

فصل اول

کلیات

۱- کلیات

۱-۱- مقدمه

منیزیم با عدد اتمی ۲۴، فلزی است بسیار سبک با فراوانی بالا بطوریکه در حدود ۲/۶۸ درصد از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. منیزیم از نظر فراوانی هشتمین عنصر در پوسته زمین (۲/۰۹ درصد) و چهارمین عنصر در آب دریاها است. این عنصر در گروه دوم جدول تناوبی می‌باشد، آب بر آن اثر کرده و تولید هیدروکسید منیزیم می‌کند. دارای کربنات نامحلول می‌باشد اما در اثر گاز کربنیک به بی‌کربنات محلول تبدیل می‌شود [۱ و ۲].

منیزیم فلزی است نقره‌ای‌رنگ و در ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود و قابل تورق و مفتول شدن نیست. دانسیته آن ۱/۷۵ بوده که به همین دلیل برای تهیه آلیاژهای بسیار سبک استفاده می‌شود. از مهمترین آلیاژهای منیزیم، دورالومینی و منگالیوم می‌باشد. همچنین در ساخت قطعات کامپیوتر، اتومبیل‌ها، هواپیما، مصارف پزشکی، کشاورزی و ساختمانی کاربرد دارد.

۱-۲- معرفی و ژنز منیزیت

مهمترین کانی منیزیم، منیزیت می‌باشد. کلمه منیزیت از منطقه مگنزیای یونان گرفته شده است که قسمت اعظم تولید منیزیم و ترکیبات آنرا به خود اختصاص داده است و دارای کاربردهای فراوانی است [۳].

منیزیت به فرمول $MgCO_3$ آخرین کانی از سری ایزومرف کربنات‌ها است که نقش اساسی در رشد صنایع فولاد، سیمان، شیشه و سرامیک دارد. بیش از ۹۰ درصد کانی منیزیت برای تولید فرآورده‌های دیرگداز، شامل آجر و مواد ویژه جهت ساخت کوره‌های ذوب (که حرارتی بالاتر از

۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد را تحمل می‌کنند) مصرف می‌شود [۴، ۵ و ۶]. منیزیت خالص شامل ۴۷/۶ درصد MgO و ۵۲/۴ درصد CO₂ است. این ماده به ندرت در طبیعت بطور خالص یافت می‌شود و اکثراً همراه با مقادیری از کربناتها، اکسیدها و سیلیکات آهن، کلسیم، منگنز و آلومینیوم است. نوع خالص آن به رنگ سفید و چنانچه ناخالصی داشته باشد و با توجه به نوع آن، به رنگ زرد تا قهوه‌ای دیده می‌شود. وزن مخصوص آن ۲/۹ تا ۳/۱ و سختی آن ۳/۵ تا ۴/۹ در اشل موس می‌باشد. در سیستم هگزاگونال متبلور می‌شود و کلیواژ رمبوهدرال دارد [۷].

منیزیت در مقابل شعله، فوتک را رنگی می‌کند، مشخصات میکروسکوپی آن همانند دولومیت می‌باشد، از این رو برای تشخیص این دو کانی از یکدیگر، از روشهای شیمیایی و رنگ‌آمیزی استفاده می‌شود. منیزیت همانند کلسیت و دولومیت در اثر حرارت، دی‌اکسیدکربن خود را از دست می‌دهد، اگر تا دمای ۷۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شود آنگاه فقط ۲ الی ۱۰ درصد دی‌اکسیدکربن باقی می‌ماند که کوستیک منیزیت (Caustic Magnesite) نام دارد و با افزایش دما تا ۱۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، اکسید منیزیم دیرگداز بدست می‌آید [۸ و ۹].

از نظر نحوه تشکیل، منیزیت به چهار شکل منیزیت‌های جانشینی گرمابی، گرمابی، پرشده رگه‌ای و رسوبی دیده می‌شود. مهمترین ذخایر منیزیت دنیا از نوع کانسارهای منیزیت حاصل از دگرسانی سنگهای آهکی و دولومیتی می‌باشد. محلولهای گرم حاوی یون Mg^{+2} با تاثیر بر سنگهای آهکی یا دولومیتی (عمدتاً آهکی) آهک را تبدیل به منیزیت می‌نماید. بیشترین ذخایر دنیا از این نوع می‌باشند و معمولاً این گونه کانسارها حاوی ناخالصی نیز هستند. همچنین رگچه‌های منیزیت در سنگهای سرپانتینی که در سطح هوازده شده‌اند یافت می‌شوند و نیز در اسکارن‌های منیزیم‌دار به مقدار جزئی منیزیت تشکیل می‌گردد [۳، ۶ و ۷].

منیزیت از نظر شکل بلوری به دو صورت بلورین و نهان‌بلورین یافت می‌گردد. نوع نهان‌بلورین خالص‌تر می‌باشد ولی بزرگ‌ترین ذخایر جهان از نوع بلورین است. با توجه به اینکه اغلب کانه به همراه ناخالصیهایی چون سیلیس، آهن و کلسیم می‌باشد، لذا روشهای مختلف فرآوری از قبیل سنگجوری دستی، جداکننده‌های نوری گراویتی، فلوتاسیون و جداکننده‌های مغناطیسی با توجه به نوع و مقدار ناخالصی بکار گرفته می‌شود [۹].

۱-۳- ذخایر، تولید و مصرف منیزیت در جهان

ذخایر بزرگ کربنات منیزیم عمدتاً در استرالیا، برزیل، کانادا، چین، بعضی کشورهای تازه استقلال یافته، چک و اسلواکی، یونان، ترکیه، کره شمالی، یوگسلاوی و ایالات متحده آمریکا قرار دارند.

ذخایر منیزیت ایران در استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان، کرمان، آذربایجان شرقی و غربی، اصفهان، هرمزگان، زنجان و استان فارس قرار داشته که مهمترین معادن در استان خراسان می‌باشد.

ذخایر معدنی منیزیت دنیا کلاً ۱۲ بیلیون تن شناخته شده و ذخایر آبی و شورابه‌ها به بیلیونها تن می‌رسد.

معدنکاری منیزیت به روش روباز صورت می‌گیرد و ماده معدنی پس از فرآوری به مصارف صنعتی و پزشکی می‌رسد.

کربنات منیزیم به طور تیپیک دارای ۴۷/۶ درصد منیزیم، دولومیت حاوی ۲۲ درصد، بروسیت دارای ۶۹ درصد و الیون حاوی ۱۹ درصد منیزیم می‌باشد. از این کانی‌ها منیزیت و

دولومیت بزرگ‌ترین منابع منیزیم و ترکیبات منیزیم است. کربنات منیزیم و کلرید منیزیم عمدتاً برای تولید منیزیم به کار می‌رود که انواع آنها در ادامه شرح داده می‌شود.

در اثر حرارت دادن کربنات منیزیم، اکسید منیزیم تولید می‌شود که این عمل در کوره‌های مختلف از قبیل دوار و قائم با حرارت بالا صورت می‌گیرد. فرآیند حرارتی در چهار مرحله به شرح زیر انجام می‌شود.

۱- خشک کردن: رطوبت مواد معدنی با استفاده از حرارت به شکل بخار خارج می‌گردد.

۲- پیش‌گرم‌کن: مواد خشک شده تا نزدیک کلسینه حرارت داده می‌شود.

۳- کلسینه کردن: مواد در این مرحله کلسینه می‌شود.

۴- سینتره شدن: حرارت پخت به درجه سینتره شدن می‌رسد و فاز مذاب ظاهر می‌گردد.

برای تولید اکسید منیزیم سینتره، روشهای دیگری نیز در مقیاس صنعتی بکار می‌شود.

الف: تولید اکسید منیزیم از آب دریاها

ب: تولید اکسید منیزیم از آب دریاچه‌ها و شورآبها

ج: تولید اکسید منیزیم از دولومیت در کشورهای فرانسه و انگلستان و از منیزیت در کشورهای آمریکا، فرانسه و آلمان معمول می‌باشد. عمده تولیدکنندگان اکسید منیزیم سینتره حاصل از آب دریا عبارتند از: ژاپن، انگلستان، ایرلند، ایتالیا، هلند و اسرائیل.

در آفریقای جنوبی بیشترین مصرف منیزیت در سال ۲۰۰۰ به صورت اکسید منیزیم سینتره، در صنعت متالورژی، برای تولید فرومگنر کلسینه نشده بود. در چند سال اخیر میزان ذخایر منیزیت این کشور حدود ۱۸ میلیون تن برآورد شد که از این مقدار حدود ۲/۵ میلیون تن مناسب برای مصرف در صنعت دیرگداز می‌باشد. در آمریکا ۷۴ درصد ترکیبات منیزیم از منیزیت آب دریا

تهیه می‌شود که ۶۴ درصد ترکیبات منیزیم برای دیرگدازها و بقیه در کشاورزی، شیمیایی، ساختمانی، زیست‌محیطی و سایر صنایع کاربرد دارد [۷ و ۱۰].

مهمترین صنایع مصرف‌کننده منیزیت در ایران و میزان مصرف آنها در جدول ۱-۱ ارائه شده است.

جدول ۱-۱- میزان منیزیت مورد نیاز صنایع مصرف‌کننده منیزیت در ایران [۱].

نام شرکت	شرکت ملی فولاد ایران	صنایع سیمان	صنایع ریخته‌گری	سایر صنایع
میزان مصرف (%)	۸۶	۱۰	۲	۲

۱-۳-۱- انواع اکسید منیزیم

۱-۱-۳-۱- اکسید منیزیم سیتتره

درجه حرارت به کار رفته در فرآیند کلسینه کردن به منظور تولید اکسید منیزیم دیرگداز بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد است. در این درجه حرارت MgO تولید شده دارای کریستالهای درشت‌دانه (بزرگتر از ۴۰ میکرون) است که در برابر عناصر شیمیایی فعل و انفعالی ندارد، بنابراین در صنعت ذوب فولاد برای عایق‌کاری دیواره کوره‌ها مناسب است [۱۰ و ۱۱].

۱-۲-۱-۳-۱- اکسید منیزیم کلسینه شده یا سخت پخت

این نوع اکسید منیزیم در درجه حرارت پخت ۱۵۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست می‌آید. بدلیل داشتن کریستالهای متوسط (حدود ۱ تا ۲ میکرون) و نقطه قابل نفوذ، مقدار کمی خاصیت فعل و انفعال دارد. این ترکیب منیزیم در موارد خاصی مثل خوراک دام و کودها مورد مصرف قرار می‌گیرد [۱۰ و ۱۱].

۱-۳-۱-۳- اکسید منیزیم کوستیک یا سبک پخت

این نوع اکسید منیزیم در درجه حرارت پخت ۷۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتیگراد تولید می‌شود. به دلیل داشتن کریستالهای ریز (کوچکتر از ۰/۵ میکرون) و خاصیت فعل و انفعالی زیاد آن با عناصر دیگر، به طور وسیع در صنایع پلاستیک، لاستیک، کاغذ، فرآوری خمیر کاغذ، فولاد، چسب‌ها و به مقدار کم در خنثی‌سازی اسید به کار می‌رود.

سالانه حدود ۶ میلیون تن اکسید منیزیم در جهان تولید می‌شود که از این مقدار دوسوم آن در صنعت دیرگداز مصرف می‌شود. در جدول ۱-۲ موارد و محل کاربرد منیزیت مشخص شده است.

جدول ۱-۲- کاربرد آجرهای کروم منیزیته و منیزیت کرومیتی [۴].

صنعت	موارد کاربرد	محل کاربرد	ماده
فولاد	کوره‌های قلبیایی اکسیژن	آستر - دماغه	کروم - منیزیت
	کالدو	آستر	منیزیت - کروم ریخته‌گری
	کوره قوسی	دیواره‌های جانبی، سقف	منیزیت - کروم و کروم منیزیت (معمولی و ریخته‌گری شده)
	کوره‌های زیمنس - مارتین	سقف، دیواره‌های کناری، دیواره‌های انتهایی	منیزیت - کروم (معمولی و ریخته‌گری شده) کروم - منیزی، سیمانهای دارای کروم برای پاشیدن
	کوره‌های القایی	آستر	کروم - منیزیت
	کوره‌های حرارت دادن شمش	دیواره‌های جانبی	کروم - منیزیت
	کوره‌های حرارت دادن مجدد	آتشدان (Hearth)	مواد پلاستیک حاوی کروم
غیر آهن	کنورتورهای مس	آستر	کروم - منیزیت
	کوره‌های شعله‌ای مس	آستر	کروم - منیزیت
شیشه	تانک‌های شیشه	بلوکهای مشعل، ژنراتورها	کروم - منیزیت، منیزیت - کروم
سیمان	کوره‌های دوار	آستر قسمتهای کروم	منیزیت - کروم

محدودیت ذخایر منیزیت مرغوب بالاخص در کشورهای صنعتی و نیز بالا رفتن تقاضا برای منیزیت در سالهای اخیر باعث شده عملیات معدنکاری بر روی کانسارهای منیزیت با عیار پایین، جهت دستیابی به نیازهای لازم شروع شود و به موازات آن فرآوری نیز مورد توجه قرار گیرد. تفاوت‌های فیزیکی و شیمیایی بین منیزیت و ناخاصیهای همراه، عوامل مطلوبی هستند که در فرآیند فرآوری کمک شایانی می‌نمایند. این تفاوتها شامل مواردی همچون جرم مخصوص، خواص فیزیکی، خواص نوری، خواص مغناطیسی، خواص شیمیایی سطوح ذرات و ... می‌باشند [۱۰ و ۱۱].

استاندارد کلی برای نسوزها به این صورت می‌باشد: خلوص $MgO > 96\%$ ، نسبت CaO/SiO_2 بیشتر از ۳:۱ (برای تولید انواع نسوز درجه بالا این نسبت باید بالای ۱/۸ باشد تا ترکیبات ذوب بالا تشکیل شوند)، B_2O_3 کمتر از 0.02% ، Fe_2O_3 کمتر از 0.05% (آهن هرچه کمتر بهتر)، $3/4 \text{ g/cm}^3 >$ چگالی، بلورهای پریکلاز بزرگتر از ۹۰ میکرون. نسوز درجه یک: $96-99\% MgO$ ، $0.2\% < Fe_2O_3$ ، نسبت CaO/SiO_2 : ۳:۱ یا ۴:۱، دانسیته ۳/۴۴، $B_2O_3 > 0.1\%$.

نسوز درجه دو: MgO حداقل ۹۵٪، $0.1\% < Fe_2O_3$ ، نسبت CaO/SiO_2 : ۲:۱، بور کم، دانسیته ۳/۴. در نسوز MgO گداخته الکتریکی: گوگرد، بور و فلزات کمیاب کم، $94-97\% MgO$ ، $1-2\% CaO$ ، $0.5-0.8\% Fe_2O_3$ ، $0.2-0.8\% Al_2O_3$ ، $3/5-0.5\% SiO_2$ ، دانسیته $3/5 <$ و بلورهای درشت‌دانه [۱۲].

۴-۱- قیمت منیزیت در بازارهای جهانی

قیمت اکسیدهای منیزیم به صورت مقایسه‌ای در جدول ۳-۱ ارائه شده است [۱۰]. قیمت اکسید منیزیم کلسینه شده با درجه خلوص ۹۲-۹۰٪، ۱۱۵-۱۰۵ دلار (به صورت فله‌ای) تحویل در بنادر چین، می‌باشد [۱۰].

جدول ۳-۱- مقایسه قیمت‌های اکسید منیزیم سیتره [۱۰].

MgO (\$/t)	٪۹۰	٪۹۲	٪۹۴	٪۹۵
۱۹۹۹	۱۰۰	۱۱۰	۱۱۵	۱۲۵
۲۰۰۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۱۵	۱۳۵
۲۰۰۱	۱۱۰	۱۲۰	۱۱۵	۱۳۵
۲۰۰۲	۹۵	۱۱۵	۱۱۰	۱۲۵
۲۰۰۳	۹۰-۹۲	۹۲-۹۴	۱۲۲	۱۳۰
۲۰۰۴	۱۰۵-۱۱۵	۱۱۰-۱۲۰	۱۲۵	۱۵۰
درصد افزایش	٪۱۷-۲۵	٪۲۰-۲۸	٪۲/۵	٪۱۶

جدول ۴-۱- متوسط افزایش قیمت نسبت به سال ۲۰۰۳ [۱۰].

MgO	٪۹۰	٪۹۲	٪۹۴	٪۹۵
افزایش قیمت	۱۹	۲۲	۳	۲۰

با توجه به اهمیت فوق‌العاده منیزیت در عرصه جهانی و بویژه کشورمان و با عنایت به این مطلب که حجم عظیمی از ذخایر منیزیت کشور با ناخالصی همراه است، می‌بایست سرمایه‌گذاران برای تاسیس کارخانه فرآوری منیزیت انجام پذیرد.

۱-۵- فرآوری منیزیت

بطور کلی تمام شرایط و ویژگی‌های یک ذخیره، نحوه تشکیل و سایر عوامل فنی و اقتصادی باعث می‌گردد تا روش معینی را برای فرآوری منیزیت انتخاب کرد. ذخایر نهان‌بلورین به دلیل طرز تشکیل، وجود و شکل ناخالصیها معمولا کمتر احتیاج به بهبودسازی مواد دارند. این ذخایر معمولا کم آهن بوده و فاقد بر می‌باشند. با توجه به این مطالب، اکسید منیزیم دیرگدازی که در آن درصد MgO زیاد، بر و آهن کم، وزن مخصوص بالا، بلور پریکلاز بزرگ و باند بلوری خوبی داشته باشد بیشتر مورد نظر مصرف‌کنندگان است و این خصوصیات در ذخایر منیزیت نهان‌بلورین بیشتر است. عملیات فرآوری با توجه به نوع ناخالصی، هزینه‌های آن و امکانات موجود تعیین می‌گردد. پس از استخراج ممکن است عوامل ناخالصی را بتوان با چشم تشخیص داد و با وسایل ابتدایی نظیر چکش قسمت خالص را از ناخالص جدا کرد. در حالت دیگر ممکن است پس از خرد کردن، سرند و شستن مواد معدنی، بتوان ناخالصیها را توسط سنگجوری دستی از مواد خالص‌تر جدا کرد. بدیهی است در این کار باید مواد شکسته و شسته شده بر روی نوار حرکت نماید و کارگران از روی نوار ناخالصیها را جدا نمایند یا اینکه ممکن است نسبت قطعات ناخالص بیشتر از قطعات خالص باشد لذا در این حالت قطعات خالص‌تر از روی نوار جدا خواهد شد.

ممکن است پس از سنگجوری دستی مواد، برای پرعیارسازی بیشتر روش دیگری لازم باشد بنابراین می‌توان با تلفیق چند روش، آرایش مواد را انجام داد. معمولا در مورد ذخایر از نوع جانشینی (مانند ذخایر کشورهای اتریش، آمریکا و کره شمالی) روش‌های فرآوری پیچیده‌تری بکار گرفته می‌شود زیرا همانطور که بیان شد در اینجا ناخالصی‌ها با ذخایر از نوع کریپتوکریستالین تفاوت دارد. ناخالصی‌های ذخایر بلورین اغلب از نوع دولومیت، کوارتز، تالک، کلریت، سرپانتین،

فلوگوپیت، پیریت و موارد مشابه است. بر حسب نوع این ناخالصی و همچنین کاربرد محصول نهایی، روش فرآوری مشخصی به کار گرفته می‌شود [۹، ۷ و ۱۳].

روشهای شیمی فیزیکی فرآوری بر اساس اختلاف سطحی ذرات منیزیت و ناخالصی‌ها استوار است. امروزه رایج‌ترین روش‌های فرآوری ذرات ریز، استفاده از روش فلوئوتاسیون است. البته برای فرآوری ابعاد بسیار ریز، استفاده از روشهای آگلومراسیون نیز پیشنهاد شده است.

۱-۶- ذخایر منیزیت ایران

فعالیت‌های اکتشاف و شناسایی منیزیت در ایران از سال ۱۳۴۶ در مناطق جنوبی بیرجند شروع شده است. چهار ناحیه در کشور از نقطه نظر میزان ذخیره، تعدد کانسار، اندیس‌های منیزیتی و خلوص ارجحیت دارند که به ترتیب عبارتند از:

۱- ناحیه بیرجند - نهبندان - سفیدآبه

۲- ناحیه زاهدان

۳- ناحیه فریمان - تربت حیدریه - قائن

۴- ناحیه ایران مرکزی حدفاصل انارک - نایین

ذخایر مکشوفه در این نواحی معمولاً در مقایسه با دیگر ذخایر مطرح از تناژ بالایی برخوردار نیستند، ولی تمرکز ذخایر کوچک در برخی از نواحی از نقطه نظر اقتصادی حائز اهمیت است.

میزان ذخایر معادن فعال منیزیت کشور که تاکنون مورد بررسی قرار گرفته‌اند حدود ۳۰۰ هزار تن می‌باشد که بیشتر این ذخایر در زون منیزیت‌دار بیرجند - نهبندان قرار دارد. کانسار منیزیت

معدن خونیک نیز جزو همین ناحیه است که در ادامه روش‌های فرآوری این کانسار مورد بررسی

قرار می‌گیرد [۱۴].

فصل دوم

زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی

کانسار منیزیت خونیک

۲- زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی کانسار منیزیت خونیک

این معادن (خونیک شمالی و جنوبی) در ۱۲ کیلومتری جنوب شرق شهرستان نهبندان واقع گردیده‌اند که منطقه مورد نظر دارای آب و هوای گرم و خشک می‌باشد. از نظر راه دسترسی، این معادن در مجاورت جاده اصلی آسفالتی بیرجند - زاهدان دارند (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- نمایی از کانسار منیزیت خونیک (دید از شمال به جنوب، پشت به جاده)

۱-۲- اطلاعات اکتشافی

اطلاعات اکتشافی معادن موردنظر به تفکیک به شرح ذیل می‌باشد:

الف) محدوده معدن خونیک شمالی به صورت چهارضلعی ABCD و به مساحت تقریبی ۱۷/۵ کیلومتر مربع و مختصات رئوس ذیل می‌باشد:

$$A = N 60^{\circ} 9' 10", E 31^{\circ} 31' 30"$$

$$B = N 60^{\circ} 10' 35", E 31^{\circ} 31' 20"$$

$$C = N 60^{\circ} 10' 00", E 31^{\circ} 27' 35"$$

$$D = N 60^{\circ} 8' 35", E 31^{\circ} 27' 50"$$

بر اساس گواهینامه کشف شماره ۵۴۹۵ مورخ ۷۶/۵/۱۱ ذخیره تقریبی معدن ۱۰۰ هزار تن برآورد شده است.

ب) محدوده معدن خونیک جنوبی به صورت چهارضلعی ABCD به مساحت تقریبی ۲۲/۵ کیلومتر مربع و مختصات رئوس ذیل می‌باشد:

$$A = N 60^{\circ} 8' 45", E 31^{\circ} 27' 45"$$

$$B = N 60^{\circ} 10' 10", E 31^{\circ} 27' 25"$$

$$C = N 60^{\circ} 9' 40", E 31^{\circ} 22' 40"$$

$$D = N 60^{\circ} 8' 00", E 31^{\circ} 22' 50"$$

بر اساس گواهینامه کشف شماره ۵۴۹۴ مورخ ۷۶/۵/۱۱ ذخیره تقریبی معدن ۲۲۰ هزار تن برآورد گردیده است [۱۳].

۲-۲- وضعیت کانسار

معادن مذکور در حال حاضر دارای پروانه بهره‌برداری بوده لیکن به علت وجود ناخالصی کوارتز با اخذ مجوز از وزارت متبوع تعطیل و غیرفعال می‌باشند [۱۳].

فصل سوم

نمونه‌برداری، آماده‌سازی و

آنالیز سرنندی نمونه

۳- نمونه‌برداری، آماده‌سازی و آنالیز سرندي نمونه

در خرداد ماه سال ۱۳۸۶ با هماهنگی‌های بعمل آمده توسط معاونت اکتشاف معدنی و مدیریت کانه‌آرایی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور قرار بر آن شد، که از معادن و ذخایری که از نظر آن معاونت در اولویت تحقیقات کانه‌آرایی در استان خراسان جنوبی هستند، توسط اکیپ اعزامی از گروه کانه‌آرایی و معاونت اکتشاف سازمان عملیات نمونه‌گیری از مناطق مشخص شده انجام پذیرد. بر این اساس نمونه‌گیری از ذخایر طلای هیرد (۲ تیپ)، منیزیت خونیک و منیزیت شیرکوهک انجام شد.

ذخیره منیزیت خونیک به صورت رگه شمالی - جنوبی بود و نمونه‌گیری بر روی رگه از غرب به شرق از نقاط مختلف سطح کانسار و در فواصل معین انجام گرفت. مختصات و ارتفاع منطقه نمونه‌گیری شده عبارت است از:

N 31° 25' 32.6"

E 60° 09' 22.3"

H= 1147 m

نمونه تهیه شده حدود ۱۵۰ کیلوگرم بود، که با توجه به نوع کانسار و پیچیدگی ذخیره برای انجام آزمایش‌ها کافی به نظر می‌رسید.

کل این نمونه که بعد از برداشتن چند نمونه دستی جهت تهیه مقطع و مطالعه میکروسکوپی از سنگ‌شکن‌های فکی بزرگ، فکی کوچک و مخروطی عبور داده شد (اشکال ۱-۳، ۲-۳ و ۳-۳) که بعد از خردایش توسط روش مخروط و ربع کردن، دو قسمت گردیدند. یکی از نمونه‌های تقسیم شده از سرندي ۷ مش (۲۸۳۰ میکرون) عبور داده شد که محصول روی سرندي با سنگ‌شکن

غلطکی در مدار بسته با سرند ۷ مش طی چند مرحله عبور داده شد (شکل ۳-۴)، بعد از این مرحله محصول بدست آمده توسط ریفل (تقسیم کننده شانهای - شکل ۳-۵) به بسته‌های ۲ کیلوگرمی تقسیم شد.



شکل ۳-۱- محصول سنگ‌شکن فکی بزرگ



شکل ۳-۲- سنگ‌شکن فکی کوچک



شکل ۳-۳- سنگ‌شکن مخروطی



شکل ۴-۳- سنگ‌شکن غلطکی



شکل ۳-۵- تقسیم‌کن شانه‌ای

از یکی از این بسته‌های ۲ کیلوگرمی توسط تقسیم کردن‌های متوالی ۲ نمونه معرف گرفته شد تا بعد از پودر کردن توسط پودرکن (شکل ۳-۶) جهت تجزیه XRF و XRD به کار روند. نتایج این آنالیزها در بخش شناسایی نمونه ارائه خواهد شد.

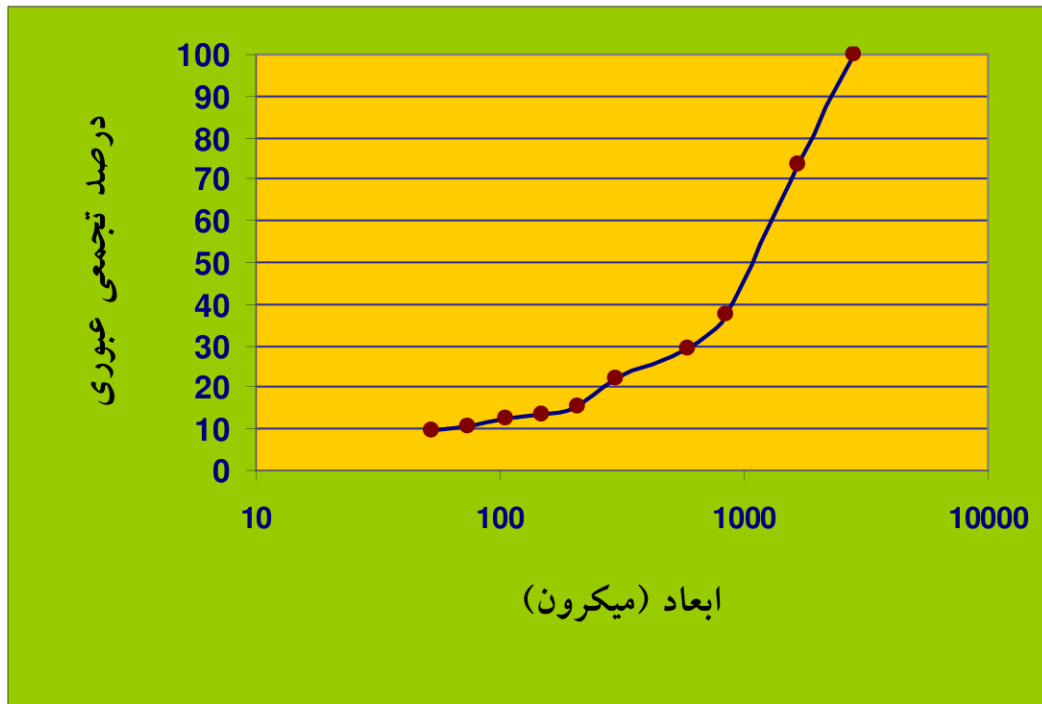
در ادامه یکی از بسته‌های نمونه اولیه ۷ مش شده از سرندهای ۱۲، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۱۰۰، ۱۴۰، ۲۰۰ و ۲۷۰ مش به صورت تر، تجزیه سرندهای شد (شکل ۳-۷) و وزن هر بخش از ماده معدنی تعیین و از هر کدام از این بخشها نمونه‌ای نیز برای آنالیز ارسال گردید. نتیجه این عملیات در اشکال ۳-۸ و ۳-۹ ارائه شده است. با توجه به شکل ۳-۹ می‌توان نتیجه گرفت که در دانه‌بندی‌های ریزتر عیار سیلیس قدری کاهش یافته است ولی میزان تغییرات قابل توجه نیست یعنی عملاً خردایش انتخابی برای سیلیس در این کانسنگ وجود ندارد.



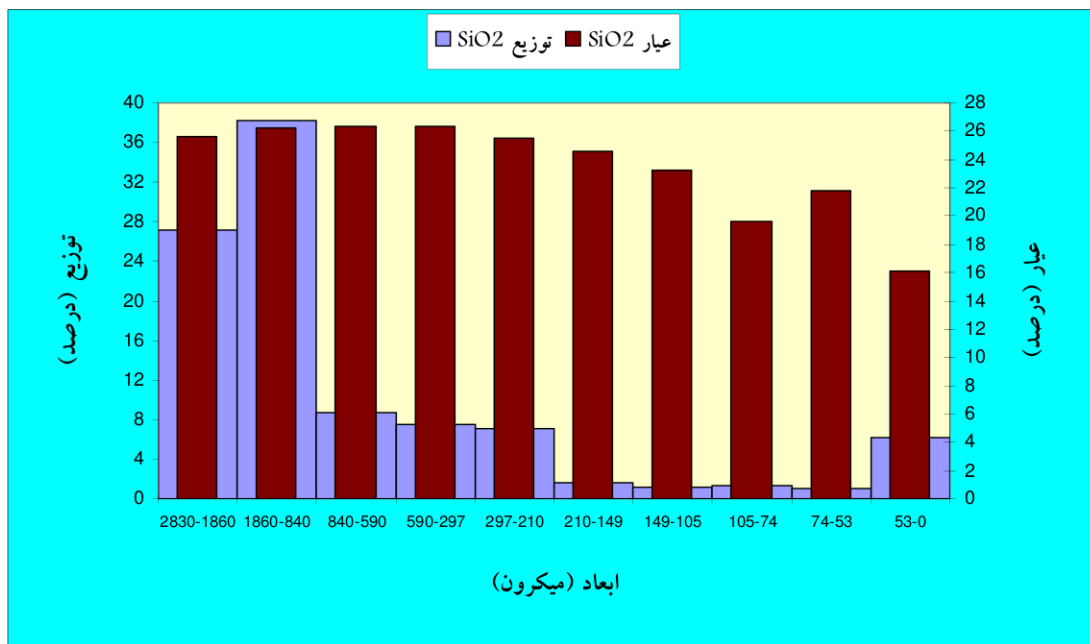
شکل ۳-۶- دستگاه پودرکن مورد استفاده جهت آماده‌سازی برای ارسال به آنالیز



شکل ۳-۷- تجزیه سرنندی تر



شکل ۳-۸- منحنی دانه‌بندی محصول حاصل از خردایش نمونه منیزیت خونیک



شکل ۳-۹- عیار و توزیع SiO₂ در دانه‌بندی‌های مختلف

فصل چهارم

شناسایی نمونه

۴- شناسایی نمونه

۴-۱- تجزیه XRF

نتیجه تجزیه کامل نمونه اولیه منیزیت خونیک به روش XRF در جدول زیر قابل مشاهده

می‌باشد.

جدول ۴-۱- نتایج آنالیز XRF نمونه اولیه منیزیت خونیک

درصد	ترکیب
۰/۰۲	NiO
۲۵/۳۲	SiO ₂
۰/۳۸	Al ₂ O ₃
۰/۹۴	Fe ₂ O ₃
۰/۰۲	P ₂ O ₅
۰/۰۲	Cl
۰/۰۵	SO ₃
۳۴/۱	MgO
۰/۰۴	K ₂ O
۰/۷۴	CaO
۰/۰۱	TiO ₂
۰/۰۱	MnO
۳۸/۲۸	L.O.I
۹۹/۹۳	مجموع

۴-۲- کانی‌شناسی با اشعه X

کانیهای اصلی تشکیل دهنده ماده معدنی به ترتیب فراوانی با استفاده از روش اشعه X به

صورت زیر گزارش شده است.

منیزیت (۸۲/۷٪)، کوارتز (۱۳/۹٪) و دولومیت (۳/۴٪).

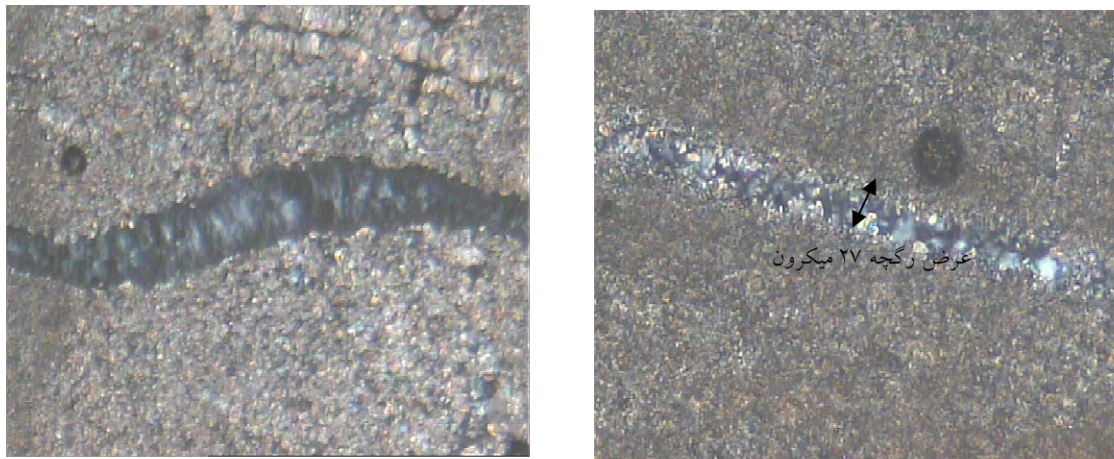
قابل ذکر می‌باشد که درصدهای ذکر شده به روش نیمه کمی در XRD می‌باشد و نمی‌توان بر روی کمیت کانیها با اطمینان سخن گفت.

۳-۴- مطالعات ماکروسکپی و میکروسکپی

مطالعه میکروسکوپی کانسنگ منیزیت بیرجند نشان می‌دهد که گانگ کوارتز به شکل پرکننده حفرات و رگچه‌های ظریفی متشکل از کوارتز ریز بلور کلسدونی با بافت شعاعی در ابعاد میکرونی تشکیل شده است (شکل‌های ۱-۴ و ۲-۴) و از دیدگاه اختصاصات میکروسکوپی با نمونه قبلی این کانسار تقریباً یکسان می‌باشد. بدیهی است مطالعه مقاطع تهیه شده از محصولات دانه‌بندی این کانسار موضوع وضعیت گانگ کوارتز درگیر با این کانسنگ روشن‌تر خواهد شد.



شکل ۱-۴- حفره پر شده از کانی‌های ثانویه منیزیت و کوارتز ریز بلور با بافت شعاعی (کلسدون) در زمینه کانسنگ نهان بلور کانسنگ منیزیت. طول عکس ۹۰۰ میکرون (نور پلاریزه).



شکل ۴-۲- رگچه‌های کوارتز کلسدونی با بافت شعاعی قطع کننده کانسنگ منیزیت نهان بلور. طول عکس سمت چپ ۹۰۰ میکرون. و عکس سمت راست ۳۴ میکرون است. (نور پلاریزه).

۴-۳-۱- کانسنگ

کانی کوارتز عمدتاً شامل واریته‌های ریزبلور (microcrystalline) و گاهی نهان بلور (cryptocrystalline) است که با بافت شعاعی و گاهی موزائیکی به صورت تمرکزهای رگچه مانند و یا پر کننده حفرات موجود در کانسنگ منیزیت مشاهده می‌شود.

حدود ۹۰ تا ۹۵ درصد کانی‌های کوارتز در سطح مقطع مورد مطالعه به صورت تمرکزهایی با ابعادی حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرون مشاهده می‌شود. بقیه تمرکزهای کوارتز (کمتر از ۵ درصد) اغلب به صورت نوارهایی نازک بین دانه‌های منیزیت قرار گرفته است که ابعاد آنها معمولاً در محدوده ۳۰-۵۰ میکرون تا گاهی ۷۰ میکرون قرار دارد.

بنابراین با توجه به مطالعه کانسنگ منیزیت بنظر می‌رسد با خردایش نمونه در ابعاد حدود ۱۵۰-۱۰۰ میکرون بتوان به درجه قابل قبولی از آزادی دانه‌های کوارتز برای آزمایشات کانه‌آرایی دست یافت.

۴-۳-۲- دانه‌بندی‌ها

مطالعه توزیع نوع درگیری و درجه آزادی در فراکسیون‌های دانه‌بندی کانسنگ منیزیت خونیک (جدول ۴-۲) نشان می‌دهد که با افزایش خردایش و کاهش اندازه دانه‌بندی درجه آزادی دانه‌های کوارتز از ۲۸ درصد در نمونه B-Mg-F5 (با ابعاد دانه‌بندی بیش از ۲۵۰ میکرون) به ۹۴ درصد در نمونه B-Mg-F1 (با ابعاد دانه‌بندی بیش از ۴۵ میکرون) افزایش می‌یابد.

بر اساس این جدول نوع درگیری دانه‌ها در فراکسیون‌های ریز دانه‌بندی عمدتاً دوطرفه می‌باشد یعنی کوارتز در یک طرف دانه و منیزیت در طرف دیگر دانه قرار دارد. به عنوان مثال در فراکسیون ۹۰+ میکرون نوع درگیری کانی کوارتز با منیزیت اساساً دو طرفه (۲۴ دانه - ستون هفتم ردیف ششم) می‌باشد. در حالی که در نمونه‌های درشت‌تر (بخصوص در فراکسیون با دانه‌بندی ۲۵۰+ میکرون)، انواع دیگری از درگیری نیز مشاهده می‌شود. در این فراکسیون از مجموع ۷۲ (مجموع ستون‌های سوم، چهارم و هفتم) دانه درگیر، ۲۹ دانه (مجموع ستون‌های سوم و پنجم) یعنی در حدود ۴۰ درصد از دانه‌های درگیر، کانی کوارتز به صورت تیغه‌ای (۲۶ دانه) و یا انکلوزیون (۳ دانه) در منیزیت قرار گرفته است.

با توجه به این جدول درجه آزادی دانه‌های کوارتز در فراکسیون ۹۰+ میکرون حدود ۷۶ درصد می‌باشد که با نتایج حاصل از مطالعه کانسنگ که ابعاد درجه آزادی کوارتز در محدوده ۱۰۰ میکرون تعیین شده قرابت نزدیکی نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲- توزیع نوع درگیری و درجه آزادی دانه‌های باطله کوارتز در فراکسیون‌های دانه‌بندی منیزیت بیرجند

درجه آزادی دانه‌های آزاد کوارتز (درصد)	نوع درگیری کوارتز با منیزیت (تعداد دانه‌های درگیر)						اندازه دانه‌بندی فراکسیون (میکرومتر)	شماره نمونه فراکسیون
	پوشش سطحی	دوطرفه	تیغه‌ای		انکلوزیون			
			منیزیت در کوارتز	کوارتز در منیزیت	منیزیت در کوارتز	کوارتز در منیزیت		
۲۸	-	۴۳	-	۲۶		۳	+۲۵۰	B.Mg.F5
۴۳	-	۴۷	۱	۸	۱	-	+۱۵۰	B.Mg.F4
۵۳	-	۳۹	-	۸	-	-	+۱۲۵	B.Mg.F3
۷۶	-	۲۴	-	-	-	-	+۹۰	B.Mg.F2
۸۳	-	۲۵	-	-	-	-	+۷۵	B.Mg.F6
۹۴	-	۶	-	-	-	-	+۴۵	B.Mg.F1

فصل پنجم

آزمایش‌های کانه‌آرایی

۵- آزمایش‌های کانه‌آرایی

۵-۱- آزمایش‌های ثقلی

۵-۱-۱- آزمایش‌های میز نرمه

۵-۱-۱-۱- آزمایش اول میز نرمه

هدف: تاثیر خردایش نمونه اولیه تا ۷۰- مش در آزمایش میز نرمه

جهت انجام این آزمایش نمونه اولیه توسط آسیای میله‌ای تر Denver تا ابعاد ۷۰- مش

آسیا گردید (شکل ۵-۱) و سپس روی آن آزمایش میز نرمه صورت گرفت (شکل ۵-۲) نتیجه این

آزمایش در جدول ۵-۱ ارائه گردیده است. شرایط این آزمایش به صورت زیر می‌باشد.

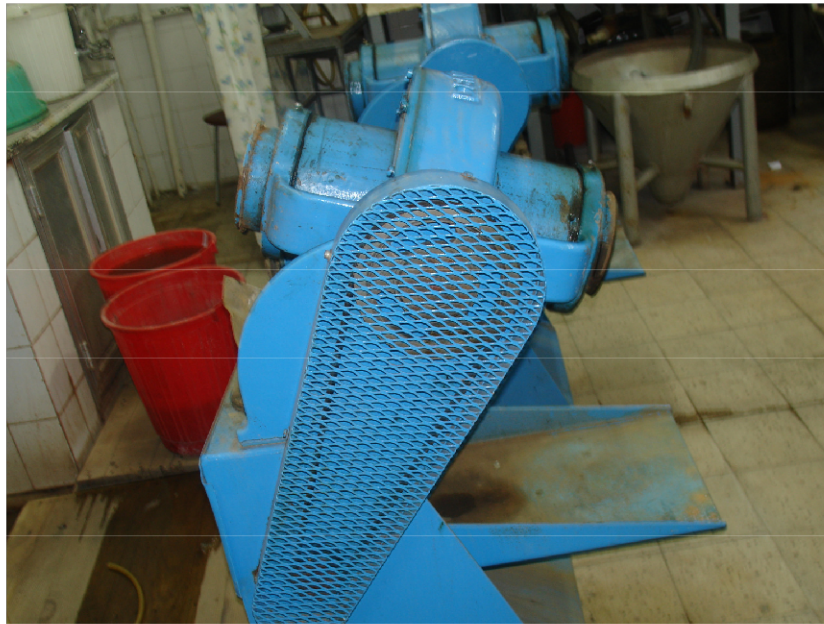
دانه‌بندی: ۷۰- مش

دبی آب شستشو: ۶ لیتر در دقیقه

دبی آب همراه: ۶ لیتر در دقیقه

شیب: ۲ درجه

زمان باردهی: ۳/۵ دقیقه



شکل ۵-۱- آسیای میله‌ای تر



شکل ۵-۲- آزمایش میز نرمه

جدول ۵-۱- نتیجه آزمایش اول میز نرمه

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصولات
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۲۷/۴۱	۲۵/۹۳	۲۵/۹	۳۴/۴۴	۲۶/۲۲	۲۵۳	سنگین
۴۰/۹۵	۳۶/۶۶	۲۶/۹	۳۳/۸۵	۳۷/۷۲	۳۶۴	میانی ۱
۱۴/۲۳	۱۶/۳۶	۲۲/۲۴	۳۵/۹۳	۱۵/۸۵	۱۵۳	میانی ۲
۱۰/۴۳	۱۲/۸	۲۱/۱۳	۳۶/۴۴	۱۲/۲۳	۱۱۸	میانی ۳
۳/۶۴	۴/۴۳	۲۱/۲۴	۳۶/۳۲	۴/۲۵	۴۱	میانی ۴
۳/۳۴	۳/۸۲	۲۲/۱۹	۳۵/۶۸	۳/۷۳	۳۶	سبک
۱۰۰	۱۰۰	۲۴/۷۸	۳۴/۸۲	۱۰۰	۹۶۵	مجموع

نتیجه: در این آزمایش به علت درگیری فیزیکی سیلیس و منیزیت میزان SiO₂ کاهش قابل ملاحظه‌ای در هیچ یک از محصولات میز لرزان پیدا نکرده است.

۵-۱-۱-۲- آزمایش دوم میز نرمه

هدف: تاثیر خردایش بیشتر نمونه اولیه (تا ۱۰۰- مش) در آزمایش میز نرمه و مقایسه با آزمایش قبلی

جهت انجام این آزمایش نمونه اولیه توسط آسیای میله‌ای تر Denver تا ابعاد ۱۰۰- مش

آسیا گردید و سپس روی آن آزمایش میز نرمه صورت گرفت. نتیجه این آزمایش در جدول ۵-۲ ارائه گردیده است. شرایط این آزمایش به صورت زیر می‌باشد.

دانه‌بندی: ۱۰۰- مش

دبی آب شستشو: ۶ لیتر در دقیقه

دبی آب همراه: ۶ لیتر در دقیقه

شیب: ۳ درجه

زمان باردهی: ۴/۵ دقیقه

جدول ۵-۲- نتیجه آزمایش دوم میز نرمه

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصولات
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۲۴/۲۶	۲۳/۸۹	۲۵/۹۳	۳۴/۵۵	۲۳/۷۳	۲۳۳	سنگین
۴۲/۹۸	۳۶/۳۹	۲۸/۷۸	۳۲/۹۶	۳۷/۸۸	۳۷۲	میانی ۱
۱۶/۱۳	۱۹/۸۵	۲۱/۷۲	۳۶/۱۶	۱۸/۸۴	۱۸۵	میانی ۲
۱۱/۸	۱۴/۷۴	۲۱/۴۵	۳۶/۲۶	۱۳/۹۵	۱۳۷	میانی ۳
۳/۲۵	۳/۹۴	۲۱/۹۱	۳۵/۹۲	۳/۷۷	۳۷	میانی ۴
۱/۵۸	۱/۱۹	۲۱/۸۳	۲۲/۳۲	۱/۸۳	۱۸	سبک
۱۰۰	۱۰۰	۲۵/۳۶	۳۴/۳۲	۱۰۰	۹۸۲	مجموع

نتیجه: در این آزمایش میزان SiO₂ کاهش قابل ملاحظه‌ای در هیچ یک از محصولات میز لرزان پیدا

نکرده است و در این دانه‌بندی تفاوت محسوسی نسبت به دانه‌بندی قبلی مشاهده نگردید.

۵-۱-۱-۳- آزمایش سوم میز نرمه

هدف: تاثیر خردایش نمونه اولیه تا ۱۴۰- مش در آزمایش میز نرمه

جهت انجام این آزمایش نمونه اولیه توسط آسیای میله‌ای تر Denver تا ابعاد ۱۴۰- مش آسیا گردید و سپس روی آن آزمایش میز نرمه صورت گرفت. نتیجه این آزمایش در جدول ۳-۵ ارائه گردیده است. شرایط این آزمایش به صورت زیر می‌باشد.

دانه‌بندی: ۱۴۰- مش

دبی آب شستشو: ۶ لیتر در دقیقه

دبی آب همراه: ۶ لیتر در دقیقه

شیب: ۲ درجه

زمان باردهی: ۴ دقیقه

جدول ۳-۵- نتیجه آزمایش سوم میز نرمه

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصولات
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۸/۳۵	۹/۱۳	۲۵/۴	۳۴/۰۳	۸/۸۶	۸۷	سنگین
۴۵/۷۷	۴۵/۵۲	۲۷/۱۷	۳۳/۰۸	۴۵/۴۲	۴۴۶	میانی ۱
۲۲/۲۳	۲۲/۸۵	۲۶/۶۳	۳۳/۵۲	۲۲/۵۱	۲۲۱	میانی ۲
۱۶/۱۶	۱۶/۴۵	۲۶/۷۴	۳۳/۳۳	۱۶/۲۹	۱۶۰	میانی ۳
۴/۵۸	۴/۶۱	۲۶/۹۴	۳۳/۱۹	۴/۵۸	۴۵	میانی ۴
۲/۹۱	۱/۴۴	۳۳/۴۹	۲۰/۳۱	۲/۳۴	۲۳	سبک
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۹۶	۳۳/۰۱	۱۰۰	۹۸۲	مجموع

نتیجه: در این آزمایش با آنکه خردایش بیشتری صورت گرفت اما میزان SiO₂ باز هم کاهش قابل

ملاحظه‌ای در هیچ یک از محصولات میز لرزان پیدا نکرد.

۵-۱-۱-۴- آزمایش چهارم میز نرمه

هدف: تاثیر خردایش نمونه اولیه تا ۲۰۰- مش در آزمایش میز نرمه

جهت انجام این آزمایش نمونه اولیه توسط آسیای میله‌ای تر Denver تا ابعاد ۲۰۰- مش

آسیا گردید و سپس روی آن آزمایش میز نرمه صورت گرفت. نتیجه این آزمایش در جدول ۴-۵

ارائه گردیده است. شرایط این آزمایش به صورت زیر می‌باشد.

دانه‌بندی: ۲۰۰- مش

دبی آب شستشو: ۶ لیتر در دقیقه

دبی آب همراه: ۶ لیتر در دقیقه

شیب: ۲ درجه

زمان باردهی: ۳ دقیقه

جدول ۴-۵- نتیجه آزمایش چهارم میز نرمه

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصولات
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۷/۶۱	۷/۳۷	۲۶/۷	۳۳/۶۱	۷/۴۵	۷۳	سنگین
۵۴/۲۷	۵۲/۷۲	۲۶/۷۳	۳۳/۷۶	۵۳/۰۶	۵۲۰	میانی ۱
۱۹/۰۲	۱۹/۶۵	۲۵/۵	۳۴/۲۵	۱۹/۴۹	۱۹۱	میانی ۲
۱۳/۳۱	۱۴/۱۹	۲۴/۸۹	۳۴/۴۸	۱۳/۹۸	۱۳۷	میانی ۳
۳/۸۲	۴/۰۲	۲۵/۰۷	۳۴/۲۹	۳/۹۸	۳۹	میانی ۴
۱/۹۷	۲/۰۵	۲۵/۱۷	۳۴/۲	۲/۰۴	۲۰	سبک
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۱۳	۳۳/۹۸	۱۰۰	۹۸۰	مجموع

نتیجه: با انجام این آزمایش مشخص گردید که حتی با خردایش تا ابعاد ۲۰۰- مش نیز میزان SiO_2 کاهش قابل ملاحظه‌ای در هیچ یک از محصولات میز لرزان پیدا نمی‌کند که این فرآیند درگیری فیزیکی کانیها را حتی در ابعاد ریز نیز تایید می‌نماید.

۵-۱-۲- آزمایش‌های مولتی‌گراویتی

۵-۱-۲-۱- آزمایش اول مولتی‌گراویتی

هدف: بررسی نقش مولتی‌گراویتی در جدایش سیلیس در دانه‌بندی ۷۰- مش

جهت انجام این آزمایش نمونه اولیه توسط آسیای میله‌ای تر Denver تا ابعاد ۷۰- مش آسیا گردید و سپس روی آن آزمایش مولتی‌گراویتی صورت گرفت (شکل ۵-۳) نتیجه این آزمایش در جدول ۵-۵ ارائه گردیده است. شرایط این آزمایش به صورت زیر می‌باشد.

دانه‌بندی: ۷۰- مش

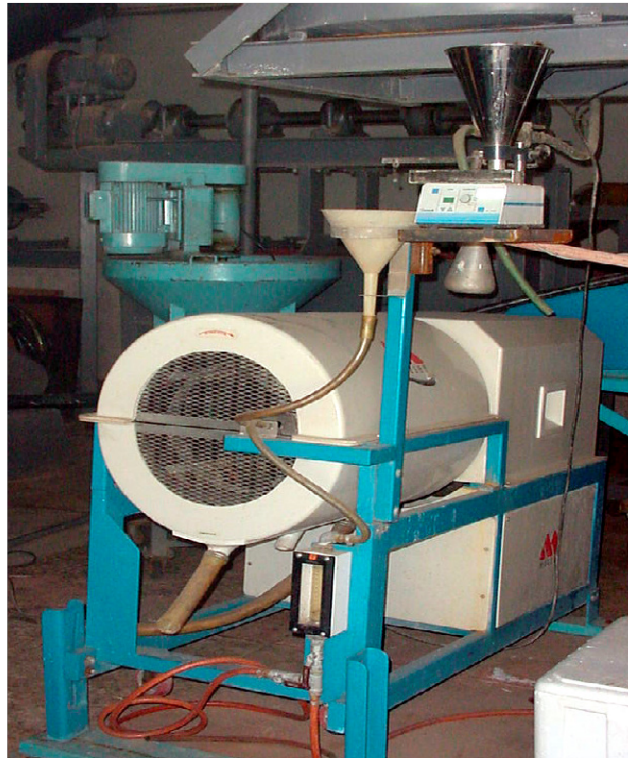
دبی آب شستشو: ۴ لیتر در دقیقه

دبی آب همراه: ۲ لیتر در دقیقه

شیب: ۴ درجه

زمان باردهی: ۴/۵ دقیقه

سرعت: ۲۰۰ دور در دقیقه



شکل ۵-۳- دستگاه مولتی‌گراویتی مورد استفاده در آزمایشات

جدول ۵-۵- نتیجه آزمایش اول مولتی‌گراویتی

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصولات
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۴/۱۵	۶/۹۵	۱۶/۴۴	۳۸/۷۶	۶/۲۳	۶۵	سنگین
۱۷/۱۵	۱۹/۳۶	۲۲/۴	۳۵/۶۲	۱۸/۸۷	۱۹۷	میانی
۷۸/۷	۷۳/۶۹	۲۵/۸۹	۳۴/۱۶	۷۴/۹	۷۸۲	سبک
۱۰۰	۱۰۰	۲۴/۶۴	۳۴/۷۲	۱۰۰	۱۰۴۴	مجموع

نتیجه: در این آزمایش میزان SiO₂ کاهش قابل ملاحظه‌ای در هیچ یک از محصولات مولتی‌گراویتی پیدا نکرده است. ولی نسبت به آزمایش میز در دانه‌بندی مشابه با بدست آوردن درصد جامد کوچکتری از محصول سنگین عیار سیلیس تا ۱۶ درصد نیز کاهش یافته است.

۵-۱-۲-۲- آزمایش دوم مولتی‌گراویتی

هدف: تاثیر خردایش نمونه اولیه تا ۱۰۰- مش در آزمایش مولتی‌گراویتی

جهت انجام این آزمایش نمونه اولیه توسط آسیای میله‌ای تر Denver تا ابعاد ۱۰۰- مش

آسیا گردید و سپس روی آن آزمایش مولتی‌گراویتی صورت گرفت. نتیجه این آزمایش در جدول

۵-۶ ارائه گردیده است. شرایط این آزمایش به صورت زیر می‌باشد.

دانه‌بندی: ۱۰۰- مش

دبی آب شستشو: ۲ لیتر در دقیقه

دبی آب همراه: ۲ لیتر در دقیقه

شیب: ۴ درجه

زمان باردهی: ۵/۵ دقیقه

سرعت: ۲۰۰ دور در دقیقه

جدول ۵-۶- نتیجه آزمایش دوم مولتی‌گراویتی

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصولات
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۸/۵۳	۱۰/۸۹	۲۱/۳۶	۳۶/۴	۱۰/۲۵	۸۶	سنگین
۱۶/۱۱	۳۰/۷۶	۱۵/۴۳	۳۹/۳۲	۲۶/۸۲	۲۲۵	میانی
۷۵/۳۶	۵۸/۳۵	۳۰/۷۵	۳۱/۷۸	۶۲/۹۳	۵۲۸	سبک
۱۰۰	۱۰۰	۲۵/۶۸	۳۴/۲۸	۱۰۰	۸۳۹	مجموع

نتیجه: در این آزمایش میزان SiO_2 کاهش قابل ملاحظه‌ای در هیچ یک از محصولات مولتی‌گراویتی پیدا نکرده است و با توجه به اینکه درصد وزنی محصول سنگین نسبت به آزمایش قبل تنها اندکی بیشتر شده ولی باعث افزایش عیار حدود ۵ درصدی در عیار سیلیس گردیده است.

۵-۱-۲-۳- آزمایش سوم مولتی‌گراویتی

هدف: تاثیر خردایش نمونه اولیه تا ۱۴۰- مش در آزمایش مولتی‌گراویتی

جهت انجام این آزمایش نمونه اولیه توسط آسیای میله‌ای تر Denver تا ابعاد ۱۴۰- مش آسیا گردید و سپس روی آن آزمایش مولتی‌گراویتی صورت گرفت. نتیجه این آزمایش در جدول ۷-۵ ارائه گردیده است. شرایط این آزمایش به صورت زیر می‌باشد.

دانه‌بندی: ۱۴۰- مش

دبی آب شستشو: ۲ لیتر در دقیقه

دبی آب همراه: ۲ لیتر در دقیقه

شیب: ۴ درجه

زمان باردهی: ۳/۵ دقیقه

سرعت: ۲۰۰ دور در دقیقه

جدول ۵-۷- نتیجه آزمایش سوم مولتی‌گراویتی

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد	وزن	محصولات
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO	وزنی	(گرم)	
۲۴/۵۴	۳۲/۱۴	۱۶/۳۹	۳۶/۳۶	۲۹/۸۱	۲۸۸	سنگین
۱۷/۵۶	۳۱/۵۵	۱۱/۴۹	۳۸/۵۱	۲۷/۶۴	۲۶۷	میانی
۵۷/۹	۳۶/۳۱	۱۰/۶۶	۲۸/۷۹	۴۲/۵۵	۴۱۱	سبک
۱۰۰	۱۰۰	۲۵/۹۸	۳۳/۷۳	۱۰۰	۹۶۶	مجموع

نتیجه: در این آزمایش میزان SiO₂ کاهش قابل ملاحظه‌ای در هیچ یک از محصولات مولتی‌گراویتی پیدا نکرده است. با خردایش بیشتر در آزمایش‌های مولتی‌گراویتی درصد وزنی بخش سنگین افزایش می‌یابد اما بر خلاف روند ۲ آزمایش قبل با ریزتر شدن ابعاد مواد و با بزرگتر شدن درصد وزنی بخش سنگین عیار سیلیس بر روی ۱۶ درصد مانده است.

۵-۱-۲-۴- آزمایش چهارم مولتی‌گراویتی

هدف: تاثیر خردایش نمونه اولیه تا ۲۰۰- مش در آزمایش مولتی‌گراویتی

جهت انجام این آزمایش نمونه اولیه توسط آسیای میله‌ای تر Denver تا ابعاد ۲۰۰- مش

آسیا گردید و سپس روی آن آزمایش مولتی‌گراویتی صورت گرفت. نتیجه این آزمایش در جدول

۵-۸ ارائه گردیده است. شرایط این آزمایش به صورت زیر می‌باشد.

دانه‌بندی: ۲۰۰- مش

دبی آب شستشو: ۲ لیتر در دقیقه

دبی آب همراه: ۲ لیتر در دقیقه

شیب: ۴ درجه

زمان باردهی: ۶ دقیقه

سرعت: ۲۰۰ دور در دقیقه

جدول ۵-۸- نتیجه آزمایش چهارم مولتی‌گراویتی

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد	وزن	محصولات
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO	وزنی	(گرم)	
۲۵/۸۹	۳۶/۳۹	۲۰/۱۱	۳۷/۰۹	۳۳/۱۶	۳۱۰	سنگین
۱۲/۵۸	۲۴/۷۹	۱۵/۲۲	۳۹/۳۵	۲۱/۲۸	۱۹۹	میانی
۶۱/۵۳	۳۸/۸۲	۳۴/۷۸	۲۹/۶۳	۴۵/۵۶	۴۲۶	سبک
۱۰۰	۱۰۰	۲۵/۷۵	۳۳/۷۹	۱۰۰	۹۳۵	مجموع

نتیجه: در این آزمایش میزان SiO₂ کاهش قابل ملاحظه‌ای در هیچ یک از محصولات مولتی‌گراویتی پیدا نکرده است. همچون روند قبلی آزمایش‌ها درصد وزنی بخش پرعیار افزایش یافته است و نسبت به آزمایش ۳ همانند آزمایش ۲ به ۱ عیار سیلیس در بخش سنگین افزایش یافته است.

۵-۲- آزمایش‌های فلوتاسیون

نقطه بار صفر یکی از خواص شیمی‌فیزیکی حائز اهمیت جهت جدایش مواد از ناخالصی‌ها در روش فلوتاسیون می‌باشد. نقطه بار منیزیت و ناخالصی همراه آن یعنی کوارتز

عبارت است از: منیزیت ۶/۵-۶، کوارتز ۱/۸. نقطه بار صفر در انتخاب pH مناسب محیط فلوئتاسیون کمک بسیاری می‌کند [۱۵].

صنایع مختلف همواره در پی پیشرفت و بهبود محصولات خود و به عبارتی بهینه کردن عملیات بوده‌اند. بدین منظور انجام آزمایش‌هایی برای مشاهده نتایج حاصل از بکارگیری یک طرح، قبل از مرحله صنعتی شدن در یک مقیاس کوچکتر، در واحد نیمه‌صنعتی یا آزمایشگاهی لازم و ضروری است. اما وجود عوامل مختلف و متعدد درگیر در طرح منجر به افزایش تعداد آزمایش‌ها و صرف هزینه‌های گزاف و زمان طولانی می‌شود. بنابراین روند انجام آزمایش به یک طرح منظم در جهت تسریع و تنظیم اطلاعات به دست آمده و کاهش تعداد آزمایش‌های لازم و همچنین بهینه‌سازی مجموعه مورد بررسی احتیاج دارد.

طراحی آزمایش شامل یک سری از آزمایش‌هایی است که بطور آگاهانه در متغیرهای ورودی فرآیند تغییراتی می‌شود تا از این طریق میزان تغییرات حاصل در پاسخ خروجی فرآیند مشاهده و شناسایی شود.

طراحی پارامتر به روش تاگوچی با استفاده از آرایه‌های متعامد انجام می‌شود. آرایه‌های متعامد جدولی از اعداد صحیح است که عناصر ستون‌های آن (۱ و ۲ و ۳ و ...) نشان‌دهنده سطوح کم، متوسط و زیاد عوامل می‌باشد. هر ردیف از آرایه‌های متعامد یک آزمایش را مشخص می‌سازد و به عبارت دیگر مجموعه مشخصی از سطوح عامل‌هایی است که باید آزمایش گردند.

تاگوچی ۱۸ ماتریس متعامد استاندارد برای طراحی پیشنهاد می‌کند که برای طراحی آزمایش باید از آنها استفاده نمود. آرایه‌هایی که بیشترین استفاده را دارند عبارتند از: $L_{16}(2^{15})$ و $L_{32}(2^{31})$ و $L_8(2^7)$ برای سیستم‌های دو سطحی و $L_{18}(2^1 \cdot 3^7)$ و $L_9(3^4)$ و $L_{27}(3^{31})$ برای

سیستم‌های سه سطحی. همچنین آرایه‌هایی برای سیستم‌های ۴ و ۵ سطحی نیز وجود دارد که کمتر استفاده می‌شود [۱۶، ۱۷ و ۱۸].

۵-۲-۱- آزمایش‌های فلوتاسیون معکوس

بر اساس مطالعات اولیه و آزمایشات مقدماتی انجام شده، فاکتورهایی در نظر گرفته شده برای طراحی تاگویی آزمایش‌های فلوتاسیون عبارتند از:

- غلظت کلکتور

- غلظت بازداشت‌کننده

- pH محیط

- دانه‌بندی

برای طراحی آزمایش‌ها هر فاکتور با دو سطح در نظر گرفته شده است جدول ۵-۱ فاکتورهای انتخابی برای آزمایش‌های فلوتاسیون و سطوح آنها را نشان می‌دهد. برای انجام عملیات از نرم‌افزار کوالیتیک چهار استفاده شده است.

با توجه به عوامل و سطوح انتخاب شده آرایه L₈ جهت انجام آزمایش انتخاب شد. در جدول ۵-۲ آرایه L₈ ارائه شده است. ستون اول این آرایه، شماره آزمایش را مشخص می‌سازد و سطر اول، شماره عامل‌ها (فاکتورها) را نشان می‌دهد. بقیه جدول با اعداد ۱ و ۲ پر شده است که نشان دهنده سطوح مورد استفاده در این طراحی است، عدد ۱ سطح اول و عدد ۲ سطح دوم فاکتور را نشان می‌دهد.

با توجه به توضیحات فوق جدول ۵-۳ جهت انجام آزمایش‌های فلوتاسیون معکوس منیزیت تشکیل گردید که شرایط هر آزمایش در آن مشخص شده است.

جدول ۵-۱- فاکتورهای انتخابی برای آزمایش‌های فلوتاسیون و سطوح آنها

سطح دوم	سطح اول	فاکتور
۱۰	۸	pH محیط
۳۰۰۰	۲۰۰۰	غلظت کلکتور (گرم بر تن)
۳۰۰۰	۲۰۰۰	غلظت بازداشت‌کننده (گرم بر تن)
۱۵۰	۷۵	دانه‌بندی (میکرون)

جدول ۵-۲- طراحی آزمایش به روش تاگوچی توسط آرایه L₈

عامل‌ها شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۲	۲
۳	۱	۲	۱	۱
۴	۱	۲	۲	۲
۵	۲	۱	۱	۱
۶	۲	۱	۲	۲
۷	۲	۲	۱	۱
۸	۲	۲	۲	۲

جدول ۵-۳- مقادیر عامل‌ها و سطوح در طراحی آزمایش‌های فلوتاسیون

عامل‌ها شماره آزمایش	pH	غلظت کلکتور (گرم بر تن)	غلظت بازداشت‌کننده (گرم بر تن)	دانه‌بندی (میکرون)
۱	۸	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۷۵
۲	۸	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰
۳	۸	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۷۵
۴	۸	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰
۵	۱۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۷۵
۶	۱۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰
۷	۱۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۷۵
۸	۱۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰

با در نظر گرفتن آزمایش‌های انجام شده در کارهای قبلی و مواد شیمیایی موجود

آزمایش‌های فلوتاسیون معکوس در این مرحله مطابق شرایط زیر انجام شد:

- کلکتور: Armac T

- بازداشت‌کننده: نشاسته

- تنظیم‌کننده: کربنات سدیم

- کفساز: MIBC ۱ سی‌سی

- حجم سلول: ۲ لیتر

- وزن بار اولیه: ۵۰۰ گرم

- سرعت دوران روتور: ۹۰۰ دور در دقیقه

- زمان آماده‌سازی ۲ دقیقه

- زمان آماده‌سازی بعد از افزودن بازداشت‌کننده: ۴ دقیقه

- زمان آماده‌سازی بعد از افزودن کلکتور: ۴ دقیقه

- زمان آماده‌سازی بعد از افزودن کفساز: ۲ دقیقه

- زمان کفگیری: ۴ دقیقه

هدف از این آزمایش‌ها دستیابی به حداقل عیار SiO_2 و بازیابی مطلوبی از MgO است.

پس از انجام هر آزمایش، محصول‌های حاصل خشک و توزین شدند و سپس نمونه معرف تهیه و

برای آنالیز ارسال گردید. نتایج آزمایش‌ها به ترتیب در جداول ۵-۴ تا ۱۱-۵ ارائه گردیده است.



شکل ۴-۵- آزمایش‌های فلوتاسیون

جدول ۴-۵- آزمایش اول فلوتاسیون معکوس

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۲۹/۰۹	۱۶/۹۸	۳۷/۱۴	۲۸/۶۴	۲۰/۵۳	۱۰۱	شناور شده
۷۰/۹۱	۸۳/۰۲	۲۳/۳۹	۳۵/۱۶	۷۹/۴۷	۳۹۱	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۲۱	۳۴/۶۲	۱۰۰	۴۹۲	مجموع

جدول ۵-۵- آزمایش دوم فلوتاسیون معکوس

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۳۹/۹۸	۲۱/۰۹	۳۹/۴۵	۲۷/۴۴	۲۶/۱۸	۱۲۷	شناور شده
۶۰/۰۲	۷۸/۹۱	۲۱/۰۱	۳۶/۴۲	۷۳/۸۱	۳۵۸	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۵/۸۴	۳۴/۰۷	۱۰۰	۴۸۵	مجموع

جدول ۵-۶- آزمایش سوم فلوتاسیون معکوس

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۴۴/۷۶	۳۲/۷۶	۳۲/۹۶	۳۰/۶۱	۳۶/۰۲	۱۷۴	شناور شده
۵۵/۲۴	۶۷/۲۴	۲۲/۹۱	۳۵/۳۸	۶۳/۹۸	۳۰۹	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۵۳	۳۳/۶۶	۱۰۰	۴۸۳	مجموع

جدول ۵-۷- آزمایش چهارم فلوتاسیون معکوس

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۶۶/۷۸	۴۶/۵۴	۳۳/۷۴	۳۰/۳۸	۵۱/۹۶	۲۵۲	شناور شده
۳۳/۲۲	۵۳/۴۶	۱۸/۱۵	۳۷/۷۵	۴۸/۰۴	۲۳۳	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۲۵	۳۳/۹۲	۱۰۰	۴۸۵	مجموع

جدول ۵-۸- آزمایش پنجم فلوتاسیون معکوس

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۴۰/۰۹	۳۳/۵۳	۳۰/۴۸	۳۱/۸۴	۳۵/۲	۱۷۰	شناور شده
۵۹/۹۱	۶۶/۴۷	۲۴/۷۴	۳۴/۳۸	۶۴/۸	۳۱۳	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۷۶	۳۳/۴۲	۱۰۰	۴۸۳	مجموع

جدول ۵-۹- آزمایش ششم فلوتاسیون معکوس

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۵۴/۳۳	۴۲/۴۱	۳۱/۹۹	۳۱/۲۳	۴۵/۵۱	۲۲۸	شناور شده
۴۵/۶۷	۵۷/۵۹	۲۲/۴۶	۳۵/۴۲	۵۴/۴۹	۲۷۳	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۸	۳۳/۵۱	۱۴۰۰	۵۰۱	مجموع

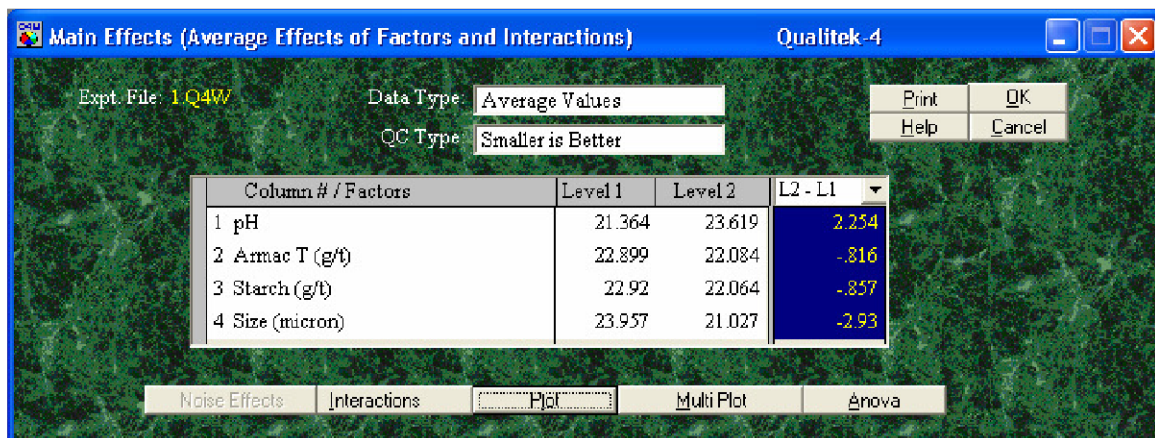
جدول ۵-۱۰- آزمایش هفتم فلوتاسیون معکوس

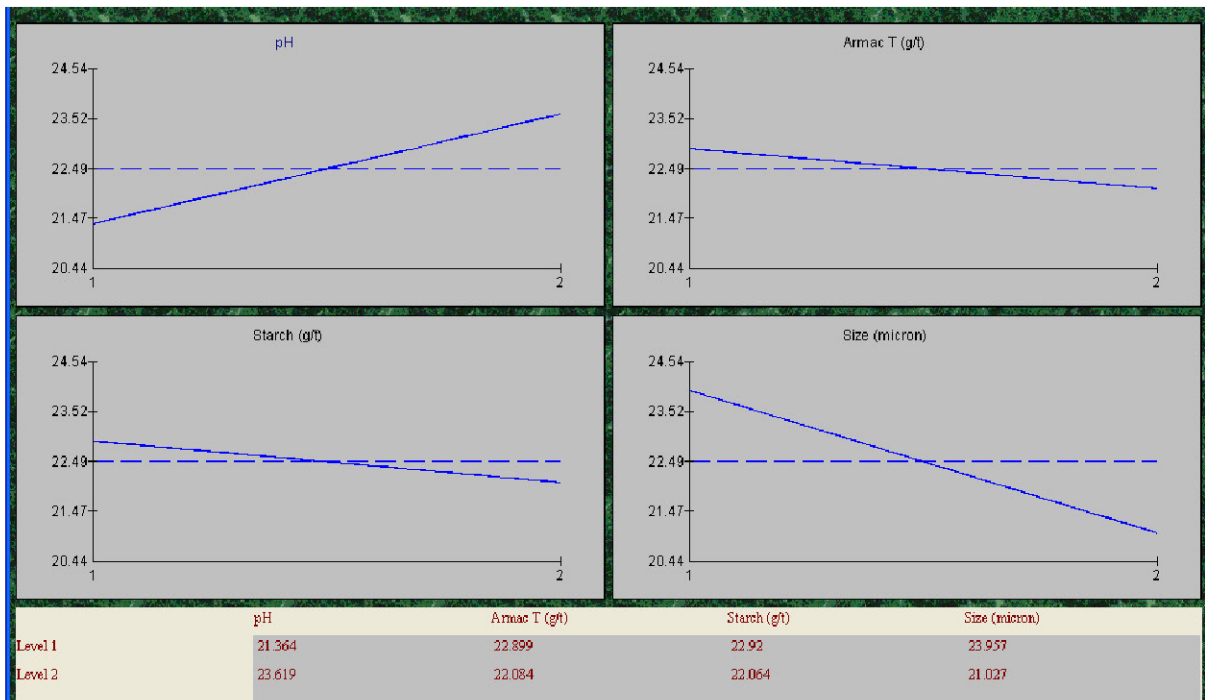
بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۷۳/۰۳	۷۰/۲۶	۲۷/۷	۳۳/۱۶	۷۰/۷۹	۳۴۹	شناور شده
۲۶/۹۷	۲۶/۷۴	۲۴/۷۹	۳۴/۰۱	۲۹/۲۱	۱۴۴	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۸۵	۳۳/۴۱	۱۰۰	۴۹۳	مجموع

جدول ۵-۱۱- آزمایش هشتم فلوتاسیون معکوس

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۷۴/۲۳	۶۷/۷۳	۲۸/۸۸	۳۲/۷۲	۶۹/۳۹	۳۴۰	شناور شده
۲۵/۵۷	۳۲/۲۷	۲۲/۴۹	۳۵/۳۳	۳۰/۶۱	۱۵۰	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۹۲	۳۳/۵۲	۱۰۰	۴۹۰	مجموع

برای تحلیل نتایج از عیار SiO₂ به عنوان متغیر پاسخ استفاده شده است. ابتدا میانگین عیار SiO₂ در هر سطح برای هر عامل محاسبه شد که نتیجه در شکل ۵-۵ به همراه نمودارهای مربوطه در شکل ۵-۶ ارائه شده است.

شکل ۵-۵- میانگین عیار SiO₂ در سطوح مختلف



شکل ۵-۶- رسم نمودار مربوط به نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از طراحی آزمایش‌ها

در مرحله بعد آنالیز واریانس (جدول ANOVA) محاسبه گردید که نتایج آن در اشکال

۷-۵ و ۸-۵ ارائه شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که دانه‌بندی بار ورودی و میزان

pH بیشترین تاثیر را بر عیار SiO_2 داشته و سایر فاکتورها تقریباً بی‌تاثیرند.

Col# / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F - Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P (%)
1 pH	1	10.169	10.169	13.646	9.424	29.119
2 Armac T (g/l)	1	1.328	1.328	1.782	.583	1.801
3 Starch (g/l)	1	1.461	1.461	1.961	.716	2.214
4 Size (micron)	1	17.169	17.169	23.039	16.424	50.747
Other/Error	3	2.234	.744			16.119
Total:	7	32.365				100.00%

شکل ۵-۷- تجزیه و تحلیلهای آماری مربوط به پارامترها و نتایج آن

ANOVA Table Qualitek-4

Expt. File: 1.Q4W Data Type: Average Values QC Type: Smaller is Better

Col # / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F - Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P (%)
1 pH	1	10.169	10.169	10.117	9.164	28.316
2 Amac T (g/t)	(1)	(1.328)		POOLED	(CL=77.06%)	
3 Starch (g/t)	(1)	(1.461)		POOLED	(CL=77.32%)	
4 Size (micron)	1	17.169	17.169	17.081	16.164	49.945
Other/Error	5	5.025	1.005			21.739
Total:	7	32.365				100.00%

Main Effects Pool Factor Auto Pool Unpool All CI Function Bar Graph Pie Chart Optimum

شکل ۵-۸- تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوط به پارامترها و نتایج آن بعد از حذف عامل‌های کم‌تاثیر

در ادامه مقادیر بهینه برای هر فاکتور (سطح مورد نظر) محاسبه شده و عیار SiO_2 در این

شرایط (که نرم‌افزار پیش‌بینی می‌کند) محاسبه گردید. شکل ۵-۹ شرایط بهینه تعیین شده توسط

نرم‌افزار را نشان می‌دهد.

Optimum Conditions and Performance Qualitek-4

Expt. File: 1.Q4W Data Type: Average Values QC: Smaller is Better

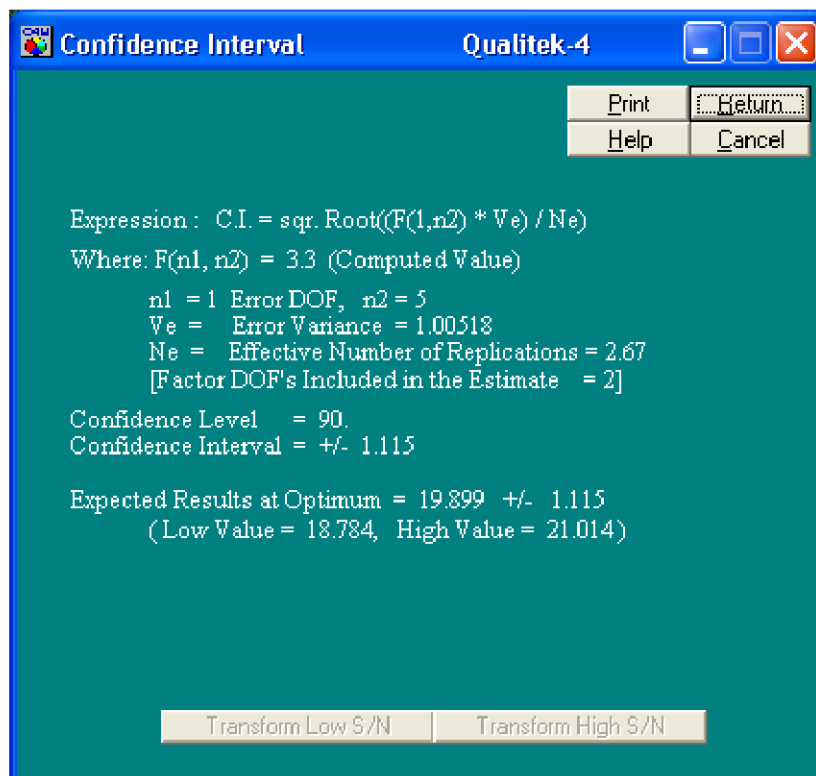
Column # / Factor	Level Description	Level	Contribution
1 pH	8	1	-1.128
4 Size (micron)	150	2	-1.465

Total Contribution From All Factors... -2.593
 Current Grand Average Of Performance... 22.492
 Expected Result At Optimum Condition... 19.899

Anova Transform CI Report Export Opt Estimate Graph Variation

شکل ۵-۹- بهینه‌ترین حالت به دست آمده با نتایج آزمایشگاهی

با توجه به اعداد به دست آمده در شرایط بهینه، مشاهده می‌شود آزمایش‌های ۲ و ۴ مطابق شرایط بهینه انجام شده‌اند. میانگین عیار SiO_2 این دو آزمایش ۱۹/۵۸ درصد محاسبه می‌شود. که در محدوده پیش‌بینی شده نرم‌افزار (شکل ۵-۱۰) قرار می‌گیرد که دلیلی بر صحت آزمایش‌ها و نتایج آنها می‌باشد.



شکل ۵-۱۰- محدوده مورد انتظار در حالت بهینه با سطح اعتماد ۹۰ درصد

۵-۲-۲- آزمایش‌های فلوتاسیون مستقیم

بر اساس مطالعات اولیه و آزمایشات مقدماتی انجام شده، فاکتورهایی در نظر گرفته شده

برای طراحی تاگوجی آزمایش‌های فلوتاسیون عبارتند از:

- غلظت کلکتور

- غلظت بازداشت‌کننده

- pH محیط

- دانه‌بندی

برای طراحی آزمایش‌ها هر فاکتور با دو سطح در نظر گرفته شده است، جدول ۵-۱۲ فاکتورهای انتخابی برای آزمایش‌های فلوتاسیون و سطوح آنها را نشان می‌دهد. برای انجام عملیات از نرم‌افزار کوالیتیک چهار استفاده شده است.

با توجه به عوامل و سطوح انتخاب شده آرایه L₈ جهت انجام آزمایش انتخاب شد. در جدول ۵-۱۳ آرایه L₈ ارائه شده است. ستون اول این آرایه، شماره آزمایش را مشخص می‌سازد و سطر اول، شماره عامل‌ها (فاکتورها) را نشان می‌دهد. بقیه جدول با اعداد ۱ و ۲ پر شده است که نشان دهنده سطوح مورد استفاده در این طراحی است، عدد ۱ سطح اول و عدد ۲ سطح دوم فاکتور را نشان می‌دهد.

با توجه به توضیحات فوق جدول ۵-۱۴ جهت انجام آزمایش‌های فلوتاسیون مستقیم منیزیت تشکیل گردید که شرایط هر آزمایش در آن مشخص شده است.

جدول ۵-۱۲- فاکتورهای انتخابی برای آزمایش‌های فلوتاسیون و سطوح آنها

فاکتور	سطح اول	سطح دوم
pH محیط	۸	۱۰
غلظت کلکتور (گرم بر تن)	۲۰۰۰	۳۰۰۰
غلظت بازداشت‌کننده (گرم بر تن)	۲۰۰۰	۳۰۰۰
دانه‌بندی (میکرون)	۷۵	۱۵۰

جدول ۵-۱۳- طراحی آزمایش به روش تاگوچی توسط آرایه L8

عامل‌ها شماره آزمایش	۱	۲	۳	۴
۱	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۲	۲
۳	۱	۲	۲	۱
۴	۱	۲	۲	۲
۵	۲	۱	۲	۱
۶	۲	۱	۲	۲
۷	۲	۲	۱	۱
۸	۲	۲	۱	۲

جدول ۵-۱۴- مقادیر عامل‌ها و سطوح در طراحی آزمایش‌های فلوتاسیون

عامل‌ها شماره آزمایش	pH	غلظت کلکتور (گرم بر تن)	غلظت بازداشت‌کننده (گرم بر تن)	دانه‌بندی (میکرون)
۱	۸	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۷۵
۲	۸	۲۰۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰
۳	۸	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۷۵
۴	۸	۳۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰
۵	۱۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۷۵
۶	۱۰	۲۰۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰
۷	۱۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۷۵
۸	۱۰	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۱۵۰

با در نظر گرفتن آزمایش‌های انجام شده در کارهای قبلی آزمایش‌های فلوتاسیون مستقیم

در این مرحله مطابق شرایط زیر انجام شد:

- کلکتور: اسید اولئیک

- بازداشت‌کننده: سیلیکات سدیم

- تنظیم‌کننده: اسید کلریدریک

- کفساز: MIBC ۱ سی سی

- حجم سلول: ۲ لیتر

- وزن بار اولیه: ۵۰۰ گرم

- سرعت دوران روتور: ۹۰۰ دور در دقیقه

- زمان آماده‌سازی ۲ دقیقه

- زمان آماده‌سازی بعد از افزودن بازداشت‌کننده: ۴ دقیقه

- زمان آماده‌سازی بعد از افزودن کلکتور: ۴ دقیقه

- زمان آماده‌سازی بعد از افزودن کفساز: ۲ دقیقه

- زمان کفگیری: ۴ دقیقه

هدف از این آزمایش‌ها دستیابی به حداقل عیار SiO_2 و بازیابی مطلوبی از MgO است.

پس از انجام هر آزمایش، محصول‌های حاصل خشک و توزین شدند و سپس نمونه معرف تهیه و

برای آنالیز ارسال گردید. نتایج آزمایش‌ها به ترتیب در جداول ۵-۱۵ تا ۲۲ ارائه گردیده است.

جدول ۵-۱۵- آزمایش اول فلوتاسیون مستقیم

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO_2	MgO	SiO_2	MgO			
۵۲/۷۴	۷۳/۸۷	۲۱/۳۵	۳۶/۱۷	۶۷/۸۹	۳۳۴	شناور شده
۴۷/۲۶	۲۶/۱۳	۴۰/۴۴	۲۷/۰۴	۳۲/۱۱	۱۵۸	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۷/۴۸	۳۳/۲۴	۱۰۰	۴۹۲	مجموع

جدول ۵-۱۶- آزمایش دوم فلوتاسیون مستقیم

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۴۲/۹۸	۶۶/۲۱	۱۹/۱۶	۳۷/۲۴	۵۹/۹۶	۲۷۷	شناور شده
۵۷/۰۲	۳۳/۷۹	۳۸/۰۶	۲۸/۴۶	۴۰/۰۴	۱۸۵	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۷۳	۳۳/۷۲	۱۰۰	۴۶۲	مجموع

جدول ۵-۱۷- آزمایش سوم فلوتاسیون مستقیم

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۶۴/۵۴	۸۱/۶۶	۲۳/۰۴	۳۵/۳۵	۷۶/۸۳	۳۷۸	شناور شده
۳۵/۴۶	۱۸/۳۴	۴۱/۹۸	۲۶/۳۳	۲۳/۱۷	۱۱۴	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۷/۴۳	۳۳/۲۶	۱۰۰	۴۹۲	مجموع

جدول ۵-۱۸- آزمایش چهارم فلوتاسیون مستقیم

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۴۸/۶۸	۷۰/۶۹	۱۹/۸۴	۳۶/۹۷	۶۴/۸۴	۳۱۹	شناور شده
۵۱/۳۲	۲۹/۳۱	۳۸/۵۶	۲۸/۲۷	۳۵/۱۶	۱۷۳	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۴۲	۳۳/۹۱	۱۰۰	۴۹۲	مجموع

جدول ۵-۱۹- آزمایش پنجم فلوتاسیون مستقیم

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۸۳/۷۳	۹۳/۵۸	۲۳/۳۲	۳۵/۲۸	۹۰/۹۳	۴۳۱	شناور شده
۱۶/۲۷	۶/۴۲	۴۵/۴۳	۲۴/۲۵	۹/۰۷	۴۳	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۵/۳۳	۳۴/۲۸	۱۰۰	۴۷۴	مجموع

جدول ۵-۲۰- آزمایش ششم فلوتاسیون مستقیم

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۴۴/۲۶	۶۷/۷۹	۱۹/۰۶	۳۷/۳۸	۶۱/۴۱	۳۰۴	شناور شده
۵۵/۷۴	۳۲/۲۱	۳۸/۲	۲۸/۲۷	۳۸/۵۹	۱۹۱	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۴۵	۳۳/۸۶	۱۰۰	۴۹۵	مجموع

جدول ۵-۲۱- آزمایش هفتم فلوتاسیون مستقیم

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۷۵/۳۶	۸۹/۹۷	۲۳/۳۹	۳۵/۲۳	۸۵/۸۴	۴۰۰	شناور شده
۲۴/۶۴	۱۰/۰۳	۴۶/۳۶	۲۳/۸	۱۴/۱۶	۶۶	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۶۴	۳۳/۶۱	۱۰۰	۴۹۳	مجموع

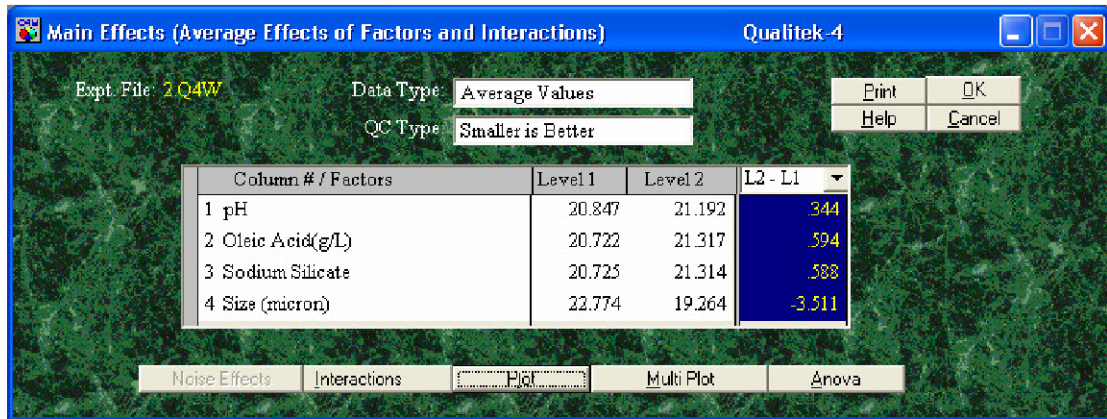
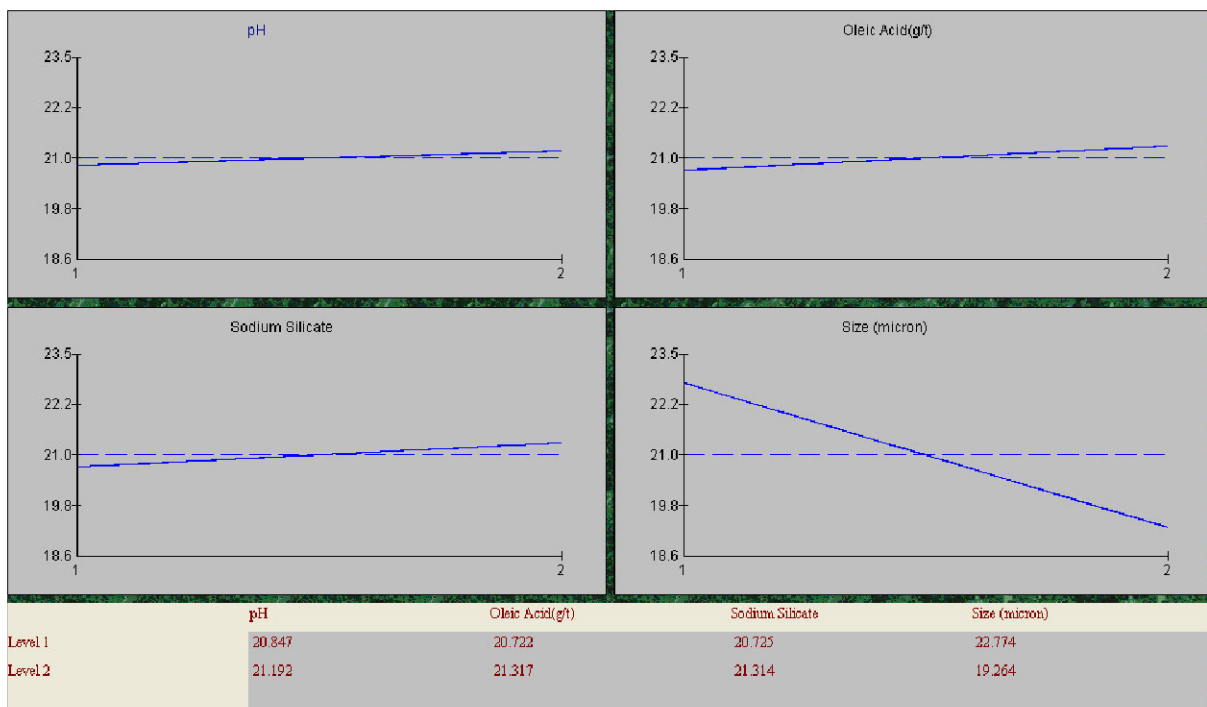
جدول ۵-۲۲- آزمایش هشتم فلوتاسیون مستقیم

بازیابی (%)		عیار (%)		درصد وزنی	وزن (گرم)	محصول
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO			
۴۴/۷۳	۶۷/۴۰	۱۹/۰۰	۳۷/۳۹	۶۱/۴۱	۳۰۴	شناور شده
۲۷/۵۵	۳۲/۶۰	۳۷/۳۶	۲۸/۷۸	۳۸/۵۹	۱۹۱	باقیمانده
۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۰۸	۳۴/۰۷	۱۰۰	۴۹۵	مجموع

برای تحلیل نتایج از عیار SiO₂ به عنوان متغیر پاسخ استفاده شده است. ابتدا میانگین عیار

SiO₂ در هر سطح برای هر عامل محاسبه شد که نتیجه در شکل ۵-۱۱ به همراه نمودارهای

مربوطه در شکل ۵-۱۲ ارائه شده است.

شکل ۵-۱۱- میانگین عیار SiO_2 در سطوح مختلف

شکل ۵-۱۲- رسم نمودار مربوط به نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از طراحی آزمایش‌ها

در مرحله بعد آنالیز واریانس (جدول ANOVA) محاسبه گردید که نتایج آن در اشکال

۵-۱۳ و ۵-۱۴ ارائه شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان می‌دهد که دانه‌بندی بار ورودی بیشترین

تأثیر را بر عیار SiO_2 داشته و سایر فاکتورها تقریباً بی‌تأثیرند.

ANOVA Table Qualitek-4

Expt. File: 2.Q4W Data Type: Average Values QC Type: Smaller is Better

Col# / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F - Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P (%)
1 pH	1	.237	.237	449	0	0
2 Oleic Acid(g/t)	1	.708	.708	1.337	.178	.641
3 Sodium Silicate	1	.696	.696	1.314	.166	.598
4 Size (micron)	1	24.64	24.64	46.548	24.11	86.51
Other/Error	3	1.587	.529			12.251
Total:	7	27.87				100.00%

Main Effects Pool Factor Auto Pool Unpool All CI Function Bar Graph Pie Chart Optimum

شکل ۵-۱۳- تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوط به پارامترها و نتایج آن

ANOVA Table Qualitek-4

Expt. File: 2.Q4W Data Type: Average Values QC Type: Smaller is Better

Col# / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F - Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P (%)
1 pH	(1)	(.237)		POOLED	(CL= *NC*)	
2 Oleic Acid(g/t)	(1)	(.708)		POOLED	(CL=75.28%)	
3 Sodium Silicate	(1)	(.696)		POOLED	(CL=75.87%)	
4 Size (micron)	1	24.64	24.64	45.768	24.101	86.478
Other/Error	6	3.229	.538			13.522
Total:	7	27.87				100.00%

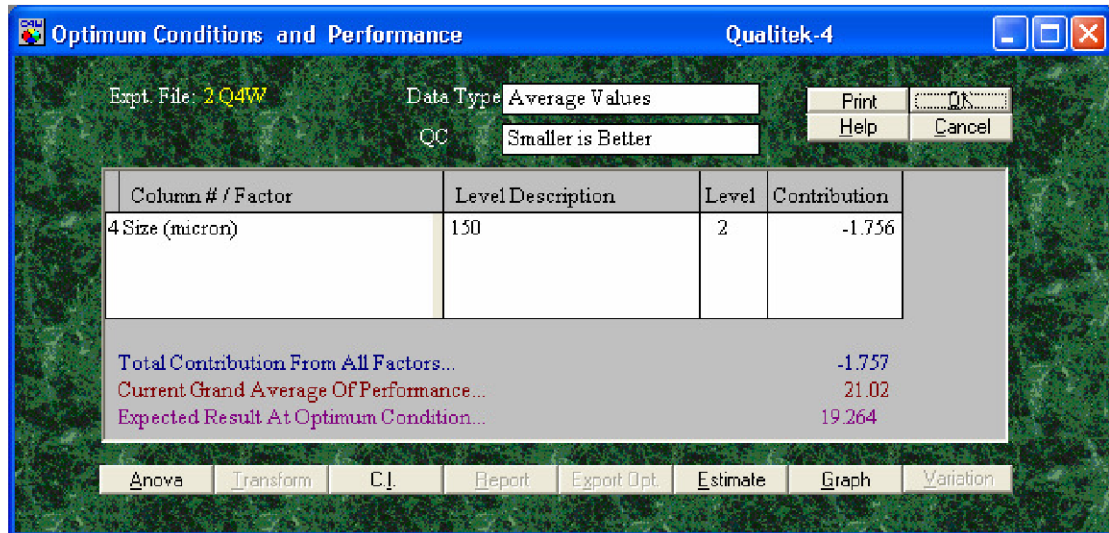
Main Effects Pool Factor Auto Pool Unpool All CI Function Bar Graph Pie Chart Optimum

شکل ۵-۱۴- تجزیه و تحلیل‌های آماری مربوط به پارامترها و نتایج آن بعد از حذف عامل‌های کم‌تاثیر

در ادامه مقادیر بهینه برای هر فاکتور (سطح مورد نظر) محاسبه شده و عیار SiO_2 در این

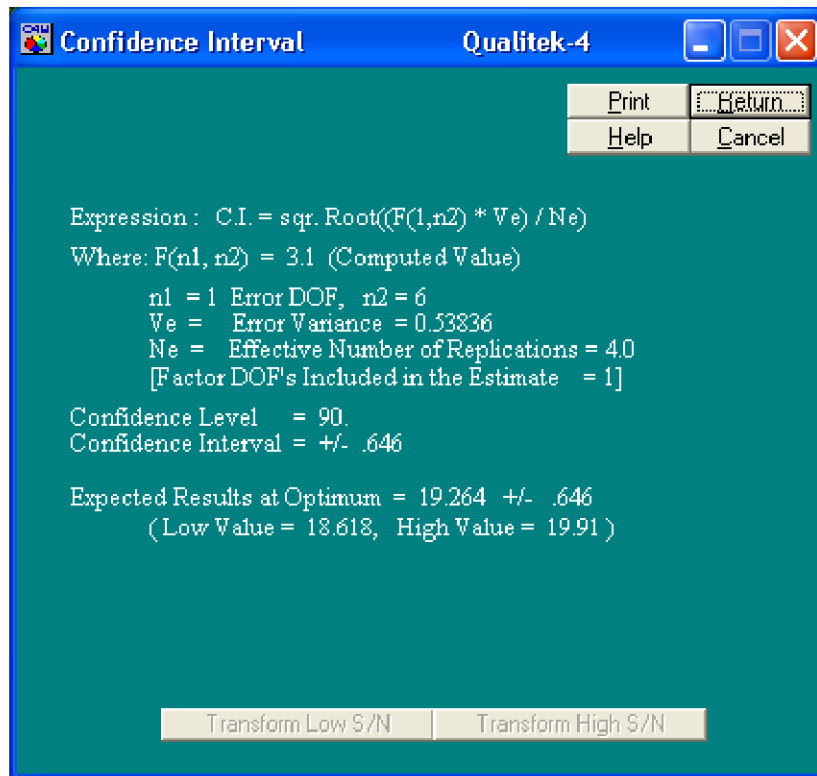
شرایط (که نرم‌افزار پیش‌بینی می‌کند) محاسبه گردید. شکل ۵-۱۵ شرایط بهینه تعیین شده توسط

نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۵- بهینه‌ترین حالت به دست آمده با نتایج آزمایشگاهی

با توجه به اعداد به دست آمده در شرایط بهینه، مشاهده می‌شود آزمایش‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ مطابق شرایط بهینه انجام شده‌اند. میانگین عیار SiO_2 این چهار آزمایش ۱۹/۲۶ درصد محاسبه می‌شود. که در محدوده پیش‌بینی شده نرم‌افزار (شکل ۵-۱۶) قرار می‌گیرد که دلیلی بر صحت آزمایش‌ها و نتایج آنها می‌باشد.



شکل ۵-۱۶- محدوده مورد انتظار در حالت بهینه با سطح اعتماد ۹۰ درصد

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱- مطالعه نمونه‌های دستی و مقاطع تهیه شده از این کانسنگ نشان داده است که کانی کوارتز عمدتاً شامل واریته‌های ریزبلور (microcrystalline) و گاهی نهان بلور (cryptocrystalline) است که با بافت شعاعی و گاهی موزائیکی به صورت تمرکزهای رگچه مانند ویا پر کننده حفرات موجود در کانسنگ منیزیت مشاهده می‌شود. کانی‌شناسی اشعه X نیز وجود کانیهای منیزیت، کوارتز و دولومیت را تایید نمود.

۲- در دانه‌بندی ۱۷۰+۱۲۰- مش (۸۸+۱۲۵- میکرون) درجه آزادی حدود ۷۶ درصد، در دانه‌بندی ۲۰۰+۱۷۰- مش (۷۵+۸۸- میکرون) درجه آزادی حدود ۸۳ درصد و در دانه‌بندی ۳۲۵+۲۰۰- مش (۴۴+۷۵- میکرون) درجه آزادی حدود ۹۴ درصد محاسبه گردید.

۳- عیار MgO در نمونه اولیه ۳۴/۱ درصد و عیار SiO₂، ۲۵/۳۲ درصد تعیین شد.

۴- آزمایش‌های ثقلی با میز لرزان و مولتی‌گراویتی صورت گرفت.

۵- آزمایش‌های میز لرزان در دانه‌بندی‌ها و شرایط مختلف انجام گرفت که نتایج رضایت‌بخشی از آنها حاصل نشد و عملاً هیچگونه جدایشی صورت نگرفت که اختلاف کم وزن مخصوص منیزیت (۲/۹۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و سیلیس (۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و همچنین درگیری شدید آنها دلیل عدم جدایش آنها از یکدیگر در روش میز لرزان می‌باشد.

۶- اگرچه با جداکننده مولتی‌گراویتی، عیار سیلیس تا حدود ۱۶ درصد کاهش یافت، ولی باز هم عیار آن با حالت مطلوب فاصله زیادی دارد که دلیل آن همان اختلاف کم وزن مخصوص و درگیری شدیدشان می‌باشد.

۷- از آزمایش‌های فلوتاسیون مستقیم و معکوس صورت گرفته نیز نتایج قابل توجهی به دست نیامد. چرا که عیار سیلیس از حدود ۱۸ درصد پایین نیامد.

۸- به طور کلی با استفاده از روش‌های مختلف نتایج بهینه زیر به دست آمد، همانطور که ملاحظه می‌شود این نتایج طبق استانداردهای تعریف شده مورد قبول نمی‌باشد.

جدول ۶-۱- بهترین شرایط عیار و بازیابی به دست آمده از روش‌های مختلف

بازیابی (%)		عیار (%)		روش
SiO ₂	MgO	SiO ₂	MgO	
۸/۳۵	۹/۱۳	۲۵/۴	۳۴/۰۳	میزلرزان
۲۴/۵۴	۳۲/۱۴	۱۶/۳۹	۳۶/۳۶	MGS
۳۳/۲۲	۵۳/۴۶	۱۸/۱۵	۳۷/۷۵	فلوتاسیون معکوس
۴۴/۱۳	۶۷/۴۰	۱۹/۰۰	۳۷/۳۹	فلوتاسیون مستقیم

منابع و مراجع

- ۱- احمدزاده هروری، محمود، ۱۳۷۵، "زمین‌شناسی و پراکنندگی منیزیت در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- 2-Maurice C., Fuerstenau, Jan D. Miller, Martin C. Kuhn, 1985, "Chemistry of Flotation", pp 118-125.
- 3-"Magnesium and Magnesia from Brines", 1995, internet.
- ۴- زواری، مجید، ۱۳۷۵، "بررسی و مطالعه امکان فرآوری منیزیت جنوب خراسان"، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی معدن.
- 5-Deborah A. Kramer, January 2001, "Magnesium, Compounds", U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries.
- 6-F Bruvel & C Sandford, September 2005, "Natural Resources and Mines", Mining and Petroleum.
- 7-"Exploration Outlook in QUEBEC for a Neglected Commodity", March 2004, 5th Strategic Diversification Newsletter, www.sidex.ca
- 8-Nermin Gence, 15 March 2006, "Wetting Behavior of Magnesite and Dolomite Surface", Applied Surface Science, Vol. 252, Issue 10, pp. 3744-3750.
- 9-Jv. N Luitingh, 2002, "Magnesite".
- ۱۰- واعظ‌زاده، ۱۳۸۳، "گزارشی درباره ذخایر و تولید جهانی منیزیت خام یا کربنات منیزیت - کلرید منیزیم موجود در آب دریا و شورابه‌ها"، شرکت تهیه و تولید مواد نسوز.
- 11-Lampropoulou P., Katagas C, 2004, "Mineralogical Study and Properties of Magnesia Refractories Derived From Evin Magnesite", Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXVI.
- ۱۲- اولیازاده، منوچهر، میرمحمدی، میرمحمدعلی، ۱۳۸۵، "فرآوری و کاربرد کانیهای صنعتی"، انتشارات جهاد دانشگاهی امیرکبیر.
- ۱۳- اولیازاده، منوچهر، ۱۳۷۶، "کانه‌آرایی منیزیت و کاربرد آن"، وزارت صنایع و معادن.

۱۴- حسنی، فاطمه، ۱۳۸۵، "مطالعه و بررسی امکان کاهش سیلیس از کانسنگ منیزیت منطقه جنوب بیرجند به روش فلوتاسیون"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

15- Gonglun, Chen, Daniel, Tao, 2004, "Effect of Solution Chemistry on Floability of Magnesite and Dolomite", International Journal of Mineral Processing, Issue xx, pp. xxx.

۱۶- حاجتی، عبدالمطلب، "حذف آهن و پری‌عیارسازی کانی‌های اکسیده روی دیپوی باطله معدن گوشفیل باما به روش فلوتاسیون"، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۷- رحیمی، محسن، ۱۳۸۳، "شناسایی فازهای موجود در سنگ معدنی دولومیت از دیدگاه حذف آهن"، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۸- مونت گمری، داگلاس سی، ۱۳۸۰، "طرح و تحلیل آزمایش‌ها"، ترجمه: غلامحسین شاهکار، مرکز نشر دانشگاهی.

پیوست