

## یادداشت فنی

# مطالعه پیش‌امکان‌سنجی احداث کارخانه فرآوری سیار برای معادن بنتونیت در استان خراسان جنوبی

حمید گرانیان\*

استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی بیرجند، h.geraniani@birjandut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۱ - پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳

## چکیده

بنتونیت یک خاک صنعتی با کاربردهای فراوان است. اکثر معادن بنتونیت کشور (خصوصاً معادن استان خراسان جنوبی که قطب بنتونیت کشور محسوب می‌شود) به دلیل کم بودن ذخیره و پراکنده بودن به صورت نیمه تعطیل و یا بهره‌برداری محدود مشغول به کار هستند. احداث کارخانه‌های فرآوری سیار باعث رونق این معادن، ایجاد ارزش افزوده، ایجاد اشتغال در مناطق محروم و بهره‌برداری مناسب از ذخایر کشور خواهد شد. علاوه بر آن انعطاف‌پذیری، کاهش هزینه‌های حمل و نقل مواد خام، نیاز به سرمایه‌گذاری کم، نصب سریع و آسان و ارتقاء دانش ساخت تجهیزات و معدنکاری نیز از مهمترین مزیت‌های این واحدهای فرآوری می‌باشد. یک کارخانه فرآوری سیار برای تولید کنسانتره بنتونیت نیاز به واحدهای سنگ‌شکنی اولیه (سنگ‌شکن فکی)، سنگ‌شکنی ثانویه (سنگ‌شکن ضربه‌ای)، جداکننده واسطه سنگین (سیکلون واسطه سنگین یا دایناوپرپول)، خشک‌کنی (خشک‌کن استوانه‌ای دوار)، آسیاکنی (آسیای غلطکی)، بسته‌بندی، تامین انرژی و کنترل و مونیتورینگ دارد که هر کدام می‌توانند بر روی یک تریلر سوار شوند. مطالعات و بررسی‌های فنی و اقتصادی نشان می‌دهد که چنین کارخانه فرآوری سیاری با ظرفیت ۲۰۰ تن در روز، نیاز به حدود ۵۳۰ میلیارد ریال سرمایه ثابت و حدود ۳۰/۵ میلیارد ریال سرمایه در گردش دارد. همچنین هزینه‌های عملیاتی سالیانه این طرح نیز حدود ۱۸۰ میلیارد ریال تخمین زده شده است. با این مشخصات، این طرح دارای دوره بازگشت سرمایه ۱/۸ سال، ارزش خالص فعلی مثبت و نرخ بازدهی داخلی ۴۸ درصد خواهد بود که از نظر سرمایه‌گذاری مناسب و مقرون به صرفه است. همچنین مهمترین ریسک‌های این طرح از نظر سرمایه‌گذاری شامل فرآیندها عملیاتی، نوسانات نرخ ارز و قیمت‌ها است. سایر پارامترها این طرح دارای ریسک متوسط و کم می‌باشند.

## کلمات کلیدی

بنتونیت، واحد فرآوری سیار، روش واسطه سنگین، ارزیابی اقتصادی طرح معدنی، تحلیل ریسک.

## ۱- مقدمه

محدود می‌باشد و بیشتر آنها بر روی ساختن بنتونیت برای مصارف خاص متمرکز بوده است. حذف ناخالصی‌های سیلیسی از بنتونیت برای تولید نانو رس [۷]، فعال‌سازی بنتونیت کلسیتی با استفاده از کربنات سدیم به روش نیمه خشک [۴]، شناسایی و خالص‌سازی مونتموریلونیت از بنتونیت [۱۲]، تولید نانورس با استفاده از تکنیک‌های کانه‌آرایی [۱۳]، تأثیر فرآیندهای خالص‌سازی مونتموریلونیت توسط مواد آلی [۳]، جداسازی اجزای بنتونیت به منظور دستیابی به نانو مونتموریلونیت [۲] و سنتز نانوبنتونیت از بنتونیت به روش سونوشیمیایی [۱] از این موارد هستند. همچنین جداسازی بنتونیت به کمک هیدروسیکلون [۱۸]، خالص‌سازی فیزیکی بنتونیت [۲۲] و روشهای فرآوری خشک بنتونیت [۲۴] نیز از جمله مطالعاتی می‌باشد که در سطح بین‌المللی صورت گرفته است.

هرچند استفاده از واحدهای فرآوری سیار در جهان به دهه ۱۹۷۰ بر می‌گردد؛ ولی در ایران مطالعه و امکان‌پذیری احداث واحدهای فرآوری سیار در دهه گذشته صورت گرفته است. اولین واحد فرآوری سیار نیز در سال ۱۳۹۷ در معدن سرب و روی منصوآباد تفت در استان یزد به بهره‌برداری رسیده است. در این تحقیق ضمن بررسی روش‌های فرآوری بنتونیت و انتخاب بهترین فلوچارت، پیش‌امکان‌سنجی احداث یک واحد فرآوری سیار بنتونیت جهت مصارف حفاری، کاغذسازی و ریخته‌گری نیز ارائه خواهد شد. برای این منظور معادن بنتونیت استان خراسان جنوبی انتخاب شده است که قطب تولید بنتونیت کشور می‌باشد.

## ۲- روشهای فرآوری بنتونیت

بنتونیت بسته به ماهیت پیدایش آنها حاوی کانی‌های فراوانی علاوه بر مونتموریلونیت است. این کانی‌ها ممکن است شامل کوارتز، فلدسپات، کلسیت و گچ باشد که می‌تواند بر ارزش صنعتی آن تأثیر بگذارند [۲۳]. فرآوری کانسنگ استخراجی از معادن بنتونیت برای کاربرد در صنایع مختلف در سه سطح زیر صورت می‌گیرد.

## ۱-۲- تولید پودر میکرونیزه بنتونیت

در اکثر کارخانه‌های کانه‌آرایی بنتونیت از روش فرآوری خشک استفاده می‌شود و کنسانتره حاصل فقط بنتونیت پودر شده و یا میکرونیزه شده است. در شکل ۱ مراحل و تکنولوژی مرسوم در فرآوری بنتونیت نشان داده شده است. مطابق شکل، مراحل کار شامل خردایش توسط یک سنگ‌شکن فکی و پودر

بنتونیت نوعی خاک رس ریزدانه است که حداقل ۸۵ درصد آن را کانی رسی مونتموریلونیت تشکیل می‌دهد. این اصطلاح معمولاً برای خاک‌های کلوئیدی-آلی اطلاق می‌شود که از دگرسانی شیمیایی سنگ‌های آذرین (معمولاً توف‌ها) تشکیل می‌شود. بنتونیت سدیم‌دار، کلسیم‌دار و پتاسیم‌دار انواع شناخته شده این ترکیب شیمیایی هستند که استفاده از هر یک به خصوصیات فیزیکی خاص آنها بستگی دارد. از بنتونیت برای آب‌بندی، ذوب فلزات، تولید آزیست و پشم معدنی، برای ساختن گل‌های حفاری، در سیمان‌های پرتلند و ساخت بتن، سرامیک‌سازی، امولسیون‌ها، حشره‌کش‌ها، مواد شوینده، کاغذسازی، داروسازی و رنگ‌ها استفاده می‌شود [۹ و ۲۳].

میزان تولید سالیانه بنتونیت در ایران حدود ۸۵۰ هزار تن تخمین زده می‌شود که اکثر آن به مصارف داخلی رسیده و کمتر از ۱۰ درصد آن نیز به صورت خام صادر می‌شود [۱۷]. در استان خراسان جنوبی حدود ۱۲۶ معدن بنتونیت با ذخیره قطعی حدود ۴۱ میلیون تن و استخراج اسمی سالانه حدود ۱/۱ میلیون تن وجود دارد [۵]. اکثر معادن بنتونیت این استان به دلیل کوچک بودن و یا دور از دسترس بودن فاقد واحد فرآوری می‌باشند و کانسنگ استخراجی خود را به صورت خام به فروش داخلی و یا صادرات می‌رسانند. کم ارزش بودن کانسنگ استخراجی در بسیاری از این معادن، بهره‌برداری را غیر اقتصادی کرده و باعث تعطیلی و یا بهره‌برداری محدود این معادن شده است. در حالیکه به کارگیری واحدهای فرآوری سیار می‌تواند امکان استفاده از این ذخایر کوچک و رها شده را امکان‌پذیر نماید. قیمت هر تن کانسنگ بنتونیت در جهان در سال ۲۰۲۰ بین ۱۱۰ تا ۱۶۰ دلار و قیمت هر تن بنتونیت فرآوری شده بسته به نوع کاربرد بین ۱۷۰ تا ۴۳۰ دلار متغیر می‌باشد [۲۸]. در ایران قیمت هر تن کانسنگ بنتونیت بین ۶۵۰ تا ۱۲۰۰ هزار ریال و قیمت هر تن بنتونیت دانه‌بندی شده بین ۲۰۰۰ تا ۶۰۰۰، بنتونیت میکرونیزه بین ۱۲۰۰۰ تا ۱۶۵۰۰، بنتونیت حفاری بین ۱۲۰۰۰ تا ۱۶۰۰۰، بنتونیت خوراک دام بین ۸۵۰۰ تا ۱۲۰۰۰ و بنتونیت فعال شده بین ۸۰۰۰ تا ۱۷۰۰۰ هزار ریال است (این قیمت‌ها متعلق به بهار ۱۴۰۰ و سر معدن یا درب کارخانه است که از معادن و کارخانه‌های فرآوری مختلف استعلام شده است). این تفاوت قیمت نیز نشان دهنده‌ی ارزش بالای فرآوری مواد معدنی خصوصاً بنتونیت می‌باشد.

مطالعات علمی صورت گرفته در زمینه فرآوری بنتونیت

دمای کمتر از ۲۵۰ درجه سانتیگراد برای از بین بردن رطوبت خوراک استفاده می‌شود. متداولترین محصولات بنتونیتی در دانه‌بندی‌های ۳۰۰ تا ۱۲۵۰ مش و حتی ریزتر به بازار ارائه می‌گردد [۲۱ و ۲۴].



شکل ۱: مراحل تولید پودر میکرونیزه بنتونیت به روش خشک.

سیکلون واسطه سنگین و یا جداکننده‌ی داینوپرپول استفاده کرد. برای تهیه واسطه سنگین نیز از مخلوط فروسیلیس و مگنتیت با آب استفاده می‌شود [۲۶].

### ۲-۳- تولید بنتونیت فعال شده

برای تولید بنتونیت فعال شده، ابتدا از عملیات خردایش و سپس خشک کردن استفاده می‌شود. سپس بنتونیت خشک شده توسط آسیا پودر می‌گردد. در مرحله بعد با افزودن خاکستر سودا ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) و اسیدها (همانند اسید هیدروکلریک) بنتونیت فعال شده تولید خواهد شد. همچنین با اضافه کردن مواد آلی می‌توان بنتونیت ریخته‌گری تولید نمود. مواد آلی پلیمری با زنجیره بلند به مقدار ۰/۱ تا ۰/۷ کیلوگرم به ازای هر تن خوراک می‌توانند قبل و یا بعد از آسیا کرده و به منظور بهبود ویسکوزیته محصول به آن اضافه گردد [۱۷ و ۲۴].

### ۳- مکان‌یابی طرح

مطابق آمار بهمن ماه سال ۱۳۹۹ سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی، این استان دارای ۱۲۶ معدن بنتونیت با ذخیره قطعی حدود ۴۱ میلیون تن و استخراج اسمی سالانه حدود ۱/۱ میلیون تن می‌باشد. این معادن بیشتر در شهرستان‌های سرایان، فردوس، قاین و طبس قرار دارند. شکل ۲ پراکندگی این معادن در استان و جدول ۱ اطلاعات آنها را نشان می‌دهد. خوراک این واحد فرآوری سیار می‌تواند از این معادن تامین کرد. به منظور کاهش هزینه‌های سنگین حمل و نقل خوراک (کانسنگ استخراجی از معادن)، این واحد

کردن توسط یک آسیای آونگی است (در صورت نیاز به خردایش بیشتر می‌توان از سنگ‌شکن ضربه‌ای به عنوان سنگ‌شکن ثانویه نیز استفاده نمود). همچنین در صورت نیاز قبل از پودر کردن محصول توسط آسیا از یک خشک‌کن با

### ۲-۲- جدایش ناخالصی‌ها و تولید بنتونیت فرآوری شده

برای جدایش ناخالصی‌های همراه با کانسنگ بنتونیت تاکنون سه روش استفاده از کلاسیفایرها، روش فلوتاسیون و استفاده از جداکننده‌های واسطه سنگین پیشنهاد شده است. در روش اول با افزودن مواد شیمیایی متفرق‌ساز در یک همزن به همراه آب، خوراک به صورت پالپ در می‌آید. آنگاه پالپ مزبور توسط کلاسیفایر جامی یا هیدروسیکلون به دو بخش طبقه‌بندی می‌شود. بخش دانه‌درشت (حاوی کانی‌های سیلیکاته و کوارتز) به عنوان باطله دور ریخته می‌شود و بخش دانه‌ریز آن کنسانتره خواهد بود. در صورت نیاز جهت حذف ناخالصی‌های اکسید آهن می‌توان از جداکننده‌های مغناطیسی با شدت زیاد نیز استفاده نمود [۱۸ و ۱۹].

به منظور جدایش سایر ناخالصی‌ها از قبیل گچ، دولومیت و کلسیت می‌توان از روش فلوتاسیون استفاده کرد. مهمترین مواد شیمیایی به کار رفته شامل اسید اولئیک یا اولئیک سولفات سدیم و یا سیانامید R-765 یا R-710 به عنوان کلکتور، زاج به عنوان فعال‌کننده و اسید سولفوریک، ژلاتین و اسید تانیک به عنوان بازداشت‌کننده ناخالصی‌ها هستند [۲۱ و ۲۶].

از آنجا که چگالی بنتونیت حدود ۱/۷، گچ ۲/۳، دولومیت ۲/۸، کوارتز ۲/۷ و کلسیت ۲/۷ گرم بر سانتیمتر مکعب است؛ از جداکننده‌های ثقلی با دقت بالا (به دلیل اختلاف کم در چگالی‌ها)، همچون روش واسطه سنگین می‌توان برای جدایش این ناخالصی‌ها استفاده نمود. برای این منظور بایستی از

شوری، دمای پایین و pH نه چندان بالا صورت گرفته است. مراحل تشکیل کانسارهای بنتونیتی در استان خراسان جنوبی را می‌توان به صورت قرارگیری سنگ‌های آذرآواری در یک محیط دریایی کم عمق، اختلاط بین آب دریا و شیشه آتشفشانی (این فرآیند منجر به واکنش شدید بین آب سرد دریا و شیشه داغ، سرد شدن سریع شیشه‌ی آتشفشانی و در نتیجه شکل‌گیری وسیع خلل و فرج در آنها و شسته شدن عناصر شیمیایی قلیایی و در بعضی مواقع قلیایی خاکی شده است) و دگرسانی شیشه آتشفشانی و در نهایت شکل‌گیری کانی‌های گروه اسمکتیت ذکر کرد [۱۵ و ۱۶].

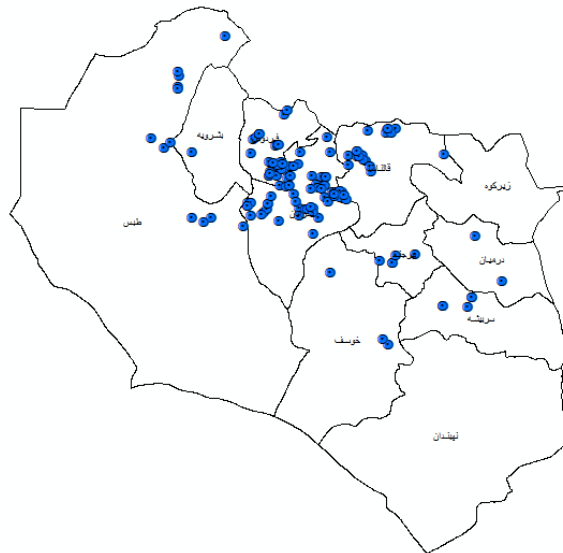
نتیجه این فرآیند تشکیل بنتونیت‌هایی به صورت لایه‌ای و عدسی شکل با گستردگی بسیار زیاد و از نوع سدیم تا سدیم-کلسیم دار می‌باشد. نهشته‌های بنتونیتی معمولاً همراه با لایه‌های کنگلومرای و ژپس بوده و حاوی سنگ‌های آهکی و ماسه سنگی و کانی‌های فلدسپات، کلسیت، دولومیت، کوارتز، هالیت، اپلیت و اکسیدهای آهن است. بنتونیت‌های شمال استان خراسان جنوبی بیشتر از نوع سدیم تا سدیم-کلسیم دار با منشاء ماگمای ریولیتی تا داسیتی و بنتونیت‌های جنوب استان از نوع سدیم-کلسیم دار تا کلسیم-سدیم دار با منشاء ماگمای ریوداسیت- داسیت تا آندزیتی و تراکی آندزیتی می‌باشد [۱۴ و ۱۵].

#### ۴- واحد فرآوری سیار بنتونیت

با توجه به افزایش هزینه‌های حمل و نقل و کوچک بودن ذخایر اکثر معادن بنتونیت در استان خراسان جنوبی، استفاده از یک واحد فرآوری سیار مناسب‌ترین راه حل می‌باشد. مزایای استفاده از یک کارخانه کانه‌آرایی سیار عبارتست از [۸ و ۲۰]:

- قابلیت حمل و جابجایی دستگاه توسط تریلر به محل انجام پروژه.
- غیر ترافیکی بودن ابعاد و وزن دستگاه در زمان حمل و نقل.
- نصب سریع و آسان دستگاه در حداقل زمان ممکن.
- عدم نیاز به فونداسیون خاص جهت استفاده از دستگاه.
- انعطاف‌پذیری بالای دستگاه از نظر نصب.
- صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت (نفت و گاز) در فعالیت‌های معدنی به ویژه در حمل و نقل جاده‌ای.
- کاهش قیمت تمام شده در معادن کوچک مقیاس به لحاظ حذف هزینه‌های سنگین جابجایی کانسنگ از معدن تا واحدهای فرآوری فعال کشور.
- فعال‌سازی و اقتصادی نمودن معادن کوچک مقیاس و کم

فرآوری می‌تواند برای مدت محدودی که بستگی به ذخیره و میزان استخراج هر معدن دارد؛ در نزدیک معدن مستقر گردد. بدیهی است که اولویت استقرار این واحد فرآوری با شهرستان‌های دارای بیشترین تعداد معادن بنتونیت خواهد بود.



شکل ۲: پراکنندگی معادن بنتونیت در استان خراسان جنوبی.

جدول ۱: اطلاعات معادن بنتونیت استان خراسان جنوبی.

ردیف	نام شهرستان	تعداد معادن	ذخیره قطعی (تن)	استخراج سالانه (تن)
۱	بشرویه	۲	۸۰۰،۰۰۰	۲۵،۰۰۰
۲	بیرجند	۷	۲،۲۷۶،۰۰۰	۴۸،۱۰۰
۳	خوسف	۵	۲،۵۶۶،۰۰۰	۵۰،۰۰۰
۴	درمیان	۱	۱۰۰،۰۰۰	۵،۰۰۰
۵	سرایان	۵۶	۱۴،۳۴۲،۶۰۰	۴۹۰،۱۰۰
۶	سربیشه	۴	۱،۵۸۷،۰۰۰	۳۸،۰۰۰
۷	طبس	۹	۱،۳۶۶،۵۰۰	۵۹،۵۰۰
۸	فردوس	۲۳	۷،۷۲۵،۳۰۰	۲۲۷،۸۰۰
۹	قاین	۱۹	۱۰،۱۵۱،۲۰۰	۱۵۵،۰۰۰
	جمع	۱۲۶	۴۱،۹۱۴،۷۰۰	۱،۰۹۸،۵۰۰

بنتونیت‌های موجود در استان خراسان جنوبی در پیوند با سنگ‌های آتشفشانی آواری و آذرآواری از قبیل توف، آگلومرا و سنگ‌های برشی ائوسن زیرین تا ائوسن بالایی تشکیل شده‌اند. محیط زمین‌ساختی کمان آتشفشانی در زون فروورانش و سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا متوسط (شامل ریولیت، داسیت، تراکی داسیت و آندزیت) تامین کننده ماده اولیه این بنتونیت‌ها هستند [۱۰ و ۱۴]. تشکیل بنتونیت به صورت دیاژنتیکی و از دگرسانی این سنگ‌ها در محیطی با شرایط

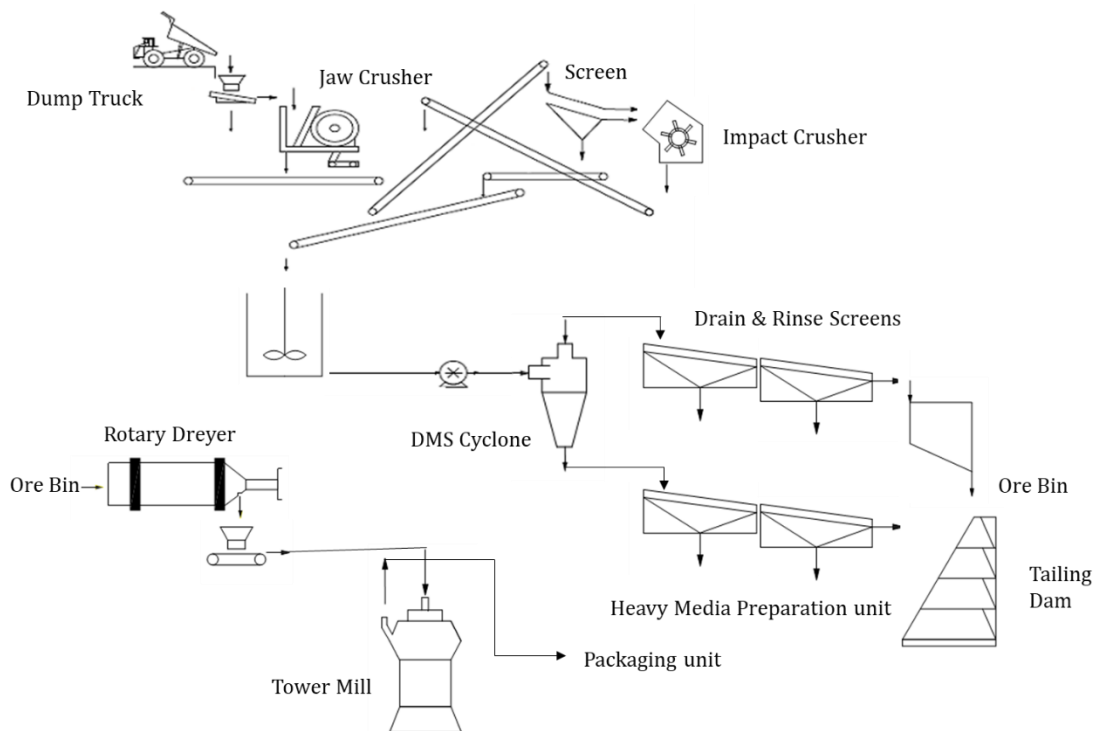
- الف) واحد سنگ‌شکنی اولیه: شامل یک فیدر گریزلی، یک سنگ‌شکن فکی و ۲ نوار نقاله.
- ب) واحد سنگ‌شکنی ثانویه: شامل یک سرند ۲ طبقه، یک سنگ‌شکن ضربه‌ای و ۲ نوار نقاله.
- ج) واحد واسطه سنگین: شامل یک مخزن آماده‌سازی، دو پمپ، یک سیکلون یا دایناویرپول و دو سرند شستشو.
- د) واحد خشک‌کن: شامل یک خشک‌کن استوانه‌ای دوار، یک تقسیم‌کن و دو نوار نقاله.
- ه) واحد آسیا: شامل یک تغذیه‌کننده و یک آسیا غلطکی به همراه کلاسیفایر وایز.
- و) واحد بسته‌بندی: شامل یک مخزن و یک واحد بسته‌بندی.
- ز) واحد تامین انرژی: شامل دو موتور دیزل ژنراتور مشابه.
- ح) واحد کنترل و مونیترینگ

علاوه بر واحدهای ذکر شده واحد آزمایشگاه، واحد اسکان، واحد تامین سوخت و آب مصرفی نیز از واحدهای جانبی این کارخانه محسوب می‌شود. نحوی چیدمان این واحدها و ابعاد محدوده مورد نیاز این کارخانه سیار در شکل ۵ نشان داده شده است. در این کارخانه واحدهای سنگ‌شکنی یک یا دو شیفت و سایر واحدها می‌توانند سه شیفته کار کنند. عمر مفید یک کارخانه فرآوری سیار نیز می‌تواند بین ۱۰ تا ۱۵ سال در نظر گرفته شود.

عیار.

- قابل قبول بودن هزینه‌های طراحی و ساخت کارخانه‌های کانه‌آرایی سیار در مقایسه با قیمت‌های جهانی.
  - کاهش خسارت‌های زیر بنایی (زیست‌محیطی و جاده‌ای).
  - ارتقاء دانش فن‌آوری در توسعه فعالیت‌های معدنی.
  - توانمندسازی نیروی کار، تقویت رقابت‌پذیری و هدایت معدن‌کاران به ایجاد ارزش افزوده.
  - ساخت و بهره‌برداری در مدت زمان کوتاه.
- یکی از نقاط ضعف واحدهای فرآوری سیار، بالا بودن هزینه عملیاتی فرآوری (حدود ۱۰٪ تا ۱۵٪ بیشتر) در این واحدها نسبت به واحدهای ثابت است. اما با توجه به مزایایی فوق‌الذکر و همچنین کاهش قابل ملاحظه در هزینه انتقال کانسنگ از معدن به واحد فرآوری این نکته نیز در مجموع برطرف می‌گردد.

با توجه به کانی‌شناسی و زمین‌شناسی غالب بر معادن بنتونیت استان خراسان جنوبی و روش‌های فرآوری بنتونیت که در دو بخش قبلی ارائه گردید؛ فلوشیت پیشنهادی برای یک واحد فرآوری سیار بنتونیت در شکل ۳ نشان داده شده است. کارخانه فرآوری سیار پیشنهادی این طرح پیش‌امکان‌سنجی شامل واحدهای زیر می‌باشد که هر واحد بر روی یک تریلر سوار شده است (شکل ۴):



شکل ۳: فلوشیت پیشنهادی برای فرآوری بنتونیت‌های استان خراسان جنوبی.



ج



ب



الف



و



ه



د



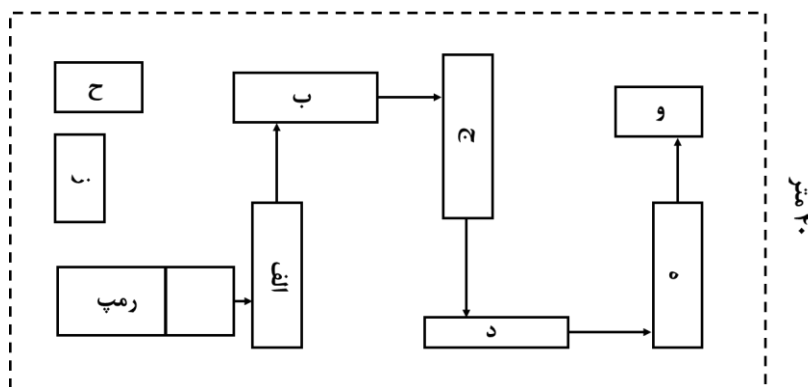
ح



ز

شکل ۴: واحدهای یک کارخانه فرآوری سیار بنتونیت.

۶۰ متر



شکل ۵: جانمایی واحدهای یک کارخانه فرآوری سیار بنتونیت.

## ۵- مطالعات اقتصادی طرح

کشور می‌رسد. هر چند از میزان مصرف بنتونیت در صنایع مختلف اطلاعات دقیقی وجود ندارد ولی مهمترین صنایع مصرف‌کننده بنتونیت در ایران شامل صنایع تولید روغن، شیمیایی، تهیه گوگرد، نفت، کاغذسازی، قند و شکر و نوشابه، اطفاء حریق، معدنی، سرامیک، کشاورزی حفاری و ریخته‌گری می‌باشند. همچنین بر اساس آمارهای گمرگ جمهوری اسلامی ایران و سایت Trade Map، میزان صادرات بنتونیت ایران بین سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ از نظر تناژ بین ۴۷ تا ۱۱۰ هزار تن و از نظر ارزش بین ۳ تا ۱۱/۳ میلیون دلار بوده است. این آمارها

بر اساس آخرین نتایج آمارگیری از معادن در سال ۱۳۹۷، مقدار استخراج بنتونیت و گل سرشور در ایران حدود ۷۵۰ هزار تن بوده است [۱۱]. پیش‌بینی‌ها و برآوردهای انجام شده توسط سایت Minews نشان می‌دهد که میزان تولید بنتونیت ایران در سال ۱۳۹۹ به حدود ۸۵۰ هزار تن رسیده است در حالیکه میزان مصرف بنتونیت کشور سالانه حدود ۸۰۰ هزار تن تخمین زده می‌شود. داده‌ها نشان می‌دهد که مقدار قابل توجهی از تولیدات معادن بنتونیت به مصرف صنایع مختلف در

بیشتر شامل فروش بنتونیت به صورت خام است که در صورت تولید بنتونیت فرآوری شده ارزش و مقاصد صادراتی آن افزایش خواهد یافت.

بررسی‌های فنی و اقتصادی بر روی واحدهای فرآوری بنتونیت در ایران نشان می‌دهد که حداقل ظرفیت اقتصادی طرح تولید کنسانتره بنتونیت می‌تواند بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ تن در سال باشد. ولی با توجه به ظرفیت بهره‌بردار معادن بنتونیت در استان خراسان جنوبی و تکنولوژی ساخت کارخانه‌های فرآوری سیار در کشور، حداقل ظرفیت اسمی این طرح ۶۰۰۰۰ تن خوراک در سال معادل ۲۰۰ تن خوراک در روز در نظر گرفته می‌شود (در حال حاضر تکنولوژی طراحی و ساخت واحدهای فرآوری سیار ۱۰۰ و ۲۰۰ تنی در روز در کشور وجود دارد. با توجه به تناژ استخراجی معادن در استان خراسان جنوبی و پراکندگی آنها، واحد ۲۰۰ تنی برای این طرح در نظر گرفته شده است. در صورتی که روزهای کاری این واحد ۳۰۰ روز در سال در نظر گرفته شود؛ ظرفیت اسمی آن ۶۰۰۰۰ تن خواهد بود). در ادامه به بررسی محاسبه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اعم از ثابت و متغیر و در نهایت به ارزیابی اقتصادی این طرح پرداخته خواهد شد (این مطالعات بر اساس استاندارد ذکر شده در مرجع ۶ و محاسبه قیمت‌ها بر پایه بهار سال ۱۴۰۰ و قیمت دلار ۲۳۵۰۰۰ ریال انجام شده است).

#### ۵-۱- سرمایه‌گذاری ثابت طرح

جدول ۲ میزان سرمایه‌گذاری ثابت این طرح را نشان می‌دهد. سرمایه‌گذاری‌های در نظر گرفته شامل موارد زیر است (ریز این سرمایه‌گذاری‌ها در جدول‌های پیوست ذکر شده است):

- زمین: از آنجا که این واحدهای فرآوری در نزدیکی معادن به طور موقت و برای یک دوره چند ساله مستقر می‌شود نیاز به خرید زمین نیست.
- محوطه‌سازی: شامل خاک‌برداری و تسطیح زمین، احداث رمپ، احداث دپو باطله و روشنایی محوطه.
- ساختمان‌سازی: شامل ۲ عدد کانتینر برای انبار، ۴ عدد کانکس برای اسکان موقت و نگهبانی و ۱ عدد کانکس برای سایر تاسیسات اضافی.
- تاسیسات: شامل تاسیسات برق‌رسانی (دیزل ژنراتور ۸۰۰ کیلو وات)، تاسیسات و مخزن آب‌رسانی (به ظرفیت ۲۰۰ متر مکعب)، تاسیسات و مخزن سوخت و گازرسانی (به ظرفیت ۳۰۰۰ لیتر) و سایر تاسیسات جانبی.
- ماشین‌آلات و تجهیزات خط تولید آن: شامل ۷ واحد

کارخانه.

- لوازم آزمایشگاهی و کارگاهی: شامل یک کانتینر به همراه تجهیزات مورد نیاز آزمایشگاهی.
  - تجهیزات و وسایل اداری و خدماتی: شامل تجهیزات دفاتر مدیریت، مالی و اداری و تجهیزات آبدارخانه، نگهبانی و سرایداری.
  - وسایل حمل و نقل: شامل لودر، لیفتراک، جک پالت، خودرو سواری و خودرو وانت.
  - هزینه‌های قبل از بهره‌برداری: شامل مطالعات مقدماتی، تاسیس شرکت و دریافت مجوزهای لازم، آموزش پرسنل و راه‌اندازی آزمایشی.
- مطابق داده‌های جدول ۲، میزان سرمایه‌گذاری ثابت این طرح حدود ۵۳۰ میلیارد ریال می‌باشد.

جدول ۲: میزان سرمایه‌گذاری ثابت طرح.

ردیف	شرح	مبلغ (میلیون ریال)
۱	زمین	-
۲	محوطه‌سازی	۷۸۰۰
۳	ساختمان‌سازی	۱۷۸۸۰
۴	تاسیسات	۳۵۱۶۰
۵	ماشین‌آلات و تجهیزات خط تولید	۴۱۵۶۸۰
۶	لوازم آزمایشگاهی و کارگاهی	۷۲۰۰
۷	تجهیزات و وسایل اداری و خدماتی	۱۳۷۰
۸	وسایل حمل و نقل	۳۴۲۰۰
۹	هزینه‌های قبل از بهره‌برداری	۳۸۰۰
۱۰	متفرقه و پیش‌بینی نشده (معادل ۰.۲٪)	۱۰۳۹۰
	جمع کل	۵۳۳۴۸۰

#### ۵-۲- هزینه‌های عملیاتی طرح

جدول ۳ هزینه‌های عملیاتی (هزینه‌های متغیر) طرح بهره‌برداری از یک کارخانه فرآوری سیار بنتونیت با ظرفیت اسمی را برای یک دوره یک ساله نشان می‌دهد. این هزینه‌ها شامل موارد زیر هستند (ریز این هزینه‌ها در جدول‌های پیوست ذکر شده است):

- هزینه مواد اولیه و بسته‌بندی: شامل کانسنگ بنتونیت، واسطه سنگین و کیسه جامبوگ.
- هزینه حقوق و دستمزد: شامل حقوق و دستمزد، پاداش و بیمه سهم کارفرما برای ۷ نیروی اداری و ۱۵ نیروی تولیدی.

کیلوگرم محصول حدود ۱۰۰۰۰ ریال فرض شده است. بنابراین میزان سود خالص سالانه طرح حدود ۳۰۰ میلیارد ریال برآورد می‌شود. از دیگر شاخص‌های تصمیم‌گیری این طرح می‌توان به دوره بازگشت سرمایه ۱/۸ سال، میزان NPV مثبت (که نشان دهنده‌ی مقرون به صرفه و اقتصادی بودن طرح است) و نرخ بازگشت داخلی ۴۸ درصد ذکر کرد. با توجه به بالاتر بودن نرخ بازگشت داخلی از میزان سود بانکی، این طرح از نظر سرمایه‌گذاری اقتصادی خواهد بود.

با توجه به شاخص اقتصادی دوره بازگشت سرمایه در این طرح، حداقل زمان بهره‌برداری اقتصادی یک کارخانه سیار حدود ۲ سال خواهد بود. بنابراین حداقل ذخیره قابل استخراج یک معدن که این واحد فرآوری می‌تواند در آن مستقر گردد، حدود ۱۲۰۰۰۰ تن و حداکثر ذخیره یک معدن برای یک دوره ۱۵ ساله نیز حدود ۹۰۰۰۰۰ تن می‌باشد. با افزایش ذخیره اولویت استقرار واحد فرآوری در آن معدن بالاتر و اقتصادی‌تر خواهد بود.

جدول ۴: شاخص‌های اقتصادی طرح.

ردیف	عنوان	مقدار
۱	قیمت تمام شده محصول (ریال بر کیلوگرم)	۳۸۰۰
۲	قیمت فروش محصول (ریال بر کیلوگرم)	۱۰۰۰۰
۳	فروش کل (میلیون ریال)	۴۸۰۰۰۰
۴	سود (میلیون ریال)	۲۹۷۶۰۰
۵	ارزش افزوده ناخالص (میلیون ریال)	۳۶۵۲۲۰
۶	ارزش افزوده خالص (میلیون ریال)	۳۲۶۱۲۰
۷	نسبت ارزش افزوده ناخالص به کل فروش	٪۷۶
۸	نسبت ارزش افزوده خالص به کل فروش	٪۶۷
۹	نسبت ارزش افزوده ناخالص به سرمایه‌گذاری	٪۶۸
۱۰	دوره بازگشت سرمایه	۱/۸ سال
۱۱	ارزش خالص فعلی (NPV) (میلیون ریال)	۳۶۲۷۰۰
۱۲	نقطه سر به سر (BEP)	٪۱۸
۱۳	نرخ بازده داخلی (IRR)	٪۴۸

#### ۶- تحلیل ریسک و حساسیت طرح

ارزیابی ریسک را می‌توان یک روش منطقی برای تعیین کمیت و کیفیت خطرات و بررسی پیامدهای بالقوه ناشی از حوادث احتمالی در سرمایه‌گذاری در یک طرح تعریف کرد. در حالیکه تحلیل حساسیت برای شناخت اثرات عدم قطعیت بر معیارهای اقتصادی پروژه به کار می‌رود. برای این منظور در این

- هزینه‌های انرژی: شامل آب مصرفی، سوخت مصرفی (گازوئیل، نفت کوره و بنزین) و مخابرات.
  - هزینه تعمیر و نگهداری: شامل ٪۱ تا ٪۵ تجهیزات سرمایه‌ای.
  - هزینه‌های استهلاک: شامل ٪۳ تا ٪۱۰ تجهیزات سرمایه‌ای.
- بنابراین کل هزینه‌های عملیاتی سالیانه این طرح حدود ۱۸۰ میلیارد ریال تخمین زده شده است. میزان سرمایه در گردش این طرح را می‌توان معادل دو ماه هزینه‌های سالیانه، یعنی حدود ۳۰/۵ میلیارد ریال برآورد کرد.

جدول ۳: هزینه‌های متغیر طرح.

ردیف	شرح	مبلغ (میلیون ریال)
۱	هزینه مواد اولیه و بسته‌بندی	۹۳۱۷۰
۲	هزینه حقوق و دستمزد	۲۰۸۳۰
۳	هزینه‌های انرژی (آب، برق، و ...)	۵۹۵۰
۴	هزینه تعمیر و نگهداری	۱۵۶۶۰
۵	هزینه‌های پیش‌بینی نشده تولید (٪۲ موارد ۱ تا ۴)	۲۷۱۰
۶	هزینه‌های اداری و فروش (٪۱ فروش)	۴۸۰۰
۷	هزینه‌های بیمه (دو در هزار سرمایه ثابت)	۱۰۶۰
۸	هزینه‌های استهلاک	۳۵۳۰۰
	جمع کل	۱۷۹۴۸۰

#### ۵-۳- تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصادی طرح

جدول ۴ تجزیه و تحلیل شاخص‌های اقتصادی طرح را جهت تصمیم‌گیری نشان می‌دهد. برای محاسبه داده‌های این جدول از فرضیات زیر استفاده شده است.

- دوره محاسبات شاخص‌های اقتصادی طرح پنج سال در نظر گرفته شده است.
- زمان احداث پروژه یک سال فرض شده است. کارخانه در سال دوم با ظرفیت ۸۵ درصد راه‌اندازی و در سال سوم به ظرفیت اسمی طرح خواهد رسید.
- نرخ تنزیل جهت محاسبه میزان NPV برابر با ۲۰ درصد می‌باشد.
- نرخ تورم سالانه کشور با نرخ افزایش قیمت‌ها و هزینه‌ها برابر فرض شده است.

مطابق داده‌های این جدول، قیمت تمام شده هر کیلوگرم بنتونیت فرآوری شده ۳۸۰۰ ریال و متوسط قیمت فروش هر



بنتونیت که دارای واحدهای خردایش، تغلیظ به روش واسطه سنگین، خشک‌کن، آسیاکنی و بسته‌بندی باشد؛ می‌توان ارزش افزوده ۸ برابری را برای ماده معدنی ایجاد نماید.

جدول ۵- کاربرد ارزیابی ریسک طرح با روش FMEA

ردیف	نوع ریسک احتمالی	قابلیت شناسایی خطا (D)	میزان وقوع خطا (O)	شدت اثر خطا (S)	اولویت ریسک (RPN)	رتبه ریسک
۱	فرآیندها	۴	۴	۴	۴۸	بالا
۲	HSA	۳	۴	۲	۲۴	کم
۳	نوسانات ارز	۴	۴	۳	۴۸	بالا
۴	بازار	۳	۳	۵	۴۵	متوسط
۵	نوسانات نرخ بهره	۳	۳	۲	۱۲	کم
۶	قیمت‌ها	۴	۳	۴	۴۸	بالا
۷	نقدینگی	۳	۲	۲	۱۲	کم
۸	کیفیت محصول	۲	۱	۲	۴	قابل قبول
۹	تغییرات قوانین	۲	۲	۳	۱۲	کم
۱۰	تجاری	۳	۳	۲	۱۸	کم

نتایج این تحقیق نشان داد که یک کارخانه فرآوری سیار بنتونیت با ظرفیت ۲۰۰ تن در روز، نیاز به حدود ۵۳۰ میلیارد ریال سرمایه ثابت و حدود ۳۰/۵ میلیارد ریال سرمایه در گردش دارد. همچنین هزینه‌های عملیاتی سالیانه این طرح نیز حدود ۱۸۰ میلیارد ریال تخمین زده شده است. در این صورت این طرح دارای دوره بازگشت سرمایه ۱/۸ سال، ارزش خالص فعلی مثبت و نرخ بازدهی داخلی ۴۸ درصد خواهد بود که از نظر سرمایه‌گذاری مناسب است. کمینه و بیشینه ذخیره قابل استخراج یک معدن بنتونیت که این کارخانه فرآوری سیار می‌تواند در آن مستقر گردد نیز به ترتیب حدود ۱۲۰۰۰۰ و ۹۰۰۰۰۰ تن برآورد گردید. همچنین فرآیندهای عملیاتی، نوسانات نرخ ارز و قیمت‌ها نیز مهمترین ریسک‌های این طرح از نظر سرمایه‌گذاری محسوب می‌شوند.

مطالعه، جهت تحلیل حساسیت طرح، از حالت بدبینانه کاهش ۱۰ درصدی درآمد و افزایش ۱۰ درصدی هزینه‌ها استفاده شده است. محاسبات اقتصادی نشان دهنده‌ی نرخ بازدهی داخلی بدبینانه ۲۸ درصد است که این مقدار از متوسط سود بانکی مجدداً بالاتر بوده و مقرون به صرفه بودن طرح را نشان می‌دهد.

همچنین از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست یا خطا و اثرات آن یا FMEA نیز در این تحقیق استفاده شده است. این روش دارای رویکردی گام به گام برای شناسایی حالات بالقوه خرابی و شکست در فرآیند طرحی و تولید یک کالا یا ارائه یک خدمت با هدف پیشگیری از وقوع این خرابی‌ها و حالات شکست است. جدول ۵ کاربرد ارزیابی ریسک با روش FMEA برای این طرح را نشان می‌دهد که برای امتیازدهی قابلیت شناسایی خطا (D)، میزان وقوع خطا (O) و شدت اثر خطا (S) از باز امتیازدهی ۱ تا ۵ استفاده شده است [۲۵]. برای امتیاز دهی به شاخص‌های ریسک‌پذیر نیز از نظر کارشناسان خبره استفاده شده است.

با توجه به مقادیر اولویت ریسک (RPN)، طرح پیش‌امکان‌سنجی فوق از نظر فرآیندها، نوسانات نرخ ارز و قیمت‌ها دارای ریسک بالایی می‌باشد. به دلیل عدم استفاده از روش‌های ثقلی در جدایش ناخالصی‌ها در کارخانجات فرآوری کشور تاکنون، لزوم یک بررسی پایلوت برای بهینه‌سازی پارامترهای استفاده از جداکننده‌های واسطه سنگین در این زمینه لازم به نظر می‌رسد. همچنین این طرح به لحاظ وضعیت بازار دارای ریسک متوسط و از نظر کیفیت محصول دارای وضعیت قابل قبول است. سایر فرآیندهای این طرح نیز در محدوده ریسک کم قرار می‌گیرند.

#### ۷- نتیجه‌گیری

استفاده از واحدهای فرآوری سیار یکی از بهترین راه‌حل‌ها جهت بهره‌برداری از معادن کوچک و پراکنده با کمترین سرمایه‌گذاری محسوب می‌شود. انعطاف‌پذیری، کاهش هزینه‌های حمل و نقل مواد خام، ایجاد ارزش افزوده، نصب سریع و آسان و ارتقاء دانش ساخت تجهیزات و معدنکاری از مهمترین مزیت‌های این واحدهای فرآوری محسوب می‌شوند که نه تنها باعث رونق معادن در مناطق محروم شده بلکه باعث ایجاد اشتغال و بهره‌برداری مناسب از ذخایر طبیعی کشور خواهد شد. استان خراسان جنوبی قطب معادن بنتونیت، خاکی با کاربردهای فراوان می‌باشد که اکثر معادن بنتونیت آن نیمه تعطیل و یا دارای بهره‌برداری محدود و به صورت خام فروشی کلوخه استخراجی است. استفاده از یک کارخانه فرآوری سیار

## تشکر و قدردانی

۸. کلینی، سید محمد جواد؛ ۱۳۹۹؛ «طراحی و ساخت کارخانه موبایل فرآوری مواد معدنی»، گزارش شرکت کانی فرآوران، ۴۳ صفحه.

۹. کیانوش، شادی؛ ۱۳۹۱؛ «بنتونیت، خاک با هزار مصرف»، انتشارات گنج هنر، ۱۹۶ صفحه.

۱۰. گودرزی، معصومه؛ محمدی، سید سعید؛ زرین کوب، محمد حسین؛ ۱۳۹۵؛ «بررسی نحوی تشکیل، ترکیب کانی شناسی و شیمیایی بنتونیت سلم آباد (جنوب شرق سریش، خراسان جنوبی)»، دومین همایش ملی زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، کرمان.

۱۱. مرکز آمار ایران؛ ۱۳۹۷؛ «نتایج آمارگیری از معادن در حال بهره برداری کشور»، سازمان برنامه و بودجه کشور، ۳۲۰ صفحه.

۱۲. موسوی، پریرسا؛ آستارایی، علیرضا؛ کریمی، علیرضا؛ کریمی، غلامرضا؛ ۱۳۹۳؛ «شناسایی و خالص سازی مونتموریلونیت از بنتونیت معدن قائن»، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۵، صفحه ۹۸۷ تا ۹۹۷.

۱۳. ویسکرمی، مریم؛ ۱۳۹۳؛ «تولید نانورس با استفاده از تکنیک های کانه آرای و خالص سازی فیزیکی و شیمیایی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۴. نخعی، ملیحه؛ محمدی، سید سعید؛ رسا، ایرج؛ سمیعی، سمیه؛ ۱۳۹۸؛ «بررسی کانی شناسی، زمین شیمی و رفتار عناصر در فرایند تشکیل بنتونیت های منطقه سریش (خراسان جنوبی، شرق ایران)»، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال بیست و هفتم، شماره ۱، صفحه ۲۰۷ تا ۲۲۰.

۱۵. نماینده، علیرضا؛ مدبری، سروش؛ رنجبران، محسن؛ ۱۳۹۱؛ «بررسی کانی شناسی و زمین شیمی معدن بنتونیت چاه گلستان سرایان، خراسان جنوبی»، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۵، صفحه ۶۹ تا ۷۹.

۱۶. نماینده، علیرضا؛ مدبری، سروش؛ رنجبران، محسن؛ ۱۳۹۲؛ «مطالعات کانی شناختی و زمین شیمیایی در تعیین شرایط تشکیل و زایش معدن بنتونیت خالکوه فردوس، خراسان جنوبی»، مجله پتروبولوژی، سال ششم، شماره بیست و یکم، صفحه ۱۹ تا ۳۴.

این تحقیق به پیرو قرارداد پژوهشی شماره ۱۳۱/۱/۵۰۹۰۷ مورخ ۱۳۹۹/۱۰/۱۵ بین سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی و دانشگاه صنعتی بیرجند صورت گرفته است. لذا از سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی و دانشگاه صنعتی بیرجند به خاطر حمایت های مالی و اطلاعات مورد نیاز این طرح تحقیقاتی تشکر و قدردانی می گردد.

## منابع

۱. احمدی، فاطمه؛ قنبری، هاجر؛ نقی زاده، رحیم؛ ۱۳۹۸؛ «سنتر نانوبنتونیت از بنتونیت به روش سونوشیمیایی»، هشتمین کنفرانس و نمایشگاه بین المللی مهندسی مواد و متالورژی.

۲. اوحدی، وحید رضا؛ امیری، محمد؛ ۱۳۹۱؛ «جداسازی اجزای بنتونیت به منظور دستیابی به نانو مونت موریلونیت»، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال بیستم، شماره ۴، صفحه ۶۷۷ تا ۶۸۴.

۳. خاندل، مهدی؛ ۱۳۹۵؛ «بررسی تأثیر فرآیندهای خالص سازی مونت موریلونیت بر اصلاح آن توسط مواد آلی در فرآیند تولید نانورس آلی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. راهی، وحید؛ ۱۳۹۰؛ «فعال سازی بنتونیت کلسیتی با استفاده از کربنات سدیم به روش نیمه خشک»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بین المللی امام خمینی.

۵. سازمان صنعت، معدن و تجارت استان خراسان جنوبی؛ ۱۳۹۹، «آمار و اطلاعات استان در حوزه معدن»، سایت سازمان.

۶. سرقینی، جعفر؛ ۱۳۹۳؛ «راهنمای امکان سنجی پروژه های معدنی»، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ضابطه شماره ۵۸۸، ۶۰ صفحه.

۷. صدیقی، حسن؛ ایران نژاد، مهدی؛ قراباغی، مهدی؛ ۱۳۹۲؛ «حذف ناخالصی های سیلیسی از بنتونیت برای تولید نانو رس»، نشریه علمی - پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)، سال چهل و پنجم، شماره ۱، صفحه ۳۵ تا ۴۲.

University of Delaware, 281 p.

28. Simmons, K.J., 2021; "Clays. In Mineral Commodity Summaries 2021", USGS, 204 p.

## پیوست‌ها

الف) جدول‌های ریز سرمایه‌گذاری‌های ثابت طرح

جدول پ-۱: هزینه‌های محوطه‌سازی.

ردیف	شرح کار	مبلغ (میلیون ریال)
۱	خاک‌برداری و تسطیح	۴۸۰۰
۲	احداث رمپ	۱۲۰۰
۳	احداث دپو باطله	۱۲۰۰
۴	روشنایی محوطه	۶۰۰
	جمع کل	۷۸۰۰

جدول پ-۲: هزینه‌های ساختمان‌سازی.

ردیف	شرح	تعداد	قیمت واحد (ریال)	هزینه کل (میلیون ریال)
۱	کانتینر ۴۰ فوت برای انبار	۲	۷۲۰۰	۱۴۴۰۰
۳	کانکس برای اسکان موقت	۴	۷۲۰	۲۸۸۰
۴	سایر تاسیسات	۱	۶۰۰	۶۰۰
	جمع کل	۱۱		۱۷۸۸۰

جدول پ-۳: هزینه‌های تاسیساتی.

ردیف	شرح	مشخصات فنی	هزینه مورد نیاز (میلیون ریال)
۱	برق‌رسانی	ژنراتور ۸۰۰ کیلووات	۳۰۰۰۰
۲	آب‌رسانی	مخزن ۱۰۰۰۰ لیتری	۷۲۰
۳	سوخت و گازرسانی	مخزن ۳۰۰۰۰ لیتری	۱۰۸۰
۴	مخابرات	۲ خط	۶۰۰
۵	وسایل گرمایشی و سرمایشی	-	۱۲۰۰
۶	وسایل حفاظت و سیستم ایمنی	-	۶۰۰
۷	متفرقه	-	۹۶۰
	جمع کل		۳۵۱۶۰

17. Al-Essa, K., 2018; "Activation of Jordanian Bentonite by Hydrochloric Acid and Its Potential for Olive Mill Wastewater Enhanced Treatment", Journal of Chemistry, Article ID 8385692, 10 pages.
18. Boylu, F., Çinku, K., Esenli, F., Çelik, M.S., 2010; "The separation efficiency of Na-bentonite by hydrocyclone and characterization of hydrocyclone products", International Journal of Mineral Processing 94(3-4), 196-202.
19. Boylu, F., Bulut, G., Hacıoğlu, S., Yüce, A.E., Çinku, K., Çelik, M.S., 2008; "Hydrocyclone Separation of Ca- Bentonites", XXIV Int. Mineral Processing Congress, Beijing-Chine. 4309-4321.
20. Broadbent, C., Seltmann, R., Buchanan, J., 2019; "Mobile Mineral Processing Equipment: The State of the Art (Part 1-3)", AT Mineral Processing Europe 01-02, 05 and 06.
21. Dunne, R.C., Kawatra, S.K., Young, C.A., 2019; "SME Mineral Processing and Extractive Metallurgy Handbook", Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., 2312 p.
22. Gong, Z., Liao, L., Lv, G., Wang, X., 2016; "A simple method for physical purification of bentonite", Applied Clay Science 119, 294-300.
23. Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M., Krukowski, S.T., 2006; "Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses", Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (U.S.), 1548 p.
24. Kutlic, A., Bedekovic, G., Sobota, I., 2012; "Bentonite Processing", Rudarsko-geološko-naftni zbornik 24, 61-65.
25. Mascia, A., Cirafici, A.M., Bongiovanni, A., Colotti, G., Lacerra, G., Di Carlo, M., Digilio, F.A., Liguori, G.L., Lanati, A., Kisslinger, A., 2020; "A failure mode and effect analysis (FMEA)-based approach for risk assessment of scientific processes in non-regulated research laboratories", Accred Qual Assur 25, 311-321.
26. Matsuno, T., Kadotay, K., Ishiguro, Y., 2013; "Separation of Gypsum by the Flotation Process", 73-78, DOI: 10.11457/swsj1950.12.2\_73.
27. Sagnak, M., 2018; "Stabilization of Bentonite and Kaolinite Clays Using Recycled Gypsum and Liquid Sodium Silicate", MS. Thesis,

جدول پ-۴: هزینه‌های ماشین‌آلات و تجهیزات خط تولید.

ردیف	نام تجهیز	قیمت (میلیون ریال)
۱	واحد خردایش (سنگ‌شکنی) سیار شامل ۲ تریلر، فیدر گریزلی، سنگ‌شکن فکی، سرنده، سنگ‌شکن ضربه‌ای، تابلو برق و بونکر با فیدر نواری	۱۱۵۲۰۰
۲	واحد نرمایش (آسیا) سیار شامل دو تریلر، آسیا، تابلو برق	۲۱۱۲۰۰
۳	واحد واسطه سنگین سیار شامل تریلر، جداکننده واسطه سنگین، پمپ‌ها و سرنده آبکشی	۵۷۶۰۰
۴	واحد خشک‌کن سیار شامل تریلر، خشک‌کن، تقسیم‌کن و دو نوار نقاله	۲۳۰۴۰
۵	واحد بسته‌بندی	۸۶۴۰
	جمع کل	۴۱۵۶۸۰

جدول پ-۵: هزینه‌های لوازم آزمایشگاهی و کارگاهی.

ردیف	نام وسیله	قیمت (میلیون ریال)
۱	کانتینر ۲۰ فوتی آزمایشگاهی همراه با تجهیزات دستگاه تجزیه سرنده، سرنده‌ها و سایر تجهیزات کامل	۷۲۰۰
	جمع کل	۷۲۰۰

جدول پ-۶: هزینه‌های تجهیزات و لوازم اداری و خدماتی.

ردیف	نام تجهیزات	تعداد	قیمت (میلیون ریال)	جمع (میلیون ریال)
۱	تجهیزات دفاتر اداری (شامل کامپیوتر و متعلقات، فاکس، میز و صندلی و ...)	۳	۳۶۰	۱۰۸۰
۲	تجهیزات آبدارخانه و سرایداری (شامل میز، فر، یخچال و ...)	۲	۱۴۵	۲۹۰
	جمع کل			۱۳۷۰

جدول پ-۷: هزینه‌های تجهیزات وسایل حمل و نقل.

ردیف	نام تجهیزات	تعداد	قیمت (میلیون ریال)	جمع (میلیون ریال)
۱	لودر معادل ۴۷۰ کوماتسو	۱	۲۴۰۰۰	۲۴۰۰۰
۲	لیفتراک	۱	۶۰۰۰	۶۰۰۰
۳	جک پالت	۴	۲۴۰	۹۶۰
۴	خودرو سواری	۱	۱۸۰۰	۱۸۰۰
۵	خودرو وانت	۱	۱۴۴۰	۱۴۴۰
	جمع کل			۳۴۲۰۰

جدول پ-۸: هزینه‌های قبل از بهره‌برداری.

ردیف	شرح	مبلغ (میلیون ریال)
۱	مطالعات مقدماتی طرح	۶۰۰
۲	تاسیس شرکت و اخذ مجوزهای لازم	۷۰۰
۳	آموزش پرسنل	۱۰۰۰
۴	راه‌اندازی آموزشی و دستمزد نگهبانی	۱۵۰۰
	جمع کل	۳۸۰۰

ب) جدول‌های ریز هزینه‌های عملیاتی طرح

جدول پ-۹: هزینه‌های مواد اولیه مورد نیاز.

ردیف	شرح	میزان مصرف	قیمت ریالی	جمع (میلیون ریال)
۱	کانسنگ معادن (Ton)	۶۰۰۰۰	۱۴۴۰۰۰۰	۸۶۴۰۰
۲	واسطه سنگین (Kg)	۶۰۰۰	۲۶۴۰۰۰	۱۵۹۰
۳	کیسه جامبوگ (عدد)	۹۶۰۰	۵۴۰۰۰۰	۵۱۸۰
	جمع کل			۹۳۱۷۰

جدول پ-۱۰: هزینه‌های حقوق و دستمزد نیروی انسانی.

عنوان شغلی	تعداد	حقوق ماهیانه هر نفر (میلیون ریال)	حقوق سالیانه (میلیون ریال)
مدیر عامل	۱	۱۱۰	۱۳۲۰
کارمند اداری- مالی	۱	۳۵	۴۲۰
راننده	۲	۳۰	۷۲۰
نیروی خدماتی	۱	۲۷	۳۲۵
نگهبان	۱	۲۷	۳۲۵
انباردار	۱	۳۰	۳۶۰
مزایای شغلی، بیمه و پاداش			۲۴۰۰
جمع کل هزینه پرسنل اداری			۵۸۷۰
مدیر تولید	۳	۷۰	۲۵۲۰
کارگر ماهر	۶	۴۲	۳۰۳۰
کارگر ساده	۳	۳۰	۱۰۸۰
تکنسین بخش فنی	۳	۳۵	۱۲۶۰
مزایای شغلی، بیمه و پاداش			۷۰۷۰
جمع کل هزینه پرسنل تولیدی			۱۴۹۶۰
جمع کل			۲۰۸۳۰

جدول پ-۱۲: هزینه‌های تعمیر و نگهداری.

ردیف	شرح	درصد	مبلغ (میلیون ریال)
۱	محوطه و ساختمان‌سازی	۱	۲۶۰
۲	تاسیسات	۳	۱۰۶۰
۳	ماشین آلات خط تولید	۳	۱۲۴۶۰
۴	تجهیزات اداری و کارگاهی	۲	۱۷۰
۵	وسایل حمل و نقل	۵	۱۷۱۰
جمع کل			۱۵۶۶۰

جدول پ-۱۳: هزینه‌های استهلاک.

ردیف	شرح	درصد	مبلغ (میلیون ریال)
۱	محوطه و ساختمان‌سازی	۳	۷۷۰
۲	تاسیسات	۵	۱۷۶۰
۳	ماشین آلات خط تولید	۷	۲۹۰۹۰
۴	تجهیزات اداری و کارگاهی	۳	۲۶۰
۵	وسایل حمل و نقل	۱۰	۳۴۲۰
جمع کل			۳۵۳۰۰

جدول پ-۱۱: هزینه‌های انرژی مورد نیاز.

شرح	واحد	مصرف سالیانه	هزینه هر واحد (ریال)	کل هزینه (میلیون ریال)
برق مصرفی	کیلووات ساعت	توسط ژنراتور تامین می‌شود		
آب مصرفی	متر مکعب	۴۰۰۰۰	۵۵۲۰	۲۲۰
گازوئیل مصرفی	لیتر	۱۸۰۰۰۰	۱۸۰۰	۳۳۰
نفت کوره مصرفی	لیتر	۸۰۰۰۰۰	۶۰۰۰	۴۸۰۰
بنزین	لیتر	۱۵۰۰۰	۳۶۰۰۰	۵۴۰
مخابرات	-	-	-	۶۰
جمع کل				۵۹۵۰