Archive of SID

# اقتصاد بازسازی باطله‌های معدنی

**کاظم اورعی**

استادیار گروه مهندسی استخراج معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

تهران، صندوق پستی ۱۴۳- ۱۴۱۱۵

oraee@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: اردیبهشت ۱۳۸۱، پذیرش مقاله: خرداد ۱۳۸۳)

**چکیده**- صدمات وارد بر محیط زیست توسط باطله‌های معدنی، در سالهای اخیر در کشورهای پیشرفته همواره مورد توجه و بررسی بوده است. با توجه به اهمیت این موضوع، سعی شده با در نظر گرفتن همه جوانب و در شرایط مختلف، راهکارهایی عملی و اقتصادی برای بازسازی باطله‌های معدنی ارائه شود. برای این منظور در این مقاله ابتدا به رابطه معدنکاری و محیط اطراف می‌پردازیم و صدمات معدنکاری بر محیط زیست، یعنی اثر آن بر آلودگی هوا، آب و خاک را مورد بحث قرار می‌دهیم. سپس موضوع بازسازی محیط بررسی شده است. لازمه این بازسازی، شناخت ویژگیهای باطله‌های معدنی است که تحت عناوین خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی باطله‌ها ارائه می‌شود. مبحث بعدی، تثبیت شیمیایی و فیزیکی باطله‌ها است که در اینجا روشهای موجود، از نظر میزان تأثیر مقایسه شده‌اند و گیاه‌کاری، به عنوان مؤثرترین روش بازسازی تحلیل خواهد شد.

در پایان، برآورد هزینه‌ها و درآمدها در روش گیاه‌کاری و ارزش خالص فعلی و نرخ بازگشت سرمایه در پروژه تبدیل باطله معدنی به جنگل محاسبه و نتیجه‌گیری می‌شود که این پروژه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. چنین پروژهایی با نرخ بازگشت داخلی ۱۳/۵٪ از بسیاری از پروژه‌هایی که به وسیله بخش دولتی انجام می‌شود اقتصادی‌تر است.

**کلید واژگان:** محیط زیست؛ باطله؛ بازسازی؛ آلودگی؛ گیاه‌کاری.

## ۱- مقدمه

قسمتی از جو که حداقل برای نوعی از زندگی مناسب است، محیط زیست نامیده می‌شود و هر ناحیه‌ای از طبیعت که در آن بین موجودات زنده و اجسام غیر زنده، واکنشهای متقابل انجام می‌شود، اکوسیستم نام دارد. بشر برای ادامه حیات به تمامی اکوسیستم‌ها وابستگی دارد اما درباره آنها بی‌اطلاع و از این وابستگی‌ها غافل است و اعمالی را انجام می‌دهد که نتیجه آنها به خود او نیز مربوط می‌شود.

از آن میان می‌توان به تلاش انسان برای دسترسی به مواد معدنی را نام برد. در عملیات استخراج معادن، محیط اطراف دستخوش تغییراتی می‌شود که در نوع خود آلودگی محسوب می‌شود. به عنوان مثال با انجام عملیات مختلف استخراج، حمل و فراوری، آلودگی در هوا ایجاد می‌شود و نفوذ پسابهای معدنی به آبهای منطقه، به آلودگی آب منجر می‌شود که مجموع این دو عامل، آلودگی خاک منطقه را نیز در پی دارد.

از سال ۱۹۴۷ میلادی در بعضی از کشورها قوانینی وضع شده [۱] که معدنکاران را به بازسازی مناطقی که در نتیجه عملیات معدنکاری دگرگون شده‌اند، ملزم می‌کند. تعداد کشورهایی که در این خصوص حساسیت زیادی از خود نشان می‌دهند در دهه‌های اخیر افزایش فزاینده داشته و این کشورها به وضع قوانین مختلف در این زمینه همت گماشته‌اند تا جایی که امروز بازسازی محیط زیست در



www.SID.ir

Archive of SID

بسیاری کشورها به عنوان یکی از فعالیتهای معدنکاری تلقی می‌شود.

## ۲- صدمات معدنکاری بر محیط زیست

خسارات وارد شده به زمینها و محیط اطراف بر اثر معدنکاری، به عوامل مختلفی مانند روش استخراج، شرایط توپوگرافی منطقه و خصوصیات خاک موجود قبل از شروع معدنکاری بستگی دارد. معمولاً توانایی خاک برای رشد گیاهان پس از معدنکاری کم می شود و خاکهایی که عملیات معدنکاری بر روی آنها انجام شده، اغلب از نظر شیمیایی فعال می‌شوند که این خود، بر آلودگی هوا و آب منطقه موثر است [۲].

روشهای سطحی و زیرزمینی هر دو آثار نامطلوبی بر محیط اطراف می گذارند. استخراج سطحی علاوه بر ایجاد گودالها و تغییرات شدید در شکل اولیه طبیعت، تغییراتی در کیفیت خاک منطقه به وجود می آورد و موجب آلودگی هوا نیز می شود. روشهای زیرزمینی با توجه به اینکه در عمق کار می کنند، اثر خود را به صورت بروز پدیده نشست و در نتیجه تغییر ساختار زمین شناسی در سطح زمین نشان می دهند[۳]. بعلاوه، تخریب و آلودگی سفره های آب زیرزمینی بر اثر نفوذ پسابهای معدنی و اثر نامطلوبی که باطله های انباشته شده در معادن، بر سطح زمین می گذارد از اهمیت خاصی برخوردار است. انباشت این باطله ها که مقدار آنها ممکن است به میلیونها تن برسد، توپوگرافی و ساختار سطح زمین را تغییر می‌دهد و بعضا به دلیل عدم برخورداری از ثبات کافی، خسارات مالی و جانی به بار می آورند.

### ۲-۱- آلودگی هوا

معدنکاری منبع اصلی آلودگی هوا نیست اما می‌تواند سبب بروز مشکلات محلی از جمله ایجاد گرد و غبار و انباشت ذرات سمی شود. در عملیات فراوری مواد معدنی استخراج شده مانند فرایند تغلیظ نیز ذرات معلقی که در هوا پراکنده می شوند، به عنوان آلاینده محیط شناخته می‌شوند. در حال حاضر پنج آلاینده مهم هوا وجود دارد که مقدار و میزان غلظت آنها به‌وسیله بنگاه حفاظت محیط زیست ایالات متحد تعیین شده است [٤]. این آلاینده‌ها عبارتند از: ذرات معلق، دی اکسید گوگرد، منو اکسید کربن، اکسیدهای نیتروژن و ذرات سرب.

چنانچه میزان ذرات معلق در هوا از حد استاندارد فراتر رود، منابع تولید آن باید بررسی شود. ذرات معلق در هوا را به دو دسته می‌توان تقسیم کرد: ذرات فرار و ذرات غیر فرار.

در فعالیتهای معدنی اعم بر استخراج یا فراوری مواد معدنی، ذرات فرار به‌وسیله آن بخش از فعالیتهای معدنی تولید می‌شوند که به پوشان‌سنگ یا کانسار، ضربه وارد می‌کنند و موجب انتشار گرد و غبار فرار به هوا می‌شوند. از میان منابع تولید ذرات فرار می‌توان به عملیات حفاری، انفجار، استخراج و حمل و نقل اشاره کرد.

ذرات غیر فرار آنهایی است که می‌توان با استفاده از ایجاد موانع در هواکشها یا دودکشها، میزان تولید یا چگونگی انتشار آنها را محدود کرد یا با روشهای خاصی از جمله پاشیدن آب با فشار بالا، از تولید آنها جلوگیری به عمل آورد. منابع گرد و غبار غیر فرار اغلب منابع نقطه‌ای نامیده می‌شوند، زیرا اینگونه گرد و غبار، معمولاً در یک نقطه منفرد ـ که قابل تشخیص نیز هست ـ تشکیل می‌شوند. از جمله آنها می‌توان به سنگ شکن‌ها و انبارها اشاره کرد.

### ۲-۲- آلودگی آب

صدماتی که فعالیتهای معدنکاری ممکن است بر منابع آب وارد کنند عبارتند از: فرونشینی سطح ایستابی، انحراف و آلودگی آبهای سطحی یا زیر زمینی. ایران از نظر اقلیمی جزو کشورهای کم آب است و به همین دلیل مسأله آلوده شدن آب به‌وسیله فعالیتهای معدنی، اهمیت زیادی دارد. پارامترهای سنجش آلودگی آب عبارتند از: میزان اکسیژن محلول در آب، میزان مواد معلق، pH و میزان مواد جامد


www.SID.ir

Archive of SID

محلول در آن. مسأله مهم دیگری که در سالهای اخیر، بویژه در معادن فلزی مورد توجه واقع شده، مسأله تولید و جریان یافتن پسابهای معدنی است. پسابهای معدنی معمولاً از کانسنگ‌های سولفیدی و بویژه از پیریت تولید می‌شوند. مهمترین پسابهای معدنی پسابهای اسیدی هستند [۵] که pH اسیدی دارند. در معادن زیرزمینی، این نوع پسابها بر اثر واکنشهای شیمیایی یا فعالیتهای میکروبی تولید می‌شوند. برای تشکیل پسابهای اسیدی، وجود سه عامل هوا، آب و ترکیبات سولفوری لازم است. از این‌رو اگر در معادن، از مجاورت آب با ترکیبات سولفور جلوگیری شود ـ یعنی به عنوان مثال زهکشی معدن و بیرون راندن آب حاصل از آن، با سرعت مناسب انجام شود ـ حجم و غلظت پساب تولید شده در معدن کاهش می‌یابد. pH پسابهای اسیدی را می‌توان با آهک، سنگ آهک و دولومیت متعادل کرد. برای خنثی سازی پسابها، تشخیص وجود املاح فرو مهم است؛ زیرا این املاح در مجاورت آب ایدرولیز شده و اسید سولفوریک تولید می‌کنند. بنابراین هرچه اکسید شدن املاح فرو سریعتر انجام شود، بهتر است.

## ۳- بازسازی محیط زیست

بیشتر مناطقی که در آنها فعالیتهای معدنی انجام می‌شود قابل بازسازی است [۶]. در بازسازی مناطقی که عملیات معدنکاری در آنها صورت گرفته، طبیعی است که به دلایل اقتصادی سعی شود حتی‌الامکان از مواد باطلهای که از معدن تولید شده استفاده شود. بدین منظور لازم است که ویژگی‌های باطله‌های معدنی به‌خوبی شناخته شود.

### ۳-۱- ویژگیهای باطله‌های معدنی

خاک طبیعی آمیزه‌ای از مواد آلی و غیرآلی است. از میان مواد غیرآلی موجود در خاک می‌توان به ذرات شن، سیلت، خاک رس و از میان مواد آلی به مواد حاصل از تجزیه گیاهان و جانوران اشاره کرد. خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، به مقادیر نسبی هر یک از این مواد در خاک بستگی دارد.

خواص فیزیکی مهم باطله‌های معدنی که به منظور بازسازی منطقه معدنکاری شده باید ارزیابی شوند، عبارتند از: بافت فیزیکی مواد باطله، ساختار و ساختمان ملکولی مانند چسبندگی و قابلیت خرد شدن و بالاخره میزان دسترسی به آب. دانش کافی در این زمینه و داشتن اطلاعات دقیق در خصوص خواص فیزیکی سنگ‌های باطله، ثابت سازی خاک منطقه را امکان‌پذیر می‌سازد.

خواص شیمیایی سنگ‌های باطله نیز ممکن است در نوع و روش بازسازی منطقه معدنکاری شده و میزان تأثیر و موفقیت عملیات بازسازی اثر قابل توجهی داشته باشد. دانش کافی دربارهٔ میزان اسیدی یا بازی بودن مواد باطله، وجود فلزها و نمک‌های سمی در آن و بسیاری موارد دیگر موجب می‌شود که روش بازسازی مناسب، با توجه به این خواص انتخاب شود. به عنوان مثال اگر روش گیاه‌کاری برای بازسازی انتخاب شود، هر یک از خواص یاد شده، بر انتخاب گیاه و نوع کاشت و حفظ آنها تاثیر بسزایی دارد. فعل و انفعالات شیمیایی که در آینده ممکن است انجام شود، میزان موفقیت عملیات ثابت‌سازی را نیز ممکن است به خطر بیندازد. همچنین از نظر بیولوژیکی، خواص مواد باطله و خاک‌های باقیمانده در معدن، می‌توانند بر انتخاب روش بازسازی و تخمین میزان موفقیت آن مؤثر باشد. به عنوان مثال خاکها و باطله‌هایی که فاقد میکروارگانیزم خاکی هستند و در آنها واکنشهای فاسد شدگی و تجزیه مواد آلی انجام نشده، برای رشد گیاهان مناسب نیستند، زیرا گیاهان مختلف، به مقادیر متفاوتی از مواد آلی در خاک نیازمندند.

### ۳-۲- روشهای انباشت باطله

متداولترین روش انباشت باطله‌ها در معادن، جمع‌آوری بر سطح زمین یا درون حوضچه‌های مخصوص این کار است. اما روشهای دیگری مانند پر عیارسازی معادن زیر زمینی و تخلیه مواد باطله در دریاچه، رودخانه‌ها و دریاها


www.SID.ir

Archive of SID

نیز در برخی موارد، استفاده قرار می‌گیرند [۷].

اصولاً اگر امکان پر عیارسازی معدن وجود داشته باشد و این کار در مقایسه با روشهای دیگر بازسازی محیط زیست، مقرون به صرفه نیز باشد، در بسیاری موارد از بالاترین میزان موفقیت در حفظ محیط زیست برخوردار است. باطله‌های معدنی اگر از نظر دانه‌بندی و بعضی خواص فیزیکی دیگر مناسب باشند، مواد پرکننده مناسبی بوده و از بروز پدیده نشست و تخریب محیط زیست تا حد زیادی جلوگیری می‌کنند. بزرگترین عیب روش این است که میزان آلودگی آبهایی که از معدن عبور می‌کنند، افزایش می‌یابد یا خواص فیزیکی و شیمیایی آنها تغییر می‌کند.

تخلیه مواد باطله معادن در دریاچه‌ها، اگر چه امکان‌پذیر است اما به‌ندرت به کار می‌رود، زیرا مسائل آلودگی شدید محیط زیست مانند تجمع فلزهای سنگین و تخلیه اکسیژن آب را به همراه دارد[۷]. تخلیه در رودخانه نیز صدمات زیست محیطی اجتناب‌پذیری را برای حیات جانداران رودخانه به بار می‌آورد، اما در برخی معادن، تنها روش ممکن و یا اقتصادی برای دفع مواد باطله آنها می‌باشد. تخلیه مواد باطله در دریا معمولتر از استفاده از دریاچه و رودخانه است، زیرا آب دریا، باطله‌های اسیدی را خنثی می‌کند و لذا مواد باطله، به‌طور طبیعی و تدریجی رقیق می‌شوند. انباشت باطله‌ها در دریا، در مقایسه با سایر روشها از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه است.

روش دیگری که برای انباشت باطله‌ها وجود دارد، ساخت حوضچه‌های مخصوص برای انباشت باطله‌ها است. در بسیاری موارد، استفاده از این حوضچه‌ها تنها راه عملی برای انباشت باطله‌های معدن است. در این روش، سطح زیاد حوضچه، اکسیداسیون و تغییر مواد را سرعت می‌بخشد.

## ۳-۳- روشهای بازسازی

روشهای مختلفی برای تثبیت مواد باطله انباشت شده و به دنبال آن بازسازی محیط زیست وجود دارد که مهمترین آنها تثبیت فیزیکی، تثبیت شیمیایی و گیاه‌کاری است.

تثبیت فیزیکی و شیمیایی، روشهایی موقت برای بازسازی باطله‌های معدنی به شمار می‌آیند و تنها روش تثبیت دائمی این مواد، ایجاد فضای سبز بر روی آنها است.

### ۳-۳-۱- تثبیت فیزیکی

تثبیت فیزیکی عبارت است از پوشاندن سطح باطله‌ها به وسیله موادی که از فرسایش آنها توسط باد یا آب جلوگیری کند یا آنرا به حداقل برساند. یکی از روشهای تثبیت فیزیکی، پوشاندن باطله‌ها با لایه‌ای از آب است. این کار در مناطق کم آب و نیز بر روی سدهای باطله شیبدار، مقرون به صرفه نیست. روش دیگر، استفاده از خاک و سنگ موجود در محل است که دو مزیت مهم دارد: اول اینکه هزینه تثبیت به حداقل می‌رسد و دوم آنکه زیرسازی مناسبی برای گیاه‌کاری بعدی به وجود می‌آید.

### ۳-۳-۲- تثبیت شیمیایی

تثبیت شیمیایی، شامل استفاده از موادی شیمیایی است که با سطح فوقانی لایه باطله واکنش شیمیایی ایجاد کرده و در نتیجه این واکنش، پوسته‌ای نسبتا سخت بر سطح حوضچه به‌وجود می‌آید که از پراکنده شدن ذرات توسط باد یا آب جلوگیری می‌کند. بزرگترین برتری روشهای تثبیت شیمیایی، سرعت زیاد آن در تشکیل لای‌های سخت بر روی مواد باطله است. به همین منظور از اینگونه روشها در جاهایی که آب و هوا بسیار سرد یا بسیار گرم و کار کردن در آنها دشوار است، استفاده می‌شود. تثبیت شیمیایی برای باطله‌هایی که حاوی مواد بسیار سمی هستند نیز روش مناسبی است. در هر صورت روشهای تثبیت فیزیکی و شیمیایی، عمر مفید معینی دارند و با گذشت زمان معمولا از درجهٔ تأثیر آنها کاسته می‌شود و بنابراین در بسیاری از موارد نمی‌توان از آنها به عنوان روشهایی بلند مدت و قابل اعتماد استفاده کرد [۸]. در


www.SID.ir

Archive of SID

بهترین شرایط در هر یک از این روشها، بازدیدهای بعدی از محل اجرای عملیات تثبیت، انجام آزمایش و حتی بازسازی و تعمیر محلهای ضعیف شده ضروری است.

### ۳-۳-۳- گیاه‌کاری

مؤثرترین و بلند مدت‌ترین روش بازسازی، گیاه‌کاری بر روی باطله‌های معدنی است. برای گیاه کاری موفق، باطله‌های معدن باید فاقد هرگونه مواد سمی باشند و نیز مخلوط مواد در داخل آنها طوری باشد که ریشه گیاهان بتواند به آسانی به درون آن نفوذ کند. همچنین خاک موجود باید طوری باشد که گیاه از نظر مواد غذایی دچار کمبود نشود و نیازی به استفاده از کودهای شیمیایی و غیره نباشد.

برای این منظور حتی‌الامکان باید از خاک و گیاهان بومی محل استفاده شود. لذا در آغاز باید پوشان سنگی که قبلاً از محل برداشته شده به آنجا بازگردانده شود و در محلهایی که سنگ معدن از آنجا استخراج شده ریخته شود.

## ٤- بررسی اقتصادی گیاه‌کاری بر روی باطله‌های معدنی

برای بررسی اقتصادی گیاه‌کاری بر روی باطله‌های معدنی، باید ابتدا هزینه انجام این کار و سپس درآمدهای حاصل از آن، تا جایی که قابل اندازه‌گیری است، محاسبه شود.

### ٤-۱- برآورد هزینه‌های جنگل کاری

#### ٤-۱-۱- هزینه آماده‌سازی

یکی از هزینه‌های اصلی گیاه‌کاری، هزینه بازگردان پوشان سنگ به محل اولیه آن است. زیرا برای برآورد هزینه‌های حقیقی باید قیمتهای ثابت در نظر گرفته شود و از آنجا که ارقام مختلف بر حسب سالهای گوناگونی منتشر شده، لذا باید از شاخص تورم زدایی مناسب استفاده شود. در اینجا سال ۱۳۸۲ به عنوان سال مبنا در نظر گرفته شده و کلیه هزینه‌ها با استفاده از شاخصهای مناسب بانک مرکزی به این سال برگردانده شده است. برای محاسبه هزینه بازگرداندن پوشان سنگ به محل اولیه آن، از آمار موجود در زمینهٔ هزینه باطله‌برداری در معادن کشور استفاده شده است. بر اساس آمار سازمان برنامه و بودجه، کل استخراج سنگ خام در سال ۱۳۸۲ حدود ۷۰ میلیون تن و میزان کل باطله‌برداری حدود ۵۳ میلیون تن بوده است [۹]. جدول ۱ میزان کل باطله‌برداری در کشور و هزینه آن را نشان می‌دهد.

**جدول ۱** میزان باطله‌برداری در معادن ایران و هزینه حمل آنها بر اساس سال پایه ۱۳۸۲ [۹]

| فعالیت | میزان باطله‌برداری (تن) | میزان حمل و بارگیری (هزار ریال) |
|---|---|---|
| استخراج زغال‌سنگ | ۱,۰٤٤,۰۰۰ | ۱,۳۹۰,۰۰۰ |
| استخراج سنگ‌های آهنی | ۸,۷۵۵,۰۰۰ | ۹۵۷,۰۰۰ |
| استخراج سنگ‌های فلزی غیر آهنی | ۲۵,۸۹۲,۰۰۰ | ۱۳,۹۸۲,۰۰۰ |
| استخراج شن و ماسه و غیره | ۱۵,۰٦۵,۰۰۰ | ۱٦,۵٦۲,۰۰۰ |
| استخراج نمک | ۱,۰۷۷,۰۰۰ | ۳٤,۰۰۰ |
| استخراج مواد شیمیایی معدنی | ٤۵۷,۰۰۰ | ۵۳٤,۰۰۰ |
| استخراج سایر مواد معدنی | ۱,۱۷۹,۰۰۰ | ٤٤۱,۰۰۰ |
| جمع | ۵۳,٤۱۹,۰۰۰ | ۳٤,۰۰۰,۰۰۰ |

بر اساس این آمار، هزینه کل بارگیری و حمل باطله های معدنی در کشور حدود ۳٤ میلیارد ریال بوده است. به عبارت دیگر، هزینه حمل و بارگیری هر تن باطله به طور متوسط ٦۳۷ ریال (با قیمت های سال ۱۳۸۲) است. اگر وزن مخصوص خاک ۱/٤ تن بر متر مکعب فرض شود و نیز عمق خاک مورد نیاز ۱/۵ متر باشد، هزینه بازگرداندن پوشان سنگ به محل جنگل کاری برای هر هکتار برابر است با:

$$۶۳۷ \times ۱/۵ \times ۱/۴ \times ۱۰,۰۰۰ = ۱۳,۰۰۰,۰۰۰$$

همچنین تخمین زده می‌شود که هزینه بازگرداندن باطله به محل اولیه آن و پخش کردن خاک به‌وسیله گریدر و گاهی بولدوزر ـ به طوری که برای گیاه‌کاری آماده شود ـ


www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۸۰٪ بیشتر از هزینه باطله‌برداری است. این امر بیشتر به این دلیل است که در باطله‌برداری، غالباً از شیب طبیعی استفاده شده و باطله‌ها از بالا به پایین ریخته می‌شوند و نیز برای انباشت باطله‌ها، نزدیکترین محل و بنابراین کمترین هزینه حمل مدنظر است؛ حال آنکه در بازگرداندن باطله‌ها به محل اولیه، از این صرفه‌جویی‌ها نمی‌توان استفاده کرد. بنابراین هزینه آماده‌سازی محل معدنکاری شده برای درخت‌کاری در مجموع برابر است با:

$$۱۳,۰۰۰,۰۰۰ \times ۱/۸ = ۲۴,۰۰۰,۰۰۰$$

### ٤-۱-۲- هزینه کاشت

پس از آماده سازی محیط کاشت ـ یعنی پوشاندن سطح باطله به وسیله پوشان سنگ اولیه ـ گیاه کاری را می توان انجام داد. بر اساس آمار ارائه شده از طرف سازمان مراتع و جنگلداری کشور، هزینه ایجاد فضای سبز در مناطق مختلف کشور با قیمتهای سال ۱۳۸۲ حدود ۱۳٦,۰۰۰,۰۰۰ ریال برای هر هکتار است [۱۰]. جزئیات این هزینه‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

**جدول ۲** هزینه جنگل کاری در نقاط مختلف ایران با قیمت های سال پایه ۱۳۸۲

| ریال بر هکتار | شمال کشور | غرب کشور | جنوب کشور |
|---|---|---|---|
| هزینه های کارگری | ٤,۱۸۰,۰۰۰ | ۳,۷۱٦,۰۰۰ | ۱,۰۳۹,۰۰۰ |
| هزینه تهیه طرح | ۲٦,۹۰۰ | ۲٦,۹۰۰ | ۲٦,۹۰۰ |
| هزینه مراقبت | ۱,٤۱۹,۰۰۰ | ۲,٤۷۲,۰۰۰ | ۱,۵۱۰,۰۰۰ |
| هزینه استهلاک وسایل | ۲۸,٦۰۰ | ۱٤,۰۰۰ | ۲۸,٦۰۰ |
| هزینه تولید نهال و احداث خزانه | ۱۲۹,۰۰۰,۰۰۰ | ۱۲۹,۰۰۰,۰۰۰ | ۱۲۹,۰۰۰,۰۰۰ |
| قلمه کاری | ۲,٦٦۰,۰۰۰ | ۲,٦٦۰,۰۰۰ | ۲,٦٦۰,۰۰۰ |
| جمع | ۱۳۷,۰۰۰,۵۰۰ | ۱۳۷,۸۰۰,۰۰۰ | ۱۳٤,۲۵۰,۰۰۰ |

### ٤-۱-۳- جمع هزینه‌های جنگل کاری

با توجه به عمق مورد نیاز خاک در محلی که جنگل‌کاری باید در آن انجام شود و آمار فوق، هزینه کل جنگل‌کاری را در محلهای استخراج شده می‌توان محاسبه کرد:

| | | |
|---|---|---|
| هزینه حمل باطله ها به محل اولیه | ۲٤,۰۰۰,۰۰۰ | ریال بر هکتار |
| هزینه جنگل کاری | ۱۳٦,۰۰۰,۰۰۰ | ریال بر هکتار |
| جمع هزینه احداث جنگل بر اساس قیمت های سال ۱۳۷۵ | ۱٦۰,۰۰۰,۰۰۰ | ریال بر هکتار |

## ٤-۲- برآورد در آمدهای حاصل از جنگل کاری

درآمدهای اصلی حاصل از جنگل‌کاری عبارتند از:

- فروش چوب جنگل
- فروبردن آب به درون زمین
- تصفیه هوا

### ٤-۲-۱- درآمدهای حاصل از چوب جنگل

بر اساس آمار سازمان مراتع و جنگلهای کشور، بیشتر درختان جنگل بعد از ۱۵ تا ۲۵ سال به درخت کامل تبدیل می‌شوند و می‌توان از آنها برای مصارف صنعتی و سوخت استفاده کرد [۱۰]. بنابراین عمر متوسط درخت کامل ۲۰ سال در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر قیمت هر مترمکعب چوب ـ بسته به کیفیت آن و پس از تورم زدایی و تبدیل آن به سال پایه بین ۲۱۵,۰۰۰ تا ۸۲٤,۰۰۰ ریال، است که در اینجا متوسط آنها یعنی ۵۲۰,۰۰۰ ریال به عنوان مبنای محاسبات در نظر گرفته می‌شود. درخت کامل بین ۰/٤ تا ۰/۸ متر مکعب حجم دارد [۱۰] و در اینجا حجم متوسط آن یعنی ۰/٦ متر مکعب مبنای محاسبات قرار می‌گیرد. همچنین بسته به نوع درخت، در هر هکتار از جنگل، بین ۹۰۰ تا ٤,۳۰۰ اصله درخت می‌توان کاشت که میانگین آنها یعنی ۲,٦۰۰ اصله درخت در نظر گرفته می شود؛ بنابراین:

حجم چوب درختان موجود در یک هکتار (مترمکعب) $۲,۶۰۰ \times ۰/۶ = ۱,۵۶۰$


www.SID.ir

Archive of SID

بدین‌وسیله قیمت چوب درختهای موجود در هر هکتار از جنگل محاسبه می‌شود. در اینجا هدف نهایی محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه جنگل کاری بر اساس قیمتهای سال ۱۳۸۲ است. لذا نرخ تورم برای کلیه هزینه‌ها و درآمدها در آینده، نسبتاً دراز مدت برابر با یکدیگر فرض می‌شود.

قیمت چوب درختهای

(ریال) ۸۱۰,۰۰۰,۰۰۰ = ۵۲۰,۰۰۰ × ۱,۵۶۰

موجود در یک هکتار جنگل

یعنی کل ارزش چوب درختان موجود در هر هکتار از جنگل با قیمتهای سال ۱۳۸۲ حدود ۸۱۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال است. در جنگل‌کاری و حفاظت از جنگلها، روش متداول این است که در هر سال یکی از هر ده درخت قطع می‌شود. بنابراین درآمد سالانه حاصل از تولید چوب در هر هکتار برابر است با:

ریال ۸۱,۰۰۰,۰۰۰ = ۰/۰۵ × ۸۱۰,۰۰۰,۰۰۰

### ٤-۲-۲- درآمد فرو بردن آب به درون زمین

یکی از مهمترین مزایای جنگلها این است که درختهای آن آبهای سطحی را به درون زمین فرو می‌برند و با این کار موجب افزایش سطح آبهای زیر زمینی و صرفه جویی در آب باران و برف می‌شوند. سازمان جنگلها و مراتع کشور تخمین می‌زند که در ایران سالیانه حدود ۵۰ میلیارد متر مکعب آب، به دلیل وجود ۱۲/٤ میلیون هکتار جنگل، به درون زمین فرو می‌رود و این موجب بالا آمدن سطح سفره‌های آبهای زیرزمینی می شود [۱۰]. از این آمار می‌توان نتیجه گرفت که هر هکتار جنگل موجب می‌شود که سالیانه ٤/۰۳۲ متر مکعب آب به‌جای تبخیر شدن، به درون زمین فرو رود. قیمت متوسط آب در ایران با توجه به آمار سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و ملاحظات محلی و بر اساس قیمتهای سال مبنا، تقریبا ۲,۰۰۰ریال برای هر متر مکعب تخمین زده می‌شود [۹]. بنابراین درآمد حاصل از نفوذ آب به درون زمین توسط درختان جنگل برابر می‌شود با:

ریال بر هکتار ۸,۰۰۰,۰۰۰ = ۲,۰۰۰ × ۴,۰۳۲

### ٤-۲-۳- درآمد حاصل از تصفیه آلاینده‌ها

یکی دیگر از مزایای مهم جنگلها، نقش آنها در سالم سازی هوا به‌وسیله تصفیه آن از انواع آلاینده‌ها است. تعداد این آلاینده‌ها آنقدر زیاد است که اندازه‌گیری ارزش مالی واقعی این کار را مشکل می‌سازد. بنابراین در اینجا فقط مهمترین آلاینده‌ها یعنی $SO_2$ و $CO_2$ در نظر گرفته می‌شوند. تصفیه هوا از این گازها به‌وسیله روشهای مصنوعی هزینه در بر دارد و هرگاه عمل تصفیه به وسیله درختان جنگل و به طور طبیعی انجام شود، صرفه جویی به عمل آمده معادل با کسب درآمد است. برطبق استانداردهای جهانی، هر هکتار جنگل سالیانه مقدار ۱,۲۰۰ کیلوگرم $NO_x$، مقدار ۱,۵۰۰ کیلوگرم $SO_2$ و ۱,٦۰۰ کیلوگرم $CO_2$ را از هوا جذب می کند [٤]؛ یعنی در حقیقت هوای اطراف خود را از این آلاینده‌ها تصفیه می‌سازد. بر اساس آمار موجود، هزینه تصفیه هوا از این آلاینده‌ها پس از تورم زدایی و تبدیل به قیمتهای سال مبنا، به ترتیب ۱۰۷,۰۰۰ ریال، ۱٤,۰۰۰ ریال و ۳۹,۰۰۰ است [۱۰]. نتیجه محاسبات انجام شده در این خصوص در جدول ۳ خلاصه شده است.

**جدول ۳** صرفه جویی در اثر تصفیه هوا از آلاینده ها در هر سال

| گاز | مقدار آلاینده (کیلوگرم) | هزینه هر کیلوگرم (ریال) | صرفه جویی (ریال بر هکتار) |
|---|---|---|---|
| NOX | ۱,۲۰۰ | ۱۰۷,۰۰۰ | ۱۲۸,۰۰۰,۰۰۰ |
| SO2 | ۱,۵۰۰ | ۱٤,۰۰۰ | ۲۱,۰۰۰,۰۰۰ |
| CO2 | ۱,٦۰۰ | ۳۹,۰۰۰ | ٦۲,۰۰۰,۰۰۰ |
| جمع | | | ۲۱۱,۰۰۰,۰۰۰ |

بنابراین هر هکتار جنگل موجب صرفه‌جویی در هزینه تصفیه هوا از آلاینده‌ها به میزان سالیانه ۲۱۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال در هر سال می‌شود.

### ٤-۲-٤- درآمدهای حاصل از چوب جنگل کاری

جمع درآمدهای سالیانه حاصل از جنگل‌کاری با استفاده از محاسبات فوق به صورت زیر خلاصه می‌شود. قابل ذکر


www.SID.ir

Archive of SID

است که این کسب درآمدها پس از گذشت بیست سال آغاز می‌شود و کلیه ارقام با استفاده از شاخصهای مناسب به سال مبنا یعنی ۱۳۸۲ تبدیل شده است.

ریال ۸۱,۰۰۰,۰۰۰ = در آمد حاصل از چوب جنگل
ریال ۸,۰۰۰,۰۰۰ = درآمد حاصل از فرو بردن آب به درون زمین
ریال ۲۱۱,۰۰۰,۰۰۰ = درآمد حاصل از تصفیه آلاینده‌ها
ریال ۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰ = جمع درآمد سالیانه حاصل از جنگل-کاری

بدیهی است که جنگل از همان سال اول مزایایی را برای سالم سازی محیط زیست اطراف خود دارد که جمع آنها در بیست سال اول، مبلغ قابل ملاحظه‌ای می‌شود. اما از این مزایا و مزایای اقتصادی فراوان دیگر، مانند ایجاد رونق و ازدیاد اشتغال و غیره معمولاً چشم‌پوشی می‌شود.

## ٤-٣- محاسبه ارزش فعلی خالص

هزینه هر هکتار جنگل‌کاری بر روی باطله‌های انباشته شده از معادن و درآمد حاصل از آن بدین طریق محاسبه شد. یعنی هرگاه جنگل‌کاری بر روی باطله‌های معدنی انجام شود در زمان حال (بر اساس قیمتهای سال مبنا) هر هکتار آن مبلغ ۱٦۰,۰۰۰,۰۰۰ریال هزینه خواهد داشت اما در نتیجه انجام این پروژه، جنگل احداث شده پس از بیست سال هر سال مبلغ ۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال درآمد خواهد داشت. برای به‌دست آوردن ارزش خالص فعلی، درآمدهای آینده باید به فعل یعنی به سال مبنا تبدیل شوند. حداقل عمر جنگل در اینجا ۳۰ سال و نرخ تنزیل ۱۲٪ فرض می‌شود. با استفاده از رابطه ۱ درآمدهای سی سال آینده به سال بیستم تبدیل می‌شوند:

رابطه ۱: $PV_{at} = a\ (PVIF_a$

که در آن:

PVat: جمع درآمد حاصل از جنگل در سالهای بیست و یکم تا سال پنجاهم است که به سال بیستم تبدیل شده.

a: درآمد سالیانه در سالهای بیست و یکم تا سال پنجاهم.

PVIFa: ضریب تنزیل مرکب قسطی برای ۳۰ سال و نرخ تنزیل ۱۲٪.

بنابراین:

ریال Pvat = ۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ( ۸/۰۵۵۲ ) = ۲,٤۰۰,۰۰۰,۰۰۰

اگر این مبلغ با همان نرخ تنزیل ۱۲٪ به زمان فعل یعنی سال شروع پروژه که معادل با سال مبنا در این مقاله است، برگردانده شود داریم:

PV = Pt (PVIF )

که در آن:

PV: ارزش فعلی درآمد حاصل از جنگل‌کاری (بر حسب سال مبنا)

Pt: ارزش درآمد معادل حاصل از جنگل‌کاری در سال بیستم

PVIF: ضریب تنزیل مرکب برای ۲۰ سال و ۱۲٪.

ریال PV =۲,٤۰۰,۰۰۰,۰۰۰ (۰/۱۰۳۷) = ۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰

بنابراین درآمد حاصل از جنگل کاری در زمان فعلی یعنی در سال پایه ۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال و سرمایه گذاری اولیه در همین زمان برابر ۱٦۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال است، بنابراین:

= ارزش خالص فعلی پروژه(NPV)

= ۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰ -۱٦۰,۰۰۰,۰۰۰

+۹۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال

## ٤-٤- محاسبه نرخ بازدهی داخلی

از محاسبات بالا معلوم می شود که نرخ بازده داخلی پروژه از ۱۲٪ بیشتر است. اکنون با نرخ تنزیل ۱٤٪ محاسبات تکرار می‌شود:

ریال Pvat = ۳۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ( ۷/۰۰۲۷ ) =۲,۱۰۱,۰۰۰,۰۰۰

ریال PV =۲,۱۰۱,۰۰۰,۰۰۰ (۰/۰۷۲۸) = ۱۵۳,۰۰۰, ۰۰۰

= ارزش خالص فعلی پروژه(NPV)

ریال= -۷,۰۰۰,۰۰۰ ۱٦۰,۰۰۰,۰۰۰ - ۱۵۳,۰۰۰,۰۰۰

بنابراین نرخ بازده داخلی(IRR) این پروژه کمی کمتر از ۱٤٪ یعنی تقریبا برابر ۱۳/۵٪ است.

## ۵- تحلیل اقتصادی

عدد به‌دست آمده برای ارزش خالص فعلی پروژه مثبت است، بنابراین پروژه جنگل‌کاری بر روی باطله‌های


www.SID.ir

Archive of SID

حاصل از فعالیتهای معدنکاری، پروژهای با توجیه اقتصادی محسوب می‌شود. بدیهی است که اگر عمر مفید جنگل از ۳۰ سال بیشتر فرض شود، ارزش خالص فعلی از این هم بیشتر خواهد شد.

همچنین از آنجا که در محاسبات، قیمتهای فعلی یعنی سال مبنا مورد نظر بوده، بنابراین نرخ تورم قیمتها صفر فرض شده است. این موجب می‌شود که نرخ تنزیل ۱۲٪ ـ که در اینجا مبنای محاسبات قرار گرفته ـ نرخ مناسب باشد. بدین معنا که اگر چه ممکن است نرخ بهره بازار یا متوسط نرخ بهره وام تجاری بانک‌ها در طی بیست سال آینده به مقدار قابل ملاحظه‌ای از ۱۲٪ بیشتر باشد، اما آن نرخ شامل نرخ تورم قیمتها نیز می‌شود. به بیان دیگر، می‌توان نرخ بهره یا نرخ تنزیل را در این محاسبات بالاتر از ۱۲٪ برای مثال ۲۰٪ یا حتی ۲۲٪ در نظر گرفت، اما در این حالت، به دلیل وجود تورم در قیمتها، درآمد حاصل از جنگل‌کاری، از بیست سال آینده به بعد را نیز باید با قیمتهای حقیقی آن زمان محاسبه کرد. بنابراین بازهم نتیجه همین به‌دست خواهد آمد که پروژه حاضر از نظر اقتصادی کاملا مقرون به‌صرفه است.

این مطلب با استفاده از نرخ بازدهی داخلی نیز قابل تفسیر است؛ زیرا نرخ بازدهی داخلی به دست آمده برابر ۱۳/۵ درصد، در حقیقت نرخ بازده داخلی خالص (بدون تورم) است. برای تبدیل آن به نرخ بازدهی داخلی روز به این ترتیب می‌توان تحلیل کرد که اگر در حال حاضر نرخ بهره حاصل از نقطه تلاقی نمودارهای سرمایه گذاری‌ها و پس‌اندازها در جامعه ـ یعنی نرخ بهره حقیقی در بازار سرمایه ـ برابر ۲۰٪ و در عین حال نرخ تورم قیمتها حدود ۱۳٪ باشد [۱۱] نتیجه می‌شود که نرخ حقیقی رشد پول (بدون در نظر گرفتن تورم قیمتها) برابر ۷٪ است. لذا برای تبدیل نرخ بهره بازده داخلی این پروژه از حالت غیر تورمی به حالت حقیقی و جاری، می توان مقدار ۱۳/۵٪ را با نرخ تورم فعلی جامعه یعنی ۱۳٪ جمع کرد که حاصل آن یعنی ۲۶/۵٪ ، نرخ جاری بازده داخلی پروژه می‌شود.

این روش محاسبه برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌های دراز مدت و بخصوص در زمانهایی که نرخ تورم قیمتها در جامعه متغیر باشد، مناسب‌تر است. با توجه به مشخصات پروژه (عمر پنجاه ساله) و نوسانی بودن اقتصاد ایران، به‌دست آوردن نرخ بازدهی داخلی غیر تورمی منطقی‌تر بنظر می‌رسد. پس از محاسبه این نرخ، به‌سادگی و با جمع کردن آن با نرخ تورم موجود در جامعه در هر زمان، می‌توان آن را به نرخ جاری بازدهی داخلی پروژه در آن زمان تبدیل کرد.

## ۶- نتیجه‌گیری

بحثهای ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد که در میان روشهای تثبیت فیزیکی و شیمیایی باطله‌های معدنی، از دیدگاه فنی، گیاه‌کاری مؤثرتر و در دراز مدت قابل اعتمادتر است. بررسی اقتصادی جنگل‌کاری نیز نشان داد که پروژه تبدیل محل انباشت باطله‌های معدنی به جنگل، مزیت اقتصادی مطلوبی دارد. چنین پروژهای با نرخ بازدهی داخلی ۲۶/۵٪ و نرخ بازدهی خالص (بدون تورم) داخلی ۱۳/۵٪ پروژهای کاملاً اقتصادی است. بعلاوه در این محاسبات، بسیاری مزایای دیگر داشتن جنگل در کشور ـ به‌جای حوضچه‌ها و تپه‌های باطله ـ در نظر گرفته نشده که این مزایا به سهم خود می‌توانند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در اقتصاد کشور اثر مثبت قابل ملاحظه‌ای بگذارند. تنها کاستی انجام چنین پروژه هایی، دراز مدت بودن آنها است که به همین دلیل نمی‌توان در شرایط فعلی ـ که میزان ریسک در اقتصاد جامعه بالا است ـ از بخش تجاری انتظار اجرای آنها را داشت؛ بنابراین فقط دولتها می‌توانند چنین پروژه‌هایی را اجرا کنند و از مزایای اقتصادی آنها نیز برخوردار شوند. این پروژه از بسیاری پروژه‌های بخش عمومی که در حال حاضر در حال اجرا هستند اقتصادی تر است.


www.SID.ir

Archive of SID

## ۷- منابع

[1] Skochinsky, A.; Komarrow; Enviromental Pollution and Control; Duke University; 1987.

[2] Vesilined. Aarne; Mine Waste Reclamation; 1990.

[3] Aughenbaugh, N.B.; Effects of Subsidence in Mining Engineering; 1986.

[4] Clausen, H.T.; Ecological Aspects of Air Pollution in Mines; 1983.

[5] Kemmar, F.: Chemical Treatment of Waste Water From Mining; 1979.

[6] Heins, R.W.; Potential Utilization of Mine Wastes; 1981.

[7] Dawn, C.G.; Enviromental Problems of Tailing Disposal: 1985.

[8] Shirts, M.; Stabilising Methods for Reclamation of Tailing: 1980.

[۹] نتایج آمارگیری از معادن در حال بهره‌برداری کشور، سازمان برنامه و بودجه؛ ۱۳۸۳.

[۱۰] بولتن آمار سازمان مراتع و جنگلهای کشور؛ ۱۳۸۳.

[۱۱] گزارش اقتصادی و ترازنامه، بانک مرکزی؛ ۱۳۸۳.


www.SID.ir