

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بسمه تعالی

### تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای مولود ناظری پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان بررسی تاثیر میکروویو بر سینتیک انحلال کانه سیلیکاته روی در تاریخ ۱۳۸۹/۱۲/۲۲ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی معدن - فرآوری موادمعدنی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر سید محمد جواد کلینی	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر محمود عبدالمی	استاد	
استاد ناظر	دکتر احمد خدادادی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی کفلو	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر احمد خدادادی	دانشیار	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه ارسال و مورد تایید است.  
امضای استاد راهنما:



### آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهش‌های علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرح‌های تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان‌نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان‌نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸/۴/۸۷ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۲۳/۴/۸۷ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۱۵/۷/۸۷ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

اینجانب..... نام خانوادگی..... دانشجوی رشته..... ورودی سال تحصیلی.....  
مقطع..... دانشکده..... متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش‌های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته‌های علمی مستخرج از پایان‌نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین‌نامه فوق‌الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می‌دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:.....  
تاریخ: ۱۳۸۹/۱۲/۲۳

### آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته فقه قضایی/فقه امامیه است که در سال

۱۳۸۹ در دانشکده فقه و حقوق دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار

خانم/جناب آقای دکتر سید محمد مجاهد ناطری، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر محمود عبد الهی

و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب مهرداد ناطری دانشجوی رشته فقه امامیه/فقه امامیه مقطع ارشد

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: مهرداد ناطری

تاریخ و امضا:  
89/12/23



دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن  
گرایش فرآوری مواد معدنی

عنوان پایان نامه

بررسی تاثیر میکروویو بر سینتیک لیچینگ کانه  
سیلیکاته روی

نام دانشجو

مولود ناظری

استاد راهنما

دکتر سید محمد جواد کلینی

استاد مشاور

دکتر محمود عبدالمهی

بهمن ۱۳۸

## چکیده

سینتیک ارجینگ قلیایی کله سیلیکته روی با تابش و بدون تابش مایکروویو، در شرایط مختلف بررسی شد. و اثر پارامترهای ابعاد ذرات، غلظت محلول هیدروکسید سدیم، دمای واکنش، نسبت جامد به مایع و زمان تابش مایکروویو بر نرخ انحلال مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج حاصله با افزایش درصد جامد، ابعاد ذرات نرخ انحلال روی کاهش و با افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم و دما، نرخ انحلال روی افزایش می یابد. نتایج نشان داد که نرخ انحلال روی در شرایط مشابه، با تابش مایکروویو به مدت ۳۰ ثانیه تا ۹۱/۴۳ درصد و بدون تابش مایکروویو تا ۷۷/۴۵ درصد افزایش می یابد. در این شرایط انرژی فعالسازی واکنشها محاسبه شده به ترتیب برابر با ۴۸/۶۶ و ۵۲/۴۵ کیلوژول بر مول دست آمد، که بیانگر واکنش با کنترل شیمیایی است. آنالیز SEM نمونه قبل و بعد از ارجینگ در هر دو حالت نشانگر مدل ذره انقباضی است.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول: مقدمه
۱	۱-۱- تاریخچه
۲	۲-۱- منابع تولید روی و کاربردها
۲	۳-۱- کانی های حاوی روی
۴	۴-۱- روش های مختلف تولید روی
۱۱	فصل دوم: مایکروویو
۱۱	۱-۲- مقدمه
۱۲	۲-۲- تئوری امواج مایکروویو
۱۴	۳-۲- حیطه های امواج الکترومغناطیسی
۱۵	۴-۲- اثرژی مایکروویو
۱۵	۵-۲- پلاکتور پزگندگی
۱۶	۶-۲- برخورد امواج با مواد در میدان الکترومغناطیسی
۱۶	۷-۲- مکانیزم های تولید گرما در گرمایش مایکروویو
۱۸	۱-۷-۲- هدایت یونی
۱۹	۲-۷-۲- چرخش دو قطبی
۲۰	۸-۲- عوامل موثر در گرمایش مایکروویو
۲۲	۱-۸-۲- میزان رطوبت

صفحه	عنوان
۲۲	۲-۲-۲-۲-دما
۲۳	۲-۲-۲-۳-انحازه مواد
۲۳	۲-۲-۲-۴-رسانایی گرمایی
۲۳	۲-۲-۲-۹-دستگاهها
۲۳	۲-۲-۲-۱۰-اجزاء اصلی دستگاه مایکروویو
۲۶	۲-۱-۱-۱-تاثیر متغیرها بر عملکرد امواج مایکروویو در فرآیندهای آماده سازی
۲۶	۲-۱-۱-۱-۱-قدرت امواج مایکروویو و زمان در معرض قرار گیری
۲۷	۲-۱-۱-۱-۲-طشار و دما
۲۷	۲-۱-۱-۱-۳-خوش حلال
۲۸	۲-۱-۱-۱-۴-اثر ویسکوزیته و ابعاد نمونه
۲۹	۲-۱-۱-۲-کاربرد امواج مایکروویو
۲۹	۲-۱-۱-۱-۱-کاربرد امواج در انحلال
۲۹	۲-۱-۱-۲-کاربرد مایکروویو در استخراج
۳۰	۲-۱-۱-۳-کاربرد امواج مایکروویو در هیدرومتالورژی
۳۰	۲-۱-۱-۴-کاربرد صنعتی مایکروویو
۳۰	۲-۱-۱-۵-کاربرد مایکروویو در تقطیر
۳۱	۲-۱-۱-۶-کاربرد امواج مایکروویو در تعیین مستقیم انواع سولفور در زغال
۳۲	۲-۱-۲-مروری بر تحقیقات گذشته
۵۸	فصل سوم: لیچینگ کانه های اکسیده روی



صفحه	عنوان
۵۸	۱-۳- مقدمه
۶۰	۲-۳- لیچینگ فلزیایی کانه های کوبانه و سیلیکاته
۶۰	۱-۲-۳- تاثیر غلظت عامل لیچینگ
۶۶	۲-۲-۳- تاثیر دما
۶۹	۲-۲-۳- تاثیر ابعاد ذرات
۷۳	۴-۲-۳- تاثیر دور همین
۷۳	۵-۲-۳- تاثیر نسبت جامد به مایع
۷۴	۳-۳- لیچینگ لندی کانه های اکسیده روی
۷۸	۴-۳- مطالعات سینتیکی
۷۸	۱-۴-۳- سینتیک واکنشهای جامد-مایع
۸۲	۵-۳- مروری بر مدل های سینتیکی و مکانیسم لیچینگ کانه های سیلیکاته و کوبانه روی
۹۷	فصل چهارم: روش تحقیق و انجام آزمایش ها
۹۷	۱-۴- تهیه نمونه
۹۷	۲-۴- آماده سازی نمونه
۹۹	۳-۴- شناسایی نمونه
۹۹	۱-۳-۴- آنالیز شیمیایی
۱۰۰	۲-۳-۴- آنالیز XRF
۱۰۰	۳-۳-۴- آنالیز XRD
۱۰۲	۴-۳-۴- آنالیز سرعتی

صفحه	عنوان
۱۳۴	۵-۲-۲- تاثیر توان امواج مایکروویو
۱۳۶	۵-۲-۳- تاثیر ابعاد ذرات
۱۳۷	۵-۲-۴- تاثیر غلظت هیدروکسید سدیم
۱۳۲	۵-۳- سینتیک فرآیند لیچینگ
۱۳۲	۵-۳-۱- سینتیک لیچینگ بدون تابش مایکروویو
۱۳۶	۵-۳-۱-۱- تعیین مرتبه واکنش نسبت به غلظت هیدروکسید سدیم
۱۳۷	۵-۳-۱-۲- تعیین مرتبه واکنش نسبت به دانه بندی
۱۳۷	۵-۳-۱-۳- تعیین مرتبه واکنش نسبت به دانسیته پالپ
۱۳۸	۵-۳-۱-۴- مدل کلی
۱۳۸	۵-۳-۱-۵- راستی آزمایشی نتایج
۱۳۹	۵-۳-۲- سینتیک لیچینگ با تابش مایکروویو
۱۴۲	۵-۳-۲-۱- تعیین مرتبه واکنش نسبت به غلظت هیدروکسید سدیم
۱۴۳	۵-۳-۲-۲- تعیین مرتبه واکنش نسبت به دانه بندی
۱۴۳	۵-۳-۲-۳- تعیین مرتبه واکنش نسبت به دانسیته پالپ
۱۴۴	۵-۳-۲-۴- مدل کلی
۱۴۴	۵-۳-۲-۵- راستی آزمایشی نتایج
۱۴۶	فصل ششم: نتایج و پیشنهادها
۱۴۶	۶-۱- نتایج

## کلیات

### ۱-۱- تاریخچه

تاریخچه آشنایی بشر با فلز روی به قبل از سال ۱۵۰۰ میلادی بر می گردد. مشاهده پسماندهای فرآیندهای ذوب روی در هندوستان حاکی از این واقعیت است که سابقه تولید روی به روش حرارتی به قبل از سال ۱۳۰۰ میلادی بر می گردد. چینی ها در زمان امپراتوری مینگ (۱۳۶۸ تا ۱۶۴۴ میلادی) از سکه هایی از جنس روی استفاده می کردند. در کتابی که تاریخ نگارش آن مربوط به سال ۱۶۳۷ میلادی است، تولید روی به روش ذوب کنترل شده در ظرف های دربسته توسط چینی ها تشریح شده است. نخستین منبع مکتوبی که واژه Zinc در آن استفاده شده مربوط به قرن شانزدهم میلادی می باشد. ریشه لغوی این واژه هنوز بطور کامل شناخته شده نیست. احتمال می رود که ریشه این لغت مربوط به لغت آلمانی "Zinke" به معنی دندانه های شانه باشد. برخی معتقدند که ریشه این لغت به واژه فارسی "Seng" به معنی سنگ مربوط است [۲۱].

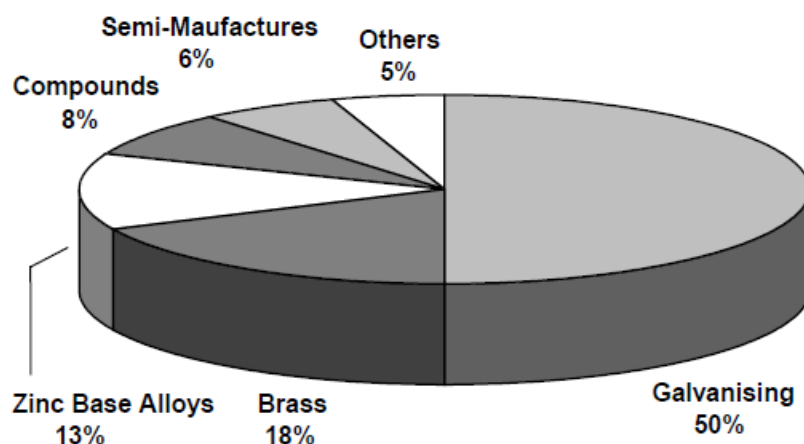
نخستین فرآیند صنعتی تولید روی به روش پیرومتالورژیکی و با استفاده از کوره های افقی توسط آلمان ها و در سال ۱۷۹۸ میلادی بکار گرفته شد. در آن زمان آلمان بزرگترین تولید کننده روی جهان محسوب می شد. استفاده از روش فلوتاسیون برای پرعیارسازی کانه های کم عیار از سال ۱۹۲۰ میلادی آغاز شد. در سال ۱۹۳۰ میلادی کمپانی نیوجرسی آمریکا با جایگزین کردن کوره های قائم به جای کوره های

سنتي افقي فرآيند توليد روي را متحول كرد. با گذشت زمان روش هاي هيدروميتالورژيكي نيز به منظور توليد روي استفاده شد بطوريكه امروزه اين روش ها بعنوان اصلي ترين روش هاي توليد روي در جهان مطرح مي باشند [۱].

### ۱-۲- منابع توليد روي و کاربردها

عيار ميانگين روي در پوسته زمين در حدود ۶۵ گرم بر تن مي باشد كه براي اساس فلز روي از نظر فراواني بيست و چهارمين عنصر موجود در پوسته زمين محسوب مي شود. در حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد از روي توليدي جهان از منابع اوليه و در حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد نيز از منابع ثانويه (نظير پسماندهاي فرآيندهاي حرارتي توليد روي، سرباره ها و ... ) تامين مي شود [۲].

امروزه فلز روي کاربردهاي فراواني در صنايع مختلف دارد. در شكل ۱-۱ درصد استفاده از روي در صنايع مختلف در سال ۱۹۹۹ نشان داده شده است. همانگونه كه مشاهده مي شود، کاربرد عمده اين فلز مربوط به صنايع گالوانيزاسيون است كه در حدود ۵۰ درصد از مصارف اين فلز را شامل مي شود [۳].



شکل ۱-۱. مصارف روی در صنایع مختلف در سال ۱۹۹۹ [۳]

### ۳-۱- کانی های حاوی روی

کانی های با اهمیت روی عبارتند از [۱]:

- بلند<sup>۱</sup> یا اسفالریت<sup>۲</sup>، ZnS، با ترکیب تئوری ۶۷/۰۹ درصد روی و ۳۲/۹۱ درصد گوگرد. این کانی به رنگ زرد روشن تا سیاه می باشد که اغلب رنگ سیاه تا قهوه ای آن به دلیل محتوای آهن آن می باشد. ساختار کریستالی آن تتراگونال بوده و دارای سختی ۳-۴ در اشل موس و وزن مخصوص ۳/۹ تا ۴/۱ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. مهمترین ناخالصی آن FeS است که اغلب با غلظت ۰/۳ تا ۲۰ درصد وجود دارد. سولفیدهای Pb، Cd، Mn و Cu نیز اغلب همراه این کانی وجود دارند. اسفالریت اغلب حاوی مقادیر جزئی ناخالصی هایی نظیر As، Sn، Bi، Co، Hg، In، Tl، Ga و Ge و تقریباً همیشه حاوی Ag و Au می باشد.

<sup>۱</sup> Blende

<sup>۲</sup> Sphalerite

- وورزیت<sup>۳</sup>، **ZnS**، دارای ساختار بلوری هگزاگونال است، که اغلب یک ساختار بلوری صدفی یا شعاعی از خود نشان می دهد. وزن مخصوص ورتزیت ۳/۹۸ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد.
- اسمیت زونیت<sup>۴</sup>،  $ZnCO_3$ ، دارای ترکیب تئوری ۵۱/۱۴ درصد روی و ۳۵/۱ درصد  $CO_2$  می باشد. مقداری از  $ZnO$  می تواند با  $CaO$ ،  $MnO$ ،  $FeO$  یا  $MgO$  جایگزین شود. از دیگر ناخالصی های موجود در این کانی می توان به  $SiO_2$ ،  $Fe_2O_3$  و  $Al_2O_3$  اشاره کرد. سختی اسمیت زونیت در اشل موس برابر است با ۵ و وزن مخصوص آن ۴/۳ تا ۴/۴۵ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. رنگ آن زرد یا قرمز تا قهوه ای و به ندرت بی رنگ است. ساختار بلوری آن تری گونال است.
- همی مورفیت<sup>۵</sup>،  $Zn_2SiO_4.H_2O$ ، دارای ترکیب تئوری ۵۴/۳ درصد روی و ۲۴/۹۴ درصد  $SiO_2$  و ۷/۴ درصد آب می باشد. رنگ آن زرد تا قهوه ای و به ندرت بی رنگ، سبز یا آبی است. دارای ساختار بلوری پیرامیدال رمبیک است. سختی آن در اشل موس ۴/۵ و وزن مخصوص آن در حدود ۳/۵ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد.
- ویلمایت<sup>۶</sup>،  $Zn_2SiO_4$ ، دارای ترکیب تئوری ۵۸/۶ درصد روی و ۲۶/۹۵ درصد  $SiO_2$  می باشد. رنگ آن می تواند سفید، زرد تا قرمز، سبز و یا به ندرت آبی باشد. ساختار کریستالی آن رمبوهدرال بوده و سختی آن در اشل موس ۵-۶ و وزن مخصوص آن ۴ تا ۴/۲ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. ویلمایت می تواند حاوی  $FeO$  و  $MnO$  به عنوان ناخالصی باشد.

<sup>3</sup> Wurzite

<sup>4</sup> Smithsonite

<sup>5</sup> Hemimorphite

<sup>6</sup> Willemite

- فرانکلینیت<sup>۷</sup> ،  $(Zn, Fe, Mn).(Fe_2, Mn_2)O_3$  ، دارای ترکیب تئوری ۲۱ درصد ZnO ، ۵۹ درصد  $Fe_2O_3$  ، ۱۱ درصد FeO و ۸ درصد  $Mn_2O_3$  بوده و گاهی دارای ناخالصی های  $SiO_2$  ،  $Al_2O_3$  و MgO می باشد. رنگ آن سیاه بوده و خاصیت مغناطیسی کمی دارد. ساختار کریستالی آن کوبیک بوده و سختی آن ۶ تا ۶/۵ و وزن مخصوص آن ۵ تا ۵/۱ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد.

#### ۱-۴- روش های مختلف تولید روی

تولید روی در جهان به دو روش انجام می شود:

الف. روش های پیرومتالورژیکی

ب. روش های هیدرومتالورژیکی

در روش های پیرومتالورژیکی اکسید روی در کوره های افقی یا قائم مطابق واکنش زیر در حضور کربن احیا می شود [۴]:



احیای اکسید روی در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد شروع شده و در دمای ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد پایان می یابد. بخارهای فلزی تولید شده در فضای بالای کوره جمع آوری و سرد شده و مجدداً اکسید می شود و در نهایت به شکل اکسید روی با عیار بالا جمع آوری می شود.

در گذشته روش های پیرومتالورژیکی روش اصلی تولید روی در جهان محسوب می شده اند. در طی چند دهه گذشته بنا بر دلایل زیست محیطی و هزینه های بالای تولید روی از طریق روش های پیرومتالورژیکی خصوصاً برای کانه های کم عیار، روش های هیدرومتالورژیکی جایگزین این روش ها شده اند

<sup>7</sup>Franklinite

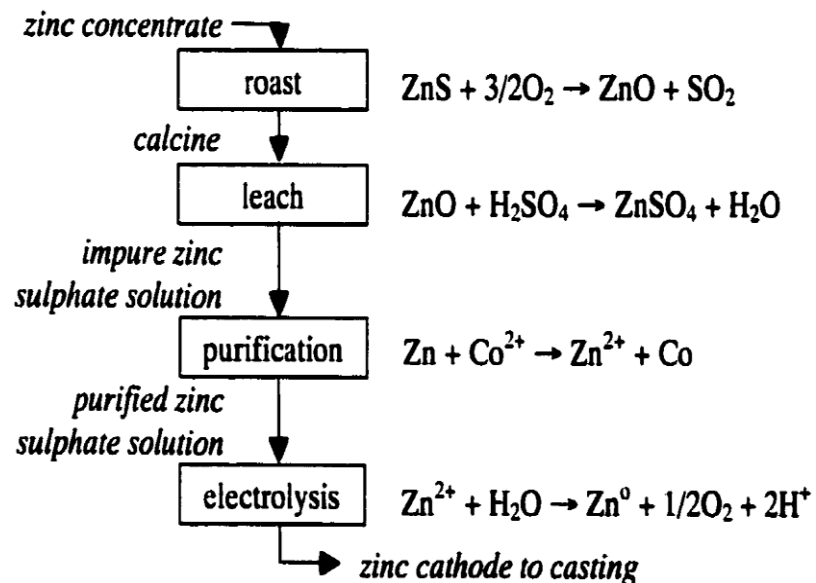
بطوریکه امروزه بیش از ۸۰ درصد از روی جهان از طریق روش های هیدرومتالورژیکی تامین می شود [۱]. مزایای روش های هیدرومتالورژیکی در قیاس با روش های پیرومتالورژیکی عبارتست از [۵]: امکان تولید شمش روی با درجه خلوص بسیار بالا، آلودگی های زیست محیطی کمتر و هزینه های پایین تر.

روش مرسوم هیدرومتالورژیکی تولید روی از کنسانتره های سولفیدی فرآیند تشویه - لیچینگ - الکترووینینگ (RLE) می باشد که در حال حاضر بیش از ۸۰ درصد از روی جهان از این طریق تامین می شود. این شیوه برای اولین بار در سال ۱۸۸۱ میلادی توسط لئون لترانژ<sup>۸</sup> فرانسوی معرفی شد [۵و۶]. در این فرآیند کنسانتره سولفیدی روی که در طی فرآیند لیچینگ مستقیم با اسید سولفوریک به راحتی حل نمی شود، با فرآیند تشویه به اکسید روی تبدیل می شود که به راحتی در محلول اسیدی قابل حل می باشد. در طی فرآیند لیچینگ اسیدی کنسانتره تشویه شده، ناخالصی هایی نظیر آهن، کبالت، کادمیوم، نیکل و ... نیز حل شده و به همراه روی وارد فاز محلول می شوند. برای تولید محصولی با درجه خلوص بالا لازم است تا ناخالصی های موجود در الکترولیت قبل از ورود به مرحله الکترووینینگ حذف شود. بدین منظور در طی چند مرحله ناخالصی های راه یافته به الکترولیت حذف شده و محصول تصفیه شده جهت تولید روی کاتدی به مرحله الکترووینینگ فرستاده می شود [۵و۶]. روش مرسوم هیدرومتالورژیکی تولید روی بطور شماتیک در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

---

<sup>8</sup> Leon Letrange





شکل ۱-۲. فلوشیت شماتیک تولید روی به روش هیدرومتالورژیکی [۶]

در حال حاضر ذخایر سولفیدی منبع اصلی تولید روی جهان محسوب می‌شوند بطوریکه در حدود ۹۰ درصد از روی تولید شده از منابع اولیه تولید روی از ذخایر سولفیدی تامین می‌شود [۷]. از آنجایی که پرعیارسازی ذخایر سولفیدی روی به روش فلوتاسیون به آسانی امکان پذیر است، تولید شمش روی از کنسانتره های سولفیدی به روش RLE بسیار اقتصادی و جذاب می‌باشد. پرعیارسازی کانه های اکسیده به روش فلوتاسیون در مقایسه با کانه های سولفیدی بسیار پرهزینه بوده و راندمان آن نیز به مراتب پایین تر است که این مساله باعث می‌شود تا تولید روی از ذخایر اکسیدی با روش مرسوم RLE بسیار پرهزینه بوده و از

جذابیت اقتصادی کمتری برخوردار است. فلوتاسیون کانه های اکسیدی روی نظیر اسمیت زونیت، همی مورفیت و ویلمیت با کلکتورهای مرسوم چندان انتخابی نیست که دلیل آن شبیه بودن خواص سطحی کانی های روی و کانی های گانگ همراه می باشد [۸].

با توجه به کاهش ذخایر سولفیدی و افزایش نیاز جهانی، تولید روی از ذخایر اکسیدی توسط کشورهای مختلف جهان نظیر نامیبیا، پرو، برزیل، ایران و ... مد نظر قرار گرفته است [۹]. در طی سال های گذشته تلاش های متعددی به منظور یافتن شیوه های جدید کم هزینه تر برای استحصال روی از کانه های اکسیدی روی انجام شده است. در حال حاضر فرآیند لیچینگ اسیدی- استخراج حلالی-الکترووینینگ بعنوان موثرترین شیوه جایگزین برای استحصال روی از کانه های اکسیدی کم عیار و خصوصاً کانه های حاوی مقادیر بالای عناصر مضر مطرح است. در این فرآیند برخلاف فرآیند مرسوم RLE نیازی به پرعیارسازی کانه اکسیدی وجود ندارد. این فرآیند برای اولین بار توسط شرکت تکنیکاس رونیداس<sup>۹</sup> برای استحصال روی از کانه های اکسیدی کم عیار تحت عنوان فرآیند Zincex مطرح شد. امروزه این فرآیند در نقاط مختلف جهان به منظور استحصال روی از ذخایر اکسیدی در مقیاس صنعتی استفاده می شود که برخی از آنها عبارتند از [۹]: پروژه اسکورپیون<sup>۱۰</sup> در نامیبیا، آچکا<sup>۱۱</sup> در پرو، موجادا<sup>۱۲</sup> در مکزیک، شایمردن<sup>۱۳</sup> در قزاقستان و ... . شکل

---

<sup>۹</sup> Technicus Runidus

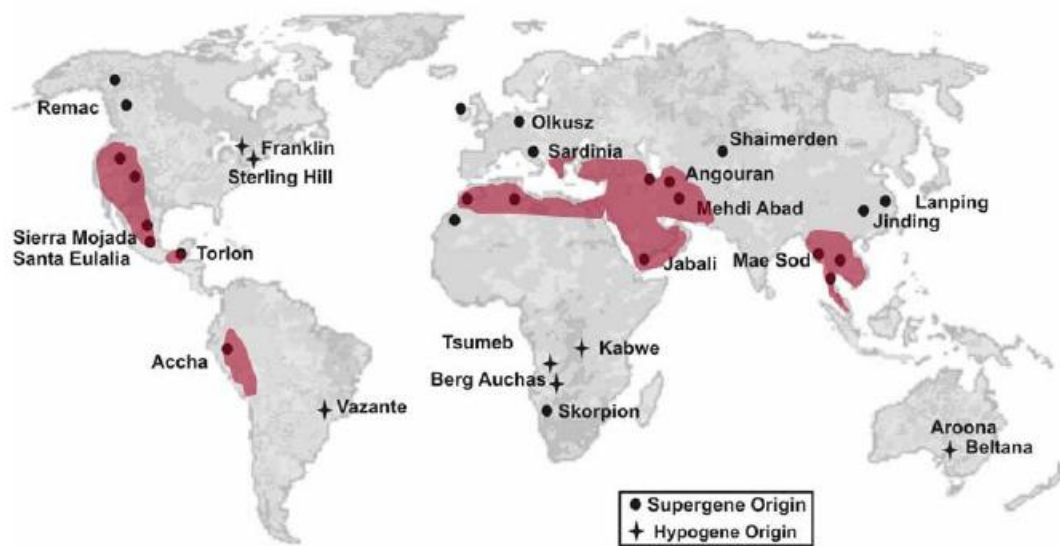
<sup>۱۰</sup> Skorpion

<sup>۱۱</sup> Accha

<sup>۱۲</sup> Mojada

<sup>۱۳</sup> Shaimerden

۳-۱ توزیع ذخایر اکسیدی روی در نقاط مختلف جهان را نشان می دهد.



شکل ۳-۱. توزیع ذخایر اکسیدی روی در نقاط مختلف جهان [۹]

واحد اسکورپیون در نامیبیا با ظرفیت تولید ۱۵۰ هزار تن شمش روی در سال یکی از بزرگترین واحدهای تولید شمش روی جهان محسوب می شود که در سال ۲۰۰۳ آغاز به فعالیت کرد (شکل ۴-۱). این واحد نخستین یکی از نخستین واحدهایی است که در آن از فرآیند استخراج با حلال (SX) به منظور تصفیه محلول لیچینگ (PLS) پیش از ورود به واحد الکترولیز استفاده شده است [۱۰].



شکل ۱-۴. نمایی از واحد تولید شمش روی اسکورپیون با ظرفیت ۱۵۰۰۰۰ تن در سال

لیچینگ اسیدی کانه های اکسیده روی با مشکلاتی همراه است که باعث شده تا در طی سال های اخیر امکان استفاده از عامل های لیچینگ قلیایی به جای اسید سولفوریک توسط محققین مختلف بررسی شود. از آنجایی کانه های اکسیده روی عمدتاً حاوی مقادیر بالایی از گانگ های کربناته مصرف کننده اسید نظیر کلسیت، دولومیت و ... می باشند، لیچینگ اسیدی این نوع کانه ها با افزایش مقدار اسید مصرفی و در نتیجه افزایش هزینه های عملیاتی فرآیند همراه می باشد [۸]. از طرفی بسیاری از ناخالصی های موجود در کانه در شرایط اسیدی حل شده و وارد فاز محلول می شوند که این مساله باعث می شود که تصفیه محلول های لیچینگ نیاز به مراحل متعدد و پرهزینه داشته باشد. از