

(/ / , // , //)

ایران دارای ذخایر عظیم سلسنتین است. بر اساس برآورد به عمل آمده، میزان قطعی این ذخایر ۲ میلیون تن با عیار ۷۵ تا ۹۵ درصد سولفات استرانسیم است. سولفات استرانسیم در صنعت مصرف چندانی ندارد، ولی به صورت کربنات استرانسیم کاربرد وسیعی از جمله در ساخت لامپ تلویزیون رنگی، صنایع پیرو تکنیک، سرامیک سازی، رنگ سازی، تصفیه فلز روی و ... دارد. کربنات استرانسیم خود از سولفید استرانسیم حاصل از احیاء سولفات استرانسیم توسط کک در کوره الکتریکی نتیجه می‌گردد. در کار تجربی حاضر تولید سولفید استرانسیم از ماده معدنی سلسنتین با انجام آزمایش های دقیق مورد بررسی قرار گرفت و استخراج آن توسط حلال مناسب از محصول کوره احیاء انجام شد. هم چنین اثر عوامل مهمی چون دمای فرآیند، زمان فرآیند، دانه بندی خوراک و اثر نسبت وزنی حلال به محصول کوره احیاء بر روی راندمان استخراج ارزیابی گردید که در بهترین شرایط آزمایشگاهی، راندمانی معادل ۹۷٪ به دست آمد.

-

تجهیزات استخراج از فاز جامد^۲ استفاده می‌شود. بر مبنای حرکت فاز سیال و جامد، تجهیزات استخراج از جامد به سه دسته تقسیم بندی می‌گردد که در تمام این تجهیزات، جهت جریان مواد جامد و مایع مخالف هم می‌باشند که عبارتند از:

الف- استخراج به وسیله عبور از میان جامدات ساکن: در این روش مواد جامد در بستر ثابتی قرار داشته و حلال به اندازه ای پاشیده می‌شود که غلظت ماده حل شونده به حداقل میزان اقتصادی خود جهت استخراج برسد، سپس باقی مانده را خارج می‌کنند. چنانچه سرعت انحلال زیاد باشد عبور یک مرحله حلال از میان بستر جامد کفایت می‌نماید.

ب- استخراج با حرکت بستر جامد: در این روش مواد جامد از میان حلال با اندکی و یا بدون هم زدن عبور داده می‌شود، به این ترتیب جسم مورد نظر استخراج می‌گردد.

ج- استخراج توسط پراکندن جامد در حلال: این روش در اغلب موارد جهت جامداتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که قبل از استخراج به صورت بسترهای غیر قابل نفوذ بوده

کشور ایران از لحاظ منابع سنگ معدن سلسنتین، در رتبه سوم جهانی قرار دارد. این سنگ معدن محتوی سولفات استرانسیم می‌باشد و ترکیبات مختلف فلز استرانسیم دارای کاربرد وسیعی در صنایع است.

سلسنتین به رنگ سفید و مأخذ نام آن رنگ آبی بعضی از بلورهای آن می‌باشد. به همراه این کانی، اغلب باریت ($BaSO_4$)، ژیپس ($CaSO_4$)، کلسیت ($CaCO_3$)، استرونیانیت ($SrCO_3$)، سیلیس (SiO_2) و رس^۱ و عمدتاً به صورت همان سنگ معدن سلسنتین صادر می‌شود. بخش اعظم محصول به دست آمده از کوره احیاء حاوی سولفید استرانسیم (SrS) می‌باشد که به همراه آن ناخالصی‌های موجود در خوراک و بخش قابل ملاحظه‌ای نیز سولفات استرانسیم عمل نکرده و هم چنین اندکی کک هم یافت می‌شود. تمام ناخالصی‌های ممکن همراه مواد اولیه قبل و بعد از پخت در آب نامحلول بوده و فقط سولفات استرانسیم نامحلول در آب پس از مرحله پخت و تبدیل شدن به سولفید استرانسیم در آب حل می‌گردد [۱]. برای استخراج سولفید استرانسیم (SrS) از دیگر اجزاء همراه آن با توجه به قابلیت انحلال استرانسیم در آب، از

و یا در طول استخراج به روش‌های دیگر به صورت بسترهای غیر قابل نفوذ در می‌آیند، در این روش با پراکندن ذرات جامد در حلال در تانک‌های مجهز به همزن مکانیکی یا همزن جریانی، مواد قابل استخراج از فاز جامد به فاز مایع انتقال می‌یابد، این روش برای مقادیر کم جامد می‌تواند به صورت یک مرحله‌ای به کار رود، که در یک مخزن همزن دار همراه با دریچه قابل باز و بسته شدن در ته مخزن برای ته‌نشینی مواد زائد صورت می‌گیرد [۳ و ۲]. در صورتی که میزان مواد جامد زیاد باشد و حداقل حلال مورد نیاز جهت مصرف مطرح باشد، می‌توان به صورت یک سری تیکترهای پشت سرهم که مشابه با جریان متقابل، کار می‌کنند استفاده نمود. کار تجربی حاضر منطبق بر این روش بوده و تعیین مراحل استخراج قابل دستیابی می‌باشد [۵ و ۴].

در همه روش‌های مذکور انتخاب حلال حائز اهمیت بوده و بهترین انتخاب بایستی در خصوص آن انجام پذیرد. مشخصات مرغوبیت حلال عبارتند از:

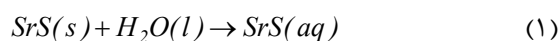
- وسیع بودن محدوده اشباع، یعنی عملاً حلال به صورت تدریجی اشباع گردد.
- اثر انتخابی حتی‌الامکان انحصاری را بر روی جزء حل شونده دارا باشد.
- قابلیت بازیابی مجدد مواد حل شونده از حلال، بدون اثر سوء مهیا باشد.
- ثبات شیمیایی در مواقعی که تحت فشار است، دارا باشد.
- دارای ویسکوزیته کم و دانسیته پائین باشد.
- دارای فشار بخار کم و کشش سطحی پائین باشد.
- سمیت آن کم و غیر قابل اشتعال باشد.
- قیمت آن پائین و بازیافت آن اقتصادی باشد.

هم چنین درجه حرارت استخراج بر مبنای حداکثر حلالیت جسم حل شونده در حلال، فشار بخار حلال، نفوذ در حل شونده، حساسیت محصول در مقابل حرارت و مشخصه خوردگی در اثر سایش در دمای مورد نظر نیز مهم بوده و تعیین دمای بهینه حلال یکی از مهم ترین

عوامل استخراج به حساب می‌آید. دوره زمانی استخراج در روش تماسی واقعی است که انتخاب بین عملیات مداوم و نوبتی استخراج را حائز اهمیت نموده است و انتخاب یک روش پاشنده حلال، و یا پخش کننده جامد، در حلال اساساً تابعی از اثر استخراج نوع بستری که واکنش استخراج در آن صورت می‌گیرد، بوده و ویژگی آن باید طوری باشد، که بر اساس مشخصه های بیان شده سازگارترین و در عین حال اقتصادی‌ترین باشد [۱۵].

در مورد استخراج سولفید استرانسیم بهترین، ارزان ترین و در دسترس ترین حلال، آب می‌باشد. اساساً وقتی که سولفید استرانسیم با آب مجاور گردد در آن تفکیک شده و به هیدروسولفید استرانسیم $(Sr(SH)_2)$ و هیدروکسید استرانسیم $(Sr(OH)_2)$ تبدیل می‌گردد. حلالیت سولفید استرانسیم بستگی زیادی به دمای آب به عنوان حلال دارد، و حداکثر حلالیت آن در درجه حرارت $90^{\circ}C$ انجام می‌پذیرد. جدول (۱) حلالیت سولفید استرانسیم در آب را در دماهای مختلف نشان می‌دهد [۷ و ۶].

همان طوری که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، حداکثر حلالیت سولفید استرانسیم در آب در دمای $90^{\circ}C$ انجام می‌شود، اما در این دما، فشار بخار آب حدود 0.17 atm بوده و به این معنی است که مقدار زیادی از آب می‌تواند به راحتی تبخیر شده و از کارآیی فرآیند استخراج بکاهد، لذا در عملیات صنعتی دمای $50-70$ درجه سلسیوس کفایت نموده و در اندازه‌های آزمایشگاهی دمای $90^{\circ}C$ بدون توجه به توجه اقتصادی در اندازه صنعتی قابل تعمق می‌باشد. از طرفی مقدار آنتالپی انحلال سولفید استرانسیم در آب بر طبق رابطه (۱) که معادل $7/2$ کیلو کالری بر هر گرم مول است در نتیجه آب مورد استفاده جهت استخراج بایستی تا آن جا که لازم است گرم گردد تا حرارت لازم انحلال را تأمین نماید [۸].



SrS :

T	$0^{\circ}C$	$20^{\circ}C$	$40^{\circ}C$	$60^{\circ}C$	$80^{\circ}C$	$90^{\circ}C$	$100^{\circ}C$
حلالیت (درصد وزنی) SrS	2.8	7.3	13.0	21.7	33.3	40.24	37.6

اجزای سازنده	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SrO	SO_3	LOI
درصد	2.46	0.58	0.29	3.11	0.03	0.04	0.14	51.01	39.84	2.50

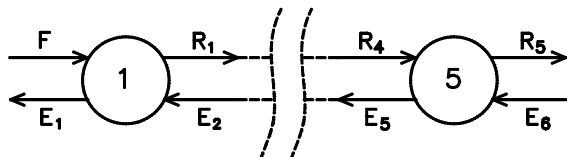
مدل ۱۷۰۰ حرارت داده (کلسینه کردن^{۱۰}) که در واقع توسط همین روش $L.O.I$ ^{۱۱} تعیین می‌شود [۶]. با اعمال این روش مزاحمت‌های احتمالی دی‌اکسیدکربن و آب کریستالی در واکنش اصلی کاهش می‌یابد. کک خرد شده را نیز به ابعاد ذرات سلسنتین تهیه شده، به دست آورده، و عیار کک مصرفی ۶۵٪ تعیین می‌گردد. از آن جایی که انجام آزمایش‌ها با کک خالص تا حدود زیادی از شرایط صنعتی دور می‌باشد، لذا در آزمایش‌های انجام شده ترجیح داده شد، که از کک ناخالص موجود در آزمایشگاه استفاده گردد که نتایج آن نیز در طرح صنعتی قابل اعتمادتر خواهد بود. آنگاه مخلوط یک نواخت سلسنتین و کک از نظر اندازه ذرات، در بوته‌های چینی به حجم ۲۵ سانتی متر مکعب جهت واکنش اصلی احیاء استفاده می‌شود. در این بوته‌ها درپوش گذاری شده و توسط گل رس منفذهای احتمالی آن گرفته و به اصطلاح آبندی می‌گردد. لذا به جز هوایی که از ابتدا در داخل بوته‌های چینی محبوس شده، هوای دیگری در بوته وجود ندارد که آن هم جهت انجام پذیری واکنش معادله بودوار^{۱۲} یعنی رابطه (۴) استفاده می‌شود. اطلاعات ترمودینامیکی گویای این مطلب است، که عامل موثر در عمل احیاء و دستیابی به سولفید سدیم، منوکسیدکربن (CO) بوده و کربن تنها نقش کاتالیست مصرف شونده را ایفاء می‌نماید [۱۲]. ورود و خروج گازها از بوته‌ها امکان پذیر نبوده، و مشخصه‌های فرآیندی از قبل قابل پی‌گیری می‌باشد. دمای فرآیند، زمان فرآیند، دانه بندی خوراک و اثر درصد کک اضافی بر روی راندمان تبدیل و سپس شرایط بهینه واکنش با توجه به عوامل موثر قابل دستیابی می‌باشد [۱۴ و ۱۵]. در این روش تولید سه مرحله مجزای زیر قابل رصد می‌باشد، ضمن این که واکنش‌های اصلی در مجموعه فرآیند روش خاکستر سیاه به دنبال آن ارائه می‌گردد:

۱- مرحله احیاء سولفات استرانسیم توسط کک در کوره الکتریکی و تبدیل آن به سولفید استرانسیم.

با توجه به کاربردهای سیستم‌های استخراج ارائه شده و در نظر گرفتن مداوم بودن فرآیند تولید و تأثیر پذیری سولفید استرانسیم محلول در آب در مجاورت دی‌اکسید کربن (CO_2) موجود در هوا و یا دی‌اکسید کربن محلول در آب، که با آن وارد واکنش شده و کربنات استرانسیم و سولفید هیدروژن تولید می‌شود، لزوم عملیات استخراج در محیط بسته قابل ملاحظه بوده، و در نتیجه سیستم استخراجی مورد استفاده گروه حاضر، سیستم پخش مواد جامد در حلال بوده و بهترین تجهیزاتی که می‌تواند با توجه به شرایط بالا به کار رود سیستمی خواهد بود که متشکل از چند تیکنر با جریان متقابل و در محیطی بسته از لحاظ ترمودینامیکی برای عملیات استخراج باشد [۹ و ۱۰ و ۱۱].

هدف از عملیات آزمایشگاهی، ارزیابی قابلیت و انتخاب مشخصه‌های مهم استخراج سولفید سدیم می‌باشد. در عملیات تولید سولفید استرانسیم به روش خاکستر سیاه^۴، ابتدا نمونه سنگ معدن سلسنتین تهیه شده از معدن کیلک بهبهان را که دارای سختی^۵ ۳-۳/۵ (بر مبنای صفر تا ده) و جرم مخصوص^۶ ۳/۹۷-۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب، که به هنگام ذوب به کمک شعله، تغییر رنگ شعله قرمز به رنگ آجری و هم چنین رنگ بلورهای این سنگ، آبی آسمانی روشن می‌باشد. با سنگ شکن فکی ذرات سنگ را به ابعاد تقریبی یک سانتی‌متر رسانیده و آنگاه توسط آسیای گلوله‌ای^۷ آزمایشگاهی با ظرفیت ۵۰۰ سانتی متر مکعب در طی چندین مرحله خردایش، آنرا کاملاً خرد کرده و ذرات ترکیبی با ابعاد ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ میکرومتر و بیشتر به دست می‌آورند، سپس جهت تعیین دقیق تجزیه آن از روش موسوم به XRD^8 و XRF^9 استفاده می‌گردد، که نتایج به دست آمده در جدول (۲) آمده است. هم چنین سلسنتین مورد آزمایش در طی یک مرحله در یک بشقاب چینی تا دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس در کوره القایی الکتریکی Hereaus

چهارم و پنجم نیز تکرار می گردد. نمایش مراحل تعادلی استخراج در شکل (۱) و نتایج عملیات با توجه به مقدار $9/72$ گرم سولفید سدیم حاصل از سلسنتین اولیه با راندمان $72\% [14]$ ، در جدول (۳) آورده شده است. نکته اساسی اینکه در خلال حرارت دادن بشر، دهانه آن توسط یک شیشه ساعت مسدود شده تا از خروج محتویات بشر در اثر تبخیر جلوگیری گردد.



$$F - E_1 = R_5 - E_6 \quad (5)$$

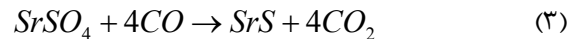
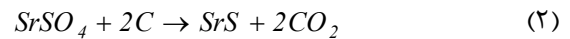
مرحله	مرحله	مرحله	مرحله	مرحله	مرحله
پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	استخراج
0.2	0.4	0.59	2.47	5.77	وزن SrS استخراج شده به گرم
40.1	44.9	39.9	62.5	59.4	درصد SrS استخراج شده از لجن در هر مرحله
2	4.1	6.1	25.4	59.4	درصد استخراج از SrS اولیه

لازم به توضیح است که هرچند در طی پنج مرحله از عملیات استخراج در شرایط بهینه 97% از SrS استخراج می شود، اما با توجه به ملاحظات اقتصادی در اندازه نیمه صنعتی^{۱۴} حداکثر تا مرحله چهارم 95% از SrS عملیات استخراج ادامه می یابد. با انجام آزمایش ها جهت تعیین مشخصه های بهینه استخراج از جامد:

- دمای عملیات استخراج
- نسبت حلال به رسوب حاصل از عملیات احیاء
- زمان عملیات استخراج

۲- مرحله عملیات استخراج سولفید استرانسیم به کمک آب داغ.

۳- مرحله واکنش سولفید استرانسیم با کربنات سدیم و تهیه کربنات استرانسیم، جهت تعیین راندمان استخراج.



همان طوری که مشاهده می شود، رابطه (۲)، با جمع

دو رابطه (۳) و معادله بودوارد دست یافتنی می باشد.

پس از خنک شدن، محصول کوره احیاء با یک میله شیشه ای تا حد امکان خرد شده، سپس با افزودن نسبت-های متفاوت آب مقطر داغ به ماده SrS جامد حاصل از کوره احیاء در دماهای مختلف برای مدت زمان های متفاوت عملیاتی توسط کاغذ صافی، محتویات بشر صاف می گردد. هم چنین به منظور حصول به نسبت ثابت آب

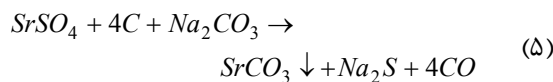
به لجن، آب داغ به لجن اضافه شده، پس از صاف کردن مجدد این عمل تا آنجا تکرار می گردد که از لجن بوی تخم مرغ فاسد شده متصاعد نشود (سولفید استرانسیم در داخل آب بوی شدید تخم مرغ گندیده می دهد). در عملیات آزمایشگاهی استخراج مقدار 22 گرم از سنگ معدن سلسنتین خرد شده که ذرات، ترکیبی با ابعاد $500-1000 \mu m$ را دارا می باشد همراه با مقدار لازم کک در کوره الکتریکی قرار داده می شود که پس از رسیدن به دما و زمان مناسب از کوره خارج می گردد [۱۳].

ماده خروجی از کوره را در بشر 500 سانتی متر مکعب منتقل و به آن $80 cc$ آب داغ اضافه می نمایند (نسبت آب به SrS در مجموع فرآیند استخراج، هشت به یک) و دمای آب در محدوده $70-60$ درجه سلسیوس و به مدت نیم ساعت کنترل می شود، پس از گذشت این زمان بلافاصله مجموعه لجن^{۱۳} حاصل را با کاغذ صافی فیلتر نموده، رسوبات روی صافی را به یک بشر منتقل نموده و محلول صاف شده در ظرف (۱) ذخیره می شود. مجدداً $32 cc$ آب داغ به بشر حاوی رسوبات افزوده و برای بار دوم عملیات استخراج با همان روش اول تکرار می گردد، یعنی پس از صاف کردن لجن در این مرحله محلول صاف شده را در ظرف (۲) ذخیره نموده و عملیات استخراج از جامد بر روی رسوبات روی صافی انجام می گیرد و به همین ترتیب عملیات استخراج از جامد برای بار سوم،

- اندازه‌گیری SrS با روش کریستالیزاسیون^{۱۶} نیز ضمن ایجاد مشکلات عملیاتی در کریستال شدن به جهت موجود بودن یون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم و... دقت عمل را به شدت کاهش می‌دهد، به خصوص در شکل عملیات صنعتی آن که تهیه آب دی‌یونیزه صرفه اقتصادی نخواهد داشت.

- اندازه‌گیری SrS از روش غیر مستقیم و تبدیل به $SrCO_3$ بهترین روش جهت محاسبه SrS استخراج شده می‌باشد.

محلول زلال حاوی SrS در هر مرحله استخراج را به نسبت استوکیومتری به کربنات سدیم یک مولار اضافه نموده و کربنات استرانسیم حاصل را توزین و با توجه به این که واکنش با درجه تبدیل صد در صد^{۱۷} انجام می‌پذیرد، در نهایت مجموع عملیات شیمیایی تولید کربنات استرانسیم با رابطه (۵) قابل ارائه می‌باشد [۱۳ و ۱۴ و ۱۵].



این واکنش، سریع و به صورت تابع نمایی^{۱۸} بوده که راندمان تبدیل آن پس از گذشت زمان تقریبی ۴ ساعت صد در صد خواهد شد، سپس محصول را مجدداً با آب مقطر داغ حداقل در دو مرحله شستشو داده و آنگاه خشک می‌شود. بیان این مطلب ضروری است که اگر در سلسلتین مورد آزمایش عنصر باریم موجود باشد، فرآیند تولید کربنات باریم نیز به موازات تولید کربنات استرانسیم انجام می‌گیرد.

SrS : SrS :

$T^{\circ}C$	زمان (Min)	درصد استخراج SrS	درصد SrS موجود در لجن	ماکزیمم SrS قابل استخراج
85	15	51.5	33	84.5
	30	70.3	16.5	86.8
90	15	61.4	22.5	83.9
	30	77.9	10.5	88.4
95	15	67.5	23.4	90.9
	30	84.9	8.9	93.8

مورد تحقیق قرار می‌گیرد. جدول (۴) اثر نسبت وزنی آب به فاز جامد SrS حاصل از عملیات یک مرحله‌ای استخراج را نشان می‌دهد.

:

نسبت آب به جامد	2:1	4:1	6:1	8:1
درصد SrS استخراج شده	36%	57.8%	85.1%	86.4%
درصد SrS در لجن	29%	30.1%	8.9%	9.1%
ماکزیمم SrS قابل استخراج	65%	87.9%	94%	95.5%

از نتایج مهم به دست آمده توسط این گروه این است که با نسبت ۸:۱ حلال آب به رسوب SrS حاصل از کوره احیاء در مدت زمان ۴۰ دقیقه و دمای عملیات استخراج ۸۵-۹۵ درجه سلسیوس، تنها در یک مرحله می‌توان مقدار SrS قابل استخراج معادل جمع استخراج در چهار مرحله از جدول (۳) را به دست آورد.

در انتخاب بهترین روش محاسبه SrS استخراج شده:

- اندازه‌گیری یون Sr در محلول حاوی حلال و رسوب به کمک جذب اتمی^{۱۵} به علت بالا بودن غلظت یون استرانسیم در محلول نیازمند به رقیق سازی بوده و لذا درصد خطای بالایی را ایجاد می‌نماید.

البته نمونه سنگ معدن مورد استفاده طبق جدول (۲) فاقد باریم می‌باشد. در بررسی عوامل مؤثر در تبدیل $SrSO_4$ به SrS به ترتیب: دما، زمان، دانه بندی و درصد اضافی کک^{۱۹} می‌تواند با اهمیت ویژه مورد ارزیابی واقع گردد [۱۳ و ۱۴].

به طور کلی هم چنان که مشاهده می‌گردد نتایج مراحل مختلف عملیات استخراج سولفید استرانسیم در جداول (۳)، (۴) و (۵) آورده شده است. جدول (۵) بررسی اثر زمان و دما را بر روی عملیات استخراج با نسبت ۶:۱ حلال به جامد SrS را نشان می‌دهد. راندمان نهایی استخراج با توجه به رابطه (۶) به دست آمده است.

$$E = \frac{(SrS) Leached}{(SrS) Exit of furnace} \quad (6)$$

با توجه به مرحله احیاء در کوره مشاهده می‌شود، که در دمای کمتر از ۸۰۰ درجه سلسیوس واکنش احیاء صورت نمی‌پذیرد، و شروع واکنش از دمای بالاتر از این دما می‌باشد [۱۳] که تحلیل علمی آن را می‌توان به دلیل انجام واکنش بودوارد در دماهای بالاتر از این دما دانست، بنابراین عملاً این واکنش در دماهای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس، قابل ملاحظه و کاربردی می‌باشد ضمن این که زمان اقامت در کوره الکتریکی دو ساعت اعلام می‌گردد. هرچه قطر ذرات سلسیتین کمتر باشد به دلیل بیشتر شدن سطح تماس درصد تبدیل به شکل قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، ولی به جهت افزایش هزینه خرد کردن و رسیدن به قطر ذرات کمتر، لزوماً در عملیات غیر آزمایشگاهی، با یک دانه بندی خاص سروکار نداشته، بلکه برشی خاص از ابعاد ذرات با احتساب هزینه اقتصادی آن مطرح می‌باشد [۱۴]. البته با انجام آزمایش دیده شد، که این بحث در مورد کک نیز موضوعیت داشته و بهترین حالت در اختیار داشتن یک مخلوط یک نواخت از سلسیتین و کک از نظر اندازه و همراه با نگرش اقتصادی خواهد بود. مهم ترین نتیجه به دست آمده در مرحله استخراج از جامد این است که با نسبت ۶:۱ حلال آب و رسوب SrS حاصل از کوره احیاء در مدت زمان ۴۵ دقیقه و دمای عملیات استخراج ۹۵ درجه سلسیوس در پنج مرحله در اندازه آزمایشگاهی مقدار SrS قابل استخراج معادل ۹۷/۱٪ می‌باشد، توضیحاً این که با توجه

به ملاحظات اقتصادی در اندازه‌های نیمه صنعتی^{۲۰} حداکثر تا مرحله چهارم و استخراج ۹۵٪ از SrS مورد قبول واقع می‌گردد. در تحلیل نهایی واحد عملیاتی نسبت ۸:۱ حلال آب و رسوب SrS حاصل از کوره احیاء با مدت زمان ۴۰ دقیقه و دمای عملیات استخراج ۹۵-۸۵ درجه سلسیوس تنها در یک مرحله مقدار SrS قابلیت استخراج معادل جمع استخراج در چهار مرحله فوق یعنی اطلاعات جدول (۳) می‌باشد. در تحلیل انتخاب بهترین روش محاسبه SrS استخراج شده با اطمینان از عدم وجود و یا مقادیر ناچیز باریم (Ba) و کلسیم (Ca) در سلسیتین اولیه با توجه به جدول (۲) مربوط به تجزیه سنگ معدن سلسیتین مورد آزمایش نمونه، نشان داده می‌شود که سولفید باریم ($SrBa$) ایجاد نشده، و یا در صورت وجود مقدار آن ناچیز می‌باشد، که در نمونه سنگ معدن سلسیتین مورد استفاده از معدن کیلک بهبهان این گونه است لذا روش رسوب‌گیری یعنی رابطه (۶) به عنوان بهترین روش جهت تعیین راندمان می‌تواند به عنوان روش برگزیده انتخاب گردد. در صورتی که مقادیر باریم (Ba) و کلسیم (Ca) در سلسیتین قابل ملاحظه باشد و در عین حال با علم به عدم وجود کلرور استرانسیم ($ClSr$)، اندازه‌گیری یون Sr در محلول حلال و رسوب به روش جذب اتمی^{۲۱} روش دقیق‌تری خواهد بود. در مورد عملیات استخراج از جامد مراحل استخراج تا آنجا ادامه می‌یابد که در نهایت از لجن باقی مانده از عملیات، بوی تخم‌مرغ گندیده متصاعد نگردد، و در انتها توجه اقتصادی است که تصمیم‌گیری تعداد مراحل آزمایشگاهی را تحت شعاع قرار داده، و راندمان واقعی عملیاتی را تعیین می‌نماید. در نهایت همان طوری که مشاهده گردید، وجود یون‌های مزاحم Ba ، Ca و تأثیری در نتیجه بررسی نداشته، و عملاً با آن که در این تحقیق حالت‌های مختلف نسبت به هم مورد ارزیابی دقیق قرار گرفت. لذا خطای احتمالی از لحاظ مهندسی طرح به صورت نسبی می‌تواند در همه شرایط، به صورت یکسان وجود داشته و تنها اثر آن در تولید محصول نهایی است که از درجه خلوص آن اندکی می‌کاهد.

با توجه به مطالب مذکور، خلاصه نتایج به دست آمده از این طرح تحقیقاتی به شرح زیر می‌باشد:

در این جا لازم می‌دانیم از جناب آقای مهندس پرویز شناور که در تهیه و تدوین این مقاله با ما همکاری داشته- اند سپاسگزاری و قدردانی نماییم.

T	: درجه حرارت (سلسیوس)
μm	: اندازه متوسط قطر ذرات سلسنتین (میکرومتر)
cc	: حجم آب (سانتی مترمکعب)
atm	: فشار بخار آب (آتمسفر)
E	: راندمان استخراج (نسبت سولفید استرانسیم استخراجی به سولفید استرانسیم خروجی از کوره)
L.O.I	: افت آتش یا اتلاف در سوخته شدن
F	: محصول حاصل از کوره القایی (ورودی اولیه فاز سنگین استخراج)
E_1	: محصول استخراج مرحله اول (خروج نهایی فاز سبک)
E_2	: محصول استخراج مرحله دوم (حلال ورودی مرحله اول)
R_1	: پساب خروجی مرحله اول استخراج (خوراک ورودی مرحله دوم)
E_5	: محصول استخراج مرحله پنجم (حلال ورودی مرحله چهارم)
R_4	: پساب خروجی مرحله چهارم استخراج (خوراک ورودی به مرحله پنجم)
E_6	: حلال ورودی به مرحله پنجم استخراج (ورودی فاز سبک)
R_5	: پساب خروجی مرحله پنجم استخراج (خروجی نهایی فاز سنگین)

- در دمای کمتر از ۸۰۰ درجه سلسیوس واکنش احیاء صورت نگرفته و شروع واکنش از دمای بالاتر از آن آغاز می‌شود.

- عملاً واکنش بودوار در دماهای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سلسیوس کاربردی بوده و بر این اساس زمان اقامت در کوره الکتریکی دو ساعت اعلام می‌گردد.

- هرچه قطر ذرات سلسنتین کوچک تر باشد به دلیل افزایش سطح تماس، درصد تبدیل تا حد قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد.

- در مرحله استخراج از جامد، با نسبت ۶:۱ حلال آب و رسوب SrS حاصل از کوره احیاء در مدت زمان ۴۵ دقیقه و دمای عملیات استخراج ۹۵ درجه سلسیوس در پنج مرحله در اندازه آزمایشگاهی مقدار SrS قابل استخراج معادل ۹۷/۱٪ می‌باشد.

- با توجه به ملاحظات اقتصادی در اندازه‌های نیمه صنعتی^{۲۲} حداکثر تا مرحله چهارم استخراج ۹۵٪ از SrS مورد قبول واقع می‌گردد.

- با نسبت ۸:۱ حلال آب و رسوب SrS حاصل از کوره احیاء در مدت زمان ۴۰ دقیقه و دمای عملیات استخراج ۸۵-۹۵ درجه سلسیوس تنها در یک مرحله مقدار SrS قابلیت استخراج معادل جمع استخراج در چهار مرحله فوق یعنی اطلاعات جدول (۳) می‌باشد.

- روش رسوب‌گیری یعنی رابطه (۶) به عنوان بهترین روش جهت تعیین راندمان می‌تواند به عنوان روش برگزیده انتخاب گردد.

- در صورتی که مقادیر باریم (Ba) و کلسیم (Ca) در سلسنتین قابل ملاحظه باشد و در عین حال با علم به عدم وجود کلرور استرانسیم ($ClSr$)، پیشنهاد می‌شود در کارهای پژوهشی آینده، اندازه‌گیری یون Sr در محلول حلال و رسوب به روش جذب اتمی^{۲۳} نیز مورد بررسی قرار گیرد.

- وجود یون‌های مزاحم Ba ، Ca و تأثیری در نتیجه بررسی ندارد.

1 - Ober, J. (1994). "Strontium." *From Mineral Commodity Summaries*, U.S. Bureau of Mines.

2 - Zhang, Q. and Saito, F. (1997). "Mechanochemical processing of Celestine." *Chemical Engineering Journal*, Vol. 66, PP. 79-82.

3 - Baker, K. V., Brown, J. M., Hughes, N., Skarnulis, A. J. and Sexton, A. (1991). "Mechanical activation of magnesium turnings for the preparation of reactive Grignard reagents." *Journal of Organic Chemistry*, Vol. 56, PP. 698-703.

-
- 4 - Ober, J. (1995). "Strontium." *From Mineral Commodity Summaries*, U.S. Bureau of Mines January, PP. 164-165.
 - 5 - Ferrel, J. E. (1985). "Strontium." *From Mineral Facts and Problems*, U.S. Bureau of Mines. PP. 777-782.
 - 6 - Francis, D. B., (1987). *Method for recovery and conversion of strontium sulfate to strontium carbonate from low and medium grade celestite ores*. US Pat. 4666688.
 - 7 - Balaz, P. (2003). "Mechanical activation in hydrometallurgy." *International Journal of Mineral Processing*, Vol. 72, PP. 341-354.
 - 8 - Kharlamov, A. I., Kirillova, N.V. and Kharlamova, A. A. (2002). "A new method for the production of carbon nanotubes." *Theoretical and Experimental Chemistry*, Vol. 38, No. 6, PP. 357-362.
 - 9 - Suarez-Orduna, R., Rendon-Angeles, J. C., Lopez-Cuevas, J. and Yanagisawa, K. (2004). "The convection of mineral celestite to strontianite under alkaline hydrothermal condition." *Journal of Physics: Condensed Matter*, Vol. 16, PP. S1331-S1344.
 - 10 - Suarez-Orduna, R., Rendon-Angeles, J. C. and Yanagisawa, K. (2007). "Kinetic study of the conversion of mineral celestite to strontianite under alkaline hydrothermal conditions." *Int. J. Miner. Process.*, Vol. 83, PP. 12-18.
 - 11 - Obut, A., Balaz, P. and Girgin, I. (2006). "Direct mechanochemical conversion of celestite to SrCO₃." *Minerals Engineering*, Vol. 19, PP. 1185-1190.
 - 12 - Erdemoglu, M., Sankaya, M. and Canbazoglu, M. (2006). "Leaching of celestite with sodium sulphide." *Journal of Dispersion Science and Technology*, Vol. 27, PP. 439-442.
 - 13 - Ghorbanian, S. A., Radpour, S. R., Salehpour, A. and Moosavian, M. A., (2008). "Determining of affective parameters in SrCO₃ production from mineral Celestine and their applicable modeling." *Iranian Chemical Engineering Journal*, Vol. 34, PP. 41-49.
 - 14 - Ghorbanian, S. A., Salehpour, A. and Radpour, S. R. (2008). "Strontium carbonate Producing Optimization from Celestine Mineral and Kinetic Reaction Modeling." *Journal of Faculty of Engineering, University of Tehran*. Vol. 42, No.2, PP. 181-190.
 - 15 - Holland, C. D. and Anthony, R. G. (1989). *Fundamentals of Chemical Reaction Engineering*. Prentice. Hall.

- 1 - Clay
- 2 - Leaching
- 3 - Thickener
- 4 - Black Ash
- 5 - Mohs Scale Hardness
- 6 - Density
- 7 - Ball Mill
- 8 - X-Ray-Diffractometre
- 9 - X-Ray-Fluorescence
- 10 - Calcinate
- 11 - Loss of Ignation
- 12 - Boudouard
- 13 - Sludge
- 14 - Pilot
- 15 - Atomic Absorption
- 16 - Crystallization
- 17 - Conversion
- 18 - Exponential
- 19 - Percent Coke Excess
- 20 - Pilot
- 21 - Atomic Adsorption
- 22 - Pilot
- 23 - Atomic Adsorption