



دانشگاه ایستادن و بلوچستان  
تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد شیمی کاربردی

عنوان:

# بررسی تشکیل لجن شناور و ارائه روشی برای حذف آن، از الکترولیت پالایشگاه مس سرچشمه

اداره اطلاعات مرکز علمی بزرگ  
تهران

اساتید راهنما:

دکتر عبدالرضا صمیمی

دکتر علی ابراهیمی

۱۳۸۸ / ۲ / ۱۳

تحقیق و نگارش:

حسن عنایتی

(این پایان نامه با حمایت مالی مجتمع مس سرچشمه انجام شده است)

تابستان ۱۳۸۷

۱۱۱۷۱۴

## بسمه تعالی

این پایان نامه با عنوان "بررسی تشکیل لجن شناور و ارائه روشی برای حذف آن، در الکترولیت پالایشگاه مس سرچشمه" قسمتی از برنامه آموزشی دوره کارشناسی ارشد شیمی کاربردی توسط دانشجو حسن عنایتی تحت راهنمایی اساتید پایان نامه دکتر عبدالرضا صمیمی و دکتر علی ابراهیمی تهیه شده است. استفاده از مطالب آن به منظور اهداف آموزشی با ذکر مرجع و اطلاع کتبی به حوزه تحصیلات تکمیلی دانشگاه سیستان و بلوچستان مجاز می باشد.

حسن عنایتی



این پایان نامه ۸ واحد درسی شناخته می شود و در تاریخ ۱۳۸۷/۶/۲۶ توسط هیئت داوران بررسی و درجه عالی به آن تعلق گرفت.

تاریخ	امضاء	نام و نام خانوادگی	
۱۳۸۷/۶/۲۶		عبدالرضا صمیمی	استاد راهنما:
۱۳۸۷/۶/۲۶		علی ابراهیمی	استاد راهنما:
۱۳۸۷/۶/۲۶		علی اکبر میرزایی	داور ۱:
۱۳۸۷/۶/۲۶		مصطفی حبیبی خراسانی	داور ۲:
۱۳۸۷/۶/۲۶		حمیدرضا شاطرین	نماینده تحصیلات تکمیلی:

۱۳۸۸ / ۲ / ۱-۱

اطلاعات مذکور صحیح است  
تسلیت برادر گرامی



دانشگاه ایستادن و بلوچستان

### تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب حسن عنایتی تأیید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آن استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان نامه پیش از این برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه سیستان و بلوچستان می باشد.

حسن عنایتی  
امضاء

تقدیم به:

پدر دلسوز و مادر مهربانم

پدر و مادری که دعای خیرشان بدرقه‌ی راهم و دست نوازشگرشان تسلای  
دل‌م می باشد. آنانکه وجودم باریست بر دوششان و وجودشان باریست بر دوشم.

## سپاسگزاری

اینجانب از اساتید بزرگوارم، آقایان دکتر عبدالرضا صمیمی و دکتر علی ابراهیمی تشکر و قدر دانی نموده و بخاطر زحمات بی دریغشان سپاسگزاری می‌نمایم. همچنین از جناب آقای مهندس قاسمی، مدیریت محترم امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه، مهندس آتش دهقان، ریاست محترم واحد هیدرومتالورژی و مهندس دانش پژوه سرپرست محترم واحد هیدرومتالورژی و مشاور صنعتی این طرح تشکر می‌کنم. از دوست عزیزم آقای آزاد و آقای نادرپور بخاطر همکاری‌های صمیمانه شان تشکر می‌نمایم.

## چکیده:

در صنعت مس برای بدست آوردن محصولی با خلوص بالا، مس بدست آمده از کوره‌ی ذوب را با روش پالایش الکتریکی مس خالص سازی می‌کنند. در این روش ناخالصی‌های موجود در مس (آندی) وارد الکترولیت شده و در اثر بالارفتن غلظت عناصر بویژه آنتیموان و بیسموت، لجن شناور تشکیل شده که مشکلاتی از قبیل: غیر فعال شدن آند، آلودگی کاتد، ایجاد نودول، کاهش بازده انرژی و... را بوجود می‌آورد. در این طرح تحقیقاتی ابتدا در مورد شرایط تشکیل لجن شناور و ساختار آن تحقیقاتی انجام شده و با توجه به اینکه عامل اصلی تشکیل لجن شناور، آنتیموان می‌باشد، رزین‌های تعویض یونی Eporous MX-2 و Duolite C467 برای حذف گزینشی آنتیموان مورد آزمایش قرار گرفته است. در این آزمایشات تاثیر پارامترهای مهم در فرآیند تعویض یونی مانند: زمان، دما، BV و... بررسی شده‌اند. آزمایشات در دو بستر ثابت و شناور انجام شده است. رزین‌های مذکور نسبت به حذف آنتیموان از الکترولیت بطور گزینشی عمل کرده و مناسب می‌باشند. کلیه‌ی آزمایشات مربوط به آنالیز نمونه‌های مایع توسط روش‌های AAS و ICP انجام شده است.

کلمات کلیدی: آنتیموان - لجن شناور - پالایش الکتریکی - رزین تعویض یونی

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه.....	۱
فصل اول مروری بر تحقیقات گذشته.....	۵
۱-۱- مقدمه.....	۶
۲-۱- ناخالصی های موجود در الکترولیت.....	۶
۱-۲-۱- ناخالصی های الکتروپوزیتیو نسبت به مس.....	۷
۲-۲-۱- ناخالصی های الکترونگاتیو نسبت به مس.....	۷
۳-۱- لجن شناور.....	۹
۱-۳-۱- تعریف.....	۹
۲-۳-۱- ترکیبات تشکیل دهنده.....	۹
۳-۳-۱- مکانیسم تشکیل.....	۹
۴-۳-۱- عوامل موثر بر فرآیند تشکیل.....	۱۰
۱-۴-۳-۱- غلظت عناصر $As$ ، $Sb$ و $Bi$ در الکترولیت.....	۱۰
۲-۴-۳-۱- نسبت $As$ به $Sb$ و $Bi$ .....	۱۰
۳-۴-۳-۱- اکسیژن.....	۱۰
۴-۴-۳-۱- دمای الکترولیت.....	۱۰
۵-۴-۳-۱- چگالی جریان.....	۱۱
۶-۴-۳-۱- سرب.....	۱۱
۵-۳-۱- معایب لجن شناور.....	۱۱
۶-۳-۱- روش های حذف یا کاهش لجن شناور.....	۱۲
۱-۶-۳-۱- ترکیبات استانیک اسید و استرانسیم، باریم کربنات.....	۱۳
۲-۶-۳-۱- زئولیت.....	۱۳

- ۱۳..... ذغال فعال ۳-۶-۳-۱
- ۱۴..... افزودن سرب ۴-۶-۳-۱
- ۱۴..... افزودن آرسنیک ۵-۶-۳-۱
- ۱۵..... گوگرد دی اکسید ۶-۶-۳-۱
- ۱۵..... جاذب های سنتزی ۷-۶-۳-۱
- ۱۷..... حلال های استخراج کننده ۸-۶-۳-۱
- ۱۹..... رزین های تعویض یونی ۹-۶-۳-۱
- ۲۴-۱-۴-۱ رزین های تبادل یونی.....
- ۲۴..... ۱-۴-۱- شیمی رزین ها
- ۲۴..... ۲-۴-۱- انواع رزین ها
- ۲۵..... ۳-۴-۱- تقسیم بندی رزین ها
- ۲۵..... ۱-۳-۴-۱- رزین های کاتیونی قوی
- ۲۵..... ۲-۳-۴-۱- رزین های کاتیونی ضعیف
- ۲۶..... ۳-۳-۴-۱- رزین های آنیونی قوی
- ۲۶..... ۴-۳-۴-۱- رزین های آنیونی ضعیف
- ۲۶..... ۴-۴-۱- مقایسه رزین ها
- ۲۶..... ۵-۴-۱- مراحل تعویض یونی
- ۲۷..... ۱-۵-۴-۱- جذب
- ۲۷..... ۲-۵-۴-۱- بازیابی
- ۲۷..... ۶-۴-۱- تبادل یون در رزین ها
- ۲۹..... ۷-۴-۱- ضریب توزیع و گزینش پذیری
- ۳۱..... ۸-۴-۱- سرعت جذب
- ۳۲..... ۹-۴-۱- ظرفیت رزین
- ۳۲..... ۱۰-۴-۱- احیاء رزین
- ۳۳..... ۱۱-۴-۱- آلودگی رزین



۳۳	۱-۴-۱۲- دستگاه های تعویض یونی
۳۳	۱-۴-۱۳- بستر رزین
۳۴	۱-۴-۱۴- خصوصیات رزین
۳۴	۱-۴-۱۵- مزایای تبادل یونی
۳۴	۱-۴-۱۶- کاربرد رزین ها
۳۵	۱-۵- ساختار رزین های مورد استفاده در این پروژه
۳۶	۱-۶- هدف این تحقیق
۳۸	فصل دوم مواد و روش تحقیق
۳۹	۱-۲- مقدمه
۳۹	۲-۲- مواد و تجهیزات مورد نیاز
۳۹	۲-۲-۱- مواد مورد نیاز
۴۰	۲-۲-۲- دستگاه ها و تجهیزات مورد استفاده
۴۱	۲-۳- روش انجام آزمایشات
۴۱	۲-۳-۱- آزمایشات تشکیل لجن شناور
۴۱	۲-۳-۱-۱- بررسی عوامل مهم در تشکیل لجن شناور
۴۲	۲-۳-۱-۲- ساختار لجن شناور
۴۲	۲-۳-۲- آزمایشات حذف لجن شناور
۴۲	۲-۳-۲-۱- آزمایشات ظروف اختلاط
۴۳	۲-۳-۲-۱- جذب یون ها روی رزین
۴۴	۲-۳-۲-۱-۱- بررسی اثر زمان
۴۴	۲-۳-۲-۱-۲- اثر دما
۴۴	۲-۳-۲-۱-۳- تاثیر نسبت حجم الکترولیت به حجم رزین
۴۵	۲-۳-۲-۱-۴- تاثیر سرعت هم زدن رزین و الکترولیت
۴۵	۲-۳-۲-۲- واجذب یون ها یا احیاء رزین
۴۶	۲-۳-۲-۱-۲- تاثیر غلظت هیدروکلریدریک اسید

- ۴۶..... ۲-۳-۲-۱-۲-۲- اثر زمان
- ۴۶..... ۲-۳-۲-۱-۲-۳- تاثیر دما
- ۴۶..... ۲-۳-۲-۱-۲-۴- تاثیر نسبت حجم اسید به رزین
- ۴۷..... ۲-۳-۲-۲- آزمایشات بستر ثابت (ستونی)
- ۴۸..... ۲-۳-۲-۱- مرحله ی جذب
- ۴۸..... ۲-۳-۲-۱- ارتفاع ستون رزین
- ۴۸..... ۲-۳-۲-۱- بررسی نسبت ارتفاع به قطر (h/d)
- ۴۹..... ۲-۳-۲-۱-۳- نسبت حجم الکترولیت به رزین (BV)
- ۴۹..... ۲-۳-۲-۱-۴- تاثیر BV/hr
- ۴۹..... ۲-۳-۲-۱-۵- اثر دما
- ۵۰..... ۲-۳-۲-۲- مرحله ی احیاء (واجذب)
- ۵۱..... ۲-۳-۳- سایر آزمایشات
- ۵۱..... ۲-۳-۱- حداکثر جذب Sb روی رزین
- ۵۱..... ۲-۳-۲- حداکثر حذف Sb از الکترولیت
- ۵۱..... ۲-۳-۳- آزمایشات رزین D402
- ۵۲..... ۲-۳-۴- ظرفیت رزین
- ۵۲..... ۲-۳-۵- کاهش نخستین
- ۵۲..... ۲-۳-۶- شستشوی رزین
- ۵۳..... ۲-۴- ساختن محلول ها
- ۵۳..... ۲-۵- اندازه گیری عناصر
- ۵۴..... فصل سوم بحث و بررسی
- ۵۵..... ۳-۱- نتایج آزمایشات تشکیل لجن شناور
- ۵۷..... ۳-۲- نتایج ساختار لجن شناور و سیستم های تبلور آن
- ۶۱..... ۳-۳- نتایج آزمایشات حذف لجن شناور
- ۶۱..... ۳-۱- آزمایشات مرحله ی جذب ظروف اختلاط

۶۱.....	۳-۱-۱-۱- بررسی اثر زمان
۶۴.....	۳-۱-۲- اثر دما
۶۷.....	۳-۱-۳- تاثیر نسبت حجم الکتروولیت به حجم رزین
۷۱.....	۳-۱-۴- تاثیر سرعت هم زدن
۷۱.....	۳-۲-۱- واجذب یون ها یا احیاء رزین در ظروف اختلاط
۷۱.....	۳-۲-۱- تاثیر غلظت هیدروکلریدریک اسید
۷۲.....	۳-۲-۲- اثر زمان
۷۳.....	۳-۲-۳- تاثیر دما
۷۳.....	۳-۲-۴- تاثیر نسبت حجم اسید به رزین
۷۴.....	۳-۳-۱- آزمایشات مرحله ی جذب بستر ثابت (ستونی)
۷۴.....	۳-۳-۱- ارتفاع ستون رزین
۷۶.....	۳-۳-۲- بررسی نسبت ارتفاع به قطر (h/d)
۷۸.....	۳-۳-۳- تاثیر BV/hr
۷۹.....	۳-۳-۴- اثر دما
۸۰.....	۳-۳-۴- مرحله ی احیاء (واجذب)
۸۱.....	۳-۴-۱- حداکثر جذب آنتیموان روی رزین
۸۱.....	۳-۵-۱- حداکثر حذف آنتیموان از الکتروولیت
۸۱.....	۳-۶-۱- آزمایشات رزین D402
۸۲.....	۳-۷-۱- ظرفیت رزین
۸۲.....	۳-۸-۱- کاهش نخستین
۸۲.....	۳-۹-۱- تعیین مش رزین
۸۲.....	۳-۱۰-۱- مکانیسم و گزینش پذیری
۸۳.....	۳-۱۱-۱- محاسبات و خطاها
۸۴.....	فصل چهارم نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۵.....	۴-۱- تشکیل لجن شناور

۸۵.....	۲-۴- ساختار لجن شناور.....
۸۵.....	۳-۴- شرایط آزمایشات.....
۸۶.....	۴-۴- رزین های مورد استفاده.....
۸۶.....	۵-۴- اثر کاهش نخستین.....
۸۶.....	۶-۴- حذف عناصر.....
۸۷.....	۷-۴- تاثیر شرایط بر جذب و واجذب عناصر.....
۸۷.....	۸-۴- پیشنهادات.....
۸۸.....	مراجع.....

## فهرست جداول

صفحه	جدول
۲۱.....	جدول ۱-۱ اثر کاهش نخستین بر میزان جذب عناصر .....
۲۲.....	جدول ۱-۲- حداکثر آنتیموان و بیسموت جذب شده روی رزین های مذکور .....
۲۳.....	جدول ۱-۳- مقدار جذب عناصر از الکترولیت توسط رزین های مختلف .....
۲۵.....	جدول ۱-۴- انواع رزین ها .....
۵۶.....	جدول ۳-۱- اثر غلظت آنتیموان بر تشکیل لجن شناور .....
۵۶.....	جدول ۳-۲- اثر دما بر میزان تشکیل لجن شناور .....
۵۷.....	جدول ۳-۳- اثر سطح تماس الکترولیت با هوا بر میزان تشکیل لجن شناور .....

## فهرست شکل ها

شکل	صفحه
شکل ۱-۱- ایجاد نودول در لبه بالایی کاتد در اثر تشکیل لجن شناور	۱۲
شکل ۲-۱- ایجاد نودول در لبه کناری کاتد در اثر تشکیل لجن شناور	۱۲
شکل ۱-۲- دستگاه اینکوباتور شیکر	۴۳
شکل ۲-۲- نمایی از عمل جذب توسط رزین	۴۷
شکل ۳-۲- نمایی از احیاء رزین	۵۰
شکل ۱-۳- لجن شناور تشکیل شده در سطح الکترولیت	۵۵
شکل ۲-۳- لجن شناور معلق در الکترولیت با سطح تماس کم با هوا	۵۷
شکل ۳-۳- لجن شناور معلق در الکترولیت با سطح تماس زیاد با هوا	۵۸
شکل ۴-۳- لجن شناور جمع آوری شده از سایر آزمایشات	۵۸
شکل ۵-۳- رسوبات لجن شناور	۵۹
شکل ۶-۳- لجن آندی حاصل از ناخالصی های موجود در مس آندی	۵۹
شکل ۷-۳- رسوبات سوزنی شکل	۵۹
شکل ۸-۳- محل تشکیل رسوبات سوزنی شکل	۶۰
شکل ۹-۳- ساختار آمورف لجن شناور	۶۰

## فهرست نمودارها

نمودار

صفحه

- نمودار ۱-۳- در صد حذف عناصر توسط رزین Duolite C-467 بر حسب زمان در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۱
- نمودار ۲-۳- در صد حذف عناصر بر حسب زمان توسط رزین Eporous MX-2 در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۲
- نمودار ۳-۳- ضریب توزیع عناصر بر حسب زمان در رزین Duolite C-467 در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۲
- نمودار ۴-۳- ضریب توزیع عناصر بر حسب زمان روی رزین Eporous MX-2 در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۳
- نمودار ۵-۳- گزینش پذیری Sb نسبت به Fe, As و Bi برای رزین Duolite C-467 در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۳
- نمودار ۶-۳- گزینش پذیری Sb روی رزین Eporous MX-2 نسبت به Fe, As و Bi در دمای  $30^{\circ}\text{C}$  ..... ۶۴
- نمودار ۷-۳- در صد حذف عناصر بر حسب دما توسط رزین Duolite C-467 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۴
- نمودار ۸-۳- در صد حذف عناصر بر حسب دما توسط رزین Eporous MX-2 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۵
- نمودار ۹-۳- تغییرات ضریب توزیع عناصر در برابر دما برای رزین Duolite C-467 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۵
- نمودار ۱۰-۳- تغییرات ضریب توزیع عناصر در برابر دما برای رزین Eporous MX-2 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۶
- نمودار ۱۱-۳- تاثیرات دما بر گزینش پذیری عناصر برای رزین Duolite C-467 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۶
- نمودار ۱۲-۳- تاثیرات دما بر گزینش پذیری عناصر برای رزین Eporous MX-2 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۷
- نمودار ۱۳-۳- در صد حذف عناصر در برابر BV برای رزین Duolite C-467 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۸
- نمودار ۱۴-۳- در صد حذف عناصر در برابر BV برای رزین Eporous MX-2 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۸
- نمودار ۱۵-۳- ضریب توزیع عناصر در برابر BV روی رزین Duolite C-467 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۹
- نمودار ۱۶-۳- ضریب توزیع عناصر در برابر BV روی رزین Eporous MX-2 در ۳۰ دقیقه ..... ۶۹
- نمودار ۱۷-۳- تاثیر تغییرات BV بر گزینش پذیری عناصر روی رزین Duolite C-467 در ۳۰ دقیقه ..... ۷۰
- نمودار ۱۸-۳- تاثیر تغییرات BV بر گزینش پذیری عناصر روی رزین Eporous MX-2 در ۳۰ دقیقه ..... ۷۰
- نمودار ۱۹-۳- تاثیر سرعت تکان دادن بر درصد حذف عناصر از الکترولیت ..... ۷۱
- نمودار ۲۰-۳- درصد واجذب عناصر از رزین در برابر غلظت هیدروکلریدریک اسید ..... ۷۲

- نمودار ۳-۲۱- درصد واجذب عناصر از رزین در برابر زمان..... ۷۲
- نمودار ۳-۲۲- اثر دما بر درصد واجذب عناصر از رزین..... ۷۳
- نمودار ۳-۲۳- تاثیر دما بر درصد واجذب عناصر از رزین..... ۷۴
- نمودار ۳-۲۴- درصد حذف عناصر در برابر ارتفاع ستون رزین..... ۷۵
- نمودار ۳-۲۵- تغییرات ضریب توزیع عناصر در برابر ارتفاع ستون رزین..... ۷۶
- نمودار ۳-۲۶- گزینش پذیری آنتیموان نسبت به عناصر در ستون هایی با ارتفاع متفاوت..... ۷۶
- نمودار ۳-۲۷- تاثیر نسبت ارتفاع به قطر ستون های رزین بر درصد حذف عناصر از الکترولیت..... ۷۷
- نمودار ۳-۲۸- تغییرات ضریب توزیع عناصر با  $h/d$ ..... ۷۷
- نمودار ۳-۲۹- گزینش پذیری آنتیموان به آهن و آرسنیک در برابر  $h/d$  ستون..... ۷۸
- نمودار ۳-۳۰- تاثیر دبی الکترولیت بر درصد حذف عناصر از الکترولیت..... ۷۸
- نمودار ۳-۳۱- تغییرات ضریب توزیع عناصر در برابر  $BV/hr$ ..... ۷۹
- نمودار ۳-۳۲- گزینش پذیری آنتیموان به آهن و آرسنیک در برابر  $BV/hr$ ..... ۷۹
- نمودار ۳-۳۳- درصد حذف عناصر از الکترولیت در برابر دما..... ۸۰
- نمودار ۳-۳۴- میزان واجذب عناصر از رزین با گذشت زمان در بستر ثابت..... ۸۱



فهرست علامت ها

صفحه	علامت
۲۷.....	Z (ظرفیت یون).....
۲۸.....	$a'$ (فعالیت مولی یون در داخل رزین).....
۲۸.....	$a$ (فعالیت مولی یون در داخل محلول).....
۲۸.....	C (غلظت مولی یون در محلول).....
۲۸.....	q (غلظت مولی یون در رزین).....
۲۸.....	$\gamma$ (ضرایب فعالیت یون در محلول).....
۲۸.....	$\gamma'$ (ضرایب فعالیت یون در رزین).....
۲۸.....	$q_m$ (غلظت مولاری در داخل رزین).....
۲۸.....	$C_m$ (غلظت مولاری در داخل محلول).....
۲۸.....	Q (ظرفیت رزین).....
۲۸.....	$C_o$ (نرمالپته‌ی محلول).....
۲۹.....	Y (جزء آکی والانی در داخل رزین).....
۲۹.....	X (جزء آکی والانی در داخل رزین).....
۲۹.....	$d$ (ضریب توزیع یون).....
۳۰.....	$\alpha$ (ضریب گزینش یا فاکتور جدایش).....
۳۱.....	X (مقدار مایع وارد شده به ازای هر گرم رزین).....
۳۱.....	d (چگالی مایع).....
۳۱.....	V (حجم حفره رزین بر حسب سانتیمتر مکعب).....
۳۲.....	$V$ (حجم رزین بر حسب متر مکعب).....
۳۲.....	U (دبی آب ورودی بر حسب متر مکعب بر ساعت).....

۳۲.....  $L$  (غلظت یون هایی که باید حذف شوند)

۳۲.....  $T$  (طول زمان سرویس دهی بر حسب ساعت)

هر چند که متالورژی حرارتی، روش متداول استخراج فلزات می‌باشد، لکن هیدرومتالورژی نیز به عنوان یک روش دیگر برای استخراج فلزات به ویژه فلزات غیر آهنی بکار می‌رود. هیدرومتالورژی در مقایسه با متالورژی حرارتی سازگاری بیشتری با محیط زیست و سایر مشکلات مربوط به جوامع بشری داشته، از این رو مورد توجه قرار گرفته، و از رونق بیشتری برخوردار است. کاربرد هیدرومتالورژی و تکنولوژی‌های جدید مانند: تعویض یونی، حلال‌های انتخابی، حل کردن بیولوژیکی، رسوب دادن و بازیابی فلز از محلول توسط گازها به خصوص هیدروژن تحت فشار و بالاخره الکترولیز باعث رونق بیشتر این روش گردیده است. امروزه از این روش می‌توان برای تولید همه ی فلزات غیر آهنی استفاده کرد ولی به علل مختلف کاربرد این روش منحصر به چند فلز می‌باشد. فلزاتی از قبیل طلا، نقره، آلومینیوم و اورانیوم فقط از این طریق قابل استحصال می‌باشند. در مورد فلزات مس و روی سهم هیدرومتالورژی بترتیب ۲۵ و ۸۰ درصد کل تولید این دو فلز است. بخاطر کاهش ذخایر پرعیار مس و همچنین آلودگی محیط زیست در اثر انتشار گاز  $SO_2$  و در نهایت افزایش انرژی مصرفی در استخراج مس به روش پیرومتالورژی، تولید مس به روش هیدرومتالورژی در سال‌های اخیر افزایش چشمگیری داشته است.

امروزه رزین‌های تعویض یونی و حلال‌های استخراج کننده نقش بسیار ارزنده‌ای در هیدرومتالورژی ایفا می‌کنند. یکی از کاربردهای مهم رزین‌های تعویض یونی در هیدرومتالورژی مس، حذف آهن (به دلیل مزاحمت در حل کردن مس) موجود در محلول اسید سولفوریک حاصل از لیچینگ سنگ های کم عیار می‌باشد. یکی دیگر از کاربردهای مهم رزین‌های تعویض یونی در هیدرومتالورژی مس، کاربرد آن‌ها برای حذف آنتیموان موجود در الکترولیت پالایشگاه مس می‌باشد.

ناخالصی‌های موجود در مس تولیدی از واحد ذوب (مس آندی) پس از حل شدن الکتریکی در حوضچه‌های الکترولیز پالایشگاه، وارد الکترولیت می‌شوند. دسته ای از این ناخالصی‌ها مزاحمتی در فرآیند پالایش الکتریکی مس ایجاد نکرده و پس از ورود به الکترولیت به صورت فلز و یا ترکیبات فلزی در کف حوضچه‌ی الکترولیز رسوب می‌کنند. اما دسته ای از ناخالصی‌ها پس از ورود به الکترولیت رسوب نکرده و تشکیل لجن شناور می‌دهند. چگالی لجن شناور نزدیک به چگالی الکترولیت بوده و به همین دلیل به آسانی رسوب نمی‌کند. لجن شناور دارای بافت آمورفی بوده و مهم‌ترین عناصر تشکیل دهنده‌ی آن، آنتیموان، آرسنیک، بیسموت و اکسیژن می‌باشند. هر چند

آرسنیک و بیسموت از عناصر سازنده‌ی لجن شناور می‌باشند ولی اصلی‌ترین عامل تشکیل لجن شناور، آنتیموان می‌باشد. آنتیموان به صورت سه ظرفیتی وارد الکترولیت شده و پس از ورود به الکترولیت با اکسیژن موجود در آن ترکیب شده و تولید آنتیمونیک اسید ( $\text{HSb(OH)}_6$ ) می‌کند که چگالی آن به چگالی الکترولیت نزدیک بوده و به صورت شناور باقی می‌ماند. عناصر آنتیموان، آرسنیک و بیسموت در شرایط مناسب می‌توانند روی کاتد نشسته و بر کیفیت مس تولیدی و خواص الکتریکی و مکانیکی آن اثر بگذارند. یکی دیگر از مشکلاتی که این عناصر بوجود می‌آورند غیر فعال شدن آند<sup>۱</sup> بویژه در چگالی جریان‌های بالا می‌باشد. غیر فعال شدن آند، توقف گاهگاهی در انحلال و حرکت جریان یون‌های مس است. تشکیل لجن شناور بسیار مضر بوده و منجر به آلودگی کاتد، غیر فعال شدن آند، ایجاد نودول، اتصال کوتاه و کاهش راندمان جریان و در نهایت بالا رفتن مصرف انرژی می‌شود.

برای جلوگیری از مشکلات به وجود آمده می‌بایست از تشکیل لجن شناور جلوگیری نموده و یا عوامل بوجود آورنده‌ی آن را حذف نمود. برای حذف لجن شناور و عوامل بوجود آورنده‌ی آن می‌توان از روش‌هایی مانند: رزین‌های تعویض یونی، حلال‌های استخراج‌کننده، استفاده از گاز گوگرد دی‌اکسید، افزودن آرسنیک، جاذب‌های سنتزی، زئولیت و کربن فعال استفاده کرد. با توجه به شرایط الکترولیت مانند اسیدیته‌ی بالا، تنوع عناصر موجود و غلظت بالای عناصر و شرایط مورد نظر عملیاتی مانند: راندمان بالا، محدود بودن دما، زمان انجام واکنش و مهم‌تر از همه اقتصادی بودن روش، تنها بعضی از روش‌های مذکور اقتصادی به‌نظر می‌آیند.

چندین مورد مطالعه آزمایشگاهی و نیمه صنعتی در خصوص حذف عناصر آنتیموان، آرسنیک و بیسموت از الکترولیت پالایشگاه مس، در کشورهایمانند آمریکا، ژاپن و شیلی صورت گرفته که مهم‌ترین آنها استفاده از رزین‌های تعویض یونی و حلال‌های استخراج‌کننده می‌باشد. تاکنون از چند نوع رزین تعویض‌کننده‌ی یونی سنتزی با نام‌های تجاری Duolite C-467، Eporous MX-2 و Unitika UR-3300S برای حذف آنتیموان، آرسنیک و بیسموت استفاده شده است.

مجموع مس سرچشمه در فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان قرار دارد. پالایشگاه مس سرچشمه تنها تولیدکننده‌ی مس کاتدی در ایران بوده و سالیانه بطور میانگین ۱۴۰۰۰۰ تن مس کاتدی با خلوص ۹۹/۹۹ تولید می‌کند. در این پالایشگاه ۹۶۰ حوضچه‌ی الکترولیز قرار دارد حجم کل الکترولیت موجود ۳۰۰۰ متر مکعب می‌-

<sup>۱</sup> Anode Passivation