

## بررسی تأثیر شرایط عملیاتی بر استخراج با حلال طلا در فرایند پیوسته با استفاده از میکسر - ستلر آزمایشگاهی

سپیده جوانشیر<sup>۱</sup>، محمود عبداللهی<sup>۲\*</sup>، حسین ابوالقاسمی<sup>۳</sup>، احمد خدادادی دربان<sup>۴</sup>

۱- فارغ التحصیل دکترای فراوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس

۲ - استاد گروه فراوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس، [minmabd@modares.ac.ir](mailto:minmabd@modares.ac.ir)

۳- دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

۴- دانشیار گروه فراوری دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت 21 فروردین 1390، پذیرش 27 مهر 1390)

### چکیده

در سال‌های اخیر عوامل مؤثر بر فرایند استخراج، بیشتر در مقیاس آزمایشگاهی و در دکانتور بررسی شده و تحقیقات کمی در زمینه تأثیر شرایط عملیاتی در یک فرایند پیوسته گزارش شده است. در این پژوهش استخراج طلا از محلول لیچ کلریدی لجن مس آندی سرچشمه با حلال دی بوتیل کربیتول (DBC) و در یک دستگاه میکسر ستلر آزمایشگاهی انجام شد و تأثیر پارامترهای مختلفی مانند دور همزن، دبی فاز آبی و آلی، غلظت طلا، غلظت استخراج کننده و هلدآپ بر استخراج طلا در فرایند پیوسته بررسی شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دور همزن تا 600rpm بازیابی طلا تا میزان 80 درصد افزایش می‌یابد. همچنین افزایش هلدآپ فاز آلی تا نقطه بحرانی ( $\theta=0/375$ ) اثر مثبت بر فرایند داشته و با افزایش بیش از حد آن سیستم دچار اختلال می‌شود. سایر پارامترها مانند افزایش دبی حجمی فاز آبی به دلیل کاهش زمان ماند، میزان استخراج را 35% کاهش داد و غلظت رقیق کننده نیز به سبب کاهش سطح تماس فازها، به میزان قابل توجهی (4/5 برابر) تأثیر منفی بر استخراج داشته است. تأثیر غلظت یون طلا در خوراک آبی بر قطر ساتر قطرات نیز بررسی شد.

### کلمات کلیدی

استخراج با حلال طلا، فرایند پیوسته، DBC، میکسر - ستلر.

## 1- مقدمه

تا فهم درستی از فرایند ایجاد و امکان طراحی فرایند استخراج در مراحل بعدی آسان شود. بررسی شرایط عملیاتی مختلف در دستگاه‌های مختلف استخراج‌کننده بیشتر روی فرایندهای استاندارد شیمی (استون-تولون-آب) بررسی شده است و نمونه واقعی (محلول لیچ) به علت پیچیدگی این سیستم‌ها استفاده نشده است. در سال‌های اخیر پژوهشگران زیادی روی استخراج عناصر و تأثیر پارامترهای مختلف بر آن متمرکز شده‌اند. خلاصه‌ای از فرایندهای مذکور در جدول 1 آورده شده است.

با توجه به کاهش عیار عناصر با ارزش و افزایش رو به رشد قیمت این عناصر، بازیابی طلا به‌عنوان محصول ثانویه اهمیت ویژه‌ای یافته است. لجن مس آندی که حاصل تصفیه الکترولیتی مس است دارای 1/0% طلا و عناصر با ارزشی مانند Ag، Sb، Co، Se، Pb می‌باشد. از این رو در دنیا تلاش‌های فراوانی بر روی استحصال عناصر با ارزش از آن انجام شده است. در جدول 2 خلاصه‌ای از این پژوهش‌ها آمده است. لیچ کلریدی و استخراج‌کننده دی بوتیل کربیتول (DBC) به سبب قدرت انتخابی بالای آن برای طلا نسبت به سایر عناصر در محیط آبی، مشکلات زیست‌محیطی کمتر و در نتیجه کارایی بالاتر در پژوهش حاضر استفاده شده است.

با توجه به مسائل بیان‌شده و لزوم بررسی پارامترها در شرایط پیوسته (نه در مقیاس batch و استفاده از دکانتور)، در این تحقیق هدف بررسی تأثیر شرایط عملیاتی مختلف مانند هلدپ دبی فاز آبی و آلی، غلظت طلا در فاز آبی و غلظت استخراج‌کننده بر اندازه قطر قطرات فاز آلی، مساحت سطح تماس دو فاز و در نتیجه استخراج طلا از محلول لیچ حاصل از لجن مس آندی سرچشمه، در یک فرایند پیوسته با استفاده از یک دستگاه میکسر ستلر آزمایشگاهی است.

## 2- روش اندازه‌گیری قطر قطره

برای اندازه‌گیری قطر قطره تکنیک‌های مختلفی وجود دارد. در ماندگی پایین می‌توان قطر قطره را با روش انتقال نور و توزیع قطرات را به‌وسیله روش عکس‌برداری مستقیم اندازه‌گیری کرد. روابط مختلفی توسط محققان برای اندازه قطر قطره بیان شده است که در جدول 3 به‌صورت خلاصه آورده شده است. از میان قطرهای میانگین تعریف شده در جدول مذکور، قطر میانگین ساتر یا ( $D_{32}$ ) کاربرد زیادی دارد. دلایل مهم بودن قطر میانگین

روش استخراج با حلال با توجه به لزوم استحصال فلزات از محلول‌های رقیق لیچ، عمل‌آوری پساب‌های معدنی و خلوص محصولات تولیدی اهمیت زیادی دارد. همچنین این روش به علت داشتن ظرفیت بالا، سادگی تجهیزات، راحتی کنترل فرایند و هزینه کم به‌طور وسیعی استفاده شده است. از طرف دیگر بررسی فرایندهای استخراج با حلال با توجه به وجود گونه‌های مختلف موجود در محلول‌ها، خصوصیات سینتیکی تقریباً مشابه گونه‌های مذکور و همچنین طبیعت دو فازی بودن سیستم تا حدودی مشکل است و تأثیر پارامترهای مختلف بر آن قابل پیش‌بینی نیست. بنابراین بهینه کردن پارامترهای عملیاتی تأثیرگذار در دستگاه‌های استخراج‌کننده به‌خصوص در فرایند پیوسته اهمیت زیادی دارد.

یکی از دستگاه‌های استخراج‌کننده که به دلیل قابلیت انعطاف‌پذیری و ظرفیت بالای آن‌ها به‌طور گسترده‌ای در فرایندهای مختلف کاربرد دارد میکسر ستلرها می‌باشند. این دستگاه برای عملیاتی که احتیاج به ظرفیت بالا و تعداد مراحل کم دارند، اقتصادی است. طراحی و بزرگ‌سازی میکسر ستلر آسان‌تر و دقیق‌تر از تجهیزات دیفرانسیلی از قبیل برج و سانتریفیوژ است. به همین دلیل اغلب فرایندهای پیوسته را با میکسر ستلر آزمایش می‌کنند [1].

در دستگاه میکسر ستلر دو فاز مایع به داخل میکسر هدایت می‌شوند و پس از مخلوط شدن، امولسیون ناپایدار توسط درچه‌ای به ستلر منتقل می‌شود. فاز سنگین جدا شده در ستلر از طریق درچه‌هایی به میکسر مرحله بعد و فاز سبک جدا شده از طریق مجراهایی به میکسر مرحله قبل انتقال داده می‌شود از این رو به نظر می‌رسد که نحوه جریان در هر مرحله به‌صورت متقاطع است [2].

به‌طور کلی هر مرحله از دستگاه میکسر ستلر یک میکسر و یک ستلر دارد، از این رو بررسی پدیده‌های موجود در این دو قسمت اهمیت ویژه‌ای دارد. از آنجا که بیشتر آزمایش‌های انجام‌شده در مورد فرایندهای SX به انجام مطالعات آزمایشگاهی کوچک مقیاس و فقط در قیف‌های جداکننده محدود می‌شود، داده‌های حاصل کمک‌چندانی به طراحی فرایند در مقیاس پایلوت و صنعتی نخواهد کرد. از این رو انجام آزمایش‌ها در میکسر ستلر آزمایشگاهی این امکان را فراهم کرد

جدول 1: خلاصه‌ای از بررسی تأثیر پارامترهای عملیاتی بر بازیابی عناصر مختلف

ردیف	سال	عنصر مورد بررسی	پارامترهای مورد بررسی	مرجع
1	1978	Zr&Hf	-	3
2	1980	Fe	غلظت آهن، یون کلرید، دما، pH	4
3	1987	Co	دور همزن، زمان تماس	5
4	1988	U	قطر متوسط ساتر، توزیع قطرات، سرعت همزن	6
5	1992	Zn	پارامترهایی هیدرومتالورژیکی	7
6	1998	Co,Ni,Cu	نسبت فاز، اسیدیته خوراک و محلول اسکراب، تعداد مراحل	8
7	2004	La	زمان تماس، اسیدیته	9
8	2006	Cd	پارامترهایی هیدرومتالورژیکی	10
9	2007	Th	دما، غلظت حلال، غلظت فلز	11
10	2007	Zn	نسبت فاز، غلظت حلال و فاز آبی، pH	12
11	2007	Pa	نوع پره، سرعت همزدن، دما، غلظت یون کلر	13
12	2008	Ni	سرعت جریان، تعداد مراحل	14

جدول 2: خلاصه‌ای از فرایندهای بازیابی طلا از لجن مس آندی

ردیف	سال	محلول لیچینگ	استخراج کننده	احیا کننده	مرجع
1	1974	کلریدی	-	اسید اگزالیک-هیدروکوبنون	15
2	1980	تیزاب	DBC	اسید اگزالیک	16
3	1981	تیزاب	DBC	پراکسید هیدروژن	17
4	1987	پراکسید هیدروژن+اسید کلریدریک	-	SO <sub>2</sub>	18
5	1989	کلر+اسید کلریدریک	DBC	پراکسید هیدروژن	19
6	1983	کلر+اسید کلریدریک	-	سولفات فرو و اسید اگزالیک	20
7	1990	تیواوره/ اسید سولفوریک	D2EHPA/TBP	H <sub>2</sub>	21
8	2001	تیزاب	DBC	اگزالات پتاسیم	22
9	2001	کلریدی	DBC	SO <sub>2</sub>	23
10	2001	کلریدی	-	اسید اگزالیک	24
11	2001	کلریدی	بوتوکسی اتیل	اسید اگزالیک	25
12	2001	کلریدی	هیدروکسیل آمین	اسید نیتر و سولفور	26
13	2001	مولنات سدیم	N-اکتیل آنیلین	-	27
14	2002	تیوسولفات و تیوسیانات	-	بورو هیدر سدیم	28
15	2004	پراکسید هیدروژن+اسید کلریدریک	DBC	-	29
16	2005	کلریدی	XAD-7	-	30
17	2006	تیزاب	DBC	سولفیت سدیم	31
18	2006	کلریدی	-	سدیم سترات	32
19	2009	کلریدی	-	-	33
20	2009	تیزاب	DBC	آمونیاک و هیدرازین	34

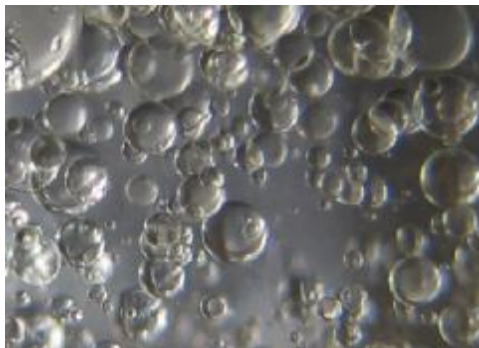
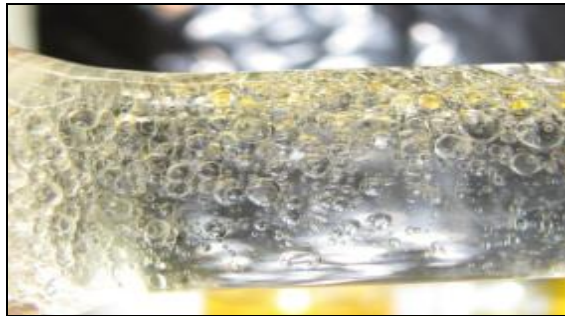
در این تحقیق قطر میانگین ساتر مورد استفاده قرار گرفته است. قطر ساتر از رابطه 1 به دست می‌آید:

ساتر این است که سطح واحد حجم قطرات را به نرخ های انتقال انرژی، انتقال جرم و واکنش شیمیایی مربوط می‌کند [35].

$$E \% = \frac{X_{in} - X_{out}}{X_{in}} \times 100\% \quad (2)$$



شکل 1: نمای کلی میکسر ستلر افقی تک مرحله‌ای



شکل 2: نمونه‌ای از عکس‌های گرفته‌شده از خروجی میکسر

#### 4- بحث و نتایج

##### 4-1- تأثیر دور همزن

این سری از آزمایش‌ها در غلظت ثابت طلا (100ppm) در فاز آبی، دبی حجمی فاز آبی 50 میلی‌لیتر در دقیقه و دبی حجمی فاز آلی 10ml/min انجام شد. دور همزن در محدوده (600rpm-335) بررسی و قطر قطرات تشکیل‌شده در هر دور اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش دور همزن و شکست بیشتر قطرات،

$$D_{32} = \frac{\sum N_i D_i^3}{\sum N_i D_i^2} \quad (1)$$

که  $N_i$  تعداد قطرات با قطر  $D_i$  است.

#### 3- مواد و روش‌ها

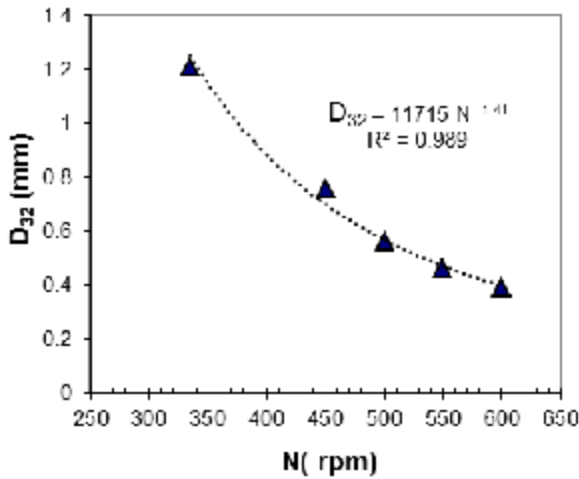
محللول طلای استفاده‌شده در این فرایند از لیچینگ لجن مس آندی معدن سرچشمه به‌دست آمده است. غلظت طلا در تمامی آزمایش‌ها به‌جز در آزمایش‌های مربوط به بررسی تأثیر غلظت طلا، 100ppm است. فاز آلی مورد استفاده، دی اتیلین گلیکول دی بوتیل اتر است که از شرکت شوپانگ هنگ‌کونگ چین خریداری شده است و خلوص آن بالای 98% است. اسیدهای کلریدریک و نیتریک با خلوص آزمایشگاهی و تهیه شده از شرکت مرک آلمان است. فاز آبی توسط انحلال لجن مذکور با تیزاب نسبت حجمی اسید کلریدریک به اسید نیتریک برابر 1 و غلظت این اسیدها به ترتیب برابر 2 و 3 نرمال) به‌دست آمد. همچنین حلال خالص (DBC)، به عنوان فاز آلی استفاده شد.

جدول 3- تعریف‌های قطر میانگین قطره و کاربرد آن‌ها [36]

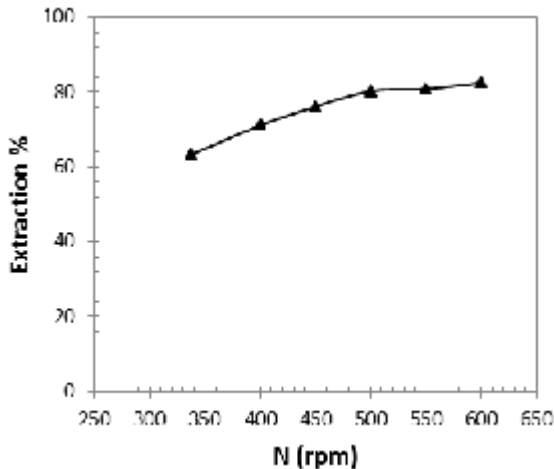
کمیت	نام	کاربرد
$D_{10}$	میانگین حسابی (طول)	مقایسه
$D_{20}$	میانگین سطحی (سطح جانی)	کنترل سطح جانی
$D_{30}$	میانگین حجمی (حجم)	کنترل حجم (هیدرولوژی)
$D_{21}$	میانگین طولی (سطح جانی-طول)	جذب گاز در مایع
$D_{31}$	میانگین طول (حجم-طول)	تبخیر، نفوذ مولکولی
$D_{32}$	میانگین ساتر (حجم-سطح)	انتقال جرم، واکنش

میکسر ستلر مورد استفاده در ایران ساخته شده و نمایی از آن در شکل 1 نشان داده شده است. برای اندازه‌گیری کشش بین سطحی از دستگاه دیجیتالی ساخت شرکت Lauda آلمان استفاده شد. همچنین قطر قطرات فاز آلی با استفاده از یک دوربین 10 مگا پیکسلی Canon و با استفاده از نرم‌افزار Clemex اندازه‌گیری شد. نمونه‌ای از عکس‌های گرفته شده در شکل 2 آورده شده است.

راندمان استخراج به عوامل مختلفی از جمله دور همزن، میزان حلال مصرفی و دستگاه استخراج‌کننده بستگی دارد در این سری از آزمایش‌ها میزان استخراج از رابطه (2) به‌دست آمده است که  $X_{in}$  و  $X_{out}$  به ترتیب غلظت طلا در ورودی و خروجی سیستم است:



شکل 3: تأثیر دور همزن بر اندازه قطر ساطر قطرات فاز پراکنده، غلظت طلا: 100ppm، دبی فاز آبی: 10ml/min، دبی حجمی فاز آبی: 50ml/min، دما: 25 درجه سانتی گراد، زمان: 5min، DBC: 100%.



شکل 4: تأثیر دور همزن بر استخراج طلا. غلظت طلا: 100ppm، دبی فاز آبی: 10ml/min، دبی حجمی فاز آبی: 50ml/min، دما: 25 درجه سانتی گراد، زمان: 5min، DBC: 100%.

قطر قطرات کاهش یافته و در نتیجه سطح تماس دو فاز افزایش می‌یابد [37,38]. با رسم نمودار قطر ساطر در مقابل دور همزن مشاهده شد قطرات ساطر به صورت یک تابع نمایی با توان تقریبی 1/4- با دور همزن تغییر می‌کند (شکل 3). این موضوع با تئوری کلاسیک کولموگروف- هینز انطباق دارد [39].

در تئوری مذکور میزان قطر قطره با دور همزن (در یک سیستم بدون واکنش‌های شیمیایی) رابطه‌ای نمایی با توان تقریبی 1/2- دارد که اختلاف حاصل به سبب وجود واکنش شیمیایی بین طلا و DBC و سایر ناخالصی‌های موجود در سیستم‌های واقعی است.

همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود افزایش دور باعث تولید قطرات ریزتر و سطح تماس بیشتر می‌شود و استخراج را تا میزان 80% افزایش می‌دهد. لازم به ذکر است که دور بهینه برای کار در صنعت حداقل دوری است که بهترین استخراج را سبب شود و از اتلاف انرژی جلوگیری کند. همچنین افزایش دور سبب تشکیل قطرات بسیار ریزی می‌شود که کار ستلر را مختل کرده و احتمال هدرروی فاز آبی همراه با فاز آبی را افزایش می‌دهد [40]. بنابراین برای ادامه کار دور میکسر 450rpm در نظر گرفته شد.

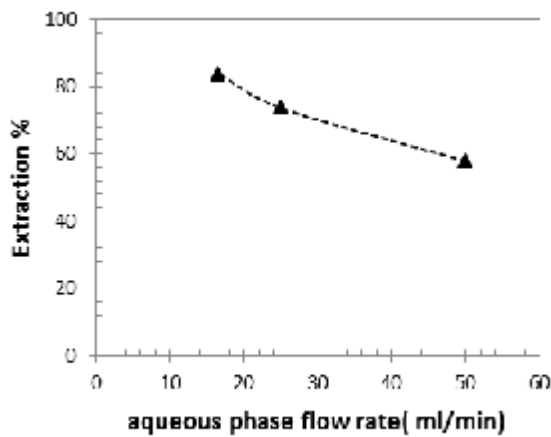
#### 4-2- تأثیر دبی حجمی فاز آبی

در این مرحله از آزمایش‌ها اثر افزایش دبی فاز آبی از 10ml/min تا 60ml/min در شرایط ثابت (غلظت ثابت طلا 100ppm، دبی فاز آبی 50ml/min) بر میزان استخراج بررسی شد. افزایش میزان فاز آبی تا 30 ml/min سبب افزایش استخراج شد و پس از آن تأثیر منفی بر میزان استخراج گذاشته است (شکل 5). دلیل این امر بروز پدیده وارونگی فازی است [41,42].

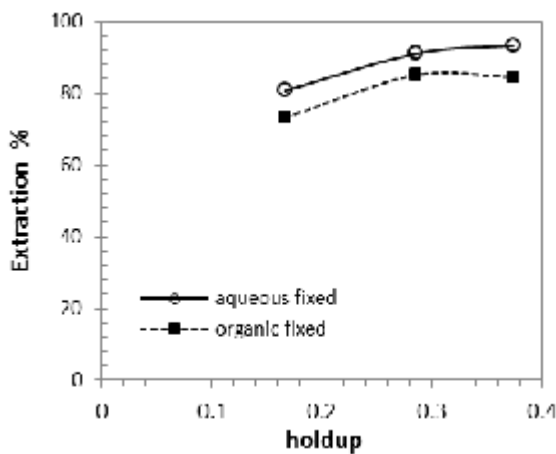
برای کارایی مناسب میکسر ستلر نسبت حجمی فاز پیوسته (فاز آبی) به فاز پراکنده نباید از حد خاصی کمتر شود. زمانی که هلدپ در داخل سیستم افزایش یابد، سرعت به هم پیوستن قطرات از سرعت شکست آنها بیشتر شده و در نتیجه فاز پیوسته (فاز آبی) به صورت قطراتی در فاز پراکنده (فاز آبی) در می‌آید و برعکس فاز پراکنده (فاز آبی) تبدیل به فاز پیوسته می‌شود. این پدیده وارونگی فازی نامیده می‌شود و زمانی که این حالت در سیستم پیش آید کارایی کاهش یافته و سیستم دچار اختلال می‌شود [43]. شکل 6 تأثیر دبی حجمی فاز آبی بر استخراج را در دوره‌های متفاوت همزن نشان می‌دهد.

شرایط عکس است. به عبارت دیگر در هلداپ مشابه (به عنوان مثال  $\theta=0/3$ )، میزان استخراج زمانی که دبی فاز آبی ثابت باشد 92 درصد و در حالتی که دبی فاز آلی ثابت باشد برابر 84 درصد خواهد بود (شکل 8).

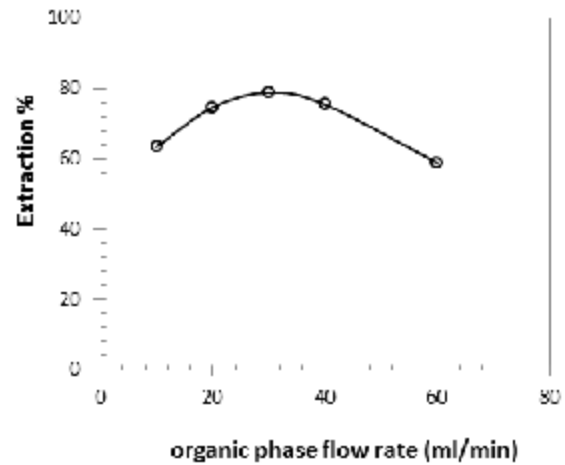
بنابراین در صنعت بهتر است در صورت تغییر شرایط خوراک ورودی یا تغییر در طراحی، دبی فاز آلی تغییر داده شود. تأثیر دبی حجمی فاز آبی بر روی راندمان استخراج در دوره‌های مختلف همزن در شکل 9 نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزایش دبی حجمی فاز آبی در تمامی دوره‌های همزن منجر به کاهش میزان استخراج طلا شده است.



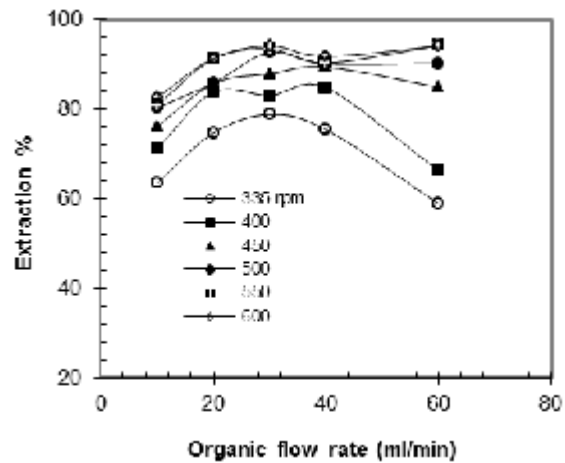
شکل 7: تأثیر دبی حجمی فاز آبی بر استخراج طلا. غلظت طلا: 100ppm، دور 450 rpm، دبی حجمی فاز آلی: 10ml/min، دما: 25 درجه سانتی‌گراد، زمان: 5min، DBC: 100%.



شکل 8: مقایسه تأثیر تغییرات دبی حجمی فاز آلی و آبی بر استخراج طلا. غلظت طلا: 100ppm، دور 450 rpm، دما: 25 درجه سانتی‌گراد، زمان: 5min، DBC: 100%.



شکل 5: تأثیر دبی حجمی فاز آلی بر استخراج طلا. غلظت طلا: 100ppm، دور 450 rpm، دبی حجمی فاز آبی: 50ml/min، دما: 25 درجه سانتی‌گراد، زمان: 5min، DBC: 100%.

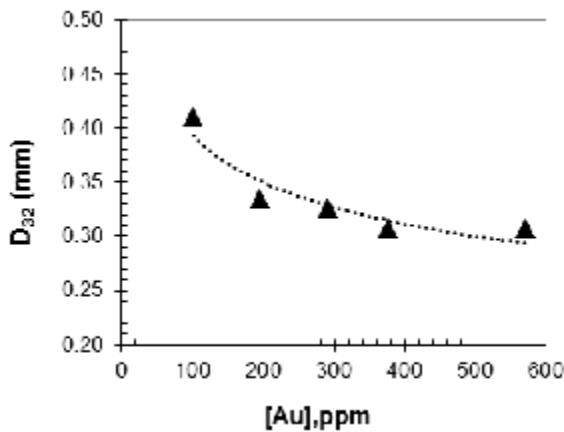


شکل 6: تأثیر دبی حجمی فاز آلی بر استخراج طلا در دوره‌های مختلف همزن (شرایط مطابق شکل 5)

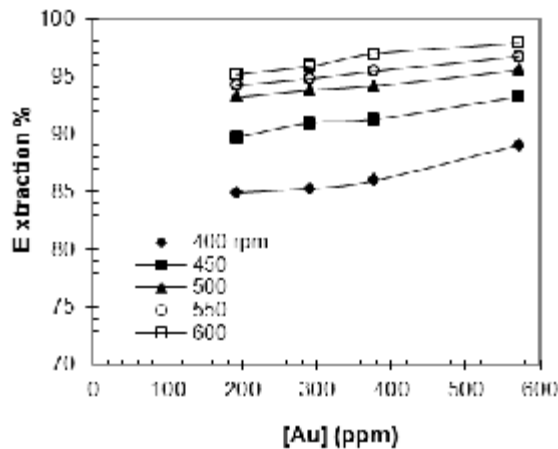
### 3-4- تأثیر دبی حجمی فاز آبی

در این قسمت دبی فاز آلی ثابت در نظر گرفته شده است (10 ml/min) و تأثیر تغییرات دبی حجمی فاز آبی از 50 تا 16 ml/min بر استخراج طلا بررسی شد. نتایج نشان داد که افزایش دبی فاز آبی استخراج را به دلیل کاهش زمان ماند در سیستم و در نتیجه انتقال جرم کمتر، کاهش داده است (شکل 7). مقایسه نتایج با داده‌های قسمت (4-2) نشان داد هرگاه در سیستمی دبی فاز آبی ثابت و دبی فاز آلی تغییر کند، میزان استخراج به طور متوسط 8% بیشتر از حالت مشابه آن در

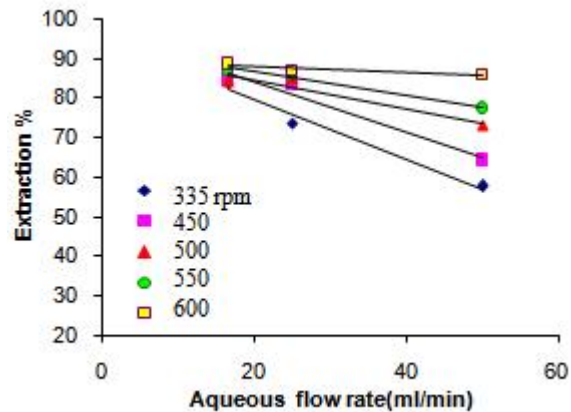
همان‌طور که اشاره شد قطرات درشت‌تر دارای سطح تماس و انتقال جرم کمتری هستند [42]؛ بنابراین میزان انتقال جرم و به تبع آن استخراج طلا کاهش می‌یابد. نتایج در شکل 13 آورده شده است. مشخص است که استفاده از DBC بدون رقیق‌کننده تأثیر مثبتی بر فرایند گذاشته و با توجه به بازیافت آسان آن پس از عمل استخراج به روش تقطیر و امکان استفاده مکرر از آن، مصرف آن به صورت خالص اقتصادی است.



شکل 10: تأثیر غلظت طلا در فاز پیوسته بر قطر قطرات.



شکل 11: تأثیر تغییرات غلظت طلا بر استخراج طلا. غلظت DBC: 100%، دما: 25 درجه سانتی‌گراد، زمان: 5min، دبی حجمی فاز آبی: 20ml/min، دبی حجمی فاز آبی: 50ml/min.



شکل 9: تأثیر تغییرات دبی حجمی فاز آبی بر استخراج طلا در دوره‌های مختلف همزن

#### 4-4- تأثیر غلظت طلا

طلا به عنوان جزء منتقل شونده از فاز آبی (پیوسته) به فاز آلی (پراکنده) مورد استفاده قرار گرفت. با ثابت بودن سایر شرایط و تغییر غلظت طلا در فاز پیوسته مشاهده شد که افزایش غلظت طلا تا 570 ppm استخراج را به میزان 5% افزایش می‌دهد. با اندازه‌گیری میزان کشش بین سطحی در غلظت‌های مختلف طلا مشخص شد که افزایش میزان طلا کشش بین سطحی را 12% کاهش داده (جدول 4) و کاهش کشش بین سطحی سبب شکست بیشتر قطرات و در نتیجه تولید قطرات ریزتر می‌شود (شکل 10). همان‌طور که اشاره شد کاهش قطر قطرات رابطه مستقیم با افزایش سطح تماس و میزان استخراج دارد (شکل 11).

#### 5-4- تأثیر غلظت DBC

در این سری از آزمایش‌ها حلال DBC با کروزین در نسبت‌های حجمی مختلف (40%، 60% و 80%) مخلوط شد و سپس برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با اندازه‌گیری قطر قطرات در خروجی میکسر و همچنین اندازه‌گیری کشش سطحی مشخص شد کروزین میزان کشش بین سطحی را به میزان قابل‌توجهی افزایش داده (جدول 5) و این امر باعث تولید قطرات بزرگتر می‌شود که با نتایج حاصل از اندازه‌گیری قطر قطرات مطابقت دارد (شکل 12).

جدول 4: تأثیر غلظت طلا بر کشش بین فازی

غلظت طلا (ppm)	100	200	300	400	550
کشش بین سطحی mN/m	12/24	12/02	11/40	10/92	10/77

جدول 5: تأثیر درصد حلال DBC بر کشش بین فازی

درصد DBC (%)	100	80	60	40
کشش بین فازی (mN/m)	12/24	13/57	14/67	15/73

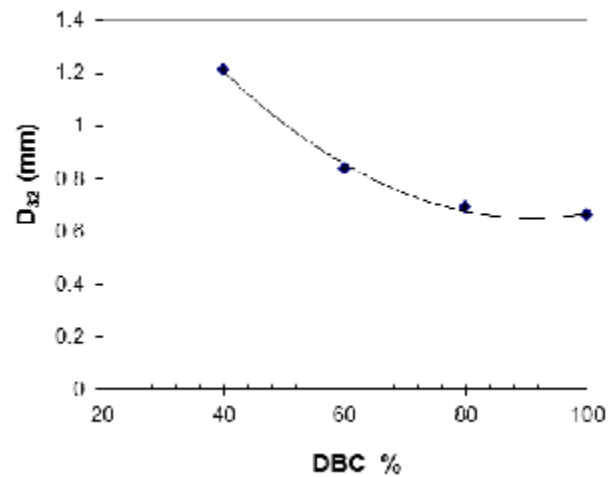
### 5- نتایج

انجام آزمایش‌های متعدد در میکسر ستلر و تأثیر پارامترهای عملیاتی در فرایند پیوسته نشان داد که هر چند افزایش دور همزن سبب افزایش تعداد قطرات، سطح تماس دو فاز و در نتیجه کارایی استخراج می‌شود ولی ملاحظات دیگری برای جدایش آسان دو فاز باید در نظر گرفته شود. افزایش دبی حجمی فاز آلی تا یک نقطه بحرانی ( $\phi=0/375$ ) سبب افزایش استخراج شده و پس از آن به سبب وارونگی فازی تأثیر منفی بر فرآیند می‌گذارد.

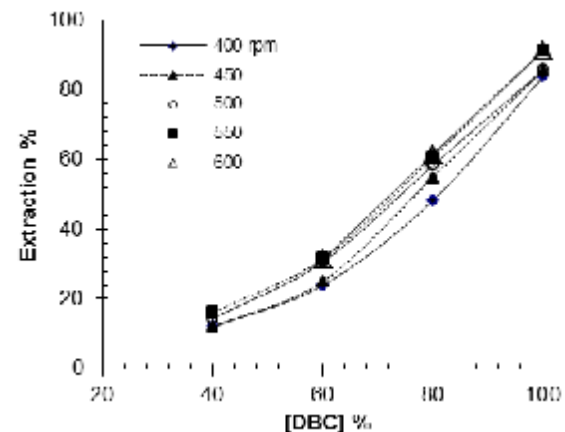
همچنین نمی‌توان با افزایش بیش از حد دبی حجمی فاز آبی همواره کارایی استخراج را افزایش داد. زیرا زمان ماند از پارامترهای تأثیرگذار بر میزان انتقال جرم و استخراج است و با کاهش آن میزان استخراج کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که استخراج در شرایطی که دبی فاز آلی متغیر و دبی فاز آبی ثابت در نظر گرفته شود حدود 8% بالاتر از شرایط عکس خواهد بود. افزایش غلظت طلا در فاز آبی و کاهش کرویزین سبب کاهش محسوس در کشش بین سطحی دو فاز، ریزتر شدن قطرات و افزایش میزان استخراج طلا می‌شود.

### 6- قدردانی و تشکر

در اینجا لازم می‌دانیم از دانشگاه تربیت مدرس و کلیه همکاران آزمایشگاهی، خانم مهندس پریسا ظاهری و آقای مهندس مهدی امیری پریان و به ویژه مسئول محترم آزمایشگاه فراوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس که در انجام آنالیز نمونه‌ها نهایت همکاری را داشته‌اند تشکر و قدردانی نماییم.



شکل 12: تأثیر غلظت DBC در فاز پراکنده بر قطر قطرات.



شکل 13: تأثیر غلظت DBC بر استخراج طلا. غلظت طلا: 100ppm، دما: 25 درجه سانتی گراد، زمان: 5min، دبی حجمی فاز آلی: 20ml/min، دبی حجمی فاز آبی: 50ml/min.



مراجع

- [11] Ali, A.M.I.; 2007;" *Recovery of thorium (IV) from leached monazite solutions using counter-current extraction*", International Journal of Mineral Processing, pp. 217-223.
- [12] Pereira, D.D.; 2007; "*Recovery of zinc sulphate from industrial effluents by liquid-liquid extraction using D2EHPA (di-2-ethylhexyl phosphoric acid)*", Separation and Purification Technology, pp.89-96.
- [13] Brits,J.H.; 2007;" *Palladium stripping rates in PGM refining*", Hydrometallurgy, Vol. 89, pp. 253-259.
- [14] Tanaka, M. ;2008; "*Solvent extraction recovery of nickel from spent electroless nickel plating baths by a mixer-settler extractor*", Separation and Purification Technology, Vol. 62, No. 1.
- [15] Short O.A., Wearer, R.V ;1974; "*Gold powder*", US patent, No. 3811906.
- [16] Subramanian K.N.; 1980; "*Process for Recovery of Metal Values from Anode Slimes*", US patent No.4229270.
- [17] Reynolds, G F; Baranyai, S G; Moore, L O.; 1981; "*Gold Recovery by Reduction of Solvent-Extracted Gold (III) Chloride Complex - a Kinetic Study*", Precious Metals; Toronto; Canada; pp. 93-100.
- [18] Stanley, R.W., Harris, G.B.;1987; "*Process for recovering of gold from a precious metal bearing sludge concentrated*", US patent,4670052.
- [19] Hoffman J.E ;1989; "*Advances in Extractive Metallurgy of some rare and Precious Metals*", Mineral Industry International, Bulletin of the Institution of Mining&Metallurgy, No 986.
- [20] Lio T.,Ohkubo O.;1983; "*Method of Recovering Gold from Anode Slimes*", US patent, 4389248.
- [21] Deschenes, G.,Ritcey G.M.;1990; "*Recovering of gold from aqueous solution*", US patent,4913730.
- [22] Hill,J.M; Lear, T.A. ; 2001; "*Recovery of Gold from Electronic Scrab*", J.chemical education.
- [23] Japanese Unexamined Patent Application ; 2001; First Publication, No.sho57-79135.
- [24] Japanese Unexamined Patent Application ;2001; First Publication, No. 316735.
- [25] Japanese Patent No 3,087,758, 2001.
- [26] Japanese Unexamined Patent Application, ;2001; Second Publication, No. hei2-97626,.
- [1] Pratt, H.R.C.; Hanson, C.; 1983;"*selection, pilot testing and scale-up of commercial extractors, handbook of solvent extraction*", Wiley interscience, New York , Chap.16, PP. 476-477.
- [2] Williams, J.A., Lowes, L., Tanner, C. ;1958; "*The Design of a Simple Mixer Settler- A Method of Design by Calculation Giving Automatic Interface Control*", Trans. Instn. Chem. Engrs., pp.36.
- [3] Brown, A. E. P. ;1978; "*Separation of zirconium from hafnium in nitric acid solutions by solvent extraction using dibutyl butylphosphonate Part 2. Mixer settler-runs*", Hydrometallurgy, pp. 275-282.
- [4].Muhl. P.;1980; "*The application of liquid-liquid extraction for the separation of iron during the production of alumina*" , Hydrometallurgy, pp.161-178.
- [5] Zhou.L;1987; "*Investigation of the extraction kinetics of cobalt and nickel and the optimization of operation parameters in a mixer-settler for the extraction of cobalt*",Hydrometallurgy,Vol. 18, Issue 2,pp. 225-241.
- [6] Howell- W. H.;1988; "*Bench-scale mixer-settler study of the extraction and stripping of uranium from solution*", Hydrometallurgy,Vol 30,pp. 11-30.
- [7] Dalton R. F.;1992;"*ACORGA ZNX50—a new selective reagent for the solvent extraction of zinc from chloride leach solutions*", Hydrometallurgy,Vol 30, pp.385-400.
- [8] Thakur- N. V.; 1998; "*Separation of Co, Ni and Cu by solvent extraction using di-(2-ethylhexyl) phosphonic acid, PC 88A*", Hydrometallurgy,Vol.48, pp. 277-289.
- [9] Morais,C.A.;2004; "*Process development for the recovery of high-grade lanthanum by solvent extraction*", Hydrometallurgy, Vol. 73, pp.237-244.
- [10] Gotfryd.L;2006; "*The selective recovery of cadmium(II) from sulfate solutions by a counter-current extraction–stripping process using a mixture of di isopropylsalicylic acid and Cyanex 471X*", Hydrometallurgy,Vol.81, 226-233.

- [37] بهمنیار، حسین، موسویان، محمد علی، قنادی مراغه، محمد، ابوالقاسمی، حسین، سائلی، محمد علی؛ (1379)؛ "اثر شرایط عملیاتی بر روی راندمان و ضریب کلی حجمی انتقال جرم در دستگاه استخراج کننده میکسر ستلر"، نشریه دانشکده فنی، جلد 34، شماره 4، ص 63 تا 78.
- [38] Ruiz, M.C., Lermenda, P., Padilla, R.; 2002; "Drop size distribution in a batch mixer under breakage conditions", Hydrometallurgy 63, pp. 65-74,
- [39] Quadros, P. A., Baptista. C. M. S. G. ;2003; "Effective interfacial area in agitated liquid-liquid continuous reactors", Chemical Engineering Science 58, pp. 3935 - 3945,
- [40] Desnoyer, C., Masbernat, O. , Gourdon C. ;2003; "Experimental study of drop size distributions at high phase ratio in liquid-liquid dispersions", Chem. Eng. Sci. 58, pp.1353-1363.
- [41] Doulah, M.S.; 1975; "An effect of hold-up on drop sizes in liquid-liquid dispersions", Ind. Eng. Chem. Fundam. 14, pp.137-138.
- [42] ظاهری پریسا؛ (1388)؛ "تأثیر سورفکتنت بر روی توزیع قطر قطرات در دستگاه میکسر ستلر" پایان نامه؛ کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه تهران.
- [43] Reeve, R.N., Godfrey, I.C. ;2002; "phase inversion during liquid-liquid extraction mixing in continuous flow, pump- mix, agitation tank", Chemical Engineering Research and Design, Vol. 80, Issue 8, pp. 864-871.
- [27] Kolekar, S.S and Anuse, M.A.; 2001; "Rapid Solvent Extraction of Gold(III) with High Molecular Weight Amin from Organic Acid Solution", Analytical Chemistry laboratory, Shivaji University, India.
- [28] Sanchez-loredo, M.G; Robledo-Cabrera ,A; Grote,M; ;2002; "Preparation of Gold Powders by means of Redox-active Extractive Systems", J.Materials Chemistry and Physics, pp. 279-284.
- [29] Pobby,k.A and Haddad.R.;2004; "Improved Kinetics-based Gold Cyanide Extraction with Mixture of LIX79+TOPO Utilizing Hollow Fiber Membrane Contactors", Chemical Engineering journal, Vol.100, pp.11-22.
- [30] Laatikainen.M, Paatero .E.;2005; "Gold Recovery from Chloride Solution with XRD-7, Competitive Adsorption of Fe and Te" , J.Hydrometallurgy, Vol.79, pp. 154-171.
- [31] Ping, Z.;2006; "Kinetics of stripping of gold loaded in DBC organic phase by sodium sulfite", Rare Metals, Vol 25, pp 1-6.
- [32] Ah, C.S.;2006;"Gold nano particles and method of synthesizing the same", US patent 2006/0021468A1.
- [33] Okada,S. ;2009; "Method for separation platinum group elements", US patent,7479262.
- [34] Byoung Hi Jung, Yi Yong Park, Jeon Woong An , Seong Jun Kim, Tam Tran, Myong Jun Kim;2009; "Processing of high purity gold from scraps using diethylene glycol di-N-butyl ether(dibutyl carbitol)", Hydrometallurgy 95,pp. 262-266.
- [35] Nienow A.W.;2004; "Break-up, coalescence and catastrophic phase inversion in turbulent contactors", Advances in Colloid and Interface Science 108 -109 , pp.95-103.
- [36] Huminl, L.; 2000; "Science and Engineering of Droplet - Fundamentals and Applications", William Andrew Publishing/Noyes.