

# سخن سردیبر

چاپ فصلنامه به دلایل پیش‌بینی نشده مدتی است که به تأخیر افتاده است. دوستان گرامی فصلنامه شاهد بوده‌اید که در طول این ۲۳ سال انتشار فصلنامه علوم زمین که خود را تا مرزهای قابل قبولی در سطوح جهانی مانند اخذ گواهی ISI و نظایر آن بالا کشیده و به‌رغم فشارهای ناشی از هزینه‌های چاپ و انتشار آن، تا حد امکان نگذاشیم انتشار به موقع آن تحت تأثیر این عامل و عوامل حاشیه‌ای دیگر قرار گیرد، ولی افزونی مشکلات، سبب آن گردیده که ترکش‌های گرانی و کمبودهای ابزاری تهیه این گونه محصولات فرهنگی بر پیکر فصلنامه علوم زمین نیز فرود آید و این شده که شاهد آن هستیم، یعنی تأخیر در چاپ و انتشار چند شماره که باعث گله شما عزیزان و آزرده‌گی خاطر ما دست‌اندرکاران این فصلنامه می‌باشد.

در طی این زمان تأخیر، جلسات متعددی برای پیدا کردن راهکارهایی برای گریز از این بحران برگزار شد که در نهایت مجبور شدیم برای جلوگیری از بیشتر شدن بحران دست نیاز به سوی مخاطبان گرامیمان دراز کنیم و با الگوبرداری از راهکارهای نشریات مشابه خارجی در این گونه موارد، راه حل زیر را برگزیده‌ایم که از دوستان بخواهیم همراه مقالاتشان گواهی پرداخت مبلغ یک میلیون ریال (۱۰۰۰۰۰۰ ریال) به حساب ویژه فصلنامه ارسال کنند. با این عدد شاید بتوانیم بخش کوچکی از هزینه‌های مترتب بر مراحل مختلف (زمان دریافت مقاله تا چاپ و انتشار) آن را تأمین کنیم. عزیزان بد نیست بدانید که گردانندگان این فصلنامه عده‌ای از اساتید فرهیخته علوم زمین مملکت هستند که طی این ۲۳ سال از عمر فصلنامه هیچگونه پاداش و حق‌الزحمه‌ای بابت شرکت در جلسات، داوری مقالات، تهیه و تنظیم نوشتارها و غیره دریافت نکرده‌اند، اما عاشقانه و مخلصانه این بار ارزشمند فرهنگی را در این مدت به دوش کشیده‌اند. افزون بر آن، داوران محترمی که همگی از اساتید ممتاز دانش آموخته علوم زمین این سرزمین هستند نیز بدون هر گونه چشم‌داشتی وقت گران‌بهای خود را صرف داوری‌ها در کمال دقت کرده‌اند، اما دوستان تا چه اندازه می‌توان توقع داشت؟ داستان "باز بودن در دیزی و حیای گربه" در میان است.

با توجه به مراتب بالا و مخلص کلام از این که دوستان: ادامه حیات این فصلنامه نیاز به کمک و همت دانش‌آموختگان این رشته از علوم پایه دارد در این زمینه راهکار عملی آن که در جلسات شورای نویسندگان مورد بررسی قرار گرفت و پیشنهاد شده این است که: "لازمه بررسی هر مقاله همراه بودن رسید پرداخت مبلغ یک میلیون ریال بابت تأمین بخشی از هزینه‌های چاپ مقاله می‌باشد که بایستی از سوی مقاله‌دهنده پرداخت شود. عذر ما را در عدم پذیرش مقالاتی که رسید وجه مزبور را به همراه ندارند بپذیرید."

## راهنمای نگارش مقاله‌های فصلنامه علوم زمین

**هدف:** هدف فصلنامه علوم زمین، فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات علمی و فنی میان استادان، پژوهشگران و متخصصان است. فصلنامه مقالات مستند به نتایج پژوهش‌های بنیادی و کاربردی، دارای نوآوری و مطالب مفید درباره موضوعات وابسته به زمین‌شناسی ایران و یا نتایج تحقیقات نظری بکر در ارتباط با علوم زمین را به چاپ می‌رساند.

**اصالت پژوهش:** مسئولیت هر مقاله از نظر صحت و اصالت علمی، عدم چاپ قبلی در مجلات دیگر، و ترتیب نام پدید آورندگان بر عهده شخص مکاتبه‌کننده خواهد بود و کلیه مکاتبات با وی صورت خواهد گرفت. نسخه صفحه‌آرایی شده مقاله، تنها پس از تأیید صحت متن و اصالت پژوهش توسط نویسنده مکاتبه‌کننده، به چاپ خواهد رسید.

**بحث و اظهار نظر:** خوانندگان می‌توانند بحث درباره مقالات چاپ شده را تا حداکثر ۳ ماه پس از انتشار به دفتر نشریه ارسال دارند تا در صورت تصویب در هیئت تحریریه، همراه با پاسخ احتمالی نویسندگان، به چاپ برسد.

**حجم و ساختار:** مقاله باید دارای ساختار استاندارد و حاوی چکیده، کلید واژه، مقدمه، بدنه اصلی (معرفی موضوع مورد بررسی، شرح روش‌ها، آزمایش‌ها و یا برداشت‌ها، بحث و نتیجه‌گیری)، سپاسگزاری (در صورت ضرورت) و فهرست مراجع، باشد. حجم مقاله حداکثر ۱۵ صفحه مطابق با راهنمای نگارش، یا ۱۰ صفحه نشریه، با در نظر گرفتن تصاویر، جداول و پیوست‌ها است.

**مشخصات:** عنوان مقاله باید نسبتاً کوتاه (حداکثر ۱۵ کلمه) و منعکس‌کننده تمام ویژگی‌های اصلی پژوهش باشد. نام و نام خانوادگی، وابستگی سازمانی و پست الکترونیکی پدید آورندگان، مطابق رویه نشریه، در زیر عنوان مقاله آورده می‌شود (نام فردی که مکاتبات با او صورت خواهد گرفت، با ستاره یا خط مشخص شده و نشانی کامل پستی و تلفن نویسنده مسئول (ثابت و همراه) نیز ذکر شود).

**چکیده:** چکیده فارسی باید دارای ساختار استاندارد و حداکثر ۳۵۰ کلمه باشد. چکیده، ترجیحاً در یک بند (پاراگراف)، و به صورت یک ستونی به عرض ۱۸ سانتی‌متر (فاصله متن از بالا، پایین و راست صفحه ۲ سانتی‌متر، چپ ۱ سانتی‌متر) عرضه می‌شود. حداکثر ۸ کلیدواژه بعد از چکیده می‌آید. از رجوع به منابع و آوردن شکل در چکیده، خودداری شود.

**متن:** بدنه مقاله به صورت تک ستونی تهیه می‌شود. فاصله سطرها در همه جا معمولی (single) است. طول صفحه ۲۵ سانتی‌متر است. از آوردن واژه‌های انگلیسی (به‌جز مواردی چون اسامی، ذکر منبع و گونه‌های فسیل‌ها)، اجتناب شود. واحدهای مورد استفاده، در سیستم متریک است (در صورت استفاده از واحد دیگر، معادل متریک آن ذکر شود).

**شکل‌ها و جدول‌ها:** کلیه شکل‌ها، نمودارها و عکس‌ها با عنوان شکل، عرضه می‌شوند. این قسمت‌ها باید اصل و دارای کیفیت بالا باشند. ذکر مأخذ مواردی که از منابع دیگر گرفته شده، الزامی است. نحوه تدوین جدول‌ها راست به چپ و متن آنها به فارسی است. از آنجا که مطالب مجله در ستون‌های ۸/۵ سانتی‌متری (دو ستونه) و ۱۸ سانتی‌متری (تک ستونه) آراسته می‌شوند، لازم است شکل‌ها و جدول‌ها حداکثر با عرض ۱۸ (شکل‌های بزرگ‌تر) یا ۸/۵ سانتی‌متری (شکل‌های کوچک‌تر) ارائه شوند. ارسال اصل شکل‌ها و نمودارها به لحاظ کیفیت چاپ در محیط فتوشاپ با resolution ۶۰۰ از اهمیت خاصی برخوردار است. به دلیل محدودیت چاپ صفحات رنگی در نشریه، شکل‌ها هم به صورت رنگی و هم سیاه و سفید (قسمت‌های مختلف با هاشور و ... و سایه روشن‌های مختلف از هم تفکیک شوند) تا در صورت استفاده از عکس‌های سیاه و سفید، مشکلی در تشخیص بخش‌های مختلف شکل به وجود نیاید.

**مراجع:** رجوع به منابع در متن مقاله به صورت نام خانوادگی نویسنده و تاریخ نشر در داخل پرانتز نشان داده می‌شود. فهرست مراجع به ترتیب حروف الفبا و به زبان اصلی در پایان مقاله، می‌آید. از آوردن منابع در انتهای مقاله بدون اشاره در متن و بالعکس جدا خودداری گردد (برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه نگارش انواع مراجع، به منابع راهنما، که در پایان همین صفحه آمده، مراجعه فرمایید\*).

- کتاب‌ها و گزارش‌ها: پدیدآورنده‌ها (نام خانوادگی و حرف اول نام)، تاریخ نشر، عنوان کتاب، ناشر، محل نشر، تعداد صفحات.

- مقاله‌ها: پدیدآورنده‌ها (نام خانوادگی و حرف اول نام)، تاریخ نشر، عنوان مقاله، نام نشریه، دوره یا جلد، شماره (سال)، شماره صفحات.

شماره ترتیب روابط داخل پرانتز نوشته می‌شود. از آوردن پاورقی خودداری شود، واژه‌های معادل (برای یک بار در متن) و موارد توضیحی کنار واژه مورد نظر در پرانتز آورده می‌شوند.

**معرفی انگلیسی:** در یک برگه جداگانه در انتهای مقاله؛ عنوان مقاله، نام پدیدآورنده‌ها، وابستگی سازمانی و پست الکترونیکی، به همراه چکیده و کلید واژه‌های انگلیسی می‌آید. چکیده و کلید واژه‌های انگلیسی برگردان کامل محتوی چکیده و کلید واژه‌های فارسی است.

### قلم‌های نگارش

موقعیت استفاده	اندازه	نوع قلم
عنوان مقاله	۱۶	B-Titr، سیاه
نام پدیدآورندگان	۱۰	B-Titr، سیاه
وابستگی سازمانی پدیدآورندگان	۱۰	B-Lotus، نازک
متن چکیده و کلید واژه‌ها	۱۱	B-Zar، نازک
عنوان‌های اصلی	۱۰	B-Titr، سیاه
عنوان‌های فرعی	۹	B-Titr، سیاه
زیرنویس شکل‌ها و جدول‌ها	۱۱	B-Zar، نازک
متن مقاله و کتابنگاری	۱۲	B-Zar، نازک
واژه‌ها و منابع انگلیسی داخل متن مقاله	۸	Times new roman، نازک
چکیده و منابع انگلیسی انتهای مقاله	۱۰	Times new roman، نازک

**ارسال:** متن مقاله بر روی کاغذ A4، به صورت یک‌درو، مطابق رویه صفحه‌آرایی نشریه، سه نسخه چاپ شده؛ دو نسخه رنگی بدون نام و مشخصات نویسندگان و یک نسخه با نام و مشخصات کامل و محل کار نویسندگان مقاله همراه با آدرس کامل پستی، تلفن (همراه و ثابت) و نشانی پست الکترونیکی نویسنده مسئول؛ به همراه CD مقاله یا به صورت پست الکترونیکی به دو صورت Word و PDF، به دفتر نشریه ارسال می‌شود (مطلب ارسالی بازگشت داده نخواهد شد). همراه با مقاله، نامه تأییدیه از تمامی نویسندگان مقاله مبنی بر این که مقاله را ملاحظه و تأیید می‌نمایند همراه با امضا، ایمیل و تلفن آنها فرستاده شود. در نامه‌ای جداگانه چند خط راجع به نوآوری مقاله و لزوم چاپ آن توضیح داده شود. برای غنی‌تر شدن بانک اطلاعات داوران، در نامه همراه مقاله، نام و مشخصات حداقل ۳ نفر که در زمینه مقاله تخصص دارند آورده شود. در صورت نیاز به اصلاح مقاله، مقاله اصلاح شده همراه با CD و نامه مبنی بر پاسخ به نظرات داوران محترم، در دو نسخه (یک نسخه با نام و مشخصات نویسندگان و یک نسخه بدون نام و مشخصات نویسندگان) ارسال گردد. ذکر کد پیگیری مقاله بر روی مقالات اصلاح شده ضروری است.

**آدرس:** دفتر فصلنامه علوم زمین، تهران، میدان آزادی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تلفن ۶۴۵۹۲۲۹۹-۰۲۱

\***منابع راهنما:** به منظور استفاده پژوهشگران جوان، چند منبع راهنما جهت نگارش مقالات پژوهشی و همچنین اصول نگارش به زبان فارسی، از طریق وب‌گاه فصلنامه علوم زمین (<http://gs-journal.ir>) عرضه شده است.

# فرآوری فسفات‌های رسوبی و کم عیار منطقه دلیر به روش فلوتاسیون

صابر خوش جوان<sup>۱</sup>، بهرام رضایی<sup>۲</sup>، احمد امینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری، دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>۲</sup> استاد دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد گروه فرآوری مواد، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۰/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱۲/۰۳

## چکیده

در این تحقیق، فرآوری فسفات‌های رسوبی منطقه دلیر به منظور کاهش میزان کانی‌های باطله مانند کربنات، سیلیکات و افزایش عیار  $P_2O_5$  مورد بررسی قرار گرفت. طبق مطالعات خواص سنجی، کانی فسفات موجود در کانسنگ، از نوع کانی رسوبی و کولفان است که کلسیت و کوارتز، عمده باطله آن را تشکیل می‌دهند و عیار  $P_2O_5$  در نمونه‌های اولیه ۱۱/۹۹٪ بود. بر اساس مطالعات انجام شده با روش‌های دانه‌شماری با میکروسکوپ نوری و غرق و شناورسازی درجه آزادی کانی آپاتیت حدود ۱۴۰ میکرون حاصل شد. نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون بدون پیش‌فرآوری نشان داد که فلوتاسیون بدون پیش‌تغلیظ امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل نمونه فسفات را ابتدا تکلیس و سپس سایش و پس از حذف اکسیدهای کلسیم و منیزیم، با روش فلوتاسیون آنیونی - کاتیونی مورد پرعیارسازی قرار گرفت. میزان نرمه در بخش‌های خردایش و سایش ۲۳/۵٪ از کل با توزیع حدود ۱۴/۵٪  $P_2O_5$  به دست آمد. پس از فلوتاسیون عیار، محصول نهایی به بیش از ۳۱٪  $P_2O_5$  با بازیابی حدود ۶۲٪ رسید. در پایان، ساختار (فلوشیت) پیشنهادی آزمایشگاهی ارائه شد.

**کلید واژه‌ها:** فسفات، تکلیس، سایش و فلوتاسیون

\*نویسنده مسئول: صابر خوش جوان

E-mail: S.khoshjavan@gmail.com

## ۱- مقدمه

در بیشتر تحقیقات برای کاهش میزان کربنات کلسیم از سنگ‌های فسفاتی، روش‌های فلوتاسیون و کلسیناسیون را به کار گرفتند (Abouzeid, 2008). Hignett et al. (1977) دریافتند که فلوتاسیون فسفات‌های رسوبی زمانی خوب انجام می‌گیرد که کربنات‌ها به خوبی متبلور شده باشند در غیر این صورت نتایج فلوتاسیون رضایت‌بخش نخواهد بود. کانه‌های فسفاتی در شمال آفریقا و خاور دریای مدیترانه مثال‌هایی از این نوع کانسارها هستند که در آنها بلورهای کربنات در داخل یکدیگر هم‌رشدی یافته و برای آزاد شدن ذرات فسفات جهت فلوتاسیون کانه باید تا ابعاد بسیار ریزی آسیاب شود (Prasad et al., 2000).

به‌رحال بحث‌های فوق، دلالت بر آن دارد که موضوع جدایش کربنات‌ها از فسفات‌ها در سنگ‌های فسفاتی بسیار پیچیده است که البته تحقیقات مختلفی نیز برای حل این مسئله انجام شده است (Abouzeid, 2008; Prasad et al., 2000). Good, 1976) اخیراً در فرایندهای تجاری از فلوتاسیون دومارحله‌ای استفاده شده است، فرایند کارگو روش مناسب برای کاهش میزان دولومیت در سنگ فسفاتی نیست. در طول چند دهه گذشته، مطالعاتی توسط پژوهشگران مختلف در صنایع فسفات فلوریدا و دره تنسی انجام شده و فرایندهای مختلفی ارائه شده است. به هر حال این فرایندها، در مقیاس نیمه‌پیوسته (نیمه صنعتی) برای جدایش به خوبی کار نشده است (Prasad et al., 2000).

اخیراً پژوهشگران نشان دادند که می‌توان فرایندهای دو مرحله‌ای را به طور مؤثری برای جدایش آپاتیت از دولومیت به کاربرد. گستره این مطالعات پرعیارسازی در مقیاس نیمه‌پیوسته است. همچنین Zhong et al. (1991) متغیرهای مختلف را با واکنش‌گرهای مختلف در سه مرحله فلوتاسیون بررسی کرده‌اند (Prasad et al., 2000).

مطالعاتی که توسط Wang (2004) در دانشگاه یوتا انجام گرفت نشان داد که می‌توان با استفاده از کلکتورهای آلکیل هیدروکسامیک اسید در محدوده pH حدود ۶/۵ به راحتی فسفات‌ها (آپاتیت و فرانکولیت) را از باطله‌های سیلیکاتی و کربناتی با میزان بازیابی بالا (بالای ۹۰٪) فرآوری نمود. نوع هیدروکساماتی که در این تحقیق به کار گرفته شده بود، اسید اکتیل هیدروکسامیک کریستالی ساخت شرکت ساینتک بود. منحنی شکل ۱ نشان می‌دهد که میزان انتخابی بودن این کلکتور نسبت به روش‌های

از دیدگاه اقتصادی محصول پرعیار مصرفی فسفات باید عیار بالای ۳۰٪  $P_2O_5$  را داشته باشد و نسبت  $CaO/P_2O_5$  بین ۱/۴ تا ۱/۶ باشد. کاربردهای عمده فسفات‌ها در صنایع نظامی، تهیه کود شیمیایی و مواد غذایی است (Baudet, 1998). ایالات متحده آمریکا، روسیه، چین، مراکش و تانزانیا و برزیل بیش از ۸۰٪ کل فسفات دنیا را تولید می‌کنند. ایالات متحده و روسیه بیشترین مصرف‌کننده و مراکش، چین و تانزانیا بزرگ‌ترین صادرکننده فسفات هستند (Mobbs et al., 2007). منطقه خاورمیانه در سال ۲۰۰۷ حدود ۹٪ از کل فسفات تولیدی دنیا را تولید کرده که عمده‌ترین کشورهای تولیدکننده در این منطقه سوریه، اردن و عربستان سعودی هستند (Mobbs et al., 2007). مجموع ذخایر کانسارهای فسفات شناخته شده در ایران حدود ۶۲۳ میلیون تن است که در حال حاضر تنها از ۲/۵٪ آن بهره‌برداری می‌شود. بیش از ۹۰٪ از فسفات‌های ایران از نوع رسوبی می‌باشند (امینی و همکاران، ۱۳۸۶). تولید فسفات ایران طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۷ افزایش یافته به طوری که در سال ۲۰۰۷ به ۲۰ هزار تن در سال رسید و پیش‌بینی می‌شود که در سال ۲۰۰۹ به میزان ۳۰ هزار تن افزایش یابد (Mobbs et al., 2007). در سال ۲۰۰۷ قیمت سنگ فسفات به طور محسوسی از ۳۰/۴۷ به ۳۹/۵۹ دلار بر تن افزایش یافته است (Emigh, 2007). کانسار دلیر با ۲۳ میلیون تن ذخیره با عیار متوسط حدود ۱۲٪  $P_2O_5$  یکی از مهم‌ترین ذخایر فسفات ایران است (نمدمالیان و ملک زاده، ۱۳۶۳).

فلوتاسیون یکی از روش‌های مهم فرآوری فسفات است. بیش از ۶۰٪ از فسفات‌های تجاری در دنیا با روش فلوتاسیون فرآوری می‌شوند. با توجه به نوع باطله محتوی کانسنگ، روش‌های مختلف فلوتاسیون تجربه شده‌اند که عبارتند از (Abouzeid, 2008):

الف) باطله‌های سیلیکاتی: روش معمول برای فرآوری کانه‌های فسفاتی سیلیکاتی روش فلوتاسیون آنیونی-کاتیونی (روش کارگو) می‌باشد. اگر کانی‌های کربناته وجود داشته باشند، به محصول پرعیار فسفات انتقال خواهند یافت (Abouzeid, 2008).  
ب) باطله‌های کربناتی: کانی‌های فسفات و کانی‌های کربنات (عمدتاً کلسیت و دولومیت) ویژگی شیمی سطحی مشابهی دارند. به‌ویژه در فسفات‌های رسوبی ویژگی‌های شیمی سطحی کانی‌ها بسیار حساس و مشابه هم هستند. این امر باعث ایجاد مشکل در فرایند فلوتاسیون می‌شود (Abouzeid, 2008).

سستی بالا است. بر اساس شکل ۱ اختلاف بازیابی باطله و فسفات در روش استفاده از اسید چرب بسیار کم ولی در روش استفاده از هیدروکسامات بسیار بالا می باشد. کلسیناسیون روشی است که برای حذف کربنات از فسفات به کار گرفته می شود که در آفریقا و باختر ایالات متحده از کلسیناسیون برای کاهش مقدار باطله کربنات موجود در کانسنگ‌های فسفات استفاده شده است (Good, 1976). در این تحقیق امکان فرآوری فسفات‌های منطقه دلیر با فلوتاسیون بررسی شده است و نتایج حاصل نشان داد که با پیش فرآوری و فلوتاسیون می توان فسفات‌های رسوبی منطقه دلیر را فرآوری نمود.

## ۲- مواد

### ۲-۱. ویژگی‌های مواد مصرفی

در این تحقیق نمونه‌ای که توسط سازمان زمین شناسی به میزان ۴۰۰ کیلوگرم از تمام نقاط معدن به روش شطرنجی توسط گروه کانه آرای از منطقه دلیر برداشت شده بود، مورد آزمایش قرار گرفت و آزمایش‌های کانه آرای اعم از فرآوری و خواص سنجی بر روی نمونه‌های آماده‌سازی شده انجام گرفت.

نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج حاصل از مطالعات XRD نشان داد که کانی‌های عمده تشکیل دهنده کانسنگ عبارتند از آپاتیت، کلسیت، کوارتز و دولومیت.

مطالعات میکروسکوپی بر روی ۱۶ مقطع نازک نیز نشان داد که کانی‌های تشکیل دهنده سنگ نمونه آپاتیت، کربنات (عمدتاً کلسیت و مقداری دولومیت) و کوارتز هستند. کوارتزهای موجود در نمونه بسیار ریز بلور (قطعات چرتی با ابعاد ریزتر از ۱۰۰ میکرون) هستند. پلت‌های فسفاتی حاوی مقدار قابل توجهی میانبرهای (انکلوپون) کلسیت و دولومیت می‌باشند. ابعاد میانبرهای قطعات فسفاتی حدود ۷۰-۱۵ میکرون است (شکل ۲).

### ۲-۲. درجه آزادی

درجه آزادی که از مطالعات میکروسکوپی (دانه‌شماری میکروسکوپی) و آزمایش‌های غرق و شناورسازی برای کانی فسفاتی به دست آمد حدود ۱۴۰ میکرون است. میزان اتلاف فسفات در بخش نرمه خردایش حدود ۱۳ درصد وزن کل با توزیع عیاری ۸/۲۲٪  $P_2O_5$  می‌باشد (جدول ۲).

## ۳. انجام آزمایش‌ها

### ۳-۱. آزمایش‌های فلوتاسیون بدون پیش فرآوری

در این مرحله نمونه اولیه نرمه گیری شده بدون هیچ گونه عملیات پیش فرآوری تحت آزمایش‌های فلوتاسیون قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان داد که بدون پیش فرآوری، نتایج مطلوبی از روش فلوتاسیون حاصل نمی‌شود. حدود ۱۵ آزمایش فلوتاسیون تحت شرایط مختلف و با استفاده از مواد شیمیایی مختلف انجام شد و نتایج حاصل بیانگر عدم امکان تغلیظ بودند. بهترین نتیجه‌ای که در آزمایش‌های بدون پیش فرآوری حاصل شد، در جدول ۳ درج شده است.

شرایط انجام آزمایش فلوتاسیون:

(الف) فلوتاسیون مستقیم:

۱. کلکتور اولئات سدیم مرحله اولیه (۱۰۰۰ گرم بر تن)

۲. pH پالپ (۱۰)

۳. زمان آماده‌سازی (۳ دقیقه)

۴. دور همزن ۱۲۵۰ دور در دقیقه

۵. کف‌ساز MIBC (۲۰ گرم بر تن)

۶. سیلیکات سدیم (۱۰۰۰ گرم بر تن)

۷. درصد جامد ۲۰٪

(ب) فلوتاسیون معکوس:

۱. محیط اسیدی، pH پالپ (۴)

۲. کلکتور اولئات سدیم (۱۰۰۰ گرم بر تن)

۳. اسید اورتو فسفریک (۱۰۰۰ گرم بر تن)

۴. زمان آماده‌سازی (۳ دقیقه)

۵. دور همزن ۱۲۵۰ دور در دقیقه

۶. کف‌ساز MIBC (۲۰ گرم بر تن)

نتایج حاصل از آزمایش‌های اولیه نشان داد که عیار و بازیابی فلوتاسیون کانی فسفاتی بدون پیش فرآوری بسیار پایین (به ترتیب ۱۴/۶٪ و ۴۶/۸۲) است. دلایل پایین بودن عیار و بازیابی فلوتاسیون بدون پیش فرآوری می‌تواند موارد زیر باشد:

(۱) رسوبی و ریز بلور بودن کانی‌های تشکیل دهنده کانسنگ

(۲) خواص شیمی فیزیکی بسیار مشابه کانی‌های کربناتی و کانی آپاتیت. کانسنگ فسفات رسوبی منطقه دلیر حدود ۳۴/۵٪ کانی کلسیت و نزدیک ۴/۶۵٪ کانی دولومیت است.

(۳) مواد آلی سطح بیشتر ذرات را پوشش داده است، این امر می‌تواند دلیلی دیگر بر پایین بودن عیار محصول به دست آمده در مرحله فلوتاسیون بدون پیش فرآوری باشد. به هر حال با توجه به عیار کم محصول فلوتاسیون بدون پیش فرآوری موضوع به کارگیری روش‌های دیگر مدنظر قرار گرفت. به همین دلیل روش کلسیناسیون برای تقلیل کانی کربنات موجود در کانسنگ و مواد آلی به کار گرفته شد، تا شرایط برای تغلیظ بهتر نمونه شود.

### ۳-۲. آزمایش‌های پیش فرآوری

روش کلسیناسیون برای پیش فرآوری کانسنگ دلیر به کار گرفته شد. شرایط بهینه کلسیناسیون دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد، مدت زمان ۲ ساعت بود و ابعاد ذرات در این تحقیق حدود ۱۴۰ میکرون در نظر گرفته شد (محدوده درجه آزادی). البته یادآور می‌شود که ابعاد ذرات تأثیر آنچنانی بر روی میزان کلسیناسیون ندارد.

محصول تکلیس را سایش و نرمه‌گیری نموده، در این مرحله نیز حدود ۱۰/۵۷٪ وزن از کل با توزیع ۶/۴۲٪  $P_2O_5$  به صورت نرمه سایش اتلاف شد. میزان بازیابی فسفات تا این مرحله حدود ۸۵/۳۷٪  $P_2O_5$  بود (جدول ۴).

### ۳-۳. آزمایش‌های فلوتاسیون با انجام پیش فرآوری

– **شرایط انجام کار:** آزمایش‌ها در سلول‌های ۱ لیتری دور- الیور (Dorr-Oliver) با دور روتور ۱۲۰۰ دور در دقیقه انجام شد. میزان مصرف کف ساز در همه آزمایش‌ها حدود ۱۵-۲۰ گرم بر تن در نظر گرفته شد.

شرایط انجام آزمایش فلوتاسیون آبیونی کانی‌های فسفاتی:

(۱) درصد جامد ۲۰٪

(۲) کلکتور اولئات سدیم (۷۰۰ گرم بر تن)، روغن نفتی (۹۰۰ گرم بر تن)

(۳) pH پالپ (۱۱)

(۴) دور همزن (۱۲۵۰ دور در دقیقه)

(۵) زمان آماده‌سازی (۳ دقیقه)

(۶) کف‌ساز متیل ایزوبوتیل کربونیل (MIBC) (۲۰ گرم بر تن)

(۷) محلول NaOH به عنوان تنظیم کننده pH

شرایط انجام آزمایش فلوتاسیون کاتیونی کانی‌های سیلیکاته:

(۱) پلیمر پلی‌آکریل آمید آبیونی (۲۵ گرم بر تن)

(۲) کلکتور کاتیونی کو کوآمین استات (۵۰۰ گرم بر تن)

(۳) زمان آماده‌سازی (۲ دقیقه)

(۴) pH پالپ ۶

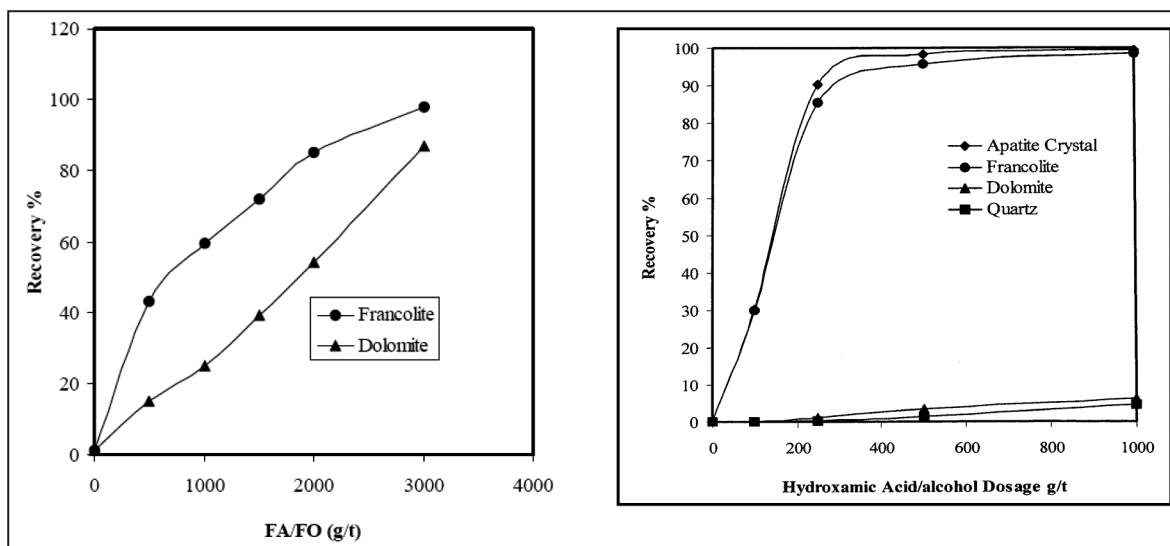
(۵) کف ساز متیل ایزو بوتیل کربونیل

بودن کانی‌های فسفاتی، امکان تغلیظ با فلوتاسیون بدون پیش‌فرآوری فراهم نشد، به همین دلیل، روش کلسیناسیون برای پیش‌فرآوری کانسنگ به کار گرفته شد. در روش فرآوری این تپ کانسارها استفاده از کلسیناسیون امری ضروری است. - بهترین روش برای فلوتاسیون کانسنگ فسفات دلیر روش فلوتاسیون دو مرحله‌ای آنیونی-کاتیونی تعدیل شده (کارگوی معکوس تعدیل شده) تشخیص داده شد. با این روش عیاری حدود ۳۱٪  $P_2O_5$  با بازیابی کلی حدود ۶۲٪  $P_2O_5$  حاصل شد. - به دلیل بالا بودن میزان سیلیس (بالای ۶٪)، محصول به‌دست آمده از این روش را می‌توان در صنایع تهیه کود شیمیایی فسفاتی به کار برد.

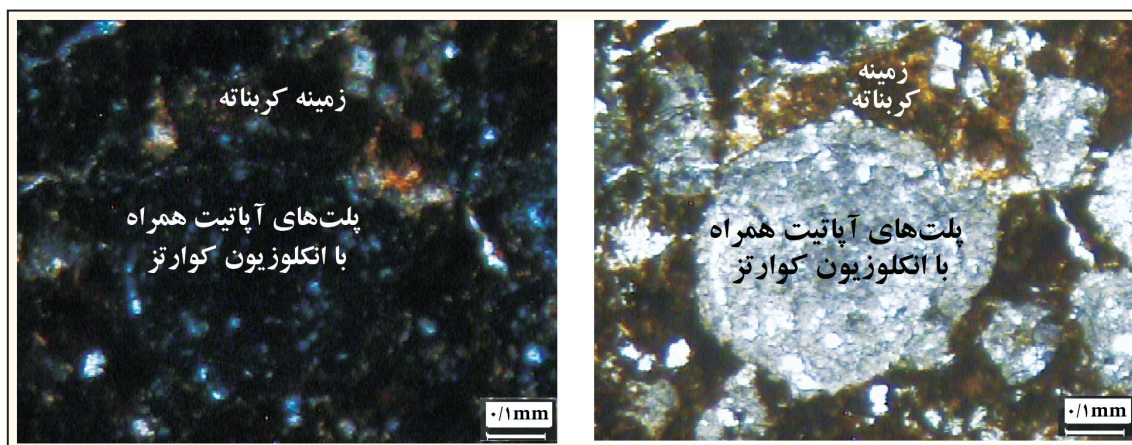
نتایج حاصل از آزمایش آنیونی-کاتیونی تعدیل شده به صورت جدول ۵ می‌باشد: عیار  $P_2O_5$  که در محصول پرعیار نهایی حاصل شد (جدول ۳) حدود ۲۹/۱۶٪ بوده و نسبت  $P_2O_5$  به CaO کمتر از ۱/۶ حدود ۱/۴۵ است که نتایج حاصله مناسب به نظر می‌رسد. نمای ساختار (فلوشیت) در شکل ۳ نشان داده شده است.

#### ۴- نتیجه گیری

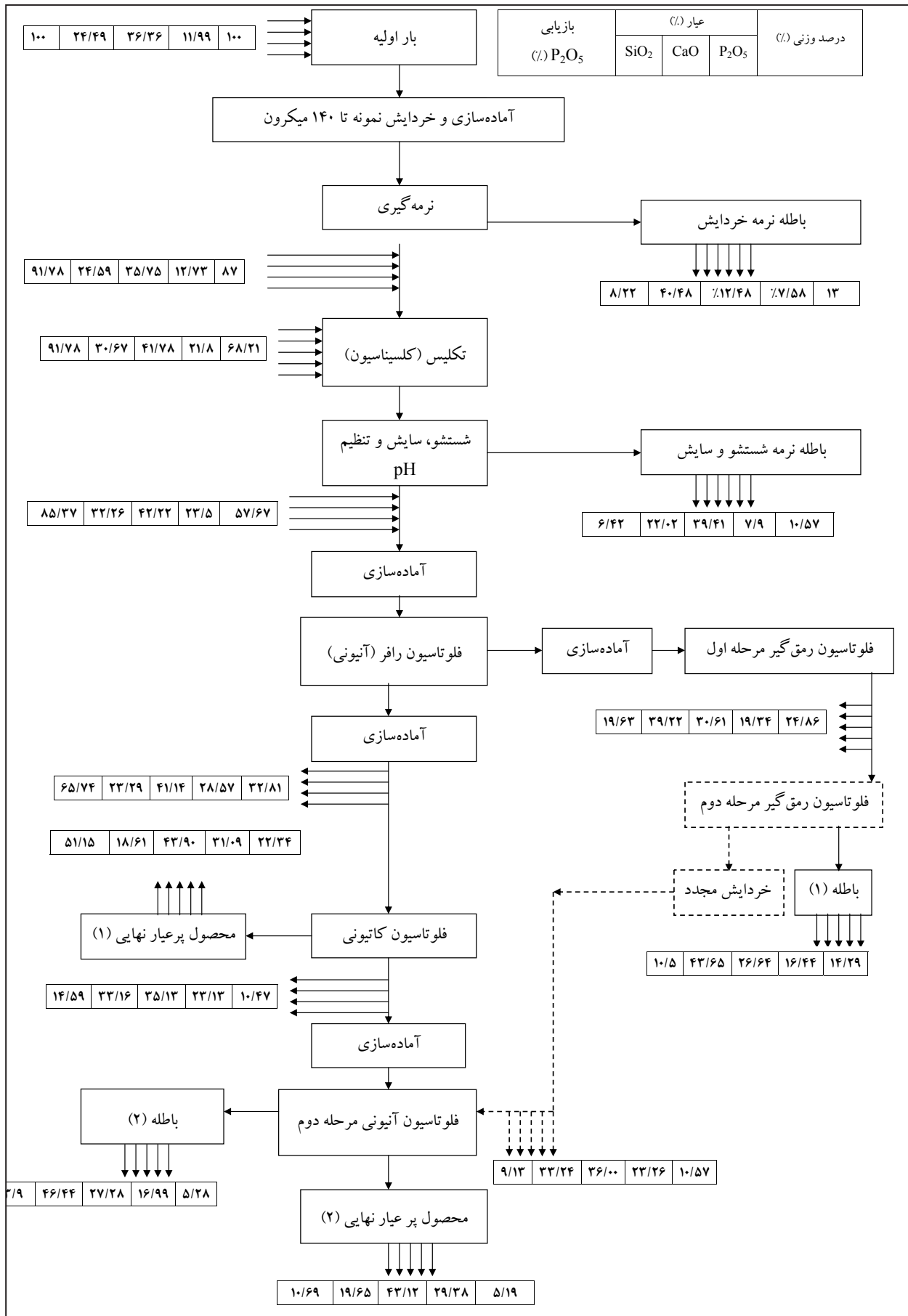
- با توجه به این که نمونه فسفات دلیر، حاوی مواد آلی قابل توجهی (بالای ۱/۶۶٪) بوده و به خاطر ویژگی‌های سطح مشترک کانی‌های کربناتی و آپاتیت و ریز بلور



شکل ۱- مقایسه بازیابی آپاتیت باطله‌های کربناتی و سیلیکاتی با استفاده از کلکتورهای هیدروکسامات و اسید چرب (Wang, 2004)



شکل ۲- پلت نسبتاً سالم (بدون حاشیه خوردگی در اثر فرایندهای دیاژنتیک) و درگیری تنگاتنگ و میکرونی آن با چرت ریز بلور (کوارتز)، چندین دانه ریز تر فسفات که اغلب بی‌شکل هستند در متن دیده می‌شود. همگی دانه‌ها در یک زمینه متشکل بر سیدریت (کربنات‌های آهن‌دار) قرار گرفته است. عکس نور عادی (عکس سمت راست) و عکس نور پولاریزه (عکس سمت چپ) و مقطع تهیه شده نازک می‌باشد.



شکل ۳- ساختار (فلوشیت) فرآوری نمونه کان‌سنگ فسفات رسوبی منطقه دلیر

جدول ۱- تجزیه شیمی تر نمونه کانسنگ فسفات دلیر

ترکیب مقدار (%)	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	L.O.I	جمع
	۲۴/۴۹	۱/۶۶	۱/۶۷	۳۶/۳۶	۱/۰۱	۱۱/۹۹	۰/۱	۰/۳۴	۰/۶۶	۲۱/۸۲	۱۰۰/۰۰

جدول ۲- عیار و توزیع عیاری نمونه در بخش نرمه و زبره مرحله خردایش (مواد زیر ۲۰ میکرون)

نوع محصول	درصد وزن (%)		عیار (%)			بازیابی P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	
	نسبی	کلی	SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	نسبی	کلی
نرمه ۲۰- میکرون	۱۳	۱۳	۲۳/۸۱	۴۰/۴۸	۷/۵۸	۸/۲۲	۸/۲۲
زبره ۲۰+ میکرون	۸۷	۸۷	۲۴/۵۹	۳۵/۷۵	۱۲/۷۳	۹۱/۷۸	۹۱/۷۸
جمع	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۲۴/۴۹	۳۶/۳۷	۱۲/۰۶	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمایش های فلوتاسیون بدون پیش فرآوری

نوع محصول	درصد وزن (%)		عیار (%)			بازیابی P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	
	نسبی	کلی	SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	نسبی	کلی
محصول بازداشتی با سیلیکات سدیم فلوتاسیون مستقیم	۲۷/۷۷	۲۴/۱۶	۱۴/۰۱	۳۵/۴۵	۲۶/۳۳	۲۸/۱۹	۲۵/۸۷
محصول شناور فلوتاسیون معکوس	۲۵/۰۵	۲۱/۸۰	۱۱/۲۴	۴۰/۹۶	۱۳/۸۲	۲۰/۸۰	۱۹/۰۹
محصول بازداشتی با اسید اور تو فسفریک فلوتاسیون معکوس	۴۷/۱۷	۴۱/۰۴	۱۴/۶۰	۳۹/۷۴	۲۶/۰۴	۵۱/۰۱	۴۶/۸۲
جمع	۱۰۰/۰۰	۸۷/۰۰	۱۳/۶۴	۳۹/۰۳	۲۳/۱۴	۱۰۰/۰۰	۹۱/۷۸

جدول ۴- عیار توزیع عیاری نمونه اتلاف شده در مرحله سایش

نوع محصول	درصد وزن (%)		عیار (%)			بازیابی P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	
	نسبی	کلی	SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	نسبی	کلی
نرمه مرحله سایش	۱۵/۵	۱۰/۵۷	۲۲/۰۲	۳۹/۴۱	۷/۹	۷	۶/۴۲
زبره مرحله سایش	۸۴/۵	۵۷/۶۴	۳۲/۲۶	۴۲/۲۲	۲۳/۵	۹۳	۸۵/۳۶
جمع	۱۰۰/۰۰	۶۸/۲۱	۳۰/۶۷	۴۱/۷۸	۲۱/۸	۱۰۰/۰۰	۹۱/۷۸

جدول ۵- نتایج حاصل از روش آتیونی - کاتیونی تعدیل شده

نوع محصول	درصد وزن (%)		عیار (%)			بازیابی P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	
	نسبی	کلی	SiO <sub>2</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	نسبی	کلی
محصول پرعیار نهایی	۵۵/۱۴	۳۱/۸۰	۲۸/۰۸	۴۲/۳۷	۲۹/۱۶	۶۴/۵۴	۵۴/۶۲
محصول شناور کاتیونی	۹/۴۶	۵/۴۵	۴۷/۶۶	۲۸/۰۹	۲۰/۰۱	۷/۵۹	۶/۴۸
محصول شناور رمق گیر	۴/۶۶	۲/۶۹	۳۴/۳۸	۳۳/۲۶	۲۰/۹۱	۳/۷۵	۳/۲۰
باطله نهایی	۳۰/۷۴	۱۷/۷۳	۳۷/۴۴	۳۰/۰۹	۱۹/۵۴	۲۴/۱۰	۲۰/۵۷
جمع	۱۰۰	۵۷/۶۷	۳۳/۱۰	۳۶/۸۲	۲۴/۵۰	۱۰۰	۸۴/۸۷

## کتابخانه

امینی، ا.، عبداللهی، ه.، شمسی، پ.، ۱۳۸۶- بررسی امکان پرعیار سازی فسفات موندون-گروه کانه آرایبی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.  
 نمدالیان، ع.، ملک زاده، ل.، ۱۳۶۳- گزارش اکتشافی کانسار دلیر (مطالعات نیمه تفصیلی)، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور- طرح اکتشافات فسفات.

## References

- Baudet, G., 1998- The processing phosphate ores, Chorn Rech. Min., Numero special. "phosphates", pp, 67-97.
- Mobbs, P. M., Wallace, G. J., Wilburn, D. R. and Yager, T. R., 2007- The Mineral Industries of the Middle East , U.S. Geological Survey, Minerals Yearbook.
- Emigh, D.C., 2007- "Phosphate Rock, Industrial Minerals and Rocks", 7<sup>th</sup> Edition.
- Abouzeid, A.-Z. M., 2008- Physical and thermal treatment of phosphate ores An overview, Int. J. Miner. Process. 85. VOL. 59-84.
- Prasad, M., Majumder, A. K. and Rao, T.C., 2000- Reverse flotation of sedimentary calcareous/dolomitic rock phosphate-an review, minerals and metallurgical processing, VOL.17. No.1
- Good, P.C, 1976- Beneficiation of Unweathered Indian calcareous phosphate rock by calcination and hydration, RI 8154, US Bureau of Mines, pp. 1-17
- Wang, Xu., 2004- The surface chemistry of phosphate mineral flotation with alcohol solutions of oktyl hydroxamic acid, Thesis doctor of philosophy, department of metallurgical engineering, university of Utah.