





دانشگاه صنعتی ارومیه
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه صنعتی ارومیه
دانشکده مهندسی معدن و مواد

عنوان

مدیریت باطله‌های روباز در حالت استخراج ترکیبی همزمان با زیرزمینی
بر اساس اهداف توسعه پایدار

نگارش

مجتبی شاهمرادی

استاد راهنما

دکتر عزالدین بخت‌آور

استاد مشاور

دکتر ارکان توپال

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی معدن گرایش استخراج

بهمن ۱۳۹۶



دانشگاه صنعتی اراک
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشکده فنی مهندسی
گروه مهندسی معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی معدن گرایش استخراج

عنوان:

مدیریت باطله های روباز در حالت استخراج ترکیبی هم زمان با زیرزمینی بر
اساس اهداف توسعه پایدار

پژوهشگر:

مجتبی شاهمرادی

پایان نامه به شماره ۳۰۵-۹۶-م در تاریخ ۹۶/۱۱/۲۸ توسط کمیته تخصصی و هیات داوران زیر مورد بررسی
قرار گرفت و با نمره ۱۹۷۵ و درجه بسیار خوب به تصویب رسید.

امضاء	مرتبۀ علمی	نام و نام خانوادگی	هیات داوران
	دانشیار	عزالدین بخت آور	استاد راهنما
	استاد	ارکال توپال	استاد مشاور
	دانشیار	رضا میکائیل	داور
	دانشیار	جعفر عبدالحی شریف	داور
	استادیار	راشد پور میرزایی	نماینده تحصیلات تکمیلی

اینجانب مجتبی شاهمرادی به شماره دانشجویی ۹۴۱۵۲۳۱۰۴ دانشجوی رشته مهندسی معدن گرایش استخراج مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی ارومیه بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است مطابق با مقررات و اصول متداول ارجاع و در فهرست منابع ذکر شده است. همچنین، این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم‌سطح یا بالاتر ارایه نشده است.

در صورت اثبات تخلف در هر زمان، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسوولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذیصلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسوولیتی در این خصوص نخواهد داشت. همچنین، در صورت تخلف، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی ارومیه است. هرگونه استفاده از نتایج علمی و عملی، واگذاری اطلاعات به دیگران یا چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از این پایان‌نامه بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی ارومیه ممنوع است.

لازم به ذکر است که نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.

نام و نام‌خانوادگی دانشجو: مجتبی شاهمرادی

امضا

به پاس عاطفه سرشار و کرمای امید بخش وجودشان، که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است،
به پاس قلب های بزرگشان، که فریادس است و سرکردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می کرلید،
و به پاس ایثار و محبت های بی دریغشان، که هرگز فروکش نمی کند،
این مجموعه را به مادر و برادر عزیزم تقدیم می کنم.

اولین چکه ناودان بلندیک احساس را، در قالب کلامی از جنس تنفس با نغمه‌های معصوم یاس، به روی حجم سپیدیک برگه می‌ریزم و آن را به لجه‌های همه‌ی پروانه صفت‌های این کیتی بی‌انتها به آستان نیلوفرهای دلهای زلال بدیه می‌کنم:

ای نردان پاک تو را پاس می‌گویم،

که به حکمت بی‌انتهایت مرایاری کردی،

و به رحمت نعمت‌هایت را بر من تمام کردی،

خانواده‌ای خوب به من عطا کردی که در هر حال پشتیبانی ام‌کنند و استادانی سرراهم نهادی تا دانش و علمشان را بی‌ریا در

اختیارم بگذارند.

بر خود لازم می‌دانم از همه عزیزانی که در جست‌به سرانجام رساندن این رساله مرایاری نمودند، قدردانی نمایم. مراتب

قدردانی و سپاس خود را از زحمات بی‌دریغ اساتید راهنمای بزرگوارم جناب آقایان دکتر غزالدین بخت‌آورد و دکتر ارکان

توپال ابراز می‌نمایم.

با آرزوی موفقیت برای تمام عزیزان

مجتبی شاهمرادی

بهمن ۱۳۹۶

چکیده

مدیریت باطله‌ها یکی از اهداف مهم توسعه پایدار طی عملیات معدن کاری است. به نحوی که با مدیریت بهینه باطله‌ها می‌توان اثرات منفی آنها را بر محیط‌زیست کمینه کرد. بنابراین در این تحقیق، هدف، مدیریت بهینه سنگ‌های باطله در معادن دارای پتانسیل استخراج ترکیبی همزمان روباز و زیرزمینی بوده است. در راستای مدیریت صحیح باطله‌ها در استخراج ترکیبی همزمان روباز و زیرزمینی بر بکارگیری سنگ‌های باطله بخش روباز به عنوان مواد پرکننده در بخش زیرزمینی تاکید شد. این مساله نیازمند ارائه یک برنامه‌ریزی صحیح است که بر اساس آن بتوان مکان دویل انتقال مواد به بخش زیرزمینی، میزان مواد ارسالی از طریق دویل، تعداد و مکان انباشتگاه‌ها و میزان مواد باطله ارسالی به هر انباشتگاه را تعیین کرد. بدین منظور، نخست، روش چندکارگانه باز به همراه پرکردن به عنوان اجرایی‌ترین روش استخراج زیرزمینی در حالت ترکیبی همزمان با ادغام روش‌های نقشه‌شناختی فازی و تئوری خاکستری برای معدن انگوران تعیین شد. سپس، مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه قطعی و تصادفی در دو حالت برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی توافقی محدودیت شانس و برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی میانگین-واریانس برای مدیریت باطله بخش روباز توسعه داده شد. پیشینه‌سازی مواد ارسالی از معدن به بخش زیرزمینی، کمینه‌سازی هزینه‌های تامین مواد پرکننده، کمینه‌سازی هزینه‌های انتقال و انباشت باطله و هزینه‌های بستن و بازسازی انباشتگاه‌های باطله از جمله اهداف این مدل‌ها بودند. پس از توسعه و حل مدل‌ها در محیط نرم‌افزار GAMS نتایج حاکی از انتخاب دویل ۱ به عنوان دویل انتقال مواد باطله به بخش زیرزمینی و انباشتگاه‌های باطله ۲، ۳ و ۴ بود. با تاکید بر اهداف توسعه پایدار، کمینه‌سازی هزینه‌های بستن و بازسازی و کمینه‌سازی هزینه‌های انتقال و انباشت باطله در اولویت برنامه‌ریزی مدل‌ها قرار گرفت. بنابراین، روند حل تمامی مدل‌ها بر ارسال سنگ‌های باطله تا زمان تامین کل مواد پرکننده مورد نیاز بخش زیرزمینی بوده است.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، مدیریت باطله، استخراج ترکیبی همزمان روباز و زیرزمینی، برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی، میانگین-واریانس، برنامه‌ریزی توافقی محدودیت شانس

چکیده ا

فصل اول - مقدمه	۱
۱-۱- تعریف مساله و ضرورت انجام تحقیق	۲
۱-۲- مروری بر پیشینه ادبیات تحقیق	۳
۱-۳- جنبه‌های نوآوری تحقیق	۷
۱-۴- اهداف تحقیق	۸
۱-۵- ساختار و سازمان‌دهی تحقیق	۸
فصل دوم- ادبیات نظری	۱۰
۲-۱- مقدمه	۱۱
۲-۲- معادن دارای پتانسیل استخراج ترکیبی	۱۱
۲-۳- اجرایی‌ترین ترکیب روباز و زیرزمینی	۱۳
۲-۳-۱- استخراج ترکیبی همزمان	۱۴
۲-۳-۲- استخراج ترکیبی غیرهمزمان	۱۴
۲-۴- توسعه پایدار	۱۵
۲-۵- انواع باطله‌های معدنی	۱۷
۲-۶- تاثیرات زیست‌محیطی باطله‌ها	۲۰
۲-۷- مدیریت باطله	۲۱
۲-۸- پرکردن معادن زیرزمینی	۲۳
فصل سوم- آشنایی با معدن سرب و روی انگوران	۲۶
۳-۱- مقدمه	۲۷
۳-۲- تاریخچه و معرفی معدن انگوران	۲۷
۳-۳- موقعیت جغرافیایی معدن انگوران	۲۸
۳-۴- وضعیت زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه	۲۹
۳-۴-۱- زمین‌شناسی عمومی	۲۹
۳-۴-۲- زمین‌شناسی اقتصادی	۳۰
۳-۴-۳- زمین‌شناسی ساختمانی	۳۱
۳-۵- کانی‌شناسی کانسار انگوران	۳۲
۳-۵-۱- بخش اکسیده	۳۲
۳-۵-۲- بخش سولفور	۳۲
۳-۶- ژنز کانسار	۳۲
۳-۷- سنگ‌شناسی کانسار	۳۳
۳-۸- مشخصات هندسی کانسار و پیت معدن	۳۴
۳-۹- عملیات استخراج	۳۶

۳۸	۳-۱۰- مشخصات و پارامترهای فنی معدن روباز.....
۴۱	فصل چهارم- انتخاب روش استخراج زیرزمینی ترکیبی همزمان با روباز
۴۲	۴-۱- مقدمه.....
۴۲	۴-۲- عوامل موثر بر انتخاب روش استخراج.....
۴۳	۴-۳- مروری بر شیوه‌های انتخاب روش استخراج.....
۴۳	۴-۳-۱- الگوهای کیفی.....
۴۴	۴-۳-۲- روش‌های امتیازدهی عددی.....
۴۴	۴-۳-۳- مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره.....
۴۵	۴-۴- روش و مواد مورد استفاده.....
۴۵	۴-۴-۱- نقشه‌شناختی فازی.....
۴۸	۴-۴-۲- تئوری خاکستری.....
۴۹	۴-۴-۳- اعداد خاکستری و روابط بین آنها.....
۵۱	۴-۴-۴- سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره خاکستری.....
۵۳	۴-۵- تعیین معیارهای موثر و گزینه‌های قابل کاربرد.....
۵۵	۴-۶- تعیین وزن معیارها توسط نقشه‌شناختی فازی.....
۵۷	۴-۷- انتخاب گزینه بهینه با استفاده از تئوری خاکستری.....
۵۹	۴-۸- بحث و نتیجه‌گیری.....
۶۱	فصل پنجم- ارایه مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه.....
۶۲	۵-۱- مقدمه.....
۶۲	۵-۲- تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه.....
۶۲	۵-۲-۱- مدل برنامه‌ریزی چندهدفه.....
۶۳	۵-۲-۲- روش‌های حل مسایل چندهدفه.....
۶۴	۵-۳- روش برنامه‌ریزی آرمانی (GP).....
۶۶	۵-۴- مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی.....
۶۷	۵-۴-۱- برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی میانگین- واریانس.....
۷۰	۵-۴-۲- برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی توافقی محدودیت شانس.....
۷۰	۵-۴-۲-۱- محدودیت‌های تصادفی.....
۷۱	۵-۴-۲-۲- اهداف تصادفی.....
۷۳	۵-۵- مدل‌سازی ریاضی مساله.....
۷۴	۵-۵-۱- بیان متغیرهای تصمیم و پارامترهای مدل.....
۷۵	۵-۵-۲- مدل برنامه‌ریزی چندهدفه قطعی مساله تحقیق.....
۷۷	۵-۵-۳- مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی میانگین- واریانس.....
۷۸	۵-۵-۴- مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی توافقی محدودیت شانس.....
۸۱	فصل ششم- حل مدل و تحلیل نتایج.....
۸۲	۶-۱- مقدمه.....

۶-۲-۶-۲	اطلاعات مورد نیاز برای حل مدل‌های توسعه یافته با توجه به مورد مطالعاتی.....	۸۲
۶-۲-۶-۱	تعیین آرمان‌های مدنظر تحقیق.....	۸۲
۶-۲-۶-۲	تعیین وزن آرمان‌ها با استفاده از نقشه‌شناختی فازی.....	۸۳
۶-۲-۶-۳	تعیین ضرایب اِرو، حداکثر مقدار و سطح آستانه برای هر آرمان.....	۸۴
۶-۲-۶-۴	تعیین گزینه‌های مناسب در راستای انتخاب دویل انتقال و انباشتگاه‌های باطله.....	۸۵
۶-۲-۶-۵	محاسبه میانگین و واریانس فاصله‌ها برای هر یک از گزینه‌ها.....	۸۷
۶-۲-۶-۶	سایر پارامترهای مورد نیاز برای حل مدل‌های پیشنهادی.....	۸۷
۶-۳-۶-۳	توسعه مدل‌های پیشنهادی برای معدن سرب و روی انگوران.....	۸۹
۶-۳-۶-۱	توسعه مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی میانگین-واریانس.....	۸۹
۶-۳-۶-۲	توسعه مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی توافقی محدودیت شانس.....	۹۰
۶-۴-۶-۴	حل مدل‌های پیشنهادی با توجه به اطلاعات مورد مطالعاتی.....	۹۲
۶-۵-۶-۵	تحلیل و بررسی نتایج.....	۹۳
۶-۷-۶-۷	فصل هفتم- جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و پیشنهادها.....	۹۷
۷-۱-۷-۱	جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....	۹۸
۷-۲-۷-۲	پیشنهادها.....	۹۹
۱۰۰-۱۰۰	فهرست منابع.....	۱۰۰
۱۰۷-۱۰۷	پیوست ۱.....	۱۰۷
۱۰۹-۱۰۹	پیوست ۲.....	۱۰۹
۱۱۵-۱۱۵	پیوست ۳.....	۱۱۵

شکل ۱-۲- ابعاد توسعه پایدار.....	۱۷
شکل ۲-۲- نمایش مقطعی از معادن روباز: (الف) معادن فلزی؛ (ب) معادن زغال.....	۱۹
شکل ۳-۲- فلوچارت ساده از عملیات فرآوری مواد معدنی.....	۱۹
شکل ۴-۲- فلوچارت ساده از عملیات (الف) پیرمتالورژی و (ب) هیدرومتالورژی.....	۲۰
شکل ۵-۲- نمونه‌ای از مدیریت باطله معادن.....	۲۲
شکل ۶-۲- سلسله مراتب مدیریت باطله.....	۲۳
شکل ۱-۳- نمایی از معدن روباز انگوران.....	۲۸
شکل ۲-۳- موقعیت جغرافیایی معدن انگوران.....	۲۹
شکل ۳-۳- مدل بلوکی کانسار سرب و روی انگوران.....	۳۵
شکل ۴-۳- تصویر ماهواره‌ای پیت معدن انگوران (Google Earth).....	۳۵
شکل ۵-۳- پلان پیت معدن انگوران.....	۳۶
شکل ۶-۳- نمایی از تونل‌های دسترسی معدن انگوران.....	۳۷
شکل ۷-۳- زون‌بندی محدوده پیت نهایی.....	۳۸
شکل ۸-۳- نمایی از پلان رمپ اصلی و دستک‌ها در ترازهای مختلف.....	۴۰
شکل ۱-۴- نمونه ساده از FCM.....	۴۶
شکل ۲-۴- مفهوم یک سیستم خاکستری.....	۴۸
شکل ۳-۴- مدل مفهومی نقشه‌شناختی فازی انتخاب روش استخراج زیرزمینی در حالت ترکیبی با روباز.....	۵۵
شکل ۴-۴- تغییرات مقدار هر مفهوم در شبیه‌سازی.....	۵۷
شکل ۱-۶- گزینه‌های مناسب برای دویل انتقال و انباشتگاه باطله.....	۸۵
شکل ۲-۶- گزینه‌های درنظر گرفته شده به عنوان دویل‌های انتقال مواد باطله (در مقطع).....	۸۵
شکل ۳-۶- موقعیت گزینه‌های مدنظر به عنوان دویل انتقال مواد از پیت نهایی معدن.....	۸۶
شکل ۴-۶- دویل و انباشتگاه‌های انتخاب شده.....	۹۲
شکل ۵-۶- میزان کاهش هزینه تامین مواد از داخل معدن.....	۹۶
شکل پ ۱-۱- خروجی نرم‌افزار GAMS برای آرمان اول (Z1).....	۱۰۷
شکل پ ۲-۱- خروجی نرم‌افزار GAMS برای آرمان دوم (Z2).....	۱۰۷
شکل پ ۳-۱- خروجی نرم‌افزار GAMS برای آرمان سوم (Z3).....	۱۰۸
شکل پ ۴-۱- خروجی نرم‌افزار GAMS برای آرمان چهارم (Z4).....	۱۰۸
شکل پ ۱-۲- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا دویل ۱.....	۱۱۰
شکل پ ۲-۲- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا دویل ۲.....	۱۱۰
شکل پ ۳-۲- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا دویل ۳.....	۱۱۱
شکل پ ۴-۲- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا دویل ۴.....	۱۱۱
شکل پ ۵-۲- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا دویل ۵.....	۱۱۲

- شکل پ ۲-۶- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا انباشتگاه باطله ۱..... ۱۱۲
- شکل پ ۲-۷- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا انباشتگاه باطله ۲..... ۱۱۳
- شکل پ ۲-۸- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا انباشتگاه باطله ۳..... ۱۱۳
- شکل پ ۲-۹- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا انباشتگاه باطله ۴..... ۱۱۴
- شکل پ ۲-۱۰- بخش‌های باطله درنظر گرفته شده تا انباشتگاه باطله ۵..... ۱۱۴
- شکل پ ۳-۱- خروجی نرم‌افزار GAMS برای مدل برنامه‌ریزی آرمانی قطعی (GP)..... ۱۱۵
- شکل پ ۳-۲- خروجی نرم‌افزار GAMS برای مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی ... ۱۱۶
- شکل پ ۳-۳- خروجی نرم‌افزار GAMS برای مدل برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی ... ۱۱۷

جدول ۱-۲ - تقسیم‌بندی روش‌های پرکردن.....	۲۵
جدول ۱-۳ - دسته بندی انواع سنگ‌ها و مشخصات آنها.....	۳۴
جدول ۲-۳ - میزان نسبت باطله‌برداری و استخراج ماده معدنی در سال‌های مختلف.....	۳۹
جدول ۳-۳ - مشخصات فنی مواد معدنی استخراجی به تفکیک افق‌های مختلف در معدن روباز.....	۴۰
جدول ۱-۴ - مقیاس ارزیابی گزینه‌ها.....	۵۲
جدول ۲-۴ - پارامترهای موثر بر انتخاب روش استخراج زیرزمینی در حالت ترکیبی همزمان با روباز.....	۵۴
جدول ۳-۴ - ماتریس اولیه و ماتریس وزنی انتخاب روش استخراج زیرزمینی ترکیبی با روباز.....	۵۶
جدول ۴-۴ - وزن‌های نهایی معیارها با استفاده از نقشه‌شناختی فازی.....	۵۶
جدول ۵-۴ - ماتریس تصمیم خاکستری انتخاب روش استخراج زیرزمینی در ...	۵۷
جدول ۶-۴ - ماتریس تصمیم خاکستری نرمالیزه وزن‌دار.....	۵۸
جدول ۷-۴ - رتبه‌بندی روش‌های استخراج زیرزمینی.....	۵۸
جدول ۱-۵ - انتخاب متغیر انحرافی.....	۶۵
جدول ۱-۶ - آرمان‌های اصلی.....	۸۲
جدول ۲-۶ - وزن هر یک از آرمان‌ها با استفاده از نقشه‌شناختی فازی.....	۸۴
جدول ۳-۶ - مقادیر ضرایب ارو، حاکثر مقدار و سطح اطمینان برای هر آرمان.....	۸۴
جدول ۴-۶ - اطلاعات میانگین و واریانس مربوط به فاصله باطله از گزینه‌ها.....	۸۷
جدول ۵-۶ - مابقی اطلاعات مورد نیاز برای حل مدل (هزینه و ظرفیت‌ها).....	۸۸
جدول ۶-۶ - نتایج بدست آمده از هر سه مدل.....	۹۲
جدول پ ۱-۲ - نمونه اطلاعات بدست آمده از نرم‌افزار Surpac.....	۱۰۹

فصل اول – مقدمه

۱-۱- تعریف مساله و ضرورت انجام تحقیق

معدنکاری، یکی از مهمترین بخش‌های اقتصادی در هر کشور است. سرمایه‌گذاری در این بخش، علاوه بر تاثیر مستقیم در رشد اقتصادی آن کشور، به طور غیرمستقیم، سایر زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی را نیز توسعه خواهد داد. کشور ایران نیز یکی از کشورهای غنی از مواد معدنی از لحاظ تنوع و میزان منابع و ذخایر فلزی و غیرفلزی است؛ بنابراین توجه به آینده معدنکاری کشور دارای اهمیت ویژه‌ای است. امروزه بسیاری از کشورهای در حال رشد به دنبال توسعه پایدار هستند. توسعه پایدار، توسعه‌ای است که نیازهای نسل فعلی را بدون آنکه حق و توان نسل آتی را در برآوردن نیازهایشان از محیط‌زیست و منابع طبیعی به مخاطره اندازد، برآورده سازد [۱]. در معدنکاری روباز نیز که باعث تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی می‌شود، توجه به اهداف توسعه پایدار باید مدنظر قرار گرفته شود. معدنکاری پایدار یکی از شاخه‌های توسعه پایدار در دنیا محسوب می‌شود. برای کمک به توسعه پایدار، معادن باید تاثیرات زیست‌محیطی را در طول عمر آن، از اکتشاف، استخراج، پالایش تا بازسازی به حداقل برسانند. مدیریت باطله یکی از اقداماتی است که می‌تواند از تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی جلوگیری به عمل آورد [۲].

بیشتر معادن موجود در کشور به صورت روباز استخراج می‌شوند که هر کدام باطله‌های فراوانی را تولید می‌کنند. همچنین بسیاری از مواد معدنی نزدیک به سطح کشور استخراج شده و این معادن در حال افزایش عمق هستند. با افزایش عمق این معادن، تولید باطله نیز افزایش می‌یابد که تاثیرات زیست‌محیطی نیز در قبال آن افزایش می‌یابد. مدیریت باطله بر اساس اهداف توسعه پایدار از اقدامات ضروری است که در این معادن باید انجام شود تا از تخریب محیط‌زیست جلوگیری به عمل آید.

بسیاری از این معادن دارای پتانسیل استخراج ترکیبی همزمان روباز و زیرزمینی هستند. در استخراج همزمان برای جلوگیری از تاثیرات بخش زیرزمینی بر روی روباز از روش‌های استخراج به همراه پرکردن باید بهره گرفت [۳]. برای مدیریت باطله بخش روباز بر اساس اهداف توسعه پایدار و دفع باطله‌ها می‌توان از این باطله‌ها در پرکردن کارگاه‌های بخش زیرزمینی استفاده کرد [۴]. استفاده از باطله‌های بخش روباز به عنوان مواد پرکننده، علاوه بر کاهش تاثیرات زیست‌محیطی آنها، به کاهش هزینه‌های انباشت باطله، کاهش هزینه‌های تامین مواد پرکننده از سایر نقاط کشور و همچنین ایجاد پایداری در بخش زیرزمینی منجر می‌شود.

تاکنون رویکرد مناسبی برای انتخاب روش استخراج زیرزمینی در حالت ترکیبی همزمان با روباز ارایه نشده است. بیشتر مطالعات انجام گرفته برای انتخاب روش استخراج زیرزمینی ترکیبی همزمان با روباز با رویکردهای موجود به نتیجه جامع و مناسبی نرسیده‌اند. همچنین در این مطالعات تاثیراتی که در استخراج همزمان روباز و زیرزمینی وجود دارد مدنظر گرفته نشده است. در این تحقیق، روش جدیدی برای انتخاب روش استخراج زیرزمینی در حالت ترکیبی همزمان با روباز ارایه شده است که در کنار درنظر گرفتن دیگر عوامل و عدم قطعیت‌ها، تاثیراتی که بخش روباز و زیرزمینی بر روی یکدیگر دارند نیز درنظر گرفته شده است.

از طرفی برای انتقال مواد باطله به بخش زیرزمینی به یک دویل نیاز است که تاکنون رویکردی برای انتخاب آن بر اساس اهداف توسعه پایدار ارایه نشده است. پس از انتخاب روش استخراج زیرزمینی مناسب و طراحی استخراج با روش انتخابی و اطلاعات بدست آمده از طراحی به انتخاب مکان این دویل پرداخته شده است. در انتخاب مکان این دویل اهداف توسعه پایدار مانند کاهش تاثیرات زیست‌محیطی و هزینه‌های آن درنظر گرفته شده است. پس به طور کلی، هدف از تدوین این پایان‌نامه انتخاب مکان انتقال مواد باطله از بخش روباز به بخش زیرزمینی و مکان انباشتگاه (تخلیه) باطله‌ها در استخراج ترکیبی همزمان بر اساس اهداف توسعه پایدار است؛ بنابراین در این تحقیق، بررسی خواص شیمیایی مواد باطله در انتقال از روباز به زیرزمینی و تاثیرات آن بر روی محیط اطراف مورد نظر نیست.

۲-۱- مروری بر پیشینه ادبیات تحقیق

تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه مدیریت باطله، روش‌های دفع باطله‌های معدنی و استفاده از باطله‌های معادن روباز در معادن زیرزمینی و انتخاب روش استخراج زیرزمینی غیرترکیبی انجام شده است. اما تاکنون مطالعه‌ای در مورد استفاده از این باطله‌ها و مدیریت آنها در استخراج ترکیبی همزمان روباز و زیرزمینی انجام نشده است. در زیر به برخی از این مطالعات اشاره شده است.

بیطرفان و عطایی در سال ۲۰۰۴ با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ای فازی اقدام به انتخاب روش استخراج زیرزمینی و مقایسه دو روش با یکدیگر پراختند. اولین رویکرد، روش تصمیم‌گیری چندشاخصه فازی که بیشتر بر روش یاگر تمرکز داشت، بوده و برای رویکرد دوم، روش تسلط فازی را به کار بردند [۵]. صمیمی‌نمین و همکاران در سال ۲۰۰۸ یک مدل جدید برای تعیین روش استخراج بر اساس تصمیم‌گیری فازی ارایه دادند. آنها ابتدا اقدام به بررسی مدل‌های پیشین و ضعف‌هایشان کردند و

سپس به شرح مفاهیم پایه رویکردها و انتخاب روش استخراج با استفاده از تاپسیس^۱ و فازی تاپسیس^۲ پرداختند [۶]. میکایل و همکاران در سال ۲۰۰۹ از ترکیب روش تحلیل سلسله مراتبی فازی^۳ و رویکرد تاپسیس برای انتخاب روش استخراج زیرزمینی بهینه استفاده کردند. برای وزن دهی معیارها از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی و برای رتبه بندی از رویکرد تاپسیس استفاده شده است [۷]. بوغدانوویچ و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۲ با ادغام روش تحلیل سلسله مراتبی و پرامیتی^۵ سعی کردند تا یک روش استخراج زیرزمینی را برای یک معدن خاص بر اساس معیارهایی که مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر انتخاب روش استخراج را پوشش می دهند انتخاب کنند. از روش تحلیل سلسله مراتبی برای تعیین وزن معیارها و از روش پرامیتی برای رتبه بندی نهایی و تحلیل حساسیت در تغییر وزن ها استفاده کردند [۸]. عطایی و همکاران در سال ۲۰۱۳ برای انتخاب روش استخراج بهینه، شبیه سازی مونت کارلو^۶ را توسعه دادند. روش پیشنهادی آنها بر ترکیب شبیه سازی مونت کارلو با تحلیل سلسله مراتبی استوار است. شبیه سازی مونت کارلو برای تعیین سطح اطمینان امتیازات بدست آمده هر گزینه از تحلیل سلسله مراتبی با توجه به واریانس نظر تصمیم گیرندگان استفاده شده است [۹]. همچنین دهقانی و همکاران در سال ۲۰۱۷ روش های تصمیم گیری خاکستری و TODIM را برای انتخاب روش استخراج در معدن سنگ آهن گل گهر به کار بردند و نتیجه بدست آمده را با روش های به کار رفته در کارهای تحقیقاتی پیشین مورد مقایسه قرار دادند [۱۰].

بخت آور در سال ۲۰۱۵ معادن با پتانسیل استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی را بررسی کرد. این معادن از نقطه نظر زمان استخراج به دو دسته همزمان و غیرهمزمان تقسیم می شوند. همچنین به روش های استخراج مناسب در حالت ترکیبی پرداخته شده است [۳]. لو و کای^۷ در سال ۲۰۱۲ به بررسی روش های دفع باطله های ایجاد شده در معدن پرداختند. برخی از مسایل مهم و چالش کلیدی در جهان معاصر کمبود منابع، جمعیت همیشه در حال رشد و آلودگی محیط زیست است. با توسعه صنعت معدنکاری و فعالیت های استخراجی، باطله های بیشتر و بیشتری تولید می شود که باعث تخریب محیط زیست و زیان های اکوسیستمی جبران ناپذیری می شود. سنگ باطله و پسماندهای کارخانه فرآوری بیشترین باطله جامد صنعتی هستند که در فرآیند معدنکاری تولید می شوند. استفاده جامع از باطله های

1- TOPSIS

2- Fuzzy TOPSIS

3- Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

4- Bogdanovic et al.

5- PROMETHEE

6- Monte Carlo simulation

7- Lu & Cai

معدنی برای جبران کمبود منابع و حفاظت از محیط‌زیست دارای مزایای اقتصادی و اجتماعی فراوانی است. به عنوان یکی از روش‌های دفع باطله می‌توان به روش پرکردن مناطق استخراجی در معادن زیرزمینی در انتقال از روباز به زیرزمینی اشاره کرد [۴].

گودوی و دیمیتروکوپولوس^۱ در سال ۲۰۰۴ یک رویکرد بهینه‌سازی جدید برای برنامه‌ریزی تولید بلندمدت بر اساس مدیریت باطله استخراجی و عدم قطعیت عیار کانسار را ارائه دادند. در این رویکرد، مدل اقتصادی و جزئیات معدن از جمله تجهیزات تولید و ادغام چندین نمایش از کانسار در نظر گرفته شده‌است. مدیریت باطله به طور قابل توجهی ارزش خالص فعلی پروژه را بهبود خواهد داد [۱۱]. بن‌آوا و عسکری‌نسب^۲ در سال ۲۰۱۱ یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط آرمانی^۳ را برای برنامه‌ریزی معادن ماسه‌های نفتی و مدیریت باطله توسعه دادند. برنامه‌ریزی استراتژیک معدن و مدیریت باطله یکی از جنبه‌های مهم عملیاتی استخراج سطحی است. در استخراج ماسه‌های نفتی، مواد معدنی به همراه باطله‌های فراوانی استخراج می‌شود که گرچه روش‌های بهینه‌سازی دقیق در برنامه‌ریزی معدن به کار برده شده است ولی کارهای بسیار کمی از نظر برنامه‌ریزی منابع ماسه‌های نفتی دارای سناریو مدیریت باطله انجام شده است [۱۲]. توپال و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴ به مدیریت سنگ باطله با استفاده از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط پرداخته‌اند. سنگ‌های باطله در معادن روباز در مناطقی با عنوان انباشتگاه باطله^۵ انباشت می‌شوند. آنها بزرگترین ساختارهای باقی‌مانده از معادن روباز هستند که می‌توانند سهم زیادی از هزینه‌های عملیات معدنکاری را به خود اختصاص دهند و برای بازسازی نیز هزینه‌بر باشند. طراحی مناسب و برنامه‌ریزی انباشت سنگ باطله و مسیرهای حمل می‌توانند به طور قابل توجهی هزینه‌ها را کاهش دهند و امکان شکست‌پذیری را به حداقل برسانند و از آسیب رسیدن به محیط‌زیست جلوگیری کنند. در این تحقیق، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای بهینه کردن جایگیری سنگ باطله برای حداقل کردن هزینه‌های حمل و پتانسیل آسیب به محیط‌زیست توسعه داده شد [۱۳]، [۱۴]. فو و همکاران^۶ در سال ۲۰۱۵ یک ابزار جدید را برای بهینه‌سازی مدیریت باطله معدن در شرایط اسیدسازی توسعه دادند. از سال ۱۹۶۰، تحقیقات قابل توجهی بر روی برنامه‌ریزی تولید کانسنگ در معادن روباز انجام شده است به طوریکه ارزش خالص فعلی پروژه را بتواند بیشینه کند.

1- Godoy & Dimitrakopoulos

2- Ben-Auwah & Askari-Nasab

3- Mixed integer goal programming

4- Topal et al.

5- Waste dump

6- Fu et al.

همچنین، چندین بسته نرم‌افزاری برای بدست آوردن این امر در دسترس است در حالی که این نرم‌افزارها بهینه‌سازی حرکت سنگ باطله و طراحی انباشتگاه باطله را در نظر نمی‌گیرند. این مقاله ابزاری برای بهینه‌سازی جایگیری سنگ باطله را توصیف می‌کند که هزینه‌های حمل را به حداقل می‌رساند در حالی که انباشتگاه سنگ باطله سازگار با محیط زیست را ایجاد کند. روش جاسازی شده در این ابزار بر اساس مدل‌سازی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط است [۱۵].

یانلی و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۰ تکنولوژی پرکردن معادن زیرزمینی را از جنبه دفع باطله‌ها در معادن زغال بررسی کردند. آنها فرآیند و مراحل استفاده از سنگ باطله معدنی را به عنوان مواد پرکننده زیرزمینی به نمایش گذاشتند [۱۶]. یاملو^۲ در سال ۲۰۰۱، عملیات پرکردن در معدن کایلی^۳ را بررسی کرد. در این معدن سه نوع پرکننده از جمله پرکننده سنگی سیمانته، پرکننده باطله معدنی نامتراکم و پرکننده خمیری سیمانته استفاده شده است. عملیات پرکردن در معدن کایلی چهار نقش اساسی را ایفا می‌کند که شامل پایدار کردن زمین برای اجازه دادن به استخراج کانسنگ مجاور، پرکردن فضای خالی برای ارایه نگهداری منطقی، به عنوان یک کف کاری برای طبقه بعدی کارگاه و دفع باطله‌ها است. هزینه‌های پرکردن در حدود ۱۵-۲۰ درصد کل هزینه‌های معدنکاری محاسبه شده است [۱۷]. عماد و همکاران^۴ در سال ۲۰۱۴ به بررسی عملیات پرکردن در استخراج از طبقات فرعی پرداختند. عملیات پرکردن یکی از حیاتی‌ترین وظایف در سیستم‌های استخراج از طبقات فرعی به همراه پرکردن تأخیری است. در این مقاله به توصیف خواص و مشخصات پرکننده هیدرولیکی و پرکننده سنگی سیمانته و پرکننده خمیری پرداخته شده و همچنین مزایا و معایب آنها بیان شده است [۱۸]. گوپتا و پاول^۵ در سال ۲۰۱۵، استفاده از باطله انباشت شده‌ی روباره معدن زغال به عنوان مواد پرکننده در معدن زیرزمینی را مورد بررسی قرار دادند. مواد مختلفی برای پرکردن در فضاهای خالی معادن زیرزمینی همچون شن و ماسه، خاکستر بادی، باطله‌های کارخانه فرآوری و سنگ باطله معدنی استفاده می‌شوند. انباشتگاه‌های روباره معدن زغال (باطله‌های معدن زغال) به دلیل کمیابی شن و ماسه رودخانه‌ای ممکن است جایگزین خوبی به جای آن باشد و عملیات استخراج پایدار را ارایه دهد. استفاده از باطله‌های معدنی به عنوان مواد پرکننده که جایگزین شن و ماسه شده است، تأثیرات منفی استخراج شن و ماسه بر روی اکوسیستم رودخانه‌ها و همچنین انباشت باطله‌ها در سطح زمین را کاهش می‌دهد [۱۹].

1- Yanli et al.

2- Yumlu

3- Çayeli mine

4- Emad et al.

5- Gupta & Paul

ششپری^۱ در سال ۲۰۱۵، به مرور روش‌های پرکردن معادن زیرزمینی با تاکید بر پرکننده خمیری سیمانته پرداخته است. کمیابی مواد معدنی اقتصادی نزدیک به سطح، عمق استخراج زیرزمینی را افزایش داده است. فاکتورهای ایمنی و محیط‌زیستی باعث شده است که شرکت‌های معدنی، برای عملیات پرکردن از باطله‌های معدنی به جای شن و ماسه استفاده کنند. پرکننده سنگی، پرکننده هیدرولیکی و پرکننده خمیری سیمانته، روش‌های اصلی رایجی هستند که مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد هر روش وابسته به اهداف ایمنی نظیر جلوگیری از ریزش معدن و نشست زمین و استخراج عمیق‌تر یا رها کردن معادن، تجهیزات و مواد در دسترس و همچنین فاکتورهای محیط‌زیستی است. پرکننده خمیری سیمانته به طور فزاینده‌ای در پرکردن معادن زیرزمینی به دلیل فاکتور ایمنی بهتر و کاهش تاثیرات محیط‌زیستی مواد باطله سمی استفاده می‌شود [۲۰]. جیانگ و همکاران^۲ در سال ۲۰۱۵ به بررسی و تحلیل مشخصات باطله‌های معدن زغال برای استفاده در استخراج به همراه پرکردن در چین به عنوان روشی برای دفع باطله‌ها پرداختند. مسایل زیست‌محیطی متعددی با دفع سطحی باطله‌های معدن زغال همراه است. در این مقاله به دنبال توصیف و ارزیابی مشخصات خواص باطله‌های معدن زغال به عنوان پتانسیل مواد پرکننده در عملیات استخراج به همراه پرکردن است. در روش استخراج به همراه پرکردن، پرکردن مناطق استخراج شده در پیوستگی با عملیات استخراج انجام می‌شود. علاوه بر دفع مؤثر باطله‌های معدن زغال، مزایای زیاد روش پرکردن شامل افزایش بازیابی منابع، بهبود کنترل زمین، کاهش نشت هوا و کاهش وقوع آتش‌سوزی در معدن زیرزمینی است [۲۱].

۳-۱- جنبه‌های نوآوری تحقیق

طراحی نقشه‌شناختی خاص انتخاب روش استخراج زیرزمینی در حالت ترکیبی همزمان با روباز به عنوان اولین نوآوری در این تحقیق محسوب می‌شود. همچنین مدل‌سازی ریاضی مدیریت باطله‌های روباز با هدف استفاده در کارگاه‌های استخراج زیرزمینی به عنوان مواد پرکننده و به ویژه با در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار از جمله نوآوری‌های دیگر این تحقیق است. در این مدل‌سازی به مکان‌یابی گالری انتقال مواد باطله از نزدیکی محدوده نهایی بخش روباز به کارگاه‌های زیرزمینی و مکان‌یابی انباشتگاه‌های باطله با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه با در نظر گرفتن اهداف توسعه پایدار همچون اثرات زیست‌محیطی باطله‌ها در کنار دیگر آرمان‌ها پرداخته شده است. به این منظور، دو مدل تصادفی چندهدفه بر اساس

1- Sheshpari

2- Jiang et al.

رویکردهای برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی میانگین- واریانس و برنامه‌ریزی تصادفی توافقی محدودیت شانس توسعه داده شده است. از طرفی، در این مدل‌ها استفاده از رویکرد نقشه‌شناختی فازی و طراحی مدل مفهومی خاص مساله مورد نظر برای تعیین وزن آرمان‌ها از دیگر نوآوری‌های این تحقیق است.

۴-۱- اهداف تحقیق

از اهدافی که در این تحقیق مدنظر است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- انتخاب روش استخراج زیرزمینی بهینه در حالت ترکیبی همزمان روباز و زیرزمینی با طراحی نقشه‌شناختی فازی خاص آن
- ارایه سیستم وزن‌دهی جدید و سیستم تصمیم‌گیری خاکستری چندمعیاره در انتخاب روش استخراج زیرزمینی
- ارایه مدل ریاضی مدیریت باطله‌های بخش روباز برای استفاده در کارگاه‌های زیرزمینی
- کاهش تأثیرات زیست‌محیطی باطله‌های معادن روباز و هزینه‌های مربوطه
- مدنظر قرار دادن اهداف توسعه پایدار
- مکان‌یابی موقعیت دویل انتقال سنگ‌های باطله از سطح زمین به کارگاه‌های زیرزمینی
- ایجاد پایداری در معادن زیرزمینی توسط پرکردن کارگاه‌ها با استفاده از باطله‌های بخش روباز
- انتخاب مکان انباشتگاه‌های باطله بر اساس اهداف توسعه پایدار

۵-۱- ساختار و سازمان‌دهی تحقیق

در این پایان‌نامه سعی شده است تا به صورت کامل در مورد مدیریت باطله، توسعه پایدار و استخراج ترکیبی همزمان روباز و زیرزمینی توضیح داده شود. این پایان‌نامه شامل هفت فصل است. در فصل اول مقدمه‌ای از تحقیق شامل تعریف مساله و ضرورت انجام تحقیق، مروری بر پیشینه تحقیق و اهداف تحقیق بیان شده است. در فصل دوم، کلیات استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی، پرکردن معادن زیرزمینی و مدیریت باطله‌ها بر اساس اهداف توسعه پایدار به تفصیل شرح داده شده است. با توجه به اینکه مطالعه موردی مورد نظر معدن سرب و روی انگوران است، توضیحات کاملی در رابطه با جزییات معدن در فصل سوم ارایه شده است. در فصل چهارم به انتخاب روش استخراج زیرزمینی در حالت ترکیبی همزمان با روباز با استفاده از ادغام روش نقشه‌شناختی فازی و تئوری خاکستری پرداخته شده است. برای مکان‌یابی موقعیت دویل انتقال سنگ باطله از سطح زمین به بخش زیرزمینی و همچنین

انتخاب مکان انباشتگاه باطله از برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه با توجه به اهداف توسعه پایدار همچون کاهش تاثیرات زیست‌محیطی، هزینه‌های مربوطه و کاهش هزینه‌های تامین مواد پرکننده از سایر نقاط استفاده شده است که در فصل پنجم این پایان‌نامه ارایه شده است. در فصل ششم، مدل ارایه شده در فصل قبلی حل و نتایج بدست آمده بررسی و تحلیل شده است. در نهایت، در فصل آخر جمع‌بندی، نتیجه‌گیری و ارایه پیشنهادات مهم در رابطه با این کانسار برای مطالعات بعدی ارایه شده است.

فصل دوم – ادبیات نظری

۱-۲- مقدمه

به طور کلی کانسارها به سه دسته اصلی از لحاظ استخراج تقسیم می‌شوند. دسته اول شامل کانسار با رخنمون یا نزدیک سطح زمین است که بیشتر مناسب برای استخراج فقط با استفاده از روش‌های استخراج سطحی هستند. دوم، ذخایر عمیقی است که از یک عمق زیاد آغاز می‌شود و به سمت پایین ادامه می‌یابد. این ذخایر بیشتر قابل اجرا برای استخراج توسط روش‌های زیرزمینی هستند. دسته سوم از کانسارها متعلق به آنهایی است که از سطح یا نزدیکی سطح آغاز می‌شوند و تا عمق خیلی زیادی ادامه می‌یابند. در این مورد، روش روباز یا زیرزمینی به صورت جداگانه قادر به استخراج کامل این نوع ذخایر نیستند؛ بنابراین، استخراج ترکیبی روباز با یک روش زیرزمینی باید استفاده شود [۲۲].

۲-۲- معادن دارای پتانسیل استخراج ترکیبی

بسیاری از معادن بزرگ روباز در سرتاسر جهان به محدوده نهایی خود رسیده‌اند یا طی سال‌های آینده خواهند رسید. همچنین، معادن بسیاری در حال برنامه‌ریزی برای تغییر از استخراج روباز به زیرزمینی به دلیل افزایش عمق استخراجی و ملاحظات زیست‌محیطی هستند. شناخته‌شده‌ترین معادن سرتاسر جهان با استفاده از استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی در کنار معادن ترکیبی ایران در زیر آمده است [۳]. [۲۳]، [۲۴]:

- معدن مس و مولیبدن چوکی کاماتا^۱ یکی از معادن بزرگ روباز واقع در شمال شیلی است. طرح کنونی معدن به این صورت است که عملیات روباز در سال ۲۰۱۳ در عمق ۱۱۰۰ متری متوقف شود و مابقی ذخیره باید توسط روش تخریب بلوکی استخراج شود.
- معدن مس و طلای گراسبرگ^۲ در اندونزی به عنوان یک معدن ترکیبی روباز و زیرزمینی شناخته شده است. تخریب بلوکی به عنوان اجرایی‌ترین روش زیرزمینی انتخاب شده است. استخراج توسط روش روباز در ۲۰۱۵ به پایان رسیده است.
- در معدن الماس دیاویک^۳، روش روباز مورد استفاده در سال ۲۰۱۲ به اتمام رسیده است و آن امروزه به صورت زیرزمینی استخراج می‌شود.

1- Chuquicamata Copper and molybdenum mine
 2- Grasberg copper-gold mine
 3- Diavik diamond mine

- معدن طلای کانوونابل^۱ در استرالیا دیگر معدن در این دسته است که انتقال به استخراج زیرزمینی در سال ۱۹۹۵ انجام شده است.
- معدن الماس منگ-یین^۲ واقع در چین شامل دو کانسار است که یکی از آنها دارای پتانسیل استخراج ترکیبی است. به منظور استخراج ذخیره، روش کند و آکند به عنوان یک روش زیرزمینی مناسب می‌تواند در نظر گرفته شود.
- در معدن طلا و مس ارنست هنری^۳ واقع در استرالیا، انتقال از روباز به استخراج کارگاه باز در عمق ۵۶۰ متری طراحی شده بود.
- دیگر معدنی که در کونگو واقع شده، معدن نقره و مس دیکولوشی^۴ است. در این معدن، استخراج روباز متوقف و تخریب در طبقات فرعی به عنوان مناسب‌ترین روش زیرزمینی در ۲۰۰۶ آغاز به کار کرده است.
- معدن پالابورا^۵ برای استفاده از ترکیب روباز و تخریب بلوکی طراحی شده است. عمق نهایی پیت در این مورد در ۸۰۰ متری است که در سال ۲۰۰۳ کامل شده است.
- کوآلانورث‌پایپ^۶ دارای پتانسیل زیادی برای استخراج کردن با استفاده از ترکیبی از روباز و تخریب در طبقات فرعی اصلاح شده است. در این معدن، استخراج با استفاده از روش زیرزمینی در سال ۲۰۰۲ آغاز شده است. این معدن در کانادا وقع شده است.
- معدن الماس آرژیل^۷ واقع در استرالیا یکی دیگر از معادنی است که به صورت ترکیب روباز و تخریب بلوکی استخراج می‌شود. استخراج توسط روباز در ۲۰۰۷ به دلیل ملاحظات اقتصادی به پایان رسیده و روش زیرزمینی آغاز شده است. استخراج توسط معدنکاری زیرزمینی تا ۲۰۱۸ ادامه خواهد یافت.
- معدن آهن کایرونا^۸ یکی از شناخته‌شده‌ترین مورد واقع شده در سوئد است. استخراج روباز به پایان رسیده و در سال ۱۹۶۰ به تخریب در طبقات فرعی تغییر داده شد زیرا هزینه‌های معدنکاری روباز افزایش یافته بود.

1- Kanowna Belle gold mine

2- Meng-Yin diamond mine

3- Ernest Henry gold-copper mine

4- Dikulushi silver and copper mine

5- Palabora mine

6- Coala north pipe

7- Argyle diamond mine

8- Kiruna iron ore mine

- معدن سرب و روی انگوران یکی از بزرگترین معادن است که ابتدا برای استخراج روباز طراحی شده بود. گرچه کانسار انگوران می‌تواند توسط روباز به طور مستقل استخراج شود ولی ترکیب با گزینه زیرزمینی به دلیل برخی اهداف پیش‌بینی نشده در نظر گرفته شد. این دلایل (۱) افزایش قیمت فروش روی، (۲) کانسار با عیار بیشتر در ترازهای پایین‌تر واقع شده است که نمی‌توانست با استفاده از روش روباز حتی تا ۲۰ سال آینده نیز استخراج شود.
- دیگر کانسار ایرانی که برای معدنکاری با استفاده از ترکیب روباز و زیرزمینی طراحی شده است کانسار مس چارگنید است. هدف اصلی برای استخراج ترکیبی، افزایش ظرفیت استخراج سالیانه بود.
- کانسار سرب و روی گوشفیل واقع در ایران برای استخراج با استفاده از ترکیب روباز و زیرزمینی (کند و آکند) طراحی شده است.
- کانسار مس چهل کوره دیگر مورد ترکیبی با استفاده از روباز و زیرزمینی است.
- کانسار آهن گل‌گهر آنوالی ۳ با شیب ۲۰ درجه دیگر ذخیره واقع در ایران است که برای معدنکاری توسط ترکیب روباز و زیرزمینی (نوع متفاوتی از اتاق و پایه) طراحی شده است.
- معدن آهن چاه‌گز واقع در ایران، یکی از معادنی است که برای استخراج از ترکیب روباز و تخریب بلوکی مورد بحث قرار گرفته است.

۳-۲- اجرای‌ترین ترکیب روباز و زیرزمینی

به‌طور کلی، استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی می‌تواند در حالت‌های همزمان و غیرهمزمان از نقطه نظر زمان استخراج استفاده شود. بر اساس تمایل جهانی، شکل غیرهمزمان به دلیل ارایه شرایط استفاده از روش‌های زیرزمینی تخریبی بزرگ مقیاس با تولید بالا و هزینه کم بیشتر قابل قبول است. در این شکل، توسط استفاده از روش‌های تخریبی همچون تخریب بلوکی / پهنه‌ای برخی ناپایداری‌ها ناشی از تخریب و نشست ایجاد می‌شود و به محدوده روباز انتقال می‌یابد. باید توجه داشت که سود بیشتر می‌تواند با استفاده از شکل غیرهمزمان از استخراج ترکیبی به دست آید. شکل همزمان استخراج ترکیبی غیرمعمول است، اما این شیوه استخراج در شرایط و اهداف خاص امکان‌پذیر است. برای نمونه، اگر کانسار در ابعاد و تناژ کوچک است، تنها روش‌های زیرزمینی کوچک مقیاس در کنار روباز از لحاظ تکنیکی و اقتصادی قابل اجرا است. در این مورد، به منظور ارایه یک جبهه کار ایمن در هر دو روباز و زیرزمینی و همچنین برای حداقل کردن تأثیرات متقابل بین روباز و زیرزمینی، روش‌های زیرزمینی کوچک مقیاس باید به همراه پرکردن و سیستم‌های نگهداری مصنوعی استفاده شوند [۲۲].

۱-۳-۲- استخراج ترکیبی همزمان

در شکل معمول استخراج ترکیبی روباز و زیرزمینی، کارگاه زیرزمینی دقیقاً در زیر محدوده روباز واقع شده است. بنابراین، اگر عملیات روباز و زیرزمینی به صورت همزمان برای استخراج کانسار استفاده شود، کار در بخش زیرزمینی باعث برخی ناپایداری‌ها در پله‌های روباز می‌شود. این مساله به توقف در عملیات معدنکاری بخش روباز منجر می‌شود. به منظور جلوگیری از این مساله در شکل همزمان، روش‌های زیرزمینی که به طور کامل سقف و دیواره‌های کارگاه را کنترل و نگهداری کنند باید استفاده شوند. شکل همزمان روباز و زیرزمینی برای رسیدن به اهداف زیر می‌تواند استفاده شود [۳]:

- برای تامین نیاز خوراک کارخانه فرآوری وقتی که استخراج کانسنگ با استفاده از روباز کاهش می‌یابد.
- برای تامین نیاز خوراک کارخانه فرآوری در مورد کانسارهای کوچک و استخراج نسبی‌اش با استفاده از روباز کوچک مقیاس.
- افزایش در قیمت فروش کانسنگ
- رخ دادن یک شکست غیرمنتظره در عملیات روباز، برای مثال، اتفاق افتادن ریزش و فروریزش در یکی از دیواره‌های پیت که باعث توقف تولید در آن دیواره پیت شود. این باعث کاهش در ظرفیت تولید روباز می‌شود.
- یافتن عیارهای بالای یک کانسار در ترازهای پایین‌تر.

۲-۳-۲- استخراج ترکیبی غیرهمزمان

در مقایسه با استخراج همزمان، شکل ترکیبی غیرهمزمان روباز و زیرزمینی در عمل به دلایل زیر مرجح‌تر است [۳]:

- روش‌های زیرزمینی با تولید بالا و هزینه معدنکاری کم همچون روش‌های تخریبی را می‌توان استفاده کرد.
- همه نوع روش استخراج زیرزمینی را می‌توان با روباز وابسته به ابعاد هندسی و شرایط کانسار استفاده کرد.
- روش زیرزمینی به همراه پرکردن که هزینه‌های معدنکاری زیادی را تحمیل می‌کند، مناسب برای استفاده نیستند.

باید توجه داشت که در شکل غیرهمزمان، منطقه تاثیر نشست و در نتیجه تاثیر زیست محیطی بسیار وسیع تر هستند زیرا روش های زیرزمینی بزرگ مقیاس همچون تخریب بلوکی مورد استفاده قرار می گیرند.

۴-۲- توسعه پایدار^۱

اولین کوشش ها در تبیین مفهوم توسعه پایدار ناشی از نگرانی های تعدادی از متفکران بود که می گفتند انسان در حال نابودی محیط زیست خود است؛ محیطی که از لحاظ تاریخی در آن به سر برده و از لحاظ بیولوژیکی به آن وابسته است. این اولین تحول در نگرش است که در اواخر دهه ۱۹۶۰ رخ داد و ویژگی آن بحث درباره کیفیت محیط زیست در برابر رشد اقتصادی و حاکمی از تغییر نگرش درباره الگوهای سنتی رشد اقتصادی بود. بر همین اساس هیاتی از کارشناسان توسعه و محیط زیست در ژوئن ۱۹۷۱ در کشور سوئیس مساله حمایت و بهبود محیط زیست را به عنوان نیازهای فوری کشورهای در حال توسعه مورد توجه قرار دادند. توصیه های این هیئت که معروف به توصیه اجلاس فونکس بود در یک سری از سمینارهای منطقه ای که به این نام برگزار شد، مورد بحث قرار گرفت [۲۵]. اما نقش اساسی در تبیین و توجه به توسعه پایدار به دو کنفرانس و یک کمیسیون مربوط می شود:

- کنفرانس محیط زیست استکهلم ۱۹۷۲: در این کنفرانس به این واقعیت تاکید شد که دو سوم جمعیت دنیا گرفتار فقر، بی سواد، سوء تغذیه و گرسنگی، نبود بهداشت و تخریب محیط زیست است و تا زمانی که این مسایل حل و فصل نشود، پیشرفتی در توسعه و بهبودی در وضع محیط زیست انسان حاصل نمی شود [۲۵].

- کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه^۲: این کمیسیون در سال ۱۹۸۷ با عنوان کمیسیون برانتلند^۳ از سازمان ملل خواست تا از کشورهای مختلف برای ایجاد یک سیستم همکاری و تلاش مشترک برای دستیابی به رفتار مناسب در کلیه سطوح و کسب منافع عمومی دعوت به عمل آورد. مهم ترین هدف این گردهمایی، همکاری جهانی و همکاری های دوجانبه و متقابل بین کشورهای مختلف در زمینه مسایل توسعه بود و با وجود اینکه در این گردهمایی تخریب گسسته محیط زیست گزارش

1- Sustainable development

2- World Commission on Environment and Development

3- Brundtland

شد، اما شرکت‌کنندگان خوش‌بینانه بر این باور بودند که به شرط متعهد شدن و هماهنگی جهانی، آینده‌ای مطمئن برای همگان امکان‌پذیر خواهد بود [۱].

- کنفرانس ریو ۱۹۹۲: مهم‌ترین نتیجه این اجلاس جمع‌بندی آن است که به عنوان دستور کار ۲۱ شناخته شد و بر اساس آن دولت‌ها موظف شدند چارچوب استراتژیکی خاصی را برگزینند که ترکیب اهداف توسعه‌ای و زیست‌محیطی را میسر سازد [۲۶].

اصطلاح توسعه پایدار به صورت وسیع بعد از گزارش کمیسیون برانتلند تحت عنوان آینده مشترک ما و اجلاس ریو ۱۹۹۲ مطرح شد. از آن موقع تاکنون افراد در این چالش هستند که توسعه پایدار در عمل به چه معنا است و چگونه می‌توان به آن دست یافت. بعضی هم اصطلاحات مشابهی مثل «توسعه پایدار از نظر اکولوژیکی»، «توسعه اخلاقی و پایدار»، «زندگی پایدار»، «رفاه پایدار» و «کشاورزی پایدار» را ارایه داده‌اند.

مفهوم توسعه پایدار ناظر بر این واقعیت انکارناپذیر است که ملاحظات مربوط به اکولوژی می‌تواند و باید در فعالیت‌های اقتصادی به کار گرفته شود. این ملاحظات شامل ایده‌های ایجاد محیطی منطقی است که در آن ادعای توسعه به منظور پیشبرد کیفیت همه جنبه‌های زندگی مورد چالش قرار می‌گیرد. توسعه پایدار دارای تعاریف متعددی است که بعضی از آنها عبارتند از:

- توسعه پایدار به معنای تلفیق اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی برای پیشینه‌سازی رفاه انسان فعلی بدون آسیب به توانایی نسل‌های آتی برای برآوردن نیازهایشان است [۲۷].

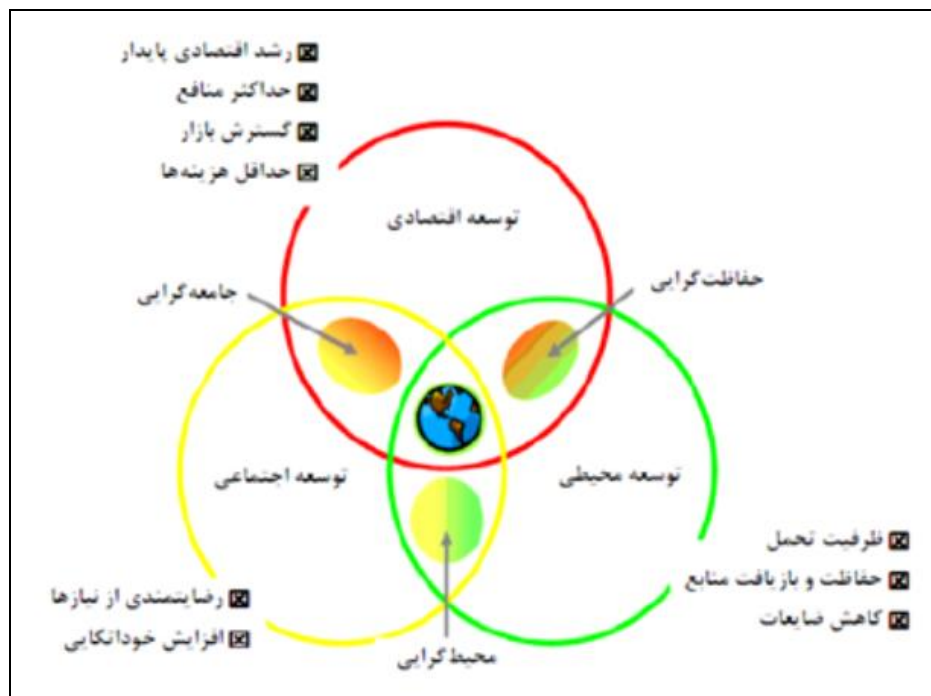
- کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه که برای اولین بار این اصطلاح را ارایه داد، توسعه پایدار را به عنوان توسعه‌ای تعریف کرد که نیازهای نسل فعلی را بدون ایجاد اشکال در توانایی نسل‌های آینده در برآوردن احتیاجات خود تامین کند [۱].

- متعادل ساختن نیاز به توسعه و رشد در مقابل نیاز به طبیعت و محیط‌زیست ضمن اینکه نیازهای نسل کنونی بدون در خطر قرار گرفتن نیازها و آرزوهای نسل‌های آینده، برآورده شود [۲۸].

- فعالیت‌های انسانی که زیان‌های همیشگی به محیط‌زیست وارد نسازد یا منابع مورد استفاده برای نسل‌های آینده را غارت نکند [۲۹].

- دستیابی به اهداف اقتصادی و اجتماعی، به گونه‌ای که در بلندمدت منابع نگهداری شوند، محیط‌زیست محافظت شود و تندرستی و رفاه انسان‌ها تضمین شود [۳۰].

در واقع توسعه پایدار را می‌توان سیستم تلفیق‌کننده اهداف اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست دانست. این تعریف کلی از توسعه پایدار در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲- ابعاد توسعه پایدار

۲-۵- انواع باطله‌های معدنی

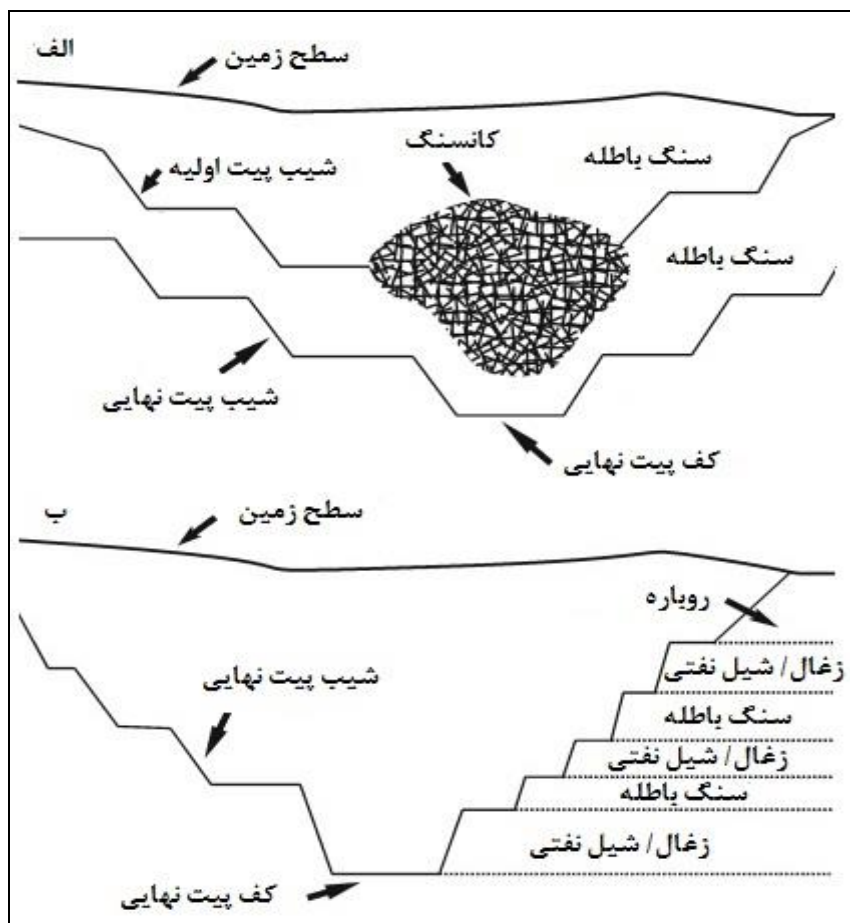
انواع مختلفی باطله جامد، مایع و گازی در طول فرآیندهای معدنکاری، فرآوری مواد معدنی و ذوب فلزات تولید می‌شود. هر کدام از این باطله‌ها از لحاظ فیزیکی و ترکیبات شیمیایی و با توجه به ماهیت آنها برای آلودگی محیط‌زیست دارای پتانسیل‌های مختلف هستند که هر کدام با توجه به ماهیت خود برای جلوگیری از آلوده کردن محیط‌زیست نیازمند استراتژی خاصی هستند. باطله‌های معدنی را می‌توان به صورت باطله‌های جامد معدنکاری، فرآوری و متالورژی و آب‌های معدنی طبقه‌بندی کرد [۳۱]:

- باطله‌های معدنکاری: باطله‌های معدنی موادی هستند که ترکیبات موادمعدنی در آن وجود ندارد یا در صورت وجود موادمعدنی در آنها، استخراج آنها غیراقتصادی است. باطله‌های معدنکاری شامل روباره و سنگ‌های باطله حفاری شده از عملیات سطحی و زیرزمینی است. سنگ باطله اساساً از مواد سنگی دیواره برای دسترسی به کانسار برداشت می‌شود. روباره معدنی شامل خاک و سنگی است که به منظور دسترسی به ماده معدنی و بازکردن معدن برداشت می‌شود و می‌تواند حاوی خاک مناسب

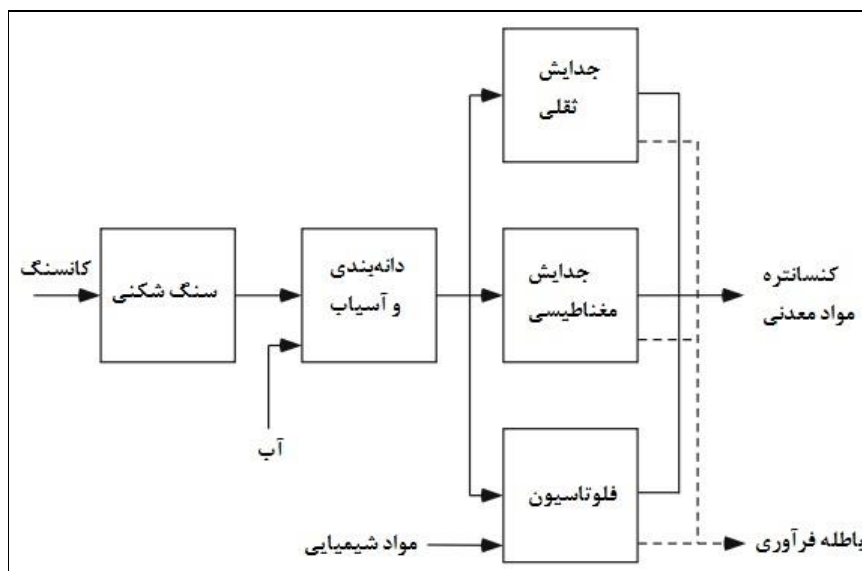
کشاورزی باشد. این مواد معمولاً در سطح زمین در معدن در جایی که مانع توسعه بیشتر عملیات معدنکاری نشوند، انباشت می‌شوند. روباره معمولاً دارای پتانسیل کمی برای آلودگی محیط‌زیست هستند و اغلب در سایت برای طراحی و بازسازی در طول بستن معدن استفاده می‌شوند. سنگ‌های باطله، موادی هستند که عیار کانی با ارزش در آنها پایین باشد و به عنوان سنگ باطله در جای مخصوص انباشت می‌شوند تا در صورت لزوم بر روی آنها فرآوری صورت گیرد (شکل ۲-۲).

- باطله‌های فرآوری: کانسنگ معمولاً در یک فرآیند فیزیکی و شیمیایی که اصلاح یا فرآوری مواد معدنی نامیده می‌شود قبل از ذوب و استخراج فلز، تغلیظ می‌شود (شکل ۲-۳). روش‌های فرآوری مواد معدنی شامل شستشوی ساده کانسنگ، جداسازی ثقلی، جداسازی مغناطیسی و الکتریکی و اضافه کردن مواد شیمیایی به کانسنگ خرد شده به منظور کمک به جداسازی مواد معدنی مورد نظر از گانگ در طول فلوتاسیون است. این روش‌های تغلیظ به تولید باطله‌های فرآوری منجر می‌شوند. باطله‌های فرآوری در اینجا به عنوان بخشی از سنگ‌های خرد شده، آسیاب شده، شسته شده و تغلیظ شده که دارای مواد معدنی بسیار کمی هستند تعریف می‌شوند. طبق این تعریف باطله‌های فرآوری شامل پسماندها، لجن‌ها و آب باطله است. تیلینگ‌ها به فرم دوغابی هستند که شامل برخی محتوای خطرناک همچون آرسنیک، باریت، کلسیت، سیانید، فلوریت، جیوه و پیریت است. تیلینگ‌ها در یک منطقه ذخیره‌سازی که سد باطله یا تالاب باطله نامیده می‌شوند ذخیره می‌شوند. این باطله‌ها برای موجودات، انسان‌ها و همچنین محیط‌زیست بسیار خطرناک هستند.

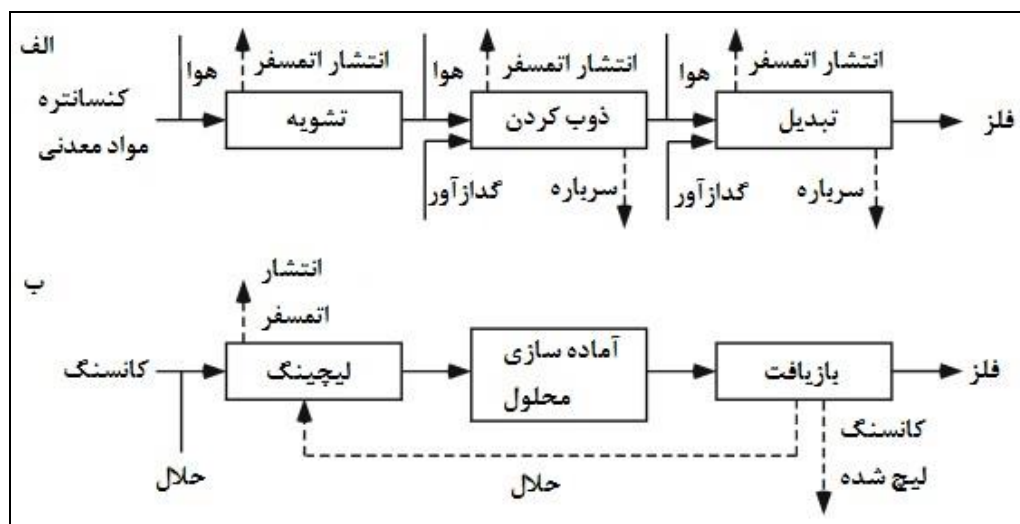
- باطله‌های متالورژی: فرآوری فلزات و کانسنگ‌های صنعتی یک محصول حد واسط (کنسانتره مواد معدنی) را تولید می‌کند که ورودی برای استخراج متالورژی (ذوب کردن) است. استخراج متالورژی تا حد زیادی بر اساس هیدرومتالورژی، پیرومتالورژی و به میزان کمی هم الکترومتالورژی است. هیدرومتالورژی شامل استفاده از حلال‌ها برای محلول کردن عنصر مورد علاقه است. در مقابل، پیرومتالورژی بر اساس شکست ساختار کریستالی مواد معدنی توسط گرما است در حالی که الکترومتالورژی از الکتریسیته استفاده می‌کند. این فرآیندهای متالورژیکی، پیوندهای شیمیایی عناصر را از بین می‌برند و در نتیجه به تولید باطله‌های مختلف از جمله انتشار اتمسفر، گرد و غبار دودکش، سرباره کوره ذوب، محصولات تشویه، آب باطله و کانسنگ فروشویی شده منجر می‌شود (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۲- نمایش مقطعی از معادن روباز: (الف) معادن فلزی؛ (ب) معادن زغال [۳۱]



شکل ۲-۳- فلوچارت ساده از عملیات فرآوری مواد معدنی [۳۱]



شکل ۲-۴- فلوچارت ساده از عملیات (الف) پیرمتالورژی و (ب) هیدرومتالورژی [۳۱]

- آب‌های معدنی: آب‌های معدنی به روش‌های مختلفی در معادن تولید می‌شوند و می‌تواند در کیفیت و پتانسیلش برای آلودگی محیط‌زیست متفاوت باشد. اصطلاح آب‌های معدنی جمعی است و شامل هرگونه آب در معدن از جمله آب‌های سطحی و زیرسطحی می‌شود.

۲-۶-تاثیرات زیست‌محیطی باطله‌ها

تاثیرات اصلی معدنکاری بر زمین می‌تواند قبل، در حین و بعد از عملیات رخ دهد و می‌تواند شامل موارد زیر باشد [۳۱]:

- پاکسازی گیاهان
- ساخت و ساز جاده‌های دسترسی
- سازمان‌ها
- خطوط نقشه‌برداری
- سایت‌های حفاری و مسیرهای اکتشافی
- ایجاد حفره‌های بزرگ
- توده‌های باطله
- سدهای باطله
- نشست سطح زمین

- استفاده بیش از حد از آب
- تخریب یا اختلال در زیستگاه‌های طبیعی یا سایت‌های دارای اهمیت فرهنگی
- انتشار گرما، رادیواکتیو و سر و صدا
- انتشار تصادفی یا عمدی آلاینده‌های جامد، مایع یا گازهای موجود به اکوسیستم‌های اطراف

۷-۲- مدیریت باطله

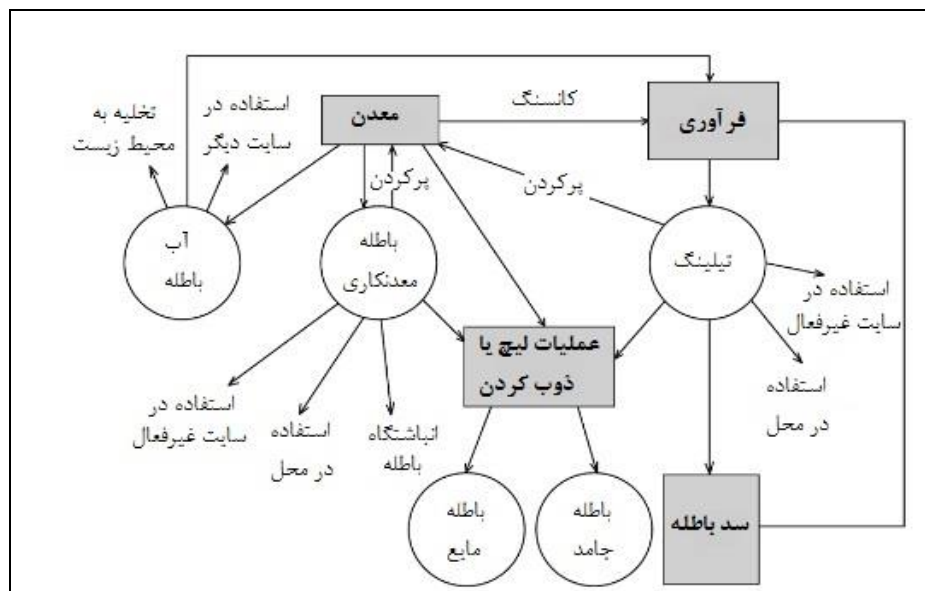
عملیات معدنکاری یک فعالیت مخرب با تاثیرات زیست‌محیطی بسیار زیاد است که در آن سالیانه میزان بسیار زیادی باطله در عملیات معدنکاری و فرآوری مواد معدنی تولید می‌شود. بنابراین، رویکرد معدنکاری پایدار فقط می‌تواند دارای اهدافی برای بهینه‌سازی استخراج فلزات از کانسنگ و نحوه دفع آنها باشد که به معنای افزایش مزایای مالی در ترکیبی با کمینه کردن تاثیرات زیست‌محیطی و همچنین کاهش هزینه‌های بازسازی است. تاریخچه معدنکاری نشان می‌دهد که موادی که در گذشته به عنوان باطله در نظر گرفته می‌شدند، امروزه می‌تواند یک منبع سودآور به دلیل بهبود تکنیک‌های استخراج و تغییرات در محیط اقتصادی باشد [۳۲].

باطله‌های معدنی برای اطمینان از پایداری بلند مدت تاسیسات ذخیره‌سازی و دفع و همچنین برای جلوگیری و حداقل کردن آلودگی هوا، آب و خاک به مدیریت دقیق نیاز دارند. مدیریت باطله یکی از اقداماتی است که در تحقق این امر می‌تواند سودمند باشد. مدیریت باطله، همه فعالیت‌ها و اقدامات لازم برای مدیریت کردن و درمان باطله‌های تولید شده از زمان آغاز تا دفع نهایی آن و همچنین ارایه راه کارهای مختلف برای بازیافت آنها است [۳۳]. در شکل ۲-۵، نمونه‌ای از فرآیندهای مدیریت باطله‌ها در معدن ارایه شده است.

مدیریت باطله دارای تعریف‌های دیگری نیز است که از آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۳۴]:

- ایجاد دیدگاه نسبت به برقرارسازی شیوه‌های مناسب در ساماندهی باطله در یک جامعه و تحلیل اثرات شیوه‌های اتخاذ شده بر بهداشت، محیط‌زیست و اقتصاد جامعه
- اتخاذ خط مشی‌ها و تکنیک‌های جدید به منظور کاهش یا بهینه‌سازی اثرات باطله‌ها
- به کارگیری اصول و قواعد مدیریت یکپارچه پسماند در امر ساماندهی ضایعات و پسماندهای تولید شده در یک جامعه

- کاربرد مجموعه‌ای از تکنیک‌های مناسب، فن‌آوری‌ها و برنامه‌های مدیریتی برای ساماندهی انواع پسماند از هر منشا ممکن در یک جامعه



شکل ۲-۵- نمونه‌ای از مدیریت باطله معادن [۳۳]

مدیریت باطله دارای سلسله مراتبی است که از زمان تولید باطله تا جمع‌آوری، انتقال، بی‌خطر سازی، دفع باطله و در صورت لزوم، نظارت و نگهداری امکانات نهایی باطله را شامل می‌شود. این سلسله مراتب به ترتیب اولویت به صورت زیر است (شکل ۲-۶) [۳۵]:

- اجتناب از تولید باطله^۱
- کاهش باطله^۲
- استفاده مجدد از باطله
- بازیافت باطله
- بازیابی باطله
- بی‌خطر سازی باطله^۳
- دفع باطله^۴

1- Avoid
2- Reduce
3- Treat
4- Dispose



شکل ۲-۶- سلسله مراتب مدیریت باطله [۳۶]

سنگ باطله و باطله فرآوری می‌توانند در پرکردن مناطق استخراج شده یک معدن در گذر از استخراج روباز به زیرزمینی نیز مورد استفاده قرار گیرند. پرکردن مناطق استخراج شده نه تنها ترمیم کننده محیط‌زیست و بهبود دهنده شرایط معدنکاری به طور قابل توجهی است بلکه یک ایده خوب از روش دفع مواد باطله جامد در نتیجه معادن است. پرکردن مناطق استخراج شده می‌تواند مقدار زمین استفاده شده و تاثیرات بر محیط‌زیست را کاهش دهد. با توسعه تکنولوژی پرکردن، بیشتر مواد باطله جامد صنعتی همچون پسماندها، سنگ باطله و سرباره کوره ذوب را می‌توان به عنوان مواد پرکننده استفاده کرد. در گذر معدن از روباز به زیرزمینی، خیلی مهم است که توجه زیادی به تکنولوژی پرکردن با هدف دفع مواد باطله جامد شود. به طور سنتی، وقتی که روش پرکردن در یک معدن استفاده می‌شود، سنگ باطله را می‌توان به عنوان مواد پرکننده خشک و پسماندها را به عنوان مواد پرکننده هیدرولیکی مورد استفاده قرار داد [۴].

۲-۸- پرکردن معادن زیرزمینی

پرکردن معدن شامل عملیاتی است که از موادی مانند سنگ باطله، قلوه سنگ‌ها، شن و ماسه یا باطله‌های کارخانه فرآوری برای پرکردن حفره‌های ایجاد شده توسط استخراج زیرزمینی استفاده می‌شود. استفاده از پرکننده منجر به دفع باطله‌ها می‌شود که به نوبه خود با کاهش اندازه‌های انباشتگاه و سد باطله مورد نیاز، به محیط‌زیست کمک می‌کند. بسته به روش استخراج مورد استفاده، پرکردن ممکن است یک سکوی کاری، یک دیوار کناری و یا یک سقف کاری را ارائه دهد [۳۷]. روش‌های پرکردن را می‌توان بر اساس موارد زیر تقسیم‌بندی کرد (جدول ۲-۱) [۳۸]:

- زمان اجرا
 - نوع انرژی مصرفی
 - نحوه جایگذاری و نوع مواد پرکننده
 - نحوه جایگذاری و ترکیب پرکننده
 - توزیع دانه‌بندی
 - نوع مواد مورد استفاده، فرآیند تهیه و حمل و آنها
- با توجه به انواع تقسیم‌بندی، سه نوع اصلی پرکردن به صورت زیر است [۳۷]:

- پرکردن هیدرولیکی
- پرکردن خشک
- پرکردن خمیری

استفاده از مواد پرکننده در معادن زیرزمینی به دلیل نیاز برای پرکردن کارگاه‌های باز افزایش یافته است. مواد پرکننده به عنوان مواد یا موادی که در فضاهای باز معادن زیرزمینی برای روش‌های معدنکاری خاص یا اهداف ایمنی استخراج مورد استفاده قرار گرفته است تعریف می‌شود. مواد پرکننده به منظور جلوگیری از آتش‌سوزی و انفجار، برای بهبود تهویه معدن، برای بهبود پایداری سنگ اطراف، برای کاهش نشست در سطح و همچنین برای عوامل اقتصادی و محیط زیستی نیز به کار برده می‌شود [۳۹].

در این تحقیق، پرکردن خمیری برای بخش زیرزمینی در نظر گرفته شد. این بدلیل، همزمانی استخراج روباز و زیرزمینی و نیاز به پرشدن کامل کارگاه‌های استخراج شده است. پرکننده خمیری^۱ نشان‌دهنده یک تنوعی از پرکردن هیدرولیکی است که از انواع باطله‌های استخراج استفاده می‌کند. مواد با استفاده از گمانه‌ها و سیستم‌های توزیع لوله‌کشی شده انتقال داده شده و جایگذاری می‌شوند و شامل بیش از ۸۰ الی ۸۵ درصد ماده جامد وزنی است. پرکننده خمیری به خوبی خصوصیات مقاومتی را در مقایسه با سایر انواع پرکننده توسعه می‌دهد و دارای محتوای مواد دانه‌ریز زیر ۴۵ میکرومتر است. از دیگر مزایای به کار بردن پرکردن خمیری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۳۷]:

- چرخه معدنکاری کوتاه‌تر به دلیل رسیدن زودتر به مقاومت فشاری بالا
- کاهش مصرف مواد چسباننده در مقایسه با مقاومت پرکردن دوغابی یکسان یا حتی بهتر

1- Paste fill

- استفاده از باطله‌های بیشتر، در نتیجه کاستن از دفع سطحی باطله‌ها

جدول ۱-۲- تقسیم‌بندی روش‌های پرکردن [۳۸]

مبنای تقسیم‌بندی	روش پرکردن	توضیحات
زمان اجرا	چرخه‌ای	عمدتاً در روش کند و آکندن به کار می‌رود
	تاخیری	عمدتاً در روش‌های استخراج کارگاه باز کاربرد دارد
نوع انرژی مصرفی	دستی	در معادن با ظرفیت تولید پایین کاربرد دارد
	ثقلی	در لایه‌هایی با شیب بیشتر از ۴۲ درجه کاربرد دارد
	مکانیکی	مناسب برای لایه‌های ضخیم و و افقی است
	پنوماتیکی	باید امکان تولید حجم زیادی از هوای فشرده وجود داشته باشد
	هیدرولیکی	مواد باید برای حمل و نقل در خط لوله به حد کافی دانه‌ریز باشند
	یکپارچه	روش اصلاح شده پرکردن
نحوه جایگذاری و نوع مواد پرکننده	متداول	- پرکردن خشک - پرکردن با هوای فشرده - پرکردن هیدرولیکی - پرکردن متراکم
	پرکردن ویژه	- پرکردن تبخیری - پرکردن انجمادی - پرکردن شبه‌سیمانی
نحوه جایگذاری و ترکیب پرکننده	با سنگ	بدون سیمان، با سیمان و تحکیم شده
	با ماسه	با سیمان و بدون سیمان
	با باطله	با سیمان و بدون سیمان
	مخلوط	
نوع مواد مورد استفاده، فرآیند تهیه و حمل آنها	خشک	با سیمان و بدون سیمان
	هیدرولیکی	با سیمان و بدون سیمان
	خمیری	
	دوغابی	
	سیمانی	
	انجمادی	با استفاده از منجمد کننده
	سایر موارد	(نظیر مواد پرکننده با خاصیت شبه سیمانی)

فصل سوم – آشنایی با معدن سرب و روی

انگوران

۱-۳- مقدمه

بر اساس آمارهای جهانی، ایران با بهره‌برداری از ده درصد از منابع فلز روی جهان، جایگاه چهارم را در بین کشورهای دارای منابع عظیم روی به خود اختصاص داده است [۴۰]. در حال حاضر، شش معدن سرب و روی و چهار معدن سرب فعال در ایران وجود دارد. از بین معادن فعال موجود، معدن سرب و روی انگوران با ذخیره‌ی قطعی ۲۲ میلیون تن بالاترین ذخیره را داراست [۴۱]، [۴۲].

۲-۳- تاریخچه و معرفی معدن انگوران

استخراج این معدن برای اولین بار در سال ۱۳۲۴ به روش زیرزمینی و به صورت غیراصولی آغاز شده است. استخراج به روش روباز این کانسار از سال ۱۳۵۲ آغاز شد و هم اکنون نیز به همین روش در حال بهره‌برداری است. در طی سال‌های بهره‌برداری و قبل از آن، فعالیت‌های اکتشافی زیادی بر روی کانسار انگوران و محدوده‌ی آن انجام شده است. فعالیت‌های اولیه‌ی معدنکاری در معدن انگوران، بدون انجام عملیات اکتشافی و بر روی رخنمون‌هایی از سرب که حاوی مقدار قابل توجهی نقره بوده، انجام شده است. پس از استخراج ذخایر سطحی و افزایش عمق معدنکاری، ضرورت انجام مطالعات اکتشافی احساس شد. طبیعتاً در آغاز امر، فعالیت‌های اکتشافی به صورت عملیات اکتشاف در حین استخراج بوده است؛ اما با واگذاری معدن به بخش خصوصی، فعالیت‌های اکتشافی حالت منظم‌تری به خود گرفته و با همین روال ادامه یافته است. عملیات اکتشافی در معدن انگوران در چندین مرحله انجام گرفته است. در خلال انجام فعالیت‌های اکتشافی در منطقه‌ی انگوران، مطالعاتی نیز به منظور مشخص شدن وضعیت کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و ژنز کانسار انگوران انجام شده است؛ اما متأسفانه با گذشت زمان، بسیاری از داده‌ها و گزارشات مذکور ناخواسته از بین رفته‌اند [۴۳].

معدن سرب و روی انگوران یکی از معادن بزرگ کشور و از پرمیاری‌ترین کانسارهای سرب و روی ایران و جهان است. این معدن از بزرگترین واحدهای تولیدکننده روی در ایران است. در حال حاضر ۷۸ کارخانه سرب و روی، خریدار مواد معدنی معدن انگوران هستند. بهره‌برداری به صورت روباز در حال انجام است و در آینده به صورت همزمان با استخراج زیرزمینی معدنکاری خواهد شد. در این معدن با توجه به توپوگرافی خشن منطقه برای انتقال بخشی از ماده معدنی به واحد تولید کنسانتره از سیستم نقاله هوایی^۱

1-Ropwey