جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

دستورالعمل طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی

ضابطه شماره ۷۷۹

سازمان برنامه و بودجه کشور

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت امور معدنی

http://minecriteria.mimt.gov.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره:	۹۸/۶۲۷۰۹۷
	تاریخ:	۱۳۹۸/۱۰/۳۰

موضوع: دستورالعمل طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی

در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، ماده(۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۷۷۹ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران با عنوان « **دستورالعمل طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی** » از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۹/۰۱/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

omoorepeyman.ir

ش ش: ۳۶۴۱۷۳۹

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه ی مهندسی کشور عرضه نموده است .با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir

۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.

۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.

۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.

۵- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.

۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی شاه – مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران.

Email:nezamfanni@mporg.ir web: nezamfanni.ir

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت ۳۳۴۹۷ه، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکید جدی قرار داده است و این امور بر اساس نظام فنی اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران، تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی از جنبه تامین ایمنی در زمان حفاری، ایجاد فضا در دوره بهره‌برداری و همچنین اقتصاد پروژه و قیمت تمام‌شده اهمیت دارد. طراحی با ضریب ایمنی نامناسب به هر دلیلی اعم از دقیق نبودن اطلاعات مربوط به خواص ژئومکانیکی یا نبود دانش فنی مناسب، به افزایش هزینه‌های احداث حفریات منجر می‌شود. طراحی بر اساس ضوابط فنی ژئومکانیکی، ایمنی و بهینه بودن عملیات را تضمین می‌کند. پس از آگاهی از ویژگی‌های ژئومکانیکی محیط دربرگیرنده حفریات، می‌توان آن‌ها را به گونه‌ای طراحی کرد که تا حد امکان خودپایدار باشند و در مواردی که نصب سیستم نگهداری مورد نیاز باشد، بتوان اقتصادی‌ترین و در عین حال ایمنی‌ترین سیستم نگهداری را انتخاب کرد.

ضابطه حاضر با عنوان **"دستورالعمل طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی"** در قالب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است.

با همه تلاش‌های انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که امید است، کاربرد عملی و در سطح وسیع این ضابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم آورد.

حمیدرضا عدل
معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی
زمستان ۱۳۹۸

omoorepeyman.ir

تهیه و کنترل «دستورالعمل طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی»

[نشریه شماره ۷۷۹]

مجری طرح

جعفر سرقینی	معاون امور معادن و صنایع معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

فرزانه آقارمضانعلی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع- سازمان برنامه و بودجه کشور
عباسعلی ایروانی	کارشناس ارشد مدیریت کارآفرینی (کسب و کار) - وزارت صنعت، معدن و تجارت
بهروز برنا	کارشناس مهندسی معدن- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
محمد پریزادی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- سازمان برنامه و بودجه کشور
عبدالعلی حقیقی	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
جعفر سرقینی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
علیرضا غیاثوند	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
هرمز ناصرنیا	کارشناس ارشد مهندسی معدن

اعضای کارگروه استخراج به ترتیب حروف الفبا

محمدفاروق حسینی	دکترای مهندسی معدن، مکانیک سنگ- دانشگاه تهران
هرمز ناصرنیا	کارشناس ارشد مهندسی معدن
کورش شهریار	دکترای مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
علی مرتضوی	دکترای مهندسی انفجار، مکانیک سنگ- دانشگاه صنعتی امیرکبیر

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

مهدی ایران‌نژاد	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
بهرام رضایی	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
علیرضا غیاثوند	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- وزارت صنعت، معدن و تجارت
حسن مدنی	کارشناس ارشد مهندسی معدن- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
بهزاد مهرابی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی- دانشگاه خوارزمی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی و اجرایی
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی و اجرایی
مهدیه اسکندری	کارشناس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی

پیش‌نویس این گزارش توسط آقای **دکتر حسین سالاری** تهیه شده و پس از بررسی و تایید توسط کارگروه استخراج، به تصویب شورای عالی برنامه رسیده است.

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول- داده‌های لازم برای طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی	**۱**
۱-۱- آشنایی	۳
۱-۲- عوامل زمین‌شناسی	۳
۱-۲-۱- چین‌خوردگی	۴
۱-۲-۲- لایه‌بندی	۴
۱-۲-۳- گسل	۵
۱-۲-۴- درزه‌ها	۶
۱-۲-۵- تورم زمین	۱۰
۱-۲-۶- مچاله‌شوندگی زمین	۱۲
۱-۲-۷- آب و کنترل آن	۱۳
۱-۳- عوامل مکانیکی	۱۴
۱-۳-۱- ویژگی‌های مکانیکی سنگ سالم	۱۴
۱-۳-۲- ویژگی‌های مکانیکی توده سنگ	۱۵
۱-۳-۳- داده‌های حاصل از ابزاربندی	۱۷
فصل دوم- روش‌های طراحی ژئومکانیکی حفریات زیرزمینی	**۱۹**
۲-۱- آشنایی	۲۱
۲-۲- روش‌های طراحی ژئومکانیکی	۲۱
۲-۳- روش‌های تجربی طراحی	۲۴
۲-۴- روش‌های مشاهده‌ای طراحی	۲۴
۲-۵- روش‌های تحلیلی طراحی	۲۵
فصل سوم- ملاحظات ژئومکانیکی طراحی حفریات معدنی با توجه به روش‌های استخراج	**۲۷**
۳-۱- آشنایی	۲۹
۳-۲- ضروریات انتخاب روش استخراج	۲۹
۳-۳- بازکننده‌های اصلی	۳۰
۳-۴- روش‌های استخراج بدون نگهداری	۳۰
۳-۴-۱- ملاحظات کلی	۳۰
۳-۴-۲- روش استخراج اتاق و پایه	۳۱
۳-۴-۳- روش استخراج کارگاه و پایه	۳۲
۳-۴-۴- روش انباره‌ای	۳۳
۳-۴-۵- روش استخراج از طبقات فرعی	۳۳
۳-۵- روش‌های استخراج با نگهداری	۳۴
۳-۵-۱- ملاحظات کلی	۳۴
۳-۵-۲- ملاحظات مربوط به طراحی در صورت پر کردن محل‌های استخراج شده	۳۴
۳-۵-۳- روش کند و آکند	۳۵

omoorepeyman.ir

۳-۵-۴- روش ستونی ۳۵
۳-۵-۵- روش کرسی‌چینی ۳۶
۳-۵-۶- روش استخراج جبهه‌کار بلند ۳۶
۳-۶- روش‌های استخراج تخریبی ۳۷
۳-۶-۱- ملاحظات کلی ۳۷
۳-۶-۲- روش تخریب در طبقات فرعی ۳۷
۳-۶-۳- روش تخریب توده‌ای ۳۸
پیوست **۴۱**

omoorepeyman.ir

فصل ۱

داده‌های لازم برای طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- آشنایی

داده‌های لازم برای طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی، به دو دسته داده‌های زمین‌شناسی و ژئومکانیکی تقسیم می‌شود. در جدول ۱-۱ تاثیر عوامل زمین‌شناسی در ملاحظات طراحی درج شده است.

در معدنکاری، تصمیم درباره مواردی مانند شکل، ابعاد، طول عمر و کاربری حفریه منحصر به شناسایی‌های مربوط به طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی نیست، بلکه نوع، موقعیت، تعداد، شکل و ابعاد حفریات اصلی به عواملی مانند عمق، شکل و ابعاد کانسار، توپوگرافی سطح زمین، شرایط ژئومکانیکی و زمین‌شناسی، روش استخراج، ماشین‌آلات در دسترس، طرح جابه‌جایی و انتقال مواد و در نهایت آهنگ تولید وابسته است. طول عمر و کاربری حفریات معدنی تابع مشخصات آن‌ها و روش استخراج است.

جدول ۱-۱- خلاصه‌ای از عوامل زمین‌شناسی تاثیرگذار بر ناپایداری حفریات زیرزمینی و ملاحظات طراحی مرتبط با آن‌ها

عامل	نوع تاثیر	ملاحظات طراحی
چین‌خوردگی	ایجاد ترک و بازشدگی درزه‌ها، رفتار پلاستیک‌گونه، ترک کششی، احتمال وجود آب و گاز	اجتناب از جانمایی تمام یا نقاط مهم حفریه (مانند دهانه تونل‌های اصلی باربری) در اینگونه زون‌ها، افزایش سیستم نگهداری
لایه‌بندی	تاثیر بر توزیع تنش‌ها، ریزش صفحات	در نظر گرفتن مهاری‌ها برای اتصال لایه‌ها
گسل	تاثیر بر توزیع تنش‌ها و ایجاد تغییر شکل در زون اطراف حفریه، هدایت آب به داخل حفریه	اجتناب از جانمایی تمام یا نقاط مهم حفریه (مانند دهانه‌های تونل‌های اصلی باربری) در اینگونه زون‌ها، افزایش سیستم نگهداری
درزه	کاهش مقاومت برشی، ریزش بلوکی، افزایش نفوذپذیری سنگ	طراحی حفریه با در نظر گرفتن جهت‌داری درزه‌ها، استفاده از مهاری‌ها برای اتصال بلوک‌ها
تورم زمین	افزایش فشار به سیستم نگهداری، تغییر ابعاد دهانه به ویژه در کف	تمهیدات لازم برای جلوگیری از نفوذ آب به داخل حفریه، انتخاب روش‌های حفاری مناسب و خاص، انتخاب شکل مناسب مقطع، توجه به نگهداری کف در تونل‌های اصلی معدن
مچاله‌شوندگی زمین	همگرایی دیواره حفریه، افزایش بیش از حد تغییر شکل برشی سنگ	انتخاب روش‌های حفاری مناسب، افزایش سیستم نگهداری
وجود آب	کاهش تنش موثر، کاهش پارامترهای مقاومتی سنگ	مهار و زهکشی آب، انتخاب سیستم نگهداری مناسب

۱-۲- عوامل زمین‌شناسی

عوامل زمین‌شناسی بر روی فعالیت‌های معدنی تاثیرات گسترده‌ای دارند و از جمله مهم‌ترین عوامل انتخاب روش استخراج است. در ادامه به برخی از این عوامل اشاره می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱-۲-۱- چین‌خوردگی

با توجه به اینکه در نواحی چین‌خورده تمرکز تنش و تمایل به گسترش درزه‌ها بیشتر است و علاوه بر آن میدان تنش‌های طبیعی به شکل موضعی در مجاورت این نواحی، با الگوی میدان تنش‌ها در کل منطقه متفاوت است، بنابراین توصیه می‌شود از جانمایی تمام یا نقاط مهم حفریه (مانند دهانه‌ها) در این مناطق تا حد امکان خودداری شود. هنگام طراحی حفریه در این نواحی باید توجه شود که رفتار سنگ‌های مقاوم در مقابل چین‌خوردگی بیشتر به صورت ایجاد ترک و بازشدگی درزه‌ها است در حالی که رفتار سنگ‌های نرم، بیشتر پلاستیک‌گونه است.

۱-۲-۲- لایه‌بندی

روش موثر برای تقویت سازه‌های زیرزمینی در سازندهای لایه‌ای که در آن‌ها انتظار خمش لایه‌ها و شکست وجود دارد، اتصال لایه‌ها به یکدیگر به وسیله میل‌مهارهای ترجیحا کوتاه است.

الف- لایه‌های شیب‌دار

در لایه‌های شیب‌دار برای بررسی وضعیت پایداری لایه‌ها در یک حفریه زیرزمینی، باید موارد زیر ملاک عمل قرار گیرند:

- اگر زاویه تنش مماسی در سطح لایه مساوی یا کمتر از زاویه اصطکاک بین لایه‌ها باشد، لایه‌ها در حالت پایدارند.
- اگر حفریه زیرزمینی لایه‌ها را طوری قطع کند که زاویه تنش مماسی بزرگتر از زاویه اصطکاک بین لایه‌ها باشد و نیز اگر چسبندگی بین لایه‌ها کافی نباشد، احتمال لغزش لایه‌ها وجود دارد.

توصیه می‌شود برای تشخیص لغزش لایه‌ها و یا خمش آن‌ها به صورت زیر عمل شود (شکل ۱-۱):

- لایه‌ها با توجه به جهت‌یافتگی در اطراف مقطع حفریه زیرزمینی رسم شوند.
- خطوط AA و BB با شیب φ_j (زاویه اصطکاک درزه‌ها)، نسبت به عمود بر لایه‌ها ترسیم شود.
- مماس‌های محیط حفریه، به موازات AA و BB رسم شود.
- دو ناحیه متقابل لغزش لایه‌ها که با این مماس‌ها محدود می‌شوند، مشخص شود. در این حالت شیب مماس بر سطح حفریه نسبت به عمود بر لایه‌ها در محدوده داخلی این نواحی، بیشتر از φ_j است.

برای نگهداری این نواحی، سیستم نگهداری قابل انعطافی پیشنهاد می‌شود که به صورت منفعل عمل کرده و وزن ناحیه ریزشی را تحمل می‌کند. از طرف دیگر باید با طراحی سیستم‌های نگهداری پیش‌تنیده، تنش مماسی بین لایه‌ها را افزایش و احتمال ریزش آن‌ها را کاهش داد.

ب- لایه‌های افقی

- در این حالت در صورت وجود فشار آب یا گاز در بالای لایه سقف و افزایش تنش کششی باید زهکشی یا رهاسازی فشار گاز انجام گیرد. برای طراحی حفره‌های زهکشی، باید اصل بر احداث آن‌ها در لایه طاق گذاشته شود تا از طریق آن‌ها فشاری که در پشت این لایه ایجاد می‌شود، تخلیه و آزاد شود.

omoorepeyman.ir

- ضریب لاغری[1] لایه طاق در تعیین پایداری لایه‌های طاق که به صورت ثقلی بارگذاری شده‌اند، نقش مهمی دارد. توصیه می‌شود با توجه به ضخامت لایه‌ها (معمولا ۳ تا ۴ متری)، از مهارهای کوتاه که موجب اتصال و یکپارچه کردن لایه‌های طاق به همدیگر می‌شود، استفاده شود.

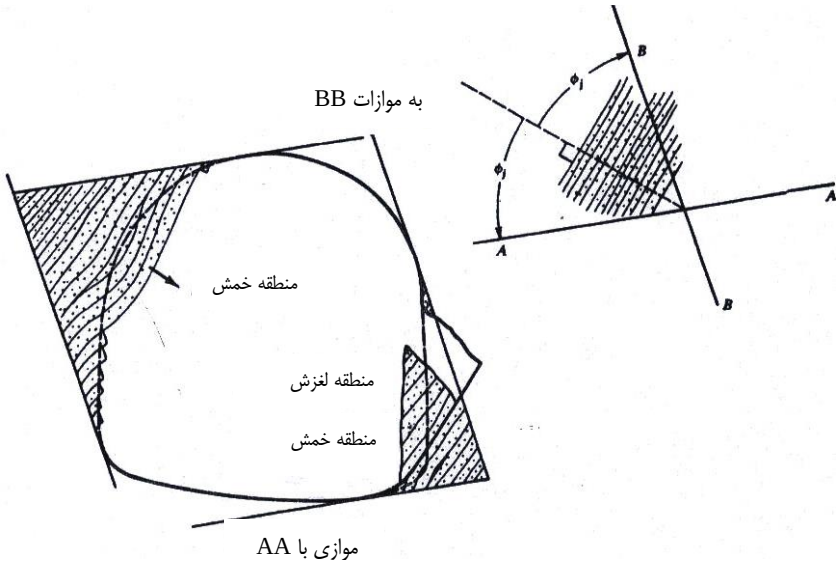
۱-۲-۳- گسل

در طراحی ژئومکانیکی حفریات زیرزمینی باید به نکات زیر توجه شود:

- در محل گسل‌ها، به ویژه گسل‌های فعال ممکن است حرکات متناوب وجود داشته باشد.
- جنس مواد پرکننده گسل معمولا با جنس سنگ اطراف متفاوت است.
- گسل مجرایی برای نفوذ آب به لایه‌های زیرین است که موجب هوازدگی و پایین آمدن خواص ژئومکانیکی توده سنگ در عمق می‌شود.
- اگر چه گسل‌ها معمولا مسیرهای مناسبی برای عبور آب زیرزمینی‌اند ولی در بعضی از موارد به صورت موانعی برای جریان آب عمل می‌کنند. همچنین در محل گسل‌ها احتمال فرسایش سنگ‌هایی مانند سنگ آهک و همچنین دگرسانی سنگ‌هایی مانند فلدسپات و ماسه‌سنگ‌ها وجود دارد.
- عرض ناحیه گسل بستگی به نوع سنگ و خواص زمین‌شناسی دارد. عرض زون برشی ممکن است به چندین متر نیز برسد.
- از آنجا که معمولا به راحتی نمی‌توان زون برشی را مشخص کرد باید در هنگام طراحی اقدامات لازم برای نگهداری مناسب توده سنگ تا خروج کامل از منطقه گسل انجام شود.
- پرشدگی برشی را می‌توان از روی ویژگی‌های خردشدگی سنگ تشخیص داد. این پرشدگی‌ها به ویژه در مورد مواد دانه‌ریز ممکن است باعث ایجاد حفره‌هایی شوند. این مواد ریزدانه حاصل خردشدگی مواد بالادست یا پایین‌دست‌اند.
- برخی مواد پرکننده گسل، حاصل خرد شدن لبه‌های صفحات درگیر است. وجود آب در زون‌های گسله به همراه کانی‌های رسی موجود در گسل‌ها ممکن است به تغییر شکل‌های وابسته به زمان و آماس منجر شود. مواد پرکننده معمولا مقاومت بسیار کم و زمان خودایستایی ناچیزی دارند. با توجه به ریزدانه بودن مواد پرکننده، معمولا زون‌های گسله نفوذپذیری پایینی دارند.
- با استفاده از جهت‌داری گسل می‌توان طولی از حفریه زیرزمینی را که ممکن است تحت تاثیر گسل قرار گیرد، تخمین زد.

1- Slenderness

omoorepeyman.ir



شکل ۱-۱- وضعیت پایداری لایه‌ها با توجه به تنش در اطراف حفریه و زاویه اصطکاک لایه‌ها

۱-۲-۴- درزه‌ها

درزه‌ها خواص مهندسی توده سنگ را تغییر می‌دهند. عمده‌ترین تغییرات ناشی از درزه‌ها که باید به عنوان ملاحظات طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی در نظر گرفته شوند عبارت‌اند از:

- کاهش مقاومت برشی در راستای درزه‌ها که به لغزش در آن راستا منجر می‌شود.
- کاهش مقاومت کلی برشی و کششی توده سنگ
- رفتارهایی مانند چرخش یا جابه‌جایی بلوک‌ها در توده سنگ
- ایجاد پتانسیل شکست در توده سنگ (مانند لغزش، رانش واژگونی و نظایر آن)
- تاثیر بر توزیع مجدد تنش به دلیل تفاوت در سختی و مقاومت پایین توده سنگ
- افزایش آسیب‌پذیری توده سنگ در مقابل موج‌های تنش مانند آتشباری
- افزایش نفوذپذیری سنگ

برای بررسی تاثیر درزه‌ها بر حفریات زیرزمینی لازم است مشخصه‌های درزه‌ها مطابق استاندارد زیر مد نظر قرار گیرد:

الف- فاصله‌داری

جدول ۱-۲ طبقه‌بندی درزه‌ها را بر اساس فاصله‌داری آن‌ها نشان می‌دهد. در طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی باید نقش فاصله‌داری در مکانیزم تغییر شکل و شکست، قابلیت حفاری، خواص خردشدگی و نفوذپذیری توده سنگ در نظر گرفته شود.

omoorepeyman.ir

جدول ۱-۲- طبقه‌بندی درزه‌ها

فاصله‌داری	فاصله (میلی‌متر)
بی‌نهایت نزدیک	کمتر از ۲۰
خیلی نزدیک	۲۰ تا ۶۰
نزدیک	۶۰ تا ۲۰۰
متوسط	۲۰۰ تا ۶۰۰
زیاد	۶۰۰ تا ۲۰۰۰
خیلی زیاد	۲۰۰۰ تا ۶۰۰۰
بی‌نهایت زیاد	بیش از ۶۰۰۰

ب- تداوم

طبقه‌بندی درزه‌ها بر اساس تداوم با در نظر گرفتن طول اثر هر یک از دسته درزه‌ها در رخنمون، انجام می‌گیرد (جدول ۱-۳). در طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی باید نقش تداوم در مقاومت برشی حاصل در صفحه درزه‌ها، ویژگی‌های خردایش، قابلیت حفاری و نفوذپذیری توده سنگ در نظر گرفته شود.

پ- زبری

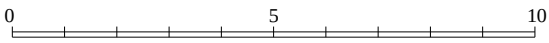
زبری به عنوان پارامتر هندسی- مکانیکی سطح درزه، مهم‌ترین نقش را در مقاومت برشی، به ویژه در درزه‌های بدون جابه‌جایی و یا متصل (مانند درزه‌های پرنشده) دارد. درزه‌ها از نظر زبری به سه دسته اصلی پله‌ای، موجدار و صفحه‌ای تقسیم می‌شوند که هر یک از این دسته‌ها، با توجه به وضعیت درزه، ممکن است زبر، صاف و یا صیقلی باشند (جدول ۱-۴).

جدول ۱-۳- طبقه‌بندی تداوم درزه‌ها

تداوم	طول اثر (متر)
خیلی کم	کمتر از ۲۰
کم	۲۰ تا ۶۰
متوسط	۶۰ تا ۲۰۰
زیاد	۲۰۰ تا ۶۰۰
خیلی زیاد	۶۰۰ تا ۲۰۰۰

omoorepeyman.ir

جدول ۱-۴- طبقه‌بندی زبری درزه‌ها

دسته	توصیف	
I	پله‌ای، زبر	
II	پله‌ای، صاف	
III	پله‌ای، صیقلی	
IV	موج‌دار، زبر	
V	موج‌دار، صاف	
VI	موج‌دار، صیقلی	
VII	صفحه‌ای، زبر	
VIII	صفحه‌ای، صاف	
IX	صفحه‌ای، صیقلی	
مقیاس (سانتی‌متر)		

ت- مقاومت سطح یا دیواره درزه

چنانچه دیواره‌های سنگ با هم در تماس باشند، باید مقاومت دیواره به عنوان یک مولفه مهم در مقاومت برشی در نظر گرفته شود. مقاومت سطح درزه را می‌توان به کمک چکش اشمیت یا به روش دستی اندازه‌گیری کرد. در جدول ۱-۵ روش‌های تخمین مقاومت سطح درزه ارایه شده است.

جدول ۱-۵- اندازه‌گیری مقاومت سطح درزه

رده	توصیف	تشخیص در محل	بازه مقاومتی (مگاپاسکال)
S_1	رس خیلی نرم	به راحتی با مشت چند سانتی‌متر نفوذ می‌کند.	کمتر از ۰٫۰۲۵
S_2	رس نرم	با انگشت شست به راحتی چندین سانتی‌متر نفوذ می‌کند.	۰٫۰۲۵تا ۰٫۰۵
S_3	رس محکم	با کمی تلاش به کمک انگشت شست چند سانتی‌متر نفوذ می‌کند.	۰٫۰۵ تا ۰٫۱
S_4	رس سفت	با تلاش زیاد به کمک انگشت شست چند سانتی‌متر نفوذ می‌کند.	۰٫۱ تا ۰٫۲۵
S_5	رس خیلی سفت	به راحتی با انگشت شست تورفتگی ایجاد می‌شود.	۰٫۲۵ تا ۰٫۵
S_6	رس سخت	به سختی با انگشت شست تورفتگی ایجاد می‌شود.	بیش از ۰٫۵
R_0	سنگ بی‌نهایت سست	با انگشت شست تورفتگی ایجاد می‌شود.	۰٫۲۵ تا ۱
R_1	سنگ خیلی سست	با نوک چکش زمین‌شناسی خرد و با چاقو جیبی خراشیده می‌شود.	۱ تا ۵

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۱-۵- اندازه‌گیری مقاومت سطح درزه

رده	توصیف	تشخیص در محل	بازه مقاومتی (مگاپاسکال)
R_2	سنگ سست	با چاقوی جیبی به سختی خراشیده شده، تورفتگی مختصری با چکش زمین‌شناسی ایجاد می‌شود.	۵ تا ۲۵
R_3	سنگ با مقاومت متوسط	با چاقوی جیبی خراشیده نمی‌شود، با یک ضربه محکم چکش زمین‌شناسی شکسته می‌شود.	۲۵ تا ۵۰
R_4	سنگ مقاوم	برای شکسته شدن به بیش از یک ضربه چکش زمین‌شناسی نیاز دارد.	۵۰ تا ۱۰۰
R_5	سنگ خیلی مقاوم	برای شکسته شدن به ضربات زیادی از چکش زمین‌شناسی نیاز دارد.	۱۰۰ تا ۲۵۰
R_6	سنگ فوق‌العاده مقاوم	نمونه با چکش زمین‌شناسی تنها لبپر می‌شود.	بیش از ۲۵۰

ث- بازشدگی

تاثیر بازشدگی و تغییرات فضایی وضعیت آن بر مقاومت برشی درزه و نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی درزه و توده سنگ باید مورد توجه قرار گیرد (جدول ۱-۶).

جدول ۱-۶- رده بازشدگی درزه‌ها

دسته	بازشدگی (میلی‌متر)	توصیف
I	کمتر از ۰/۱	با چشم غیرمسلح قابل تشخیص نیست.
II	کمتر از ۱	با کمی حرکت برشی، دیواره‌ها تماس پیدا می‌کنند.
III	۱ تا ۵	با حرکت برشی، دیواره‌ها تماس پیدا می‌کنند.
IV	بیش از ۵	با حرکت برشی بزرگ، باز دیواره‌ها جدا می‌مانند.

ج- مواد آکننده (پرکننده)

- مواد آکننده از نظر مقاومت معمولا ضعیف‌تر از سنگ مادراند که به این موضوع باید در بررسی مقاومت برشی درزه‌ها توجه شود.

- در صورتی که ضخامت مواد آکننده از بزرگی دامنه ناهمواری بیشتر باشد، مقاومت برشی درزه به مقاومت برشی ماده آکننده محدود می‌شود.

- روش اندازه‌گیری مقاومت مواد آکننده مانند روش تعیین مقاومت سطح درزه است.

- هنگام ثبت مشخصات مواد آکننده باید مشخصه‌هایی مانند اندازه ذرات، تحکیم‌یافتگی، میزان آب، نفوذپذیری و هوازدگی مد نظر قرار گیرد.

چ- ملاحظات طراحی حفریات معدنی در سنگ‌های درزه‌دار

- اولین گام در طراحی حفریات زیرزمینی در توده سنگ‌های درزه‌دار، تحلیل پایداری بلوک‌های مجزا و گوه‌هایی است که در اطراف حفریات زیرزمینی تشکیل شده‌اند.

omoorepeyman.ir

- ابتدا باید احتمال گسترش ترک‌ها در اثر فعالیت استخراجی بررسی شود. برای پدیده‌های زمین‌شناسی مانند گسل و صفحات لایه‌بندی باید قابلیت لغزش در اثر تنش‌های برشی بررسی شود.

- توصیه می‌شود به هنگام طراحی مقاومت کششی درزه‌ها صفر فرض شود. در این صورت توده سنگ درزه‌دار یک ماده بدون مقاومت کششی است و هر قسمت از توده سنگ که در آن تنش کششی رخ دهد، تنش در آن نقطه آزاد و موجب تخریب خواهد شد.

- مولفه‌های تنش عمودی و مماسی در صفحات درزه در اطراف حفریه، یکی از عوامل اصلی است که باید در مورد رفتار توده سنگ درزه‌دار در نظر گرفته شود.

- تاثیر ناشی از وجود آب‌های زیرزمینی در تغییرات تنش موثر بر صفحات درزه‌ها و یا تغییر رفتار مواد آکننده باید کاملا بررسی شود.

ح- تشخیص پتانسیل شکست در سنگ درزه‌دار

- در هنگام مواجهه با توده سنگ درزه‌دار ابتدا باید بلوک‌هایی که پتانسیل تخریب دارند، تعیین شوند و در مرحله بعد باید وضعیت پایداری بلوک‌های سنگ بررسی شود.

- شکل‌های بالقوه شکست باید با توجه به مشخصات بلوک‌های تشکیل شده و مشخصات هندسی درزه‌های موجود در سقف و دیواره تعیین شود. با بررسی جهت‌داری فصل مشترک صفحات و برآیند نیروهای وارد بر بلوک باید جهت‌های احتمالی حرکت بلوک تعیین شود. برای این کار استفاده از نرم‌افزارهای UNWEDGE و DIPS سودمند است.

خ- ملاحظات مربوط به مواد آکننده درزه‌ها

در جدول ۱-۷ خلاصه اثرات و عوارض ناشی از درزه‌هایی که با مواد آکننده پر شده‌اند، ارایه شده است. در نزدیک سطح زمین باید دقت شود که درزه‌های تمیز با درزه‌های خالی که مواد آکننده آن‌ها به علت هوازدگی دگرسان و سپس شسته شده‌اند، اشتباه نشوند.

۱-۲-۵- تورم زمین

پدیده تورم زمین اغلب در سنگ‌هایی رخ می‌دهد که حاوی کانی‌های رسی فراوان یا ذراتی در ابعاد رس مانند کائولینیت، ایلیت و به ویژه مونت‌موریلونیت و یا کانی‌های حاوی گچ و انیدریت‌اند. فشار ناشی از تورم این گونه زمین‌ها، در صورت نبود سیستم نگهداری مناسب، موجب خرابی حفریه می‌شود.

omoorepeyman.ir

جدول ۱-۷- خلاصه اثرات و عوارض ناشی از درزه‌های پرشده با مواد آکننده

ماده اصلی آکننده	رفتار بالقوه ماده آکننده	
	اثرات آنی	اثرات بلندمدت
رس متورم شونده	متورم می‌شود و حالت لجنی به خود می‌گیرد. فشار تورمی و لهیدگی به سیستم نگهداری وارد می‌کند.	فشار تورمی و لهیدگی به سیستم نگهداری وارد می‌کند، تورم ادامه می‌یابد و اگر سیستم نگهداری کافی نباشد همراه با فروریزی و آب‌شستگی است.
رس غیرفعال	هوازده می‌شود و در اثر لهیدگی حالت سست و لجنی پیدا می‌کند. در شرایط سخت به شدت لهیده می‌شود.	چنانچه حفاظت نشود با سیستم نگهداری لهیده می‌شود، در اثر تغییر محیط هوازده شده و حالت سست و لجنی به خود می‌گیرد.
کلریت، تالک، گرافیت و سرپانتین	ریزش[1]	وقتی که محیط مرطوب باشد، بار زیادی ممکن است به سیستم نگهداری وارد آید.
مواد آکننده ماسه مانند از قطعات خرد شده	ریزش یا جاری شدن، زمان خودایستایی ممکن است، فوق‌العاده کوتاه باشد.	بارهای ناشی از سست‌شوندگی روی آستر، شکافتگی و ریزش در نقاط غیرمحصور
کلسیت متخلخل یا پولکی، گچ	شرایط مساعد	ممکن است حل و منجر به ناپایداری توده سنگ شود.

الف- ملاحظات سیستم نگهداری

- هنگام طراحی حفریه زیرزمینی در زمین‌های مستعد تورم، باید برای جلوگیری از تورم تدابیر لازم برای ممانعت از ورود آب به داخل منطقه مورد نظر اندیشیده شود. برای حفاری در اینگونه زمین‌ها بهتر است روش آتشباری کنترل‌شده انتخاب شده و تمام چال‌ها به صورت خشک حفر شوند. استفاده از ماشین‌های حفر تونل و سپس تعریض آن، برای مقادیر بالای تولید (دهانه‌های بزرگ) نیز گزینه مناسبی است.

- توصیه می‌شود در اینگونه زمین‌ها برای جلوگیری از پدیده تورم در اثر رطوبت موجود در فضای تونل، سنگ‌هایی که در اثر حفاری در معرض هوا قرار گرفته‌اند، به سرعت با شاتکریت پوشش داده شوند.

- توصیه می‌شود در زمین‌های تورمی تا حد امکان برای نصب مهار از دوغاب استفاده نشود، زیرا آب موجود در دوغاب وارد سنگ‌ها شده و باعث تورم می‌شود. در این موارد بهتر است برای نصب میل‌مهار از موادی مانند رزین‌ها استفاده شود.

ب- ملاحظات شکل مقطع حفاری

به هنگام انتخاب شکل مقطع حفاری در زمین‌های تورمی، باید توجه شود که تورم در مقطع مستطیلی بیشترین تاثیر مخرب را دارد و مقاطع نعل اسبی، دایره‌ای و بیضوی قائم به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

پ- روش‌های متداول نگهداری زمین‌های تورمی

در طراحی ژئومکانیکی حفریات زیرزمینی دو رویکرد کلی در مقابله با تورم وجود دارد.

1- Raveling

omoorepeyman.ir

- استفاده از سیستم‌های نگهداری که برای کنترل و مهار زمین‌های تورمی مقاومت کافی دارند. به عنوان مثال پوشش‌های بتنی و قاب‌های فلزی، تحت شرایط کنترل‌شده به مواد متورم‌شونده اجازه حرکت در داخل تونل را می‌دهند. از این رویکرد بیشتر در بازکننده‌های اصلی معادن با عمر بالا استفاده می‌شود.

- استفاده از سیستم‌های نگهداری تسلیم‌شونده مانند قاب‌ها یا پوشش‌هایی که طی یک دوره زمانی خاص مطابق با انتظار، دچار حداکثر تغییر شکل شده و سپس تعمیر می‌شوند. از این رویکرد در بازکننده‌های با عمر کمتر استفاده می‌شود.

ت- استفاده از مهاری‌ها

در سنگ‌های ناپایدار، در نواحی سست یا خمیری اطراف قوس طاق تونل، از میل‌مهار یا در مناطق سست و ضخیم، از کابل‌های پیش‌تنیده استفاده می‌شود. در مناطق آبدار به جای استفاده از این روش‌ها، راهکارهایی مانند تزریق توصیه می‌شود.

ث- انواع پوشش‌ها در مناطق تورمی

- در توده سنگ‌هایی که زمان پایداری کوتاهی دارند و احتمال ریزش با حجم زیاد وجود دارد، سیستم نگهداری باید به سرعت نصب شود. استفاده از شاتکریت (بتن‌پاشی) به عنوان سیستم نگهداری اولیه توصیه می‌شود.

- در زون‌های تورمی به ویژه با زمان پایداری و یا خودایستایی کم، کاهش فشار و حفر مرحله به مرحله و نگهداری با شاتکریت و سپس پوشش بتنی برای جلوگیری از ریزش باید در دستور کار قرار گیرد.

- پوشش‌های بتنی را می‌توان در محل قالب‌ریزی کرد و یا به صورت بندبند به حالت مسلح و یا غیرمسلح آماده کرد و مورد استفاده قرار داد و همراه با آن نیز می‌توان از میل‌مهار، شاتکریت و قاب‌های فولادی استفاده کرد.

- لازمه استفاده از شاتکریت، شناسایی شرایط توده سنگ و نمونه‌گیری از رس موجود و در صورت امکان سنگ‌های دگرسان شده است، زیرا بعد از بتن‌پاشی به دلیل پوشیده‌شدن سطح سنگ‌ها عملا مشاهدات بعدی غیرممکن است.

ج- کنترل کف

برای نگهداری کف روش‌های زیر توصیه می‌شود:

- جلوگیری از تورم کف از طریق مقابله با فشار تورم
- جلوگیری از فشار تورم با حفر بیش از نیاز در کف و ایجاد امکان تورم مواد آماسی تا حد مشخص
- ایجاد شرایطی برای وقوع بخش عمده‌ای از تورم و در نهایت مهار فشار تورم محدود شده

۱-۲-۶- مچاله‌شوندگی زمین

در طراحی حفریات معدنی در زمین‌های مچاله‌شونده باید عوامل زیر مد نظر قرار گیرد. این عوامل تاثیر مستقیمی بر میزان مچاله‌شوندگی و در نهایت میزان فشار وارده بر سیستم نگهداری دارند:

- جنس سنگ (لیتولوژی)

omoorepeyman.ir

- مقاومت و خردشدگی توده سنگ
- تنش القایی
- فشار آب
- فرآیند ساخت
- سیستم‌های نگهداری

الف- ارزیابی پتانسیل مچاله‌شوندگی

برای تعیین شرایط مچاله‌شوندگی و پتانسیل وقوع این پدیده باید از شاخص نسبت مقاومت فشاری تک‌محوری توده سنگ به تنش برجای ناشی از روباره استفاده کرد. این پدیده در زمین‌های حاوی سنگ‌هایی مانند گنایس، میکاشیست، کالک‌شیست، سنگ‌های رسی، شیل و سنگ‌های رسی مارنی رخ می‌دهد. برای برآورد پتانسیل شرایط مچاله‌شوندگی می‌توان از رابطه هوک و مارینوس[1] استفاده کرد.

ب- تعیین روش حفاری در سنگ مچاله‌شونده

بزرگترین مشکل حفاری در سنگ مچاله‌شونده، تغییر شکل‌های بزرگ ایجاد شده در حفریه است. حفاری در سنگ مچاله‌شونده را می‌توان به شکل حفاری مرحله‌ای (تونل پیشرو کناری، روش حفاری روبرداری و کف‌برداری) و یا حفاری تمام مقطع انجام داد. در اینگونه زمین‌ها برای جلوگیری از ایجاد هرگونه شکاف و شل‌شدگی در توده سنگ باید از حفاری نرم (روش‌های مکانیکی به جز آتشباری) استفاده شود.

۱-۲-۷- آب و کنترل آن

برای کنترل آب باید مشخصات کمی وکیفی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد نظر و اطلاعات آماری از تغییرات این مشخصات در طول زمان فراهم شود. بخشی از این اطلاعات از گزارش‌های موجود در سازمان‌های مختلف مانند سازمان‌های صنعت، معدن و تجارت، سازمان زمین‌شناسی، اداره هواشناسی، شهرداری‌ها و نظایر آن‌ها تامین می‌شود و بخش دیگری از آن از طریق انجام آزمایش‌ها و مطالعات صحرایی مانند کارهای مطالعاتی بر روی چاه‌های مشاهده‌ای و نصب پیزومترها به دست می‌آید.

مشخصه‌های زیر در ارتباط با آب‌های زیرزمینی باید تعیین شوند:

- وضعیت و نوع خاک‌ها و سنگ‌های منطقه و چگونگی گسترش آن‌ها برای تعیین مشخصات هندسی آبخوان
- تعیین نفوذپذیری سنگ‌ها و خاک‌ها
- دانه‌بندی خاک‌های غیرقابل فرسایش
- تراکم‌پذیری خاک‌ها
- وضعیت آب‌های زیرزمینی بر اساس تغییرات فصلی

1-Hoek and Marinos

omoorepeyman.ir

- کیفیت آب، شامل محتویات طبیعی و آلودگی‌های شیمیایی
- محل‌ها یا امکانات تخلیه آب

تاثیر آب زیرزمینی بر عملکرد سنگ، خاک و با درجه پایین‌تری بتن به دو صورت در نظر گرفته می‌شود:

- میزان تنش موثر طبق قانون تنش موثر ترزاقی
- تاثیرات مخرب آب بر ماسه‌سنگ‌های رسی و رس‌ها شامل کاهش مقاومت و تغییر شکل آن‌ها آب باعث گسترش اثر خزش در سنگ‌ها و سبب حل‌شدگی، تشکیل اسید و خوردگی می‌شود.

۱-۳- عوامل مکانیکی

برای تعیین ویژگی‌های ژئومکانیکی توده سنگ می‌توان از سه روش زیر استفاده کرد:

- تلفیق ویژگی‌های توده سنگ پس از تعیین جداگانه مشخصات سنگ سالم و درزه‌ها
- انجام آزمایش‌های برجا در مقیاس بزرگ و بررسی حجم بزرگی از سنگ
- استفاده از نتایج ابزاردقیق

برای حصول اطمینان از کافی بودن اطلاعات ژئومکانیکی در طراحی حفریات معدنی، اطلاعات جدول ۱-۸ باید تکمیل شود.

۱-۳-۱- ویژگی‌های مکانیکی سنگ سالم

مقاومت و تغییر شکل مهم‌ترین ویژگی‌های ژئومکانیکی سنگ است.

الف- مقاومت

برای شناخت مقاومت سنگ سالم از آزمایش‌های تک‌محوری و سه‌محوری، آزمایش‌های غیرمستقیم کشش (برزیلی) و آزمایش مقاومت برشی استفاده می‌شود.

ب- تغییر شکل

مدول تغییر شکل سنگ در آزمایشگاه با انجام آزمایش‌های تک‌محوری[۱] و سه‌محوری[۲] تعیین می‌شود.

۱- برای آگاهی از نحوه انجام این آزمایش به استاندارد ASTM D 5407 مراجعه شود.
۲- برای آگاهی از نحوه انجام این آزمایش به استاندارد ASTM D 3148, ISRM مراجعه شود.

omoorepeyman.ir

جدول ۱-۸- فرم ثبت داده‌های ژئومکانیکی لازم برای طراحی حفریات معدنی

	پارامتر		میانگین	بازه تغییرات	ملاحظات
پارامترهای ماده سنگ	جرم مخصوص				
	مقاومت فشاری تک‌محوری (MPa)	آزمایش مقاومت فشاری			
		آزمایش بار نقطه‌ای			
	مقاومت کششی (MPa)	آزمایش کشش مستقیم			
		آزمایش برزیلی			
	پارامترهای الاستیک	مدول یانگ			
		ضریب پوآسون			
	ضرایب معیار شکست موهر- کولمب	چسبندگی			
		زاویه اصطکاک (درجه)			
	ضرایب معیار شکست هوک- براون	ثابت m_i			
		ثابت s_i		برابر یک است.	
	پارامتر		**میانگین**	**بازه تغییرات**	**ملاحظات**
پارامترهای توده سنگ	جرم مخصوص				
	پارامترهای الاستیک	مدول تغییر شکل			
		ضریب پوآسون			
	ضرایب معیار شکست موهر- کولمب	چسبندگی			
		زاویه اصطکاک (درجه)			
	ضرایب معیار شکست هوک- براون	ثابت m_b			
		ثابت s_b			
توضیحات:					
مسوول:		تاریخ:			امضا:

۱-۳-۲- ویژگی‌های مکانیکی توده سنگ

الف- مقاومت

برای ارزیابی مقاومت توده سنگ، انجام آزمایش در مقیاس صحرایی ضروری است. یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقاومت سنگ در حالت برجا آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری برجا است که در استاندارد ASTM ارایه شده است. برای تعیین مقاومت برشی برجای توده سنگ نیز از آزمایش برش برجا استفاده می‌شود. برای برآورد پارامترهای مقاومتی

omoorepeyman.ir

توده سنگ نیز روش‌های غیرمستقیم مانند استفاده از چکش اشمیت (با در نظر گرفتن کیفیت توده‌سنگ) و آزمایش کج‌افزایی[1]، به کار می‌رود.

ب- تغییر شکل

برای تعیین مدول تغییر شکل توده‌سنگ آزمایش‌های متعددی به صورت برجا وجود دارد که باید با توجه به شرایط پروژه از آزمایش مناسب استفاده کرد. با در نظر گرفتن کیفیت توده سنگ و مقاومت فشاری تک‌محوری سنگ بکر، می‌توان به کمک روابط تجربی، مدول تغییر شکل توده سنگ را برآورد کرد. در این مورد آزمایش‌های زیر متداول است.

- روش جک تخت بزرگ (ISRM[2])

در این روش مدول تغییر شکل توده سنگ با حفر شیار در آن و بارگذاری به وسیله جک‌های تخت اندازه‌گیری می‌شود. این روش که با عنوان بارگذاری شیاری نیز شناخته می‌شود، می‌توان برای بررسی رفتار خزشی توده سنگ نیز به کار برد. در این روش ابتدا شیاری در سنگ ایجاد می‌شود و جک یا جک‌های تخت داخل آن قرار می‌گیرد. با ایجاد فشار در جک و اندازه‌گیری تغییر شکل توده سنگ، مدول تغییر شکل به دست می‌آید. در این آزمایش باید صلبیت، شکل، ترکیب و تعداد جک‌های تخت، موقعیت نقطه اندازه‌گیری و شکل گالری آزمایش و عمق ترک ناشی از فشار داخل مد نظر قرار گیرند.

- روش بارگذاری صفحه‌ای صلب[3]

از این روش برای تعیین مدول تغییر شکل برجای توده سنگ در تونل‌ها و گالری‌های زیرزمینی کوچک استفاده می‌شود (رابطه ۱-۱) و طی آن، برای اعمال فشار به سطح سنگ یک صفحه بارگذاری صلب به کار می‌رود.

$$E = \frac{(1-\nu^2)P}{2W_a R} \qquad (۱-۱)$$

که در آن:

ν ضریب پواسون سنگ

P بار کل اعمال شده بر روی صفحه صلب

W_a تغییر شکل میانگین صفحه صلب

R شعاع صفحه صلب

- روش بارگذاری صفحه‌ای انعطاف‌پذیر[4]

این روش را که با عناوین دیگری مانند آزمایش جک تک‌محوری و آزمایش جک صفحه‌ای نیز شناخته می‌شود می‌توان برای تعیین مدول تغییر شکل برجای توده سنگ در تونل‌ها، یا سایر حفریات زیرزمینی در معادن به کار برد.

1-Tilt test

2- International society for rock mechanics

۳- برای آگاهی از نحوه انجام این آزمایش به استاندارد ASTM D 4394 مراجعه شود.

۱- برای آگاهی از نحوه انجام این آزمایش به استاندارد ASTM D 4395 مراجعه شود.

omoorepeyman.ir

۱-۳-۳- داده‌های حاصل از ابزاربندی

پس از برآورد اولیه پارامترهای مورد نیاز طراحی، باید این پارامترها در حین اجرا و به کمک ابزاردقیق اصلاح و دقیق‌سازی شود. در تحلیل داده‌های حاصل از ابزاردقیق، هدف شناخت رفتار و یا واکنش توده سنگ درون‌گیر حفریه زیرزمینی در شرایط مختلف است و از نتایج ابزاردقیق حین اجرا برای اصلاح طراحی اولیه و شناخت دقیق‌تر رفتار محیط در برگیرنده استفاده می‌شود. نتایج این تحلیل در زمینه‌های زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- ارزیابی پایداری حفریه زیرزمینی
- تعیین پهنه‌های مختلف در توده سنگ تغییر شکل یافته پیرامون حفریه زیرزمینی
- تخمین راستا و نسبت تنش‌های موجود در محل
- بهبود روش‌های حفاری و استخراج
- تخمین پارامترهای رفتاری توده سنگ در شرایط واقعی با استفاده از روش تحلیل برگشتی
- ارزیابی تاثیر سیستم نگهداری حفریه زیرزمینی در کل ایستگاه اندازه‌گیری بر میزان جابه‌جایی سنگ

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۲

روش‌های طراحی ژئومکانیکی حفریات زیرزمینی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- آشنایی

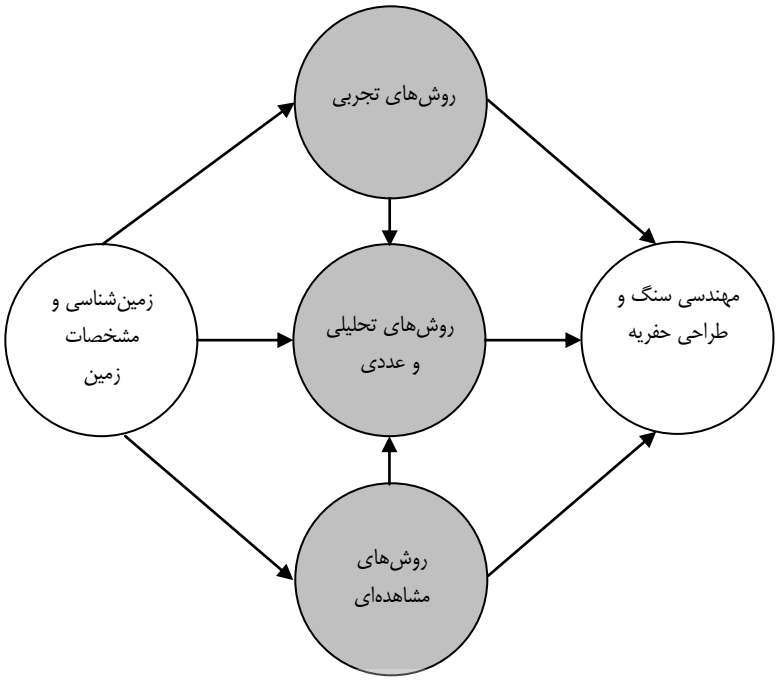
برای طراحی حفریات زیرزمینی روش‌های گوناگونی وجود دارد. با توجه به تنوع توده سنگ و نوع حفریه باید روش مناسب طراحی انتخاب شود و ملاحظات آن مد نظر قرار گیرد.

در ماده پیچیده‌ای مانند سنگ ممکن است چندین حالت شکست به وجود آید که به عوامل متعددی از جمله، ترکیب سنگ، تاثیر تنش و آب زیرزمینی و ابعاد حفریه بستگی دارد. پایداری حفریات زیرزمینی نیز به رفتار زمین در برگیرنده آن وابسته است، بنابراین باید رفتار زمین بررسی شود.

۲-۲- روش‌های طراحی ژئومکانیکی

در روش‌های مختلف طراحی ژئومکانیکی، اولین مرحله طراحی، تعیین مشخصات توده سنگ (سنگ‌شناسی)، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، مشخصات ژئومکانیکی و نظایر آن است. در مرحله بعد باید رفتار مورد انتظار زمین اطراف حفریه با توجه به شکل حفریه و وضعیت میدان تنش‌های طبیعی مد نظر قرار گیرد. روش‌های طراحی ژئومکانیکی حفریات زیرزمینی به سه دسته روش‌های مشاهده‌ای، تجربی و تحلیلی (عددی) تقسیم‌بندی می‌شوند.

فرآیند طراحی ژئومکانیکی به صورت شکل ۲-۱ پیشنهاد می‌شود. اولویت‌بندی استفاده از روش‌های مختلف طراحی در انواع مختلف رفتار زمین در جدول ۲-۱ ارایه شده است.



شکل ۲-۱- مراحل اساسی در طراحی ژئومکانیکی

omoorepeyman.ir

از روش‌های تجربی می‌توان برای تخمین سیستم نگهداری استفاده کرد و در صورت در دسترس بودن اطلاعات دقیق‌تر از رفتار توده سنگ باید از روش‌های تحلیلی و عددی استفاده شود. در حین حفاری، برای بازبینی و اصلاح اطلاعات اولیه و نیز اصلاح سیستم نگهداری، با توجه به حساسیت حفریه و سطح دقت طراحی، باید از رفتارنگاری توده سنگ استفاده شود.

در روش‌های تجربی طراحی، عمدتا از سیستم‌های طبقه‌بندی توده سنگ استفاده می‌شود. این سیستم‌ها معمولا بازه‌ای از سیستم‌های نگهداری قابل کاربرد را پیشنهاد می‌دهند. در کنار روش‌های یاد شده، باید در همه مراحل برای کنترل طراحی و تایید نتایج قضاوت مهندسی استفاده شود. قضاوت مهندسی در واقع، استفاده هوشمندانه از تجربیات گذشته و تشخیص محدودیت‌های روش‌های مورد استفاده در طراحی با توجه به دقیق نبودن پارامترهای ورودی طراحی است.

omoorepeyman.ir

جدول۲-۱- اولویت‌بندی استفاده از روش‌های مختلف طراحی در انواع مختلف رفتار زمین

رفتار زمین	روش‌های طراحی						
	روش‌های تجربی		سایر روش‌ها				
	RMR/MRMR	Q	مدلسازی عددی (پیوسته)	تحلیلی	مشاهده‌ای	قضاوت مهندسی	عامل مخرب
پایدار[1]	۲	۲	۱	۲	۱	۱	نیروی جاذبه (تنش‌های ثقلی)
ریزش بلوکی یا قطعه‌ای[2]	۲-۱	۲-۱	۲	۲	۲	۱	
ریزشی[3]	۳	۳-۲	۳	۲	۳	۲	
زمین رونده[4]	۴	۴	۴	۴	۳	۲	
دچار خمش[5]	۴	۳	۲	۲	۲	۲	تنش القایی
گسیختگی در اثر تنش[6]	۴	۳	۲	۳	۲	۲	
ورقه‌ورقه و پوسته‌پوسته شدن[7]	۴	۲	۲	۲	۲	۲	
ترکیدن سنگ[8]	۴	۴-۳	۲	۲	۲-۱	۲	
رفتار خمیرسان[9]	۴	۴-۳	۲	۲	۳	۲	
زمین فشارنده[10]	۴	۳	۲	۲	۲	۳	
حرکت به علت فرونشستن یا خرد شدن[11]	۴	۴	۴	۴	۲	۲	اثر آب
زمین تورمی[12]	۴	۳	۳	۳	۲	۲	
زمین‌های روان[13]	۴	۴	۴	۴	۳	۳	
زمین‌های آبدار[14]	۴	۴	۳	۳	۲	۳	

قابلیت کاربرد روش: ۱: مناسب ۲: نسبتا خوب ۳: ضعیف ۴: غیرقابل کاربرد

1- Stable
2- Fall of block(s) or fragment(s)
3- Cave-in
4- Running ground
5- Buckling
6- Rupturing from stresses
7- Slabbing, spalling
8- Rock burst
9- Plastic behavior (initial)
10- Squeezing ground
11- Ravelling from slaking or friability
12- Swelling ground
13- Flowing ground
14- Water ingress

omoorepeyman.ir

۲-۳- روش‌های تجربی طراحی

روش‌های تجربی طراحی مبتنی بر تجربیات عملی به دست آمده از پروژه‌های مشابه با پروژه مورد نظر و همچنین طبقه‌بندی و امتیازدهی به توده سنگ است. طبقه‌بندی توده سنگ باید برای بیان یک تصویر از مشخصه‌های آن، تخمین اولیه سیستم نگهداری مورد نیاز و نیز تخمین خواص مقاومتی و تغییر شکل توده سنگ به کار رود. هنگام استفاده از طبقه‌بندی توده سنگ باید موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

- دسته‌بندی مناطق با توجه به ساختار زمین‌شناسی و خواص ژئومکانیکی مشابه
- تخمینی از پایداری مناطق مشخص شده
- مشخص کردن استراتژی برای استفاده از وسایل نگهداری
- تخمینی از مدول‌های تغییر شکل و مقاومت توده سنگ به صورت برجا

طبقه‌بندی RMR برای تخمین سیستم نگهداری در مواردی به کار رود که مقدار تنش کمتر از ۲۵ مگاپاسکال باشد. در طبقه‌بندی‌های RMR و Q رفتار توده‌سنگ برای انتخاب سیستم نگهداری در نظر گرفته نمی‌شود.

توصیه می‌شود که از سیستم Q در زمین‌هایی که ریزش بلوکی دارند استفاده شود، این سیستم را نباید در زمین‌های فشارنده و یا تورمی به کار برد.

۲-۴- روش‌های مشاهده‌ای طراحی

از روش‌های مشاهده‌ای که بر بازبینی طراحی در حین اجرای طرح مبتنی است، می‌توان برای ارزیابی سیستم نگهداری پیش‌بینی شده در حفریات اصلی و نیز حفریات فرعی در روش‌های بدون نگهداری و روش‌های تخریبی استفاده کرد.

از ابزارهای مهم روش‌های مشاهده‌ای، استفاده از ابزاربندی و پایش تغییرات حفریات است. هنگامی که پیش‌بینی رفتار زمین دشوار باشد، بهتر است از روش مشاهده‌ای استفاده شود اما قبل از آن باید بازه تغییرات رفتار زمین در سطح اطمینان مناسب تخمین زده شود. در مرحله احداث باید رفتارسنجی حفریات انجام و رفتار توده سنگ و سیستم نگهداری بررسی و پایش شود.

هنگام رفتارسنجی حفریات زیرزمینی باید موارد زیر در نظر گرفته شود:

- ثبت مقادیر طبیعی و تغییرات ایجاد شده در پارامترهای ژئوتکنیکی مانند سطح آب زیرزمینی، وضعیت طبقات زمین و اتفاقات زمین‌لرزه‌ای قبل از اجرا
- استفاده از نتایج ابزاربندی برای تامین ایمنی ضمن عملیات ساخت و بهره‌برداری از طریق دادن اخطار به موقع مانند تشدید غیرعادی جابه‌جایی‌های زمین، فشار آب زیرزمینی و بارهای اعمال شده بر اجزای سیستم نگهداری
- کنترل صحت فرضیات، مدل‌های انتخابی و مشخصات توده سنگ به کار رفته در محاسبات طراحی با استفاده از

omoorepeyman.ir

نتایج رفتارسنجی

- کنترل انجام اقدامات ترمیمی و اصلاحی در زمین مانند حفاری در زمین‌های حاوی آب، منجمد کردن زمین حین حفر چاه یا تونل، تقویت زمین با عملیات تزریقی و زهکشی

با توجه به نیاز پروژه می‌توان برای پایش شکل، شرایط پایداری و موارد دیگر از ابزارهای مختلف استفاده کرد (جدول ۲-۲). در حفریات زیرزمینی لازم است حداقل در مقاطع بحرانی که احتمال وقوع تغییر شکل‌های زیاد وجود دارد، از پین‌های همگرایی‌سنج و در بخش‌هایی که احتمال گسترش منطقه پلاستیک اطراف حفریه محتمل است، از کشیدگی‌سنج استفاده شود.

جدول ۲-۲- ابزارهای اندازه‌گیری و کاربردهای آن‌ها

ابزار	مورد اندازه‌گیری	توضیحات
کشیدگی‌سنج	جابه‌جایی‌های قائم و مایل	می‌توان جابه‌جایی‌های توده سنگ را پشت دیواره حفریه بررسی کرد.
انحراف‌سنج	جابه‌جایی‌های افقی	برای پیش‌بینی وضعیت پایداری توده سنگ می‌توان گمانه‌هایی از سطح زمین برای بررسی انحراف رخ داده حفر کرد.
همگرایی‌سنج	همگرایی نقاط در حفریه زیرزمینی	برای اندازه‌گیری تغییر شکل سطح مقطع حفریه زیرزمینی استفاده می‌شود.
کرنش‌سنج	تنش- کرنش در سیستم نگهداری	می‌توان به عنوان جایگزین از سلول‌های فشار استفاده کرد و یا آن‌ها را به طور هم‌زمان برای اندازه‌گیری به کار برد.
پیزومتر	فشار آب	-
انحناسنج	خیز سیستم نگهداری	-
بارسنج	بار وارده	برای اندازه‌گیری نیروی کششی موجود در میل‌مهار نصب شده از آن استفاده می‌شود.
سلول فشار	تنش در سیستم نگهداری	می‌توان تغییرات تنش را به طور مستقیم در پوشش شاتکریت یا بتنی و نیز بین بتن و سنگ و بین قاب فولادی و سنگ اندازه‌گیری کرد.
درزه‌سنج	جابه‌جایی درزه‌ها	-
دوربین نقشه‌برداری	تغییر شکل و همگرایی	در مواردی که اندازه‌گیری تغییر شکل و همگرایی حفریه زیرزمینی مورد نظر باشد، می‌توان از آن استفاده کرد.

۲-۵- روش‌های تحلیلی طراحی

روش‌های تحلیلی که مدلسازی عددی یکی از بخش‌های مهم آن است، صورت‌بندی و کاربرد مدل‌های نظری را با هدف شبیه‌سازی رفتار سنگ برای طراحی شامل می‌شود. از روش‌های تحلیلی طراحی زمانی استفاده می‌شود که توصیف بهتری از رفتار سنگ- حفریه، به ویژه در برآورد سطح اطمینان مورد نیاز باشد. در عین حال این روش برای مسایل ساده نیز قابل استفاده است. در حالتی که امکان ریزش بلوکی وجود دارد، توصیه می‌شود از روش‌های تحلیلی استفاده شود.

omoorepeyman.ir

قبل از تحلیل عددی باید با مقایسه ابعاد حفریه و فاصله‌داری درزه‌ها، پیوسته یا ناپیوسته بودن محیط مدلسازی مشخص شود. اولین مرحله در تحلیل عددی انطباق حفریه با توده سنگ و تقسیم‌بندی توده سنگ به بخش‌های مختلف بر اساس نتایج زمین‌شناسی مهندسی است.

هنگام مدلسازی عددی باید موارد زیر مد نظر قرار گیرند:

- بزرگی و جهت تنش‌های برجا
- مدل رفتاری توده سنگ و یا ماده سنگ، شبکه ناپیوستگی‌ها و خواص ژئومکانیکی با در نظر داشتن مقیاس و ابعاد حفریه
- محل و گستره مقاطع زمین‌شناسی در توده سنگ

در بسیاری از موارد لازم است تا مقایسه‌ای بین طرح‌های مختلف معدنی و یا هندسه‌های گوناگون انجام شود. اگر چه تمام حفریات معدنی حالت سه‌بعدی دارند، لیکن در اکثر موارد یک مدل دوبعدی با فرض اعتبار تغییر شکل صفحه‌ای، پاسخی نزدیک به واقعیت به دست می‌دهد. با افزایش تعداد کارگاه‌های استخراج مدل‌های دوبعدی کاربرد کمتری دارند. طبقه‌بندی مدل‌ها در جدول ۲-۳ ارایه شده است.

جدول۲-۳- کاربرد و مقایسه روش‌های عدی مختلف از نظر کاربرد

روش / عامل	دوبعدی (2D)		سه‌بعدی (3D)		
	2D-FE	2D-BE	3D-FE	3D- BE	3D-DD
راحتی در استفاده	مناسب	عالی	بسیار ضعیف	مناسب	خوب
استخراج رگه‌ای یا لایه‌ای	مناسب	خوب	ضعیف	مناسب	خوب
استخراج توده‌ای یا تخریبی	خوب	مناسب	-	خوب	ضعیف
تعبیر و تغییر نتایج	خوب	خوب	-	مناسب	خوب
زمین‌شناسی ساده	خوب	خوب	-	خوب	خوب
زمین‌شناسی پیچیده	خوب	مناسب	مناسب	ضعیف	ضعیف
رفتار غیرخطی	خوب	ضعیف	خوب	ضعیف	ضعیف
درزه‌ها و گسل‌ها	مناسب	خوب	-	خوب	مناسب

- 2D-FE : روش عناصر محدود دوبعدی
- 2D-BE: روش عناصر مرزی دوبعدی (شامل جابه‌جایی ناپیوستگی‌ها)
- 3D-FE: روش عناصر محدود سه‌بعدی
- 3D-BE: روش عناصر مرزی سه‌بعدی
- 3D-DD: روش عناصر ناپیوستگی مجزا

omoorepeyman.ir

فصل ۳

ملاحظات ژئومکانیکی طراحی حفریات معدنی با توجه به روش‌های استخراج

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-۱- آشنایی

برای ایجاد شرایط ایمن در حفریات آماده‌سازی و کارگاه‌های استخراج معادن، کنترل سقف و جلوگیری از ریزش‌ها و نشست‌های غیرمجاز در طول عمر معدن، ملاحظات طراحی‌های ژئومکانیکی حفریات مورد توجه قرار گیرد.

در این نشریه با توجه به اهمیت کنترل سقف و نگهداری زمین، روش‌های استخراج زیرزمینی بر اساس روش کنترل سقف و نوع و میزان سیستم نگهداری به سه دسته بدون نگهداری، با نگهداری و تخریبی تقسیم شده‌اند. کنترل سقف در روش‌های استخراج بدون نگهداری با باقی گذاشتن پایه‌ها و در روش‌های استخراج با نگهداری به کمک وسایل نگهداری مصنوعی و همچنین پر کردن انجام می‌گیرد. کنترل سقف در روش‌های استخراج تخریبی به کمک تخریب کنترل‌شده انجام می‌شود.

۳-۲- ضروریات انتخاب روش استخراج

تعیین نحوه نگهداری زمین (کنترل سقف) یکی از عوامل مهم طراحی در انتخاب روش مناسب استخراج ماده معدنی است. عامل اساسی دیگر طراحی، موقعیت و شکل حفریه مناسب و مراحل استخراج سازگار با مشخصات فضایی ماده معدنی است. ملاحظات مکانیک‌سنگی، عوامل اقتصادی، زمین‌شناسی و محدودیت‌های فنی و زیست‌محیطی عوامل اصلی مورد نظر در طراحی‌اند.

روش استخراج، تعیین‌کننده محل حفریات آماده‌سازی و تولیدی است. شرایط زمین‌شناسی و ژئومکانیکی اشاره شده در فصل ۱ نقش اساسی در انتخاب و کاربرد روش‌های استخراج زیرزمینی دارند. برآیندی از تاثیر این شرایط و ویژگی‌ها در جدول ۳-۱ ارایه شده است که می‌توان از آن، با توجه به مقاومت ماده معدنی و سنگ در برگیرنده و عمق (تنش برجا) به عنوان یک راهنمای کلی برای انتخاب روش استخراج استفاده کرد.

جدول ۳-۱- شرایط ژئومکانیکی مناسب ماده معدنی برای روش‌های استخراج زیرزمینی

روش	پارامتر	مقاومت کانسنگ	مقاومت سنگ درونگیر	عمق
روش‌های بدون نگهداری	اتاق و پایه	ضعیف تا متوسط	متوسط تا مقاوم	کم تا متوسط
	کارگاه و پایه	متوسط تا مقاوم	متوسط تا مقاوم	کم تا متوسط
	انباره‌ای	مقاوم	نسبتا محکم تا مقاوم	کم تا متوسط
	استخراج از طبقات	متوسط تا مقاوم	نسبتا محکم تا مقاوم	متوسط
روش‌های با نگهداری	کند و آکند	متوسط تا مقاوم	ضعیف تا نسبتا ضعیف	متوسط تا
	ستونی	نسبتا مقاوم	متوسط	متوسط
	کرسی‌چینی	ضعیف تا نسبتا ضعیف	ضعیف تا بسیار ضعیف	زیاد
روش‌های تخریبی	جبهه‌کار بلند	هر نوع سنگ خردشده و	ضعیف تا متوسط تخریب‌پذیر	متوسط تا
	تخریب در طبقات فرعی	متوسط تا نسبتا مقاوم	ضعیف نسبتا مقاوم	متوسط
	تخریب توده‌ای	ضعیف تا متوسط تخریب‌پذیر	ضعیف تا متوسط تخریب‌پذیر	متوسط

omoorepeyman.ir

۳-۳- بازکننده‌های اصلی

اگر امکان کاربرد بیش از یک نوع بازکننده وجود داشته باشد، تصمیم‌گیری درباره نوع بازکننده باید بر اساس مجموع هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی و زمان آماده‌سازی انجام شود.

از چاه قائم برای شرایط ژئومکانیکی متوسط تا ضعیف، کانسارهای بزرگ، عمیق، افقی یا برای آهنگ‌های بالای تولید استفاده می‌شود. چاه یا تونل مایل یک انتخاب غالب برای کانسارهای افقی و کم‌عمق به ویژه زغال‌سنگ است.

در صورتی که استخراج کانسار در چند طبقه باشد، فاصله طبقات باید به نحوی انتخاب شود که کمترین هزینه کل را برای طرح استخراج و آماده‌سازی انتخاب شده، در پی داشته باشد. عوامل موثر بر این هزینه‌ها شامل شرایط ژئومکانیکی و زمین‌شناختی کانسار و سنگ درونگیر، روش استخراج، طرح آماده‌سازی، روش احداث حفریات، عمر حفریات، آهنگ تولید، عمر معدن و عوامل اقتصادی است.

حفریات معدنی دایم باید طوری طراحی شوند که تحت تنش‌های فشاری باشند. برای این حفریات، ضریب ایمنی حداقل ۲ پیشنهاد می‌شود. از نقطه‌نظر ژئومکانیکی برای جلوگیری از تمرکز تنش برای مقطع حفریه، شکل‌های مدور یا شکل‌های با گوشه‌های گرد ترجیح داده می‌شود. همچنین محور طولی حفریات زیرزمینی باید موازی بزرگترین تنش اصلی باشد.

۳-۴- روش‌های استخراج بدون نگهداری

۳-۴-۱- ملاحظات کلی

توصیه می‌شود در کانسارهای با شرایط ژئومکانیکی و مقاومتی مناسب، از روش‌های بدون نگهداری استفاده شود. در روش‌های بدون نگهداری مانعی برای استفاده از میل‌مهار و یا پایه‌های سبک چوبی و یا فولادی به صورت موضعی وجود ندارد. در این روش، عرض پایدار حفریه با توجه به عمق و مشخصات مقاومتی سنگ‌های فراگیر آن تعیین می‌شود و عرض ایمن از چند متر تا چندین متر تغییر می‌کند.

اگر روش استخراج بدون نگهداری انتخاب شده روش اتاق و پایه یا روش کارگاه و پایه باشد، توجه به ملاحظات زیر در طراحی ضروری است:

- حفریات استخراجی (کارگاهی) اغلب افقی یا نزدیک به افقی‌اند.
- سیستم‌های نگهداری مصنوعی کم تا متوسط در حفریات مورد نیاز است.

اگر روش استخراج بدون نگهداری انتخاب شده است، روش انباره‌ای یا روش استخراج از طبقات فرعی باشد، توجه به ملاحظات زیر در طراحی ضروری است:

- حفریات استخراجی (کارگاهی) اغلب قائم یا بسیار پرشیب‌اند.
- نسبت ابعاد حفریه به ابعاد پایه‌ها زیاد است.

omoorepeyman.ir

- در اغلب حفریات، سیستم‌های نگهداری مصنوعی کم تا متوسط مورد نیاز است.

۳-۴-۲- روش استخراج اتاق و پایه

الف- ملاحظات مربوط به حفریات استخراجی

از دیدگاه ژئومکانیکی، ابعاد حفریه استخراجی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در طراحی روش اتاق و پایه است. در هنگام طراحی، ارتفاع حفریه برابر ضخامت ماده معدنی در نظر گرفته می‌شود، مگر آنکه لایه آن‌چنان نازک باشد که امکان کار برای تجهیزات مکانیزه میسر نباشد که در این صورت قسمتی از سنگ کف یا سقف نیز همراه با ماده معدنی برداشته می‌شود.

از دیدگاه تولید، عرض حفریات باید در حداکثر مقدار ممکن طراحی شود اما به دلایل ایمنی و کنترل سقف، به عنوان یک قاعده سرانگشتی، عرض حفریه در صورت استفاده از میل‌مهارها به عنوان نگهداری موضعی، ۶ متر و در صورت استفاده از وسیله نگهداری دیگری ۹ متر در نظر گرفته می‌شود.

بین دو حفریه مجاور، علاوه بر پایه‌های حایل باید پایه‌های زنجیری باقی گذاشته شود که برای طراحی آن‌ها می‌توان از فرمول ارایه شده در پیوست با عنوان "طراحی پایه‌های زنجیری" استفاده کرد.

برخی از شرایط مرتبط با ملاحظات ژئومکانیکی که در مجموع امکان بازیابی کامل پایه‌ها را فراهم می‌کنند و باید در نظر گرفته شوند عبارت‌اند از:

- سقف بلافصلی که مستلزم نگهداری جزیی است.
- وجود ضخامتی از روباره معادل چند برابر ضخامت توده سنگ که به سهولت تخریب می‌شود.
- ماده معدنی با ضخامت زیاد

ب- ملاحظات مربوط به محاسبات طراحی پایه

رابطه‌های محاسباتی مربوط به طراحی پایه در پیوست گزارش ارایه شده است. در این مورد توجه به نکات زیر حایز اهمیت است:

- تعیین مقاومت ابعاد بحرانی پایه‌ها مساله‌ای بسیار مهم است. برای بررسی اثر ابعاد می‌توان از مقایسه مقاومت نمونه‌های کوچک آزمایشگاهی با پایه‌های بزرگ برجا استفاده کرد.
- در طراحی پایه باید به تفاوت ضریب ایمنی مورد کاربرد برای فرمول‌های مختلف محاسبه مقاومت پایه توجه شود.
- در روابط مربوط به محاسبه مقاومت پایه، برای نسبت‌های عرض به ارتفاع بالا، رابطه هالند- گدی کمترین مقدار مقاومت را به دست می‌دهد.
- در فرمول بینیاوسکی بیشترین مقدار مقاومت در نظر گرفته می‌شود.
- نتایج پیش‌بینی فرمول‌های هالند و سالامون- مونرو تقریبا به هم نزدیک‌اند.

omoorepeyman.ir

- برای طراحی پایه‌ها در عمق‌های پایین‌تر که به معنی طراحی حفریاتی با نسبت‌های عرض به ارتفاع بالاتر است، فرمول‌های هالند، هالند- گدی، هوبرت- دوال- ونگ و سالامون- مونرو کاربرد ندارند و تنها فرمول بینیاوسکی برای نسبت عرض به ارتفاع ۱۰ تا ۱۲ نتیجه منطقی ارایه می‌دهد.

- برای پایه‌هایی که رفتار شکننده دارند، تحلیل الاستیک- پلاستیک ویلسون قابل استفاده است. استفاده از تحلیل تنش هوک ـ براون برای مقاومت توده سنگ نیز مناسب است.

- روش تحلیل الاستیک- پلاستیک ویلسون برای زغال نرم تا عمق ۷۰۰ متر و K=۳، با روش‌های تخریبی که باید عرض پایه‌های حایل یک‌دهم عمق به علاوه ۱۳٫۷ متر باشد، هم‌خوانی دارد.

- در بررسی الگوی توزیع تنش در پایه‌ها، علاوه بر خواص مکانیکی کانسار باید پارامترهای متعدد دیگری از جمله روباره، وزن مخصوص روباره، عرض حفریه، طول و عرض پایه و ضخامت لایه استخراج شده نیز در نظر گرفته شود.

- برای محاسبه تنش متوسط پایه‌ها می‌توان از نظریه سطح تاثیر، نظریه قوس فشار، خیز تیر، خیز پایه و ضریب توان باربر استفاده کرد. نظریه‌های خیز تیر و خیز پایه بر اساس رفتار الاستیک خطی استوارند و شرایط بارگذاری روباره را می‌توان با تقریب خوبی به صورت یک تیر یا یک صفحه ضخیم در نظر گرفت.

- در اکثر موارد، میزان بار محاسبه شده در نظریه سطح تاثیر حدود ۴۰ درصد بیشتر از مقدار واقعی آن است که در نهایت باعث اجرای پایه‌هایی با ابعاد بزرگتر و در نتیجه یک طراحی محافظه‌کارانه می‌شود. به عبارت دیگر بارگذاری پایه طبق نظریه سطح تاثیر محافظه‌کارانه است.

- به دلیل ایجاد تنش‌های بالا، ممکن است لازم باشد عرض پایه‌ها به نحوی طراحی شوند که از هم‌افزایی تنش‌ها، به ویژه در مورد راهروهای دارای عمر زیاد جلوگیری شود. برای پاسخگویی به چنین ضرورتی، عرض پایه باید حداقل سه برابر عرض حفریه در نظر گرفته شود.

۳-۴-۳- روش استخراج کارگاه و پایه

توصیه می‌شود روش کارگاه و پایه برای کانسارهای غیرزغالی نسبتا ضخیم تا ضخیم (بیش از ۶ متر) به کار رود. در این روش، بازیابی کامل پایه‌ها برای معادن سنگ سخت، نباید در طراحی مد نظر قرار گیرد.

در روش کارگاه و پایه می‌توان از ابتدا طراحی را بر مبنای حداکثر بازیابی یعنی بیشترین نسبت ممکن عرض کارگاه به عرض پایه انجام داد. علاوه بر نسبت عرض کارگاه به عرض پایه، عامل کلیدی از نقطه نظر تنش، نسبت عرض کارگاه به ارتفاع آن است زیرا تمرکز تنش با افزایش هر دو نسبت، افزایش می‌یابد.

برای روابط مختلف محاسبه مقاومت پایه با توجه به شرایط کاربرد، ضریب ایمنی از ۱٫۳۳ تا ۴ تغییر می‌کند که در زمان استفاده از رابطه‌های مختلف، این ضریب باید مورد توجه قرار گیرد.

omoorepeyman.ir

برای طراحی پایه‌ها و انجام محاسبات با توجه به شرایط طبیعی موجود در زیر زمین، باید مقاومت فشاری تک‌محوری حاصل از آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی مغزه‌ها ۲۰ تا ۲۵ درصد کاهش یابد و در رابطه‌های محاسبه مقاومت پایه که متغیرهای آن‌ها مقاومت فشاری، ارتفاع و عرض پایه است (مانند اوبرت- دوال) از مقاومت کاهش‌یافته استفاده شود.

چنانچه پس از استخراج به روش کارگاه و پایه، کارگاه‌ها پر شوند، مقاومت فشاری پایه‌ها به دلیل افزایش تنش‌های جانبی تا ۴ برابر افزایش می‌یابد.

در صورتی که سنگ و کانسنگ مقاوم نباشند، کنترل زمین مستلزم تقویت و نگهداری پشت سر یا قسمت‌های غیرفعال کارگاه به کمک وسایل نگهداری مصنوعی بیشتری است.

چنانچه ارتفاع حفریه به بیش از ۶ متر برسد، باید به جای روش کارگاه و پایه، از روش‌های دیگری مانند روش لقمه‌کنی یا پله‌کنی استفاده شود.

۳-۴-۴- روش انباره‌ای

یکی از عوامل کلیدی طراحی در استخراج انباره‌ای، ابعاد کارگاه است که تا حد زیادی به شکل و ابعاد کانسار بستگی دارد. کارگاه‌ها در کانسارهای نسبتا کم‌ضخامت باید به صورت طولی و در کانسارهای بزرگ یا ضخیم به صورت عرضی ایجاد شوند. عرض کارگاه‌ها از ۱ تا ۳۵ متر، طول آن‌ها از ۴۰ تا ۹۰ متر و ارتفاعشان از ۶۰ تا ۹۰ متر تغییر می‌کند.

اگر ابعاد ماده معدنی بزرگ و کارگاه‌های متعددی در کنار یکدیگر قرار گرفته باشند، برای کنترل زمین، باید لنگه‌های بین کارگاهی باقی گذاشته شود. لنگه‌های مرزی در دو طرف و لنگه‌های آستانه در پایین و بالای کارگاه‌ها، برجای می‌مانند.

در صورت ارزش اقتصادی بالای ماده معدنی، لنگه‌ها در مراحل بعدی بازیابی می‌شوند و در این صورت، باید مواد پرکننده به عنوان عامل دایمی کنترل زمین در کارگاه به کار رود.

۳-۴-۵- روش استخراج از طبقات فرعی

در این روش، عرض کارگاه از ۶ تا ۳۰ متر تغییر می‌کند، حداکثر طول کارگاه و حداکثر ارتفاع طبقات فرعی ۹۰ متر است. در طراحی این روش، علاوه بر ملاحظات ژئومکانیکی، ملاحظات مربوط به آتشباری و جابه‌جایی مواد از عمده‌ترین مسایل در تعیین ابعاد حفریات است.

در صورت موقتی بودن لنگه‌های آستانه، تاج و مرزی، غالبا پس از پر کردن کارگاه، این لنگه‌ها به شکل پسرو بازیابی می‌شوند.

omoorepeyman.ir

۳-۵- روش‌های استخراج با نگهداری

۳-۵-۱- ملاحظات کلی

هنگامی که حفریات بهره‌برداری قابلیت نگهداری به صورت باز یا پایداری برای مدت زمان قابل پیش‌بینی و لازم را بدون استفاده از سیستم نگهداری نداشته باشند، باید از روش‌های استخراج با نگهداری استفاده شود. در اینگونه روش‌ها، سیستم‌های نگهداری حفریات کارگاهی باید به نحوی انتخاب شوند که تحمل میزان قابل قبولی از همگرایی کنترل شده دیواره‌ها و جابه‌جایی زمین را داشته باشند.

در طراحی سیستم‌های نگهداری مصنوعی برای این روش‌های استخراج، باید یک ارزیابی ترجیحا کمی از ظرفیت تحمل بار و ساختار طبیعی سنگ انجام گیرد. برای این کار انجام آزمایش‌های مکانیک سنگ برای بررسی ویژگی‌های ساختاری سنگ برجا ضروری است.

۳-۵-۲- ملاحظات مربوط به طراحی در صورت پر کردن محل‌های استخراج شده

پر کردن علاوه بر کاربرد اصلی در روش کند و آکند، در برخی دیگر از روش‌ها مانند کارگاه و پایه، ستونی، کرسی‌چینی و جبهه‌کار بلند نیز به کار می‌رود. مراحل طراحی در صورت استفاده از پر کردن به شرح زیر است (رابطه-های محاسباتی مربوط در بخش پیوست ارایه شده است.).

مرحله اول: روش استخراج تعیین شود.

مرحله دوم: با توجه به سیستم استخراج مشخص شده در مرحله اول، اهداف به کارگیری روش پر کردن تعیین شود.

مرحله سوم: با توجه به اهداف و شرایط استخراج، ویژگی مواد پرکننده تعیین شود.

مرحله چهارم: سیستم عملیاتی مناسب برای تطابق خواص مواد استخراجی و خواص تعریف شده برای مواد پرکننده تعیین

شود. این عملیات شامل تهیه مواد پرکننده، حمل مواد پرکننده، استقرار مواد پرکننده و کنترل کیفی عملیات و کنترل زیست‌محیطی است. در این مرحله باید از اطلاعات حاصل از ابزاربندی برای اصلاح پارامترهای طراحی اولیه استفاده شود.

مرحله پنجم: عملیات استخراج به همراه پر کردن از نظر اقتصادی ارزیابی شود.

مرحله ششم: فرآیند عملیات استخراج و پر کردن مستندسازی شود.

در روش‌های درگیر با پر کردن توجه به نکات زیر سودمند است:

- چنانچه از مواد پرکننده سیمانی برای پر کردن استفاده می‌شود، توالی پر کردن کارگاه‌ها باید به موازات توالی استخراج برای تعیین پتانسیل زون‌های گسیختگی در مواد پرکننده انجام شود.

omoorepeyman.ir

- در طراحی کارگاه‌های عملیاتی در روش پر کردن باید توده برجای اولیه به صورت خودپایدار باشد و نقش آن به عنوان یک عنصر ساختاری در معدن مورد توجه قرار گیرد.

- پیشنهاد می‌شود برای نگهداری جبهه‌کار در معادن عمیق رگه‌ای، از مواد پرکننده نرم استفاده شود.

- نسبت بهینه آب به سیمان برای روش پرکردن با خرده سنگ‌های سیمانی شده[1] ۰/۸ به ۱ است.

- معمولا تناژ مواد مورد نیاز برای پر کردن، حدود ۵۰ درصد تناژ مواد استخراج شده است.

- پر کردن به روش هیدرولیکی ۵۰ درصد تخلخل دارد که موجب می‌شود بعد از ۲۴ ساعت، مسیرهای اطراف حفریه پر شده قابل تردد باشد.

- مقاومت مواد پرکننده سیمانی را می‌توان با کاهش آب تا ۳۰ درصد افزایش داد.

- چنانچه میزان مواد پوزولانی در دوغاب پرکننده سیمانی به ۵۰ درصد برسد، مقاومت آن به سرعت کاهش و زمان گیرش آن به شدت افزایش می‌یابد.

- مقاومت مواد پرکننده سیمانی مورد استفاده در معادن حدود $\frac{۲}{۳}$ مقاومت حاصل از آزمون نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵۰ میلی‌متری و حدود ۹۰ درصد مقاومت حاصل از نمونه‌های استوانه‌ای ۳۰۰ میلی‌متری است.

۳-۵-۳- روش کند و آکند

- ابعاد کارگاه علاوه بر ملاحظات ژئومکانیکی و نحوه پر کردن، تابع عوامل مکانیکی مانند سهولت دسترسی، قابلیت برنامه‌ریزی تجهیزات و الزامات آهنگ تولید نیز است.

- بسته به ملاحظات ژئومکانیکی و پر کردن، ارتفاع کارگاه از ۴۵ تا ۹۰ متر و عرض آن از ۲ تا ۳۰ متر تغییر می‌کند.

- طول کارگاه بسته به تجهیزات مکانیکی، از ۶۰ تا ۶۰۰ متر تغییر می‌کند.

- زمان پر کردن در روش کند و آکند عامل اصلی موفقیت در این روش است و مواد پرکننده برای تحمل بارهای فشاری بسیار زیاد باید به موقع جایگزین کانسنگ استخراجی شود.

۳-۵-۴- روش ستونی

توصیه می‌شود تحت شرایط نامناسب زمین از پایه‌های فولادی، جک‌ها، چوب‌بست‌ها یا سازه‌های خرپایی، قاب‌های قوسی و وسایل نگهداری قدرتی و در شرایط مناسب زمین از میل‌مهارها، توری سیمی، کابل‌های مهاری و شاتکریت استفاده شود.

در روش استخراج ستونی، از طراحی پایه‌های منظم در کارگاه استخراج اجتناب می‌شود. بهتر است قطعاتی از باطله به صورت نامنظم و با ابعاد کوچک، به عنوان پایه در کارگاه باقی گذاشته شود و برای کنترل زمین برای مدت زمان طولانی‌تر، کارگاه‌ها به صورت متناوب پر شوند.

1- Cemented rock fill

omoorepeyman.ir

۳-۵-۵- روش کرسی‌چینی

در این روش پایداری سازه‌های چوبی از طریق پر کردن متناوب و یا کلی حاصل می‌شود. در واقع بخش عمده فشار زمین نه به وسیله کرسی‌های چوبی، بلکه به کمک مواد پرکننده تحمل می‌شود.

عرض کرسی‌ها ۱٫۸ تا ۲٫۴ متر و ارتفاع آن‌ها ۲٫۴ تا ۳ متر است. معمولا ابعاد مقطع چوب‌های چهارگوش از ۲۰۳×۲۰۳ میلی‌متر تا ۳۰۵×۳۰۵ میلی‌متر تغییر می‌کند. کرسی‌ها باید طوری در نظر گرفته شوند که محور هر یک از قطعات آن‌ها موازی محورهای سه تنش اصلی زمین در آن محل باشد.

در کارگاه‌هایی که استخراج به روش کرسی‌چینی انجام می‌شود می‌توان با باقی گذاشتن پایه‌هایی از مواد معدنی کم‌عیار یا باطله، نگهداری را تقویت کرد.

۳-۵-۶- روش استخراج جبهه‌کار بلند

روش جبهه‌کار بلند در کانسارهای افقی، لایه‌ای و عمدتا در زغال‌سنگ و سایر روش‌های یاد شده در کانسارهای شیبدار یا قائم و توده‌ای به کار می‌رود.

عوامل موثر در طراحی روش جبهه‌کار بلند شامل جهت استخراج، ابعاد حفریات و نوع تجهیزات مورد استفاده است.

نشست زمین باید به عنوان یکی از خطرات روش جبهه‌کار بلند مورد توجه قرار گیرد. با توجه به ارتفاع روباره و افق استخراج شده، تخریب و ریزش لایه‌های بالای حفریه استخراج شده ممکن است از افق در حال استخراج تا سطح زمین گسترش یابد.

الف- روش جبهه‌کار بلند در سنگ سخت

در طراحی این روش رفتار سنگ در محدوده استخراج شبه‌پیوسته در نظر گرفته می‌شود که این فرض ممکن است به دلیل ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ و پدیده ترکیدن سنگ مورد خدشه قرار گیرد.

ترکیدن سنگ که اثرات مخربی بر روی سنگ محدوده استخراج به ویژه در جبهه‌کار دارد، عمدتا از دو نوع ناپایداری سنگ ناشی می‌شود:

- لغزش‌های گسلی که به زمین‌لرزه‌های طبیعی شباهت دارند.
- خردایش ناپایدار پایه یا دیواره حایل

در طراحی می‌توان روش‌های زیر را برای کنترل آهنگ آزادسازی انرژی پیش‌بینی کرد:

- تامین سیستم نگهداری فعال برای کمربالا با استفاده از حایل‌های هیدرولیکی در نزدیکی جبهه‌کار و استفاده از نگهداری ستونی در فضای پشت حایل‌ها
- انجام استخراج مرحله‌ای، از طریق باقی‌گذاشتن پایه‌هایی عموما در امتداد لایه، با فاصله‌داری منظم در طول کارگاه
- استفاده از باطله و ماسه برای پر کردن حفریه استخراجی برای کاهش همگرایی و تامین نگهداری منطقه‌ای

omoorepeyman.ir

در استخراج سنگ‌های سخت باید از چرخه تولید غیرپیوسته یعنی چالزنی، آتشباری، بارگیری و باربری به همراه کنترل زمین استفاده کرد که مشابه چرخه عملیات در روش کارگاه و پایه است.

ترکیدن سنگ خطر بالقوه‌ای است که در روش جبهه‌کار بلند معمولا در اعماق زیاد اتفاق می‌افتد و باید در هنگام طراحی مد نظر قرار گیرد.

ب- روش جبهه‌کار بلند در زغال‌سنگ

در این روش ممکن است طول جبهه‌کار به صدها متر و عرض برش به چند متر برسد. در طراحی جبهه‌کار، عرض و طول پهنه معمولا به صورت تجربی و بر اساس اندازه و شکل ذخیره زغال، شرایط زمین‌شناسی، محل سازه‌های سطحی و ظرفیت حمل و نقل، تهویه و تجهیزات تعیین می‌شود. طول راهروهای پهنه، بسته به تعداد راهروها از ۳۰ تا ۱۱۰ متر تغییر می‌کند. کف جبهه‌کار یا کمرپایین باید استحکام کافی داشته باشد تا یک پی محکم را برای وسایل نگهداری سقف تامین کند.

۳-۶- روش‌های استخراج تخریبی

۳-۶-۱- ملاحظات کلی

روش‌های تخریبی توان تولید بسیار بالا و هزینه پایینی دارند ولی کاربرد آن‌ها به دلیل ملزومات ابعادی و نشست زمین، با محدودیت‌هایی مواجه است. در این روش‌ها باید از وقوع تخریب اطمینان حاصل شود و برای جلوگیری از انقطاع یا توقف تخریب، سطح تولید باید ثابت و پیوسته نگه داشته شود.

در روش‌های تخریبی، حفریات آماده‌سازی باید به گونه‌ای طراحی و جانمایی شوند که گسترش نشست سطح زمین که با جابه‌جایی یا تخریب همراه است به آن‌ها آسیبی وارد نکند.

در روش‌های تخریبی برای قابلیت تخریب کانسنگ یا سنگ معمولا از شاخص تجربی تخریب‌پذیری استفاده می‌شود. یک قاعده سرانگشتی در قابلیت تخریب‌پذیری ماده معدنی این است که ۵۰ درصد قطعات ماده معدنی در ابعادی حداکثر ۱٫۵ متر یا کمتر بشکنند.

۳-۶-۲- روش تخریب در طبقات فرعی

کنترل زمین مهم‌ترین فعالیت جانبی در روش تخریب در طبقات فرعی است و عوامل طراحی در این روش تا حد زیادی تابع مکانیک تخریب است. در این روش فاصله بهینه طبقات فرعی ۹٫۱ تا ۱۳٫۷ متر، فاصله بین مراکز میانبرها ۷٫۶ تا ۱۰٫۷ متر و ابعاد میانبرها ۲٫۷ تا ۴٫۲۵ متر است. برای نگهداری‌های جانبی از میل‌مهار، ستون‌های چوبی یا بتن‌پاشی استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

۳-۶-۳- روش تخریب توده‌ای

در طراحی این روش، فاصله دهانه‌های تخلیه با استفاده از میزان تخریب‌پذیری کانسنگ تعیین می‌شود و عوامل طراحی تا حد زیادی تابع مکانیک تخریب است.

در روش تخریب توده‌ای در کانسنگ‌های ضعیف یا به شدت درزه‌دار که مواد در ابعاد ریز خرد می‌شوند، می‌توان به آهنگ تخلیه بالا دست یافت. در سنگ‌های محکم‌تر با ترک‌های کمتر می‌توان از روش تخریب پهنه‌ای استفاده کرد.

برای کاهش هزینه‌های آماده‌سازی، باید ارتفاع بلوک‌های کانسنگ و پهنه‌ها، تا حد ممکن بزرگ در نظر گرفته شود. ارتفاع پهنه‌ها تابع پارامترهای فضایی و زمین‌شناسی کانسار است و از ۳۰ متر برای کانسارهای کوچک تا ۱۸۰ متر برای کانسارهای بزرگ تغییر می‌کند. ارتفاع نهایی کانسنگ و حفریه تخریب ممکن است به ۴۵۰ تا ۱۲۰۰ متر برسد.

در این روش غالبا تقویت زمین به کمک نگهداری‌های مصنوعی در حفریات آماده‌سازی ضروری است، زیرا به علت وسعت زیاد حفریات و تناژ بالای ماده معدنی استخراجی، همیشه احتمال خطر ریزش، سقوط قطعات سنگ و انفجار هوا وجود دارد.

در این روش به عنوان نگهداری‌های جانبی استفاده از میل‌مهار، شاتکریت، کابل مهاری، توری‌های سیمی یا قاب‌های فلزی توصیه می‌شود.

در صورتی که کانسنگ (یا سنگ) در بالای بخش تخلیه، طاق‌های قوسی پایدار تشکیل دهد و یا ابعاد قطعات پس از آتشباری بیش از حد بزرگ باشد طوری که از دهانه‌های تخلیه، قیف‌ها، دویل‌های پنجه‌ای و نظایر آن عبور نکند، ایمنی و اثربخشی تخریب کاهش می‌یابد.

از جدول ۳-۲ می‌توان برای انتخاب اولیه ابعاد زیربرش مورد نیاز در تخریب توده‌ای کانسنگ‌ها استفاده کرد. آماده‌سازی تراز زیربرش تاثیر مهمی بر تنش‌های القا شده در پایه استخراجی و بازکننده‌های هم‌تراز دهانه تخلیه و پایداری آن‌ها دارد.

جدول ۳-۲- کارآیی تخریب رده‌های ژئومکانیکی گوناگون در توده سنگ

رده ژئومکانیکی	۱	۲	۳	۴	۵
تخریب‌پذیری	نامناسب	ضعیف	مناسب	خوب	خیلی خوب
اندازه خردایش	-	بزرگ	متوسط	کوچک	خیلی کوچک
نیاز به آتشباری ثانویه	-	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
ابعاد زیربرش (شعاع هیدرولیکی معادل) (متر)	-	۳۰	۲۰ تا ۳۰	۸ تا ۲۰	۸

در روش‌های استخراج تخریبی، سنگ ضعیف نسبت به سنگ مستحکم و سنگ گسیخته نسبت به سنگ بکر برتری دارد. پیشروی تونل‌های زیربرش نباید جلوتر از بلوک تخریب شده باشد، یعنی استخراج یک بلوک جدید باید به صورت

omoorepeyman.ir

پسرو نسبت به بلوک تخریب شده مجاور انجام شود. این کار از ایجاد پایه‌های بالقوه تحت تنش زیاد بین دو بلوک جلوگیری می‌کند.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پیوست

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

پ-۱- طراحی پایه

پ-۱-۱- روش طراحی پایه‌ها

برای طراحی پایه‌ها می‌توان از رابطه‌های جدول پ-۱ استفاده کرد.

جدول پ-۱- مراحل طراحی پایه‌ها

مرحله طراحی	کمیت محاسبه/ بررسی شده	رابطه
۱	مقاومت تک‌محوری، نمونه‌های مغزه‌گیری شده	-
۲	تعیین مقدار K بر اساس مقاومت فشاری (σ_C)	$K = \sigma_C \sqrt{D}$ (پ-۱)
۳	تعیین مقاومت پایه	-
۴	تعیین ابعاد دهانه سقف	-
۵	تعیین مقدار بار موثر بر پایه	$S_p = 1.1H\left[\frac{W+B}{W}\right]\left[\frac{1+B}{W}\right]$ (پ-۲)
۶	تعیین ضریب ایمنی	$F = \frac{\sigma_P}{S_p}$ (پ-۳)
۷	بررسی سوددهی فعالیت استخراجی بر اساس درصد استخراج	$e = 1 - \left[\frac{W}{W+B}\right]\left[\frac{L}{L+B}\right]$ (پ-۴)
۸	اگر درصد استخراج قابل قبول نباشد، باید با کاهش عرض پایه W، مقدار آن را افزایش داد. از مرحله ۷ عرض پایه و طول پایه متناسب با درصد استخراج مورد نظر محاسبه و سپس بررسی شود که آیا این مقادیر از نظر پایداری معدن قابل قبول است.	
۹	باید از قضاوت مهندسی، با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف زمین‌شناسی و معدنی برای رسیدن به طرح‌های مختلف استخراج استفاده شود. اثر شرایط کف هم حتما باید مد نظر قرار گیرد.	

در رابطه‌های مندرج در جدول پ-۱ مفاهیم نمادها به شرح زیر است:

D قطر نمونه (اینچ)

K ضریب تصحیح مقاومت

σ_C مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه آزمایشگاه با قطر یا ابعاد مکعبی D (psi)

S_p بار پایه یا متوسط تنش پایه (psi)

H عمق (فوت)

W عرض پایه (فوت)

L طول پایه (فوت)

B عرض داخلی (فوت)

σ_P مقاومت پایه (Psi)

e درصد استخراج

omoorepeyman.ir

پ-۱-۲- رابطه بین مقاومت نمونه‌های آزمایشگاهی و برجا

الف- برای پایه‌های مکعبی شکل با ارتفاع بیشتر از ۰/۹ متر

(پ-۵)

$$\sigma_1 = \frac{K}{\sqrt{36}}$$

ب- برای پایه‌های مکعبی شکل با ارتفاع کمتر از ۰/۹ متر

(پ-۶)

$$\sigma_1 = \frac{K}{\sqrt{h}}$$

که در آن:

σ_C مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه آزمایشگاه با قطر یا ابعاد مکعبی D (اینچ)

σ_1 مقاومت پایه (psi)

D قطر نمونه (اینچ)

h ارتفاع پایه (اینچ)

K ضریب تصحیح مقاومت

پ-۱-۳- مقاومت پایه

رابطه‌های مربوط به محاسبه مقاومت پایه و شرایط کاربرد آن‌ها در جدول پ-۲ ارایه شده است.

omoorepeyman.ir

جدول پ-۲- روابط محاسبه مقاومت پایه

نام فرمول	رابطه	شرایط کاربرد	توضیحات
اوبرت- دوال- ونگ[1]	$\sigma_P = \sigma_1\left(0.778 + 0.222\frac{W}{h}\right)$ (پ-۷)	برای نسبت‌های عرض به ارتفاع ۰٫۲۵ تا ۴	σ_P مقاومت پایه σ_1 مقاومت تک‌محوری نمونه مکعبی‌شکل w و h ابعاد پایه ضریب ایمنی ۲ تا ۴
هالند- گدی[2]	$\sigma_P = \frac{k\sqrt{W}}{h}$ (پ-۸)	برای نسبت عرض به ارتفاع ۲ تا ۵	K فاکتور گدی w و h ابعاد پایه (اینچ) σ_P مقاومت پایه (Psi) متوسط ضریب ایمنی ۲
هالند[3]	$\sigma_P = \sigma_1\sqrt{\frac{W}{h}}$ (پ-۹)	برای همه شرایط	σ_1 مقاومت پایه مکعبی متوسط ضریب ایمنی ۲
سالامون- مونرو[4]	$\sigma_P = 7.2\frac{W^{0.46}}{h^{0.66}}$ (پ-۱۰)	برای همه شرایط	σ_P مقاومت (MPa) W و h (متر) ضریب ایمنی ۱٫۳۳ تا ۱٫۸۸
بینیاوسکی[5]	$\sigma_P = \sigma_1\ (0.64 + 0.36\ W/h)$ (پ-۱۱)	برای نسبت‌های عرض به ارتفاع تا ۱۰	σ_P مقاومت پایه W عرض پایه h ارتفاع پایه σ_1 مقاومت نمونه مکعبی شکل با اندازه بحرانی یا بزرگتر (به عنوان مثال حدود یک متر برای زغال‌سنگ) است. ضریب ایمنی ۱٫۵ تا ۲

پ-۱-۴- تعیین بار پایه‌ها (نظریه ناحیه فرعی)

الف- برای پایه‌های مربعی شکل (W=L)

$$S_p = 1.1H\left[\frac{W+D}{W}\right]^2$$ (پ-۱۲)

که در آن:

S_p بار پایه یا متوسط تنش پایه (psi)

H عمق (فوت)

W عرض پایه (فوت)

L طول پایه (فوت)

B عرض داخلی (فوت)

1- Obert-Duval-Wang
2- Holland-Gaddy
3- Holland
4- Salamon-Monro
5- Bieniawski

omoorepeyman.ir

عبارت ۱٫۱H را می‌توان با تنش دست نخورده S_v که از وزن روباره γH حاصل می‌شود، جایگزین کرد که در آن γ وزن مخصوص روباره است.

ب- برای پایه‌های مستطیلی با فرض درصد استخراج e، می‌توان از روابط پ-۱۳ و پ-۱۴ استفاده کرد.

$$e = 1 - \left[\frac{W}{W+B}\right]\left[\frac{L}{1+B}\right] \quad (پ-۱۳)$$

$$S_p = \frac{1.1H}{1-e} \quad (پ-۱۴)$$

پ-۱-۵- محاسبه تنش متوسط وارد بر پایه‌ها

الف- نظریه سطح تاثیر[1]

روابط محاسباتی مربوط به نظریه سطح تاثیر در جدول پ-۳ ارایه شده است.

جدول پ-۳- روابط محاسباتی نظریه سطح تاثیر

رابطه	پارامترها	توضیحات
$R = \frac{A_m}{A_t} = \frac{A_t - A_p}{A_t}$ (پ-۱۵)	R: ضریب بازیابی	A_t سطح تاثیر پایه A_P سطح پایه A_m سطح استخراج‌شده σ_V تنش قائم
$S_P = \frac{1}{\frac{A_t - A_m}{A_t}}\sigma_V = \frac{1}{1-\frac{A_m}{A_t}}\sigma_V$ $S_P = \frac{1}{1-R}\sigma_V$ (پ-۱۶)	S_p: تنش متوسط وارد بر پایه	

ب- نظریه قوس فشار[2]

$$W_{pa}=0.15H+60 \quad (پ-۱۷)$$

که در آن:

W_{pa} حداقل عرض قوس فشار (فوت)

H عمق فضا تا سطح زمین (فوت)

معمولا عرض پایه بیش از ۷۵ درصد عرض قوس فشار نیست.

2- Represeatative area thoery (tribaaty area thoery)
2- Arc presure thoery

omoorepeyman.ir

پ-۱-۶- تعیین ابعاد پایه‌های زنجیری

الف- محاسبه اندازه پایه‌های زنجیری

$$L = .6H - 1.2\left[\frac{H^2}{4} - \frac{5}{3}\left(\frac{AW}{W+C} \times \frac{\sigma_p}{24.9SF} - AH - \frac{S.H}{2}\right)\right]^{0.5} \quad \text{(پ-۱۸)}$$

که در آن:

SF ضریب ایمنی برای مقاومت پایه‌ها

W ارتفاع پایه زنجیری

C عرض برش

S عرض ورودی

A عرض پایه‌های زنجیری

H ارتفاع روباره

L عرض قطعه

ب- طراحی پایه‌های زنجیری بر اساس نتایج آماری حاصل از تحلیل اجزای محدود سه‌بعدی

$$\log W_p = -4.676\times10^{-3}\frac{E_i}{E_c} - 4.04\times10^{-3}\frac{E_m}{E_c} - 3.33\times10^{-2}\log\left(\frac{E_f}{E_c}\right) - 0.0789\log\sigma_{oc} + 0.5144\log h + 0.0494\log\left(\frac{L_p}{2}\right) + 0.1941\log P_w \quad \text{(پ-۱۹)}$$

که در آن:

W_P عرض پایه (فوت)

H عمق روباره (فوت)

L_P طول قطعه (فوت)

P_W عرض قطعه (فوت)

σ_{OC} مقاومت فشاری تک‌محوری برجا (psi)

E_i مدول یانگ سقف بلافصل (psi)

E_c مدول الاستیسیته زغال (psi)

E_m مدول الاستیسیته سقف اصلی (psi)

E_f مدول الاستیسیته کف (psi)

پ-۱-۷- تحلیل پایداری پایه‌های جبهه‌کار بلند (ALPS)

ابتدا میزان بار حاصل از پیشروی در دهانه ورودی یا L_t (فوت) تعیین می‌شود.

omoorepeyman.ir

$$L_t = (H)(W_t)(\gamma)$$ (پ-۲۰)

فشار جانبی (L_s یا L_{ss})، درصد بارهای جانبی که به پایه‌های زنجیری اعمال شده است (R) و فاکتورهای جانبی در قسمت جلو F_h، F_t پارامترهای لازم برای تخمین بار جانبی مورد نیاز است.

برای قطعات بحرانی و فوق بحرانی که شرایط $P \geq 0.77\,H$ معتبر است فشار جانبی در هر فوت دهانه ورودی L_s را می‌توان از رابطه پ-۲۱ تخمین زد.

(پ-۲۱)

$$L_S = 0.38(H^2)(\gamma / 2)$$

برای قطعاتی که شرایط $P \geq 0.77\,H$ برقرار است فشار جانبی (L_{ss}) از رابطه پ-۲۲ حاصل می‌شود.

$$L_{SS} = \left(\frac{HP}{2} - \frac{P^2}{3.1}\right)\gamma$$ (پ-۲۲)

درصدی از بار جانبی که به پایه‌های زنجیری وارد می‌شود از رابطه پ-۲۳ برآورد می‌شود.

$$R = 1 - \frac{(D - Wt)^3}{D}$$ (پ-۲۳)

در رابطه پ-۲۳، D برابر حد نهایی ناحیه متاثر از فشار جانبی و برابر $9.3\sqrt{H}$ است.

برای تخمین بخشی از فشار جانبی که در محل تقاطع T شکل وجود دارد (با استفاده از فاکتور فشار جانبی جلو، F_h برای فشار جانبی اولیه که در دهانه‌های جلو قرار دارد و F_t برای فشار جانبی ثانویه جلو که به دهانه عقب اعمال شده مورد نیاز است. مقادیر پیشنهادی برای این فاکتورها $F_h = 0.5$ و $F_t = 0.7$ است که در اندازه‌گیری‌های صحرایی به دست آمده‌اند.

باری که بر پایه‌ها در محل تقاطع T شکل در دهانه جلو و یا دهانه عقب در حین عملیات استخراج اولین قطعه وارد می‌شود بار دهانه جلو نامیده می‌شود. بار دهانه جلو L_H شامل بار حاصل از پیشروی به علاوه بار جانبی جلو است.

(پ-۲۴)

$$L_H = L_t + (L_s)(F_h)(R)$$

پایه‌هایی که باید بار ورودی‌های ریزشی[1] را تحمل کنند وابسته به بار حاصل از پیشروی‌اند یعنی:

$$L_B = L_t(L_s)(R)$$ (پ-۲۵)

بار پایه‌های حصاری[2] را می‌توان از رابطه پ-۲۵ با فرض R=۱ محاسبه کرد.

بیشترین بار در روش جبهه‌کار بلند، بار دهانه خروجی (L_T) است که هنگام استخراج به قطعات دوم به بعد وارد می‌شود. بار دهانه عقب از رابطه پ-۲۶ محاسبه می‌شود.

1- Bleeder
2- Barrier pillar

omoorepeyman.ir

$$L_T = L_t + L_s(1+F_t)$$ (پ-۲۶)

پس از طراحی، تعیین ظرفیت باربری سیستم پایه‌ها انجام می‌شود.

ابتدا باید مقاومت هر پایه به صورت جداگانه با استفاده از فرمول بینیاوسکی تخمین زده می‌شود (رابطه پ-۲۷).

$$\sigma_P = \sigma_1(0.64 + 0.36W / h)$$ (پ-۲۷)

سپس ظرفیت باربری سیستم پایه‌ها به ازای هر فوت از ورودی LB محاسبه می‌شود که شامل مجموع مقاومت هر پایه به صورت جداگانه است (رابطه پ-۲۸).

$$LB = \sum\left[(\sigma_p)\ (w)(L)\right]\left[\frac{144}{(L+B_e}\right]$$ (پ-۲۸)

پس از محاسبه بار و مقاومت پایه‌ها، ضریب ایمنی طبق رابطه پ-۲۹ محاسبه می‌شود.

$$SF = \frac{LB}{L_{\max}}$$ (پ-۲۹)

مرحله نهایی، مقایسه ضریب ایمنی حاصل از تحلیل با ضریب ایمنی پیشنهادی است.

اگر تجربه‌ای از دیگر کارهای جبهه‌کار بلند در دسترس نباشد، SF=۱/۳ مقدار محافظه‌کارانه‌ای برای پایه‌های زنجیری است.

پ-۲- پر کردن

پ-۲-۱- تعیین مقدار مواد پرکننده مورد نیاز

مقدار مواد پرکننده مورد نیاز از رابطه پ-۳۰ محاسبه می‌شود.

$$Q_F = k\gamma v$$ (پ-۳۰)

که در آن:

Q_F مقدار مواد پرکننده مورد نیاز (تن در هر سال)

V حجم کارگاه مورد نظر برای پرکردن (مترمکعب در هر سال)

K ضریب افت (معمولا ۱/۰۲ در نظر گرفته می‌شود.)

γ وزن مخصوص مواد پرکننده (تن بر مترمکعب که برابر است با $\gamma_t + C_o$)

پ-۲-۲- تعیین ضرایب استقرار مواد پرکننده

الف- برای سنگ باطله

$$N_R = 0.71\frac{\gamma_R}{\gamma_o}$$ (پ-۳۱)

ب- برای باطله آسیا و شن و ماسه رودخانه‌ای

omoorepeyman.ir

$$N_T = 0.64\frac{\gamma_T}{\gamma_o} \quad (پ-۳۲)$$

در این رابطه‌ها:

N_R ضریب استقرار سنگ باطله

N_T ضریب استقرار باطله آسیا و شن و ماسه رودخانه‌ای

γ_R وزن مخصوص باطله (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

γ_o وزن مخصوص کانسنگ (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

γ_T وزن مخصوص باطله آسیا یا شن و ماسه رودخانه‌ای (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

پ-۲-۳- محاسبه آب مورد نیاز

نسبت آب به مواد پرکننده از رابطه پ-۳۳ قابل محاسبه است.

$$\frac{W}{G} = \left(\frac{1-C_r}{C_r} - \frac{1-C_B}{C_B}\right)\frac{G_w}{G} + \left(\frac{1-C_g}{C_g}\right) - \left(\frac{1-C_r}{C_r}\right)\frac{G_w}{G} + 0.23\frac{G_c}{G} + K_o\frac{1}{C_g} \quad (پ-۳۳)$$

که در آن:

W کل آب مورد نیاز برای مواد پرکننده سیمان شده

G وزن مواد پرکننده (تن در هر سال)

G_w وزن باطله (تن در هر سال)

G_c وزن سیمان (تن در هر سال)

C_B میزان تغلیظ باطله اشباع شده (پیشنهاد: ۸۲ درصد)

C_F میزان تغلیظ دوغاب خروجی از سیلو (پیشنهاد: ۷۲ درصد)

C_g میزان تغلیظ دوغاب ریخته شده در فضای زیرزمینی (پیشنهاد: ۶۵-۸۵ درصد)

K_o ضریب حجمی آب تزریق شده به دوغاب (پیشنهاد: ۰/۰۴)

Q_m حجم دوغاب ریخته شده در فضای زیرزمینی (تن بر سال)

$\frac{G_w}{G}$ نسبت وزنی باطله به سیمان

نسبت آب به سنگ باطله یا ماسه از رابطه پ-۳۴ محاسبه می‌شود.

$$\frac{W}{G} = \left(\frac{1-C_g}{C_g}\right) + 0.23\frac{G_c}{G} + K_o\frac{1}{C_g} \quad (پ-۳۴)$$

چنانچه سنگ باطله یا ماسه به وسیله لوله حمل نشوند، نسبت آب به جامد در ماده پرکننده از رابطه پ-۳۵ محاسبه می‌شود.

omoorepeyman.ir

$$\frac{W}{G}=\left(\frac{1-C_g}{C_g}\right)+0.23\frac{G_c}{G}$$ (پ-۳۵)

omoorepeyman.ir

عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های معدنی، واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف معدنی	۳۲۸	-
۲	مراحل مختلف اکتشاف زغال‌سنگ	۳۵۱	-
۳	دستورالعمل رده‌بندی ذخایر معدنی	۳۷۹	-
۴	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های اکتشافی	٤۹۸	۱۳
۵	دستورالعمل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی- اکتشافی بزرگ‌مقیاس (مقیاس‌های ۱:۲۵,۰۰۰ و ۱:۲۰,۰۰۰ و رقومی کردن آن‌ها)	۵۳۲	۲۰
۶	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف سنگ آهن	۵۳٦	۱۷
۷	علایم استاندارد نقشه‌های زمین‌شناسی	۵۳۹	۲۳
۸	دستورالعمل اکتشاف ژئوشیمیایی بزرگ‌مقیاس رسوبات آبراهه‌ای (۱:۲۵,۰۰۰)	۵٤۰	۲٤
۹	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف مس	۵٤۱	۲۵
۱۰	فهرست خدمات اکتشافی سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (باریت، بنتونیت، زئولیت، سلستین، سیلیس، فلدسپار، فلوئورین)	۵٦٦	۳٦
۱۱	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵٦۷	۳۷
۱۲	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف سرب و روی	۵۸۱	٤۰
۱۳	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی اکتشافی به روش‌های مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی و لرزه‌نگاری در اکتشافات معدنی	۵۹٤	۲۸
۱۴	فهرست خدمات مراحل چهارگانه اکتشاف آنتیموان	۵۹۵	۳٤
۱۵	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف کانی‌ها و سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی	۵۹۹	٤۳
۱۶	فهرست خدمات و راهنمای مطالعات دورسنجی در اکتشاف مواد معدنی	٦۱۵	٤۵
۱۷	فهرست خدمات و دستورالعمل مراحل مختلف اکتشاف مواد اولیه تولید انواع سیمان	٦۱۷	٤۷
۱۸	فهرست خدمات و دستورالعمل بررسی‌های چاه‌پیمایی	٦۱۸	٤۸
۱۹	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف عناصر نادر خاکی	٦٤۸	۵۱
۲۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف قلع	٦٤۹	۵۲
۲۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری عناصر در کانسنگ آهن	٦۵۲	۵٤
۲۲	دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر در نمونه‌های اکتشافی	٦۵۵	۵۵
۲۳	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی محیط‌های سنگی در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰	٦۷۱	٦۲
۲۴	دستورالعمل یکسان‌سازی اسامی مواد معدنی	۲۳۱	٦۵
۲۵	راهنمای مطالعات ژئوفیزیکی به روش‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی، الکترومغناطیسی و پتانسیل خودزا در اکتشافات معدنی	۵۳۳	٦٦
۲۶	دستورالعمل تهیه گزارش پایان عملیات اکتشافی	٤۹۵	۷۰
۲۷	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف طلا	۷۰۳	۷۵
۲۸	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت فلزات گرانبها (طلا، نقره و گروه پلاتین)	۷۰٤	۷۸
۲۹	دستورالعمل تهیه طرح اکتشاف مواد معدنی	۷۱۳	۸۰
۳۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف گچ و نمک	۷۲۱	۸۱
۳۱	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت فلزات پایه (مس، روی و سرب)	۷۲۷	۸۲
۳۲	فهرست خدمات اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (پرلیت، دیاتومیت و ورمیکولیت)	۷۲۸	۸۳
۳۳	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی خاک در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰	۷۳۰	۸۵

omoorepeyman.ir

عناوین پروژه‌های اکتشاف برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۳۴	راهنمای مطالعات GIS در مقیاس ناحیه‌ای و تعیین نواحی امیدبخش	۷۳۹	۸۷
۳۵	دستورالعمل اکتشاف ناحیه‌ای طلا به روش بلگ	۷۵۱	۹۱
۳۶	دستورالعمل فعالیت‌های زمین‌شناسی استخراجی	۷۵۵	۹۳
۳۷	دستورالعمل اکتشاف مواد معدنی به روش هیدروژئوشیمیایی	۷۷٤	۱۰۱
۳۸	دستورالعمل اکتشافات ژئوشیمیایی به روش‌های بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی	۷۸۰	۱۰۷
۳۹	دستورالعمل آماده‌سازی و اندازه‌گیری غلظت عناصر نادر خاکی	در دست تدوین	
۴۰	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف شورابه‌ها	در دست تدوین	
۴۱	فهرست خدمات و دستورالعمل اکتشاف سنگ‌ها و کانی‌های صنعتی (نسوزها): خاک نسوز، منیزیت– هونتیت، بوکسیت، نسوزهای آلومینو سیلیکاته (کیانیت، سیلیمانیت و آندالوزیت)، گرافیت و دولومیت	در دست تدوین	
۴۲	دستورالعمل تخمین ذخیره	در دست تدوین	
۴۳	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف منابع پلاسری	در دست تدوین	

omoorepeyman.ir

عناوین پروژه‌های کمیته استخراج برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های معدنی، واژه‌ها و اصطلاحات پایه استخراج معدنی	۳٤۰	-
۲	مقررات تهویه در معادن	۳۵۰	-
۳	مقررات فنی مواد منفجره و آتشباری در معادن	٤۱۰	-
۴	دستورالعمل تهیه نقشه‌های استخراجی معدن	٤٤۲	۸
۵	راهنمای ارزشیابی دارایی‌های معدنی	٤٤۳	۹
۶	دستورالعمل فنی روشنایی در معادن	٤۸۹	۱۰
۷	دستورالعمل امداد و نجات در معادن	٤۸۸	۱۸
۸	راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن	٤۹٦	۱۱
۹	دستورالعمل ترابری در معادن	۵۰٦	۱٤
۱۰	دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن	۵۳۱	۱۹
۱۱	دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم‌های نگهداری تونل‌های معدنی	۵۳۷	۲۱
۱۲	دستورالعمل تحلیل پایداری و پایدارسازی شیب‌ها در معادن روباز	۵۳۸	۲۲
۱۳	راهنمای محاسبه قیمت تمام شده در فعالیت‌های استخراج مواد معدنی	۵٤۲	۲٦
۱۴	دستورالعمل نگهداری و کنترل سقف در کارگاه‌های استخراج	۵۵۳	۲۹
۱۵	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵٦۷	۳۷
۱۶	راهنمای آبکشی در معادن	۵۷۳	۳۸
۱۷	دستورالعمل طراحی هندسی بازکننده‌ها و حفریات زیرزمینی	۵۷۹	٤۱
۱۸	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های استخراجی	٦۱۱	٤٤
۱۹	راهنمای ارزیابی و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار در معادن سطحی	٦۱٦	٤٦
۲۰	راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی	٦۲۳	٤۹
۲۱	دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی	٦۲۵	۵۰
۲۲	راهنمای کاربرد روش‌های عددی در طراحی ژئومکانیکی معادن	٦۵٦	۵٦
۲۳	راهنمای ارزیابی ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در معادن	٦٦۹	٦۰
۲۴	راهنمای امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی	۵۵۸	٦٤
۲۵	دستورالعمل پر کردن کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی	۲۸۳	٦۹
۲۶	راهنمای برآورد بار و توزیع برق در معادن	۳۰٤	۷۱
۲۷	راهنمای گاززدایی در معادن زغال‌سنگ	۷۰۹	۷٦
۲۸	راهنمای ابزاربندی و رفتارنگاری در معادن روباز	۷۲۵	۸٤
۲۹	دستورالعمل بازرسی و تعمیر سیستم‌های نگهداری در حفریات معدنی	۷۲٦	۸٦
۳۰	راهنمای طراحی و احداث شبکه‌های زیرزمینی معادن	۷٤٦	۸۹
۳۱	دستورالعمل مطالعات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه تونل‌ها	۷٤۸	۹۲
۳۲	راهنمای مکان‌یابی و جانمایی تاسیسات و تجهیزات در معادن روباز	۷۵٦	۹٤
۳۳	راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن	۷۵۸	۹٦
۳۴	راهنمای مطالعه مخاطرات طبیعی در ساختگاه تونل‌ها	۷۷۰	۹۸
۳۵	دستورالعمل ایمنی در معادن زیرزمینی زغال‌سنگ	۷۷۵	۱۰۰
۳۶	دستورالعمل طراحی استخراج معادن سنگ‌های تزیینی و نما	۷۷٦	۱۰۲
۳۷	علایم استاندارد نقشه‌های معدنی	۷۷۱	۱۰٤
۳۸	راهنمای طراحی محدوده نهایی معادن روباز	۷۷۸	۱۰۵
۳۹	دستورالعمل طراحی ژئومکانیکی حفریات معدنی	۷۷۹	۱۰٦

omoorepeyman.ir

عناوین پروژه‌های فرآوری برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن

ردیف	عنوان پروژه	شماره نشریه در سازمان برنامه و بودجه کشور	شماره نشریه در سازمان نظام مهندسی معدن ایران
۱	راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ‌های تزیینی و نما	۳۷۸	-
۲	تعاریف و مفاهیم در فعالیت‌های معدنی، واژه‌ها و اصطلاحات پایه فرآوری مواد معدنی	٤٤١	۷
۳	فهرست خدمات مرحله طراحی پایه واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی	٤۹۷	۱۲
۴	علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی مواد معدنی	۵۰۸	۱۵
۵	راهنمای نرم‌افزاری علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی مواد معدنی	۵۰۸	۲۷
۶	ضوابط مکان‌یابی واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۱۵	۱٦
۷	ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ	۵٤٤	۳۱
۸	راهنمای انتخاب و محاسبه ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات کارخانه کانه‌آرایی	۵٤۵	۳۲
۹	راهنمای انباشت مواد باطله در واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۵۹	۳۳
۱۰	راهنمای سنگ‌جوری مواد معدنی به روش‌های دستی یا خودکار	۵۵٤	۳۰
۱۱	راهنمای حمل و نقل مواد معدنی در مدارهای کانه‌آرایی	۵٦٤	۳۹
۱۲	شناسایی مواد معدنی و آزادسازی آن‌ها در کانه‌آرایی	۵٦۵	۳۵
۱۳	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵٦۷	۳۷
۱۴	معیارهای فنی انتخاب آسیای خودشکن و نیمه‌خودشکن	۵۸۰	٤۲
۱۵	دستورالعمل کنترل و خنثی‌سازی آرسنیک، سولفید و سیانید در آزمایشگاه‌های فرآوری	٦۵۱	۵۳
۱۶	دستورالعمل نمونه‌برداری در کانه‌آرایی	٦٦۰	۵۷
۱۷	دستورالعمل تعیین شاخص خردایش در آسیاهای مختلف	٦٦۱	۵۸
۱۸	راهنمای آزمایش‌های جدایش ثقلی در مقیاس آزمایشگاهی	٦٦۲	۵۹
۱۹	راهنمای انتخاب مدار خردایش مواد معدنی	٦۷۰	٦۱
۲۰	راهنمای افزایش مقیاس در واحدهای کانه‌آرایی	٦۷۲	٦۳
۲۱	راهنمای آزمایش‌های خشک‌کردن، تشویه و تکلیس در مقیاس آزمایشگاهی	۳۷۲	٦۷
۲۲	راهنمای پذیرش و نگهداری نمونه‌های معدنی در آزمایشگاه کانه‌آرایی	٦۸۰	٦۸
۲۳	راهنمای پوشش و تجهیزات حفاظتی کارکنان در واحدهای کانه‌آرایی	۵۱٤	۷۲
۲۴	راهنمای مخلوط‌سازی بار ورودی در کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی	۵۷۲	۷۳
۲۵	فهرست کنترل کیفی بار ورودی، مواد در گردش و محصولات واحدهای کانه‌آرایی	۷۰۸	۷۷
۲۶	دستورالعمل دانه‌بندی مواد معدنی	۷۱۰	۷۹
۲۷	راهنمای نرمه‌زدایی در واحدهای کانه‌آرایی	۷۳۸	۸۸
۲۸	راهنمای آماده‌سازی نمونه در آزمایشگاه کانه‌آرایی	۷٤۹	۹۰
۲۹	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های کانه‌آرایی	۷۵۷	۹۵
۳۰	راهنمای آزمایش‌های هیدرومتالورژی در مقیاس آزمایشگاهی	۷۵۹	۹۷
۳۱	راهنمای فرآوری کانسنگ‌های پلاسری آهن	۷۷۲	۹۹
۳۲	راهنمای محاسبات در آزمایش‌های کانه‌آرایی	۷٦۹	۱۰۳
۳۳	فهرست خدمات مهندسی تفصیلی واحدهای کانه‌آرایی	در دست تدوین	

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هفتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به‌صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

Islamic Republic Of Iran
Plan and Budget Organization

Instruction for Geomechanical Designing of Mine Excavations

No.779

Deputy of Technical, Infrastructure and Production Affairs

Department of Technical and Executive Affairs

Consultants and Contractors

nezamfanni.ir

Ministry of Industry, Mine and Trade

Deputy of Mine Affairs and Mineral Industries

Office for Mining Supervision Affairs

http://www.minecriteria.mimt.gov.ir

2019

omoorepeyman.ir

در این نشریه

مراحل مختلف طراحی حفریات و فضاهای زیرزمینی از دیدگاه ژئومکانیکی تشریح شده و هدف از آن ارایه راهکارهایی برای طراحی فضاهای زیرزمینی و پایداری آن‌ها با کمترین هزینه است.

omoorepeyman.ir