌ها در رابطه ۳ و ۴ آمده است؛ بنابراین انتظار می‌رود با افزایش غلظت یون‌های اگزالات و بی اگزالات بازیابی طلا بیشتر شود.



اما در شرایط قلیایی آهن به طور کلی به صورت رسوب در می‌آید و نمی‌توان انتظار داشت بر میزان رسوب طلا تأثیر داشته باشد.

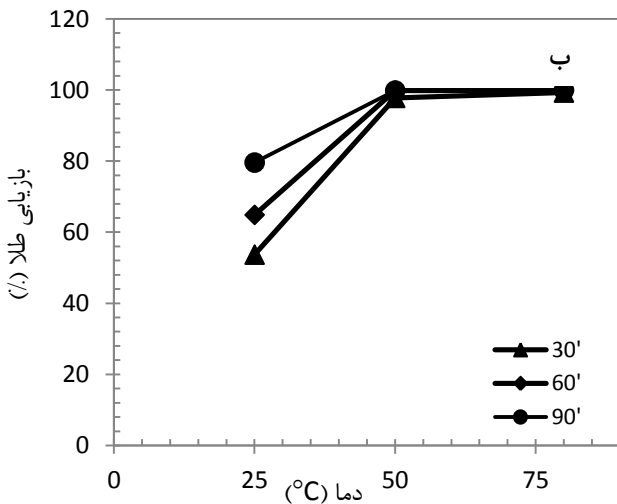
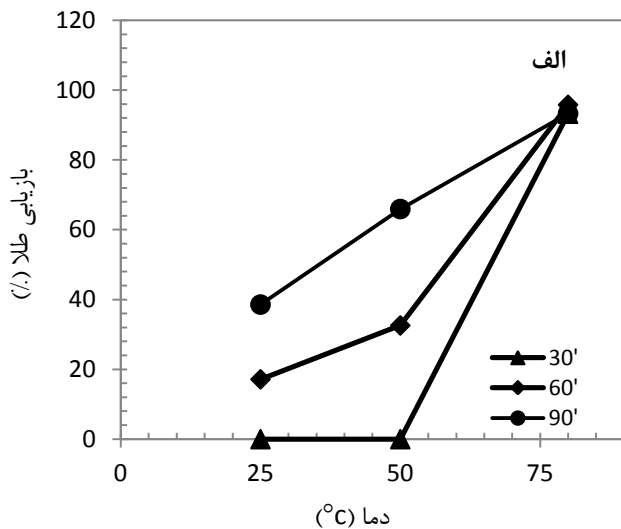
۳-۲-۳- تأثیر زمان

تأثیر زمان بر بازیابی طلا در دما و غلظت‌های متفاوت فرو اگزالات مطالعه شد و نتایج مربوطه در شکل ۷ آمده است. نمودارهای مندرج در این شکل نشان می‌دهد که افزایش زمان اثر مثبت بر بازیابی طلا دارد. با گذشت زمان، میزان تماس احیاء کننده و کمپلکس طلا افزایش یافته و رسوب بیشتری حاصل می‌شود.

طبیعی است در غلظت پایین فرو اگزالات (۰/۵ g/l)، در مقایسه با غلظت‌های بالا (۵ g/l) میزان بازیابی به مراتب کمتر است؛ همچنین افزایش زمان در این غلظت تأثیر چشمگیری بر بازیابی طلا داشته است. در غلظت فرو اگزالات ۵ g/l فقط در دمای

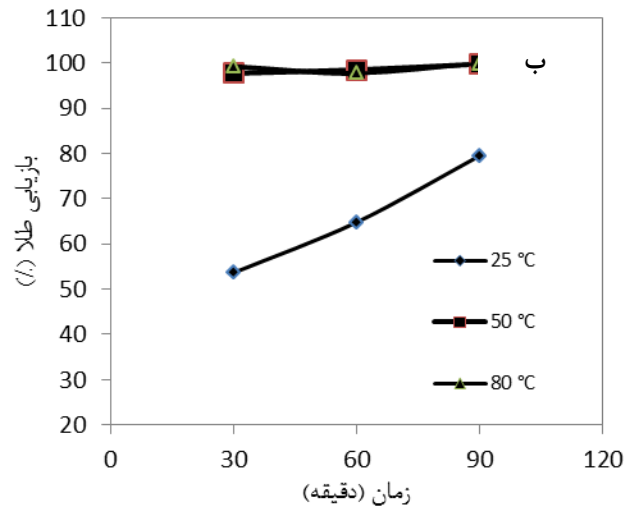
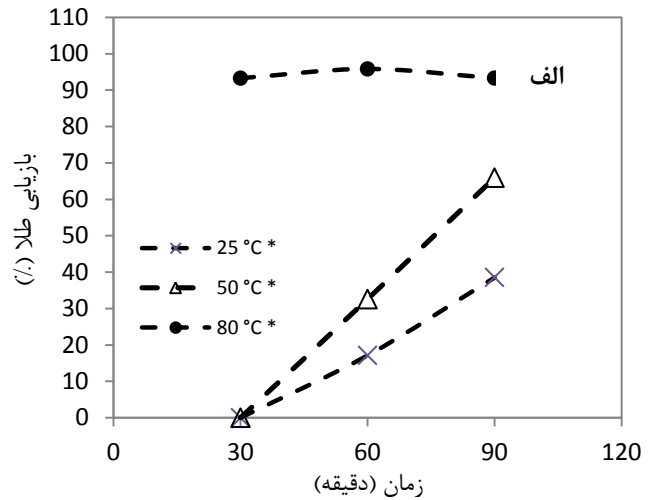
می‌شود؛ به همین دلیل، دما تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی بازیابی داشته است [۱].

تأثیر دما بر رسوب طلا توسط اسید اگزالیک نیز بررسی شد و نتایج در شکل ۹ آمده است. مشاهده می‌شود که فرو اگزالات نسبت به اسید اگزالیک بازیابی طلا را در شرایط کاملاً مشابه ۱۰٪ افزایش داده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حضور یون فرو در کنار یون اگزالات اثر احیاء کنندگی را تقویت کرده و منجر به افزایش بازیابی شده است.



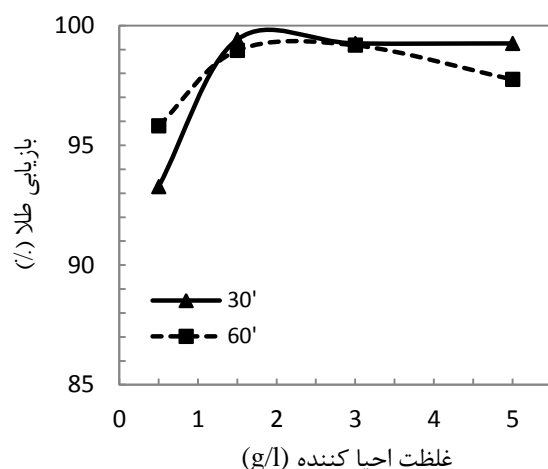
شکل ۸: تأثیر دما برای بازیابی طلا از فاز آبی توسط فرو اگزالات (الف):

($\text{Fe}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 5 \text{ g/l}$ و $\text{Fe}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 0.5 \text{ g/l}$)

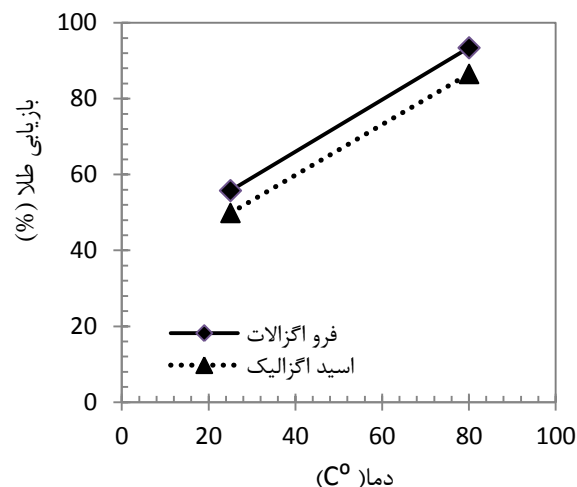


شکل ۷: تأثیر زمان بر بازیابی طلا از فاز آبی کلریدی با استفاده از فرو اگزالات (pH=۶، غلظت احیاء کننده: الف: ۵ g/l، ب: ۰.۵ g/l)

با توجه به آنچه گذشت، سرعت فرایند نسبت به دمای فرایند بسیار متغیر است؛ در دماهای پایین تا سی دقیقه اول بازیابی صفر بوده در حالی که در دماهای بالا، بخش اعظم بازیابی در این سی دقیقه صورت می‌گیرد. بنابراین با استفاده از این داده‌ها نمی‌توان روی سینتیک فرایند نظر داد. در مطالعات قبلی، آزمایش‌های مذکور در دماهای مختلف و در فاز آلی انجام شد و انرژی فعال-سازی برای آن سیستم $50/8 \text{ KJ/mol}$ به دست آمد. نتایج نشان داد که ترسیب طلا با فرو اگزالات توسط فرایند شیمیایی کنترل



شکل ۱۰: تأثیر غلظت فرواگزالات بر بازیابی طلا در فاز آبی (دما=۸۰، pH=۶)



شکل ۹: مقایسه تأثیر دما برای بازیابی طلا از فاز آبی با استفاده از فرو اگزالات و اسید اگزالیك (زمان: ۶۰ min، pH=۶، غلظت احیاء کننده: ۵ g/l)

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از فرو اگزالات به عنوان احیاء کننده تأثیر دما، pH، زمان و غلظت فرو اگزالات بر بازیابی طلا از فاز آبی کلریدی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد: در آزمایش‌های مقدماتی مشاهده شد در حضور فرو اگزالات بازیابی طلا نسبت به اسید اگزالیك ۱۳ درصد بیشتر است. تأثیر یون اگزالات و بی‌اگزالات بر بازیابی طلا از گونه‌های بی‌بار آن بیشتر است. از این رو در pH=۶ ماکزیمم بازیابی به دست می‌آید. افزایش دما به‌ویژه در غلظت‌های پایین احیاء کننده سرعت فرایند را افزایش می‌دهد و تغییر دما از ۲۵°C به ۵۰°C رسوب طلا را حدود ۲-۱/۵ برابر بهبود بخشید. در نهایت بررسی پارامترهای مختلف نشان داد بهترین شرایط فرایند به صورت دما: ۸۰°C، زمان: ۶۰ min، غلظت فرو اگزالات: ۱/۵ g/l و pH=۶ است که در این شرایط ۹۹٪ طلا بازیابی شد.

مراجع

[1] Javanshri, S.; 2011. "The study of kinetics parameters on gold solvent extraction by DBC in Mixer settler", Ph.D. Thesis, Tarbiat Modares University.

۳-۲-۴- تأثیر غلظت فرو اگزالات

غلظت احیاء کننده بر بازیابی فرایند و همچنین سرعت آن مؤثر است و تعیین میزان مصرف بهینه آن بر قیمت تمام شده محصول نیز تأثیر زیادی می‌گذارد، از طرف دیگر مصرف بیش از حد حضور ناخالصی‌ها را در محصول افزایش می‌دهد. از این رو در این قسمت سعی بر آن است که تأثیر تغییر غلظت فرو اگزالات بر بازیابی مطالعه شود. آزمایش‌ها با غلظت‌های متفاوتی از فرو اگزالات در دو زمان مختلف انجام گرفت، نتایج در شکل ۱۰ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود غلظت ۱/۵ g/l ماکزیمم بازیابی را به همراه داشته و غلظت‌های بالاتر تأثیر چشمگیری بر میزان بازیابی ندارد.

با توجه به نتایج دمای ۸۰°C، زمان ۶۰ min، غلظت فرو اگزالات ۱/۵ g/l و pH=۶ بهترین شرایط برای بازیابی طلا است که در این شرایط ۹۹٪ طلا بازیابی شد.

[2] Paclawski, K; Fitzner, K; 2006; "Kinetics of Reduction of Gold (III) Complexes Using H₂O₂", Metallurgical and materials transactions vol 37, 703-714.

- [3] Paclawski, K; Fitzner, K; 2004; “*Kinetics of Gold (III) Chloride Complex Reduction Using Sulfur (IV)*”, Metallurgical and materials transactions 35B, 1071-1085.
- [4] Behnamfard, A; Salarirad, M.M; Veglio, F; 2013; “*Process development for recovery of copper and precious metals from waste printed circuit boards with emphasize on palladium and gold leaching and precipitation*” , Waste Management, 2354–2363.
- [5] Wojnicki, M; Rudnik, E; Luty-Błocho, M; Paclawski, Krzysztof; Fitzner, Krzysztof; 2012; “*Kinetic studies of gold (III) chloride complex reduction and solid phase precipitation in acidic aqueous system using dimethylamine borane as reducing agent*”, Hydrometallurgy, 43–53.
- [6] Mohammadnejad, S.P; John, L; Deventer, J; van, S.J; 2013; “*Reduction of gold (III) chloride to gold (0) on silicate surfaces*”, Journal of Colloid and Interface Science 252–259.
- [7] Naderi Chegeni, S.; 2015. “*Improving kinetics of gold stripping from loaded DBC by ferrous oxalate*”, Msc. Thesis, University of Birjand.
- [8] Syed, S; 2012; “*Recovery of gold from secondary sources- A review*”, Hydrometallurgy, 30-51.
- [9] Goia, D.V; Matijevic, E; 1999; “*Tailoring the particle size of monodispersed colloidal gold, Colloids and Surfaces*”, Physicochemical and Engineering Aspects A, 139–152.
- [10] Saadatjoo, N; Heydari, H; Abdullahi, A; Behzad, M; 2013; “*Recovery of gold from computer circuit board scraps: the study of the effect of different reductants*”, Journal of Applied Chemistry, Vol. 8, No. 27, 55-60.
- [11] Lee, S.O; Tran, T; Hi Jung, B; Kim, J; Kim, S; Jun, M; 2007; “*Dissolution of iron oxide using oxalic acid*”, Hydrometallurgy 87, 91–99.