

امکان‌سنجی پریارسازی ثقلی زیرکن اسکله میامی ساحل دریای عمان جهت تهیه ماده اولیه آلیاژ زیرکالوی غلاف سوخت هسته‌ای

محمودرضا عبدیان^۱، عبدالمطلب حاجتی^۲، سید ضیاءالدین شفائی^۳، کمال صابریان^۴

^۱ کارشناس ارشد فرآوری مواد معدنی، شرکت فنی مهندسی زمین‌پردازان، Email: abadian@zaminpardazan.com، تلفن: ۰۹۱۲۷۵۰۳۳۰۸

^۲ عضو هیات علمی دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده فنی مهندسی اراک، گروه معدن، Email: am_hajati@yahoo.com

^۳ عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شاهرود

^۴ عضو هیات علمی آزمایشگاه‌های تحقیقاتی جابراین حیابان - سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

کاربردهای متنوع زیرکن در صنعت، خصوصاً در صنایع هسته‌ای و تهیه غلاف سوخت، باعث شده تا امروزه این کانی مورد توجه ویژه‌ای جهت فرآوری قرار گیرد. در این راستا ایران نیز گام‌های نخستین خود را جهت فرآوری زیرکن برداشته است که بخشی از آن، پریارسازی زیرکن ساحل اسکله میامی (از نواحی ساحلی دریای عمان) می‌باشد. روش‌های پریارسازی ثقلی از جمله روش‌های ارزان و کاربردی در جدایش کانی‌های با وزن مخصوص بالا از کانی‌های سبک می‌باشند. با توجه به معیار جدایش ۲/۲۴ زیرکن نسبت به کوارتز (طبق قانون تاگارت) و سابقه استفاده از دستگاه‌های جداکننده ثقلی در کانه‌آرایی کانیهای سنگین، ماریپیچ و میز لرزان جهت جدایش ثقلی استفاده شده است. پس از نمونه‌برداری، تهیه نمونه معرف، همگن‌سازی، دانه‌بندی، عیارسنجی، مطالعات میکروسکوپی و تعیین درجه آزادی، نتایج حاصل جهت طراحی فرایند جدایش بکار گرفته شد. نمونه‌های ساحلی بطور متوسط دارای عیار ZrO_2 ۵/۹٪ و شامل کانی‌هایی نظیر زیرکن، تیتان، ایلمنیت، منیتیت، مونازیت، کرومیت و کوارتز می‌باشند که بیش از ۸۰٪ کانی‌های سنگین موجود، بطور طبیعی آزاد شده‌اند. پس از انجام آزمایشات، کنسانتره فرایند جداسازی ثقلی دارای عیار ۱۵/۲٪ و بازیابی کلی ۹۸/۳۱٪ است که این میزان، برای خوراک تجهیزات فرآوری با روش‌های دیگر نظیر جدایش مغناطیسی و الکترواستاتیکی بسیار مناسب می‌باشد.

کلمات کلیدی: کانی‌های سنگین، زیرکن، جدایش ثقلی، ماریپیچ، میز لرزان، میامی

Gravity Separation Of Zircon From Oman Beach Placers (Mayamey) To Provide Primary Materials Of Nuclear Casing

M.R.Abdian, A.Hajati, Z.Shafaie, K.Saberian

Abstract

The use of Zircon in nuclear industries caused to give attention to ore processing activities. Iran pace first steps for zircon processing that mayamey (Oman beach placers) is a part of this project. Gravity separation methods are cheap and applied methods in separation of high and low density particles. With attention to 2.24 C.C Zircon/Quartz and use of gravity separators in beach placers processing, spiral and shaking table were used. After sampling, preparing, granulometry, assaying, microscopic and degree of liberation studies were achieved. In Oman beach placers (mayamey), heavy minerals such as Zircon, Ilmenite, Rutile, Magnetite, and Chromite were recognized that over than 80 percent of those got to suitable degree of liberation. The average grade of ZrO_2 in beach placers was 5.9% and in achieved tests, total recoveries were obtained 98.31 and final grades 15.2. With due regarded results, can used the concentration in the other ore processing methods (magnetic and electrostatic separation).

Key words: Heavy minerals, Zircon, Gravity separation, Spiral, Shaking table, mayamey

به منظور طراحی فرایند جدایش کانی‌ها در مراحل اولیه، باید اطلاعات کافی از خواص و مشخصات کانی‌های هدف و کانی‌های همراه داشت. سپس با شناسایی موارد اختلاف بین کانی‌ها اقدام به طراحی فرایند جدایش آنها از همدیگر می‌گردد. یک کانی ممکن است به روش‌های مختلفی پرعیار شود، ولی همواره سعی در استفاده از ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش می‌باشد. ساده‌ترین و ارزان‌ترین آنها، روش‌هایی است بر اساس تفاوت در خصوصیات فیزیکی کانی‌ها بنا نهاده شده است.

ذخایر پلاستیکی دلیل تجمع بسیاری از کانی‌ها و فلزات باارزش، بعنوان یکی از انواع ذخایر مواد معدنی با کاربردهای متنوع در صنعت، شناخته شده و بسیار قابل توجه می‌باشند. این کانی‌ها که دارای وزن مخصوص بالا، مقاومت شیمیایی و مکانیکی زیادی هستند، قادرند توسط آب یا باد در سواحل دریاها، رودخانه‌ها و یا در بیابانها تشکیل ذخایر پلاستیکی دهند. کانی‌های مهمی که بصورت پلاستیک یافت می‌شوند عبارتند از: زیرکن، ایلمنیت، روتیل، منیتیت، کاستریت، موناژیت، الماس، طلا، پلاتین، سینابر و گارنت. از آنجا که زیرکن به دلیل وزن مخصوص بالا در گروه کانی‌های سنگین جای دارد، لذا استفاده از روش‌های ثقلی مناسب‌ترین گزینه در مراحل ابتدایی کانه‌آرایی خواهد بود. با نگاهی به فلوشیت کارخانه‌های فرآوری زیرکن دنیا، ملاحظه می‌شود که عمده‌ترین روش بکار رفته در مراحل اولیه پرعیارسازی زیرکن، استفاده از روش‌ها و تجهیزات ثقلی است.

۱- مشخصات منطقه‌ای و زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی $60^{\circ}15'$ و $61^{\circ}30'$ و عرض جغرافیایی $25^{\circ}00'$ و $25^{\circ}15'$ در امتداد خط ساحلی دریای عمان قرار دارد. زمین‌شناسی این منطقه بیشتر تحت تاثیر کوههای مکران قرار گرفته است. «مکران» شامل کوه‌های خاوری - باختری است که از سواحل دریای عمان تا فروافتادگی جازموریان دنباله دارد. اسنید (۱۹۷۰)، مکران را به سه واحد فیزیوگرافی پادگانه‌های دریایی به موازات ساحل، نهشته‌های آبرفتی شمال پادگانه‌ها و تپه‌ها و بلندی‌های مکران تقسیم می‌کند. از نظر لیتولوژی تراسهای ساحلی که در امتداد خط فعلی ساحلی قرار دارند از ماسه سنگ و کنگلومرا و لایه‌های صدفی آهکی که تماماً متعلق به نقاط کم عمق دریای پلیوسن می‌باشند تشکیل شده‌اند [۱].

۲- روش‌های آزمایشگاهی

برای مطالعه ماسه‌های ساحلی دریای عمان و بررسی کانه‌آرایی آن بصورت مطالعات اکتشافی - کانه‌آرایی در فواصل تقریبی (۷۰۰-۵۰۰) متر از عمق (۳۰-۱۰) سانتی‌متر شنه‌های ساحل نمونه برداری گردیده است. سپس هر یک از آنها مورد آنالیزهای مختلف قرار گرفته‌اند. به منظور طراحی فرایند جدایش کانی‌ها در مراحل اولیه باید اطلاعات کافی از خواص و مشخصات کانیهای مورد نظر و کانی‌های همراه داشت. لذا مطالعات آزمایشگاهی متفاوتی بدین منظور انجام پذیرفت.

۲-۱- آماده‌سازی نمونه‌ها و بررسی‌های کانی‌شناسی و درجه‌آزادی

پس از همگن‌سازی و آماده‌سازی نمونه‌ها، تحقیقات میکروسکوپی همراه با سایر آنالیزهای XRF، XRD به منظور شناسایی کانی‌ها، نحوه درگیری و بررسی درجه‌آزادی آنها انجام گردید. از نتایج آنالیز سرندهی و XRF چنین برمی‌آید که نمونه معرف ساحل میامی دارای عیار ZrO_2 ۵/۹٪ بوده و تمرکز کانیهای محتوی ZrO_2 در زیر سرنده ۶۰ مش پرعیار تر شده و به حدود ۶/۲٪ رسیده است. نتایج XRD نمونه‌ها نیز بیانگر وجود کانی‌هایی نظیر زیرکن، ایلمنیت، منیتیت، کلسیت، کوارتز، همتایت، رس، کرومیت، دولومیت و یووارویت بوده است. از نظر مطالعات میکروسکوپی نیز وجود کانی‌های سنگینی نظیر زیرکن، ایلمنیت، روتیل، منیتیت، همتایت، موناژیت و کرومیت تایید شده است که همگی آنها دارای میزان قابل توجهی می‌باشند، و طی مطالعات انجام‌شده بیش از ۸۰٪ آنها به درجه آزادی مناسب رسیده‌اند. از نظر توزیع فلزات سنگین، اختلاف قابل توجهی در میزان تمرکز آنها در ابعاد شناسایی شده است، که قابلیت جدایش و کانه‌آرایی آنها توجیه‌پذیر می‌نماید [۳].

۲-۲- مطالعات پرعیارسازی ثقلی

زیرکن در کانسارهای ماسه ساحلی همراه کانی‌های سنگین نظیر کانه‌های تیتانیوم، مونازیت، گارنت، تورمالین و ... می‌باشد و کانی باطله غالباً کوارتز است. به همین دلیل روش ثقلی تر به عنوان روش اصلی پرعیارسازی اولیه با توجه به حجم بالای کوارتز در این نوع کانسارها می‌باشد [۲]. با توجه به قانون تاگارت معیار پرعیارسازی ۲/۲۴ جهت جدایش ثقلی زیرکن از کوارتز برای ذرات زیر ۱۰۰ مش امکان پذیر می‌باشد. محدوده ابعادی منطقه میامی پس از عبور از سرند کنترل، ۶۰ مش است لذا ابعاد مناسبی جهت جدایش ثقلی است.

۲-۲-۱- ماریپیج همفری

ماریپیج همفری از سال ۱۹۴۳ میلادی تا کنون در کانه‌آرایی دارای کاربردهای مختلفی بوده است، و بیشترین کاربرد آن نیز در فرآوری کانسارهای ماسه ساحلی مانند: ماسه‌های ایلمنیت‌دار، روتیل‌دار، زیرکن‌دار و مونازیت‌دار بوده است [۲]. جهت دستیابی به بیشترین بازدهی توسط ماریپیج در آزمایش‌های اولیه مقادیر بهینه برخی پارامترها از قبیل غلظت پالپ ورودی (۲۰٪)، نحوه باردهی خوراک (آماده‌سازی جداگانه) و نرخ جریان سیال (بیشینه نرخ جریان) به صورت شهودی تنظیم گردیده است.

۲-۲-۱-۱- مرحله اول ماریپیج

محصول بدست آمده از سرند (محصول زیر سرند ۶۰ مش) پس از آماده‌سازی در ظرف تشتکی با غلظت ۲۰٪ جامد توسط ماریپیج اول مورد پرعیارسازی واقع گردید. همانطوری که از نتایج (جدول ۱) برمی‌آید، میزان پرعیارسازی ماریپیج در این مرحله حدود ۱٪ می‌باشد ولی بازیابی قابل توجهی بدست آمده است. با توجه به نتایج حاصل شده از آزمایش اول مشاهده می‌گردد که عیار ZrO_2 در باطله بالا است به همین دلیل باطله این مرحله بایستی مورد آزمایش دوباره ماریپیج قرار گیرد.

۲-۲-۱-۲- مرحله دوم ماریپیج

باطله بدست آمده از جداکننده ماریپیج اول، خوراک این مرحله از جدایش توسط ماریپیج شده است. با وجود اینکه عیار ZrO_2 در باطله ماریپیج دوم مقدار قابل توجهی است، ولی توزیع زیرکن در آن پایین است لذا بایستی باطله این جداکننده به مدار بازیابی نهایی باطله فرستاده شود. مراحل جدایش در فلوشیت پیشنهادی توسط ماریپیج در شکل ۳ آورده شده است.

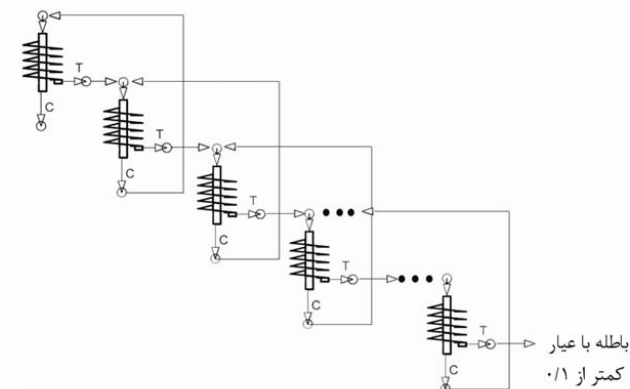
جدول ۱- نتایج حاصله تا پایان آزمایشات پرعیارسازی توسط ماریپیج

نام مرحله	عیار ZrO_2 در خوراک (%)	عیار ZrO_2 در کانسانتزه (%)	عیار ZrO_2 در باطله (%)	بازیابی ماریپیج (%)	توزیع زیرکن در کانسانتزه (%)
مرحله اول ماریپیج	۶/۲	۷/۳	۵/۰۴	۹۴/۱۵	۹۲/۹۶
مرحله دوم ماریپیج	۵/۰۴	۶/۳	۴/۳	۵۸/۳۱	۳/۳۷

منظور از توزیع زیرکن، روند توزیع آن از ابتدای فرایند پرعیارسازی تا مرحله مورد نظر می‌باشد.

محصول زیر سرند کنترل (۶۰ مش) پس از هر بار عبور از ماریپیج حدود ۱٪ مورد پرعیارسازی قرار می‌گیرد اما بازیابی فرایند به میزان قابل توجهی بالاست. در هر مرحله با توجه به عیار بالای زیرکن در باطله بایستی پرعیارسازی باطله تکرار گردد لذا مجموعه-ای از ماریپیج‌ها با سرریز جریان مخالف (CCD) جهت رسیدن به عیار زیر ۰/۱٪ مورد نیاز خواهد بود. طی محاسبات بعمل آمده با ضریب کاهش عیار ۱/۱۷ حدود ۲۶ ماریپیج جهت رمق‌گیری باطله در مجموعه CCD مورد نیاز می‌باشد.

۲۶ = تعداد ماریچج جهت رمق گیری → $1/17 =$ ضریب کاهش عیار نمونه در ماریچج



شکل ۱- مجموعه‌ای از ماریچج‌ها با سرریز جریان مخالف (CCD) جهت رمق‌گیری باطله ماریچج

۲-۲-۲-۲- میز لرزان

میز لرزان در بین وسایل جدایش ثقلی از موثرترین آنها می‌باشد. از این وسیله جهت آرایش مواد نسبتاً دانه‌ریز و همچنین آرایش نهایی موادی که با سایر روش‌های ثقلی پرعیار شده‌اند، استفاده می‌شود [۳]. در اکثر فرایندهای فرآوری مواد معدنی و طراحی مدار فلوشیت آن، تلاش می‌شود تا در ابتدا بازیابی کانه مورد نظر در بالاترین سطح ممکن انجام گردد و در مراحل بعدی، فعالیت کانه‌آرایی بر پرعیارتر نمودن کنسانتره متمرکز شود. در این تحقیق نیز ماریچج به عنوان دستگاهی جهت بالا بردن بازیابی و میز لرزان جهت افزایش عیار زیرکن در ماسه‌های ساحلی در نظر گرفته شده است.

جهت تنظیم و بدست آوردن مقادیر بهینه پارامترهای موثر، برخی مقادیر ثابت در نظر گرفته شدند [دانه‌بندی خوراک (۶۰-مش)، غلظت پالپ (۲۰٪ جامد) و دامنه و فرکانس میز (۲۰ mm و ۲۶۰ نوسان در دقیقه)] و شیب میز (شیب ۲-۴ درجه طولی و ۸-۱۰ درجه عرضی)، دبی پالپ $1/2 \text{ m}^3/\text{h}$ و دبی آب $3/6 \text{ m}^3/\text{h}$ پس از انجام آزمایشات متعدد بهینه‌سازی، به عنوان مقادیر بهینه انتخاب گردیدند.

کنسانتره حاصل از عملیات پرعیارسازی به روش ماریچج به عنوان خوراک وارد اولین واحد میز لرزان می‌گردد. محصولات کنسانتره، میانی و باطله حاصل از میز هر کدام بار دیگر توسط میز مورد پرعیارسازی قرار می‌گیرند.

۲-۲-۲-۲- مرحله اول میز لرزان

جهت افزایش عیار نمونه، کنسانتره حاصل از عملیات پرعیارسازی به روش ماریچج به عنوان خوراک وارد اولین دستگاه میز لرزان شده است. از نتایج حاصل شده از آزمایش‌های اولیه جهت بهینه‌سازی مقدماتی، در تنظیم شرایط مختلف استفاده گردیده است. کنسانتره حاصل حاوی $10/3 \text{ ZrO}_2$ می‌باشد ولی بازیابی آن تقریباً پایین (۶۶/۸۳٪) است. میزان پرعیارسازی بیشتر میز نسبت به ماریچج کاملاً آشکار است ولی بازیابی این دستگاه جداکننده کمتر از ماریچج می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که در کل، میز لرزان به علت کارایی جدایش^۱ (SE) بیشتر نسبت به ماریچج، وسیله مناسب‌تری می‌باشد. کارایی جدایش میز و ماریچج حدود ۳۵ و ۳۰٪ و بازیابی آنها به ترتیب ۷۱/۸۹ و ۹۸/۸٪ می‌باشد، که نشانگر این مطلب است که با وجود بازیابی بالاتر ماریچج، به علت پرعیارسازی بیشتر میز لرزان، میز وسیله مناسب‌تری جهت پرعیارسازی ثقلی زیرکن می‌باشد. لازم بذکر است که، میز لرزان به انرژی بیشتری جهت جدایش ذرات نیاز دارد درحالی‌که ماریچج به انرژی چندانی نیاز ندارد. در مطالعات فنی اقتصادی بایستی علاوه بر هزینه‌های اولیه، هزینه‌های جاری دستگاهها را نیز مد نظر قرار داد.

۲-۲-۲-۲- مرحله دوم میز لرزان

در این مرحله، باطله حاصل از عملیات میز لرزان مجدداً مورد فرآوری به روش میز قرار گرفته است. در این مرحله شیب عرضی و طولی میز، بدلیل بالا بودن میزان باطله حدود ۸ و ۲ درجه تنظیم گردید تا مواد فرصت کافی برای جدایش داشته باشند و مدت زمان بیشتری نیز بر روی میز باقی بمانند.

با بررسی کارایی جدایش جهت انتخاب دستگاه مناسبتر جهت پرعیارسازی و افزایش بازیابی زیرکن از باطله، نتیجه‌گیری می‌شود که کارایی جدایش میز و ماریچ به ترتیب ۷۰/۲۸ و ۲۹/۰۶ درصد و بازیابی آنها به ترتیب ۶۳/۸۰ و ۵۸/۳۱ درصد می‌باشد.

۲-۲-۲-۳- مرحله سوم میز لرزان

محصول میانی حاصل از فرایند پرعیارسازی مرحله اول در این مرحله، بار دیگر توسط میز پرعیارسازی می‌شود. شرایط آزمایش در این مرحله مشابه آزمایش میز مرحله اول است تا در صورت لزوم این مرحله در طراحی فلوشیت حذف گردد و محصول میانی مرحله اول دوباره به عنوان بار در گردش بر روی میز اول ریخته شود. از نتایج، چنین برمی‌آید که عیار ZrO_2 موجود در کنسانتره بطور قابل توجهی بالا رفته و محصول میانی نیز بایستی دوباره بر روی همان میز ریخته شود، باطله نیز باید به مدار بازیابی باطله، یعنی مرحله دوم میز لرزان فرستاده شود.

۲-۲-۲-۴- مرحله چهارم میز لرزان

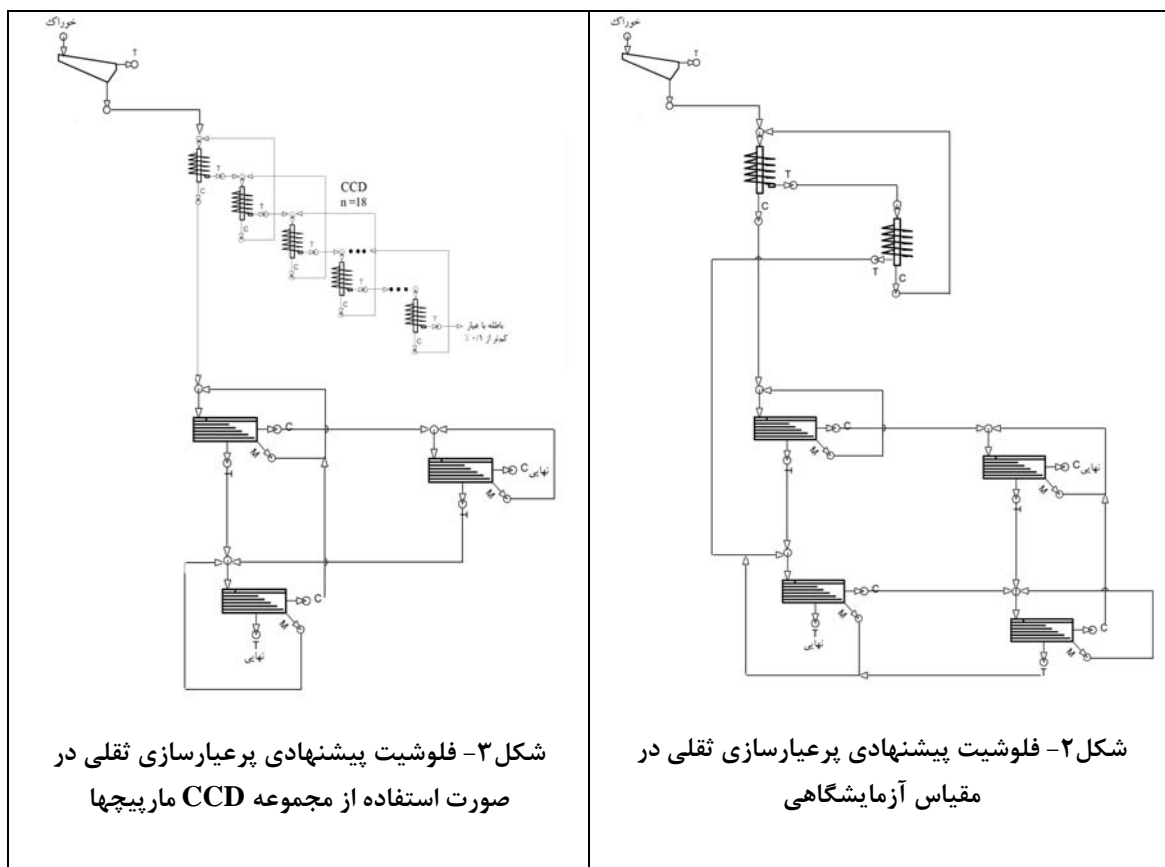
در این مرحله محصول کنسانتره پرعیار تولید خواهد شد زیرا محصول کنسانتره میز اول دوباره مورد فرآوری به روش میز قرار می‌گیرد. عیار ZrO_2 کنسانتره نهایی فرایند پرعیارسازی ثقلی، که در این مرحله حاصل شده ۱۵/۲٪ می‌باشد.

نتایج حاصله حاکی از آن است که عیار کنسانتره نهایی بطور قابل توجهی بالا رفته و عیار در باطله نهایی پایین‌تر از ۰/۲٪ است به همین دلیل پرعیارسازی تکرار نمی‌گردد. با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی و درصد بالای کانی‌های مغناطیسی ۱۶-۱۵٪، عیار مناسبی جهت فرآوری بروش مغناطیسی و الکترواستاتیکی می‌باشد.

در جدول ۲ نتایج آزمایش‌های میز لرزان ذکر گردیده است. مطابق با فلوشیت‌های پیشنهادی پرعیارسازی ثقلی، در شکل‌های ۲ و ۳ بازیابی ۹۸/۳۱٪ حاصل شده است.

جدول ۲- نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های میز لرزان

نام مرحله	عیار ZrO_2 در خوراک (%)	عیار ZrO_2 در کنسانتره (%)	عیار ZrO_2 در میانی (%)	عیار ZrO_2 در باطله (%)	بازیابی میز لرزان (%)	توزیع زیرکن در کنسانتره (%)
مرحله اول میز	۷/۳	۱۰/۳	۷/۵۸	۲/۳۹	۷۱/۸۹	۶۶/۸۳
مرحله دوم میز	۲/۳۹	۷/۸	۲/۵	۰/۲	۶۳/۸۰	۴/۳۷
مرحله سوم میز	۷/۵۸	۱۴/۶	۸/۱	۴/۴	۲۹/۸۷	۵/۷۵
مرحله چهارم میز	۱۰/۳	۱۵/۲	۱۰	۳/۸	۸۱/۲۳	۵۴/۲۹



۳- نتیجه

کاربردهای زیرکن در صنایع هسته‌ای و تهیه غلاف سوخت، سازمان انرژی اتمی ایران را بر آن داشت تا جهت بی‌نیازی و خودکفایی در تولید زیرکن (به منظور تولید ملزومات جانبی غنی‌سازی) اندیس‌های داخلی را مورد بررسی‌های مختلف معدنی- فرآوری قرار دهد؛ که در این میان ساحل دریای عمان به عنوان هدف انتخاب گردید.

در پرعیارسازی ثقلی نمونه ساحل میامی عمان توسط مارپیچ، محصول زیر سرنندی (۶۰- مش) به عنوان خوراک وارد مارپیچ گردید و در نهایت بازیابی و عیار ۵۸/۴٪ و ۷/۳٪ حاصل شده است.

آزمایش‌های فرآوری به روش میز لرزان طی چهار مرحله انجام پذیرفته و محصولات کنسانتره، میانی و باطله مرحله اول، هر کدام بار دیگر توسط میز لرزان مورد پرعیارسازی قرار گرفته شد. در جدایش توسط میز، عیار ۱۵/۲٪ برای کنسانتره نهایی حاصل گردیده است. شایان ذکر است مطابق با فلوشیت‌های پیشنهادی پرعیارسازی، بازیابی کلی محاسبه شده در فرایند جدایش ثقلی ۹۸/۳۱٪ می‌باشد.

با بررسی کارآیی جدایش مراحل مشابه میز و مارپیچ مشخص گردید که میزان پرعیارسازی میز بیشتر از مارپیچ می‌باشد و کلاً جداکننده مناسب‌تری جهت انجام مراحل جدایش ثقلی است. اما بایستی میزان انرژی مصرفی بالاتر میز لرزان نسبت به مارپیچ را نیز در بررسی‌های نهایی فنی اقتصادی جهت طراحی فلوشیت صنعتی در نظر گرفت.

با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی و درصد بالای کانی‌های مغناطیسی عیار حاصله، عیار مناسبی جهت فرآوری با روش‌های مغناطیسی و الکترواستاتیکی می‌باشد.

۴- مراجع

۱. آقنابتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی.
۲. رضایی، ب.، ۱۳۷۷، تکنولوژی فرآوری مواد معدنی (پرعیارسازی ثقلی)، انتشارات دانشگاه هرمزگان.
۳. عبدیان، م. ر.، حاجتی، ع.، صابریان، ک.، شفائی، ض.، کوهساری، ا. ح.، ۱۳۸۴، مطالعات کانی‌شناسی و درجه‌آزادی کانیهای سنگین از دیدگاه کانه‌آرایی در سواحل اسکله پسابندر دریای عمان، بیست و چهارمین همایش علوم زمین.

¹ Separation Efficiency