جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن

ضابطه شماره ۷۵۸

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

۱۳۹۸

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره:	۹۸/۴۸۵۵۴۰
	تاریخ:	۱۳۹۸/۰۹/۰۲

موضوع: راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن

در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، نظام فنی و اجرایی یکپارچه و ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۷۵۸ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران؛ با عنوان « **راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۹/۰۱/۰۱ الزامی است.

ضوابط و معیارها در حدود مشخص شده در این ضابطه، با توجه به شرایط خاص کار مورد نظر تعیین و مبنای عمل می‌باشد. در مورد پروژه‌هایی که از محل سرمایه‌گذاری بخش غیر دولتی تامین اعتبار می‌شوند، لازم است حدود انتخابی معیارهای یادشده در مرحله ارجاع کار تعیین و به تایید سرمایه‌پذیر برسد.

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

امور پیمان
omoorepeyman.ir

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

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 براساس 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.

پس از استخراج ماده معدنی در معادن زیرزمینی، اگر چه فضای استخراج شده را به صورت مصنوعی تخریب کرده و یا با مواد پرکننده، پر می‌کنند، اما به هر حال پس از گذشت زمان، این فضا متراکم‌تر می‌شود که پیامد آن، تغییر شکل طبقات رویی کارگاه استخراج است که گاه تا سطح زمین می‌رسد و اصطلاحا نشست زمین نامیده می‌شود.

اگر چه نشست زمین به هر حال اتفاق می‌افتد اما باید با تمهیدات لازم مقدار آن را کاهش داد تا از حد مجاز تجاوز نکند. شرح عوامل موثر در نشست و راه‌های کنترل و پیش‌بینی آن از جمله مسایل مهم استخراج معادن زیرزمینی است که مراحل مختلف آن در این نشریه شرح شده است.

ضابطه حاضر با عنوان **"راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن"** 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
پاییز ۱۳۹۸

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

تهیه و کنترل «راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن»

[نشریه شماره ۷۵۸]

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- سازمان نظام مهندسی معدن

اعضای کارگروه استخراج به ترتیب حروف الفبا

محمدفاروق حسینی	دکترای مهندسی معدن، مکانیک سنگ- دانشگاه تهران
مصطفی شریف‌زاده	دکترای مهندسی مکانیک سنگ- دانشگاه صنعتی امیرکبیر
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 احمد اسدی** 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- تعاریف و مفاهیم	**۱**
۱-۱- نشست	۳
۱-۲- جابه‌جایی	۳
۱-۳- نیمرخ نشست	۳
۱-۴- شیب	۴
۱-۵- انحنا	۵
۱-۶- تنجش افقی	۵
۱-۷- پیچش	۵
۱-۸- تنجش برشی	۶
۱-۹- زاویه تاثیر	۶
۱-۱۰- زاویه تغییر شکل بحرانی	۷
۱-۱۱- زاویه شکست	۷
۱-۱۲- نقطه عطف	۷
۱-۱۳- شعاع تاثیر بزرگ	۷
۱-۱۴- طول حقیقی	۷
۱-۱۵- زاویه نشست کامل	۸
فصل دوم- انواع نشست	**۹**
۲-۱- آشنایی	۱۱
۲-۲- نشست طبیعی	۱۱
۲-۲-۱- انحلال	۱۱
۲-۲-۲- رسوب‌گذاری	۱۱
۲-۲-۳- فرآیندهای تکتونیکی	۱۱
۲-۲-۴- فعالیت‌های آتشفشانی	۱۲
۲-۲-۵- زلزله	۱۲
۲-۲-۶- عوامل زمین‌گرمایی	۱۲
۲-۲-۷- حرکت دامنه‌های شیبدار	۱۲
۲-۳- نشست ناشی از عملیات استخراجی	۱۲
۲-۴- نشست ناشی از استخراج آب، نفت و گاز	۱۳
فصل سوم- مکانیزم‌های موثر در نشست	**۱۵**
۳-۱- آشنایی	۱۷
۳-۲- مشخصات هندسی ماده معدنی	۱۷
۳-۲-۱- ضخامت لایه	۱۷
۳-۲-۲- عمق لایه	۱۷

omoorepeyman.ir

۳-۲-۳- شیب لایه ۱۷
۳-۳- کیفیت سنگ درونگیر و ماهیت ماده معدنی ۱۸
۳-۳-۱- تعداد لایه ۱۸
۳-۳-۲- کیفیت سنگ‌های کمربالا و کمرپایین ۱۸
۳-۴- مشخصات روباره ۱۸
۳-۵- رفتار زمین‌شناسی مهندسی ۱۸
۳-۵-۱- زمین‌شناسی در محدوده سطح زمین ۱۸
۳-۵-۲- ناپیوستگی زمین‌شناسی ۱۹
۳-۶- تنش‌های برجا ۱۹
۳-۷- درصد استخراج ۱۹
۳-۸- مشخصات جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی ۲۰
۳-۸-۱- آب‌های زیرزمینی ۲۰
۳-۸-۲- آب‌های سطحی ۲۰
۳-۸-۳- ارتفاع سطح آب و تغییرات آن ۲۰
۳-۹- وسعت منطقه استخراج شده ۲۰
۳-۱۰- روش استخراج و نگهداری حفریات معدنی ۲۰
۳-۱۱- سرعت پیشروی جبهه‌کار ۲۱
۳-۱۲- شیوه کنترل سقف ۲۱
۳-۱۳- زمان طی شده پس از استخراج ۲۱
۳-۱۴- حجم عملیات معدنی ۲۱
فصل چهارم- مکانیزم نشست و ارتباط آن با روش استخراج ۲۳
۴-۱- آشنایی ۲۵
۴-۲- روش جبهه‌کار بلند ۲۵
۴-۳- روش جبهه‌کار کوتاه ۲۵
۴-۴- روش اتاق و پایه ۲۶
۴-۵- روش کارگاه و پایه ۲۶
۴-۶- روش انباره‌ای ۲۶
۴-۷- روش استخراج از طبقات فرعی ۲۷
۴-۸- روش کند و آکند ۲۷
۴-۹- روش کرسی‌چینی ۲۷
۴-۱۰- روش تخریب در طبقات فرعی ۲۷
۴-۱۱- روش تخریب توده‌ای ۲۸
فصل پنجم- مکانیزم نشست در کانسارهای لایه‌ای ۲۹
۵-۱- آشنایی ۳۱
۵-۲- مکانیزم جابه‌جایی در لایه‌های افقی ۳۱
۵-۳- مکانیزم جابه‌جایی در لایه‌های کم‌شیب ۳۲

omoorepeyman.ir

۵-۴- مکانیزم جابه‌جایی در لایه‌های پرشیب ۳۴
فصل ششم- روش‌های پیش‌بینی نشست و جابه‌جایی ۳۷
۶-۱- آشنایی ۳۹
۶-۲- روش‌های تئوری ۳۹
۶-۳- روش تابع نیمرخ ۳۹
۶-۴- روش تابع تاثیر ۳۹
۶-۵- روش‌های تجربی ۴۰
۶-۶- مدلسازی فیزیک ۴۰
۶-۷- مدلسازی عددی ۴۰
فصل هفتم- روش‌های اندازه‌گیری نشست ٤١
۷-۱- آشنایی ۴۳
۷-۲- روش‌های ابزاربندی و رفتارسنجی ۴۳
۷-۲-۱- روش‌های نقشه‌برداری ۴۳
۷-۳- اندازه‌گیری حرکت لایه‌های زیرسطحی ۴۸
۷-۴- روش‌های مبتنی بر نور و لیزر ۵۰
۷-۵- روش‌های مبتنی بر رادار ۵۰
فصل هشتم- آسیب‌های ناشی از نشست ۵۱
۸-۱- آشنایی ۵۳
۸-۲- تاثیر نشست بر محیط زیست ۵۳
۸-۳- تاثیر نشست بر سازه‌ها و تاسیسات ۵۴
۸-۳-۱- ساختمان‌ها، جاده‌ها و پل‌ها ۵۴
۸-۳-۲- خطوط راه آهن ۵۴
۸-۳-۳- خطوط انتقال سوخت، آب و هوای فشرده ۵۵
۸-۳-۴- کابل‌ها ۵۵
۸-۳-۵- دکل‌های انتقال برق و دکل‌های مخابراتی ۵۵
۸-۳-۶- منابع نگهداری آب و سوخت ۵۵
فصل نهم- روش‌های کنترل نشست و خسارت‌های ناشی از آن ۵۷
۹-۱- آشنای ۵۹
۹-۲- روش‌های مبتنی بر ملاحظات روش استخراج ۵۹
۹-۲-۱- طراحی پهنه استخراجی مناسب ۵۹
۹-۲-۲- به کارگیری روش‌های استخراج کنترل شده ۶۰
۹-۳- سازه‌های سطحی و زیرزمینی ۶۲
۹-۳-۱- محاسبه و انتخاب اقدامات حفاظتی ۶۲
۹-۳-۲- روش‌های حفاظت از سازه‌ها ۶۲
۹-۳-۳- حفاظت از شبکه‌های لوله‌کشی ۶۵

omoorepeyman.ir

۹-۳-۴- پل و بزرگراه‌ها ۶۶
۹-۳-۵- محافظت از سازه‌های بلند ۶۶
فصل دهم- نشست در معادن متروکه ٦٧
۱۰-۱- آشنایی ۶۹
۱۰-۲- انواع نشست در محدوده معادن متروکه ۶۹
۱۰-۲-۱- نشست به صورت حفره یا گودال ۶۹
۱۰-۲-۲- نشست به صورت فرورفتگی ۶۹
۱۰-۳- علت نشست ۷۰
۱۰-۴- کنترل نشست ۷۰
۱۰-۴-۱- روش‌های نگهداری موضعی ۷۰
۱۰-۴-۲- روش‌های پر کردن ۷۱
۱۰-۵- پیش‌بینی نشست سطح زمین ۷۲
فصل یازدهم- نشست ناشی از حفر تونل‌های کم‌عمق ۷۳
۱۱-۱- آشنایی ۷۵
۱۱-۲- علت‌های نشست در اثر حفر تونل کم‌عمق ۷۵
۱۱-۳- عوامل موثر در نشست ۷۵
۱۱-۴- شکل منحنی توزیع نشست ۷۷
۱۱-۵- نشست زمین در اثر حفر تونل با سپر ۷۷
۱۱-۶- تخریب و جابه‌جایی‌های ایجاد شده در زمین در اثر تونل‌سازی ۷۷
۱۱-۶-۱- پتانسیل تخریب سازه‌های موجود ۷۸
۱۱-۶-۲- پتانسیل تخریب سازه‌های موجود ناشی از ناپایداری جبهه‌کار تونل ۷۸
۱۱-۷- روش‌های کنترل نشست ۷۸
۱۱-۸- روش‌های پیش‌بینی نشست زمین در اثر حفر تونل‌های کم‌عمق ۷۹
۱۱-۸-۱- روش‌های تجربی ۸۰
۱۱-۸-۲- روش‌های تحلیلی ۸۰
۱۱-۸-۳- روش‌های عددی ۸۰
۱۱-۸-۴- مدل‌های آزمایشگاهی ۸۰
۱۱-۸-۵- شبکه‌های عصبی مصنوعی ۸۱

omoorepeyman.ir

فصل ۱

تعاریف و مفاهیم

omoorepeyman.ir

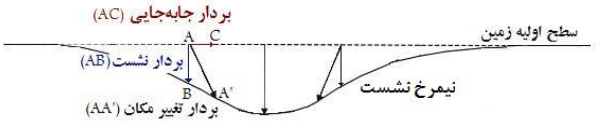
omoorepeyman.ir

۱-۱- نشست

پدیده نشست به فرو رفتن سطح زمین در اثر وجود حفره در زیر زمین گفته می‌شود. این حفره ممکن است به صورت طبیعی (مانند فرآیند انحلال) و یا به دست بشر (مانند استخراج معادن زیرزمینی) ایجاد شود.

۱-۲- جابه‌جایی

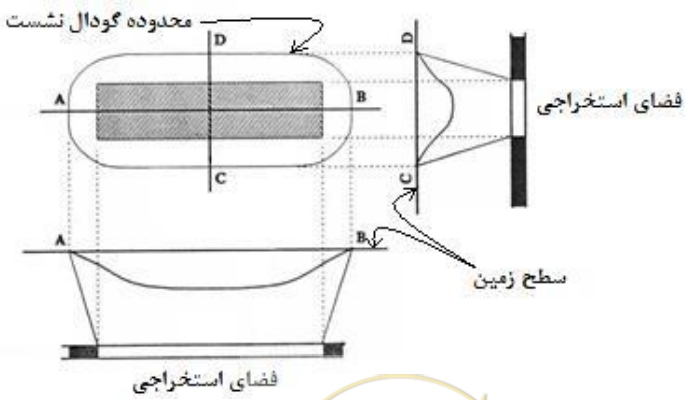
معمولا منظور از نشست فقط مولفه قائم تغییر مکان یک نقطه در سطح زمین است و در صورت وجود مولفه افقی به آن جابه‌جایی[1] می‌گویند. شکل ۱-۱ بردار تغییر مکان نقطه A در سطح زمین به همراه مولفه‌های افقی و قائم در فرآیند نشست را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- مولفه‌های قائم و افقی تغییر مکان یک نقطه از سطح زمین در فرآیند نشست

۱-۳- نیمرخ نشست

نیمرخ نشست به شکل سطح زمین در مقطع قائم پس از وقوع پدیده نشست گفته می‌شود. از آنجا که این نیمرخ را می‌توان در جهات مختلف رسم کرد، بنابراین در یک گودال نشست می‌توان بی‌نهایت نیمرخ نشست رسم کرد. بعضی از این نیمرخ‌ها که از نظر مطالعه پدیده نشست اهمیت بیشتری دارد، نیمرخ‌های اصلی و یا نیمرخ‌های رسم شده در جهت‌های اصلی گفته می‌شود. نیمرخ‌های اصلی مربوط به روش استخراج جبهه‌کار بلند نیمرخ‌هایی هستند که از محل وقوع حداکثر نشست عبور می‌کنند و موازی و یا عمود بر جهت پیشروی کارگاه استخراج رسم می‌شوند. شکل ۱-۲ نیمرخ‌های اصلی نشست مربوط به استخراج فضای مکعب مستطیل شکل از یک لایه افقی را نشان می‌دهد.

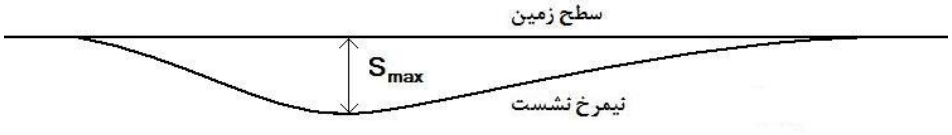


شکل ۱-۲- نیمرخ‌های اصلی نشست

1- Displacement

omoorepeyman.ir

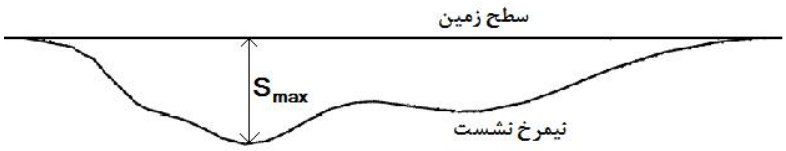
نیمرخ‌هایی که در شکل‌های ۱-۱ و ۱-۲ به آن‌ها اشاره شد، حاصل استخراج ذخایر افقی هستند. نیمرخ نشست در اثر استخراج لایه‌های شیبدار و پرشیب، شکل متفاوتی دارد که مهم‌ترین مشخصه این نیمرخ‌ها عدم تقارن آن‌ها است. در شکل ۱-۳ نمونه‌ای از یک نیمرخ نشست ناشی از استخراج یک لایه شیبدار نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- نیمرخ نشست در اثر استخراج یک لایه شیبدار

در شکل ۱-۳ قسمت کوتاه نیمرخ مربوط به بخشی از لایه استخراجی است که به سطح زمین نزدیک‌تر است و قسمت طولانی‌تر مربوط به سمتی است که در عمق قرار دارد. در این شکل S_{max} حداکثر نشست را نشان می‌دهد.

همچنین در شکل ۱-۴ نیمرخ نشست در اثر استخراج یک لایه پرشیب نشان داده شده است. در اثر استخراج لایه‌های پرشیب، جابه‌جایی طبقات در جهات متفاوتی رخ می‌دهد که در نتیجه آن، شکل نیمرخ نشست پیچیده‌تر می‌شود.



شکل ۱-۴- نیمرخ نشست در اثر استخراج یک لایه پرشیب

۱-۴- شیب

در هر مقطعی از نیمرخ نشست، نسبت بین اختلاف نشست در دو نقطه در انتهای یک خط به فاصله افقی بین آن دو نقطه را شیب گودال نشست می‌نامند (رابطه ۱-۱):

$$i_x = \frac{dS}{dx} \qquad (۱-۱)$$

که در آن:

i_x شیب در جهت x

$\frac{dS}{dx}$ تغییرات نشست در جهت محور x

omoorepeyman.ir

۱-۵- انحنا

در هر مقطع، اختلاف بین شیب در دو نقطه تقسیم بر فاصله بین آن دو نقطه انحنا نامیده می‌شود که ممکن است عددی مثبت یا منفی باشد. انحنای مثبت را محدب و انحنای منفی را مقعر می‌نامند (رابطه ۱-۲):

$$k_x = \frac{d^2S}{dx^2} \qquad (۲-۱)$$

که در آن:

k_x انحنا در جهت x و سایر پارامترها مشابه رابطه ۱-۱ است.

۱-۶- تنجش[1] افقی

در هر مقطع، اختلاف جابه‌جایی بین هر دو نقطه تقسیم بر فاصله بین آن دو نقطه تنجش افقی نامیده می‌شود. اگر فاصله دو نقطه افزایش یابد تنجش کششی بوده و علامت آن مثبت است و اگر این فاصله کاهش پیدا کند تنجش فشارشی است و با علامت منفی نشان داده می‌شود (رابطه ۱-۳).

$$\varepsilon_x = \frac{dU_x}{dx} \qquad (۳-۱)$$

که در آن:

ε_x تنجش افقی در جهت x

U_x جابه‌جایی بین دو نقطه در جهت x

۱-۷- پیچش[2]

در سطح گودی نشست، اختلاف شیب بین دو مقطع خطی موازی تقسیم بر فاصله دو خط مقطع را پیچش می‌نامند که مطابق رابطه ۱-۴ به دست می‌آید.

$$T = \frac{d^2S}{dx \cdot dy} \qquad (۴-۱)$$

که در آن:

T پیچش

سایر پارامترها مشابه روابط قبلی است.

1- Strain
2- Torsion

omoorepeyman.ir

۱-۸- تنجش برشی[1]

تنجش برشی تغییر شکل زاویه‌های داخلی یک مربع در روی هر سطح است (رابطه ۱-۵):

$$\gamma = \frac{dU_x}{dy} \quad (۵-۱)$$

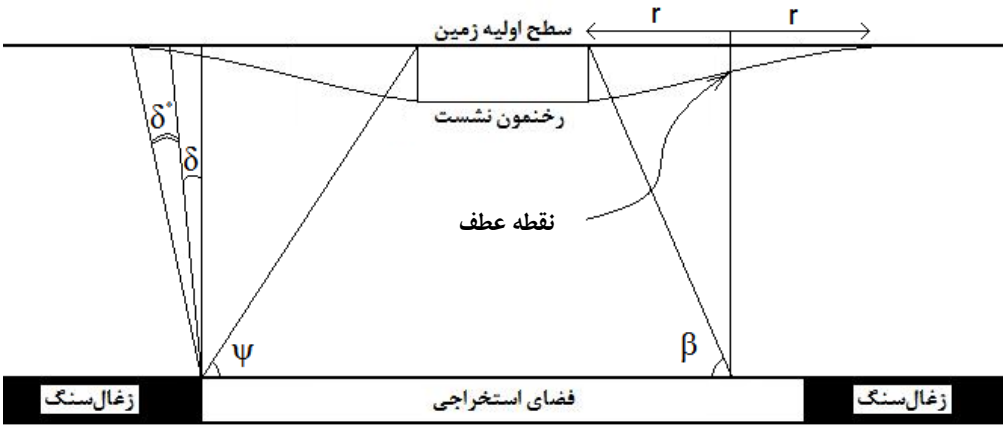
که در آن:

γ تنجش برشی

سایر پارامترها مشابه روابط قبلی است.

۱-۹- زاویه تاثیر

وقتی که پیشروی کارگاه استخراجی به مقدار بحرانی نزدیک شود، زاویه بین خط قائم لبه کارگاه استخراج و خطی که این لبه را به نقطه شروع نشست در سطح زمین وصل می‌کند زاویه تاثیر نامیده می‌شود (زاویه $\delta^\circ + \delta$ در شکل ۱-۵). این زاویه که حداکثر به ۴۵ درجه می‌رسد به شرایط محلی، ابعاد فضای استخراجی و وضعیت زمین‌شناسی محل بستگی دارد و در بسیاری از موارد حتی در مورد یک کارگاه نیز از یک لبه تا لبه دیگر متغیر است. زاویه تاثیر از نظر بررسی میزان خسارت به سازه‌های سطحی اهمیت کمتری دارد و زوایای شکست و تغییر شکل بحرانی که در ادامه مطرح خواهد شد در این زمینه اهمیت بیشتر دارد.



شکل ۱-۵- بعضی پارامترهای نشست

1- Shear strain

omoorepeyman.ir

۱-۱۰- زاویه تغییر شکل بحرانی

زاویه تغییر شکل بحرانی، زاویه بین خط قائم در لبه فضای استخراجی با خطی است که لبه مزبور را به محل تغییر شکل بحرانی وصل می‌کند. این زاویه به نوع تغییر شکل و وضعیت ساختمانی محل بستگی دارد (زاویه δ در شکل ۱-۵).

۱-۱۱- زاویه شکست

زاویه بین خط قائم در لبه کارگاه استخراجی با خطی که این لبه را به نقطه حداکثر تنجش کششی در سطح زمین وصل می‌کند، زاویه شکست نامیده می‌شود.

۱-۱۲- نقطه عطف

در مقطع اصلی گودی نشست (مقطع قائمی که با امتداد پیشروی موازی و فاصله آن از دو لبه کارگاه مساوی است) نقطه واقع در مرز بین قسمت محدب و مقعر منحنی نشست را نقطه عطف می‌گویند. شیب منحنی نشست در این محل حداکثر و انحنای آن صفر است. همچنین در نقطه عطف، میزان نشست تقریبا نصف حداکثر نشست است. محل نقطه عطف به ابعاد کارگاه استخراج و نوع سنگ بستگی دارد. وقتی که ابعاد فضای استخراجی کوچک باشد این نقطه در بین فضای استخراجی و بر روی قسمت استخراج نشده لایه قرار دارد و با افزایش ابعاد فضای تخریب شده این نقطه به سمت درون لبه کارگاه استخراج حرکت می‌کند.

۱-۱۳- شعاع تاثیر بزرگ

زمانی که سطح کارگاه استخراجی به ابعاد بحرانی برسد، حداکثر نشست در نقطه‌ای در سطح زمین اتفاق می‌افتد. فاصله افقی این نقطه تا نقطه عطف را شعاع تاثیر بزرگ می‌نامند (طول r در شکل ۱-۵). همچنین زاویه بین خطی که تصویر نقطه عطف واقع بر سطح کارگاه استخراج را به نقطه وقوع حداکثر نشست در روی زمین وصل می‌کند با خط افق، زاویه تاثیر بزرگ نامیده می‌شود (زاویه β در شکل ۱-۵).

۱-۱۴- طول حقیقی

به هنگام پیشروی جبهه‌کار فاصله بین ورودی‌های اولیه تا خط جبهه‌کار را طول واقعی می‌نامند. همچنین فاصله بین نقاط عطف میان دو لبه مقابل کارگاه استخراج را طول محاسباتی می‌گویند. در بعضی موارد بین این دو پارامتر تفاوتی نیست ولی در بعضی روش‌های پیش‌بینی مانند روش‌های تابع احتمال، این دو پارامتر تفاوت دارند.

omoorepeyman.ir

۱-۱۵- زاویه نشست کامل

در مقطع اصلی گودی نشست در شرایط فوق بحرانی زاویه حاده بین افق و خط واصل از لبه کارگاه استخراج به محل نشست یکنواخت را زاویه نشست کامل می‌نامند (زاویه ψ در شکل ۱-۵). این زاویه محدوده نشست زمین را مشخص می‌کند و برای محاسبه سطح نشست کامل استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

فصل ۲

انواع نشست

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- آشنایی

انواع نشست را می‌توان در سه گروه به شرح زیر طبقه‌بندی کرد:

- نشست طبیعی
- نشست حاصل از استخراج نفت، آب و گاز
- نشست حاصل از عملیات استخراجی

انسان به طور مستقیم در وقوع نشست طبیعی نقش ندارد و عوامل و مکانیزم‌های طبیعی موجب بروز این نوع نشست می‌شوند. این نوع از نشست ممکن است محدوده وسیعی را در برگیرد.

نشست در اثر استخراج نفت، گاز و یا آب نیز از انواع دیگر نشست است که امکان دارد موجب جابه‌جایی زمین در محدوده بزرگی در سطح زمین در بالای این نوع ذخایر شود.

انجام عملیات استخراجی زیرزمینی نیز بسته به روش استخراج ممکن است موجب بروز نشست در سطح زمین شود.

۲-۲- نشست طبیعی

در وقوع بعضی از انواع نشست، انسان نقشی ندارد و وقوع آن‌ها ناشی از عوامل مختلف طبیعی و زمین‌شناسی است. این نوع نشست را نشست‌های طبیعی می‌نامند. برخی از عوامل نشست طبیعی شامل موارد زیر است.

۲-۲-۱- انحلال

وجود سازندهایی مانند سنگ‌های آهکی، نمکی و گچی به همراه جریان آب زیرزمینی موجب حل شدن مواد قابل انحلال در آب می‌شود و حفره‌هایی در زیر زمین ایجاد می‌کند. با ادامه این فرآیند حفره ایجاد شده بزرگتر شده و موجب تخریب سازندهای بالایی و در نهایت وقوع نشست در سطح زمین می‌شود. در صورتی که پوشان‌سنگ ضخامت کافی نداشته باشد ممکن است حفره ایجاد شده مستقیما از سطح زمین قابل رویت باشد.

۲-۲-۲- رسوب‌گذاری

پدیده‌های زمین‌شناسی مانند رسوب‌گذاری با فرآیندهای فرسایش، تجمع و جابه‌جایی یکی از عوامل در نشست محسوب می‌شود. در قسمت رسوب‌گذاری شده عمل بارگذاری انجام می‌گیرد و افزایش بار در این قسمت موجب بروز نشست در سطح زمین می‌شود. در این نوع نشست هر چه خاک در قسمت بارگذاری شده قابلیت تحکیم بالاتری داشته باشد، نشست بیشتری رخ می‌دهد.

۲-۲-۳- فرآیندهای تکتونیکی

گاه نشست در اثر فرآیندهای تکتونیکی همچون حرکت صفحات گسل، تکتونیک صفحه‌ای و نظایر آن رخ می‌دهد.

omoorepeyman.ir

۲-۲-۴- فعالیت‌های آتشفشانی

در برخی موارد، حرکت ماگما در زیر زمین حفره‌هایی خالی به جا می‌گذارد که ابتدا بسیار پایدارند اما پس از گذشت زمان‌های زیاد، سنگ‌ها و رسوبات روی این مناطق فرسوده می‌شود و با کم شدن ارتفاع سنگ‌ها در بالای حفره مورد نظر تخریب انجام می‌گیرد.

۲-۲-۵- زلزله

وقوع زلزله در مناطقی که از رسوبات جدید و مستحکم نشده تشکیل شده است، ممکن است موجب تسریع در تراکم رسوبات و در نتیجه نشست شود. مناطق دلتایی برای وقوع این پدیده کاملا مستعد است. حالت دیگری که زلزله موجب نشست می‌شود در محل‌هایی است که یک یا چند صفحه ناپیوستگی و سست مانند گسل وجود دارد. در این مناطق، وقوع زلزله ممکن است موجب جابه‌جایی در صفحه ناپیوستگی شود و نشست را به دنبال داشته باشد.

۲-۲-۶- عوامل زمین‌گرمایی

افزایش دما در پوسته زمین در اثر عوامل زمین‌گرمایی ممکن است موجب بالا آمدن سطح زمین در این مناطق شود و در پی این پدیده سطح مورد نظر فرسایش پیدا می‌کند که پیامد آن نشست است.

۲-۲-۷- حرکت دامنه‌های شیبدار

دامنه‌های شیب‌دار مناطقی مستعد برای جابه‌جایی و حرکت طبقات سطحی هستند. جابه‌جایی سطح زمین در این مناطق موجب افزایش ضخامت و همچنین بارگذاری در قسمت پایین دست می‌شود ولی از آنجا که این طبقات سست‌اند، بنابراین به تدریج تحکیم می‌یابند و نشست سطح زمین را به وجود می‌آورند.

۲-۳- نشست ناشی از عملیات استخراجی

استخراج مواد معدنی با ایجاد فضای خالی در زیر زمین همراه است و این فضا ممکن است عامل بروز نشست در سطح زمین شود. روش‌های استخراجی مختلف نتایج متفاوتی در نشست از خود نشان می‌دهند که به ویژگی‌های روش و همچنین شیوه نگهداری در زمان استخراج و پس از آن بستگی دارد. شناخت کافی از سنگ‌های تشکیل دهنده طبقات بالایی فضای استخراجی در انتخاب شیوه استخراج موثر است.

از جمله مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در میزان نشست، ارتفاع فضای کارگاه استخراج است. در نتیجه در آن دسته از روش‌های استخراج که برای استخراج ذخایر قائم استفاده می‌شود، بیشترین پتانسیل نشست وجود دارد. اما نکته بسیار مهم شیوه نگهداری فضای استخراجی است. در بین روش‌های نگهداری سقف، بیشترین مقدار نشست در روش‌های تخریبی رخ می‌دهد. در این روش‌ها، تخریب طبقات موجب انتقال شکستگی‌ها و در نتیجه جابه‌جایی آن‌ها می‌شود. در

omoorepeyman.ir

زمانی که فضای استخراجی ارتفاع کافی داشته باشد و به اندازه کافی به سطح زمین نزدیک باشد، نشست در سطح زمین قابل رویت است.

۲-۴- نشست ناشی از استخراج آب، نفت و گاز

مخازن نفت، گاز و آب ساختاری متخلخل و نفوذپذیر دارند که مایع یا گاز بخشی از فضای خالی بین ذرات سنگ را اشغال می‌کند. در هنگام استخراج این نوع ذخایر، به علت خارج شدن مایع یا گاز از فضای بین ذرات سنگ، حفره‌های کاملا کوچکی در بین این ذرات به جا گذاشته می‌شود. وجود این حفره‌ها مقدمه‌ای برای وقوع نشست است که البته ساختار مخزن و عمق آن در میزان و زمان وقوع نشست موثر است. برخی ذخایر نفت، گاز و آب قبل از استخراج، فشار اولیه بالایی دارند که در بروز نشست پس از استخراج و کاهش فشار مخزن موثر است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۳

مکانیزم‌های موثر در نشست

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-۱- آشنایی

عوامل متعدد زمین‌شناسی و معدنکاری بر چگونگی وقوع نشست تاثیر دارند. هر یک از این عوامل ممکن است بر میزان حداکثر نشست، شکل نیمرخ نشست، زمان وقوع و سایر خصوصیات نشست تاثیر داشته باشند. تعدادی از این عوامل تاثیر اندکی بر میزان نشست یا سایر خصوصیات نشست دارند.

۳-۲- مشخصات هندسی ماده معدنی

۳-۲-۱- ضخامت لایه

استخراج لایه‌های ضخیم‌تر موجب بروز نشست بیشتری در سطح زمین می‌شود. در برخی موارد، ضخامت زیاد لایه موجب می‌شود تا نتوان تمام لایه را استخراج کرد و مقداری از مواد معدنی به عنوان پایه در محل باقی گذاشته می‌شود. همچنین در هنگام استخراج لایه‌های با ضخامت بیشتر، لازم است تا از پایه‌های عریض‌تر استفاده شود. در این شرایط نسبت ارتفاع به عرض پایه بیشتر می‌شود، زیرا پایه‌های باریک‌تر استعداد بیشتری برای تخریب دارند.

۳-۲-۲- عمق لایه

اگر چه ممکن است عوارض نشست ناشی از استخراج ذخایر عمیق، دیرتر از ذخایر کم عمق مشاهده شود ولی پس از گذشت زمان وقوع پدیده نشست در سطح زمین اجتناب‌ناپذیر است.

۳-۲-۳- شیب لایه

زمانی که لایه استخراجی شیبدار باشد، یک نشست نامتقارن در سطح زمین به وقوع می‌پیوندد که محدوده تحت تاثیر قرار گرفته در طرف عمیق بیش از طرف کم عمق کارگاه استخراج است.

در استخراج لایه‌های شیبدار، نسبت عمق به عرض کارگاه استخراج که یک نسبت مهم در نشست است، در طول کارگاه یکسان نیست، به این ترتیب که با حرکت از طرف کم عمق کارگاه به طرف عمیق، این نسبت افزایش می‌یابد.

omoorepeyman.ir

۳-۳- کیفیت سنگ درونگیر و ماهیت ماده معدنی

۳-۳-۱- تعداد لایه

زمانی که بیش از یک لایه در حال استخراج باشد اولین تخریب ممکن است در هر یک از لایه‌ها شروع شود و به این ترتیب به علت وجود آشفتگی توزیع تنش در لایه‌های مجاور، احتمال وقوع نشست افزایش می‌یابد. این وضعیت به ویژه در حالتی که ترتیب استخراج لایه‌ها از بالا به پایین است، رخ می‌دهد.

۳-۳-۲- کیفیت سنگ‌های کمربالا و کمرپایین

وقتی که نشست از سطح کارگاه استخراج به سمت بالا گسترش می‌یابد، خواص کمربالا و کمرپایین نقشی اساسی در انتقال نشست به سطح زمین ایفا می‌کند. وجود رس نرم در کمرپایین به ویژه اگر در محیط مرطوب باشد موجب تورم در پایه‌ها می‌شود. همچنین وجود کمربالای ضعیف، با ترکیبی از شیل، سیلت و سنگ آهک ممکن است شرایط را برای تخریب مساعد کند که باید مورد توجه قرار گیرد. وجود سقف مناسب به نگهداری طبقات کمک می‌کند و در نتیجه نشست را به تعویق می‌اندازد. این طبقات زمانی که تخریب می‌شوند به نسبت طبقات ضعیف‌تر فضای بیشتری را اشغال می‌کنند (به علت ضریب تورم بالاتر). زمانی که هم کمربالا و هم کمرپایین استحکام بالایی دارند، ممکن است پایه‌های معدن ورقه ورقه شده و خرد شوند.

۳-۴- مشخصات روباره

وجود طبقات توده‌ای مستحکم در بالای کارگاه استخراج به صورت حایل عمل می‌کند و برای مدت طولانی پایدار باقی می‌ماند و در نتیجه تاخیر در وقوع نشست را به دنبال دارد.

۳-۵- رفتار زمین‌شناسی مهندسی

۳-۵-۱- زمین‌شناسی در محدوده سطح زمین

وجود خاک و سنگ مستحکم نشده در نزدیکی سطح زمین موجب تشدید تاثیر نشست می‌شود. طبقاتی که همگنی و همسانگردی کمتری دارند، اغلب رفتاری غیر ثابت از خود نشان می‌دهند. درزه‌ها و ترک‌های سطحی معمولا کم عمق هستند و در اثر تغییر شکل پلاستیک یا به وسیله موادی که با آب حمل شده‌اند پر می‌شوند. بعضی از اوقات جریان آب نیز باعث بزرگتر شدن این درزه‌ها می‌شود که امکان دارد موجب بروز خسارات بیشتری شود.

موقعیت قرارگیری مواد سنگی و خاکی نسبت به یکدیگر مهم است. اگر مواد طبیعت ماسه‌ای و ریزدانه همراه با آب داشته باشد، مواد خاکی به همراه آب به داخل فضای استخراجی جریان می‌یابد. به علاوه، تجمع آب در بالای معادن

omoorepeyman.ir

قدیمی باعث تراوش آب به طبقات مستحکم نشده بالایی از طریق ترک‌ها و شکاف‌های طبیعی سنگ‌ها می‌شود که این خود پتانسیل تخریب طبقات بالایی را افزایش می‌دهد.

۳-۵-۲- ناپیوستگی زمین‌شناسی

گسل، چین‌خوردگی، درزه و شکاف پتانسیل نشست را افزایش می‌دهد. عملیات استخراجی تعادل تنش‌ها در طبقات را بر هم می‌زند که این امر ممکن است موجب شروع حرکت در صفحات گسل شود. این جابه‌جایی ممکن است موجب بالا آمدن یا فرونشست زمین شود که پیامد آن شکستگی‌های پله‌ای است.

در این شرایط جابه‌جایی طولی در نزدیکی گسل تمرکز می‌یابد اما ممکن است اندازه‌گیری تنجش در دو سمت گسل امکان‌پذیر نباشد. در زمان وقوع نشست، ساختمان‌هایی که در روی خط گسل قرار دارند خسارت‌های زیادی می‌بینند در حالی که ساختمان‌های دورتر آسیب کمتری خواهند دید. درزه و شکاف‌های طبقات نیز عملکردی مشابه ولی با دامنه تاثیر کمتر از خود نشان می‌دهند.

۳-۶- تنش‌های برجا

تنش افقی برجا از بروز نشست جلوگیری می‌کند. این تنش به تشکیل یک گنبد پایدار در سقف بلافصل منجر می‌شود و از گسترش شکستگی‌ها به سمت سطح زمین جلوگیری می‌کند. ارتفاع این گنبد و پایداری آن به نسبت تنش قائم به تنش افقی بستگی دارد. گنبدهایی که تحت فشار قائم بالایی قرار دارند، زودتر تخریب می‌شوند، بنابراین لازم است تا بی‌ثباتی سقف و تورم کف، در نتیجه میزان و توزیع تنش در هنگام طراحی کارگاه استخراج مورد توجه قرار گیرد.

۳-۷- درصد استخراج

در بعضی از روش‌های استخراج تمام ماده معدنی در یک مرحله استخراج نمی‌شود و استخراج کامل ماده معدنی در چند مرحله انجام می‌گیرد. اگر نسبت مواد معدنی استخراج شده به کل مواد معدنی درصد استخراج نامیده شود، درصد استخراج پایین موجب تاخیر در نشست می‌شود. در استخراج مرحله اول که هنوز پایه‌ها بازیابی نشده است، نشست به میزان اندک مشاهده می‌شود و حتی ممکن است اصلا نشست مشاهده نشود، زیرا در این مرحله، تعداد پایه کافی برای جلوگیری از شکست طبقات وجود دارد. در مرحله دوم استخراج با بازیابی پایه‌ها در پی تمرکز تنش، شکست در پایه‌ها رخ می‌دهد و در نتیجه، ابعاد فضای استخراجی افزایش می‌یابد، بنابراین گسترش نشست در سطح زمین تابعی از درصد استخراج ماده معدنی است.

omoorepeyman.ir

۳-۸- مشخصات جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی

۳-۸-۱- آب‌های زیرزمینی

تغییر شکل طبقات در اطراف مناطق استخراج شده ممکن است موجب تغییر در شیب سطح ایستابی شود. این پدیده منجر به هجوم آب به داخل کارگاه می‌شود. رفتار سنگ‌ها به حالت عادی و اشباع شدن تغییر می‌کند، علاوه بر آن در سنگ‌های آهکی به مرور زمان، منجر به ایجاد حفره‌های کارستی می‌شود.

۳-۸-۲- آب‌های سطحی

در جاهایی که آب‌های سطحی ناشی از بارش با عبور از سنگ‌های درزه‌دار در منطقه‌ای تجمع پیدا می‌کند، آب ممکن است از میان خاک به ترک‌ها و شکاف‌ها در سنگ بستر راه پیدا کند و در نهایت به داخل فضای استخراجی وارد شود. ورود آب به این منطقه باعث سست شدن و لغزندگی می‌شود. این امر موجب تخریب سریع‌تر و در نتیجه تسریع نشست می‌شود.

۳-۸-۳- ارتفاع سطح آب و تغییرات آن

آب موجب کاهش مقاومت پایه‌ها، سقف و یا کف می‌شود. تغییرات پی در پی رطوبت در معدن موجب تضعیف سنگ‌ها می‌شود. جریان آب موجب ناپایداری توده سنگ شده و صفحات گسستگی مستعد حرکت می‌شوند.

۳-۹- وسعت منطقه استخراج شده

وقوع حداکثر نشست در سطح زمین مستلزم رسیدن ابعاد فضای استخراجی به طول و عرض بحرانی است. در صورتی که حتی یکی از این دو بعد به حد بحرانی نرسیده باشد، ممکن است طبقات سنگ به صورت پل روی هم قرار گیرد و کاهش نشست را به دنبال داشته باشد.

۳-۱۰- روش استخراج و نگهداری حفریات معدنی

شکل اولیه نیمرخ نشست در حالتی که استخراج به روش اتاق و پایه انجام می‌شود با حالتی که استخراج به روش جبهه‌کار بلند انجام می‌گیرد، متفاوت است. در روش اتاق و پایه، بسته به میزان تخریب پایه‌ها ممکن است نشست در سطح زمین به شکل ترانشه و یا به صورت شکم‌دادگی رخ دهد. از خصوصیات مهم این نوع نشست می‌توان به جابه‌جایی و تنجش بر روی فاصله‌های کوتاه بعد از شروع نشست در سطح زمین اشاره کرد. در روش استخراج جبهه‌کار بلند، نشست تقریبا بلافاصله پس از استخراج رخ می‌دهد و قابل پیش‌بینی است.

omoorepeyman.ir

۳-۱۱- سرعت پیشروی جبهه‌کار

با پیشروی جبهه‌کار استخراج، نشست سطح زمین نیز گسترش پیدا می‌کند. اگر آهنگ استخراج به طور مشخص تغییر کند، تنجش انتقالی نیز تغییر می‌کند. فاصله زمانی وقوع نشست در سطح زمین به آهنگ پیشروی جبهه‌کار وابسته است.

۳-۱۲- شیوه کنترل سقف

پر کردن قسمتی یا تمام فضای خالی ایجاد شده موجب کاهش میزان نشست می‌شود، ولی نشست را به طور کامل از بین نمی‌برد. میزان نشست در سطح زمین به نوع مواد و همچنین روش پر کردن بستگی دارد. برای مثال اگر روش دستی برای پر کردن کارگاه استخراج به کار گرفته شود، میزان نشست بیش از حالتی است که از روش بادی استفاده شود.

۳-۱۳- زمان طی شده پس از استخراج

مقدار نشست مشاهده شده تابعی از زمان است. در روش اتاق و پایه ممکن است تا زمان بازیابی پایه‌ها و یا زمان تخریب آن‌ها هیچ نشستی در سطح زمین مشاهده نشود. در روش جبهه‌کار بلند، نشست ممکن است بلافاصله پس از عبور لبه کارگاه از زیر یک منطقه رخ دهد، اگر چه وجود یک بستر توده‌ای در پوشان‌سنگ ممکن است در بروز نشست تاخیر ایجاد کند. در روش جبهه‌کار بلند پس از چند سال، نشست کامل می‌شود و سطح زمین ثبات می‌یابد. اگر در این روش برای نگهداری فضای استخراج شده از پایه استفاده شده باشد، آنگاه ممکن است نشست کامل چند سال به طول انجامد. در روش اتاق و پایه که پایه‌ها به طور کامل استخراج می‌شوند، نشست مانند روش جبهه‌کار بلند رخ می‌دهد. البته، تفاوت‌های اندکی بسته به عواملی چون مقدار ماده معدنی بر جا گذاشته شده، وجود خواهد داشت.

۳-۱۴- حجم عملیات معدنی

در بسیاری از معادن، مواد معدنی از چندین کارگاه استخراجی کنار هم استخراج می‌شود. این کارگاه‌ها به وسیله پایه‌هایی از جنس ماده معدنی از یکدیگر جدا می‌شوند. در این شرایط، میزان نشست حاصل از هر کارگاه بر روی نشست در کارگاه مجاور تاثیر خواهد داشت. در این نوع از استقرار کارگاه‌های استخراج، نیمرخ نشست در مقایسه با حالتی که فقط یک کارگاه استخراج وجود داشته باشد، شکل پیچیده‌تری دارد.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۴

مکانیزم نشست و ارتباط آن با روش استخراج

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۴-۱- آشنایی

پس از استخراج ماده معدنی با ابعاد کافی، سنگ‌ها در بالای فضای استخراجی جابه‌جا می‌شوند و تغییر شکل می‌دهند. این جابه‌جایی و تغییر شکل، مناطق قابل تفکیکی را در بالای فضای استخراجی به وجود می‌آورد که خصوصیات ویژه‌ای دارد.

۴-۲- روش جبهه‌کار بلند[1]

یکی از شایع‌ترین نوع نشست، نشست در اثر استخراج زغال‌سنگ با روش جبهه‌کار بلند است. مهم‌ترین شیوه‌های نگهداری کارگاه پس از استخراج به شرح زیر است:

- تخریب
- نگهداری طبیعی
- نگهداری مصنوعی

پر کردن کارگاه استخراج معمولا موجب بروز کمترین نشست در سطح زمین می‌شود اما از آنجا که عملیات پر کردن کارگاه استخراج مستلزم صرف هزینه و همچنین وجود امکانات فنی مربوطه است، بنابراین برای انتخاب روش مناسب برای پر کردن کارگاه استخراج باید بررسی‌های فنی و اقتصادی به عمل آید.[2]

انجام عملیات استخراج به روش جبهه‌کار بلند در لایه‌های شیبدار مشابه لایه‌های افقی است ولی ملاحظات خاصی را نیاز دارد. زاویه شیب لایه یکی از عوامل مهم در انتخاب جهت کارگاه استخراج است. در حالتی که شیب لایه کمتر از ۲۰ درجه باشد، مشکلات شیب اهمیت کمتری پیدا می‌کند، ولی در شیب‌های بالاتر و به ویژه بیش از ۳۰ درجه، این مشکلات قابل توجه و لازم است تا به آن‌ها توجه بیشتری شود.

۴-۳- روش جبهه‌کار کوتاه[3]

روش جبهه‌کار کوتاه نیز مانند روش جبهه‌کار بلند ممکن است موجب بروز نشست در سطح زمین شود. تفاوت عمده نشست در روش جبهه‌کار بلند با جبهه‌کار کوتاه ناشی از طول کمتر کارگاه استخراج در روش جبهه‌کار کوتاه است.

1- Long wall

۲- برای اطلاعات بیشتر به نشریه شماره ۲۸۳ سازمان برنامه و بودجه کشور با عنوان "دستورالعمل پر کردن کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی" مراجعه شود.

3- Short wall

omoorepeyman.ir

۴-۴- روش اتاق و پایه[1]

این روش نیز از جمله روش‌های تاثیرگذار بر نشست در سطح زمین است، به ویژه در حالتی که پایه‌ها به طور کامل بازیابی می‌شوند، این تاثیر بیشتر است. در روش اتاق و پایه به جز بازیابی کامل پایه‌ها ممکن است به روش‌های زیر عمل شود:

الف- پایه‌ها بازیابی نشوند.

ب- بخشی از پایه‌ها بازیابی شوند.

پ- پایه‌ها بازیابی شوند ولی نگهداری مصنوعی جایگزین شود.

۴-۵- روش کارگاه و پایه[2]

وضعیت نشست در روش کارگاه و پایه تا حدودی به نوع نشست در روش اتاق و پایه نزدیک است. تفاوت‌های عمده نشست در روش کارگاه و پایه با روش اتاق و پایه به شرح زیر است:

الف- معمولا کارگاه‌های اتاق و پایه ارتفاع زیادی دارند و این خود باعث افزایش نشست در سطح زمین می‌شود.

ب- موقعیت و ابعاد پایه‌ها متغیر است و بنابراین وضعیت پیچیده‌تری از نشست را به وجود می‌آورد.

پ- گاه، پایه‌ها در این روش تقویت شده و باعث دوام پایه و عدم نشست تا زمان طولانی می‌شود.

۴-۶- روش انباره‌ای[3]

روش انباره‌ای نیز از جمله روش‌های با نگهداری طبیعی محسوب می‌شود و در آن، در زمان استخراج ماده معدنی سقف کارگاه استخراج تخریب نمی‌شود. به این ترتیب، نشست در روش انباره‌ای پس از تخلیه کامل کارگاه استخراج رخ می‌دهد. در زمان تخلیه کامل کارگاه ممکن است طبقات بالایی تخریب شده و موجب بروز نشست شود. این پدیده خود به عمل تخلیه کارگاه کمک می‌کند. البته، این تخریب ضمن ایجاد اختلاط باطله و مواد معدنی ممکن است نشست زود هنگام را در سطح زمین به دنبال داشته باشد. از آنجا که در این روش استخراجی ممکن است تمام کارگاه استخراج با سنگ‌های تخریب شده از طبقات بالایی پر شود، بنابراین در صورتی که کارگاه استخراج نسبتا به سطح زمین نزدیک باشد، امکان وقوع نشست قابل ملاحظه‌ای در سطح زمین وجود دارد.

1- Room & pillar
2- Stop and pillat
3- Shrinkage

omoorepeyman.ir

۴-۷- روش استخراج از طبقات فرعی[1]

روش استخراج از طبقات فرعی در گروه روش‌های با نگهداری طبیعی قرار دارد و برای استخراج ذخایر نسبتا قائم با ماده معدنی و سنگ‌های درونگیر نسبتا پایدار استفاده می‌شود. به این ترتیب کارگاه استخراج تا خاتمه استخراج و بازیابی پایه‌ها به طور طبیعی پایدار باقی می‌ماند. در نتیجه، روش استخراج طبقات فرعی را می‌توان از جمله روش‌هایی دانست که نشست بعد از خاتمه عملیات استخراجی و تخریب کارگاه رخ می‌دهد. چگونگی وقوع نشست در استخراج مواد معدنی با استفاده از این روش به عواملی همچون بازیابی پایه‌ها و عمق معدن بستگی دارد.

۴-۸- روش کند و آکند[2]

در این روش کمترین نشست رخ می‌دهد. از آنجا که قسمت استخراج شده به طور کامل به وسیله موادی چون باطله پر می‌شود، بنابراین حتی پس از خاتمه استخراج نیز نسبت به سایر روش‌های استخراجی نشست کمتری در سطح زمین رخ می‌دهد. وقوع نشست در این روش علاوه بر عوامل عمومی مانند خواص طبقات بالایی، عمق و ابعاد کارگاه استخراج و موارد مشابه، به نوع پرکننده و شیوه پر کردن کارگاه نیز بستگی دارد.

۴-۹- روش کرسی‌چینی[3]

در روش کرسی‌چینی، نشست مشابه روش کند و آکند است. علت آن نگهداری فضای استخراجی به وسیله چوب است که مشابه آن در روش کند و آکند وجود دارد، اما پتانسیل وقوع نشست در روش کرسی‌چینی همواره وجود دارد و با گذشت زمان و پوسیدگی چوب‌ها احتمال وقوع نشست افزایش می‌یابد.

۴-۱۰- روش تخریب در طبقات فرعی[4]

در روش تخریب در طبقات فرعی، چال‌های انفجاری در سقف طبقه فرعی حفر شده و سنگ‌های بالایی به داخل طبقه فرعی تخریب می‌شوند. به این ترتیب، وزن طبقات تخریب شده بالایی به عمل خرد کردن سنگ و انتقال آن به پایین کمک می‌کند. در این روش، حتی قبل از انجام استخراج کامل ماده معدنی، ممکن است نشست قابل ملاحظه‌ای در سطح زمین رخ دهد.

1- Sublevel stopping
2- Cut & fill
3- Squure
4- Sublevel caving

omoorepeyman.ir

۴-۱۱- روش تخریب توده‌ای[1]

روش تخریب توده‌ای که برای استخراج ذخایر توده‌ای و معمولا کم عیار استفاده می‌شود، نشست قابل توجهی را در سطح زمین ایجاد می‌کند. این نشست منطقه نسبتا بزرگی از سطح زمین را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

از آنجا که در این روش خرد شدن سنگ‌ها در پی وارد آمدن فشار از طبقات بالا رخ می‌دهد، شکست و جابه‌جایی قائم لایه‌ها تا سطح زمین ادامه می‌یابد و در نهایت وقوع نشست در این روش غیر قابل اجتناب است.

1- Block caving

omoorepeyman.ir

فصل ۵

مکانیزم نشست در کانسارهای لایه‌ای

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۵-۱- آشنایی

داشتن اطلاعات کافی از مکانیزم جابه‌جایی طبقات از الزامات شناخت پدیده نشست است. تئوری‌های متعددی برای توصیف مکانیزم جابه‌جایی در اثر استخراج ذخایر معدنی وجود دارد که در ادامه به برخی از معتبرترین آن‌ها اشاره می‌شود.

۵-۲- مکانیزم جابه‌جایی در لایه‌های افقی

بخش بالایی فضای استخراجی را می‌توان به چهار منطقه تقسیم کرد:

تخریب شده[1]، شکسته[2]، تغییر شکل پیوسته[3] و خاکی[4]

الف- منطقه تخریب شده

اولین منطقه جابه‌جایی در بالای کارگاه استخراج است. بلافاصله پس از استخراج لایه معدنی و انتقال تجهیزات نگهداری، سقف بلافصل، تخریب و به داخل فضای استخراجی فرو می‌ریزد، سپس طبقات بالایی نیز تخریب می‌شود و فضای خالی ایجاد شده را پر می‌کند و به این ترتیب، منطقه تخریب شده شکل می‌گیرد. در منطقه تخریب شده، طبقات ضمن پر کردن فضای استخراجی، پیوستگی و لایه‌بندی خود را از دست می‌دهد. ارتفاع این منطقه بسته به خواص سقف بلافصل و همچنین خواص سنگ روباره بین ۲ تا ۸ برابر ضخامت لایه استخراجی است.

ب- منطقه شکسته

در بالای منطقه تخریب شده، منطقه شکسته شده تشکیل می‌شود. مهم‌ترین ویژگی این منطقه شکست لایه‌ها است که از بین رفتن پیوستگی آن‌ها را در پی دارد، ولی شکل لایه‌ای طبقات حفظ می‌شود. شدت شکستگی در این منطقه از پایین به بالا کاهش می‌یابد. ارتفاع این منطقه بسته به عوامل مختلف بین ۲۰ تا ۳۰ برابر ضخامت لایه استخراجی و برای سنگ‌های سخت و مقاوم بیشتر از سنگ‌های نرم و ضعیف است.

پ- منطقه تغییر شکل پیوسته

در این منطقه طبقات در بین منطقه شکسته شده و سطح زمین به سمت پایین خم می‌شود، بدون اینکه در آن‌ها شکست رخ داده باشد. به این ترتیب، پیوستگی و در نتیجه خصوصیات این طبقات حفظ می‌شود. گاه ممکن است در این منطقه، نفوذپذیری به صورت موقت کاهش یابد، ولی پس از مدتی مجددا به میزان اولیه باز می‌گردد. تنها برخی شکاف‌ها در منطقه کششی نیمرخ نشست در سطح زمین ممکن است همچنان باز بماند که البته پیوستگی طبقات را بر هم نمی‌زند.

1- Caved zone
2- Fractured zone
3- Continuous bending (deformation) zone
4- Soil zone

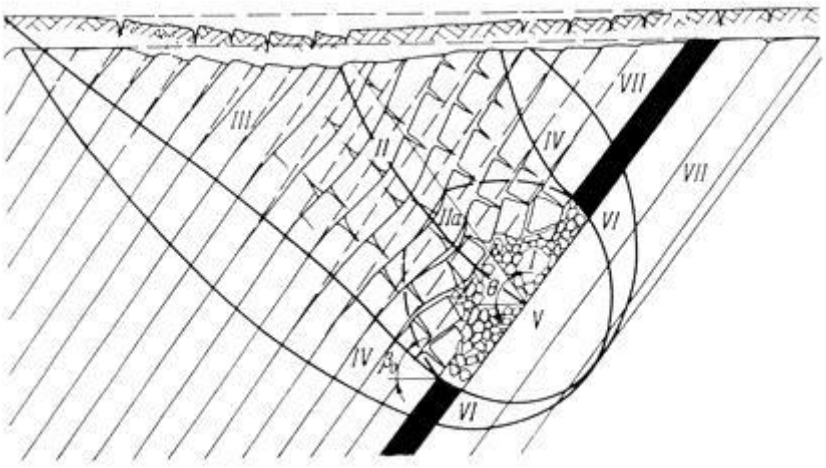
omoorepeyman.ir

ت- منطقه خاکی

این منطقه شامل لایه خاک‌های هوازده در سطح زمین است. بسته به خواص فیزیکی خاک، ممکن است ترک‌هایی در زمان نزدیک شدن کارگاه استخراج به وجود آید و پس از عبور کارگاه استخراج از زیر منطقه، مجددا این ترک‌ها بسته شود. البته، در کناره‌های نیمرخ نشست ممکن است ترک‌هایی همچنان باز بمانند، ولی خیلی زود با ریزش در کناره‌های آن دوباره پر می‌شوند.

۵-۳- مکانیزم جابه‌جایی در لایه‌های کم‌شیب

در بالای کارگاه استخراج شده در لایه‌های شیبدار شش منطقه قابل تشخیص است. تعداد مناطق در لایه‌های پرشیب را می‌توان به هفت بخش تقسیم کرد که این بخش‌ها در شکل ۵-۱ نشان داده شده‌اند.



شکل ۵-۱- بخش‌های ریزشی در بالای لایه‌های استخراج شده کم شیب

همان‌طور که در شکل ۵-۱ نیز مشخص است از این شش بخش، بخش‌های اول تا چهارم در بالای لایه و دو بخش پنج و شش در زیر لایه قرار دارد.

در بخش شماره ۱ که درست در بالای فضای استخراجی قرار دارد، سنگ‌ها به شدت شکسته شده و به قطعات کوچک خرد شده است. این بخش منطقه ریزشی[1] نام دارد.

در بالای منطقه ریزشی، منطقه شکسته تشکیل می‌شود. مهم‌ترین ویژگی این منطقه ظاهر شدن ترک‌های عمودی[2] در جهت عمود بر لایه‌بندی است. این ترک‌ها موجب هدایت آب در جهت عمود بر لایه‌بندی می‌شود. این منطقه به نام منطقه ترک[3] نیز نامیده می‌شود و ارتفاع آن بسته به عوامل مختلف بین ۳۰ تا ۵۰ متر است.

1- Collapse zone
2- Normal cracks
3- Crack zone

omoorepeyman.ir

در بخش پایینی، منطقه ۲ بخشی قرار دارد که دارای حداکثر رشد ترک‌های جداکننده لایه است. درست در بالای فضای استخراجی، جداشدگی طبقه‌بندی زیاد است و با دور شدن از فضای استخراجی، لایه‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند تا جایی که در نهایت طبقات به یک یا چند قسمت جدا شده از هم تبدیل می‌شوند. در این منطقه لایه‌های سنگ به تعدادی بلوک بزرگ شکسته می‌شود. تغییر شکل توده سنگ در این منطقه به صورت جابه‌جایی‌های چرخشی این بلوک‌ها به داخل فضای استخراجی با برش در طول خط لایه‌بندی است. این وضعیت به ویژه در طبقات با شیب تند رخ می‌دهد.

منطقه ۳ با خم شدن ملایم سنگ مشخص می‌شود. در این منطقه، ترک‌های مجزایی شکل می‌گیرد که در جهت عمود بر طبقات به یکدیگر اتصالی ندارند و از دیدگاه نفوذ آب به داخل معدن خطری ایجاد نمی‌کنند. این بخش به نام منطقه خم شده ملایم[1] نیز خوانده می‌شود. از خصوصیات این منطقه کمتر شدن تنش پس از استخراج لایه است.

مناطق ۴ و ۶ در جهت قائم تنش فشاری بیشتری دارند و به نام مناطق فشار سیستم نگهداری[2] خوانده می‌شوند. میزان تنش در این نواحی پس از انجام عملیات استخراج افزایش می‌یابد.

مشخصات فشار سیستم نگهداری به عوامل مختلفی بستگی دارد و مهم‌ترین عامل، میدان توزیع تنش اولیه است. ابعاد، وضعیت فضای استخراجی، خواص، مقاومت و تغییر شکل سنگ‌های درونگیر و روش استخراج نیز از دیگر عوامل موثر است.

در بسیاری از موارد، میزان حداکثر تنش در منطقه فشار سیستم نگهداری بین ۲ تا ۳ برابر فشار نرمال است و محل حداکثر فشار در بالای قسمت استخراج نشده ماده معدنی و فاصله این نقطه از لبه استخراج نشده کارگاه، ۲ تا ۵ برابر ضخامت لایه است.

منطقه ۵ در زیر فضای استخراجی قرار دارد و به نام منطقه آرام[3] یا منطقه بدون بار[4] خوانده می‌شود. در این منطقه تغییر شکل کششی سنگ در جهت عمودی قابل مشاهده است.

آن قسمت از مناطق ۳ و ۴ که سطح زمین را قطع می‌کنند، ممکن است در سطح زمین قابل تفکیک نباشد. علت این وضعیت به خصوصیات نزدیک این دو منطقه مربوط می‌شود. از خصوصیات این منطقه می‌توان به ترک‌های کششی که تا گوشه‌های جابه‌جایی سطح زمین گسترش یافته‌اند، اشاره کرد. با افزایش عمق ممکن است این ترک‌ها به سرعت کاهش یابد و احتمالا به جداشدگی بیانجامد.

بسته به شرایط استخراج، روش‌های کنترل زمین و دیگر پارامترهای موثر، تعداد و موقعیت مناطق بحث شده ممکن است تغییر کند. برای مثال اگر فضای استخراجی به روش دستی پر شود و یا سقف با خم شدن، فشار وارده از طبقات را تحمل کند، آنگاه منطقه یک به وجود نمی‌آید و به این ترتیب منطقه ترک، اولین منطقه در بالای کارگاه استخراج خواهد

1- Smooth sagging region
2- Regions of supporting pressure
3- Relaxed region
4- Unloaded region

omoorepeyman.ir

بود. اگر ضخامت لایه استخراجی زیاد و با سنگ‌هایی با خاصیت پلاستیک احاطه شده باشد، آنگاه منطقه ۲ مشاهده نمی‌شود. اگر در بالای سنگ‌های پلاستیک، سنگ‌های شکننده وجود داشته باشد آنگاه یک منطقه مانند منطقه ترک در بالای بخش خم شده به وجود می‌آید.

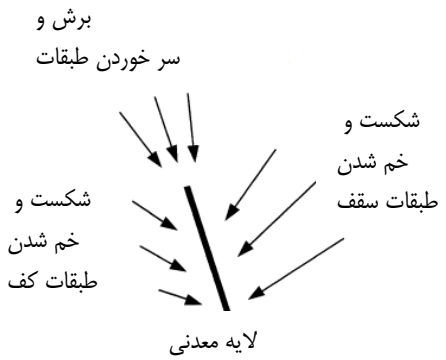
زاویه شیب لایه تاثیر قابل توجهی در ماهیت جابه‌جایی سنگ و در نهایت نشست در سطح زمین دارد. در مورد ضخامت رسوبات و ذخایر گچی که مستقیما بر روی سنگ سخت قرار گرفته‌اند، تعداد لایه استخراج شده و عوامل دیگر تاثیرگذارند.

۵-۴- مکانیزم جابه‌جایی در لایه‌های پرشیب

مکانیزم جابه‌جایی در لایه‌های پرشیب به دلیل چگونگی جابه‌جایی طبقات در زیر و بالای لایه و همچنین در امتداد لایه پیچیده است.

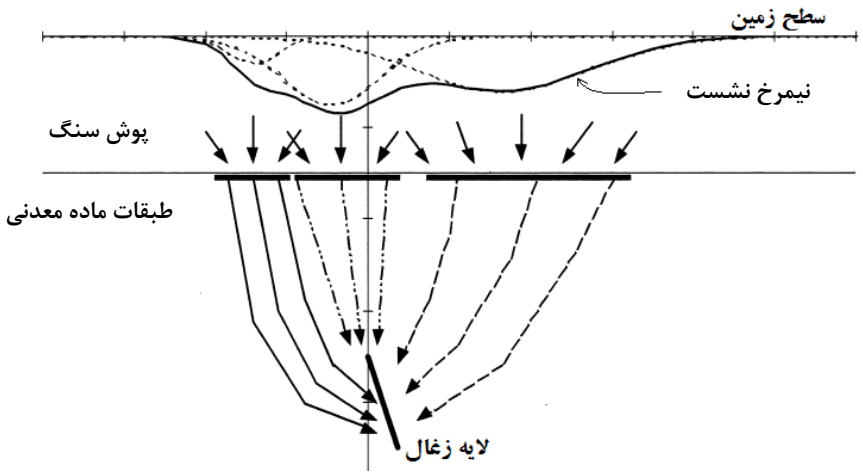
جابه‌جایی طبقات بالایی در لایه‌های پرشیب را می‌توان ناشی از دو نوع حرکت مطابق شکل ۵-۲ دانست. این نوع حرکت‌ها شامل شکست و خم شدن طبقات در کمربالا و کمرپایین لایه و حرکت دوم برش و لغزش طبقات در بالای فضای استخراجی است.

این جابه‌جایی‌ها تا سطح زمین ادامه پیدا می‌کند تا موجب نشست شوند. به این ترتیب، نیمرخ نشست در سطح زمین نتیجه سه فرورفتگی مطابق شکل ۵-۳ است.



شکل ۵-۲- شکست طبقات در اثر استخراج لایه‌های پرشیب

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۳- نیمرخ نشست در اثر استخراج لایه‌های پرشیب

فرورفتگی اول ناشی از شکست و خم شدن کمربالای لایه، فرورفتگی دوم ناشی از شکست و خم شدن کمرپایین لایه و فرورفتگی سوم ناشی از برش و لغزش طبقات در بالای فضای استخراجی است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۶

روش‌های پیش‌بینی نشست و جابه‌جایی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۶-۱- آشنایی

روش‌های پیش‌بینی نشست به شش گروه روش‌های تئوری، تابع نیمرخ، تابع تاثیر، تجربی، مدلسازی فیزیکی و عددی تقسیم می‌شود.

۶-۲- روش‌های تئوری

روش‌های تئوری بیشتر بر مبنای تئوری مکانیک محیط‌های پیوسته است که مبنای آن تشریح مکانیزمی دارد که بر اساس آن می‌توان میزان نشست در سطح زمین را پیش‌بینی کرد. در این روش رفتارهای مختلف الاستیک، پلاستیک، ویسکوالاستیک، الاستوپلاستیک و نظایر آن برای سنگ‌های تشکیل دهنده طبقات بالای فضای استخراجی در نظر گرفته می‌شود و با این فرض‌ها میزان نشست در سطح زمین پیش‌بینی می‌شود. استفاده از این روش در صورتی که دستیابی به مدلی که درستی رفتار سنگ را پیش‌بینی کند، توصیه می‌شود.

۶-۳- روش تابع نیمرخ[1]

در این روش یک سری توابع استاندارد از نوع نمایی، تانژانت هیپربولیک و نظایر آن برای پیش‌بینی نشست در سطح زمین تعریف می‌شود که در ترکیب هر یک از آن‌ها، ضرایب ثابتی وجود دارد که بسته به محل استفاده باید به درستی تعیین شود. این روش فقط برای پیش‌بینی نشست در کارگاه‌های استخراج با شکل مربع یا چند ضلعی‌های ساده هندسی قابل استفاده است.

۶-۴- روش تابع تاثیر

در روش تابع تاثیر، نشست در سطح زمین حاصل نشست تمام المان‌های کوچک تشکیل دهنده فضای استخراجی در نظر گرفته می‌شود و بیشترین تاثیر هر المان در سطح زمین درست در بالای آن فرض می‌شود و با توجه به زاویه تاثیر، محدوده معینی را در سطح زمین تحت تاثیر قرار می‌دهد. به این ترتیب، تاثیر المان‌های دورتر در نشست کاهش می‌یابد و المان‌هایی که در فاصله بسیار دور قرار دارند بدون تاثیر در نظر گرفته می‌شود. این روش برای پیش‌بینی نشست در انواع فضاهای استخراجی حتی فضاهای با شکل نامنظم قابل استفاده است.

1- Profile function

omoorepeyman.ir

۶-۵- روش‌های تجربی

در این روش‌ها، از داده‌های جمع‌آوری شده از مناطق استخراج شده برای تهیه مدل تجربی پیش‌بینی نشست در سایر مناطق مشابه استفاده می‌شود. این مدل‌ها را در قالب نمودار و یا جدول‌هایی تهیه می‌کنند که با استفاده از آن‌ها می‌توان خصوصیات نشست در سطح زمین را پیش‌بینی کرد.

۶-۶- مدلسازی فیزیکی

در این روش با ترکیب موادی مانند ماسه، ژلاتین و نظایر آن، مدلی واقعی ولی کوچکتر از منطقه مورد بررسی تهیه می‌شود، سپس لازم است تا با استفاده از دستگاه‌های دقیق پایش، مقدار نشست مدل را اندازه‌گیری کرد. با پردازش داده‌های جمع‌آوری شده میزان نشست، در منطقه قابل پیش‌بینی است. در این روش لازم است تا برای پیش‌بینی نشست در شرایط واقعی، نسبت‌های مناسبی از پارامترهایی مانند وزن مخصوص، ابعاد و مشخصات کارگاه استخراج بین مدل فیزیکی و شرایط حاکم بر محل تهیه و ارزیابی شود.

۶-۷- مدلسازی عددی

در این روش با استفاده از روش‌های عددی مانند المان محدود، المان مرزی، المان مجزا و تفاضل محدود، معادلات ریاضی پیش‌بینی جابه‌جایی طبقات زمین نوشته و حل می‌شود و بر اساس آن، نشست در سطح زمین پیش‌بینی می‌شود. با استفاده از کامپیوتر امکان حل معادلات پیچیده و همچنین معادلاتی با شرایط اولیه و مرزی غیر همگن امکان‌پذیر است، بنابراین استفاده از روش‌های عددی برای پیش‌بینی نشست توصیه می‌شود. از مزیت‌های این روش می‌توان به امکان تعریف هر نوع رفتار سنگ، عدم تجانس و لایه‌بندی اشاره کرد.

omoorepeyman.ir

فصل ۷

روش‌های اندازه‌گیری نشست

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۷-۱- آشنایی

از داده‌های مربوط به اندازه‌گیری نشست برای نظارت بر وضعیت نشست هم‌زمان با انجام عملیات استخراج، توسعه مدل‌های تجربی و واسنجی مدل‌های موجود توصیه می‌شود. اندازه‌گیری و ثبت نشست هم‌زمان با انجام عملیات استخراجی به طور خاص در حالتی که استخراج در نزدیکی تاسیسات مهم سطحی در حال انجام است، الزامی است. در این حالت لازم است با در نظر داشتن میزان جابه‌جایی و در صورت نیاز، انجام اقدام‌های لازم، از بروز آسیب به تاسیسات سطحی جلوگیری شود. مهم‌ترین روش‌های اندازه‌گیری نشست، روش‌های ابزاربندی و رفتارسنجی، نور، لیزر و رادار است.

در انتخاب ابزار اندازه‌گیری نشست زمین توجه به عوامل زیر توصیه می‌شود:

- هدف از بررسی نشست
- مساحت منطقه مورد مطالعه
- وضعیت توپوگرافی منطقه
- جهت نیمرخ نسبت به محدوده نشست
- فاصله و تعداد نقاط برداشت و ایستگاه‌های مشاهده
- میزان سرمایه طرح
- مدت زمان بررسی و بازه زمانی بین برداشت‌ها
- نیروی انسانی مورد نیاز برای برداشت و جمع‌آوری داده‌ها

۷-۲- روش‌های ابزاربندی و رفتارسنجی

این روش‌ها شامل روش‌هایی بر پایه نقشه‌برداری و همچنین استفاده از ابزارهایی همچون کشیدگی‌سنج‌ها هستند.

۷-۲-۱- روش‌های نقشه‌برداری

یکی از ساده‌ترین روش‌های اندازه‌گیری میزان نشست، روش‌های مبتنی بر نقشه‌برداری است. در این روش‌ها با اندازه‌گیری طول، زاویه و ارتفاع، میزان نشست اندازه‌گیری می‌شود. در روش نقشه‌برداری لازم است تا از یک ایستگاه مرجع در خارج از محدوده نشست برای مقایسه میزان جابه‌جایی استفاده شود، باید این ایستگاه در خارج از محدوده نشست قرار داشته باشد تا موجب بروز خطا در اندازه‌گیری میزان نشست نشود.

اندازه‌گیری نشست شامل نقشه‌برداری سطحی و اندازه‌گیری جابه‌جایی در زیر سطح و پایش صدمات به سازه‌های سطحی است. در برداشت به روش‌های نقشه‌برداری لازم است نقاطی در محدوده نشست تعیین شود که با جابه‌جایی زمین این نقاط نیز جابه‌جا شود. اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی در اثر نشست زمین با برداشت مختصات جدید این نقاط انجام می‌شود. مختصات این نقاط باید در فاصله زمانی مشخص (و معمولا یکسان) برداشت شود. لازم است این نقاط به

omoorepeyman.ir

گونه‌ای بر روی زمین انتخاب شوند که از نظر فیزیکی به اندازه کافی مقاومت داشته باشد و با عواملی چون فرسایش خاک دچار تغییر نشوند.

دقت اندازه‌گیری باید به گونه‌ای باشد که تغییر شکل‌هایی در حدود چهار رقم اعشار را نیز اندازه‌گیری کند که این میزان یک دهم میزان تغییر شکل ناشی از آسیب نشست به سازه‌های سطحی است. برای رسیدن به این دقت، رعایت فاصله مناسب بین نقاط اندازه‌گیری ضرورت دارد.

الف- انتخاب نقاط نقشه‌برداری

اولین گام، انتخاب موقعیت نقاط برای برداشت و همچنین ایستگاه‌های نقشه‌برداری است. انواع مختلفی از ایستگاه‌های نقشه‌برداری قابل تهیه و استفاده است. هر یک از روش‌های نصب ایستگاه‌ها مزایا و معایب خود را دارند. ساده‌ترین نوع ایستگاه ایجاد نقاط رنگی روی سنگ فرش، آسفالت یا روی بلوک بتن است، اگر چه این نقاط آسیب‌پذیرند و ممکن است تحت تاثیر عوامل طبیعی و مصنوعی قرار گیرند و تغییر کنند. در روش‌های دیگر از میله فلزی یا چوبی به ابعاد مناسب استفاده می‌شود. در این روش باید تمام طول میله چوبی یا فلزی به نحوی در داخل زمین قرار گیرد که با سطح همتراز شود.

ب- آرایه ایستگاه‌ها و نقاط برداشت

برای ایجاد خط پایه لازم است تا چند ایستگاه نقشه‌برداری و تعدادی نقطه برداشت به شرحی که در ادامه آمده است تعیین شود. سه نوع آرایه نقاط برداشت در شکل ۷-۱ آورده شده است.

برای برداشت نشست داده‌های تخمین نشست، دو نوع خط نقشه‌برداری توصیه می‌شود:

- خط نقشه‌برداری کل گودال نشست که تمامی عرض یا طول پهنه را قطع می‌کند. (خطوط R_1R_4 یا R_5R_3 در شکل ۷-۱-الف و ب)

- خط نقشه‌برداری نصف گودال نشست که حدودا نصف عرض یا طول پهنه را پوشش می‌دهد. (خطوط R_1E یا R_5F در شکل۷-۱-الف و ب)

برای بررسی نشست زمین با اهداف تحقیقاتی روشی که در شکل ۷-۱-پ نشان داده شده است، توصیه می‌شود که شامل چندین خط نقشه‌برداری در جهات طولی و عرضی است.

خطوط نقشه‌برداری باید مستقیم و خطی باشند و از محل اصلی گودال نشست عبور کنند.

محل شروع اندازه‌گیری باید به اندازه کافی از لبه کارگاه استخراج دور باشد تا تمام محدوده نشست را شامل شود. حداقل فاصله نقطه شروع اندازه‌گیری از لبه کارگاه از رابطه ۷-۱ به دست می‌آید:

$$L_3 = h.\tan\delta_0 + \Delta_1 \qquad (۱-۷)$$

که در آن:

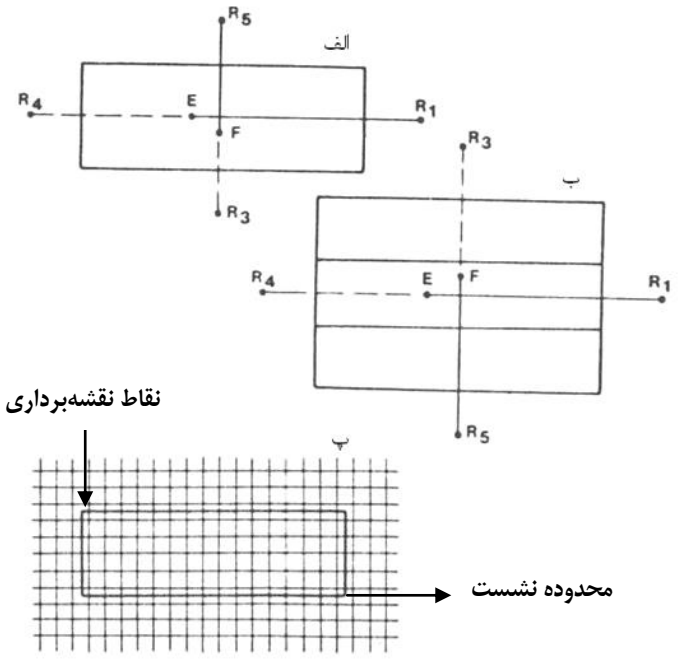
h عمق کارگاه استخراج

δ_0 زاویه تاثیر

omoorepeyman.ir

Δ_1 ۵ تا ۷ برابر فاصله نقاط برداشت در نقشه‌برداری کل گودال نشست و یا ۸ تا ۱۰ برابر فاصله نقاط برداشت در برداشت نصف گودال نشست است.

حداقل باید دو ایستگاه کنترلی در انتهای هر یک از مسیرهای نقشه‌برداری و خارج از محدوده نشست وجود داشته باشد. فاصله نقاط برداشت در بازه ۴ تا ۶۰ متر است.



شکل ۷-۱- سه نوع شبکه پایه برای احداث نقاط برداشت

برای اندازه‌گیری تنش افقی و شیب سطحی، استفاده از دو مسیر موازی برداشت نقشه‌برداری نزدیک به هم توصیه می‌شود. در این مورد نقاط برداشت موازی‌اند و یک شکل چهار گوش را تشکیل می‌دهند. به عنوان مثال نقاط برداشت در خط اول بین نقاط برداشت در خط دوم قرار می‌گیرند.

پ- زمان‌های برداشت

توصیه می‌شود ۵ تا ۱۰ روز بعد از نصب نقاط، مراحل پایش به شرح زیر آغاز شود:

- نقشه‌برداری خطوط اصلی: در این برداشت، مختصات نقاط تعیین شده اندازه‌گیری شود.

- برنامه کامل نقشه‌برداری: این برنامه شامل برداشت برای یافتن تغییر مختصات برای نقاط معین شده است. فاصله زمانی بین دو برداشت نباید بیش از ۵ تا ۷ روز باشد و در زمان رخداد نشست باید چهار بار برنامه کامل انجام گیرد. قبل و بعد از استخراج باید حداقل دو برنامه کامل نقشه‌برداری انجام گیرد.

- برداشت ارتفاع در زمان ثابت: در این مورد هدف از نقشه‌برداری تخمین مدت زمان نشست است. بدین منظور باید چندین نقطه در امتداد پیشروی استخراج انتخاب شود. بعد از انجام آخرین برنامه کامل نقشه‌برداری در زمان فعالیت وقوع نشست، چندین نقطه در هر طرف پهنه برای برداشت ارتفاع در زمان ثابت انتخاب شود. مدت زمان بین برداشت‌ها

omoorepeyman.ir

به عمق لایه و طبقات بالایی بستگی دارد و بین یک تا ۳ ماه متغیر است. برداشت تا زمانی‌که نشست تجمعی هر نقطه از ۳۰ میلی‌متر در مدت شش ماه تجاوز نکند، ادامه یابد. بعد از این مرحله برای نتیجه‌گیری، برنامه کامل نقشه‌برداری انجام شود.

- برداشت تحقیقات: این برداشت هنگامی که اهداف تحقیقاتی یا بررسی رفتار دینامیکی نشست مورد نظر باشد توصیه می‌شود. برداشت نشست به کمک نقاط تعیین شده و منتخب باید به دفعات انجام شود. به عنوان مثال برای بررسی اثرات تخریبی بر سازه‌های سطحی برداشت باید یک بار در روز هنگامی که جبهه‌کار در فاصله ۰٫۲ تا ۱٫۴ برابر عمق کارگاه استخراج از لبه سازه‌های سطحی است، انجام گیرد.

در زمان هر برداشت، باید توپوگرافی و زمین‌شناسی شامل موقعیت و مشخصات شکستگی‌های سطحی، موقعیت کارگاه و عمق کارگاه استخراج، شرایط تخریب سقف و شرایط هیدرولوژیکی شامل تغییر در جریان جویبارها، چشمه‌ها و مانند آن‌ها ثبت شود.

نقشه‌برداری باید با سرعت و به طور مداوم انجام شود به ویژه در زمانی که نشست تداوم دارد، رعایت این نکته الزامی است.

ت- ابزار و شیوه‌های نقشه‌برداری

در این بررسی‌ها جابه‌جایی افقی، جابه‌جایی قائم و کج‌شدگی به شرح زیر اندازه‌گیری می‌شود:

- جابه‌جایی افقی: اندازه‌گیری جابه‌جایی افقی به منظور محاسبه تغییر شکل افقی سطح توصیه می‌شود. تغییر شکل با اندازه‌گیری فاصله و مقایسه با فاصله اولیه بین دو نقطه مشخص در مجاورت یکدیگر و یا با محاسبه موقعیت دقیق ایستگاه‌ها بین دو نقشه‌برداری انجام می‌شود.

فاصله بین دو نقطه معین و یا ایستگاه به وسیله کشیدگی‌سنج، متر نواری، فاصله‌سنج الکترونیکی و یا دوربین نقشه‌برداری اندازه‌گیری می‌شود.

از کشیدگی‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری فاصله بین ۳ تا ۶ متر با دقت ۰٫۲۵ تا ۰٫۰۵ میلی‌متر استفاده می‌شود.

در صورت استفاده از متر نواری باید تصحیحات مربوط به دما و کشش وزنی و انحراف اعمال شود. از مترهای نواری که در طول حداکثر ۶۰ متر خطای تقریبی ۳ میلی‌متر دارند باید استفاده شود.

فاصله‌سنج الکترونیکی برای اندازه‌گیری فاصله‌های کوتاه قابل استفاده است و دقتی حدود ۵ میلی‌متر دارد. در صورت استفاده از فاصله‌سنج‌های الکترونیکی برای فاصله‌های بیشتر از ۶۰ متر باید خطای آن از رابطه ۷-۲ محاسبه و اصلاح شود:

$$\delta = 0.00457m + (D \times 0.3048 \times 10^{-6}) \qquad (۷-۲)$$

که در آن:

δ خطای اندازه‌گیری (متر)

D فاصله اندازه‌گیری (متر)

omoorepeyman.ir

برای محاسبه تغییر شکل افقی (ε) از رابطه ۷-۳ استفاده می‌شود:

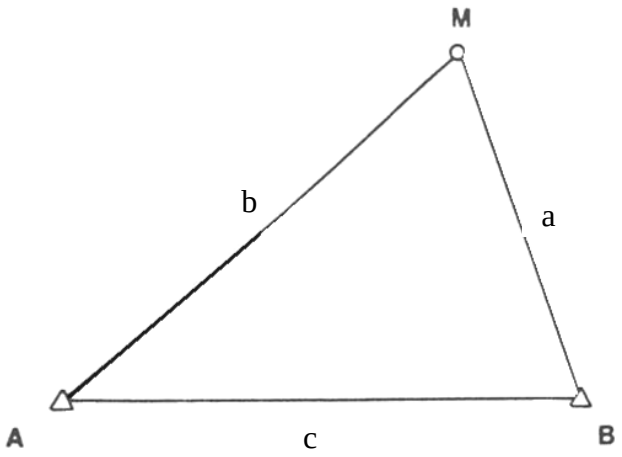
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (۳-۷)$$

که در آن:

ΔL تغییر طول

L طول اولیه بین دو نقطه معین برداشت شده

تغییر شکل افقی به وسیله محاسبه تغییرات در موقعیت ایستگاه‌های مجاور، به کمک روشی که در شکل ۷-۲ نشان داده شده محاسبه می‌شود.



شکل ۷-۲- روش تقاطع برای محاسبه تنجش افقی

خط پایه (AB) و مختصات ایستگاه‌های A و B قبلا برداشت شده است. نقطه C از دو ایستگاه A و B قابل مشاهده و برداشت است. طول‌های a و b از رابطه ۷-۴ به دست می‌آید:

$$\frac{\sin A}{a} = \frac{\sin C}{c} = \frac{\sin B}{b} \quad (۴-۷)$$

پس مختصات نقطه C قابل محاسبه است. با ادامه این روند برای نقطه C و نقاط مجاور دیگر، تغییر شکل افقی بـرای هر برداشت از رابطه ۷-۵ محاسبه می‌شود:

$$\varepsilon_{1-2} = \frac{U_2 - U_1}{L_{1-2}} \quad (۵-۷)$$

که در آن:

U_1 و U_2 تغییرات طول برای دو ایستگاه مجاور در امتداد خط مشاهده

L_{1-2} فاصله افقی بین آن دو ایستگاه

- جابه‌جایی قائم: جابه‌جایی قائم یکی از ویژگی‌های مهم در نشست سطح است و به وسیله تئودولیت و یا ترازیابی دقیق، روش مثلثاتی و یا شیب‌سنجی قابل اندازه‌گیری است.

omoorepeyman.ir

در زمین‌های با توپوگرافی ناهموار از تئودولیت نیز می‌توان برای نقشه‌برداری استفاده و به وسیله آن زاویه شیب در صفحه قائم نسبت به سطح افق در ایستگاه برداشت را اندازه‌گیری کرد. زاویه شیب برای یافتن اختلاف ارتفاع مورد نیاز است. توصیه می‌شود که پس از محاسبه فاصله‌های قائم از صفحه افق برای هر مرحله از نقشه‌برداری و جمع مقادیر یاد شده، کل میزان نشست محاسبه شود. استفاده از یک ایستگاه نقشه‌برداری برای برداشت چندین نقطه مجاز است.

هنگامی که از تئودولیت برای برداشت و اندازه‌گیری زاویه قائم استفاده می‌شود، زاویه باید با دقت نیم ثانیه ثبت شود. در روش ترازیابی دقت خواندن ارتفاع نقاط باید ۱٫۵ میلی‌متر و هنگام استفاده از شیب‌سنج باید دستگاه دقتی در حد ۱۰ ثانیه داشته باشد تا اندازه‌گیری میزان نشست با دقت قابل قبولی انجام شود. استفاده از شیب‌سنج در برداشت‌هایی بلند مدت (چندین سال) توصیه می‌شود.

- کج شدن و جابه‌جایی افقی: شیب‌سنج ابزاری است که برای اندازه‌گیری تغییرات خیلی کوچک از تراز افقی بر روی زمین و یا در سازه‌ها طراحی شده است. استفاده از شیب‌سنج در برداشت‌هایی بلند مدت (چندین سال) توصیه می‌شود.

۷-۳- اندازه‌گیری حرکت لایه‌های زیرسطحی

اندازه‌گیری‌های زیرسطحی شامل پایش میزان جدا شدن لایه‌ها به عنوان تابعی از موقعیت جبهه‌کار است. برای اندازه‌گیری جابه‌جایی طبقات، چال‌های سطحی و زیرسطحی به عنوان محل استقرار دستگاه توصیه می‌شود. چال‌های زیرسطحی عمدتا در سقف حفاری شده و وسایل اندازه‌گیری نشست سقف در آن نصب می‌شود. هنگامی که از چال‌های سطحی استفاده می‌شود، لازم است چال‌هایی به قطر تقریبی ۵۰ میلی‌متر از سطح زمین تا عمقی که به لایه استخراجی برسد، حفر و حرکت لایه‌های بالای لایه استخراجی از سطح زمین اندازه‌گیری شود. پایش حرکت طبقات زیرسطحی به چندین روش قابل انجام است:

الف- روش فشنگی[1]

در این روش یک دستگاه برداشت الکتریکی مورد نیاز است. دستگاه یک فشنگ دارد که باید در تراز مورد نظر از چاه قرار گیرد و به داخل دیواره چاه شلیک شود و درون لایه‌ای در اطراف چاه مستقر شود. از اطلاعات ناشی از تغییر موقعیت فشنگ می‌توان برای تعیین میزان و جهت جابه‌جایی لایه استفاده کرد.

ب- روش انعکاس‌سنجی (TDR)[2]

روش TDR عملکردی مشابه رادار دارد. در این روش لازم است تا یک کابل چند لایه درون چالی که از سطح زمین تا عمق لایه استخراجی حفر شده، فرستاده شود. از آنجا که ریزش یا جدایش و حرکات مشابه موجب نقصان در کابل می‌شود، بنابراین هنگامی که ولتاژ ارسالی در کابل به محل نقصان برسد، عکس‌العملی متناسب با نقصان رخ داده نشان می‌دهد و یک دستگاه ولتاژ برگشتی را دریافت و ثبت می‌کند. اساسا این دستگاه به تغییر امپدانس کابل وابسته است.

1-Wireline method
2- Time domain reflectometry

omoorepeyman.ir

پ- روش درزگیری مکانیکی

دستگاه مورد استفاده در این روش یک وزنه مکعبی شکل دارد که از فولی دستگاه معلق است. فولی به یک وزنه‌نگار در سطح زمین ارتباط دارد. درون چال یک لوله پلاستیکی کل سیستم معلق را برای حرکت آزادانه سیم و وزنه در برمی‌گیرد. وزنه به وسیله یک لنگر درون چاه مهار و به یک موقعیت مشخص فرستاده شده و فاصله دیواره چال با سیمان درزگیری می‌شود. حرکت وزنه یا حرکت طبقه به وسیله کابل و فولی به سطح زمین منتقل شده و به وسیله وزنه‌نگار در روی سطح ثبت می‌شود.

ت- روش کشیدگی‌سنج درون‌گمانه‌ای (FPBX)[1]

دستگاه مورد استفاده در این روش از چند جز تشکیل شده است. یکی از اجزای آن لوله موجدار از جنس پلی‌اتیلن و حاوی حلقه‌های فلزی ضد زنگ است که در فاصله‌های منظم در داخل لوله به آن متصل می‌شود و قابل انعطاف است که در جهت افقی به کمک سنگریزه (بین لوله و دیواره چال) مهار می‌شود و تنها در امتداد قائم حرکت می‌کند. قسمت دیگر دستگاه میله القایی است که به کمک کابلی به یک دستگاه بازخوان متصل شده است. در صورتی‌که کابل مدرج نباشد به کمک یک متر نواری مستقل که به میله متصل شده، می‌توان اندازه‌گیری را انجام داد. در حین اندازه‌گیری، میله القایی به پایین برده شده و به آرامی به بالای سطح زمین کشیده می‌شود. هنگامی که میله القایی به حلقه‌های فلزی موجود در لوله می‌رسد، یک جریان الکتریکی بین حلقه فلزی و میله به وجود می‌آید و سیگنال الکتریکی القایی از طریق کابل به سطح ارسال می‌شود و زنگی را فعال می‌کند و بدین ترتیب می‌توان محل میله را مشخص کرد. اختلاف در فاصله‌های اندازه‌گیری شده بین دو مرحله اندازه‌گیری موفقیت‌آمیز، تغییر در تراز یا حرکت لایه‌ها را نشان می‌دهد.

ث- روش شیب‌سنج درون گمانه‌ای (FPBI)[2]

برای اندازه‌گیری جابه‌جایی افقی به وسیله اندازه‌گیری زاویه انحراف، این دستگاه توصیه می‌شود. دستگاه شامل لوله پلاستیکی با دو جفت شیار قائم‌الزاویه داخلی و یک میله قابل حمل است که دو جفت چرخ راهنمای در حال حرکت دارد. میله، دو جفت شیب‌سنج دارد که با زاویه ۹۰ درجه نسبت به هم روی میله نصب شده‌اند در نتیجه هنگامی که میله از زاویه قائم منحرف شود، می‌توان تغییر و انحراف از قائم را محاسبه کرد. دستگاه یک باتری به عنوان منبع انرژی و یک نمایشگر رقومی دارد که به کابل مرتبط با میله، متصل شده است. در حین اندازه‌گیری میله به انتهای چال فرستاده شده و سپس به وسیله کابل در هر مرحله ۵ سانتی‌متر بالا کشیده می‌شود. در هر مرحله بالا آمدن، زاویه انحراف بر روی نمایشگر ظاهر می‌شود. این عمل آنقدر تکرار می‌شود تا میله به سطح برسد. مدل‌های استاندارد دستگاه انحراف تا ±۳۰ درجه از قائم را با دقت ±۰٫۰۳ ثبت می‌کنند. برای کاهش هزینه و زمان پیشنهاد می‌شود دو دستگاه FPBX و FPBI با هم در گمانه نصب شوند.

1- Full profile borehole extensometer
2- Full profile borehole incliometer

omoorepeyman.ir

۷-۴- روش‌های مبتنی بر نور و لیزر

لیزر برای اندازه‌گیری فاصله و جابه‌جایی‌ها بدون تماس فیزیکی به کار می‌رود. برای اندازه‌گیری به کمک لیزر روش‌های مختلفی وجود دارد که متناسب با کاربرد و دقت لازم می‌توان از آن‌ها استفاده کرد. در مورد استفاده از این روش‌ها همواره باید به ایمنی استفاده از نور لیزر که ممکن است اثرات مخربی بر سلامت پوست و بینایی داشته باشد، توجه کرد. عینک‌های محافظ چشم یکی از ابزار توصیه شده برای افزایش ایمنی کار با لیزر است.

از جاروبگرهای لیزری می‌توان هم به صورت هوابرد و هم به صورت زمینی استفاده کرد. در مقایسه با روش‌های راداری که در آن‌ها از امواج مایکروویو برای اندازه‌گیری استفاده می‌شود، لیزر پالس‌هایی با توان بالا دارد که در بازه زمانی کوتاه آزاد می‌شود. همچنین لیزر با داشتن طول موج‌های مختلف، پرتوهای بسیار موازی و همدوس دارد. برای رادارهای لیزری از دو واژه مخفف لیدار[1] و لادار[2] استفاده می‌شود. واژه لیدار به نور و واژه لادار به لیزر به عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری اشاره می‌کند.

۷-۵- روش‌های مبتنی بر رادار

در این روش‌ها تشخیص موقعیت و ارتفاع با استفاده از سیگنال‌های دریافتی از ماهواره انجام می‌شود.

استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب ماهواره‌ای (GPS) از جمله روش‌هایی است که در سال‌های اخیر بیشتر استفاده می‌شود. این روش به علت دقت کم برای اندازه‌گیری دقیق نشست توصیه نمی‌شود.

سیستم‌های لیدار و اینسار[3] نیز از جمله سیستم‌های جدیدتر نسبت به موقعیت‌یاب ماهواره‌ای محسوب می‌شود و برای استفاده در مقیاس بسیار بزرگتر و با دقت بسیار زیاد توصیه می‌شود. این روش از جمله روش‌های تکنولوژی سنجش از دور است.

اینسار ابزار جدید نقشه‌نگاری و ابزار مهمی در ارزیابی و کاهش آسیب‌های ناشی از نشست زمین است. قدرت سنجش از دور اینسار امکان ثبت تغییرات در تراز سطح زمین را فراهم کرده است و در این جهت از سیگنال‌های راداری بازتاب شده برای اندازه‌گیری تغییر شکل‌های پوسته زمین بهره می‌برد. در مواردی که کیفیت و وضوح بالایی نیاز است، این روش توصیه می‌شود.

برای استفاده از این روش لازم است دو تصویر گرفته شده به وسیله ماهواره در دو زمان مختلف از یک محل بررسی و بر اساس مقایسه بین آن دو تغییرات اندازه‌گیری شود.

1- LiDAR (Light Detection And Ranging)
2- LaDAR (Laser Detection And Ranging)
3- INSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)

omoorepeyman.ir

فصل ۸

آسیب‌های ناشی از نشست

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۸-۱- آشنایی

نشست زمین صدمات زیادی را به محیط اطراف وارد می‌کند که جبران این خسارت‌ها هزینه‌های هنگفتی را در پی دارد. آسیب‌های ناشی از نشست در دو گروه تاثیر بر محیط زیست و تاثیر بر سازه‌های مصنوعی (سطحی و زیرزمینی) بررسی می‌شود.

در گودال‌های نشست مربوط به لایه‌های افقی، هر نقطه در حوزه نشست به سمت مرکز گودال حرکت می‌کند و نشست در مرکز گودال به حداکثر می‌رسد. در حوزه نشست مقاطع زیادی ممکن است از نقطه‌ای که عمیق‌ترین محل در گودال نشست است، عبور کند که از بین آن‌ها دو مقطع اهمیت خاصی دارد. این اهمیت، هم به دلیل بزرگتر بودن شدت حرکت سطح زمین و هم به دلیل سادگی به دست آوردن جهت آن‌ها است. جهت یکی از این مقاطع به موازات جبهه‌کار و در وسط گودال و دیگری عمود بر خط جبهه‌کار و در وسط گودال و به موازات جهت پیشروی است.

علاوه بر حرکت افقی نقاط به طرف مرکز گودال نشست، هر نقطه‌ای در محدوده نشست به صورت قائم نیز جابه‌جا می‌شود که با حرکت به طرف مرکز گودی، مقدار جابه‌جایی قائم افزایش می‌یابد.

شکل گودال نشست در اثر استخراج لایه‌های شیب‌دار متقارن نیست و این وضعیت در مورد استخراج ذخایر غیر لایه‌ای نیز ممکن است وجود داشته باشد.

۸-۲- تاثیر نشست بر محیط زیست

نشست موجب بروز تغییراتی در محیط زیست می‌شود که معمولا با تغییر خصوصیات طبقات زمین شروع شده و با تغییر در وضعیت خاک، آب و توپوگرافی موجب به هم خوردن وضعیت تعادل در محیط جانداران می‌شود. بررسی موارد زیر در ارتباط با محیط زیست توصیه می‌شود:

- آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی
- تغییر ظرفیت آبخوان‌های آب زیرزمینی
- تغییر شدت جریان‌های آب زیرزمینی و سطحی
- هرز روی آب در سفره‌های آب زیرزمینی و جریان‌های سطحی
- تغییر مسیر جریان رودخانه‌های سطحی
- تغییر در پوشش سطحی جنگل‌ها
- تغییر در زیستگاه‌های طبیعی

omoorepeyman.ir

۸-۳- تاثیر نشست بر سازه‌ها و تاسیسات

نشست در سطح و یا در زیر زمین آسیب‌هایی را به سازه‌های واقع در محل وارد می‌آورد. در این رابطه موارد زیر باید بررسی شود:

- ساختمان‌ها، جاده‌ها و پل‌ها
- خطوط راه آهن
- خطوط انتقال سوخت، آب و هوای فشرده
- کابل‌ها
- دکل‌های انتقال برق و مخابراتی
- منابع نگهداری آب و سوخت

لازم است تا شناخت کافی از نوع خسارت‌هایی که نشست به یک سازه وارد می‌کند، کسب شود تا با آگاهی از وقوع نشست در همان آغاز، هر چه سریع‌تر نسبت به انجام راهکار مناسب برای کنترل خسارت‌ها اقدام شود.

۸-۳-۱- ساختمان‌ها، جاده‌ها و پل‌ها

از آنجا که اولین آثار نشست بر ساختمان‌ها در اثر تنجش خمشی و کششی افقی در قسمت‌های بالایی و میانی ساختمان قابل مشاهده است، بنابراین لازم است تا به جدا شدن اجزا تشکیل دهنده سازه مانند جدا شدن آجرها از یکدیگر در دیوارهای ساختمان توجه کافی شود. به عنوان اولین هشدارها باید به ترک‌های قائم که بر روی دیوار قابل مشاهده است توجه شود. همچنین توجه به تغییر در وضعیت تراز درب و پنجره و ایجاد ترک‌های قائم در اطراف چهارچوب درب و پنجره‌ها توصیه می‌شود. از آنجا که اولین تغییرات در ساختمان از پی شروع می‌شود، تغییرات پی هشدار خوبی برای شروع نشست است.

به هنگام طراحی هر نوع سازه سطحی و یا زیرزمینی در مناطقی که احتمال بروز نشست وجود دارد، باید مطالعات کامل برای انتخاب مناسب‌ترین محل برای احداث سازه انجام گیرد تا خسارت‌های احتمالی در آینده به حداقل ممکن برسد.

همچنین لازم است تا به تاثیر نشست بر جاده‌ها و پل‌ها توجه شود. برخی از این موارد عبارت از تغییر شکل و موقعیت جاده و پل، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و غوطه‌ور شدن پی و سنگ بستر جاده در آب است.

۸-۳-۲- خطوط راه آهن

شیب خطوط آهن که ممکن است در اثر نشست زمین تغییر کند باید به صورت دوره‌ای اندازه‌گیری شود. از آنجا که تغییر در شیب زمین ممکن است منجر به تغییر جهت جریان آب در کانال‌ها و مسیرهای پیش‌بینی شده در کنار ریل شده و مسیر جریان به سمت ریل منحرف شود، بنابراین باید مسیرهای جریان آب نیز پایش شود.

omoorepeyman.ir

۸-۳-۳- خطوط انتقال سوخت، آب و هوای فشرده

از آنجا که جابه‌جایی‌های زمین باعث آسیب به خطوط لوله‌کشی مانند فاضلاب می‌شود، بنابراین لازم است تا برای جلوگیری از شکستگی، نشتی و ترک در محل‌های اتصال در اثر نشست، اقدام‌های پیشگیرانه انجام شود. توجه به تغییر شکل زمین شامل کج شدن کف و ترک‌خوردگی آن و نیز توجه به تغییر شیب در کنار تغییر شکل خطی خطوط لوله، توصیه می‌شود.

۸-۳-۴- کابل‌ها

کابل‌های زیرزمینی با شیوه‌های مختلفی در زیرزمین قرار می‌گیرند، بنابراین نشست زمین به شکل‌های مختلفی بر کابل‌ها اثر می‌گذارد. به این منظور باید محل‌های اتصال کابل کنترل شود تا نیروهای کششی موجب خرابی این سیستم‌ها نشود. از آنجا که در محل جدایش، امکان نفوذ آب و رطوبت به داخل روکش عایق وجود دارد، لازم است تا این تاثیر مورد توجه قرار گیرد. در صورتی که مایع یا گازی درون پوشش کابل وجود داشته باشد نیز باید از خارج نشدن این مواد در اثر ایجاد ترک‌های کوچک از پوشش کابل، اطمینان حاصل شود.

در مناطق تحت تاثیر نشست، توصیه می‌شود در محل اتصال کابل‌ها، از جعبه‌های مخصوص چدنی که مقاومت بیشتری دارند، استفاده شود.

۸-۳-۵- دکل‌های انتقال برق و دکل‌های مخابراتی

از آنجا که منحرف شدن هر یک از دکل‌ها، موجب آسیب به سایر دکل‌ها می‌شود، بنابراین لازم است وضعیت هر یک از دکل‌ها در محدوده نشست به دقت بررسی و وقوع نشست پایه‌های این سازه‌ها پایش شود. در صورتی که استخراج به سطح زمین نزدیک باشد، کج شدن دکل‌ها شدیدتر خواهد بود و نظارت بیشتر الزامی است. در صورتی‌که فقط تعدادی از پایه‌های دکل در تاثیر نشست قرار گیرند، عملکرد آن دکل دچار مشکل می‌شود و نیاز به رسیدگی دارد.

۸-۳-۶- منابع نگهداری آب و سوخت

ترک‌هایی که ممکن است در اثر نشست زمین در ساختمان منابع و مخازن رخ دهد، منجر به خارج شدن مایعات می‌شود، در این شرایط لازم است تا اقدام‌های پیشگیرانه و اصلاحی به کار گرفته شود.

در برخی از مناطق مسکونی و یا صنعتی، از منبع هوایی برای تامین آب استفاده می‌شود. در صورتی‌که دکل‌های نگهدارنده این منابع در محدوده گودال نشست واقع شوند، لازم است اقدام‌های پیشگیرانه انجام گیرد. آب‌بندها نیز از جمله سازه‌هایی هستند که لازم است مورد توجه قرار گیرند. این سازه‌ها ممکن است تحت تنجش افقی که منجر به ایجاد ترک‌ها در دیوار و یا مجراها می‌شود، آسیب ببینند.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۹

روش‌های کنترل نشست و خسارت‌های ناشی از آن

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۹-۱- آشنایی

یکی از اهداف مهم از انجام مطالعات نشست کاهش خسارت‌های ناشی از این پدیده است. به این منظور لازم است تا ابتدا وقوع نشست پیش‌بینی شود و پس از تعیین مشخصات نیمرخ نشست (مانند شکل، ابعاد و محل) نسبت به ارایه راهکارهای کاهش خسارت‌های نشست اقدام شود.

روش‌های کنترل نشست و خسارت‌های ناشی از وقوع آن در دو گروه اصلی توصیه می‌شوند که ممکن است از یک و یا از هر دو روش استفاده شود. این دو گروه عبارتند از:

- روش‌های مبتنی بر ملاحظات روش استخراج
- روش‌های مبتنی بر ملاحظات سازه‌های سطحی و زیرزمینی

۹-۲- روش‌های مبتنی بر ملاحظات روش استخراج

در این روش‌ها، مشخصات کارگاه و روش استخراج با هدف کاهش بروز آسیب به سازه‌های سطحی، طراحی می‌شود. برخی از اقدام‌هایی که توصیه می‌شود به شرح زیر است.

۹-۲-۱- طراحی پهنه استخراجی مناسب

الف- محاسبه ابعاد پهنه استخراجی

اندازه عرض پهنه استخراجی را باید به صورتی طراحی کرد که در خارج از محدوده تاثیر گودال نهایی واقع شود و برای محاسبه حداقل آن از رابطه ۹-۱ استفاده می‌شود:

$$L = l + 2h\cos\Psi \qquad (۱-۹)$$

که در آن:

L عرض یا طولی که در پایان استخراج می‌شود.

l طول سازه در سطح زمین

h عمق استخراج

Ψ زاویه نشست کامل

ب- موقعیت لبه‌های پهنه استخراجی

در حوالی محلی که لبه‌های پهنه استخراجی قرار دارند، تغییر شکل در روی سطح زمین روی می‌دهد. در نتیجه، پهنه استخراجی باید به گونه‌ای طراحی شود که لبه‌های دایم ایجاد شده در اثر استخراج، در محدوده سازه‌های سطحی قرار نگیرد و یا در محلی واقع شود که کمترین اثر را بر روی سطح زمین و سازه‌های موجود سطحی برجا گذارد. در صورتی‌که لبه‌های پهنه استخراجی در محدوده سازه‌های سطحی قرار گیرد، باید ابعاد پهنه به گونه‌ای طراحی شود که محدوده نشست در سطح زمین به سازه‌های سطحی آسیب نرساند.

omoorepeyman.ir

پ- جهت پیشروی جبهه‌کار استخراجی

جهت پیشروی جبهه‌کار باید به گونه‌ای طراحی شود که با بلندترین محور سازه موازی باشد اما اگر سازه در مرکز و یا نزدیک مرکز گودال نشست واقع باشد، جهت پیشروی جبهه‌کار باید عمود بر جهت طول سازه باشد.

ت- استفاده از پایه‌های تسلیم شونده

در صورتی‌که از این نوع ستون‌ها در استخراج استفاده شود، طراحی آن‌ها باید به گونه‌ای باشد که بلافاصله بعد از اینکه پهنه در هر دو طرف استخراج شد، تغییر شکل دهند.

۹-۲-۲- به کارگیری روش‌های استخراج کنترل شده

برای کاهش تغییر شکل زمین در اثر استخراج، شیوه‌های گوناگونی وجود دارد. صرف‌نظر از روشی که برای استخراج انتخاب می‌شود، مساله مهم این است که پیشروی جبهه‌کار استخراجی پیوسته و یکنواخت انجام گیرد. در این راستا روش‌های زیر توصیه می‌شود.

الف- استخراج هماهنگ

در روش استخراج هماهنگ، لازم است استخراج دو لایه مجاور و یا دو جبهه‌کار استخراجی در یک لایه به گونه‌ای برنامه‌ریزی شود که نشست یکنواخت در سطح زمین رخ دهد و به این ترتیب، کمترین آسیب متوجه سازه‌های موجود در سطح زمین شود.

ب- ایجاد کارگاه استخراج عریض

در صورتی‌که سطح بزرگی از کارگاه، استخراج شود، قسمت مرکزی گودال نشست سطح صافی خواهد داشت و نشست نسبتا یکنواختی در این محل رخ خواهد داد. توصیه می‌شود تا در صورت امکان عرض کارگاه استخراج به گونه‌ای انتخاب شود تا مشابه شکل ۹-۱ تغییر شکل کمتری متوجه سازه‌های حساس باشد. برای محاسبه حداقل طول و یا عرض (L_c) مورد نیاز کارگاه برای ایجاد چنین گودالی از رابطه ۹-۲ استفاده می‌شود.

(۹-۲)

$$L_c = 2h\cot\Psi + l + 2\Delta$$

که در آن:

l طول سازه در سطح زمین

h عمق استخراج

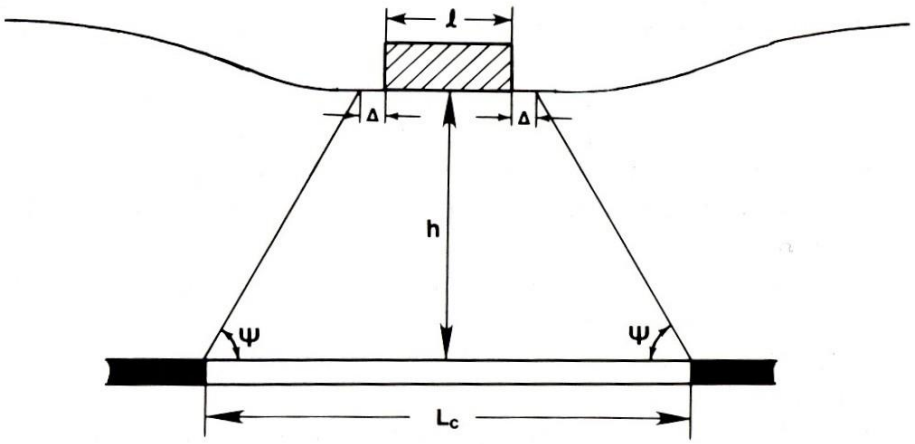
Δ فاکتور تصحیح که معمولا یک‌دهم عمق لایه است.

Ψ زاویه نشست کامل

omoorepeyman.ir

پ- لنگه‌های حفاظتی

بر جا گذاشتن بخشی از ماده معدنی در طی استخراج و برای ایجاد پایداری و حفاظت از سازه‌های سطحی، یکی از روش‌هایی است که در کنترل نشست توصیه می‌شود. ابعاد این لنگه‌ها به زاویه تغییر شکل بحرانی بستگی دارد. برای حصول اطمینان لازم است یک حریم ایمنی از سازه به فاصله ۵ تا ۱۵ متر از هر طرف آن در نظر گرفته شود. استفاده از این روش به ویژه در روش‌های استخراج مانند اتاق و پایه، توصیه می‌شود.



شکل ۹-۱- محاسبه حداقل عرض کارگاه برای کاهش آسیب به سازه‌های سطحی

ت- ملاحظه در استخراج از محل‌های خاص

برخی محل‌ها به دلیل ویژگی‌های خاصی که در آن‌ها وجود دارد نیاز به توجه بیشتری دارند. این موارد طبقات سست، طبقات آب‌دار، مناطق تکتونیزه و مناطق دارای تنش‌های زیاد را شامل می‌شود. لازم است این محل‌ها از قبل شناسایی شوند و در طراحی و اجرا مورد توجه قرار گیرند.

ث- پر کردن کارگاه

پر کردن کارگاه با باطله و یا با ترکیبی از مواد باطله و مواد افزودنی مانند سیمان و رزین و همچنین استفاده از تجهیزات تراکم خاک برای پر کردن کارگاه استخراج، برای کاهش تغییر شکل زمین پس از استخراج توصیه می‌شود.

ج- موارد خاص

هنگامی که یک لایه ماده معدنی با استفاده از روش جبهه‌کار بلند تخریبی استخراج می‌شود و نسبت عمق استخراج به ضخامت لایه کمتر از ۲۰ تا ۳۰ است، احتمال رسیدن محدوده خرد شده به سطح وجود دارد و ایجاد ترک و گودال نشست را سبب می‌شود که لازم است به آن توجه شود.

در استخراج چند لایه یا چند برش در لایه‌های ضخیم، لبه‌های جبهه‌کارها نباید با یکدیگر همپوشانی داشته باشند. این اقدام پیشگیرانه برای جلوگیری از تاثیر همزمان چند جابه‌جایی توصیه می‌شود.

omoorepeyman.ir

۹-۳- سازه‌های سطحی و زیرزمینی

میزان و اثر تغییر شکل و جابه‌جایی زمین که به سازه وارد می‌شود به موقعیت سازه نسبت به نیمرخ نشست وابسته است و امکان دارد سازه تحت فشارش یا کشش قرار گیرد. این وضعیت به جهت و موقعیت سازه و کارگاه استخراج بستگی دارد. در روش‌های مبتنی بر ملاحظات سازه‌های سطحی و زیرزمینی از روش‌های کنترل نشست و کنترل خسارت‌های ناشی از وقوع نشست، سازه مورد نظر برای مقابله با نشست مقاوم‌سازی می‌شود. برخی از اقدام‌هایی که در این روش توصیه می‌شود به شرح زیر است:

- انتخاب محل مناسب برای احداث سازه
- طراحی فونداسیون مناسب
- انتخاب ابعاد مناسب
- انتخاب مصالح سازگار

۹-۳-۱- محاسبه و انتخاب اقدامات حفاظتی

بعد از پیش‌بینی میزان تغییر شکل سطح زمین و تعیین محدوده‌هایی که سازه‌های سطحی در آن واقع شده‌اند و همچنین مقایسه میزان تغییر شکل پیش‌بینی شده با میزان استحکام عناصر سازنده سازه و یا تغییر شکل مجاز سازه، لازم است تا ابزار مناسب انتخاب و اقدامات حفاظتی به کار گرفته شود.

۹-۳-۲- روش‌های حفاظت از سازه‌ها

در این روش، هدف تقویت سازه و یا کاهش میزان تنش وارده بر عناصر سازنده ساختمان و یا هر دو به منظور حفاظت از سازه است. با به کارگیری این روش‌ها بعد از استخراج لایه، ممکن است سازه به هیچ تعمیراتی نیاز نداشته و یا حداکثر به تعمیرات کمی نیاز داشته باشد. این روش‌ها نه تنها در سازه‌های نوساز توصیه می‌شود بلکه برای نگهداری از سازه‌های قدیمی هم قابل استفاده است. روش‌های زیر برای حفاظت از سازه‌ها توصیه می‌شوند.

الف- روش جابه‌جایی سازه

در صورتی‌که سازه‌ای چوبی در محدوده نشست و تغییر شکل ناشی از نشست در پهنه استخراجی قرار داشته باشد، پیش از شروع عملیات استخراج، می‌توان سازه چوبی را از قسمت پی جدا کرد و به محل امنی انتقال داد. بعد از خاتمه استخراج و ثبات نشست، در صورت لزوم باید پی ساختمان تعمیر شده و بعد قسمت بالای سازه به محل اصلی خود برگردانده شود. این روش برای هر نوع سازه‌ای که قابل جابه‌جایی باشد توصیه می‌شود.

ب- ایجاد شکاف

شدت آسیب معمولا متناسب با بزرگترین بعد سازه است، بنابراین در صورت نیاز باید ابعاد سازه به کمک ایجاد شکاف به واحدهایی با طول کمتر از ۱۵ تا ۲۰ متر تقسیم شود. چنانچه تنجش افقی بیش از ۷۵ هزارم باشد توصیه می‌شود،

omoorepeyman.ir

ابعاد سازه به واحدهایی با طول کمتر از ۱۵ متر تقسیم شود. لازم است تا این شکاف در امتداد دیوارهای داخلی یا در امتداد خطوطی که ارتفاع یا شکل یا هر دوی آن تغییر می‌کند، ایجاد شود. ارتفاع قطعاتی که با شکاف جدا می‌شوند باید یکسان باشد. دیوارهای سازه باید در دو طرف شکاف احداث شوند. شکاف باید از پی آغاز شود و تا بالای دیوارها ادامه یابد. عرض شکاف حدود ۶ سانتی‌متر توصیه می‌شود.

پ- تراز کردن به کمک شمع‌بندی و کار گذاشتن جک

شمع‌بندی و محکم کردن به وسیله انواع جک‌ها انجام می‌شود و برای جلوگیری از آسیب ناشی از ایجاد انحنا و تغییر شیب در اثر نشست توصیه می‌شود. تراز نگهداشتن سازه، میزان آسیب وارده به آن در اثر نشست را کاهش می‌دهد. هنگامی که بخشی از سازه در اثر تغییر شکل زمین معلق شود، استفاده از شمع و ستون برای تراز نگهداشتن سازه و کاهش آسیب لازم است. در سازه‌های جدید لازم است تا جک‌ها در دیوارهای حامل نصب شوند. در قسمت بالای جک باید تیر فولادی و در قسمت پایین آن یک تیر بتن مسلح قرار گیرد. در نتیجه این امکان را برای سازه فراهم می‌کند که به عنوان یک واحد در اثر تغییر شیب یا انحنا تراز شود و از صدمات ناشی از تغییر شیب و انحنا در امان باشد.

ت- تراز نگهداشتن به کمک فنرها

در این روش توصیه می‌شود تا برای حفظ تعادل و تراز نگه داشتن سازه، در محل‌هایی که احتمال ایجاد پله در سطح زمین وجود دارد، فنرهایی نصب شود تا سازه همچنان تراز باقی بماند. بدین منظور لازم است قبل از استخراج، چند گروه فنر که هر دسته از آن‌ها شامل ۵ تا ۶ فنر است و هر یک از آن‌ها قابلیت تحمل ۶ تن بار را دارد در زیر تیرهای کف نصب شود. در حین استخراج، هنگامی که سطح زمین دچار تغییر شکل به صورت پله‌ای شد، فنر باز می‌شود و سازه همانند قبل از استخراج به حالت تراز باقی می‌ماند. توصیه می‌شود هنگامی که سطح زمین به حالت پایدار رسید، فنرها با صفحات فولادی و تیر جایگزین شود تا از فنرها دوباره استفاده شود.

ث- تراز کردن سطح سازه

این روش برای تراز مجدد سازه در زمینی که دچار تغییر شیب شده است، توصیه می‌شود. برای این کار باید به وسیله نصب جک‌های هیدرولیکی و یا چوب‌بست در محل‌های با اهمیت در پی سازه و یا در فضاهای تنگ زیر طاق یا زیر کف اتاق، تراز کردن انجام شود.

ج- حفر ترانشه

برای استفاده از این روش لازم است تا در اطراف سازه‌ای که قرار است محافظت شود، ترانشه‌هایی حفر شود تا اثر تغییر شکل و به ویژه تغییر شکل فشاری را خنثی کند. در این روش، طراحی مناسب عرض و عمق ترانشه اهمیت زیادی دارد. عرض ترانشه حداقل ۳۰ سانتی‌متر و فاصله ترانشه از دیوارهای خارجی سازه یک تا دو متر باشد و عمق ترانشه باید از سطح زمین ۱۵ تا ۲۰ سانتی‌متر زیر کف پی ادامه یابد. توصیه می‌شود تا امتداد ترانشه در جهت فشار حداکثر طراحی شود. ترانشه باید از مواد باطله پر شود و اگر عمق ترانشه پایین‌تر از سطح ایستابی باشد باید با مواد ضد آب پر شود. طراحی صحیح ترانشه و احداث آن از انتقال تنجش به سازه جلوگیری می‌کند.

omoorepeyman.ir

چ- تقویت به وسیله میله‌ها یا کابل‌های توازن نیرو

برای استفاده از این روش باید میله‌ها و یا کابل‌های توازن در اطراف سازه و در محل تیرهای سقف یا در سطح تیرهای کف سازه محکم شود. همچنین دقت شود میله یا کابل در انتها محکم بسته شده و نیز در فاصله‌های منظم به وسیله پیچ محکم شود. این میله‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که از انحنا و تغییر شکل کششی سازه جلوگیری کنند.

برای حفاظت از سازه‌هایی که تنش‌های فشارشی بیشتری را نسبت به تنش‌های کششی تحمل می‌کنند (مانند سازه‌هایی با دیوارهای آجری و قطعات بتنی) لازم است کابل‌های فولادی در اطراف سازه نصب شود. در زمانی که نشست زمین فعال است، کابل باید پایش، بررسی و تنظیم شود.

ح- شمع زدن دیوار و تقویت داخلی

این روش برای تقویت دیوار سازه‌ای که در اثر نشست زمین به شدت کج شده توصیه می‌شود. در این روش باید از عکس‌العمل بست‌ها و شمعک‌ها و همچنین بار مناسبی که به وسیله جک‌های پیچشی در بست‌ها و شمعک‌ها تامین شده، برای پایدار ماندن سازه استفاده شود. تقویت داخلی برای تامین استحکام دیوارهای حامل داخلی نیز توصیه می‌شود.

خ- تیرهای بتن مسلح

اگر در اثر وقوع نشست تغییر شکل سطح در سازه زیاد باشد، استفاده از تیرهایی از جنس بتن مسلح نصب شده در اطراف سازه در سطح توصیه می‌شود. لازم است این تیرها به شیوه‌ای نصب شود تا با تغییر شکل افقی و انحنای منفی سازه مقابله کند. برای مقابله با انحنای مثبت استفاده از تیرها در کف و سقف توصیه می‌شود.

د- تیرهای نگهدارنده پی

در ساختمان‌هایی که دیوارهای طولی موازی با فاصله از یکدیگر دارند و یا در سازه‌هایی که دیوارهای متقاطع ندارند، لازم است این تیرها در وسط بین دو دیوار نصب شوند. هنگامی‌که تنجش افقی اصلی وارد شده به ساختمان به صورت مورب باشد، لازم است شمعک‌هایی از جنس بتن مسلح در آن راستا نصب شود تا در مقابل این تنجش‌ها مقاومت کند.

ذ- صفحات نگهدارنده بتنی

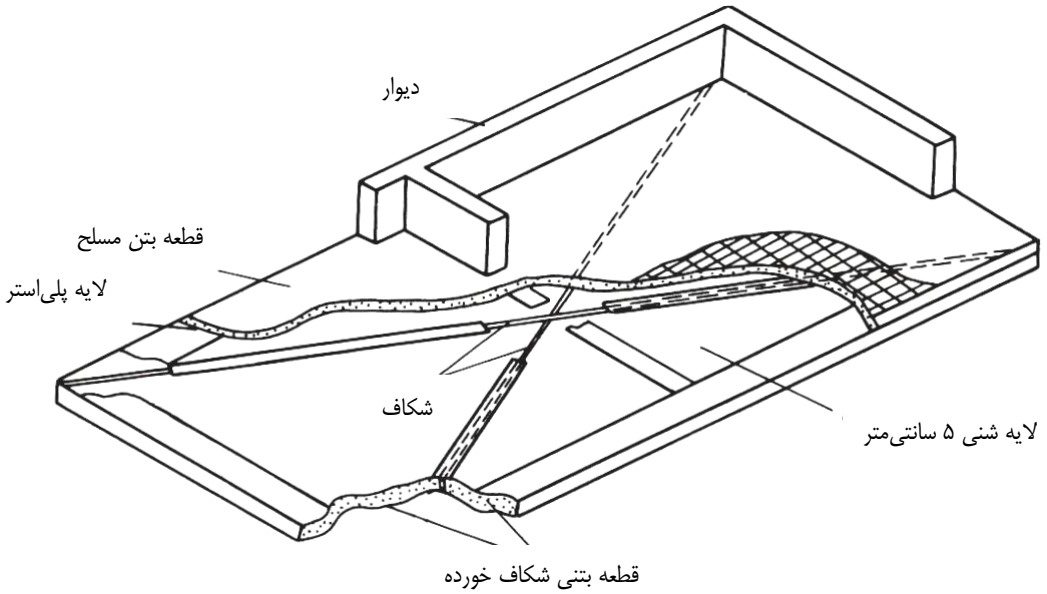
صفحات نگهدارنده هنگامی‌که تنجش افقی بزرگی در امتداد محور بزرگتر یا کوتاه‌تر و یا به طور مورب به سازه اعمال شود، در قسمت بالای پی قابل انعطاف توصیه می‌شود. ضخامت این قطعات حدود ۸۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر است. لازم است کابل‌های توازن نیرو در امتداد دیوارها به فاصله‌های حدود یک تا ۲ متر به گونه‌ای نصب شود که تا بیرون از دیوار خارجی نیز ادامه یابد. همچنین مفتول‌های فولادی نیز در شبکه‌ای که خانه‌های داخلی، فاصله‌ای بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر دارند، توصیه می‌شود.

ر- پی قابل انعطاف

این روش پیش از ساختن سازه‌ها قابل استفاده است. همان طور که در شکل ۹-۲ دیده می‌شود، پی شامل دو قطعه بتنی است که به وسیله دو شکاف مورب به چهار قسمت مثلثی تقسیم شده است. روی این قسمت، ذرات شن به

omoorepeyman.ir

ضخامت ۵ سانتی‌متر و سپس یک لایه پلی‌استر و بعد از آن قطعات بتن مسلح قرار می‌گیرند. هنگامی‌که زمین تغییر شکل دهد، چهار قطعه ساخته شده جابه‌جا می‌شود که این امر جذب و یا کاهش اثر تغییر شکل بر ساختمان را سبب می‌شود.



شکل ۹-۲- پی قابل انعطاف

ز- طراحی متقارن ساختمان

برای کاهش تاثیر نشست بر سازه در زمان طراحی سازه توصیه می‌شود تا انعطاف‌ناپذیری و صلبیت در امتداد محورهای بلند و کوتاه سازه را یکسان طرح کرد تا پتانسیل ایجاد محدوده‌هایی با تمرکز تنش بالا در حین استخراج کاهش یابد. در این راستا توصیه می‌شود طول و عرض درها و پنجره‌ها مشابه انتخاب و به طور یکسان در تمام طول دیوار قرار داده شوند.

ژ- استفاده از مفاصل باز شونده

در این روش مفاصل باز شونده که قادر به تحمل نشست و جابه‌جایی افقی هستند، توصیه می‌شود. طرح‌های مختلفی از این مفاصل قابل ساخت هستند که صفحه شناور آزاد یا الاستومتر دارند و بازشدگی روی دیوار یا کف را می‌پوشانند.

۹-۳-۳- حفاظت از شبکه‌های لوله‌کشی

شبکه‌های لوله‌کشی که تحت تاثیر نشست حاصل از استخراج قرار می‌گیرند، شامل لوله‌های آب، فاضلاب، گاز و نفت هستند. تعدادی از آن‌ها در سطح زمین و تعدادی دیگر در زیر سطح زمین قرار دارند. لوله‌کشی‌ها، سازه‌های خطی هستند و فاصله‌ها و مساحت‌های زیادی را پوشش می‌دهند. برای محافظت از این شبکه‌ها باید بین رها کردن مقداری از ماده معدنی به عنوان حریم و یا تعمیر و بازسازی آن‌ها بررسی و مقایسه انجام گیرد.

omoorepeyman.ir

جابه‌جایی افقی و تنجش به شدت بر عملکرد شبکه‌های لوله‌کشی زیر سطحی اثر می‌گذارد. تغییر شکل زمین به دلیل تماس بین خاک و لوله، به شبکه لوله‌کشی منتقل می‌شود و تنش‌های اضافی را در شبکه اعمال می‌کند.

۹-۳-۴- پل و بزرگراه‌ها

هنگامی که ماده معدنی در زیر پل‌ها و بزرگراه‌ها استخراج می‌شود، سطح زمین دچار نشست می‌شود و در نتیجه پل یا بزرگراه نیز نشست می‌کند. هنگامی که میزان نشست زیاد باشد، این سازه‌ها باید به تراز اصلی خود برسند. در مورد پل‌ها برای کاهش شیب بعد از نشست و همچنین در صورتی‌که فضای کافی در زیرگذر موجود نباشد، باید پل بالا برده شود. بدین منظور توصیه می‌شود از جک‌های هیدرولیکی استفاده شود تا پل به ارتفاع مورد نظر برسد و سپس ارتفاع پایه‌های پل را افزایش داد تا به تراز درست برسد.

برای خنثی کردن حرکت و جابه‌جایی در نقاطی از پل‌ها می‌توان از نگهدارنده‌های غلتان استفاده کرد که اجازه حرکت نسبی تا ۵۰ میلی‌متر را می‌دهند. در صورتی‌که پل‌ها به پایه‌های خود پیچ شوند، باید سوراخ محل قرارگیری پیچ‌ها به صورت بیضی باشد تا امکان جابه‌جایی نسبی بین پل و پایه‌ها به وجود آید.

در صورتی‌که پل‌ها کوتاه و کوچک و در محدوده پهنه استخراجی واقع باشند، ممکن است آسیب جزیی قابل پذیرش باشد و اگر در محدوده تقاطع با لبه پهنه استخراجی باشند، استفاده از چوب‌بست‌های نگهدارنده برای تراز نگه داشتن و نگهداری از پل توصیه می‌شود.

۹-۳-۵- محافظت از سازه‌های بلند

منظور از سازه‌های بلند سازه‌هایی است که نسبت ارتفاع به عرض یا طول آن بسیار زیاد است مانند دودکش‌های بلند، دکل‌های انتقال برق، دکل‌های تلفن، منابع آب و نظایر آن‌ها. این سازه‌ها به تغییر شیب بسیار حساس‌اند و هر چه شیب بیشتر شود احتمال واژگونی این سازه‌ها بیشتر می‌شود. لازم است تا سطح بالایی از حفاظت برای این سازه‌ها به کار گرفته شود.

omoorepeyman.ir

فصل ۱۰

نشست در معادن متروکه

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۰-۱- آشنایی

در اغلب کشورهایی که قدمت معدنکاری چند ده ساله دارند، مناطق مسکونی در محل معادن قدیمی واقع شده‌اند و در بخشی از این زمین‌ها نشست رخ داده است و این باور وجود دارد که در باقی این زمین‌ها نیز احتمال وقوع نشست در آینده وجود دارد. بخش زیادی از این مشکلات مربوط به تخریب پایه‌هایی است که در قدیم در این معادن (که معمولا معادن زغال‌سنگ بوده‌اند) به جا گذاشته شده است.

در روش‌هایی مانند اتاق و پایه که قسمتی از ماده معدنی به عنوان پایه باقی گذاشته می‌شود، ممکن است در اثر فرسایش و تماس با آب و هوا و با گذشت زمان، پایه‌ها تخریب شده و حتی ورودی‌های معدن نیز مسدود شوند. در صورتی‌که این روند فرسایش و تخریب ادامه یابد، تخریب و فرسایش لایه‌ها به صورت‌های مختلفی مانند ترک، گودال، تنجش و فشار به سطح زمین می‌رسد.

روش‌هایی که برای پیش‌بینی نشست مربوط به معادن متروکه استفاده می‌شود، مشابه روش‌های مربوط به استخراج از معادن فعال است اما محدودیت اطلاعات معدنکاری قدیمی و همچنین عدم دسترسی به فضای استخراجی، این موضوع را بسیار پیچیده‌تر می‌کند. حتی پایش جابه‌جایی سطح زمین در مناطق معدنی قدیمی، مشابه آنچه که در پایش جابه‌جایی در مناطق معدنی فعال انجام می‌شود، امکان‌پذیر است.

۱۰-۲- انواع نشست در محدوده معادن متروکه

نشست سطح زمین در محدوده معادن متروکه اغلب به صورت حفره نمایان می‌شود. عمق این حفره‌ها بیش از یک متر است. گاه این گودال‌ها به شکل گسترده‌تر اما با عمق کمتر از یک متر و به صورت فرورفتگی ظاهر می‌شوند.

۱۰-۲-۱- نشست به صورت حفره یا گودال

این نشست معمولا هنگامی رخ می‌دهد که سقف معدن تخریب شود و این تخریب به طرف بالا و سطح زمین ادامه یابد. در صورتی‌که این روند متوقف نشود، این نوع از نشست در سطح زمین نمایان می‌شود. ضخامت و مشخصات روباره، عرض و ارتفاع فضای استخراجی بر این روند اثر مهمی دارند.

۱۰-۲-۲- نشست به صورت فرورفتگی

این نشست به صورت گودشدگی ملایم در منطقه‌ای وسیع است و شکل نیمه بیضوی تا دایره‌ای دارد و در بعضی موارد به شکل کامل و گاه به شکل ترک‌های کششی نمایان می‌شود. معمولا این نوع از نشست دارای عمق ۰/۵ تا یک متر است و ۹ تا حدود ۵۰۰ متر گسترش دارد. نسبت قطر به عمق بین ۱۰ تا ۵۰۰ متغیر است. نیمرخ این نوع نشست مشابه نشست بر روی سطح معادن فعال است.

omoorepeyman.ir

۱۰-۳- علت نشست

بیشتر معادن زغال‌سنگ متروکه که به روش اتاق و پایه استخراج شده‌اند، معمولا کم عمق‌اند و به صورت نامنظم استخراج شده‌اند. سقف در این معادن نگهداری نشده و فاصله بین ستون‌ها متغیر است. بعد از گذشت مدت زمانی از استخراج، ممکن است نشست رخ دهد و علل اصلی آن به شرح زیر است:

الف- فاصله زیاد بین لنگه‌ها

ب- نداشتن توان تحمل بار وارده بر روی لنگه باقی‌مانده

پ- فرو رفتن لنگه‌ها در کف

زمان نشست بر روی سطح زمین در مناطق معدنی متروکه به آهنگ تخریب وابسته است. پیش‌بینی این زمان و همچنین میزان نشست سطح زمین دشوار است و در نتیجه وقوع این نوع نشست مخاطره‌آمیز و ممکن است آسیب‌های غیرمنتظره‌ای را به سازه‌های سطحی وارد کند.

آب‌های زیرزمینی نیز ممکن است به ناپایداری بیشتر در این مناطق منجر شود. به عنوان مثال وجود آب در معادن نمک یکی از این موارد است. با گذشت زمان آب از طریق گسل‌ها و درزه‌ها به تونل‌های معدن نفوذ کرده و ستون‌های نمکی را ضعیف و حل می‌کند، در نتیجه ممکن است حتی تمام سطح پهنه استخراجی تخریب شود.

۱۰-۴- کنترل نشست

برای کنترل نشست معادن متروکه دو روش نگهداری موضعی و پر کردن توصیه می‌شود.

۱۰-۴-۱- روش‌های نگهداری موضعی

نگهداری موضعی برای محافظت از سازه‌های مستقل یا عناصر مستقل پی سازه توصیه می‌شود. حفر چندین چاه و به کارگیری حجم تقریبا کم از موادی با هزینه زیاد، از نیازهای این روش است. این روش به شیوه‌های زیر قابل اجرا است.

الف- ستون سنگریزه

در این روش محل‌های ورودی معدن با ستونی از سنگریزه پر می‌شود. چاه‌هایی نیز در طبقات بالایی سقف معدن حفر می‌شود. در این روش باید فضای مورد نظر تا حد ممکن پر شود تا پتانسیل نشست کاهش یابد.

ب- ستون‌های تزریقی

در این روش از مسیر چاه‌هایی که در معدن وجود دارد، لوله انتقال ملات نصب شده و ستون‌های انتقال شن در اطراف آن برای انتقال سنگریزه‌ها نصب می‌شود. به این ترتیب ملات سیمانی در چند مرحله از طریق لوله انتقال ملات تزریق می‌شود و هر مرحله ارتفاعی حدود یک و قطری حدود ۲ متر را پوشش می‌دهد. بعد از هر مرحله، لوله انتقال

omoorepeyman.ir

ملات یک متر بالا کشیده شده و مرحله بعدی تزریق آغاز می‌شود. لازم است این روند تا زمانی که ارتفاع طبقات تزریق شده به سقف معدن برسد ادامه یابد، در پایان چاه نیز باید با این ملات پر شود.

پ- تزریق ملات سیمان با ماسه بادی

در این روش از نوعی از سیمان که مقاومت فشاری ۵۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع دارد، استفاده می‌شود. این سیال به گونه‌ای طراحی شده که به آسانی به فضاهای کوچک نیز نفوذ کرده و این فضاها را پر می‌کند. این سیال به وسیله شلنگ و یا لوله به داخل چاه منتقل و وارد فضای استخراج شده می‌شود. در هنگام تزریق، این بتن، حلقه‌های دایره‌ای شکل را تشکیل می‌دهد که با روی هم قرار گرفتن این صفحات، ارتفاع کلی آن به سقف معدن می‌رسد. همچنین لازم است چاه نیز با این بتن پر شده و در پایان عملیات هر گونه درز و شکافی در سقف معدن از ملات پر شود.

ت- بتن شکل داده شده با لوله مخصوص

در این روش لازم است تا یک چاه از سطح زمین تا فضای استخراجی معدن حفر شود. همچنین لازم است تا لوله‌ای با جنس مناسب اطراف لوله انتقال ملات را فرا گیرد و سپس این مجموعه از چاه به داخل معدن منتقل شود. بتن از طریق شلنگ انتقال ملات پمپ شده و باعث می‌شود که لوله از قسمت انتهایی پر شده و متورم شود که در نتیجه ستون‌های بتنی بین سقف و کف در فضای استخراجی ایجاد می‌شود.

۱۰-۴-۲- روش‌های پر کردن

این روش‌ها برای محافظت منطقه‌ای وسیع توصیه می‌شود. با پر کردن فضاهای خالی می‌توان مناطق وسیع که ممکن است چندین کیلومتر مربع وسعت داشته باشند را در برابر نشست در اثر وجود معادن متروکه محافظت کرد. به کارگیری این روش در حالتی که مواد پرکننده فراوان و ارزان قیمت در دسترس باشد، توصیه می‌شود. انواع مختلف آن به شرح زیر است.

الف- تزریق دوغاب به وسیله پمپ

این روش به اسم روش داول[1] نیز نامیده می‌شود. در این روش گمانه‌ای از بیرون به داخل معدن حفر شده و لوله‌گذاری می‌شود. دوغاب مورد نظر که حاوی (۱۶ درصد وزنی) مواد جامد با ابعاد درشت دانه بین یک تا ۲ سانتی‌متر است، به داخل معدن تزریق می‌شود. جریان متلاطم دوغاب به هنگام تزریق، باعث می‌شود که مواد جامد، معلق بمانند و در فاصله کوتاهی از گمانه ته‌نشین شوند که در نتیجه رسوبات گوشه‌دار را در اطراف چاه شکل می‌دهند. با تزریق بیشتر دوغاب مورد نظر، رسوب حاصله بزرگتر می‌شود و به سقف معدن می‌رسد. میزان دوغاب لازم به نسبت ابعاد کارگاه استخراجی بستگی دارد.

1- Dowell

omoorepeyman.ir

ب- تزریق دوغاب حاوی ماسه بادی

روش تزریق دوغاب همراه خاکستر بادی در معادن متروکه مشابه روش قبل است. این دوغاب حاوی ۵۰ تا ۶۰ درصد مواد جامد و همچنین سیالیت بیشتر و در نتیجه قابلیت پمپ شدن بسیار بیشتری دارد و برای تزریق در فاصله‌های زیاد توصیه می‌شود.

۱۰-۵- پیش‌بینی نشست سطح زمین

پیش‌بینی نشست سطح زمین در مناطق معدنی متروکه و غیرفعال بسیار پیچیده‌تر از پیش‌بینی نشست سطح زمین بر روی سطح معادن فعال است. این پیش‌بینی نیاز به اطلاعاتی از وضع پایداری معدن از جمله سقف، ستون‌ها و کف دارد که دسترسی به آن‌ها سخت و دشوار است. بسیاری از آسیب‌هایی که به سازه‌های سطح زمین وارد می‌شود ممکن است به استخراج معدن مربوط نباشد و ناشی از سایر پدیده‌ها مانند زمین‌لغزش، یخبندان، حل شدن سنگ‌های کربناتی و نظایر آن باشد. در مناطقی که احتمال معدنکاری قدیمی وجود دارد باید قبل از احداث سازه‌های سطحی و زیرزمینی بررسی‌های لازم برای پاسخ به این سوال که آیا قبلا در این محل معدنکاری زیرزمینی انجام شده یا خیر انجام گیرد. این بررسی‌ها شامل مطالعه تاریخچه محلی و همچنین در صورت نیاز حفاری گمانه و به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی است.

omoorepeyman.ir

فصل ۱۱

نشست ناشی از حفر تونل‌های کم‌عمق

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۱-۱- آشنایی

امروزه حفریات زیرزمینی علاوه بر معادن، در تونل‌های انتقال آب، جاده‌های ارتباطی و شهرسازی مدرن نیز کاربرد دارد. حفر هر نوع تونل یا حفریات زیرزمینی موجب برهم زدن تنش‌های اولیه و پایدار می‌شود. همچنین در صورتی که سازه زیرزمینی در نزدیک به سطح زمین حفر شود، احتمال ایجاد ترک و رخداد نشست در سطح زمین بیشتر خواهد بود.

در صورتی که حفر تونل در مناطق شهری انجام شود، میزان و نوع نشست سطح زمین اهمیت خاصی پیدا می‌کند. از آنجا که معمولا شرایط زمین پیچیده و متغیر است، بنابراین طراح باید قبل از شروع عملیات حفر تونل، کلیه پدیده‌های ممکن را پیش‌بینی کند و برای هر یک از آن‌ها راه حل‌هایی را در نظر داشته باشد.

۱۱-۲- علت‌های نشست در اثر حفر تونل کم عمق

حفاری‌های زیرزمینی به علت تغییر در توزیع تنش در سنگ و ایجاد ناپیوستگی در محیط موجب بروز نشست می‌شود. در حفر تونل لازم است تا روش حفاری، اجرای صحیح عملیات، عملکرد سیستم نگهداری موقت و دایمی مورد توجه طراح و مجری قرار گیرد. در حفاری تونل‌های کم عمق رعایت موارد زیر الزامی است:

- تشخیص مرزهای جدید ایجاد شده در حوزه تنش‌های درون خاک و کنترل جابه‌جایی‌های مرتبط
- توجه به آرایش مجدد خاک در اثر حفر تونل (رخداد چرخه جدید تحکیم)
- بررسی روند افت (نشست در اثر تحکیم طبیعی خاک)
- کنترل حرکت زمین به سمت جبهه‌کار و دیواره‌های تونل
- اجرای طرح‌های زهکش آب
- تزریق کامل در توده خاک اطراف تونل در حین ساخت
- بررسی تغییر شکل احتمالی آستری تونل
- نوسانات متناوب سطح ایستابی
- کنترل آزاد شدن و خروج هوای فشرده از محوطه کارگاه
- بررسی اثرات تراکم دینامیکی ناشی از ترافیک بر روی لایه‌های سطحی

۱۱-۳- عوامل موثر در نشست

مهم‌ترین عوامل موثر در نشست در بالای تونل‌های کم‌عمق به شرح زیر است.

الف- جنس و نوع روباره تونل

omoorepeyman.ir

تونل‌های کم‌عمق معمولا در زمین‌های نرم حفاری می‌شوند که در این شرایط باید با نصب تجهیزات نگهداری موقت از ریزش و تخریب سقف تونل جلوگیری کرد. در مواردی که طراحی نگهداری به خوبی انجام شده باشد، وجود مقدار ناچیزی آب ممکن است حفره‌هایی را ایجاد کند که سبب نشست شود.

ب- روش حفر تونل

در حفر تونل با روش‌های چالزنی و انفجار و یا با ماشین حفاری، مقداری تاخیر بین مراحل حفر و نصب سیستم نگهداری وجود دارد که باید این زمان به حداقل ممکن کاهش یابد. در هر یک از روش‌های یاد شده باید با استفاده از فناوری‌های نوین میزان نشست کنترل و مهار شود.

پ- ابعاد تونل

متناسب با عرض تونل باید از سیستم نگهداری مستحکم‌تر استفاده شود.

ت- عمق تونل

فاصله قائم بین محل حفاری و سطح زمین یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر میزان نشست در سطح زمین است. حداقل عمقی که اگر تونل در اعماق بیشتر از آن حفر شود، هیچ نشستی در سطح زمین مشاهده نمی‌شود به ابعاد تونل بستگی دارد. هر چه ابعاد تونل بزرگتر باشد این حداقل عمق نیز افزایش می‌یابد. در هنگام حفر تونل در عمق کم لازم است روند وقوع نشست به دقت کنترل و اندازه‌گیری شود.

ث- شرایط تنش برجا

یکی از پارامترهایی که ممکن است در وقوع نشست پس از حفر تونل موثر باشد، وضعیت تنش‌های برجای موجود در محل است. از بین مولفه‌های تنش برجا، غالبا مولفه تنش قائم اهمیت بیشتری دارد. تنش برجا به مقدار روباره تونل و شرایط آب زیرزمینی بستگی دارد. در بعضی موارد، به علت شرایط خاص تکتونیکی محل، تنش‌های محصورکننده افزایش می‌یابند که این امر سبب افزایش پایداری تونل در میدان تنش موجود می‌شود. این افزایش پایداری تونل به علت افزایش مقاومت سنگ‌های در برگیرنده تونل در اثر افزایش تنش‌های محصورکننده است. در مورد تونل‌های کم عمق لازم است تا به شرایط تنش برجا توجه بیشتری شود زیرا اگر میزان تنش در محل حفاری بالا باشد، این تنش موجب شکست سنگ‌های بالای تونل شده و در نتیجه پدیده نشست در سطح زمین مشاهده می‌شود.

ج- شرایط آب زیرزمینی

وضعیت آب‌های زیرزمینی قبل و بعد از حفر تونل‌های کم عمق باید به دقت بررسی شود. تاثیر نوسانات آب زیرزمینی هم‌زمان با حفر تونل و پس از آن بسیار موثر است.

چ- تاثیر شرایط کارگاهی

شرایط اجرای عملیات (شرایط کارگاهی)، بیشتر شامل لرزش‌های حاصل از عملیات حفاری است. در شرایطی که تونل در زمین‌های نرم یا زمین‌هایی که از مواد پرکننده سطحی ضعیف تشکیل شده است حفر شود، باید تاثیر شرایط کارگاهی بر میزان نشست مورد توجه قرار گیرد.

omoorepeyman.ir

۱۱-۴- شکل منحنی توزیع نشست

در مناطقی که در آن‌ها تونل‌های نزدیک به سطح زمین در حال حفر است در فاصله تقریبی یک تا ۱٫۵ برابر قطر تونل به سمت قسمت حفاری شده تونل، بیشترین تاثیر نشست بر لایه‌های سقف وارد می‌شود و به عنوان ناحیه بحرانی شناخته می‌شود که به نگهداری موثر و فوری نیاز دارد. در ناحیه بحرانی کیفیت و زمان نگهداری موقت و دایم اهمیت زیادی در کنترل نشست دارد. در تونل‌هایی که با استفاده از حفاری و آتشباری حفر می‌شوند، اجرای نگهداری ضرورت بیشتری دارد.

۱۱-۵- نشست زمین در اثر حفر تونل با سپر

استفاده از فناوری تونل‌سازی مکانیزه با سپر برای محدود ساختن حرکات زمین تا اندازه‌ای که از آسیب جدی به سازه‌های سطحی و زیرسطحی جلوگیری کند، توصیه می‌شود. کنترل نشست‌های سطحی به هنگام پیشروی سپر نیاز به تدابیر ویژه‌ای دارد. نگهداری پیوسته فضای خالی حفر شده پیش شرط اصلی برای بروز حداقل نشست سطح زمین و یا به عبارتی حداقل سست‌شدگی و جابه‌جایی لایه‌های زمین است.

در اجرای عملیات حفاری و احداث تونل به وسیله سپر، عوامل زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- کنترل افت سطح ایستابی در داخل خاک
- توقف عملیات و اجرای تدابیر لازم با تغییر وضعیت تنش در تونل
- در نظر گرفتن تاثیر جابه‌جایی تنش در اثر جابه‌جایی خاک در جبهه‌کار حفاری تونل
- کنترل جریان خاک به درون جبهه‌کار
- تغییرات ساختاری ناشی از طی مسیرهای غیرمستقیم و لرزش‌های ناشی از سپر در اثر متراکم شدن خاک اطراف سپر و نگهداری ناکافی فضای خالی اطراف پوسته سپر
- نشست‌های ناشی از پر کردن ناکافی فضای پشت سپر و یا جبران نشست‌های سطحی قبلی زمین با استفاده از تزریق پر فشار
- کاهش قطر تونل در اثر افزایش بار موثر بر پوشش تونل

۱۱-۶- تخریب و جابه‌جایی‌های ایجاد شده در زمین در اثر تونل‌سازی

ساخت یک تونل جدید به دلایل مختلف موجب آسیب به سازه‌های مجاور می‌شود. دو مورد از مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

- تاثیر تغییر شکل سطح زمین در اثر جابه‌جایی ناشی از نشست
- تاثیر عملیات ساخت روی محیط مجاور (مانند لرزش ایجاد شده در زمان انجام عملیات حفاری)

omoorepeyman.ir

تاثیر عوامل یاد شده در زمان طراحی و اجرا باید مورد نظر قرار گیرد.

۱۱-۶-۱- پتانسیل تخریب سازه‌های موجود

موضوع نشست به خسارت مربوط با خود سازه محدود نمی‌شود و باید به خسارت‌های احتمالی به تجهیزات سرویس عمومی چه در سطح و چه در زیرزمین توجه شود. برخی از این موارد عبارت از تجهیزات انتقال آب، برق و تلفن، سازه‌هایی چون تونل‌های از قبل حفاری شده و تجهیزات خدماتی مانند تونل‌های فاضلاب، انشعابات گاز، خطوط لوله کشی و کابل‌های برق است. همچنین در صورت نیاز رفتارسنجی و کنترل جابه‌جایی‌ها برای سازه‌های زیر سطحی باید انجام شود.

۱۱-۶-۲- پتانسیل تخریب سازه‌های موجود ناشی از ناپایداری جبهه‌کار تونل

به دلیل احتمال وجود ساختارهای خاص و تاثیرگذار در مناطق شهری، احتمال ناپایداری جبهه‌کار و دیواره‌های تونل وجود دارد. گاه این ساختارها ابعاد کوچک دارند و در نتیجه اثر آن‌ها موضعی است و به سادگی مدیریت می‌شوند اما گاه وجود ساختارهایی با گسترش زیاد که حتی تا سطح زمین ادامه دارند، موجب تخریب گسترده سازه‌های سطحی می‌شوند. حتی این امکان وجود دارد که نفوذ آب زیرزمینی نیز به شرایط یاد شده اضافه شود و وضعیت را پیچیده‌تر کند، بنابراین در زمان طراحی لازم است تا محل‌های دارای پتانسیل تخریب شناسایی و در زمان احداث تونل به آن‌ها توجه شود.

۱۱-۷- روش‌های کنترل نشست

نشست زمین در اثر حفر تونل پتانسیل بالقوه‌ای برای آسیب به سازه‌ها و سایر تاسیسات سطحی و زیرسطحی محسوب می‌شود. این آسیب‌ها دامنه وسیعی از ایجاد ترک‌های ریز در داخل سازه تا آسیب‌های جدی و کلی را در برمی‌گیرد. روش‌های پیشگیری و کنترل نشست به شرح زیر برای کاهش اثرات نشست توصیه می‌شود:

الف- ایجاد تغییر در شرایط حفاری شامل:

- حفر تونل در عمق بیشتر
- حفر تونل در لایه‌هایی با شرایط ژئومکانیکی مطلوب
- کاهش ابعاد حفاری
- تغییر مسیر حفر تونل (حتی به قیمت طولانی‌تر شدن مسیر)

ب- بهسازی خواص زمین شامل:

- جلوگیری از نفوذ آب به محدوده تونل و در نتیجه جلوگیری از سست شدن توده خاک، روش‌های موجود برای بهسازی زمین با کنترل آب‌های زیرزمینی شامل پایین بردن سطح ایستابی با استفاده از حفر و پمپاژ از چاه‌های آب

omoorepeyman.ir

- تزریق سریع و کافی و در خاک

البته در تونل‌سازی با ماشین حفر تونل مجهز به سپر معمولا نیازی به استفاده از این روش‌ها نیست.

پ- بهسازی ساختاری ساختمان‌ها شامل:

- تقویت پی ساختمان‌های موجود برای کاهش حساسیت در مقابل تغییر شکل‌های نسبی جانبی
- تغییر محل تاسیسات

ت- بهبود شرایط در زمان حفر تونل شامل:

- انجام مهاربندی محکم، کافی و یکپارچه در جبهه‌کار و دیواره‌های تونل
- افزایش سرعت احداث تونل
- پر کردن فضای بین پوشش تونل و ناحیه حفاری شده

موارد زیر برای کاهش خطر نشست زمین در اثر حفر تونل با سپر توصیه می‌شود:

- جلوگیری از بر هم خوردن تعادل فشار در جبهه‌کار
- بهسازی زمین شامل تزریق دوغاب، تزریق با فشار بالا و انجماد زمین. هدف از بهسازی زمین در تونل‌سازی بهبود کیفیت زمین به میزانی است که پیشرفت حفاری در شرایط ایمن و بدون تاخیر زیاد را میسر سازد. عملیات تزریق سبب افزایش مقاومت و سختی و همچنین کاهش نفوذپذیری زمین می‌شود.
- انجام تزریق برای پایداری و تحکیم قلوه سنگ‌ها برای جلوگیری از سقوط بلوک‌های سست میان سر حفار[1] و جبهه‌کار سقوط این بلوک‌ها ممکن است سبب ایجاد خسارت به ابزار حفاری و توقف عملیات شود و نیز امکان دارد که ناپایداری‌های عمده را به دنبال داشته باشد.
- ایجاد ساختارهای محافظتی در تونل
- آماده کردن ایستگاه‌های مناسب از پیش تعیین شده برای توقف دستگاه برای تعمیرات، سرویس و نگهداری به ویژه برای دستگاه‌های سپر تعادلی و دوغابی در ضمن عبور دستگاه از مناطق شهری پرتردد دارای شرایط زمین‌شناسی خاص و برای مدت طولانی

۱۱-۸- روش‌های پیش‌بینی نشست زمین در اثر حفر تونل‌های کم‌عمق

با توجه به تغییرات و تنوع زیادی که در عوامل موثر بر نشست سطحی از قبیل نوع لایه‌بندی خاک، عمق و ابعاد تونل و روش‌های حفر تونل وجود دارد، روابط متعددی توسط محققان در این زمینه ارایه شده است که کاربرد هر یک بستگی به میزان دقت در پارامترهای موثر در آن‌ها دارد.

روش‌های زیر برای پیش‌بینی نشست سطح زمین در اثر حفر تونل توصیه می‌شود.

1- Cutting head

omoorepeyman.ir

۱۱-۸-۱- روش‌های تجربی

در این روش از روابطی که بر اساس اندازه‌گیری‌های قبلی توسعه داده شده است، استفاده می‌شود (رابطه ۱۱-۱).

$$S(x) = S_{max}.\exp\left(-x^2 / 2i^2\right) \quad (۱-۱۱)$$

که در آن:

$S(x)$ نشست در فاصله x از خط مرکزی تونل

S_{max} حداکثر نشست خط مرکزی تونل

i فاصله نقطه عطف گودی نشست تا خط مرکزی تونل

۱۱-۸-۲- روش‌های تحلیلی

در این روش‌ها برای محاسبه نشست زمین باید مدلی از توده سنگ پوششی و ابعاد حفریه را شبیه‌سازی کرد. هنگام برآورد نشست زمین در این روش، حالت‌های مختلفی ممکن است فرض شود. از آنجا که تعیین خواص پوششی مشکل است، برای محاسبه مقدار نشست با کمک این روش توصیه می‌شود تا از فرضیات ساده‌کننده استفاده شود. در صورتی که فرضیات ساده‌کننده استفاده شود، خروجی مدل دقت بالایی ندارد و استفاده از نتایج آن در پروژه‌هایی که حساسیت بالایی دارند، مجاز نیست.

۱۱-۸-۳- روش‌های عددی

در این روش‌ها با استفاده از روش‌های حل عددی مانند روش‌های اجزای محدود، اجزای مرزی، اجزای مجزا و تفاضل محدود معادلات ریاضی، پیش‌بینی جابه‌جایی طبقات زمین حل شده و به این ترتیب نشست در سطح زمین پیش‌بینی می‌شود.

مدل‌های عددی به دلیل انعطاف‌پذیری بالا، ممکن است برای حل مسایل مختلف با متغیرهای ژئوتکنیکی، هندسی و ساختاری متفاوت توصیه شود. از آنجا که با استفاده از کامپیوتر امکان حل معادلات پیچیده و همچنین معادلاتی با شرایط اولیه و مرزی غیرهمگن میسر شده است، بنابراین استفاده از روش‌های عددی در بعد وسیع‌تری برای پیش‌بینی نشست مجاز است.

۱۱-۸-۴- مدل‌های آزمایشگاهی

در این روش ساختاری مشابه با ساختار اصلی در مقیاس کوچک در آزمایشگاه ساخته و بررسی می‌شود. در مدل ساخته شده نیروها و ابعاد با نسبت مشابه اعمال می‌شود و از نتایج حاصله می‌توان شرایط واقعی را پیش‌بینی کرد. به این آزمایش‌ها «آزمایش تونل مدل» گفته می‌شود.

omoorepeyman.ir

در استفاده از این روش توصیه می‌شود تا اندازه‌گیری جابه‌جایی‌ها، نشست‌ها، تنجش‌ها و فشارها در هر صفحه و در هر مرحله از شرایط حفر تونل و پیشروی به دقت انجام شود.

از آنجا که با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی خواص واقعی محیط طبیعی و همه شرایط آن قابل بازسازی نیست و نیز اثر وزن خاک را نمی‌توان به سادگی بازسازی کرد، بنابراین استفاده از سانتریفوژ و یا کاربرد موادی با جرم مخصوص زیاد مانند دانه‌های سربی به جای خاک توصیه می‌شود.

۱۱-۸-۵- شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی برای حل مسایلی از نشست توصیه می‌شود که با پیچیدگی‌هایی همراه است. پیش‌بینی نشست در پروژه‌هایی که عوامل مختلفی بر خصوصیات نشست تاثیرگذارند از این نوع هستند. وجود مقادیر زیادی از اطلاعات ورودی از شروط استفاده از این روش است.

omoorepeyman.ir

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 اکتشافی	۳۲۸	-
۲	فهرست خدمات 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 بزرگ مقیاس رقومی (۱:۲۵۰۰۰)	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 (۱:۲۵۰۰۰)	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 مس 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 سنگ‌ها و کانی‌های 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 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 سنگ آهن	٦۵۲	۵٤
۲۲	دستورالعمل آماده‌سازی، تهیه نمونه و مطالعات میکروسکوپی و سیالات درگیر برای 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 اکتشاف مواد 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 ۱:۲۵۰۰۰	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 بررسی‌های ژئوشیمیایی به روش اکتشافات بیوژئوشیمیایی و ژئوبوتانی	در دست تدوین	
۳۸	فهرست خدمات مراحل مختلف اکتشاف در شورابه‌ها	در دست تدوین	
۳۹	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	

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 استخراجی	۳۴۰	-
۲	مقررات تهویه در معادن	۳۵۰	-
۳	مقررات فنی آتشباری در معادن	۴۱۰	-
۴	دستورالعمل تهیه نقشه‌های استخراجی معدن	۴۴۲	۸
۵	راهنمای ارزشیابی دارایی‌های معدنی	۴۴۳	۹
۶	دستورالعمل فنی روشنایی در معادن	۴۸۹	۱۰
۷	دستورالعمل امداد و نجات در معادن	۴۸۸	۱۸
۸	راهنمای تهیه گزارش‌های طراحی معدن	۴۹۶	۱۱
۹	دستورالعمل ترابری در معادن	۵۰۶	۱۴
۱۰	دستورالعمل توزیع هوای فشرده در معادن	۵۳۱	۱۹
۱۱	دستورالعمل طراحی و اجرای سیستم 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 معدنی	۵۴۲	۲۶
۱۴	دستورالعمل نگهداری و کنترل سقف در کارگاه‌های استخراج	۵۵۳	۲۹
۱۵	واژه‌ها و اصطلاحات پایه اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی	۵۶۷	۳۷
۱۶	راهنمای آبکشی در معادن	۵۷۳	۳۸
۱۷	دستورالعمل طراحی هندسی بازکننده‌ها و حفریات زیرزمینی	۵۷۹	۴۱
۱۸	راهنمای ملاحظات زیست‌محیطی در فعالیت‌های استخراجی	۶۱۱	۴۴
۱۹	راهنمای ارزیابی و کنترل پیامدهای ناشی از انفجار در معادن	۶۱۶	۴۶
۲۰	راهنمای انتخاب روش استخراج ذخایر معدنی	۶۲۳	۴۹
۲۱	دستورالعمل تعیین مرز تغییر روش استخراج از روباز به زیرزمینی	۶۲۵	۵۰
۲۲	دستورالعمل کاربرد روش‌های عددی در طراحی ژئومکانیکی معادن	۶۵۶	۵۶
۲۳	راهنمای ارزیابی ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) در معادن	۶۶۹	۶۰
۲۴	راهنمای امکان‌سنجی پروژه‌های معدنی	۵۵۸	۶۴
۲۵	دستورالعمل پر کردن کارگاه‌های استخراج معادن زیرزمینی	۲۸۳	۶۹
۲۶	راهنمای محاسبه بار و توزیع برق در معادن	۳۰۴	۷۱
۲۷	دستورالعمل گاززدایی در معادن زغال‌سنگ	۷۰۹	۷۶
۲۸	دستورالعمل ابزاربندی و رفتارنگاری در معادن روباز	۷۲۵	۸۴
۲۹	دستورالعمل بازرسی و تعمیر سیستم‌های نگهداری در حفریات معدنی	۷۲۶	۸۶
۳۰	راهنمای طراحی و احداث شبکه‌های زیرزمینی معادن	۷۴۶	۸۹
۳۱	دستورالعمل مطالعات زمین‌شناسی مهندسی ساختگاه تونل‌ها	۷۴۸	۹۲
۳۲	راهنمای مکان‌یابی و جانمایی تاسیسات و تجهیزات در معادن روباز	۷۵۶	۹۴
۳۳	راهنمای تخمین و کنترل نشست در معادن	۷۵۸	۹۶
۳۴	دستورالعمل کنترل رقیق‌شدگی در معادن	در دست تدوین	
۳۵	راهنمای متره و برآورد در فعالیت‌های استخراج معدنی	در دست تدوین	
۳۶	علایم استاندارد نقشه‌های استخراجی معدن	در دست تدوین	

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 کانه‌آرایی	٤٤١	۷
۳	فهرست خدمات طراحی پایه واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی	٤۹۷	۱۲
۴	علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی	۵۰۸	۱۵
۵	راهنمای نرم‌افزاری علایم استاندارد نقشه‌های کانه‌آرایی مواد معدنی	۵۰۸	۲۷
۶	دستورالعمل مکان‌یابی واحدهای کانه‌آرایی و فرآوری	۵۱۵	۱٦
۷	ضوابط انجام آزمایش‌های کانه‌آرایی در مقیاس آزمایشگاهی، پایه و پیشاهنگ	۵٤٤	۳۱
۸	راهنمای محاسبه تعیین ظرفیت ماشین‌آلات و تجهیزات واحدهای 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	ضوابط و معیارهای 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	راهنمای 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	فهرست خدمات مهندسی تفصیلی واحدهای کانه‌آرایی	در دست تدوین	
۳۱	راهنمای محاسبات در آزمایش‌های کانه‌آرایی	در دست تدوین	
۳۲	راهنمای آزمایش‌های هیدرومتالورژی در مقیاس آزمایشگاهی	در دست تدوین	
۳۳	راهنمای فنی کنترل و پایش تجهیزات فرآوری	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 Rpublic Of Iran
Plan and Budget Organization

Guideline for Prediction and Control of Mine Subsidence

No.758

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

به پیش‌بینی و کنترل نشست زمین در معادن زیرزمینی پس از استخراج مواد معدنی پرداخته شده است. اگر پدیده نشست به موقع تحلیل نشده و تمهیدات لازم برای کاهش آن تا حد مجاز در نظر گرفته نشود، خساراتی به تاسیسات سطحی معادن وارد می‌آورد.

omoorepeyman.ir