

## مطالعات آزمایشگاهی غنی سازی سنگ فسفات کم عیار به روش لخته سازی انتخابی

رفعت پارسایی، عبدالمحمد علمداری، عبدالحسین جهانمیری،

محمد علی رجب زاده\*

بخش مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

\* بخش علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه شیراز

E-mail: [rparsaee@yahoo.com](mailto:rparsaee@yahoo.com)

### چکیده

معدن سنگ فسفات کوه لار واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد یکی از معادن کم عیار فسفات کشور می باشد که در صورت غنی شدن می تواند به عنوان جایگزین ماده اولیه وارداتی برای واحدهای تولید اسید فسفریک مجتمع های پتروشیمی کشور مورد استفاده قرار گیرد. سنگ فسفات کوه لار یک سنگ آهک بیوشیمیایی می باشد که شامل درصد بالایی از کلسیت (calcite) بوده و به خرد کردن تا اندازه زیر ۴۰ میکرون جهت آزاد سازی کانی فسفات نیازمند می باشد. موضوع این تحقیق بررسی امکان پرعیار کردن سنگ فسفات این معدن به روش لخته سازی انتخابی در شرایط آزمایشگاهی می باشد. لخته سازی انتخابی فرآیندی است که برای جداسازی مواد جامد از هم در محدوده اندازه ریز به کار می رود. در آزمایشات مربوطه از هیدروکسید سدیم به عنوان پراکنده ساز و از نشاسته به عنوان لخته ساز استفاده گردید. مطالعه آزمایشگاهی لخته سازی انتخابی خاک فسفات نشان داد که درشت شدن لخته ها در دقایق اول فرآیند اتفاق می افتد و درصد  $P_2O_5$  در لخته های درشت تر، بیشتر می شود. توزیع اندازه لخته ها در طول زمان لخته سازی می تواند نقش مهمی در طراحی صنعتی فرآیند لخته سازی ایفا نماید.

### واژه های کلیدی: سنگ فسفات؛ پرعیارسازی؛ لخته سازی انتخابی

#### مقدمه

سنگ فسفات رسوبی (فسفریت) به عنوان مهمترین منبع اقتصادی تأمین کننده ترکیبات فسفوری در توسعه بخش های کشاورزی و صنعت دارای نقش حیاتی است. کاهش ذخایر پرعیار سنگ فسفات با ترکیبات کانی شناختی ساده و دستیابی به ذخایر کم عیار با ترکیبات پیچیده لزوم خردایش بیشتر خاک را به دنبال داشته است. این امر سبب تشکیل حجم بسیار زیادی از ذرات ریز (fine) و بسیار ریز (ultrafine) می شود که نه تنها بازدهی روش های متداول فرآوری از جمله شناورسازی (flotation) را کاهش می

دهد بلکه افزایش اتلاف این مواد در باطله را نیز به دنبال دارد [۱-۳]. به عنوان مثال در دهه ۱۹۷۰ میلادی بیش از ۳۰ درصد فسفات استخراج شده در ایالت فلوریدای آمریکا به خاطر ریز بودن قابل استحصال نبوده و وارد سدهای باطله شده است [۱].

یکی از روشهای ممکن برای جداسازی مواد جامد از هم در محدوده اندازه ریز، لخته سازی انتخابی می باشد [۴-۱]. این فرآیند شامل چهار مرحله است: پراکنده ساختن ذرات مواد جامد در آب، جذب انتخابی لخته ساز بر روی یک جزء

خاص، رشد لخته ها و جداسازی آنها [۴]. اگر ذرات خاک پس از قرار گرفتن در آب ناپایدار باشند، ته نشین می شوند و فرصت کافی برای انجام عملیات لخته سازی انتخابی وجود ندارد. بنابراین با افزودن مواد پراکنده ساز به سیستم، ذرات در آب به صورت پایدار در می آیند. پراکندگی پایدار ذرات در یک سیستم آبی را می توان با مکانیسم های پایداری الکترواستاتیکی (electrostatic stabilization) و/یا پایداری استریک (steric stabilization) انجام داد. در پایداری الکترواستاتیکی ذرات خاک فسفات، معمولاً از عوامل پراکنده کننده مانند هیدروکسید سدیم [۵ و ۶]، سیلیکات سدیم [۸-۶] و سدیم هگزا متا فسفات [۱۰-۸] استفاده می شود. این مواد با ایجاد میزان زیادی بار سطحی منفی بر روی سطح ذرات، باعث می شوند ذرات از هم دفع شده و در آب به صورت پایدار درآیند [۴]. در مکانیسم دیگری چنانچه از جذب پلیمرهای پراکنده کننده با جرم مولکولی کم مانند پلی اتیلن اکسید (PEO) □ و پلی وینیل پیرولیدون (PVP) بر روی سطح مشترک مایع - جامد استفاده شود، از لخته شدن به خاطر اثرات مخلوط شدن و آنتروپی جلوگیری می گردد. یعنی این نوع پلیمرها مانع از ناپایداری سیستم در اثر افزایش آنتروپی می شوند. این نوع عوامل پراکنده کننده، پایدارکننده های استریک نامیده می شوند. در حالتیکه افزودنی های پلیمری باردار باشند (مثل پلی آکریلاتها)، فرآیند پایدار کردن الکترواستریک نامیده می شود زیرا هم مکانیسم الکترواستاتیکی و هم مکانیسم استریک همزمان عمل می کنند [۴].

بعضی از عوامل پراکنده کننده علاوه بر نقشی که در به حالت پایدار درآوردن ذرات دارا می باشند، اثراتی نیز در بهبود قدرت انتخابگری پلیمر در جذب بر روی جزء مورد نظر دارند. از جمله جلوگیری از پوشش ذرات توسط لعاب و بستن نقاط جاذب روی سطح اجزائی که نباید لخته شوند را می توان نام برد [۴].

پس از پراکنده شدن ذرات خاک، از یک پلیمر انتخابگر برای جذب بر روی یک جزء خاص مثلاً فسفات و در نتیجه جداسازی آن جزء استفاده می شود. این پلیمر باید دارای گروههای عامل ویژه ای برای جذب بر جزء لخته شونده و همچنین باید قادر به تشکیل لخته مقاوم در برابر تنش باشد. جذب پلیمر بر روی سطح یک ذره خاص در نتیجه اثرات متقابل بین گروههای عامل پلیمر و نقاط فعال روی سطح ذره مانند گروههای هیدروکسیل و یونهای دارای بار مخالف با بار گروه عامل پلیمر می باشد. علاوه بر آن پلیمر می تواند به کمک پیوند شیمیایی روی سطح ذره جذب شود [۴]. بسته به ترکیب شیمیایی ماده معدنی، ممکن است کانی با ارزش و یا ناخالصی ها لخته شوند. نشاسته ها از اولین لخته سازهایی بودند که برای خاک فسفات توسط Devenport و همکارانش مورد استفاده قرار گرفتند [۵]. با پیشرفت علم پلیمر و امکان سنتز کردن پلیمرهای دارای گروههای عامل ویژه، استفاده از مواد پلیمری دارای گروههای عامل انتخابگر مورد توجه محققین قرار گرفته است. مشتقات سلولز، نشاسته ها و پلی ساکاریدهای دارای گروههای کربوکسیل، قادرند که در یک مخلوط از مواد معدنی شامل آپاتیت (apatite) و سیلیکات (silicate) بر روی آپاتیت جذب شوند [۷].

پلی آکریلیک اسید (polyacrylic acid) در محدوده pH قلیایی با تشکیل پیوند قوی کربوکسیلات کلسیم می تواند بر روی سطح آپاتیت جذب شود [۶]. پلی آکریل آمید هیدرولیز شده در محدوده pH ۷ تا ۱۰ در نتیجه اثرات متقابل الکترواستاتیکی و پیوند هیدروژنی بر روی سطح کوارتز (quartz) جذب شده و می تواند آن را از آپاتیت جدا کند [۹].

۱- آپاتیت نام یک کانی فسفاتی با فرمول شیمیایی  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$  می باشد.

فسفات کمتر مورد توجه قرار گرفته است. خاک طبیعی به علت داشتن ناخالصی های مختلف و احتمالاً ناشناخته دارای پیچیدگی بیشتری می باشد و مطالعه آن حائز اهمیت است.

### روش آزمایش

بخش اول آزمایشات شامل شناسایی سنگ فسفات کوه لار از لحاظ نوع ترکیبات، میزان آنها و اندازه کانی فسفات موجود در سنگ (برای تعیین میزان خرد کردن) بود. بنابراین مخلوطی در حدود ۱۰۰ کیلوگرم از سنگ فسفات معدن کوه لار که از قسمتهای مختلف معدن برداشته شده بود، به عنوان نمونه شاخص معدن برای انجام آزمایشات در نظر گرفته شد. آنالیز شیمیایی نمونه با استفاده از دستگاه XRF<sup>2</sup> برای تعیین نوع و میزان ناخالصی ها انجام گرفت. همچنین نمونه با استفاده از دستگاه XRD<sup>3</sup> مورد آزمایش قرار گرفت و نوع کانیهای آن شناسایی شد. برای تعیین اندازه کانی فسفات و تکمیل آزمایشات کانی شناسی تعدادی مقطع نازک (thin section) تهیه شد و به کمک میکروسکوپ مورد بررسی قرار گرفت.

با استفاده از نتایج بخش اول آزمایشات که در بخش "نتایج و بحث" آورده خواهد شد، لخته سازی انتخابی به عنوان یک فرآیند مناسب برای پرعیار کردن این خاک در نظر گرفته شد.

در بخش دوم آزمایشات، نمونه سنگ فسفات در آسیایی از نوع Tema تا حدی پودر شد که بیش از ۸۵ درصد آن از الک ۳۲۵ مش (۴۴ میکرون) قابل عبور باشد. از پودر حاصل سوسپانسیونی با غلظت جامد ۵ تا ۱۰ درصد تهیه شد. آزمایشات در pH ۱۳-۱۳/۷ انجام گرفت. از محلول سود ۴٪ به عنوان پراکنده ساز و از نشاسته به عنوان لخته ساز استفاده گردید. انتخاب نشاسته به عنوان لخته ساز به علت ارزانی قیمت آن صورت گرفت.

از آنجایی که پلی آکریل آمیدها قدرت انتخابگری بالایی برای خاک فسفات غنی از کلسیت را ندارند از پلی آکریل آمیدهای اصلاح شده برای این منظور استفاده می شود. Pradip Poly و همکارانش با سنتز کردن یک پلی آکریل آمید اصلاح شده با نام  $\gamma$ -acrylamide-co-N-actyloyl Poly (aminobutyric acid)، بهبودی قابل ملاحظه ای در قدرت انتخابگری لخته ساز مشاهده کردند [۱۰]. Yu و Attia با افزودن تیرون (Tiron) به پلی آکریل آمید در محلول شامل فرمالدهید، پلیمری را سنتز کردند که برای پرعیار کردن خاک فسفات غنی از کلسیت، نتایج خوبی به همراه داشت [۸].

برای به هم پیوستن لخته های تشکیل شده لازم است لخته ها به هم برخورد کنند، بنابراین همزدن باعث تشکیل لخته های بزرگتری می شود که دارای قابلیت جداسازی بهتر و مقاومت بیشتر در برابر تنش هستند. از طرف دیگر سرعت همزدن بیش از حد باعث از هم پاشیدن لخته های بزرگ می شود، بنابراین میزان بهینه ای از سرعت هم زدن باید اعمال شود [۲ و ۱۱]. لخته های تشکیل شده را می توان با ته نشین کردن، غربال کردن یا شناور سازی جدا کرد. میزان مقاومت لخته ها در برابر تنش بر انتخاب روش جداسازی لخته ها مؤثر است [۴].

درجه خلوص خاک فسفات برای استفاده در واحد تولید اسید فسفریک در مجتمع های پتروشیمی طبق اطلاعات گرفته شده از پتروشیمی رازی حداقل ۳۲٪  $P_2O_5$  می باشد. بنابراین در صورتیکه با یک مرحله لخته سازی، عیار محصول مناسب نباشد برای غنی سازی بیشتر مراحل چهارگانه لخته سازی را می توان تکرار کرد.

قابل ذکر است که اکثر محققین در مطالعات لخته سازی انتخابی، خاک مصنوعی ساخته شده در آزمایشگاه را مورد آزمایش قرار داده و به پرعیار سازی آن مبادرت نموده اند و مطالعه فرآیند لخته سازی انتخابی با استفاده از خاک طبیعی

<sup>2</sup> X-Ray Fluorescence Spectroscopy

<sup>3</sup> X-Ray Diffraction

اسید فسفریک، مقداری از اسید سولفوریک را مصرف می کنند بدون اینکه اسید فسفریک حاصل نمایند. همچنین این مواد تشکیل کف را افزایش می دهند و با خروج کفها از محفظه راکتور علاوه بر هدر روی محصول، هزینه تمیز کردن را نیز بر فرآیند تحمیل می نمایند [۱۴]. برای اجزاء مختلف موجود در سنگ فسفات حدود استاندارد برای استفاده خاک در واحد تولید اسید فسفریک در جدول ۱ آورده شده است. همان طور که این جدول نشان می دهد درصد وزنی اکثر ترکیبات موجود در سنگ فسفات کوه لار مطابق حدود مجاز نیست.

**جدول ۱- آنالیز شیمیایی نمونه سنگ فسفات کوه لار و حدود استاندارد ترکیبات**

ترکیب	درصد وزنی	حد استاندارد <sup>۴</sup> (درصد وزنی)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4.7	32.0 min
CaO	42.0	49.2 max
MgO	0.97	0.7 max
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.46	0.2-0.5 max
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.66	0.2-0.5 max
SiO <sub>2</sub>	11.4	6.0-8.0max
Na <sub>2</sub> O	0.097	0.4 max
K <sub>2</sub> O	0.57	0.9 max
CO <sub>2</sub>	32.7	4.0 max
SO <sub>3</sub>	0.23	1.5 max
Cl	0.024	0.05 max
F	2.3	3.5-5.0 max

**جدول ۲- کانی های موجود در نمونه سنگ فسفات کوه لار**

نام کانی	فرمول شیمیایی	درصد وزنی
Flourapatite	Ca <sub>5</sub> F(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	11.22
Calcite	CaCO <sub>3</sub>	63.356
Quartz	SiO <sub>2</sub>	5.13
Feldspar	(K,Na)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	4.189
Kaolinite	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	7.301
Limonite	FeO(OH)	8.804

<sup>۴</sup>- طبق اطلاعات گرفته شده از پتروشیمی رازی

آزمایشات لخته سازی در یک راکتور به قطر ۱۶ cm و ارتفاع ۳۰ cm از جنس استیل ضد زنگ انجام گرفت. این لخته ساز مجهز به همزن و لوله مکش (draft tube) برای مخلوط شدن کامل سوسپانسیون است. لوله مکش باعث می شود که با دور کمتر همزن بتوان ذرات را معلق کرد و این عامل در جلوگیری از شکست لخته ها مؤثر است. روند انجام آزمایشات لخته سازی به این ترتیب بود که حدود ۵/۵ لیتر سوسپانسیون با درصد جامد ۵٪ تهیه شد و به آن به میزان ۰/۵ لیتر محلول ۴٪ سود اضافه گردید و با دور بالای همزن (۲۰۰ rpm) به مدت ۱۰ دقیقه همزده شد تا ذرات خاک به صورت پراکنده درآیند. سپس لخته ساز به صورت محلول به سوسپانسیون اضافه شد و بلافاصله دور همزن به ۱۰۰ rpm کاهش داده شد. در فواصل زمانی مشخص نمونه گیری از سوسپانسیون انجام گرفت. توزیع اندازه لخته ها با استفاده از هیدرومتر و درصد P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> آنها با استفاده از روش اسپکتروفتومتری (Spectrophotometry) تعیین گردید.

اساس کار هیدرومتر برای تعیین توزیع اندازه ذرات بر اندازه گیری دانسیته سوسپانسیون ذرات در یک سیال و کاهش آن در اثر ته نشینی ذرات است [۱۲]. انطباق توزیع اندازه ذرات بدست آمده به کمک هیدرومتر و الک نشان دهنده اعتبار این روش برای تعیین توزیع اندازه ذرات در محدوده اندازه زیر ۷۴ μm می باشد که توسط محققین گزارش شده است [۱۳]. یک سوسپانسیون از آب و نمونه های گرفته شده از لخته ساز در یک استون مدراج یک لیتری تهیه شد و با اندازه گیری چگالی مخلوط در فواصل زمانی معین، توزیع اندازه ذرات محاسبه گردید.

## نتایج و بحث

نتایج بخش اول آزمایشات شامل آنالیز شیمیایی نمونه و تعیین نوع کانیهای آن به ترتیب در جداول ۱ و ۲ آورده شده است. همان طور که از این نتایج مشخص است این سنگ شامل درصد بالایی از کلسیت (کربنات کلسیم) می باشد. کربناتهای موجود در خاک فسفات ورودی به واحد تولید

شکل ۱ نمایی از یک مقطع نازک را نشان می دهد. لکه های سیاه در این شکل نشان دهنده ترکیب فسفاتی بی شکل و ریز دانه به صورت کلو فان (collophane) می باشند که به طور پراکنده در بین ذرات سنگ آهک بیو شیمیایی قرار گرفته اند. ترکیب فسفاتی در سنگ به دو حالت پراکنده است. در حالت اول که شکل غالب حضور فسفات در سنگ می باشد، ترکیب فسفاتی با جانشین کردن پوسته آهکی فسلهای موجود در سنگ، اغلب به اشکال کروی و بیضوی دیده می شود و در حالت دوم بصورت توده ای بی شکل و اغلب آغشته به کلسیت و رس در زمینه سنگ و در بین بلورهای کلسیت پراکنده می باشد. حضور تنگاتنگ ترکیب فسفاتی با کلسیت و گاهی با کانی های رسی، جداسازی ترکیبات فسفاتی را از سنگ کوه لار با روشهای معمول فیزیکی غیر ممکن می سازد.

برای اینکه لخته ساز بتواند بر روی سطح کانی فسفات جذب شده آنرا لخته کند می بایست کانی فسفات آزاد شود. بنابراین همان طور که از این شکل مشخص است درجه آزادی (liberation size) برای این سنگ حدود ۴۰ میکرون است. علیرغم آنکه اندازه متوسط ذرات کلو فان در بعضی از مقاطع نازک به حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون نیز می رسید ولی نمونه تا زیر ۴۰ میکرون خرد شد تا از آزاد شدن کانیهای فسفات دارای اندازه ریز نیز اطمینان حاصل شود.

با انجام فرآیند لخته سازی و تعیین توزیع اندازه ذرات در بخش دوم آزمایشات، مشاهده شد که با گذشت زمان، لخته ها درشت تر می شوند. همان طور که شکل ۲ نشان می دهد بزرگ شدن لخته ها عمدتاً در ده دقیقه اول فرآیند اتفاق می افتد و پس از آن اندازه دانه ها به میزان قابل توجهی تغییر نمی کند و حتی در بعضی از آزمایشها کوچکتر می شوند. در دقایق اولیه لخته سازی، نشاسته با تشکیل پیوند با ذرات ریز تر باعث تولید لخته های درشت می شود. بنابراین با گذشت زمان لخته ها به رشد خود ادامه می دهند. از طرف دیگر با گذشت زمان در فرآیند لخته سازی، احتمال

شکستن لخته های درشت تر با توجه به اعمال انرژی مکانیکی به سیستم بیشتر می شود. در نتیجه، پس از حدود ۱۰ دقیقه توزیع اندازه ذرات تغییر قابل ملاحظه ای نمی کند. در این زمان رشد لخته ها توسط پدیده شکسته شدن خنثی می شود. نکته قابل توجه آنست که با افزایش زمان، عیار (درصد  $P_2O_5$ ) لخته های حاصل بهبود می یابد. نتایج ارائه شده در شکل ۳ نشان می دهد که در فرآیند لخته سازی انتخابی، ذرات کوچکتر فسفات به کمک نشاسته به هم می پیوندند و تشکیل لخته های بزرگتر را با عیار بیشتر می دهند. در صورتیکه فرآیند لخته سازی به مدت ۳۰ دقیقه ادامه یابد، عیار لخته های حاصل بالاتر از عیار لخته های تولید شده در زمان ۱۰ دقیقه است. علی رغم اینکه توزیع اندازه ذرات در این حالت تفاوت خیلی محسوسی با توزیع اندازه ذرات زمان ۱۰ دقیقه ندارد، انجام عمل لخته سازی به مدت ۳۰ دقیقه برای رسیدن به عیار بیشتر مناسب تر است. نتایج ارائه شده در شکل ۳ همچنین نشان می دهد که با یک مرحله لخته سازی انتخابی، عیار لخته های حاصل به میزان قابل قبول ( $P_2O_5$  ۳۲٪) نمی رسد و نیاز به تکرار فرآیند می باشد.

### نتیجه گیری کلی

ترکیب شیمیایی و نوع کانیهای سنگ فسفات کوه لار با روشهای XRF و XRD تعیین شد و درجه آزادی کانی فسفات در حدود ۴۰ میکرون تخمین زده شد. با انجام آزمایشات فرآیند لخته سازی مشخص شد که مدت زمان فرآیند بر توزیع اندازه لخته های حاصل و همچنین عیار آنها تأثیر می گذارد. در دقایق اولیه لخته سازی، لخته ها به میزان قابل توجهی رشد می کنند و پس از آن رشد آنها تقریباً متوقف می شود. همچنین نتایج آزمایشات نشان داد که افزایش زمان لخته سازی باعث افزایش عیار لخته های حاصل می شود.

### پیشنهادات

امکان پرعیار سازی خاک طبیعی تا رسیدن به حدود استاندارد قابل مصرف در مجتمع های پتروشیمی با استفاده

7. Baudet, et al., "Selective flocculation process for treating fines of phosphate ores", U.S. Pat. 4, 235,709 (1980).

8. Yosry A. Attia and Mulong Yu, "Feasibility of design of selective polymers for the separation of dolomite from apatite by selective flocculation", in, "Beneficiation of phosphate: Theory and practice", Editors: H.El-Shall, B. M. Moudgil & R. Wiegel, chapter 21, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1993.

9. Pradip, R. A. Kulkarni, S. Gundiah and B. M. Moudgil, "Selective flocculation of kaolinite from mixtures with tribasic calcium phosphate using hydrolyzed polyacrylamides", Int. J. Min. Proc., 32(1991), 259-270.

10. Pradip, T. A. P. Sankar, R. A. Kulkarni, S. Gundiah and B. M. Moudgil, "Selective flocculation of apatite from mixtures with dolomite, calcite and quartz using modified polyacrylamide flocculants", in, "Beneficiation of phosphate: Theory and practice", Editors: H.El-Shall, B. M. Moudgil & R. Wiegel, chapter 19, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1993.

11. Patil, D.P., J.R.G. Andrews and P.H.T. Uhlherr, "Shear flocculation-kinetics of floc coalescence and breakage", Int. J. Min. Proc., 61(2001), 171-188.

۱۲. افلاکی، اسماعیل، "آزمایشگاه مکانیک خاک"، انتشارات علم و صنعت ۱۱۰، ۱۳۶۸.

۱۳. علمداری ع، م. رحیم پور، ن. اسفندیاری، "مطالعه ترسیب هیدروکسید منیزیم"، مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، جلد اول، صفحات ۱۵۰-۱۴۶، دانشکده فنی دانشگاه تهران، آبان ۱۳۸۱.

14. Gieseke, E. W., "Phosphate", in "SME mineral processing Hand book" (ed. N. L. Weiss), Vol. 2, Sec. 21, SEM, New York (1985).

از تکرار مراحل لخته سازی و جداسازی می تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

نوشتن معادلات موازنه جرم و موازنه جمعیت برای لخته های موجود در ضمن عملیات لخته سازی می تواند مدل حاکم بر رفتار آنها را تعیین نماید و مقایسه اندازه لخته ها در ضمن رشد با آنچه توسط مدل پیش بینی می شود، پارامترهای موجود در مدل را محاسبه کند.

### قدردانی

بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز که هزینه انجام این مطالعه را فراهم نموده است قدردانی می شود.

### مراجع

1. Somasundaran, P., "An overview of the ultrafine problem", in "Mineral processing at a Crossroads", Wills, B. A. and Barley, R. W. eds., Nijhoff publishers, (1986), 1-28.

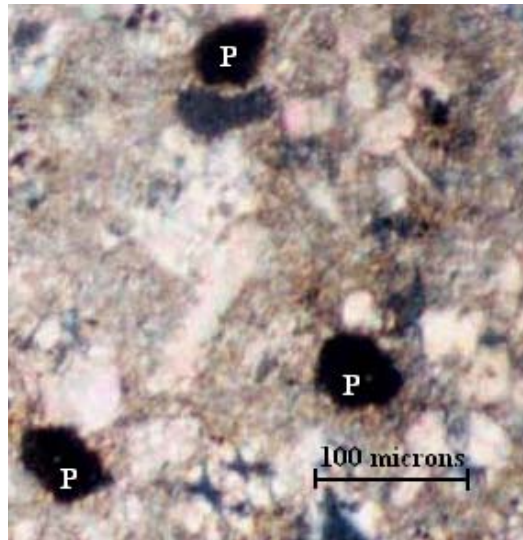
2. Somasundaran, P., B. M. Moudgil, "Reagents in mineral technology", Marcel Dekker, New York, 1988.

3. Wills, B.A., "Mineral Processing Technology", Sixth Ed. Oxford: B.H, (1997).

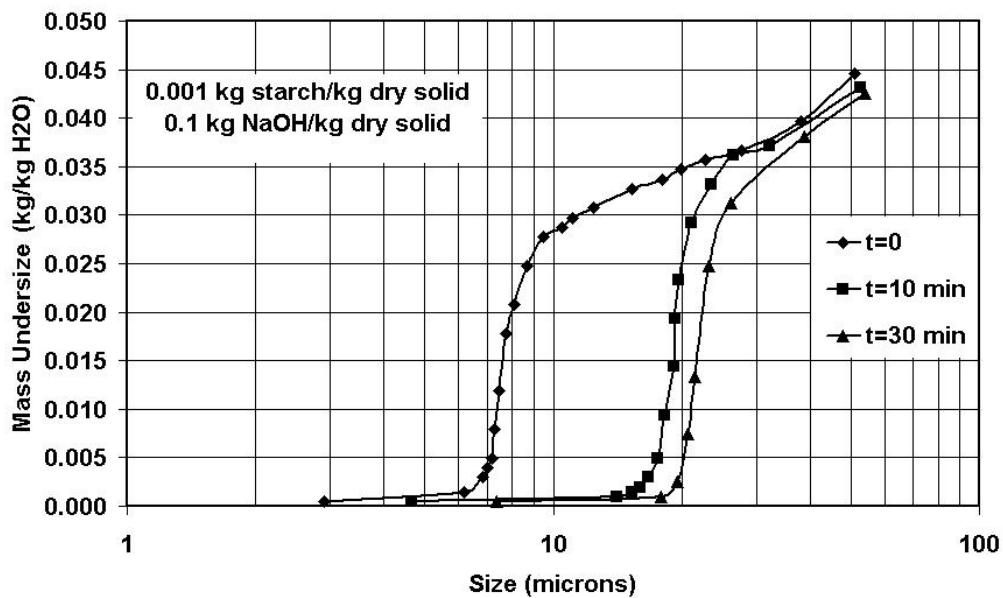
4. Mathur, S., P. Singh and B.M. Moudgil, "Advances in selective flocculation technology for solid-solid separations", Int. J. Min. Proc., 58(2000), 201-222.

5. Devenport, J.E., Frank Carrol, G.W. Kieffer and S.C. Watkins, "Beneficiation of Florida hard rock phosphate: selective flocculation", Ind. & Eng. Chem. Des. & Dev., 8(1962), 527-533.

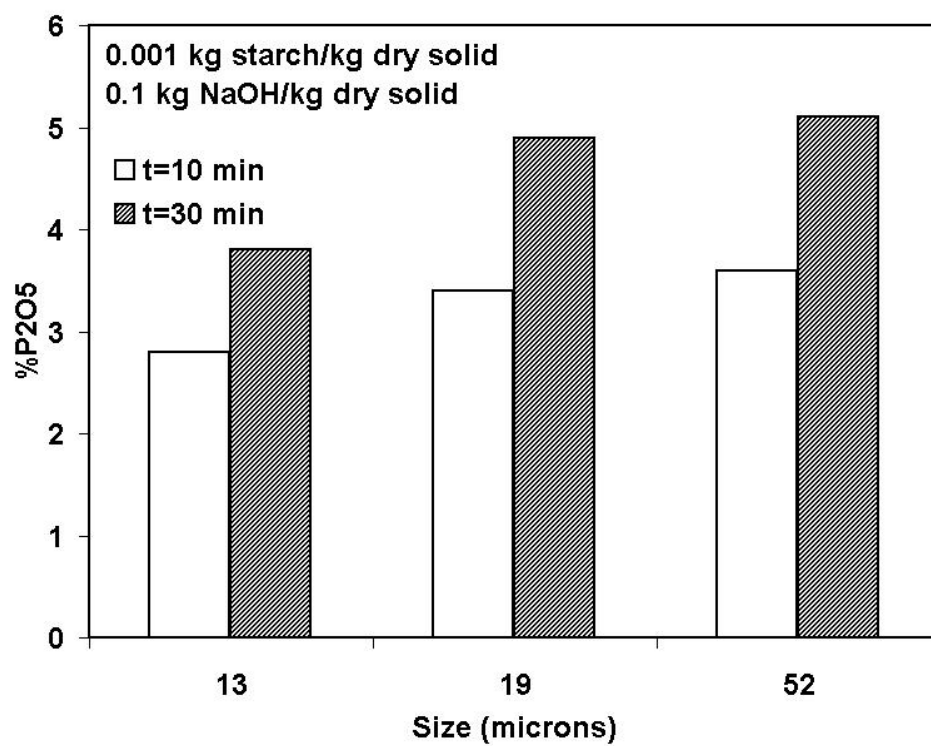
6. Pradip and B. M. Moudgil, "Selective flocculation of tribasic calcium phosphate from mixtures with quartz using polyacrylic acid flocculant", Int. J. Min. Proc., 32(1991), 271-281.



شکل ۱- نمای میکروسکوپی از مقطع نازک سنگ فسفات کوه لار با نور پلاریزان  
 P: ترکیب فسفاتی به صورت کلوفان؛ زمینه: سنگ آهک بیوشیمیایی



شکل ۲- مقایسه توزیع تجمعی اندازه لخته ها در زمانهای مختلف



شکل ۳- تغییرات توزیع دیفرانسیلی  $P_2O_5$  با زمان در لخته های با اندازه های مختلف