

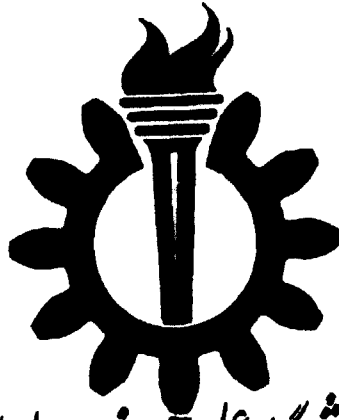
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

روزنامه اطلاعات  
تیرماه ۱۳۴۹

۲۹۹۸۹

۳۰ / ۱۸ / ۱۳۸۰

وزارت عالی تعلیمات و تربیت  
جمهوری اسلامی ایران



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی مواد و متالورژی

ساخت آلیاژسازهای آلومینیم-استرانسیم

از نمکهای استرانسیم

محمود محمودی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مواد و متالورژی

اساتید راهنما:

دکتر محمد شیخ شاب بافقی و دکتر سعید شبستری

استاد مشاور:

دکتر محمد رضا ابوطالبی

۳۴۶۵۹

013176

تابستان ۱۳۷۹

## چکیده:

افزودن استرانسیم به عنوان عامل بهسازی در آلیاژهای یوتکتیک آلومینیم-سیلیسیم که از پرمصرف‌ترین آلیاژهای آلومینیم در صنعت می‌باشند، با تغییر مورفولوژی سیلیسیم، سبب افزایش استحکام کششی و شکست، و بهبود قابلیت ماشینکاری و ریخته‌گری می‌گردد. استفاده از استرانسیم به صورت آمیزان به دلیل سهولت کاربرد آن، کنترل بهتر اصلاح ساختار، زمان میرایی بیشتر در مذاب و جذب هیدروژن کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

از آنجا که ایران به عنوان یکی از منابع جهانی کانی اولیه استرانسیم (سلستیت) شناخته شده است، تصمیم بر آن شد که ترکیبات استرانسیم مورد نیاز در این پروژه از منابع اولیه داخلی آن تهیه گردد. به این منظور، ابتدا شرایط مناسب جهت استخراج استرانسیم از سلستیت به دو روش لیچینگ مستقیم و احیاء با زغال چوب به دست آمد. در لیچینگ مستقیم پارامترهای دما و زمان لیچینگ، نسبت مولی کربنات سدیم به سلستیت و غلظت محلول کربنات سدیم مورد بررسی قرار گرفت و بهترین شرایط، دمای  $90^{\circ}\text{C}$ ، زمان ۱۲۰ دقیقه، نسبت مولی  $1/5$  و غلظت محلول  $10\text{ g/l}$  مشخص گردید. در روش احیاء با زغال چوب نیز پارامترهای دما و زمان احیاء، نسبت و اثر اندازه‌دانه زغال بررسی شدند و شرایط بهینه دمای  $1050^{\circ}\text{C}$ ، زمان ۹۰ دقیقه، نسبت زغال  $20/72$  درصد و اندازه‌دانه زغال  $100+$  مش مشخص شدند.

یک نمونه از کربنات استرانسیم حاصل از لیچینگ مستقیم تکلیس شده و تأثیر پارامترهای دما، زمان و نسبت استوکیومتری پودر زغال در میزان تکلیس، ارزیابی گردید که دمای  $1150^{\circ}\text{C}$ ، زمان ۸۰ دقیقه و دو برابر نسبت استوکیومتری پودر زغال به کربنات استرانسیم به عنوان شرایط مناسب انتخاب شدند.

در پایان، از میان روش‌های متداول ساخت آمیزان، دو روش احیاء متالوترمی و الکترولیز نمک مذاب، مورد بررسی قرار گرفتند. ماده اولیه مورد استفاده در این روش‌ها، اکسید

استرانسیم بود که از تکلیس کربنات استرانسیم به دست آمد.

آزمایش‌های متالوترمی به دو روش احیا با آلومینیم و کاربرد کلسیم انجام گرفت. امکان‌پذیری فرآیند در هر دو روش مورد مطالعه قرار گرفت و مشخص شد که احیا با آلومینیم در دماهای بالای  $1500^{\circ}\text{C}$  انجام‌پذیر است و در این دما نیز استرانسیم به صورت بخار فلز تولید خواهد شد. بنابراین استفاده از سرباره‌ای زودگداز ضروری می‌باشد، لیکن از آنجا که اکثر سرباره‌سازهای متداول از اکسید استرانسیم ناپایدارتر هستند، تا زمانی که این ترکیبات در شارژ وجود داشته باشند، اکسید استرانسیم احیاء نمی‌شود. به این ترتیب تنها راه ممکن احیا در خلأ می‌باشد که جهت تحقیقات بیشتر پیشنهاد می‌گردد.

در روش الکترولیز نمک مذاب، از دو سیستم  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-SrO}$  و  $\text{KCl-SrCl}_2$  استفاده شد. سلول آزمایشگاهی مورد نظر جهت آزمایش الکترولیز طراحی و ساخته شد و آزمایش‌های متعددی نیز صورت گرفت. آزمایش الکترولیز در سیستم  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-SrO}$  در دمای  $1000^{\circ}\text{C}$  با ترکیب ۸۶٪ کریولیت با نسبت مولی ۲/۷، ۷٪ فلورید لیتیم و ۷٪ اکسید استرانسیم انجام شد. ۱۶ گرم آلومینیم مذاب نیز به عنوان کاتد در کف سلول بکار رفت: به دلیل حلالیت بالای سیلیس موجود در جداره داخلی سلول الکترولیز در کریولیت، و پتانسیل احیاء کمتر سیلیسیم نسبت به استرانسیم، آلیاژ  $\text{Al-10\%Si}$  تولید شد. به این معنی که با سلول طراحی شده، نمی‌توان آلیاژ  $\text{Al-Sr}$  تولید کرد.

در سیستم نمک مذاب  $\text{KCl-SrCl}_2$  از ۸۰٪ کلرید استرانسیم، ۱۹٪ کلرید پتاسیم و ۱٪ فلورید سدیم در دمای  $800^{\circ}\text{C}$  استفاده شد. کاتد مذاب نیز شامل ۲۶ گرم آلومینیم بود. نتایج حاصل از آنالیز SEM بیانگر وجود استرانسیم در نمونه به دست آمده است، لیکن به دلیل کوتاه بودن زمان آزمایش از درصد بالایی برخوردار نیست. ولی انتظار می‌رود که با اعمال زمان‌های بیشتر و نیز شرایط ولتاژ و آمپر بهینه به درصد‌های بالاتر استرانسیم در آمیزان دست یافت.

## تقدیر و تشکر:

بر خود واجب می‌دانم از اساتید راهنما آقایان دکتر بافقی و دکتر شبستری و استاد مشاور که با راهنمایی‌های مدبرانه خود نظارت و سرپرستی این پروژه را به عهده داشتند، کمال تشکر و امتنان را بنمایم. چرا که بدون ایشان انجام این مهم میسر نمی‌شد. همچنین از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر سلطانیه و دکتر امامی به خاطر بازخوانی پروژه و حضور در جلسه دفاعیه و فراهم نمودن امکان ارائه آن، صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

همچنین از همکاری دلسوزانه مسئول آزمایشگاه‌های هیدرومتالورژی و پیرومتالورژی، جناب آقای مهرجو قدردانی کرده و توفیق روزافزون همگی ایشان را از خداوند منان مسئلت دارم.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

## بخش اول

۲	فصل اول: مقدمه .....
۳	۱-۱- خواص استرانسیم .....
۵	۲-۱- منابع استرانسیم .....
۸	۱-۲-۱- منابع داخلی استرانسیم .....
۱۰	فصل دوم: ترکیبات استرانسیم و کاربردهای آنها .....
۱۰	۱-۲- مقدمه .....
۱۱	۲-۲- استات استرانسیم .....
۱۲	۳-۲- کرینات استرانسیم .....
۱۵	۴-۲- گرومات استرانسیم .....
۱۶	۵-۲- هگزا فریت استرانسیم .....
۱۶	۶-۲- هالیدهای استرانسیم .....
۱۷	۷-۲- نیترات استرانسیم .....
۱۸	۸-۲- اکسید، هیدروکسید و پراکسید استرانسیم .....
۲۰	۹-۲- سولفات استرانسیم .....
۲۰	۱۰-۲- تیتانات استرانسیم .....

- فصل سوم: فرآوری استرانسیم از کانی سلسیت ..... ۲۱
- ۱-۳-۱- مقدمه ..... ۲۱
- ۲-۳-۲- فرآیند کربنات سازی مستقیم ..... ۲۲
- ۱-۲-۳-۱- تئوری ..... ۲۲
- ۲-۲-۳-۲- روش انجام آزمایش ها ..... ۲۴
- ۳-۲-۳-۳- نتایج ..... ۲۶
- ۳-۳-۳- روش احیائی ..... ۳۰
- ۱-۳-۳-۱- مطالعات آنالیز حرارتی احیاء  $SrSO_4$  ..... ۳۲
- ۱-۱-۳-۳-۱- روش آزمایش ..... ۳۲
- ۲-۱-۳-۳-۲- نتایج ..... ۳۳
- ۳-۱-۳-۳-۱- احیاء سولفات استرانسیم با هیدروژن ..... ۳۴
- ۴-۱-۳-۳-۱- احیاء سولفات استرانسیم با کربن ..... ۳۷
- ۲-۳-۳-۲- تبدیل سلسیت به کربنات استرانسیم به روش احیا ..... ۴۱
- ۱-۲-۳-۳-۱- بررسی ترمودینامیکی سیستمهای  $SrSO_4-SrS$  و  $CO-CO_2$  ..... ۴۱
- در دماهای بالا ..... ۴۲
- ۲-۲-۳-۳-۲- روش آزمایش ..... ۴۵
- ۳-۲-۳-۳-۳- نتایج ..... ۴۵
- ۴-۳-۴-۲- مقایسه دو فرآیند کربنات سازی مستقیم و احیائی ..... ۴۸
- فصل چهارم: تکلیس کربنات استرانسیم ..... ۴۹
- ۱-۴-۱- مقدمه ..... ۴۹
- ۲-۴-۲- شرح فرآیند ..... ۵۱

- ۵۳ ..... ۱-۲-۴- نوع کربن مصرفی
- ۵۴ ..... ۲-۲-۴- تکنیکهای عملی
- ۵۵ ..... ۳-۴- جمع بندی

### فصل پنجم: روشهای ساخت آمیزانها..... ۵۶

- ۵۶ ..... ۱-۵- مقدمه
- ۵۷ ..... ۲-۵- روشهای تولید آمیزان
- ۵۷ ..... ۱-۲-۵- فرآیند مخلوط کردن
- ۵۸ ..... ۲-۲-۵- فرآیند کلوخه سازی
- ۶۰ ..... ۱-۲-۲-۵- تکنیک اتمیزاسیون
- ۶۳ ..... ۲-۲-۲-۵- نتایج حاصل از اتمیزاسیون
- ۶۵ ..... ۳-۲-۵- فرآیند احیاء آلومینوترمی
- ۶۷ ..... ۱-۳-۲-۵- تولید پراکسید استرانسیم
- ۶۸ ..... ۴-۲-۵- الکترولیز نمک مذاب در حضور آلومینیم مذاب
- ۶۹ ..... ۱-۴-۲-۵- وضعیت فصل مشترک الکترولیت- آلیاژ- گرافیت
- ۷۰ ..... ۲-۴-۲-۵- بازده جریان در تولید الکترولیت آلیاژها
- ۷۱ ..... ۱-۲-۴-۲-۵- اندازه گیری بازده جریان

### بخش دوم

- ۷۴ ..... مقدمه
- ۷۶ ..... فصل ششم: مطالعات امکان پذیری
- ۷۶ ..... ۱-۶- مقدمه



- ۷۶ ..... ۲-۶- تهیه اکسید استرانسیم
- ۷۷ ..... ۱-۲-۶- بررسی های ترمودینامیکی
- ۸۰ ..... ۲-۲-۶- دیاگرام پایداری Sr-O-C
- ۸۶ ..... ۱-۲-۲-۶- تأثیر درجه حرارت بر دیاگرام پایداری
- ۹۰ ..... ۳-۶- تهیه آمیزان آلومینیم- استرانسیم
- ۹۱ ..... ۱-۳-۶- مطالعه احیاء حرارتی
- ۹۱ ..... ۱-۱-۳-۶- احیاء با آلومینیم
- ۹۳ ..... ۲-۱-۳-۶- احیاء با کاربید کلسیم
- ۹۳ ..... ۲-۳-۶- مطالعه احیاء الکترولیتیک
- ۹۴ ..... ۱-۲-۳-۶- طراحی سلول
- ۹۴ ..... ۱-۱-۲-۳-۶- الکترودها
- ۹۴ ..... ۲-۱-۲-۳-۶- الکترولیت
- ۹۷ ..... ۱- سیستم  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-SrO}$
- ۱۰۱ ..... ۲- سیستم  $\text{KCl-SrCl}_2$
- ۱۰۲ ..... ۳-۱-۲-۳-۶- واکنش های امکان پذیر الکترولیت
- ۱۰۲ ..... ۱- سیستم  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-SrO}$
- ۱۰۵ ..... ۲- سیستم  $\text{KCl-SrCl}_2$
- ۱۰۷ ..... فصل هفتم: روش انجام آزمایش ها
- ۱۰۷ ..... ۱-۷- تهیه کربنات استرانسیم
- ۱۰۹ ..... ۱-۱-۷- کربنات سازی مستقیم
- ۱۱۲ ..... ۲-۱-۷- احیا با زغال چوب
- ۱۱۳ ..... ۱-۲-۱-۷- رطوبت

- ۱۱۳ ..... ۷-۱-۲-۲- مواد فزّار
- ۱۱۳ ..... ۷-۱-۲-۳- خاکستر
- ۱۱۴ ..... ۷-۱-۲-۴- کربن ثابت
- ۱۱۴ ..... ۷-۲- تکلیس کربنات استرانسیم
- ۱۱۵ ..... ۷-۳- تولید آمیزان آلومینیم- استرانسیم
- ۱۱۵ ..... ۷-۳-۱- آزمایش احیاء حرارتی
- ۱۱۵ ..... ۷-۳-۱-۱- احیا با آلومینیم
- ۱۱۶ ..... ۷-۳-۱-۲- احیا با کاربید کلسیم
- ۱۱۷ ..... ۷-۳-۲- آزمایش الکترولیز
- ۱۱۷ ..... ۷-۳-۲-۱- سیستم  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-SrO}$
- ۱۱۸ ..... ۷-۳-۲-۲- سیستم  $\text{KCl-SrCl}_2$
- ۱۱۹ ..... ۷-۳-۲-۳- اندازه گیری مقاومت سلول الکترولیز

## فصل هشتم: نتایج ..... ۱۲۰

- ۱۲۰ ..... ۸-۱- کربنات سازی مستقیم
- ۱۲۰ ..... ۸-۱-۱- اثر دما و زمان
- ۱۲۲ ..... ۸-۱-۲- اثر نسبت مولی کربنات سدیم
- ۱۲۳ ..... ۸-۱-۳- اثر غلظت محلول کربنات سدیم
- ۱۲۷ ..... ۸-۲- احیا با زغال چوب
- ۱۲۷ ..... ۸-۲-۱- اثر درجه حرارت و زمان
- ۱۲۹ ..... ۸-۲-۲- اثر مقدار پودر زغال
- ۱۲۹ ..... ۸-۲-۳- اثر دانه بندی ذرات زغال
- ۱۳۱ ..... ۸-۳- تکلیس کربنات استرانسیم

- ۱۳۲ ..... ۱-۳-۸- تکلیس بدون حضور پودر زغال
- ۱۳۳ ..... ۲-۳-۸- تکلیس در حضور پودر زغال
- ۱۳۶ ..... ۴-۸- تولید آمیزان
- ۱۳۶ ..... ۱-۴-۸- روش احیایی
- ۱۳۶ ..... ۱-۱-۴-۸- احیا با آلومینیم
- ۱۳۷ ..... ۲-۱-۴-۸- احیا با کاربید کلسیم
- ۱۴۰ ..... ۲-۴-۸- روش الکترولیز
- ۱۴۰ ..... ۱-۲-۴-۸- سیستم  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-SrO}$
- ۱۴۲ ..... ۲-۲-۴-۸- سیستم  $\text{KCl-SrCl}_2$

### فصل نهم: بحث و نتیجه گیری ..... ۱۴۵

- ۱۴۵ ..... ۱-۹- مقدمه
- ۱۴۵ ..... ۲-۹- نحوه تعیین مکانیزم واکنش‌ها
- ۱۴۶ ..... ۱-۲-۹- کربنات سازی مستقیم
- ۱۴۸ ..... ۲-۲-۹- تکلیس کربنات استرانسیم
- ۱۵۰ ..... ۳-۹- کربنات سازی مستقیم
- ۱۵۰ ..... ۱-۳-۹- تأثیر درجه حرارت و زمان
- ۱۵۱ ..... ۲-۳-۹- تأثیر نسبت مولی کربنات سدیم
- ۱۵۲ ..... ۳-۳-۹- تأثیر غلظت محلول کربنات سدیم
- ۱۵۲ ..... ۴-۹- احیا با زغال چوب
- ۱۵۲ ..... ۱-۴-۹- تأثیر درجه حرارت و زمان
- ۱۵۳ ..... ۲-۴-۹- تأثیر مقدار پودر زغال
- ۱۵۴ ..... ۳-۴-۹- تأثیر اندازه دانه پودر زغال

- ۱۵۴ ..... ۵-۹- آزمایش تکلیس
- ۱۵۴ ..... ۱-۵-۹- تأثیر درجه حرارت
- ۱۵۵ ..... ۲-۵-۹- تأثیر زمان
- ۱۵۶ ..... ۳-۵-۹- تأثیر نسبت استوکیومتری زغال
- ۱۵۸ ..... ۶-۹- آزمایش تولید آمیزان
- ۱۵۸ ..... ۱-۶-۹- روش احیائی
- ۱۵۹ ..... ۲-۶-۹- روش الکترولیز
- ۱۵۹ ..... ۱-۲-۶-۹- سیستم  $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-SrO}$
- ۱۶۰ ..... ۲-۲-۶-۹- سیستم  $\text{KCl-SrCl}_2$
- ۱۶۱ ..... فصل دهم: جمع بندی کلی و پیشنهادات
- ۱۶۹ ..... ضمیمه
- ۱۷۵ ..... فهرست منابع و مراجع

## فهرست اشکال

شماره	عنوان	صفحه
-------	-------	------

## فصل سوم:

- |      |  |    |
|------|--|----|
| ۱-۳  | مقدار تئوریکی عامل کربنات سازی مورد نیاز برای تبدیل کامل سولفات استرانسیم به کربنات استرانسیم در مقادیر مختلف pH                     | ۲۴ |
| ۲-۳  | فلوچارت فرآیند فرآوری استرانسیم از سلسیت به روش کربنات سازی مستقیم   | ۲۵ |
| ۳-۳  | دیاگرام تعادلی سیستم SrO-SrS-SrSO <sub>4</sub> تحت فشارهای جزئی SO <sub>2</sub> و O <sub>2</sub> مختلف                               | ۳۴ |
| ۴-۳  | دمانگار احیاء SrSO <sub>4</sub> به SrS با هیدروژن  | ۳۵ |
| ۵-۳  | دمانگار اکسیداسیون مجدد SrS به SrSO <sub>4</sub> در اتمسفر اکسیژن  | ۳۶ |
| ۶-۳  | دمانگار احیاء SrSO <sub>4</sub> و BaSO <sub>4</sub> در اتمسفر H <sub>2</sub> / N <sub>2</sub> و بدنال آن اتمسفر N <sub>2</sub>       | ۳۶ |
| ۷-۳  | دمانگار مخلوط (SrSO <sub>4</sub> + 4 C) حرارت داده شده در آرگون  | ۳۸ |
| ۸-۳  | دمانگار تجزیه SrCO <sub>3</sub> در اتمسفر هوا و CO <sub>2</sub>  | ۴۰ |
| ۹-۳  | دمانگار احیاء SrSO <sub>4</sub> در اتمسفر H <sub>2</sub> / N <sub>2</sub> ، و به بدنال آن کربنات سازی در اتمسفر CO <sub>2</sub> ۱۰۰٪ | ۴۰ |
| ۱۰-۳ | فلوچارت استخراج استرانسیم از سلسیت به روش فرآیند احیاء   | ۴۶ |

## فصل پنجم:

- |     |  |    |
|-----|--|----|
| ۱-۵ | برخی روشهای پودر کردن جریان مذاب               | ۶۰ |
| ۲-۵ | مدل پودر کردن جریان مذاب توسط گاز با فشار بالا | ۶۱ |

- ۳-۵ سرعت حل شدن آلیاژهای مختلف به شکل میله و شمش آلومینیم-استرانسیم. ۶۴
- ۴-۵ شکل‌های مختلف آلیاژهای آلومینیم روی یک کاندگرافیتی پس از آزمایشات. . . . . ۷۰

### فصل ششم:

- ۱-۶ تغییرات مخلوط گازی  $CO-CO_2$  با درجه حرارت در تعادل با کربن جامد در فشار یک اتمسفر. . . . . ۷۹
- ۲-۶ دیاگرام پایداری سیستم  $Sr-O-C$ . . . . . ۸۴
- ۳-۶ تأثیر درجه حرارت روی دیاگرام پایداری سیستم  $Sr-O-C$ . . . . . ۸۹
- ۴-۶ دیاگرام فازی آلومینیم-استرانسیم. . . . . ۹۰
- ۵-۶ دیاگرام الینگهام برای اکسیدهای مهم متالورژیکی. . . . . ۹۲
- ۶-۶ تغییرات دانسیته آلومینیم با درجه حرارت در حالت مذاب و جامد. . . . . ۹۸
- ۷-۶ خطوط هم‌دما و چگالی (تن بر متر مکعب) برای سیستم  $Na_3AlF_6-MA_x$  در دمای  $1000^\circ C$ . . . . . ۹۹
- ۸-۶ تأثیر افزودنی‌های مختلف روی کشش سطحی در مرز الکترولیت-آلومینیم در  $1000^\circ C$ . . . . . ۹۹
- ۹-۶ رسانائی ویژه (۲-۱۰×) مخلوط‌های  $Na_3AlF_6-MA_x$  در دمای  $1000^\circ C$ . . . . . ۱۰۰
- ۱۰-۶ فشار بخار سیستم  $NaF-AlF_3$  در چند دما. . . . . ۱۰۱
- ۱۱-۶ دیاگرام دوتایی سیستم  $KCl-SrCl_2$ . . . . . ۱۰۱
- ۱۲-۶ تأثیر افزودنی  $NaF$  بر بازده جریان الکترولیز در سیستم  $KCl-SrCl_2$ . . . . . ۱۰۲

### فصل هفتم:

- ۱-۷ آنالیز XRF نمونه اولیه سلسیت از معدن ورامین. . . . . ۱۰۸
- ۲-۷ آنالیز XRF نمونه سلسیت شسته شده با اسید کلریدریک. . . . . ۱۱۰

- ۳-۷ شماتیک سلول الکترولیز ..... ۱۱۸
- ۴-۷ شماتیک مدار پل وتسون جهت محاسبه مقاومت مجهول ..... ۱۱۹

### فصل هشتم:

- ۱-۸ نمودار تغییرات راندمان لیچینگ برحسب درجه حرارت در زمان‌های مختلف در نسبت مولی ۱/۵ و غلظت ۱۰۰g/l کربنات سدیم ..... ۱۲۱
- ۲-۸ نمودار تغییرات راندمان لیچینگ برحسب زمان در دماهای مختلف در نسبت مولی ۱/۵ و غلظت ۱۰۰g/l کربنات سدیم ..... ۱۲۲
- ۳-۸ نمودار تغییرات راندمان لیچینگ برحسب نسبت مولی کربنات سدیم در دمای ۹۰°C، زمان ۱۲۰ دقیقه و غلظت ۱۰۰g/l کربنات سدیم ..... ۱۲۳
- ۴-۸ نمودار تغییرات راندمان لیچینگ برحسب غلظت محلول کربنات سدیم در دمای ۹۰°C، زمان‌های مختلف و نسبت مولی ۱/۵ ..... ۱۲۴
- ۵-۸ آنالیز XRD کربنات استرانسیم شرکت کانسارهای ایران ..... ۱۲۵
- ۶-۸ آنالیز XRD کربنات استرانسیم تولید شده به روش لیچینگ مستقیم ..... ۱۲۶
- ۷-۸ تغییرات راندمان احیا برحسب درجه حرارت در زمان‌های متفاوت در نسبت زغال ۲۰/۷۲ درصد ..... ۱۲۸
- ۸-۸ تغییرات راندمان احیا برحسب زمان آزمایش در درجه حرارت‌های مختلف در نسبت زغال ۲۰/۷۲ درصد ..... ۱۲۹
- ۹-۸ تغییرات راندمان احیا برحسب نسبت استوکیومتری پودر زغال به سلسیت در دمای ۱۰۵۰°C و زمان ۶۰ دقیقه ..... ۱۳۰
- ۱۰-۸ تغییرات راندمان احیا برحسب شماره دانه بندی پودر زغال در دمای ۱۰۵۰°C و زمان ۶۰ دقیقه ..... ۱۳۱
- ۱۱-۸ تغییرات درصد تکلیس با زمان در درجه حرارت‌های ۱۱۵۰ و ۱۲۰۰°C بدون حضور