گزارش نهایی

خلاصه مدیریتی

انجام مطالعات بازار در خصوص بکارگیری محصول میش متال و اکسیدهای تفریقی تولید داخل در صنایع داخلی، انجام اصلاحات فرایندهای مربوطه و امکان سنجی فنی و اقتصادی پروژه در مقیاس صنعتی

مجری: دکتر اسلام کاشی، دکتر راضیه حبیب پور

سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران

چکیده

بر طبق مطالعات انجام شده در فاز اول (مطالعه تحلیلی عرضه و تقاضای عناصر نادر خاکی در جهان، بررسی کاربردهای جهانی عناصر نادر خاکی، شناسایی صنایع داخلی مصرف کننده عناصر نادر خاکی، تعیین میزان مصرف عناصر نادر خاکی در صنایع داخلی، تعیین کیفیت (خلوص) عناصر نادر خاکی مورد نیاز صنایع داخلی، مطالعه تحلیلی بازار داخلی عناصر نادر خاکی)، مشخص گردید که استفاده از این عناصر به شدت در حال افزایش است و در بیشتر صنایع جدید و پیشرفته اثری از آن ها دیده می شود. واردات مربوط به این عناصر تحت تعرفه های استاندارد گمرکی در حدود یک میلیون دلار در سال می باشد در حالیکه مقادیر زیادی کاتالیست و آهنربا که حاوی این عناصر هستند تحت تعرفه های دیگری به کشور وارد می شوند. به عبارت دیگر می توان گفت مصرف پنهان این عناصر خیلی بزرگ تر از رقم یاد شده در مراجع قانونی می باشد. به طور کلی می توان گفت ترتیب استفاده از این عناصر در دنیا به صورت زیر می باشد: کاتالیست ها (مبدل کاتالیستی و کاتالیست های پتروپالایشگاهی)، شیشه/سرامیک، متالورژی/آلیاژها و ترکیبات فسفر.

در تولید کاتالیست، می توان از کنسانتره مخلوط عناصر نادر خاکی، ترکیبات اکسیدی آنها و همچنین از اگزالات این عناصر استفاده نمود. در این پروژه تحقیقاتی از مورد اول یعنی کنسانتره مخلوط عناصر نادر خاکی جهت تولید واشکوت مبدل کاتالیستی به عنوان پرمصرف ترین و مهمترین محصول مورد نیاز بازار، استفاده گردید. مهمترین عناصر بکار رفته در این کاتالیست ها، سریم و لانتانیم می باشند. عملکرد نمونه تولید شده در مقایسه با نمونه تجاری موجود مورد ارزیابی قرار گرفت و نقش فلزات نادر خاکی و اهمیت آنها در این حوزه تبیین گردید. نتایج حاصل از این بخش، فرصت های جدیدی را برای طراحی و تولید کاتالیست های بر پایه عناصر نادر خاکی با ساختارها و عملکردهای مهیج و همچنین بهره برداری از زمینه های جدید کاتالیستی را فراهم می کند.

سریم در همه کنسانتره های عناصر نادر خاکی در جهان بیشترین سهم را به خود اختصاص می دهد و البته بیشترین کاربرد را در بین عناصر نادر خاکی دارد. در ترکیب اکسید عناصر نادر خاکی بدست آمده در پایلوت مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران نیز این عنصر بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. به دلیل ویژگی های خاص اتمی سریم، روش جداکردن آن از بقیه عناصر نادر خاکی متفاوت می باشد. در این پروژه تحقیقاتی، روشی اقتصادی و صنعتی جهت جداسازی سریم ارائه گردید. همچنین روشی جهت جداسازی ایتریم به عنوان یک مورد از عناصر نادر سنگین در کنسانتره نیز ارائه شد. جداسازی ایتریم به روش استخراج حلالی به کمک استخراج کننده های PC88A و D2EHPA مورد بررسی قرار گرفت و براساس نتایج، جداسازی با استفاده از PC88A پیشنهاد گردید. و جداسازی سریم به روش اکسیداسیون/رسوبدهی صورت پذیرفت. در این روش سریم با ظرفیت سه به کمک آب اکسیژنه به سریم با ظرفیت چهار اکسید شده و با تغییر pH به شکل $Ce(OH)_4$ رسوب داده شد.

در حوزه متالورژی، صنایع تولید کننده فروسیلیس منیزم جزء مصرف کنندگان اصلی این عناصر به صورت میش متال می باشند که اهمیت اجرای پروژه تولید میش متال این عناصر را در دستور کار قرار می دهد که به عنوان یکی از نتایج مهم مطالعه حاضر، پیشنهاد گردیده است.

در حوزه آلیاژها، آهنرباها سهم قابل توجهی در استفاده از این فلزات (بخصوص نئودیمیم و ساماریم) دارند که با توجه به مقادیر پایین این عناصر در کنسانتره فعلی، موضوع قابلیت بررسی در شرایط فعلی را ندارد.

جزئیات و نتایج حاصل از تهیه واشکوت مبدل کاتالیستی، ارائه روش های اقتصادی جهت جداسازی دو عنصر ایتریم و سریم، مستندسازی فرایند بهینه مورد استفاده برای استحصال عناصر نادر خاکی در مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی کرج و نقشه های مربوطه در فاز دوم این طرح پژوهشی ارائه گردیده است.

در فاز سوم، امکانسنجی مقدماتی فنی اقتصادی طرح استحصال عناصر نادر خاکی براساس مستندات پایلوت اجرایی طرح، انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که اقتصاد فرایند علاوه بر افزایش مقیاس، به قیمت مواد شیمیایی، مواد اولیه ورودی به کارخانه و همچنین کیفیت محصولات جانبی طرح وابسته است. به عبارت دیگر اگر نسبت کانسنگ به باطله کم باشد، فرایند اقتصادی خواهد بود ولی اگر این نسبت بالا باشد، فرایند دیگر اقتصادی نخواهد بود و در این شرایط، مسائل استراتژیک تعیین کننده خواهند بود. انتخاب و تامین مواد شیمیایی مصرفی بایستی به دقت انجام شود. فروش محصولات جانبی با کیفیت قابل قبول بازار، در سوددهی و اقتصاد فرایند بسیار موثر است. در این راستا، توجه به سولفات آمونیم با سهم قیمتی ٪۴۲ و دی اکسید تیتانیم با سهم قیمتی ٪۲۶، ضروری می باشد.

کاربردها، عرضه و تقاضای عناصر نادر خاکی

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی عناصر نادر خاکی راه حل‌هایی برای بسیاری از مشکلات زندگی و کسب و کار مدرن فراهم آورده است. نمک‌ها، ترکیبات و آلیاژهای فلزی این عناصر در گستره وسیعی از محصولات استفاده می‌شوند که از این میان می توان به صنایع کاتالیست، آهن‌رباها، شیشه و سرامیک، متالورژی و باتری‌ها، صنایع مربوط به روشنایی، الکترونیک، وسایل نقلیه سبک، لوازم الکترونیکی خانگی، دستگاه‌های ارتباطی، صنایع دفاعی، مواد شیمیایی، پالایش نفت خام، توان الکتریکی، محصولات بهداشتی و دیگر کالاها و خدمات اشاره کرد. مصرف جهانی این عناصر در سال ۲۰۱۸ حدود ۱۷۰,۰۰۰ تن برآورد شده است که محدوده بازاری ۲ تا ۴ میلیارد دلار را شامل می شود. از آنجا که کاربرد اصلی این عناصر در صنایع پیشرفته و استراتژیک می باشد، دستیابی به دانش تولید این عناصر مهم و ضروری می باشد.

میزان واردات رسمی این عناصر و تحت کد تعرفه‌های موجود بازاری در حدود یک میلیون دلار در سال را نشان می دهد. در صورتیکه میزان مصرف آن در صنایع مختلف بسیار بیشتر از چیزی است که انتظار داریم. به عبارت دیگر میزان بسیار زیادی از این عناصر همراه با کاتالیست‌های مورد استفاده در صنایع پالایشگاهی و پتروشیمیایی و خودرویی و یا آهن‌رباها و باتری‌های جدید، وارد کشور می‌شوند که هیچ آمار دقیقی از آن ها در دسترس نیست. برآوردهای به عمل آمده نشان می دهد بومی سازی محصولات مربوطه، نیاز به بیش از ۱۰۰۰ تن از عناصر نادر خاکی خواهد داشت.

تولید این عناصر در برخی از کشورها همانند مالزی در سال ۲۰۱۸ نزدیک به ۲۰۰ تن در سال بوده است. این میزان تولید نشان دهنده اقتصادی بودن تولید در همین مقیاس هم می باشد و در ایران به عنوان مقیاس تولید قابل قبول حداقلی می تواند در نظر گرفته شود. اگرچه باید به عنوان یک محصول جانبی به آن نگریسته شود تا شرایط اقتصادی تولید برقرار گردد.

بازه قیمت در مورد عناصر نادر متناسب با کاربردشان و البته خواصشان از قبیل درصد خلوص و اندازه ذرات متفاوت است. همچنین میزان سفارش بر روی قیمت ها تاثیرگذار است. در سال های گذشته نوسان قیمتی شدیدی را شاهد بوده ایم که لیست خرید میش متال توسط شرکت فروسیلیس ایران نشانگر این موضوع است.

متوسط قیمت واردات ترکیبات سریم با کیفیت پایین و ارزان‌قیمت که عمدتا از کشور چین وارد می شوند، در حدود ۷ دلار به ازای هر کیلوگرم بوده در حالیکه متوسط قیمت ترکیبات با کیفیت و گران‌قیمت‌تر که از کشورهای انگلیس، ایتالیا یا اسپانیا وارد شده اند، حدود ۵۰ دلار به ازای هر کیلوگرم محصول می‌باشد. قیمت میش متال وارداتی توسط صنایع فولاد نیز در محدوده ۵ تا ۶ دلار به ازای هر کیلوگرم بوده است.

بیشترین مصرف عناصر نادر خاکی در ایران متعلق به میش متال می باشد که در صنایع متالورژی و به طور ویژه فروسیلیس منیزیم به کار گرفته می‌شود. عناصر سریم و لانتانیم به عنوان پرکاربردترین عناصر نادر خاکی شناخته شده و پیشنهاد می گردد جداسازی این عناصر از سایر عناصر نادر خاکی در دستور کار قرار گیرد.

تیتانیوم

بررسی وضعیت تهیه و تولید و بازار تیتانیم دی اکسید، به عنوان محصول جانبی پروژه تولید عناصر نادر خاکی، نشاندهنده حجم بالایی از واردات تیتانیم دی اکسید می باشد. بر این اساس، ارزش واردات پیگمنت های شامل حداقل ٪۸۰ تیتانیم دی اکسید در سال ۱۳۹۷ حدود ۸۰ میلیون دلار و مقدار مربوط به سایر اکسیدهای تیتان حدود ۵۳ میلیون دلار بوده است. این ارقام نشاندهنده امکان ایجاد ارزش افزوده مناسب با تولید تیتانیم دی اکسید در کنار میش متال است. پیگمنت های تیتانیوم دی اکسید در حال حاضر در حدود ۲,۵ دلار به ازای هر کیلوگرم در بازار ایران خرید و فروش می گردند.

اورانیوم

تجارت اورانیوم در بازار آزاد صورت نمی گیرد. قیمت ها توسط مشاوران بازار منتشر می‌شوند. قیمت اورانیم در بازارهای جهانی در سال ۲۰۱۸ حدود ۵۰ دلار به ازای هر کیلوگرم بوده است. آمارها نشاندهنده این است که میزان تولید در بازار برای تأمین میزان رشد تقاضای بلند مدت کافی نیست. از آنجا که این ماده به عنوان ماده ای استراتژیک و خاص شناخته می شود، هم اکنون تولید آن در ایران توسط سازمان انرژی اتمی صورت می گیرد که قیمتی در حدود ۴ میلیون تومان به ازای هر کیلوگرم دارد. البته این قیمت مربوطه به ماده نهایی بوده و از آنجا که محصول جانبی خط تولید عناصر نادر خاکی، محصول نهایی اورانیوم نخواهد بود، باید قیمت محصول را ضریبی از قیمت اورانیوم در نظر گرفت.

جداسازی عناصر نادر از یکدیگر

جداسازی عناصر نادر خاکی از یکدیگر به روش های متفاوتی می تواند انجام شود که مهمترین این روش ها، استفاده از روش استخراج حلالی می باشد. جهت جداسازی درست و موثر یک عنصر از عناصر دیگر، نیاز به تنظیم شرایط فرایندی به همراه استخراج کننده مناسب می باشد. جهت دست یابی به خلوص بالا نیز معمولا سعی می گردد تا فرایند در چندین مرحله انجام شود. در این پروژه جداسازی ایتریم به کمک استخراج کننده های D2EHPA و PC88A در رقیق کننده کروزن انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد جهت دست یابی به خلوص بالای ایتریم، باید از غلظت های کم این

استخراج کننده ها استفاده گردد. نتایج به دست آمده از هر دو استخراج کننده امیدوارکننده بود. اگرچه استفاده از PC88A خلوص بالاتری از محصول را نشان می داد.

در خصوص جداسازی سریم از دیگر عناصر نادر خاکی، مراجع مختلف به دقت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعات نشان داد که روش اکسیداسیون و سپس رسوب دهی بهترین روش برای دستیابی به سریم با خلوص تا ۹۰٪ می باشد. روش استخراج حلالی برای محلول های حاوی مقادیر بیشتر سریم به کار می رود و عموما سریم با خلوص خیلی بالا را نتیجه خواهد داد. در این پروژه فرایند اکسیداسیون و تبدیل ظرفیت سریم ۳ به سریم ۴ به کمک آب اکسیژنه صورت گرفت و سپس به کمک آمونیاک تنظیم pH و در نتیجه رسوب دهی صورت گرفت.

کاتالیست های برپایه عناصر نادر خاکی

تحقیق و توسعه در حوزه کاتالیست های عناصر نادر خاکی، بهره وری بالای عناصر فراوانتر این گروه یعنی سریم و لانتانیم را به طور قابل توجهی تقویت نموده است. در حال حاضر، کاتالیست های بر پایه عناصر نادر خاکی نقش مهمی در صنایع پالایش نفت و پتروشیمی، احتراق کاتالیستی سوخت های فسیلی و کنترل انتشار گاز خودروها، ماشین آلات و صنایع دارند. اثر عناصر نادر خاکی بر ساختار، مورفولوژی و عملکرد کاتالیست های مربوط به حوزه کنترل انتشار آلاینده های هوا با تاکید بر موضوع ذخیره اکسیژن، مورد بررسی قرار گرفت. حضور عناصر نادر خاکی باعث بهبود اندازه حفرات، توزیع مناسب ذرات اکسید فلزی و ذخیره بالای اکسیژن در شبکه کریستالی کاتالیست می شود. نتایج حاصل کمک شایانی به تولید کنندگان داخلی این عناصر و همچنین مصرف کنندگان آنها در حوزه کاتالیست های پتروپالایشگاهی، مبدل های کاتالیستی و بهبود دهنده های سوخت های فسیلی می نماید.

استحصال و فراوری عناصر نادر خاکی

فرایند فراوری عناصر نادر خاکی که توسط مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران گسترش یافته است به دو بخش فیزیکی و هیدرومتالورژی تقسیم می گردد. در بخش جداسازی فیزیکی از تجهیزاتی همانند سنگ شکن، آسیاب، مارپیچ های جداکننده، جداکننده های مغناطیسی و میزهای لرزان استفاده گردیده است. خروجی این بخش از فرایند کنسانتره ای حاوی یک درصد عناصر نادر خاکی خواهد بود. میزان سرمایه گذاری لازم در این بخش برای تجهیزات مورد نیاز جهت فراوری ۲۵۰۰۰۰ تن خاک ورودی در سال، حدود ۱۰۴ میلیارد تومان می باشد. در بخش جداسازی به کمک روش های هیدرومتالورژی، عناصر با ارزش موجود در کنسانتره به دست آمده در بخش فیزیکی، در اسید حل شده و به کمک فرایندهای شیمیایی، جداسازی می گردند. تجهیزات اصلی مورد استفاده در این مرحله مخازن همزن دار، پمپ ها و کوره ها و خشک کن ها می باشند. فرایند هیدرومتالورژی استحصال عناصر نادر خاکی را می توان به چند واحد اصلی تقسیم بندی نمود:

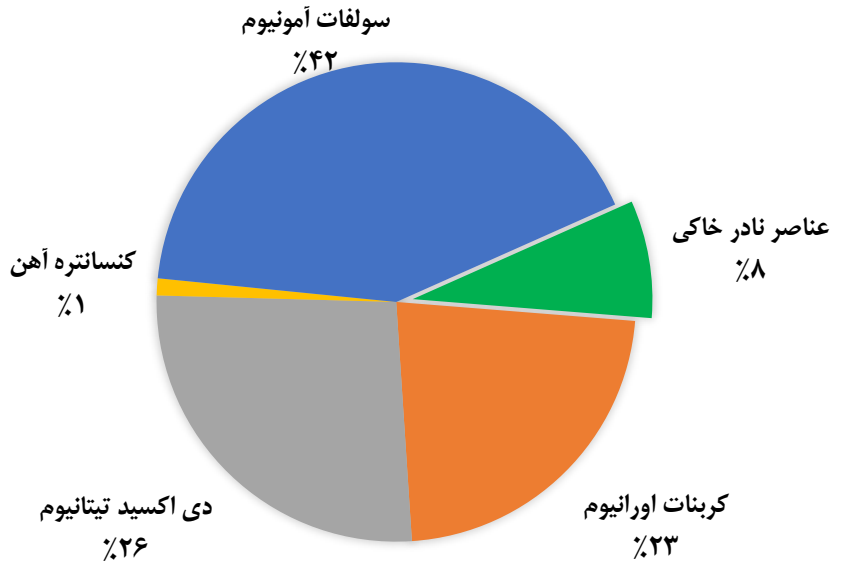
- واحد هضم اسیدی
- واحد جداسازی اورانیوم
- واحد ترسیب آهن و جداسازی تیتانیوم
- واحد جداسازی عناصر نادر خاکی
- واحد کود سولفات آمونیم و تصفیه پساب

مقدار هریک از محصولات به دست آمده به ازای میزان خاک ورودی ۲۵۰ هزار تن در سال و ۵۰۰ هزار تن در سال در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ مقدار محصولات (تن) حاصله به ازای مقادیر مختلف ورود خوراک و قیمت آن ها

	به ازای ورود ۲۵۰ هزار تن خاک (تن)	به ازای ورود ۵۰۰ هزار تن خاک (تن)	قیمت به ازای هر کیلوگرم محصول (تومان)
عناصر نادر خاکی	۲۱۶	۴۳۳	۸۰۰۰۰
کربنات اورانیوم	۱۸	۳۶	۳۲۰۰۰۰۰
تیتانیوم اکساید TiO_2	۱۱۵۶	۲۳۱۱	۵۰۰۰۰
کنسانتره آهن (۶۵٪)	۲۵۰۰	۵۰۰۰	۱۰۰۰
سولفات آمونیوم	۳۰۳۷۳	۶۰۷۴۶	۳۰۰۰

سهم هریک از محصولات کارخانه، از مجموع کل محصولات کارخانه در شکل ۱ ارائه شده است. این شکل ارزش بررسی هر یک از بخش ها را نشان می دهد. بنابراین به نظر می رسد باید توجه ویژه ای به محصول سولفات آمونیوم صورت گیرد و فرایند تولید آن به خوبی بهینه سازی گردد.



شکل ۲ سهم هر یک از محصولات از کل فروش کارخانه

هزینه های سرمایه گذاری ثابت

سرمایه اولیه مورد نیاز جهت احداث کارخانه ای با ظرفیت ۲۵۰۰۰۰ تن خاک ورودی در سال، در هر بخش به شکل زیر می باشد:

جدول ۲ جمع هزینه های سرمایه گذاری ثابت

جمع کل هزینه سرمایه گذاری تجهیزات بخش فیزیکی	۱۰۳,۷۰۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع کل هزینه سرمایه گذاری تجهیزات بخش هیدرومتالورژی	۵۸,۰۱۱,۹۰۰,۰۰۰
جمع کل سرمایه گذاری تجهیزات (تومان)	**۱۶۱,۷۱۱,۹۰۰,۰۰۰**

جدول ۳ جمع هزینه های عمرانی

هزینه ساختمان سازی	۳۳,۴۹۰,۰۰۰,۰۰۰
راه سازی (زیر سازی، تیغه، ۳,۵ کیلومتر، عرض ۴,۵)	۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع هزینه های عمرانی	**۳۴,۴۹۰,۰۰۰,۰۰۰**

جدول ۴ هزینه سرمایه گذاری واحدهای پشتیبانی

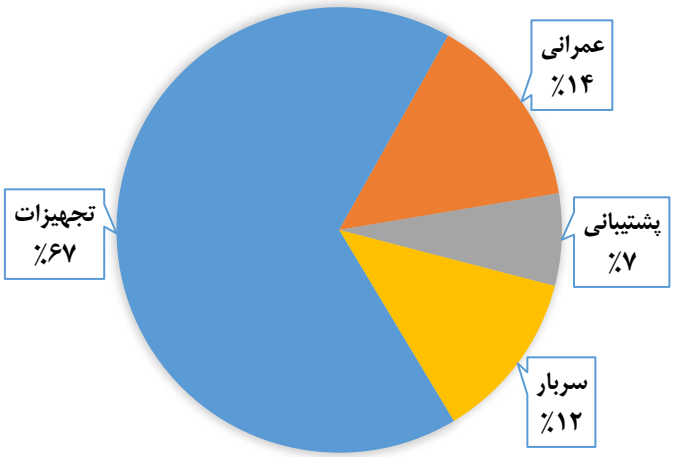
امتیاز ایستگاه تقلیل فشار گاز	۷۰۰,۰۰۰,۰۰۰
آتش نشانی (اعلام و اطفاء حریق)	۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
تصفیه پساب	۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
واحد تولید آب بدون یون	۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع	**۲,۱۰۰,۰۰۰,۰۰۰**

جدول ۵ هزینه های سربار

هزینه های سربار و متفرقه (۲٪ هزینه کل سرمایه گذاری ثابت)	۳,۲۳۴,۲۳۸,۰۰۰
استقرار و اجرای پروژه (۵٪ هزینه کل سرمایه گذاری ثابت)	۸,۰۸۵,۵۹۵,۰۰۰
هزینه های احتمالی (۵٪ هزینه کل سرمایه گذاری ثابت)	۸,۰۸۵,۵۹۵,۰۰۰
هزینه تحصیل تکنولوژی	۱۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
هزینه های احتمالی تحصیل تکنولوژی (۵٪ تحصیل تکنولوژی)	۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع	**۲۹,۹۰۵,۴۲۸,۰۰۰**

نسبت هزینه های ثابت

با توجه به هزینه های اعلام شده در بخش قبل، نسبت هزینه های موثر در سرمایه گذاری ثابت در شکل ۲ نمایش داده شده است:



شکل ۲ سهم هر یک از بخش های مختلف در سرمایه گذاری ثابت

همانطور که ملاحظه می گردد، هزینه لازم برای تجهیزات، قسمت عمده بخش سرمایه گذاری کل را به خود اختصاص می دهد و احتمالا با انجام بهینه سازی های لازم بر روی آن می توان هزینه سرمایه گذاری ثابت را کاهش داد.

هزینه های عملیاتی

هزینه های جاری مربوط به فراوری ۲۵۰۰۰۰ تن خاک ورودی در سال به قرار زیر می باشد:

جدول ۶ جمع هزینه های انرژی

هزینه برق مصرفی در سال	۱,۵۶۸,۳۲۲,۰۰۰
هزینه گاز مصرفی در سال	۵۴۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع هزینه انرژی در سال	**۲,۱۰۸,۳۲۲,۰۰۰**

جدول ۷ هزینه های جاری متفرقه

هزینه تعمیر و نگهداری (۵٪ هزینه های سرمایه گذاری تجهیزات و عمرانی)	۹,۸۱۰,۰۹۵,۰۰۰
هزینه نیروی انسانی	۷,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع	**۱۶,۸۱۰,۰۹۵,۰۰۰**

جدول ۸ هزینه های بازاریابی

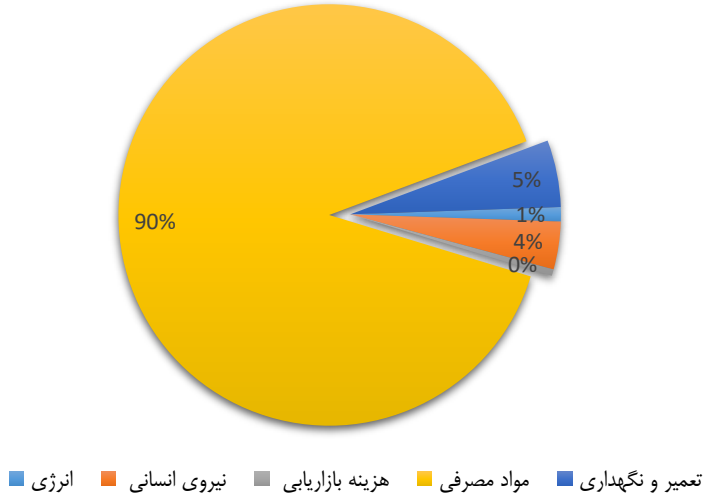
هزینه بازاریابی (۵٪ هزینه های جاری)	۹۴۵,۹۲۰,۸۵۰
جمع	**۹۴۵,۹۲۰,۸۵۰**

جدول ۹ هزینه مواد اولیه

اسید سولفوریک (صنعتی)	۲۲,۹۱۲,۵۰۰,۰۰۰
اسید اگزالیک	۲۵,۶۲۵,۰۰۰,۰۰۰
آب اکسیژنه (۳۵ درصد)	۶,۶۱۲,۵۰۰,۰۰۰
آمونیاک (۲۵ درصد)	۳۰,۱۸۷,۵۰۰,۰۰۰
آمونیوم بی کربنات (۹۹ درصد)	۵۰,۶۲۵,۰۰۰,۰۰۰
TOA	۸۴۰,۰۰۰,۰۰۰
PC88A	۲,۴۰۰,۰۰۰,۰۰۰
دکانول	۲,۵۲۰,۰۰۰,۰۰۰
کروزین	۵۳۴۴۰۰۰۰۰
آب	۳۸۴۰۰۰۰۰۰۰
هزینه استخراج و حمل ماده معدنی (با فرض نسبت باطله به کانسنگ برابر با ۴ به ۱ و قیمت ۲۰ هزار تومان به ازای هر تن)	۲۵,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع مواد مصرفی	**۱۷۱,۰۹۶,۹۰۰,۰۰۰**

نسبت هزینه های عملیاتی

با در نظر گرفتن هزینه های اعلام شده در بخش قبل، نسبت هزینه های عملیاتی در شکل ۳ نمایش داده شده است:



شکل ۳ سهم بخش های مختلف در هزینه های جاری و عملیاتی

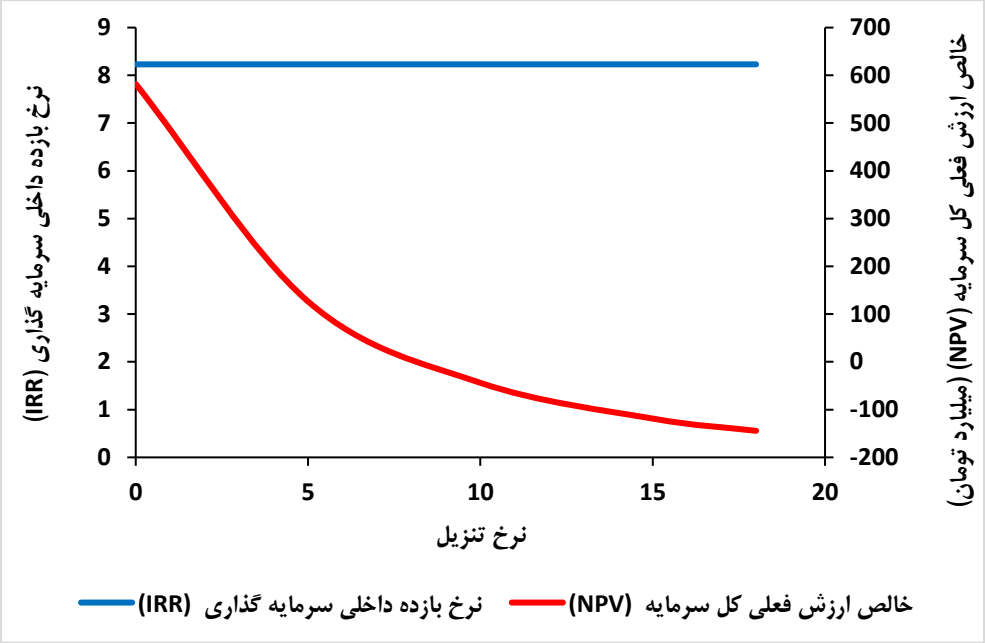
همانطور که ملاحظه می گردد، هزینه لازم برای خرید مواد اولیه، قسمت عمده بخش هزینه های جاری و عملیاتی را به خود اختصاص می دهد و احتمالا با انجام بهینه سازی های لازم بر روی آن ها می توان هزینه های عملیاتی را کاهش داده و فرایند را اقتصادی تر نمود. این بدان معناست که هرگونه بهینه سازی یا نوآوری در فناوری که منجر به کاهش مصرف مواد اولیه گردد به شدت بر اقتصاد پروژه و نسبت بازگشت داخلی (IRR) اثر مثبت خواهد گذاشت.

تحلیل حساسیت تعدادی از پارامترهای موثر در اینجا صورت گرفته است. در حالت پایه و زمانی که نرخ تنزیل برابر با صفر در نظر گرفته شود، هزینه سرمایه گذاری کل حدود ۲۶۱ میلیارد تومان می باشد. درآمد حاصل از فروش محصولات در حدود ۲۱۶ میلیارد تومان بوده و سود خالص سالیانه در حدود ۲۳ میلیارد تومان خواهد بود.

تغییر نرخ تنزیل

تنزیل روشی است برای تخمین ارزش حال یا ارزش فعلی جریان وجوه نقدی، که در زمان‌بندی مشخصی در آینده قابل دریافت است. نرخ تنزیل را می توان برابر با نرخ سود وام های مصوب برای آن صنعت در نظر گرفت. برای مثال ممکن است برای سرمایه گذاری در مناطق محروم وام های با نرخ سود ۴٪ پرداخت گردد و یا برای صنعتی دیگر وام های بلند مدت و بدون بهره ارائه شود و البته نرخ سود بانکی برای سرمایه گذاری عمومی ۱۸٪ باشد. در این مطالعه، نرخ تنزیل از مقدار ۰ تا ۱۸٪ تغییر داده شد تا تاثیر آن بر روی نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری (IRR) و همچنین خالص ارزش فعلی کل سرمایه (NPV) مشخص گردد. همانطور که در شکل ۴ دیده می شود، با اضافه شدن نرخ تنزیل، نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری (IRR) ثابت باقی می ماند اما خالص ارزش فعلی کل سرمایه (NPV) کاهش می یابد و در نرخ تنزیل های بالا، منفی می گردد. حداقل نرخ تنزیل قابل پذیرش که در نقطه صفر خالص ارزش فعلی کل سرمایه قابل تخمین است حدود ۷ درصد می باشد و این بدان معناست که پروژه در ظرفیت ۲۵۰ هزار تن در سال، تنها در قالب طرح های دولتی

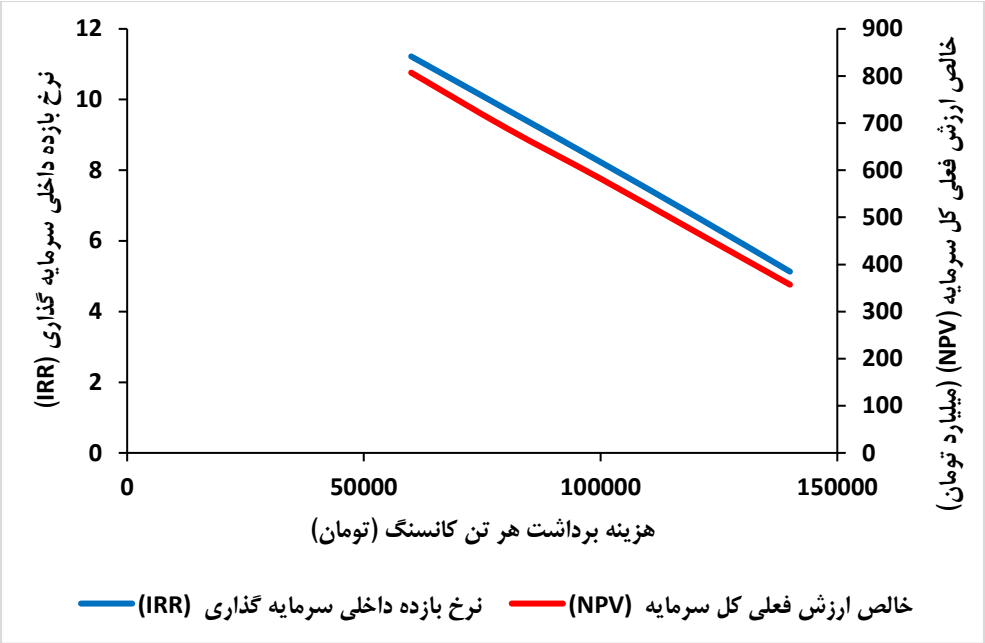
مناطق محروم یا شیوه های مشابه دیگر که دارای سبدهای حمایتی مناسب شامل وام های ارزی بلند مدت یا وام های ریالی کم بهره یا بدون بهره باشد، توجیه پذیر خواهد بود.



شکل ۴ تاثیر نرخ تنزیل بر اقتصاد پروژه

هزینه استخراج و حمل خاک به کارخانه

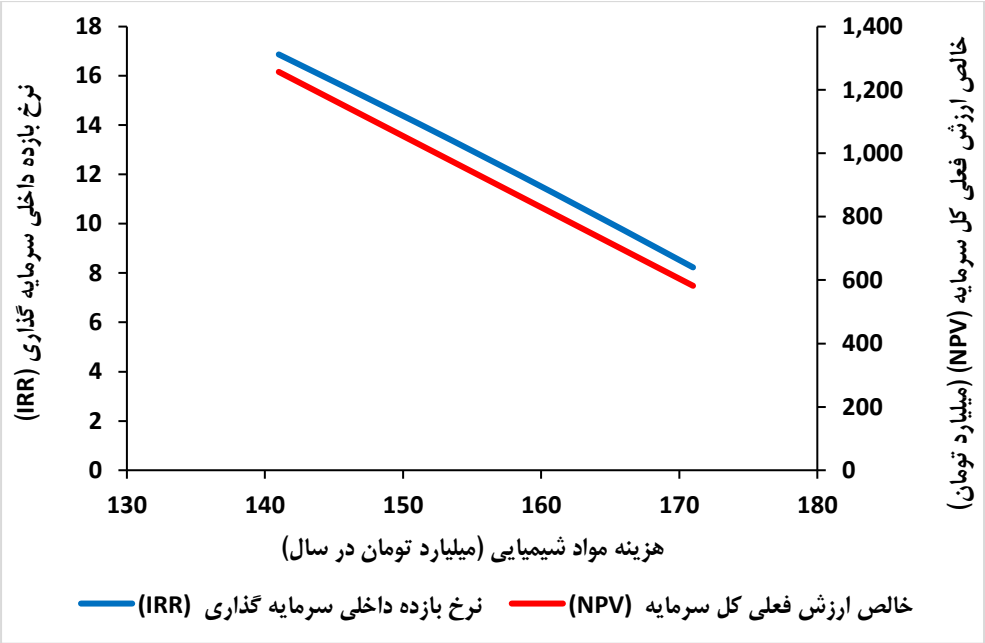
بخش اصلی هزینه های جاری مربوط به مواد خام می باشد. از آنجا که یکی از اصلی ترین هزینه های مربوط به مواد خام، خاک ورودی به کارخانه می باشد، تحلیل حساسیت اقتصاد کارخانه با تغییرات این پارامتر صورت گرفت. در اینجا فرض گردید که نرخ برداشت خاک از ۶۰ تا ۱۴۰ هزار تومان به ازای هر تن خاک ورودی به کارخانه تغییر نماید. در محاسبه عدد ۶۰ هزار تومان فرض گردید که نسبت برداشت خاک کانسنگ به خاک باطله برابر با ۱ به ۲ باشد و هزینه برداشت و حمل هر تن خاک، ۲۰ هزار تومان باشد. این مورد مواقعی که مقدار باطله کمی در مسیر برداشت وجود داشته باشد، صادق می باشد و سودآوری آن نیز برای کارخانه کاملاً مشهود است. از طرف دیگر در محاسبه عدد ۱۴۰ هزار تومان فرض گردیده است که نسبت خاک کانسنگ به خاک باطله برابر با ۱ به ۶ باشد. این مورد کمی بدبینانه بوده و اقتصاد کارخانه را دچار مشکل می نماید. نمودار تغییرات مربوطه این پارامتر در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۵ تاثیر هزینه برداشت خاک بر روی اقتصاد فرایند

هزینه مواد شیمیایی

مهمترین بخش هزینه های جاری مربوط به هزینه مواد خام ورودی می باشد. لذا هرگونه تغییری در این بخش می تواند اقتصاد کارخانه را به شدت تحت تاثیر قرار دهد. مواد شیمیایی استفاده شده در بخش پایلوت بر اساس میزان بازدهی استخراج تنظیم گردیده اند و بعضاً امکان جابجایی با مواد دیگر و یا با خلوص و شرایط دیگر را دارند. پیشنهاد می گردد بهینه سازی مجددی با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی بر روی نتایج صورت گیرد. در اینجا تنها تاثیر کاهش کلی هزینه های مواد شیمیایی بر روی اقتصاد فرایند بررسی شده است. عدد ۱۷۱ میلیارد تومان نماینده وضعیت فعلی پروژه بوده و عددهای دیگر کاهش در این رقم را نشان می دهند. همانطور که از شکل ۶ مشخص است، کاهش هزینه مواد شیمیایی به خوبی می تواند اقتصاد فرایند را بهبود بخشد بگونه ای که کاهش ۳۰ درصدی هزینه های تولید می تواند خالص ارزش فعلی کل سرمایه را تا ۱۰۰ درصد افزایش دهد.

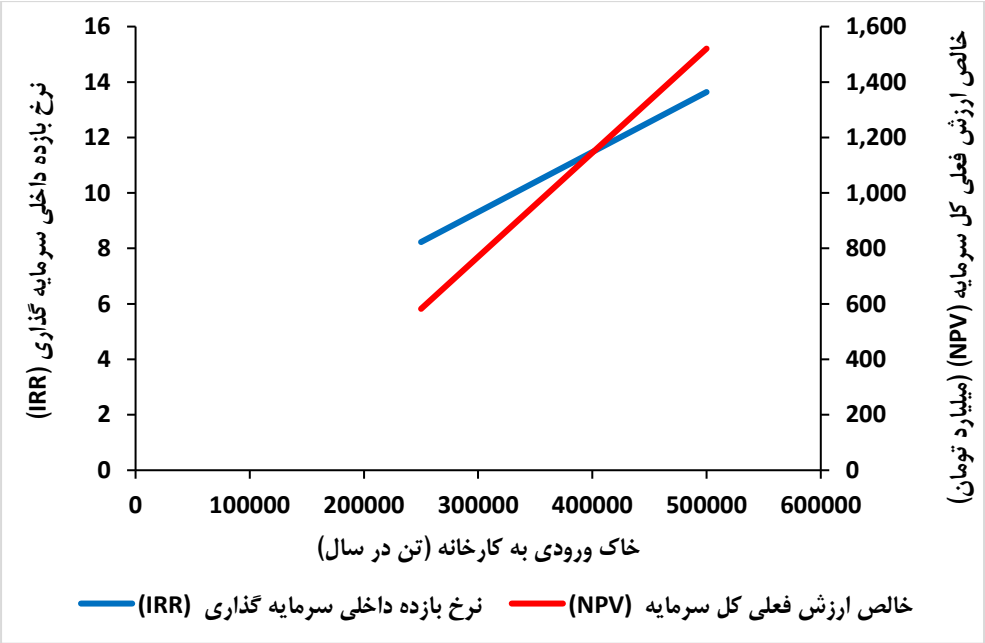


شکل ۶ تاثیر کاهش هزینه مواد شیمیایی بر اقتصاد فرایند

افزایش مقیاس

یکی از مواردی که می تواند اقتصاد فرایند را به شدت تحت تاثیر قرار دهد، افزایش مقیاس می باشد. زیرا در این حالت هزینه های سرمایه گذاری و بالاسری کمتر از درصد افزایش مقیاس رشد خواهند کرد و سودآوری کارخانه افزایش خواهد یافت. در اینجا در ابتدا مقایسه ای بین حالت پایه مربوط به ظرفیت ۲۵۰۰۰۰ تن (نرخ تنزیل برابر با ۰٪ و هزینه برداشت برابر با ۱۰۰ هزار تومان به ازای هر تن خاک ورودی) و ۵۰۰۰۰۰ تن خاک ورودی، صورت گرفته است و سپس تاثیر کاهش هزینه های مواد شیمیایی بر روی اقتصاد فرایند با ظرفیت ۵۰۰۰۰۰ تن خاک ورودی بررسی شده است.

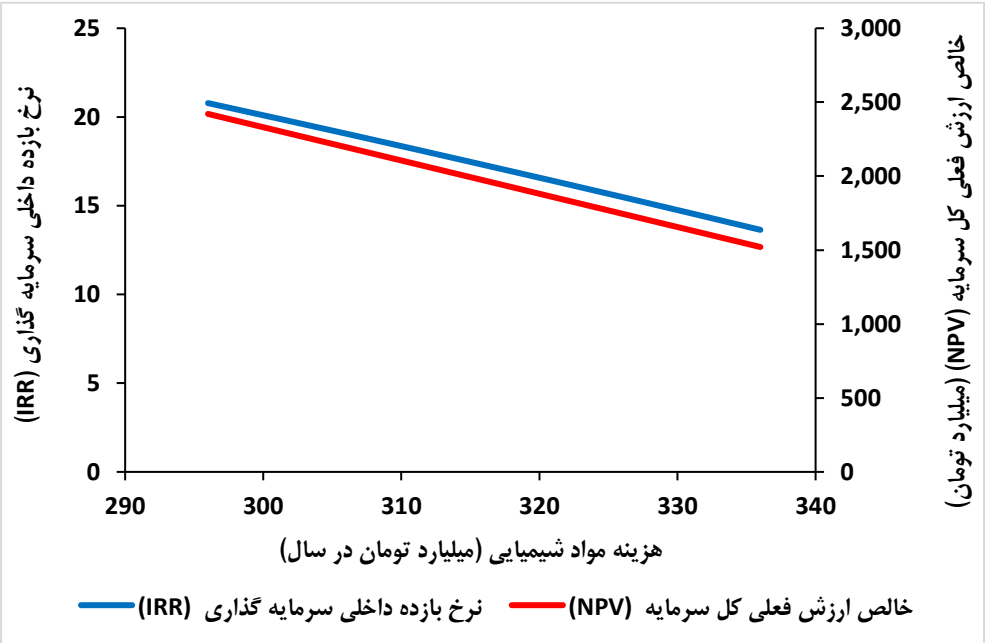
در شکل ۷ تاثیر افزایش مقیاس تولید به خوبی نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد و البته قابل پیش بینی نیز بود، با افزایش مقیاس، اقتصاد فرایند به شدت تحت تاثیر قرار گرفته و بهبود خواهد یافت.



شکل ۷ تاثیر افزایش مقیاس بر روی اقتصاد فرایند

تاثیر کاهش هزینه مواد شیمیایی در مقیاس ۵۰۰۰۰۰ تن خاک ورودی در سال

همانطور که قبلا نیز گفته شد، هزینه مواد شیمیایی به شدت بر روی اقتصاد فرایند تاثیر گذار است. لذا تاثیر کاهش هزینه مواد شیمیایی در مقیاس ۵۰۰۰۰۰ تن خاک ورودی در سال نیز بررسی گردید. نتایج خروجی که در شکل ۸ نمایش داده شده اند، نشان دادند که کاهش ۱۲٪ هزینه مواد شیمیایی می تواند نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری (IRR) را ۶۶٪ و خالص ارزش فعلی کل سرمایه (NPV) را ۶۳٪ را افزایش دهد. لذا مجددا پیشنهاد می گردد که مطالعات بهینه سازی فرایند با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی حتما صورت گیرد.



شکل ۸ تاثیر هزینه مواد شیمیایی بر روی اقتصاد فرایند در مقیاس ۵۰۰۰۰۰ تن خاک ورودی