

# استخراج سولفات پتاسیم از دورریز صنعتی واحد کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام

پژوهش‌نفت

سال هفدهم  
شماره ۱-۵۶  
صفحه ۶۳-۵۴

کبری رهبر شمس‌کار\*، طیبه بیابانی، ابراهیم علایی، مهرداد محرابی و مصطفی آشوری  
پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده شیمی و پتروشیمی  
rahbark@ripi.ir

واژه‌های کلیدی: تلخابه، استخراج، پتاسیم سولفات، کانییت، شوئیت

## چکیده

پتروشیمی بندر امام، کلرید سدیم مورد نیاز خود برای واحد کلر آلکالی را از تبخیر خورشیدی آب خلیج فارس تهیه می‌کند. محلول باقی‌مانده پس از جداسازی کلرید سدیم که تلخابه نامیده می‌شود، حاوی مواد شیمیایی با ارزشی مانند پتاس و کلرید منیزیم می‌باشد.

در این تحقیق، روشی برای استخراج سولفات پتاسیم از تلخابه بندر امام ارایه شده است. طی این روش، مواد با ارزش افزوده از دورریز صنعتی واحد کلر آلکالی تهیه می‌شود. این روش نسبت به روش متداول سنتز سولفات پتاسیم طی فرایند مانهایم، سازگاری بیشتری با محیط زیست دارد. در روش ارایه شده، علاوه بر استفاده بهینه از یک دورریز صنعتی در تولید محصول جدید، واکنش در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  انجام می‌شود و محصول جانبی فرایند، کلرید منیزیم است که مصارف گوناگونی در صنایع دارویی و ساختمانی دارد. فرایند مانهایم در دمای بسیار بالا (حدود  $700^{\circ}\text{C}$ ) انجام می‌شود که نتیجه آن مصرف زیاد انرژی است و محصول جانبی این فرایند اسید کلریدریک است که علاوه بر آلودگی محیط زیست نیاز به استفاده از تجهیزات خاص و مقاوم در برابر خوردگی، افزایش هزینه تولید محصول را نیز در پی دارد.

## مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر مغذی اصلی مورد نیاز گیاه است. این عنصر در فتوسنتز، متابولیسم ازت و کربوهیدرات‌ها، ساخت پروتئین، نشاسته و چربی و همچنین انتقال مواد غذایی در گیاهان، نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. پتاسیم در گیاه نقش ساختمانی ندارد ولی وجود آن برای گیاه ضروری است، به خصوص آن که تأثیر شگفت‌انگیزی بر روی خصوصیات کیفی محصول دارد و آن را یک عنصر غذایی کیفی نامیده‌اند.

با کشت مستمر، پتاسیم موجود در خاک کاهش یافته و در صورت عدم جبران کمبود آن توسط کودهای شیمیایی، خاک از پتاسیم تخلیه شده و گیاهان با کمبود پتاسیم مواجه خواهند شد. استفاده بهینه از کودهای پتاسه و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه باعث بهبود کیفی و کمی محصولات کشاورزی خواهد شد.

تولید سولفات پتاسیم در داخل کشور است.

آب دریا یکی از بزرگترین منابع طبیعی ترکیبات معدنی است. با تبخیر خورشیدی آب دریا در استخرها، می‌توان در دانسیته‌های مختلف نمک‌های گوناگونی را استخراج کرد [۳]. شورابه‌ها نیز حاوی مقادیر قابل توجهی از نمک‌های منیزیم و پتاسیم هستند.

واحد کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام، کلرید سدیم مورد نیاز خود را با تبخیر آب خلیج فارس در حوضچه‌های استحصال نمک تأمین می‌کند. در این فرایند، آب دریا با دانسیته  $Be \ 5/4$  به سمت حوضچه‌های تبخیر هدایت شده و با تبخیر خورشیدی تغلیظ می‌شود. در حوضچه‌های اولیه، ناخالصی‌های نامحلول موجود در آب دریا شامل سیلیکات‌ها و نمک‌های نامحلول کلسیم و منیزیم به دست می‌آید. آب دریا تا دانسیته  $Be \ 25/7$  تغلیظ و سپس به حوضچه‌های کریستالیزاسیون منتقل می‌شود. در حوضچه‌های کریستالیزاسیون، با افزایش دانسیته آب دریا به  $Be \ 29$ ، کلرید سدیم با مشخصات مورد نیاز واحد کلر آلکالی راسب می‌شود. محلول باقی‌مانده پس از استحصال کلرید سدیم، تلخابه نامیده می‌شود که خود حاوی مقادیر معتدبایی از نمک‌های پتاسیم و منیزیم است. در حال حاضر سالیانه حدود  $900000 \ m^3$  تلخابه در دریا دورریز می‌شود. آنالیز شیمیایی تلخابه بندر امام نشان می‌دهد که حاوی  $3/39$  درصد کلرید پتاسیم است و این بدان معنی است که تلخابه مذکور برای استخراج کودهای پتاسه و کلرید منیزیم قابل بررسی است. استحصال مواد با ارزش از دورریز واحدهای صنعتی، یکی از فعالیت‌های با ارزشی است که نتیجه آن افزایش بهره‌وری و حداکثر استفاده از شرایط موجود برای درآمد بیشتر می‌باشد. تلخابه استحصالی از حوضچه‌های نمک پتروشیمی بندر امام نیز یکی از این دورریزها است. محاسبات انجام شده بر اساس نتایج آنالیز تلخابه بندر امام نشان می‌دهد که پتانسیل تولید سولفات پتاسیم و کلرید منیزیم از تلخابه مذکور به ترتیب حدود  $20$  و  $53$  هزار تن در سال می‌باشد. با اجرای صنعتی این کار تحقیقاتی و با استفاده بهینه از یک دورریز صنعتی، می‌توان قسمتی از نیاز کشور را تأمین کرد.

متناسب با میزان سولفات موجود در تلخابه‌ها، سه نوع

سولفات پتاسیم یکی از متداولترین کودهای پتاسه مصرفی جهان است که حاوی  $50$  درصد  $K_2O$  و  $55$  درصد  $SO_4$  می‌باشد و دو عنصر غذایی مورد نیاز گیاه، پتاسیم و گوگرد را تأمین می‌کند. به علت قیمت بالاتر سولفات پتاسیم نسبت به کلرید پتاسیم، این کود تنها در زمین‌هایی که مشکل شوری دارند (خوزستان، بوشهر، یزد و...) و همچنین به منظور تأمین پتاسیم مورد نیاز محصولاتی مثل توتون و سیب زمینی نشاسته‌ای که نسبت به میزان کلر موجود در خاک حساس هستند، به کار می‌رود.

در صنعت، چندین روش برای تولید سولفات پتاسیم وجود دارد. در کشورهایی که تولیدکننده کلرید پتاسیم هستند ولی منابع طبیعی نمک‌های سولفات را ندارند، سولفات پتاسیم به روش مانهایم با تبدیل کلرید پتاسیم به سولفات پتاسیم تهیه می‌شود [۱]. واکنش اسید سولفوریک با کلرید پتاسیم در دو مرحله اتفاق می‌افتد:



واکنش مرحله اول گرمازا بوده و در دمای نسبتاً پایین پیشرفت می‌کند. واکنش مرحله دوم گرماگیر بوده و باید در دمای بالاتر (حدود  $600-700 \ ^\circ C$ ) انجام شود. فرایند مانهایم، گسترده‌ترین روش تولید سولفات پتاسیم می‌باشد. از معایب عمده این فرایند می‌توان به مصرف زیاد انرژی، شرایط بحرانی خوردگی و هزینه زیاد تولید اشاره کرد. اسید کلریدریک محصول جانبی فرایند مانهایم می‌باشد. تا زمانی که زمینه مصرف اسید کلریدریک تولیدی وجود داشته باشد، تولید اسید کلریدریک مشکلی ایجاد نخواهد کرد [۲]. اما برای کشورهایی مثل ایران که در آن مورد مصرفی برای اسید کلریدریک وجود ندارد و اسید کلریدریک تولیدی کشور نیز مازاد بر مصرف است، تولید اسید کلریدریک یک جنبه منفی برای فرایند مانهایم خواهد بود. بنابراین برای تولید سولفات پتاسیم در کشور، استفاده از فرایندی که با محیط زیست سازگاری بیشتری داشته باشد ضروری است. از طرف دیگر به علت عدم تولید صنعتی کلرید پتاسیم در داخل کشور، باید ترکیب مورد نیاز این فرایند وارد شود که این نیز یکی دیگر از معایب استفاده این روش برای

۱- تبدیل کائینیت به حدواسط شوئیت،  $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$ ، که با اختلاط کائینیت با محلول اشباع از سولفات انجام می‌شود [۱۲].

۲- استخراج سولفات پتاسیم از شوئیت که خود به دو روش امکان پذیر است:

الف- تجزیه شوئیت با محلول کلرید پتاسیم [۱۳ و ۱۴]

ب- تجزیه شوئیت با آب گرم [۱۲ و ۱۸-۱۵]

### بخش آزمایشگاهی

آنالیز شیمیایی تلخابه بندر امام نشان می‌دهد که دانسیته آن حدود  $1/261 \text{ g/cm}^3$  است و حاوی ۴/۶۶ درصد Na، ۱/۲۴ درصد K، ۴/۲ درصد Mg، ۱۴/۹۹ درصد Cl و ۵/۲۵ درصد  $SO_4$  می‌باشد. با تغلیظ تلخابه، ابتدا کلرید سدیم و سپس با کاهش غلظت کلرید سدیم در آن، ترکیبات دیگر مانند پتاسیم، منیزیم، کلرید و سولفات، به ترتیب غلظت آن‌ها، در تلخابه کریستالیزه می‌شوند.

برای تعیین محدوده مناسب دانسیته تلخابه و استخراج کنسانتره پتاس از تلخابه بندر امام، به روش کریستالیزاسیون جزء به جزء، نمک‌های رسوب کرده از تلخابه بندر امام در دانسیته‌های مختلف، فیلتر و بعد از خشک شدن، آنالیز شدند. شکل ۱ تغییرات میزان پتاسیم و سدیم موجود در نمک‌های استخراج شده را به صورت تابعی از دانسیته تلخابه نشان می‌دهد.

آنالیز شیمیایی نمک‌های جدا شده از تلخابه بندر امام نشان می‌دهد که بیش از ۸۰-۷۰ درصد از سدیم موجود در تلخابه در محدوده دانسیته  $1/332-1/261 \text{ g/cm}^3$  رسوب می‌کند. درصد پتاسیم رسوب کرده در این محدوده بسیار ناچیز است. نمک‌های رسوب کرده در محدوده دانسیته  $1/357-1/332 \text{ g/cm}^3$ ، دارای بیشترین درصد پتاسیم می‌باشد.

نمک‌های کریستالیزه شده در دانسیته‌های بزرگتر از  $1/357 \text{ g/cm}^3$ ، حاوی مقادیر ناچیزی سدیم و پتاسیم هستند. بنابراین با توجه به شکل ۱، می‌توان نتیجه گرفت که در مرحله اول تغلیظ تلخابه، بیشترین مقدار کلرید سدیم از محلول خارج شده و محلول باقی مانده پس از جداسازی، این نمک غنی از یون‌های منیزیم، پتاسیم، کلرید و سولفات

محصول را می‌توان از تبخیر آن‌ها به دست آورد:

۱- کارنالیت،  $(KCl \cdot MgCl_2 \cdot 3H_2O)$ : از تبخیر تلخابه‌ای که حاوی کمتر از ۲ درصد سولفات منیزیم است، به دست می‌آید.

۲- کارنالیت و کائینیت،  $(KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O)$ : از تبخیر تلخابه‌ای که حاوی ۲-۶ درصد سولفات منیزیم است، به دست می‌آید.

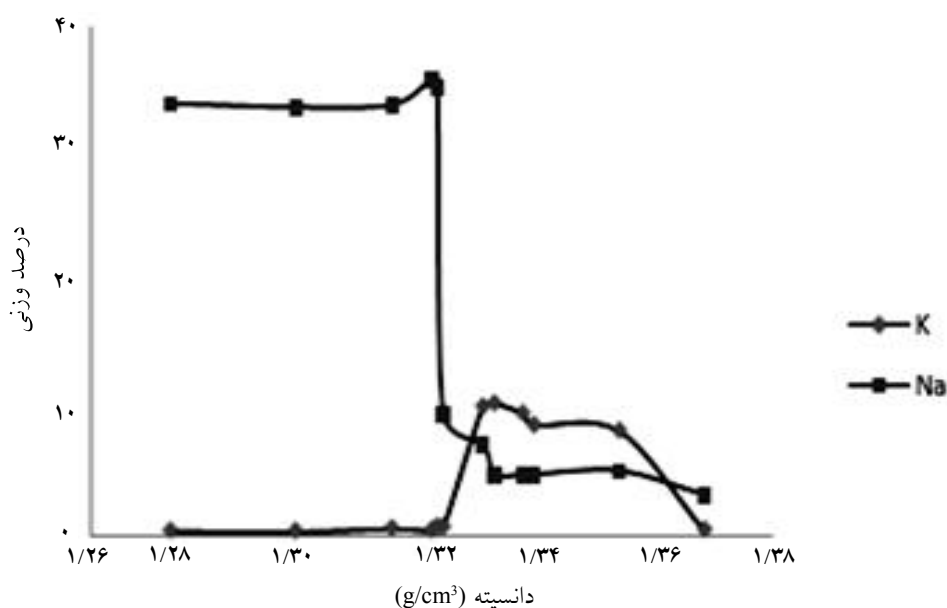
۳- کائینیت: از تلخابه‌ای که حاوی ۶-۸ درصد سولفات منیزیم است، به دست می‌آید.

دانسیته تمامی تلخابه‌های مذکور حدود  $30 \text{ Be}$  می‌باشد [۴].

Udwidia کوشش‌های فراوانی برای استفاده بهینه از تلخابه دریا که یک منبع تولید کود شیمیایی است، انجام داده است. او اشاره کرد در صورتی که درصد کلرید پتاسیم در تلخابه به دست آمده از آب دریا از ۲ درصد کمتر باشد، استخراج نمک‌های پتاسیم از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود [۵]. کارهای تحقیقاتی انجام شده نیز نشان می‌دهند که تلخابه‌هایی که حاوی ۱/۹ درصد کلرید پتاسیم باشند می‌توانند به عنوان منبعی برای بازیافت نمک‌های پتاسیم مورد بررسی قرار گیرند [۶ و ۷]. به دلیل هزینه زیاد تولید مواد شیمیایی از تلخابه‌ها، بازیافت پتاس و یا هر ماده شیمیایی دیگر از تلخابه به تنهایی، از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست [۳].

فرایندهای متعددی برای بازیافت مواد شیمیایی ارزشمند تلخابه دریا پیشنهاد شده است که در آن‌ها از فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و یا ترکیبی از فرایندهای فیزیکی و شیمیایی استفاده شده است [۸-۱۱]. فرایندهای فیزیکی روش‌های ساده جداسازی تا جداسازی فاز خاصی از نمک‌ها را شامل می‌شود. در حالی که روش‌های شیمیایی و فیزیکوشیمیایی، شامل رسوب‌گیری با مواد شیمیایی و تبخیر محلول‌ها می‌باشد.

آنالیز XRD کنسانتره پتاس که از تغلیظ تلخابه بندر امام به دست آمده است نشان می‌دهد که ترکیب پتاسیم غالب موجود در این نمک، کائینیت می‌باشد و میزان کارنالیت موجود در آن بسیار کم است. لذا در مطالعات انجام شده، روش‌های تهیه سولفات پتاسیم از نمک کائینیت مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات انجام شده نشان داد که تهیه سولفات پتاسیم از کائینیت طی دو مرحله امکان پذیر است:

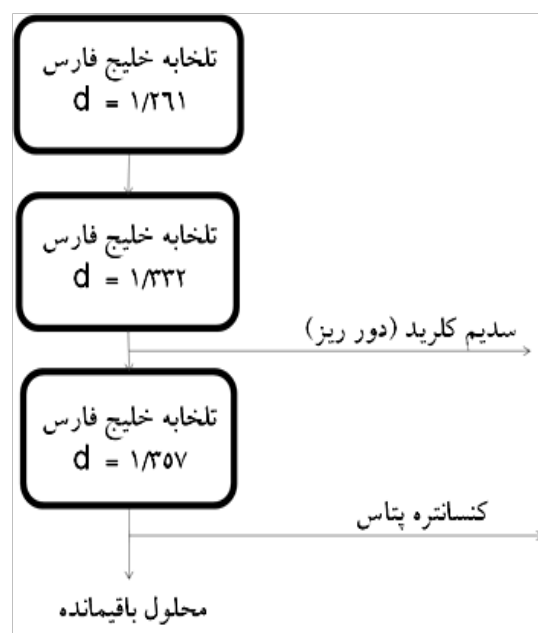


شکل ۱- تغییرات میزان پتاسیم و سدیم در نمک‌های استخراج شده از تلخابه بندر امام به صورت تابعی از دانسیته تلخابه

برای مشخص کردن ترکیبات موجود در کنسانتره پتاس بندر امام، طیف XRD نمک‌های جدا شده در محدوده  $1/332-1/357 \text{ g/cm}^3$  تهیه شد (شکل ۱ ضمیمه). آنالیز طیف مذکور نشان می‌دهد که ترکیب موجود در کنسانتره پتاس بندر امام، بیشتر کائینیت می‌باشد. علاوه بر ترکیب مذکور، مقادیر کمی از نمک‌های هالیت (NaCl)، کارنالیت و اپسومیت ( $\text{MgSO}_4$ ) نیز در کنسانتره پتاس وجود دارد. آنالیز شیمیایی کنسانتره پتاس بندر امام نشان می‌دهد که این ترکیب حاوی  $18/66$  درصد KCl،  $16/79$  درصد NaCl،  $37/20$  درصد  $\text{MgSO}_4$  و  $6/7$  درصد  $\text{MgCl}_2$  می‌باشد. مهم‌ترین ناخالصی موجود در کنسانتره پتاس بندر امام، کلرید سدیم است. منابع علمی نشان می‌دهند در صورتی که میزان کلرید سدیم موجود در کنسانتره پتاس از  $5$  درصد بیشتر باشد، میزان کلر موجود در سولفات پتاسیم تهیه شده از آن، از حد مجاز تجاوز خواهد کرد [۱۹]. برای تهیه سولفات پتاسیم مصارف کشاورزی، کاهش کلرید سدیم موجود در آن به کمتر از  $5$  درصد ضروری می‌باشد.

یکی از مهم‌ترین و مرسوم‌ترین روش‌های جداسازی کلرید سدیم از کنسانتره پتاس، روش فلوتاسیون است. در این روش به دوغاب کنسانتره پتاس در محلول اشباع، مواد فلوته کننده مناسب اضافه شده و با عبور هوا از این

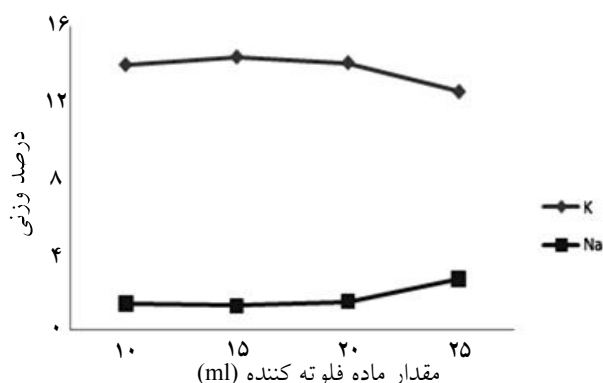
است. کنسانتره پتاس بندر امام با تغلیظ این محلول در محدوده دانسیته  $1/332-1/357 \text{ g/cm}^3$  به دست می‌آید. محلول باقی‌مانده پس از جداسازی کنسانتره پتاس حاوی کلرید منیزیم می‌باشد. فلودیاگرام استخراج کنسانتره پتاس از تلخابه بندر امام در شکل ۲ نشان داده شده است.



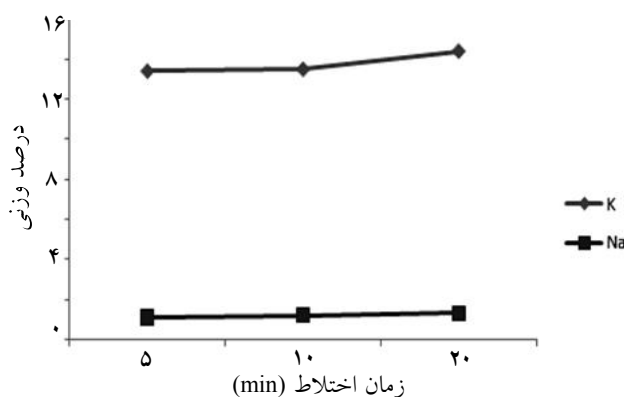
شکل ۲- استخراج کنسانتره پتاس از تلخابه بندر امام

در این کار تحقیقاتی، برای جداسازی کلرید سدیم از کنسانتره پتاس بندر امام به روش فلوتاسیون، عواملی مانند نوع و میزان مواد فلوته کننده، زمان تثبیت<sup>۲</sup>، سرعت اختلاط دوغاب کنسانتره پتاس، مورد بررسی قرار گرفت و شرایط بهینه فرایند فلوتاسیون مشخص شد. شکل های ۳ تا ۵، تغییرات غلظت پتاسیم و سدیم در کنسانتره تخلیص شده، با تغییر پارامترهای مذکور، را نشان می دهد.

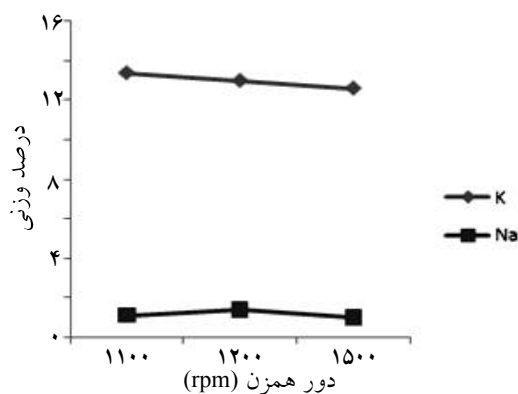
مخلوط، نمک های پتاسیم همراه با کف ایجاد شده از سیستم فلوتاسیون خارج شده و ناخالصی کلرید سدیم در سیستم فلوتاسیون باقی می ماند. مطالعات انجام شده نشان می دهد که در جداسازی کلرید سدیم از سولفات منیزیم به روش فلوتاسیون، می توان از روغن کرچک سولفونه شده به عنوان جمع کننده<sup>۱</sup> استفاده کرد [۲۰]. همچنین برای جداسازی کلرید سدیم از کلرید پتاسیم به روش فلوتاسیون، استفاده از اکتادسیل آمین استات نیز گزارش شده است [۲۱ و ۲۲].



شکل ۳- تغییرات درصد سدیم و پتاسیم در کنسانتره فلوته شده به صورت تابعی از مقدار عامل فلوته کننده



شکل ۴- تغییرات درصد سدیم و پتاسیم در کنسانتره فلوته شده به صورت تابعی از زمان اختلاط



شکل ۵- تغییرات درصد سدیم و پتاسیم در کنسانتره فلوته شده به صورت تابعی از سرعت هم زدن دوغاب

جدول ۱- آنالیز شیمیایی کنسانتره پتاس تخلیص شده در مقایسه با کنسانتره پتاس اولیه

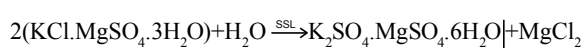
کنسانتره پتاس	درصد وزنی سدیم	درصد وزنی پتاسیم
کنسانتره پتاس اولیه	۵/۳	۸/۵
کنسانتره پتاس فلوته شده	۱/۳	۱۳
رسوبات باقی مانده در سل فلوتاسیون	۲۵	۲

در جدول ۱، آنالیز شیمیایی کنسانتره پتاس تخلیص شده در مقایسه با کنسانتره پتاس اولیه آورده شده است. همان طور که در بخش قبل نیز عنوان شد، ترکیب غالب موجود در کنسانتره پتاس بندر امام، کائینیت می باشد. که در طی دو مرحله به سولفات پتاسیم تبدیل می شود. مرحله اول شامل واکنش کائینیت موجود در کنسانتره پتاس و محلول اشباع از سولفات و تشکیل شوئیت می باشد. بدین منظور کنسانتره پتاس بندر امام با محلول اشباع از سولفات که حاوی ۳۲/۳۶ درصد K، ۳۹/۶ درصد Mg و ۱۹۲/۴ درصد  $SO_4$  است، در یک راکتور دو جداره (از نوع Draft Tube)، واکنش داد. کریستال های تشکیل شده در این مرحله فیلتر، خشک و آنالیز شد. طیف XRD محصول نشان دهنده تشکیل شوئیت بوده (شکل ۲ ضمیمه) و آنالیز شیمیایی محصول نیز نشان می دهد که این ترکیب حاوی ۱۸/۱ درصد K، ۶/۸۹ درصد Mg، ۵/۵۲۵ درصد Na، ۵/۳۹ درصد  $Cl_2$  و ۴۷/۴ درصد  $SO_4$  است که تأییدی بر تشکیل شوئیت می باشد.

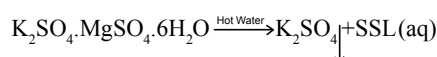
تجزیه شوئیت برای استخراج پتاسیم سولفات به هر دو روش موجود در منابع (تجزیه با محلول کلرید پتاسیم و تجزیه با آب گرم) انجام شد که به دلایل مطروحه ذیل، روش تجزیه شوئیت توسط آب گرم به عنوان روش ارجح انتخاب گردید:

۱- عدم استفاده از ماده شیمیایی برای تجزیه شوئیت  
 ۲- راندمان بیشتر در روش تجزیه با آب گرم  
 ۳- برای تبدیل کائینیت موجود در کنسانتره پتاس به شوئیت در مرحله اول فرایند استخراج سولفات پتاسیم از کنسانتره پتاس، استفاده از محلول اشباع از سولفات ضروری است.

در صورتی که از آب گرم برای تجزیه شوئیت استفاده شود، پس از جداسازی سولفات پتاسیم از محصول واکنش، محلول باقی مانده از سولفات اشباع بوده و می تواند در مرحله اول فرایند برای تبدیل کائینیت به شوئیت مورد استفاده قرار گیرد.



۲- تجزیه شوئیت توسط آب گرم



در فرایند پیشنهادی، کنسانتره پتاس تخلیص شده به روش فلوتاسیون، با محلول اشباع از سولفات در یک راکتور دو جداره (از نوع Draft Tube) مخلوط و به شوئیت تبدیل شد. در مرحله دوم، شوئیت با آب گرم در یک راکتور دو جداره (از نوع Draft Tube) مخلوط شد. شوئیت در آب گرم تجزیه شده و سولفات پتاسیم راسب شد. پارامترهای مؤثر بر تجزیه شوئیت، شامل نسبت آب به شوئیت و زمان واکنش بهینه شد که نتایج آن در شکل های ۶ و ۷ نشان داده شده است.

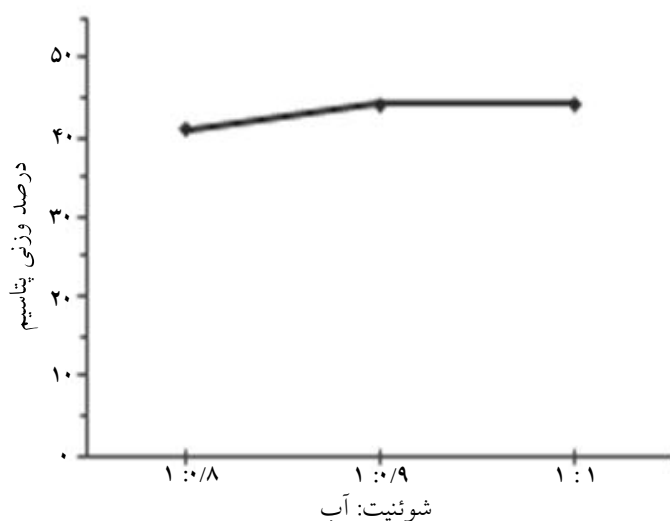
سولفات پتاسیم به دست آمده از تلخابه بندر امام حاوی

در جدول ۱، آنالیز شیمیایی کنسانتره پتاس تخلیص شده در مقایسه با کنسانتره پتاس اولیه آورده شده است. همان طور که در بخش قبل نیز عنوان شد، ترکیب غالب موجود در کنسانتره پتاس بندر امام، کائینیت می باشد. که در طی دو مرحله به سولفات پتاسیم تبدیل می شود. مرحله اول شامل واکنش کائینیت موجود در کنسانتره پتاس و محلول اشباع از سولفات و تشکیل شوئیت می باشد. بدین منظور کنسانتره پتاس بندر امام با محلول اشباع از سولفات که حاوی ۳۲/۳۶ درصد K، ۳۹/۶ درصد Mg و ۱۹۲/۴ درصد  $SO_4$  است، در یک راکتور دو جداره (از نوع Draft Tube)، واکنش داد. کریستال های تشکیل شده در این مرحله فیلتر، خشک و آنالیز شد. طیف XRD محصول نشان دهنده تشکیل شوئیت بوده (شکل ۲ ضمیمه) و آنالیز شیمیایی محصول نیز نشان می دهد که این ترکیب حاوی ۱۸/۱ درصد K، ۶/۸۹ درصد Mg، ۵/۵۲۵ درصد Na، ۵/۳۹ درصد  $Cl_2$  و ۴۷/۴ درصد  $SO_4$  است که تأییدی بر تشکیل شوئیت می باشد.

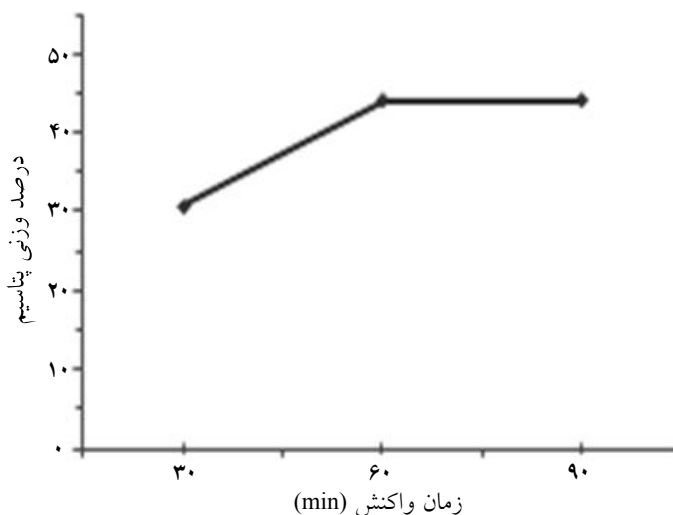
تجزیه شوئیت برای استخراج پتاسیم سولفات به هر دو روش موجود در منابع (تجزیه با محلول کلرید پتاسیم و تجزیه با آب گرم) انجام شد که به دلایل مطروحه ذیل، روش تجزیه شوئیت توسط آب گرم به عنوان روش ارجح انتخاب گردید:

۱- عدم استفاده از ماده شیمیایی برای تجزیه شوئیت  
 ۲- راندمان بیشتر در روش تجزیه با آب گرم  
 ۳- برای تبدیل کائینیت موجود در کنسانتره پتاس به شوئیت در مرحله اول فرایند استخراج سولفات پتاسیم از کنسانتره پتاس، استفاده از محلول اشباع از سولفات ضروری است.

در صورتی که از آب گرم برای تجزیه شوئیت استفاده شود، پس از جداسازی سولفات پتاسیم از محصول واکنش،



شکل ۶- تغییرات درصد پتاسیم در محصول به صورت تابعی از نسبت آب: شوئیت



شکل ۷- تغییرات درصد پتاسیم در محصول به صورت تابعی از زمان واکنش

تلخابه حاصل از حوضچه‌های استحصال نمک خود را به دریا دورریز می‌کند. در صورتی که پتانسیل سولفات پتاسیم و کلرید منیزیم موجود در تلخابه مذکور به ترتیب حدود ۲۰ و ۵۳ هزار تن در سال می‌باشد. با توجه به اینکه احداث واحدهای جدید کلر آلکالی و در نتیجه گسترش حوضچه‌های استحصال نمک از برنامه‌های آتی منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی بندر امام است، بنابراین در آینده نزدیک میزان تولید تلخابه نیز افزایش یافته و پتانسیل تولید سولفات پتاسیم و کلرید منیزیم به حدود ۱۰۰ و ۲۵۰ هزار تن در سال خواهد رسید. استحصال مواد با ارزش از دورریز واحدهای صنعتی یکی از فعالیت‌های ارزشمندی است که نتیجه آن افزایش بهره‌وری و حداکثر استفاده از

۴۴/۱ درصد K، ۰/۰۵ درصد Na، ۰/۰۸ درصد Cl و ۵۳/۹ درصد  $SO_4$  است و طیف XRD محصول نیز تشکیل سولفات پتاسیم را تأیید می‌کند (شکل ۳ ضمیمه).

### نتیجه‌گیری

سولفات پتاسیم یکی از ضروری‌ترین کودهای مصرفی کشور است که میزان مصرف آن در سال ۱۳۸۲ حدود ۱۰۰ هزار تن بوده است که به علت عدم وجود تولیدکننده داخلی، از خارج کشور تأمین شده است. طبق پیش‌بینی موسسه تحقیقات خاک و آب، میزان مصرف آن تا سال ۱۳۹۰ به حدود ۲۰۰ هزار تن نیز خواهد رسید. پتروشیمی بندر امام در حال حاضر سالیانه حدود ۹۰۰ هزار متر مکعب

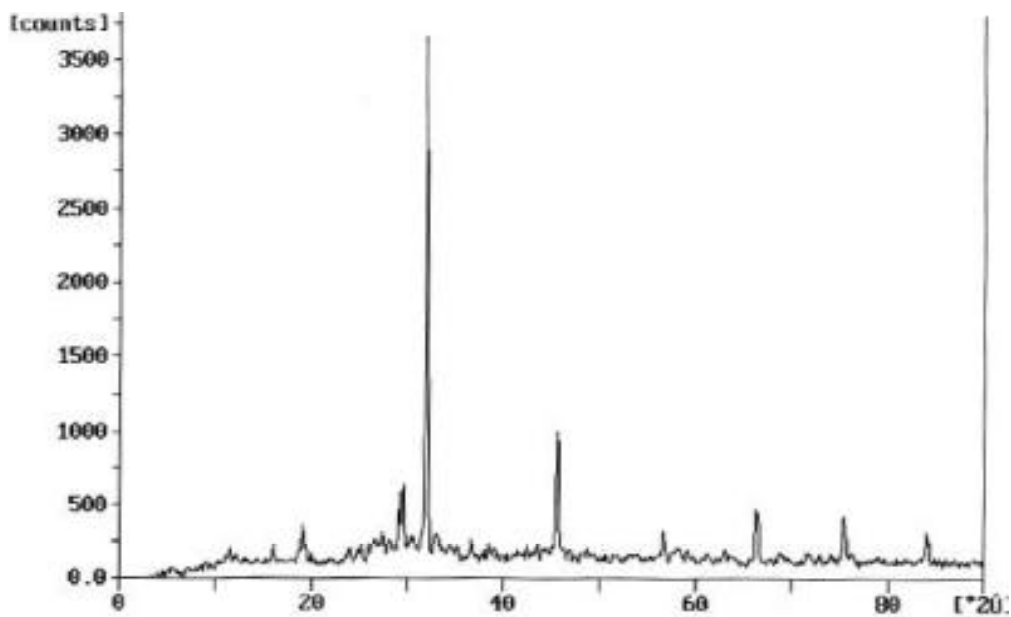
متوسط نرخ بازگشت سرمایه برابر ۳۲ درصد است که نشان دهنده اقتصادی بودن طرح است.

شایان ذکر است که روش استخراج سولفات پتاسیم از تلخابه بندر امام، علاوه بر استفاده بهینه از یک دورریز صنعتی (تلخابه)، نسبت به سایر روش‌های صنعتی تولید سولفات پتاسیم از آلودگی زیست محیطی کمتری نیز برخوردار می‌باشد.

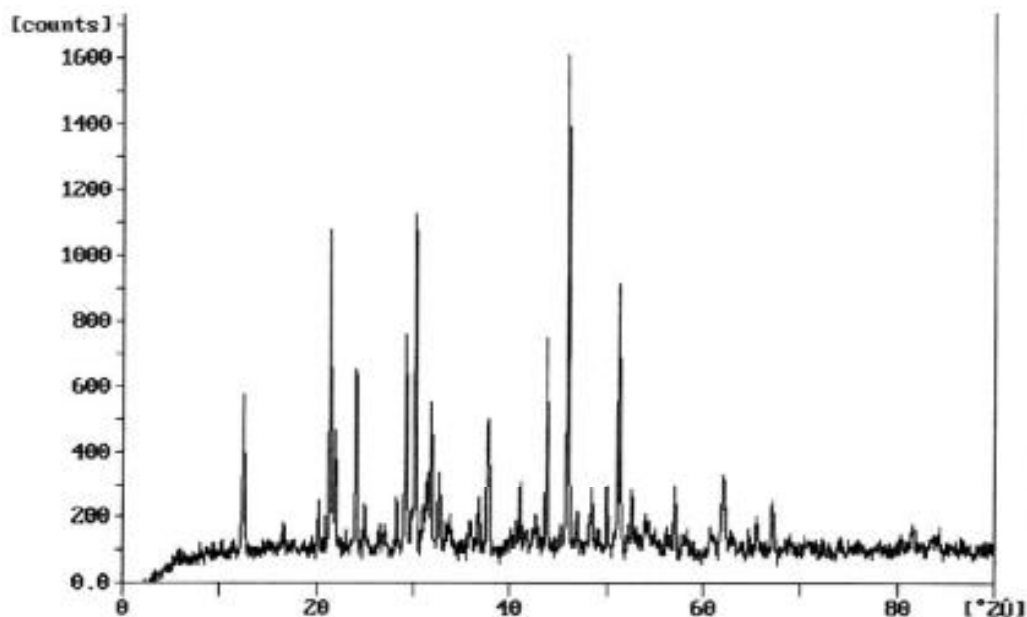
شرایط موجود برای درآمد بیشتر خواهد بود. تلخابه بندر امام نیز یکی از این دورریزها است.

محاسبات اقتصادی انجام شده بر اساس فرایند پیشنهادی در این کار تحقیقاتی نشان می‌دهد که نرخ بازگشت داخلی طرح برابر با ۳۲/۹ درصد و زمان بازگشت سرمایه از ابتدای اولین سال تولید به مدت ۴ سال می‌باشد. نقطه سر به سر (متوسط ۵ سال اول) ۳۵ درصد می‌باشد. همچنین

### شکل‌های ضمیمه

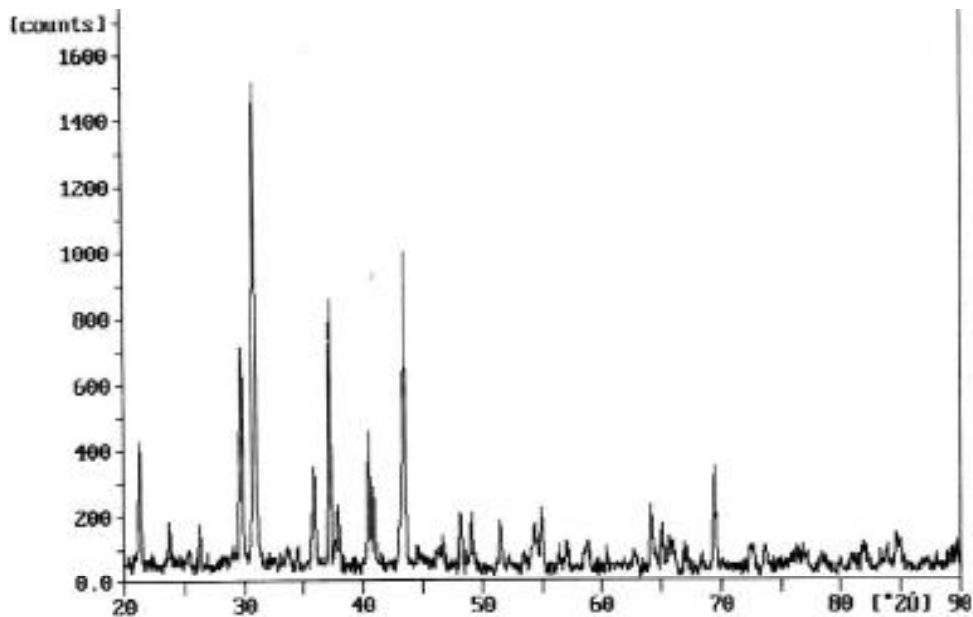


شکل ۱- طیف XRD کنسانتره پتاس به‌دست آمده از تغلیظ تلخابه بندر امام



شکل ۲- طیف XRD شوئیت به‌دست آمده از کنسانتره پتاس بندر امام





شکل ۳- طیف XRD پتاسیم سولفات استخراج شده از تلخابه بندر امام

#### منابع

- [1] Kirk-Othmer's Encyclopedia of chemical technology, 4<sup>th</sup> Ed., John Wiley & Sons, 1998.
- [2] Ulmann's Encyclopedia of Industrial chemistry; 5<sup>th</sup> Ed., VCH, 1994.
- [3] Arshad Ali Beg M., Naeemuddin S., Naeem Mahmood S., Ahmed Khan, W. & Iqbal, Z., *Pakistan J. Sci. Ind. Res.*, Vol. 9, No. 1, pp. 33-36, 1986.
- [4] Choudhari B.P., *Salt Res. & Ind.*, Vol. 2, No. 4, pp. 130-3, 1965.
- [5] Bakr M.Y., Zatout A.A. & El-Sayed F., *Chemical Economy & Engineering Review*, Vol. 9, No.1, pp. 33-36, 1977.
- [6] Seshadri K., Bhat J.F. & Davi C.G., *Sanghavi J.R., Salt Res. & Ind.*, Vol. 7, No. 39, 1970.
- [7] Hilderbrand J.H., *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 85, No.10, 1950.
- [8] Gadre G.T., Rao A.V. & Bahavnagary H.M., *J. Sci. Ind. Res.*, Vol. 141, No. 17A, 1958.
- [9] Hadzeriga P.H., *Recovery of values from natural lake and sea brines*, U.S. patent 3,099,528, 1963.
- [10] Butt J.B., Tallmadge J.A. & Savage H.R., *Chem. Eng. Process*, Vol. 60, No. 50, 1964.
- [11] Phosphorous & Potassium, No. 225, 2000.
- [12] Udwardia N.N. & Saraiya U.P., *Salt Research & Industry*. Vol. 15, No. 1, pp. 1-5, 1979.
- [13] Donald E., *Production of potassium chloride, potassium sulfate and sodium sulfate from brines and the like containing potassium chloride and sulfate*, U.S. patent 3,110,561, 1970.

- [14] Patel K.P. & Sharma N.N., *Res. & Ind.*, No. 21, 1976.
- [15] Marullo G., Cadarin D., Maggiore M. & Veronica G., *Process for obtaining schoenite by direct treatment of kainite containing sodium chloride as a impurity*, U.S. patent 3,004,826, 1961.
- [16] Veronica G. & Maggiore M., *Process for producing potassium sulfate starting from kainite*, U.S. patent 3,198,601, 1965.
- [17] *Method for production of potassium sulfate from potassium containing double salts of magnesium sulfate*, U.S. patent 3,634,041, 1972.
- [18] Kirk-Othmer, *Encyclopedia of chemical technology*, Vol. 15, page 686, 4<sup>th</sup> Ed, New york, John Wiley & Sons, 1998.
- [19] Gadre G.T. & Udwadia N.N., *J. Sci. Ind. Res.*, No. 21D, 1962.
- [20] Marullo G., Perri G. & Tubiello G., *Process for concentrating kainite by means of flotation*, U.S. patent 3,059,773, 1962.
- [21] Marullo G. & Perri G., *Process for concentrating kainite by means of flotation*, U.S. patent 2,766,885, 1956.