

INSO
18779
1st. Edition
2014



استاندارد ملی ایران
۱۸۷۷۹
چاپ اول
۱۳۹۳

سلامت و ایمنی در تونل سازی در صنعت
ساخت و ساز - آبین کار

**Health and Safety in Tunneling in the
Construction Industry- Code of Practice**

ICS: 93.060

بهنام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است. تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب‌نظران مراکز و موسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرفکنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیردولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که موسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکترونیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرفکنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول تضمین کیفیت فرآورده‌ها و ملاحظات زیستمحیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای فرآورده‌های تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای فرآورده‌های کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندي آن را اجباری نماید. هم‌چنان برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان‌ها و موسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرگانی، ممیزی و صدور گواهی سامانه‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیستمحیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسائل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و موسسات را بر اساس ضوابط نظام تایید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احرار شرایط لازم، گواهینامه تایید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها ناظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاه، کالیبراسیون (واسنجی) وسائل سنجش، تعیین عیار فلزات گران‌بها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

**کمیسیون فنی تدوین استاندارد
سلامت و ایمنی در تولید سازی در صنعت ساخت و ساز - آیین کار**

سمت و / یا نمایندگی

پژوهشگاه استاندارد

رئیس:

نژاد کاظم، امید

(دکترا مهندسی عمران - سازه)

دبیر:

دانشگاه لرستان

کولیوند، فرشاد

(دانشجوی دکترا مهندسی مکانیک سنگ)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

معدن مس سونگون اهر

اعظمی، محمدعلی

(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک سنگ)

اداره کل استاندارد استان لرستان

امیری دهنو، مجید

(کارشناسی شیمی محض)

سازمان نظام مهندسی معدن

پیری، مصطفی

(دانشجوی دکترا مهندسی معدن)

شرکت ایمن سازان

جواودی، محمد

(دانشجوی دکترا مهندسی معدن)

شرکت زمین حفاران کاسیت

جواودی، حامد

(کارشناسی مهندسی نفت)

سازمان نظام مهندسی ساختمان

سلطانمرادی، حسن

(کارشناسی مهندسی عمران)

اداره استاندارد شهرستان بروجرد

شرفی، عنایت اله

(کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک)

شرکت پتروسرویس

صداقت، اصغر

(کارشناسی ارشد مهندسی نفت)

شرکت ساختمانی ارسا

فرجون، محمد

(کارشناسی مهندسی عمران)

قبریان، مرضیه
(کارشناسی ارشد شیمی فیزیک)

کاووسی، بهزاد
(کارشناسی مهندسی عمران)

مظفری، مهدی
(کارشناسی ارشد مکانیک سنگ)

منوچهریان، سید محمد امین
(دانشجوی دکترا مهندسی مکانیک سنگ)

ناظمی، حمید
(کارشناسی مهندسی عمران)

ندری، کیانوش
(کارشناسی مهندسی عمران)

نقی پور، رسول
(کارشناسی ارشد مکانیک سنگ)

فهرست مندرجات

صفحه

عنوان

ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
د	پیش‌گفتار
ل	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۵	۳ اصطلاحات و تعاریف
۶	۴ کنترل خطر
۶	۱-۴ از شناسایی خطر تا سامانه‌های ایمن کاری
۸	۲-۴ برنامه‌ریزی برای احتمال‌ها و اضطرارها (بند ۱۴ را ببینید)
۹	۳-۴ انواع حوادث
۹	۴-۴ بهداشت حرفه‌ای
۱۴	۵ بررسی و گردآوری اطلاعات
۱۴	۱-۵ کلیات
۱۶	۲-۵ بررسی‌های مقدماتی
۱۹	۳-۵ مطالعات ویژه پروژه
۲۳	۴-۵ بررسی‌های زمین در طی ساخت
۲۴	۶ برنامه‌ریزی تفصیلی برای سلامت و ایمنی
۲۴	۱-۶ ماهیت جدایی‌ناپذیر طراحی و ساخت
۲۵	۲-۶ سازماندهی مرحله قبل از ساخت
۲۵	۳-۶ مرحله ساخت
۳۴	۷ حفاری و نگهداری زمین
۳۴	۱-۷ کلیات
۳۴	۲-۷ اصول اساسی
۳۶	۳-۷ کنترل جابجایی‌های زمین
۳۶	۴-۷ خصوصیات زمین
۴۲	۵-۷ روش‌های شاخص تونل‌سازی
۴۲	۶-۷ روش‌های حفاری و برداشت مواد استخراج شده
۴۴	۷-۷ نگهداری زمین در روش تونل‌سازی سنتی در زمین نرم

ادامه فهرست مندرجات

صفحة

عنوان

۴۷	ماشین‌های تونل‌سازی	۸-۷
۵۱	تونل‌سازی سنتی در سنگ	۹-۷
۵۵	هوای فشرده	۱۰-۷
۵۵	فرآیندهایی ژئوتکنیکی برای بهبود زمین و مدیریت آب	۱۱-۷
۵۹	گالری‌های پیشروی کوچک و تونل‌های کوچک	۱۲-۷
۶۱	تونل‌های پیشاهنگ	۱۳-۷
۶۱	لوله‌رانی و جعبه‌رانی	۱۴-۷
۶۳	آماده‌کننده‌های خاک و روان‌کننده‌ها	۱۵-۷
۶۴	کنترل نشست- تونل‌سازی مکانیزه	۱۶-۷
۶۶	روان‌ملات‌ریزی ترمیمی	۱۷-۷
۶۶	طاق‌های لوله‌ای و میخ‌کوبی	۱۸-۷
۶۶	نگهداری دائمی	۸
۶۶	کلیات	۱-۸
۶۷	لاینینگ‌های برجا	۲-۸
۶۸	لاینینگ‌های پیش‌ساخته	۳-۸
۷۲	ساخت دهانه	۴-۸
۷۲	پایش بارها و تغییرشکل‌ها	۵-۸
۷۴	مدیریت آب زیرزمینی	۹
۷۴	کنترل آب زیرزمینی	۱-۹
۷۷	انتقال آب زیرزمینی	۲-۹
۷۸	سیلان گرفتگی	۱۰
۷۸	کلیات	۱-۱۰
۷۹	سیلان گرفتگی در سینه‌کار	۲-۱۰
۸۲	راهکار احتیاطی	۳-۱۰
۸۲	سیلان گرفتگی تونل از یک چاه یا تونل مجاور	۴-۱۰
۸۵	اقدام‌های احتیاطی هنگام حفاری	۵-۱۰
۸۵	کار کردن با هوای فشرده	۱۱
۸۵	بررسی‌های ساختاری	۱-۱۱
۸۷	تأثیرات فیزیکی فشار هوا	۲-۱۱

ادامه فهرست مندرجات

صفحة

عنوان

٩٠	حفر چاه	٣-١١
٩٢	ماشین‌های حفاری تونل (TBM) و هوای فشرده	٤-١١
٩٣	تامین هوا	٥-١١
٩٥	دیوارها، دریچه‌های هوابند و تجهیزات وابسته به هوای فشرده	٦-١١
٩٦	آتش‌سوزی‌ها و نجات در هوای فشرده	٧-١١
١٠٠	سیلاب	٨-١١
١٠١	گاز متان	١٢
١٠١	کلیات	١-١٢
١٠١	وقوع انتشار گاز متان	٢-١٢
١٠٣	خصوصیات انفجار	٣-١٢
١٠٣	ردیابی (تشخیص) و پایش	٤-١٢
١٠٤	سطح خطر	٥-١٢
١٠٥	منابع اشتعال	٦-١٢
١٠٦	محافظت در برابر انفجار	٧-١٢
١٠٦	کار در اتمسفر دارای پتانسیل انفجار	٨-١٢
١٠٧	آتش و دود	١٣
١٠٧	ذخیره‌سازی مصالح	١-١٣
١١١	جوش کاری و برش کاری (سوزاندن)	٢-١٣
١١٢	تجهیزات الکتریکی در گیر با آتش	٣-١٣
١١٣	اقدام‌های احتیاطی آتش‌سوزی	٤-١٣
١١٥	مکان و موارد حساس	٥-١٣
١١٥	مسیرهای فرار	٦-١٣
١١٦	پاسخ به موارد اضطراری	١٤
١١٦	خدمات اضطراری و ظرفیت عملیاتی	١-١٤
١١٧	امکانات کنترل اضطراری	٢-١٤
١١٨	اعلام هشدار	٣-١٤
١١٩	弗آیندهای هشدار	٤-١٤
١٢٠	آموزش در محل	٥-١٤
١٢٠	دسترسی	٦-١٤

ادامه فهرست مندرجات

صفحة

	عنوان
۱۲۰	۷-۱۴ روشنایی
۱۲۰	۸-۱۴ کنترل دود
۱۲۱	۹-۱۴ امکانات نجات
۱۲۱	۱۰-۱۴ تجهیزات خودنجات
۱۲۲	۱۱-۱۴ گزارش وضعیت پرسنل
۱۲۲	۱۲-۱۴ پناهگاه
۱۲۴	۱۵ تهویه
۱۲۴	۱-۱۵ کلیات
۱۲۵	۲-۱۵ دستورالعمل‌هایی برای مقدار منبع هوای تازه
۱۲۵	۳-۱۵ کیفیت هوا
۱۲۶	۴-۱۵ گازهای خطرناک
۱۳۵	۵-۱۵ تونل‌های خالی و نواحی راکد
۱۳۶	۶-۱۵ سرمایش
۱۳۷	۷-۱۵ ماشین‌آلات و سامانه‌های تهویه
۱۴۱	۱۶ گردوغبار
۱۴۱	۱-۱۶ کلیات
۱۴۱	۲-۱۶ منابع گردوغبار
۱۴۲	۳-۱۶ اثرات گردوغبار
۱۴۳	۴-۱۶ نمونه برداری
۱۴۳	۵-۱۶ کنترل و حذف گردوغبار
۱۴۴	۶-۱۶ تجهیزات محافظه تنفس
۱۴۵	۷- کیفیت روشنایی
۱۴۵	۱-۱۷ کلیات
۱۴۵	۲-۱۷ سطح روشنایی
۱۴۶	۳-۱۷ انواع روشنایی
۱۴۷	۴-۱۷ جانمایی که چراغ‌ها
۱۴۷	۵-۱۷ روشنایی اضطراری
۱۴۹	۶-۱۷ لامپ‌های دستی و لامپ روی کلاه
۱۴۹	۱۸ ارتباطات عملیاتی

ادامه فهرست مندرجات

صفحة	عنوان
۱۴۹	کلیات ۱-۱۸
۱۴۹	سامانه‌های ارتباطی ۲-۱۸
۱۵۱	سیگنال‌ها (علایم) ۳-۱۸
۱۵۲	دوربین مدار بسته (CCTV) ۴-۱۸
۱۵۳	سروصدا و لرزش ۱۹
۱۵۳	کلیات ۱-۱۹
۱۵۳	انتشار سروصدا و قرارگیری در معرض آن ۲-۱۹
۱۵۶	لرزش ۳-۱۹
۱۵۸	چاه‌ها، گودال‌ها و شمع‌ها ۲۰
۱۵۸	کلیات ۱-۲۰
۱۵۹	طراحی ۲-۲۰
۱۵۹	حفر چاه ۳-۲۰
۱۶۵	چاه‌های متروکه ۴-۲۰
۱۶۵	دهانه تونل ۵-۲۰
۱۶۶	جانمایی قسمت بالای چاه ۶-۲۰
۱۶۷	دسترسی پرسنل ۷-۲۰
۱۶۸	ارتباطات ۸-۲۰
۱۶۸	تجهیزات بالابری ۲۱
۱۶۸	کلیات ۱-۲۱
۱۶۹	جرثقیل‌ها ۲-۲۱
۱۷۰	وینچ‌ها (جرثقیل طبلکی) ۳-۲۱
۱۷۱	بالابری‌های مصالح ۴-۲۱
۱۷۱	ارتباطات ۵-۲۱
۱۷۳	حمل و نقل افراد افراد ۶-۲۱
۱۷۴	دسترسی ۲۲
۱۷۴	پیاده‌روها (قدمروها) ۱-۲۲
۱۷۵	دسترسی برای تعمیر و نگهداری ۲-۲۲
۱۷۶	شیب‌ها ۳-۲۲
۱۷۶	تونل‌های موقتی ۴-۲۲

ادامه فهرست مندرجات

صفحة

عنوان

۱۷۶	کار در ارتفاع در داخل تونل و چاهها	۵-۲۲
۱۷۷	حمل و نقل و بارگیری	۲۳
۱۷۷	تراابری (باربری) ریلی	۱-۲۳
۱۸۵	وسایل نقلیه چرخ لاستیکی	۲-۲۳
۱۸۶	وسایل نقلیه چرخ زنجیری	۳-۲۳
۱۸۷	واگن صندوقهای چرخدار و یا بارکشها در لوله رانی	۴-۲۳
۱۸۷	نقاله‌ها (تسممهای)	۵-۲۳
۱۸۹	پمپاژ روان ملات	۶-۲۳
۱۹۳	حمل و دفع ضایعات	۷-۲۳
۱۹۴	ماشین‌آلات تونل	۲۴
۱۹۴	کلیات	۱-۲۴
۱۹۴	ماشین‌آلات پنوماتیکی یا بادی	۲-۲۴
۱۹۵	ماشین‌آلات هیدرولیکی	۳-۲۴
۱۹۶	موتورهای احتراق داخلی	۴-۲۴
۱۹۷	ماشین‌آلات بتن‌ریزی	۵-۲۴
۱۹۸	پمپ‌های زهکشی آب	۶-۲۴
۱۹۸	متدهای حفاری و شمع‌ریزی	۷-۲۴
۲۰۰	تجهیزات روان‌ملات‌ریزی	۸-۲۴
۲۰۰	سامانه الکتریکی	۲۵
۲۰۰	برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل سامانه الکتریکی	۱-۲۵
۲۰۲	انشاءاب منبع تامین شبکه	۲-۲۵
۲۰۳	تاسیسات سایت	۳-۲۵
۲۱۲	کابل‌ها	۴-۲۵
۲۱۸	ترانسفورماتورها و تابلوهای شبکه کلید در تونل‌ها	۵-۲۵
۲۲۰	دوشاخه و پریزهای الکتریکی	۶-۲۵
۲۲۱	تاسیسات روشنایی	۷-۲۵
۲۲۲	موتورهای الکتریکی	۸-۲۵
۲۲۳	تجهیزات لیزری	۹-۲۵
۲۲۶	نگهداری، نوسازی و تعمیر	۲۶

ادامه فهرست مندرجات

صفحة	عنوان
۲۲۶	۱-۲۶ کلیات
۲۲۶	۲-۲۶ مدیریت تجهیز
۲۲۷	۳-۲۶ آماده شدن برای نوسازی و تعمیر
۲۳۰	۴-۲۶ فرآیندهای داخل سایت برای نوسازی و تعمیر
۲۳۱	۵-۲۶ کار در چاهها
۲۳۲	۶-۲۶ کارهای موقتی
۲۳۲	۷-۲۶ ثبت کارها
۲۳۳	پیوست الف (اطلاعاتی) کتابنامه

پیش‌گفتار

استاندارد «سلامت و ایمنی در تونل‌سازی در صنعت ساخت‌وساز- آیین‌کار» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط توسط سازمان ملی استاندارد ایران تهیه و تدوین شده و در پانصد و چهل و دومین اجلاس کمیته‌ی ملی استاندارد مهندسی ساختمان و مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۱۳۹۳/۰۹/۲۳ مورد تصویب قرار گرفته است اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان استاندارد و

تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن‌ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در موقع لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارایه شود، هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

BS 6164: 2011, Code of practice for health and safety in tunnelling in the construction industry

سلامت و ایمنی در تونل‌سازی در صنعت ساخت‌وساز - آیین‌کار

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارایه توصیه‌ها و دادن دستورالعمل‌هایی در مورد عملیات سلامت و ایمن در حفاری چاه و ساخت تونل است.

این استاندارد توصیه‌های سلامت و ایمنی مربوط به تونل‌سازی با روش کندوپوش، تونل‌های زیردریایی و سایر روش‌های ساخت زیرزمینی و همچنین نگهداری، نوسازی و تعمیر چاهها و تونل‌ها را دربرمی‌گیرد. این توصیه‌ها برای ساخت چاهها و حفاری تونل‌ها به منظور استخراج مواد معدنی کاربرد ندارد.

یادآوری ۱- طراحی، ساخت و استفاده از دستگاه‌ها و ماشین‌آلات فقط اشاره به زمانی دارد که ملاحظات ایمنی را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

یادآوری ۲- برای جستجوی بیشتر در مورد قوانین فعلی مربوط به سلامت و ایمنی حرفه‌ای (شغلی) می‌توان به پایگاه اینترنتی www.hse.gov.uk مراجعه کرد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزیی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدرکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴۱۲۴، اتصال به زمین سیستم‌های الکتریکی - آیین‌کار

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۳۹۳۵-۱، موتورهای احتراق داخلی رفت و برگشتی - ایمنی - قسمت ۱: موتورهای احتراق تراکمی

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴۰۵۴، ماشین‌های الکتریکی دوار - طبقه‌بندی درجات حفاظت تامین شده توسط پوشش‌های ماشین‌های (کدهای IP)

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۶۲۰، ترانسفورماتورهای قدرت - کلیات

- ۵-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱، ۵۵۰۵-۱، محیط‌های قابل انفجار- قسمت ۱: محافظت تجهیزات به وسیله محفظه ضد شعله d
- ۶-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۴-۵، ۵۵۰۵، وسایل الکتریکی برای محیط‌های گازی انفجارپذیر- قسمت چهاردهم: تاسیسات الکتریکی در محیط‌های خطرناک (به غیر از معادن)
- ۷-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۲۹، ۵۵۰۵-۲۹-۱، محیط‌های قابل انفجار- قسمت ۱-۲۹: آشکارسازهای گاز- الزامات عملکرد آشکارسازها برای گازهای قابل اشتعال
- ۸-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱، ۷۲۱۲-۱، چند شاخه‌ها پریزها و اتصال دهندها برای مصارف صنعتی - قسمت اول: آینین‌نامه عمومی
- ۹-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۰-۳۰۸۱-۳، (کلیه قسمت‌ها)، کابل‌های مقاوم در برابر آتش- قسمت سوم- بخش ۲۵: آزمون برای انتشار شعله عمودی روی دسته سیم‌های عایق شده یا کابل‌های عددی نصب شده رده D - روش آزمون
- ۱۰-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۶۸، درجات حفاظت تامین شده توسط محفظه‌ها (کد IP)
- ۱۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۸۵۱، ویژگی‌های مایعات سیلیکونی عایق استفاده نشده در کاربردهای الکترونیکی
- ۱۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۶۷۰۰، قطع‌کننده‌های خودکار جریان پسماند بدون حفاظت یکپارچه در برابر اضافه جریان برای مصارف خانگی و مشابه (RCCBs) قسمت ۱: آینین‌نامه عمومی
- ۱۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۳۴۰، مایعات عایقی- ویژگی‌های استرهای آلی ترکیبی استفاده نشده برای کابردهای الکتریکی
- ۱۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۶۷۸۶، (کلیه قسمت‌ها): دستگاه‌های الکتریکی مورد استفاده در مجاورت گردوغبار قابل احتراق قسمت ۱-۱: دستگاه‌های الکتریکی حفاظت شده توسط محفظه‌ها و محدودسازی دمای سطحی - مشخصات دستگاهها
- ۱۵-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۴۳۸۲، تجهیزات جوشکاری با گاز- مشعل‌های مربوط به جوشکاری با گاز، گرمایشی و برشی- ویژگی‌ها و آزمون‌ها
- ۱۶-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۵، ۱۳۶۰۵، ارگونومی - علایم خطر برای محیط‌های عمومی و کاری - علایم خطر شنیداری
- ۱۷-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۰۵۰، پایپوش - وسایل حفاظت شخصی- روش‌های آزمون
- ۱۸-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱۱۳۶، پایپوش - وسایل حفاظت شخصی- پایپوش ایمنی- الزامات
- 2-19 BS 476-4, Fire tests on building materials and structures – Part 4: Non-combustibility test for materials

- 2-20** BS 476-20, Fire tests on building materials and structures – Part 20: Method for determination of the fire resistance of elements of construction (general principles)
- 2-21** BS 476-21, Fire tests on building materials and structures – Part 21: Methods for determination of the fire resistance of loadbearing elements of construction
- 2-22** BS 476-22, Fire tests on building materials and structures – Part 22: Methods for determination of the fire resistance of non-loadbearing elements of construction
- 2-23** BS 638-4, Arc welding power sources equipment and accessories – Part 4: Specification for welding cables
- 2-24** BS 638-5, Arc welding power sources equipment and accessories – Part 5: Specification for accessories
- 2-25** BS 638-7, Arc welding power sources equipment and accessories – Part 7: Specification for safety requirements for installation and use
- 2-26** BS 1129, Specification for portable timber ladders, steps, trestles and lightweight stagings
- 2-27** BS 4363, Specification for distribution assemblies for reduced low voltage electricity supplies for construction and building sites
- 2-28** BS 4592-1, Industrial type flooring and stair treads – Part 1: Metal open bar gratings – Specification
- 2-29** BS 4592-2, Industrial type flooring and stair treads – Part 2: Expanded metal gratings – Specification
- 2-30** BS 4592-3, Industrial type flooring and stair treads – Part 3: Cold formed metal planks – Specification
- 2-31** BS 4592-5, Industrial type flooring and stair treads – Part 5: Solid plates in metal and glass reinforced plastics (GRP) – Specification
- 2-32** BS 4727-1:1983, Glossary of electrotechnical, power, telecommunication, electronics, lighting and colour terms – Part 1: Terms common to power, telecommunications and electronics – Group 01: Fundamental terminology
- 2-33** BS 5045 (all parts), Transportable gas containers
- 2-34** BS 5306-1, Code of practice for fire extinguishing installations and equipment on premises – Part 1: Hose reels and foam inlets
- 2-35** BS 5306-3, Fire extinguishing installations and equipment on premises – Part 3: Commissioning and maintenance of portable fire extinguishers – Code of practice
- 2-36** BS 5306-8, Fire extinguishing installations and equipment on premises – Part 8: Selection and installation of portable fire extinguishers – Code of practice
- 2-37** BS 5395-3, Stairs, ladders and walkways – Part 3: Code of practice for the design of industrial type stairs, permanent ladders and walkways
- 2-38** BS 5607, Code of practice for the safe use of explosives in the construction industry
- 2-39** BS 5911-1, Concrete pipes and ancillary concrete products – Part 1: Specification for unreinforced and reinforced concrete pipes (including jacking pipes) and fittings with flexible joints (complementary to BS EN 1916:2002)
- 2-40** BS 5930, Code of practice for site investigations
- 2-41** BS 5975, Code of practice for temporary works procedures and the permissible stress design of falsework

- 2-42** BS 6100-3:2007, Building and civil engineering – Vocabulary – Part 3: Civil engineering – General
- 2-43** BS 6387:1994, Specification for performance requirements for cables required to maintain circuit integrity under fire conditions
- 2-44** BS 6657, Assessment of inadvertent initiation of bridge wire electro-explosive devices by radio-frequency radiation – Guide
- 2-45** BS 6724, Electric cables – Thermosetting insulated, armoured cables for voltages of 600/1 000 V and 1 900/3 300 V, having low emission of smoke and corrosive gases when affected by fire
- 2-46** BS 7121-1, Code of practice for safe use of cranes – Part 1: General
- 2-47** BS 7121-5, Code of practice for safe use of cranes – Part 5: Tower cranes
- 2-48** BS 7375, Distribution of electricity on construction and demolition sites – Code of practice
- 2-49** BS 7671, Requirements for electrical installations – IEE wiring regulations
- 2-50** BS 7835, Electric cables – Armoured cables with thermosetting insulation for rated voltages from 3.8/6.6 kV to 19/33 kV having low emission of smoke and corrosive gases when affected by fire – Requirements and test methods
- 2-51** BS 7863, Recommendations for colour coding to indicate the extinguishing media contained in portable fire extinguishers
- 2-52** BS 8467, Protective clothing – Personal protective ensembles for use against chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) agents – Categorization, performance requirements and test methods
- 2-53** BS EN 3-10, Portable fire extinguishers – Part 10: Provisions for evaluating the conformity of a portable fire extinguisher to EN 3-7
- 2-54** BS EN 166, Personal eye-protection – Specifications
- 2-55** BS EN 206-1, Concrete- Part 1: Specification, performance, production and conformity
- 2-56** BS EN 388, Protective gloves against mechanical risks
- 2-57** BS EN 397, Specification for industrial safety helmets
- 2-58** BS EN 474 (all parts), Earth-moving machinery
- 2-59** BS EN 529, Respiratory protective devices – Recommendations for selection, use, care and maintenance – Guidance document
- 2-60** BS EN 730-1, Gas welding equipment – Safety devices – Part 1: Incorporating a flame (flashback) arrestor
- 2-61** BS EN 730-2, Gas welding equipment – Safety devices – Part 2: Not incorporating a flame (flashback) arrestor
- 2-62** BS EN 791, Drill rigs – Safety
- 2-63** BS EN 815, Safety of unshielded tunnel boring machines and rodless shaft boring machines for rock
- 2-64** BS EN 1800, Transportable gas cylinders – Acetylene cylinders – Basic requirements, definitions and type testing
- 2-65** BS EN 1889-1, Machines for underground mines – Mobile machines working underground – Safety – Part 1: Rubber tyred vehicles

- 2-66** BS EN 1889-2, Machines for underground mines- Mobile machines working underground – Safety – Part 2: Rail locomotives
- 2-67** BS EN 1916 (all parts), Limits and fits for engineering
- 2-68** BS EN 1992 (all parts), Eurocode 2 – Design of concrete structures
- 2-69** BS EN 12110, Tunnelling machines – Air locks – Safety requirements
- 2-70** BS EN 12111, Tunnelling machines – Road headers, continuous miners and impact rippers – Safety requirements
- 2-71** BS EN 12336, Tunnelling machines – Shield machines, thrust boring machines, auger boring machines, lining erection equipment – Safety requirements
- 2-72** BS EN 12862, Transportable gas cylinders – Specification for the design and construction of refillable transportable welded aluminium alloy gas cylinders
- 2-73** BS EN 16191 1), Tunnelling machinery – Safety requirements
- 2-74** BS EN 50104, Electrical apparatus for the detection and measurement of oxygen – Performance requirements and test methods
- 2-75** BS EN 60079-10-1, Explosive atmospheres – Part 10-1: Classification of areas – Explosive gas atmospheres
- 2-76** BS EN 60079-10-2, Explosive atmospheres – Part 10-2: Classification of areas – Combustible dust atmospheres
- 2-77** BS EN ISO 2503, Gas welding equipment – Pressure regulators and pressure regulators with flow-metering devices for gas cylinders used in welding, cutting and allied processes up to 300 bar (30 MPa)
- 2-78** BS EN ISO 3821, Gas welding equipment – Rubber hoses for welding, cutting and allied processes (ISO 3821:2008)
- 2-79** BS EN ISO 12922, Lubricants, industrial oils and related products (class L) – Family H (hydraulic systems) – Specifications for categories HFAE, HFAS, HFB, HFC, HFDR and HFDU
- 2-80** BS IEC 1008-2-2, Implementation of IEC 1008-2-2:1990 – Specification for residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCB's) – Part 2-2: Applicability of the general rules to RCCB's functionally dependent on line voltage
- 2-81** CP 3010, Code of practice for safe use of cranes (mobile cranes, tower cranes and derrick cranes)

اصطلاحات و تعاریف ۳

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف ارایه شده در استاندارد بند ۴۲-۲ به کار می‌رود، همچنین اصطلاحات و تعاریف مرتبط با الکتروتکنیک نیز در استاندارد بند ۳۲-۲ ارایه شده است.

۴ کنترل خطر

۱-۴ از شناسایی خطر تا سامانه‌های ایمن کاری

۱-۱-۴ کلیات

رسیدن به سطح عملکرد مناسب سلامت و ایمنی در محل و اجتناب از اتفاقات مضر، از قبیل تصادفات، عدم تندرستی، حوادث و خسارات، با شناسایی موثر خطرها و کنترل ریسک حاصل می‌شود. توصیه می‌شود شناسایی خطرها و ریسک‌ها، تعیین سطح ریسک و چگونگی کنترل آن، یک عملیات تک مرحله‌ای نباشد که توسط پیمانکار به عهده گرفته شود.

بهتر است این عملیات، فرآیند پیوسته‌ای باشد که در مراحل برنامه-ریزی و طراحی شروع شود و در مرحله ساخت پروژه و بهره‌برداری و نگهداری آن ادامه داشته باشد.

ریسک‌ها از خطرها ناشی می‌شوند. خطرها (از قبیل زمین ناپایدار، آب، سروصدما، گردوغبار، ماشین‌آلات سیار و الکتریسیته) پتانسیل آسیب زدن به اشخاص، تونل و محیط اطراف را دارند. ریسک مربوط به هر خطر، بیانی از این است که آیا احتمال وقوع خطر وجود دارد، و اگر خطر اتفاق افتد، تناوب وقوع آن و نتایج متعاقب آن چگونه خواهد بود. مواجهه با بعضی خطرها (مانند کار کردن در ارتفاع) به صورت روزانه است و اقدام‌های پیشگیرانه در مقابل ریسک سقوط از ارتفاع به خوبی درک شده و اجرا شوند. ممکن است حوادث تونل‌سازی با تناوب کم اما پیامد شدید (مانند ریزش زمین یا آتش‌سوزی زیرزمینی) اتفاق افتد. ممکن است نتایج این‌گونه اتفاقات بر روی نیروی کار و دیگران (مانند طرفین دعاوی سوم) بسیار شدید باشد و بهتر است این اتفاقات به عنوان بخشی از سامانه مدیریت خطرها و ریسک کلی مورد بررسی قرار گیرد.

بهتر است شیوه ساخت شامل مراحل زیر باشد:

الف- بهتر است به منظور کنترل ریسک، خطرهای احتمالی که ممکن است در طی ساخت و نگهداری اتفاق افتد با دقت شناسایی شوند. شیوه‌های عمومی ارزیابی ریسک اغلب تصویر ناقصی از ریسک را نتیجه می‌دهند. توصیه می‌شود شناسایی خطرها مطابق با یک پروژه ویژه انجام شود.

ب- بهتر است حتی‌الامکان در مرحله طراحی، خطرها از بین برده شوند.

ج- بهتر است در مورد خطرهایی که نمی‌توان آن‌ها را در مرحله طراحی از بین برد، ارزیابی ریسک انجام شود.

یادآوری- خطرهای مشخص در تونل‌سازی ممکن است موجب چندین ریسک شوند. برای مثال آلوده‌کننده‌های زمین مانند بنزن، تولیون و ژیلن، ریسک آتش‌گرفتن یا انفجار دارند و سلطان‌زا نیز هستند.

د- بهتر است به منظور سازماندهی اقدام‌های پیشگیرانه کنترل ریسک لازم، یک ارزیابی ریسک انجام شود. توصیه می‌شود ریسک‌هایی که به عنوان ریسک جزئی شناسایی می‌شوند، از بررسی‌های اضافی حذف شوند. به ریسک‌هایی که نتایج جدی و شدیدی دارند، اگرچه احتمال وقوع خیلی کمی دارند، توجه ویژه‌ای شود.

۵- بهتر است راهبرد کنترل ریسک در مرحله طراحی، طرح‌ریزی شود. بهتر است در مورد ریسک‌های باقیمانده که در مرحله ساخت با آن برخورد می‌شود، اقدام‌های پیشگیرانه کنترل ریسک انجام شود. برای مثال برای کنترل ریسک ناشی از سروصدای گردوغبار، آلوده‌کننده‌های جوی، جابجایی و استفاده از مواد شیمیایی خطرناک، ماشین‌آلات سیار و حمل و نقل، ممکن است انجام اقدام‌های پیشگیرانه نیاز باشد. توصیه می‌شود جزئیات این‌گونه اقدام‌های پیشگیرانه کنترل ریسک توسط کسانی تهیه شود که کار ساختمانی را تحت کنترل و اجرا دارند، اما بهتر است اطلاعات خطرها و ریسک‌های شناخته شده، از طرف کارفرما، برنامه‌ریزان و طراحان به افرادی که در مورد اقدام‌های کنترل ریسک در ابتدای مرحله ساخت تصمیم‌گیری می‌کنند، واگذار شود.

یادآوری ۱- هدف نهایی این فرآیند این است که سامانه‌های ایمن خاص پروژه، برای عملیات اجرا تهیه شود.

یادآوری ۲- برای کسب اطلاعات بیشتر به آیین‌نامه مدیریت ریسک در کارهای تولید (BTS/ABI) مراجعه شود [۳].

۴-۱-۲ ایجاد سامانه‌های ایمن کاری

ایجاد یک سامانه ایمن کاری، فرآیندی است که شامل اجرای کار و تصمیم‌گیری توسط مشتری، طراحان، تصریح‌کننده کار و پیمانکاران است و توصیه می‌شود صرفاً به مرحله ساخت محدود نشود. می‌توان جایی که داده‌های مربوطه مناسب است، از ارزیابی خطر کیفی استفاده کرد. اصل عمومی در این مورد این است که بهتر است، اندازه‌گیری‌های کنترلی متناسب با نوع خطر باشند. اگر خطر قابل توجه و اساسی است و پیامدهای احتمالی آن شدید است، پس بهتر است با صرف زمان بیشتر، تلاش و منابع بیشتری صرف شناسایی و کنترل دقیق خطر شود.

یک شیوه گروهی، که دانش و تجربه موضوعات مرتبط را تحت کنترل داشته باشد، فواید فراوانی دارد. مشورت و گرفتن اطلاعات از مهندسین و پیمانکاران با تجربه و تأمین‌کنندگان ماشین‌آلات در طی مراحل طراحی و برنامه‌ریزی، مفید است. توصیه می‌شود در طی مراحل اولیه طراحی و برنامه‌ریزی، از خدمات اضطراری عمومی و مالکین زیرساخت‌هایی که تحت تاثیر عملیات پیشنهاد شده قرار می‌گیرند، نیز اطلاعاتی گرفته شود و با آن‌ها مشورت‌هایی انجام شود.

توصیه می‌شود قبل از آغاز عملیات اجرایی در محل، پیمانکار اصلی یک برنامه سلامت و ایمنی برای مرحله ساخت تهیه کند، که در آن اطلاعات دریافت شده از سایر اعضای گروه ساخت پروژه، در آن در نظر گرفته شده باشد. بهتر است این برنامه به‌طور منظم، با به‌دست آوردن تجربه بیشتر از فرآیند اجرای عملیات ساخت، بازنگری شده و تحت تجدیدنظرهای مناسب قرار گیرد.

۲-۴ برنامه‌ریزی برای احتمال‌ها و اضطرارها (پند ۱۴ را ببینید)

بهتر است توجه شود که، برای رسیدگی به احتمالات و اضطرارهایی که برای پروژه پیش‌بینی می‌شود، برنامه ویژه‌ای در نظر گرفته شود.

احتمالات، حوادثی هستند که برای پروژه پیش‌بینی شده‌اند اما ممکن است اتفاق افتاده یا اتفاق نیافتدن. یک مثال از احتمالات، درجه تغییرپذیری شرایط زمین یا آب در محل پروژه است. بهتر است برنامه‌ها این چنین عواملی را پیش‌بینی کند.

یادآوری - ممکن است مناسب باشد که پروژه، یک قرارداد ظرفیت پمپاژ زیرزمینی، یک قرارداد هوای فشرده مورد نیاز تونل‌سازی، یک دستگاه متراکم‌کننده هوا^۱ یا تجهیزات نگهداری زمین اضافی، با دسترسی آسان در محل پروژه داشته باشد.

اضطرارها، حوادث اتفاق افتاده‌ای هستند که نمی‌توان پیش‌بینی کرد، اما نمی‌توان آن‌ها را نیز غیرمحتمل شمرد. بهتر است اولین بررسی، برای شناسایی انواع اضطرارهای ممکن در پروژه انجام شود. توصیه می‌شود کسانی که شروع به تهیه فهرست اضطرارهای احتمالی پروژه می‌کنند، حتی‌الامکان شناخت گستره‌ای از صنعت مورد نظر داشته باشند و تحقیق و پژوهش برای شناخت تکمیلی تجربیات خودشان را عهده‌دار شوند.

یادآوری - اضطرارهایی که غیرمحتمل هستند اما غیرممکن نیستند شامل موارد زیر هستند:

الف- آتش‌سوزی زیرزمینی برای مثال در یک TBM؛

ب- تخریب ناگهانی سینه کار باز حفاری در زمین نرم، امکان جریان یافتن یا لغزش مصالح سست؛

ج- هجوم ناگهانی آب به داخل تونل به علت فشار بالا یا میزان غیرقابل انتظار آب؛

د- انفجار زیرزمینی شاید به دلیل حضور گاز متان شناسایی نشده؛

ه- آلودگی هوای محیط که ممکن است مربوط به کمبود اکسیژن باشد؛

و- شکست لاینینگ تونل، که ممکن است موجب شود دسترسی پرسنل کاری به مسیر خروجی عادی‌شان قطع شود؛

ز- قطع کامل سامانه برق زیرزمینی که می‌تواند موجب مشکلاتی برای خروجی اصلی و نجات پرسنل شود؛

ح- بعضی اضطرارهای خارج از عملیات زیرزمینی، اما ممکن است برای تحلیله و نجات فوری پرسنل کاری زیرزمینی لازم باشند.

اضطرارهای ناشی از فعالیت‌های تونل‌سازی ممکن است اثرات مخربی بر افراد و زیرساخت‌هایی داشته باشد که به‌طور مستقیم در عملیات تونل‌سازی درگیر نیستند، بهتر است این‌گونه موارد در برنامه‌ریزی اضطراری شناسایی شوند.

توصیه می‌شود در مورد ماهیت اضطرارهای احتمالی با خدمات اضطراری عمومی بحث و تبادل نظر شود. بهتر است فرآیند برنامه‌ریزی برای اضطرارها سعی کند، مهارت و تجربیات افرادی که دارای تجربه کافی در چنین وضعیت‌هایی هستند، را بررسی کند و فهرستی از آن‌ها تهیه کند. غیرممکن است که یک برنامه

اضطراری منفرد، به طور مناسب گستره اضطرارهایی که ممکن است در پروژه رخ دهد را مشخص و تعیین کند.

یادآوری - توصیه‌هایی برای مدیریت اضطرارها در سیلاب و هجوم آب در بند ۱۰، و برای مدیریت آتش‌سوزی در بند ۱۴، ارایه شده است.

۳-۴ انواع حوادث

انواع حوادثی که ممکن است در پروژه‌های تونل‌سازی اتفاق افتد مشابه سایر حوادثی است که در صنعت ساخت‌وساز عمومی اتفاق می‌افتد. این نوع حوادث، همراه با مثال‌ها و مراجع مربوط به بندهای متناظر، که دستورالعمل‌های اقدام‌های پیشگیرانه را ارایه کرده است، در جدول ۱ توصیف شده‌اند.

۴-۴ بهداشت حرفه‌ای

۴-۴-۱ مراقبت‌های بهداشتی

توصیه می‌شود در طی عملیات ساخت در محل، به موضوع مدیریت سلامت شغلی به عنوان بخشی از فرآیند کنترل خطر کلی، توجه ویژه‌ای شود.

یادآوری - به طور کلی در صنعت ساخت‌وساز، زمان‌های تلف شده ناشی از نقص‌های شغلی به طور قابل توجهی بیشتر از حوادث هستند.

کارگران تونلی، گروه کاری هستند که اغلب دور از خانه اصلی خود زندگی می‌کنند و دسترسی محدودی به خدمات بهداشتی دارند؛ توصیه می‌شود آزمون‌های بهداشتی پیشاستخدامی بر روی کارکنان آتی در چهارچوب وظیفه‌شان، انجام شود.

یادآوری ۱ - برای مثال، کارگران زیرزمینی که در معرض گردوغبار قرار می‌گیرند، ممکن است عوارض تنفسی آن‌ها تشديد شود.

یادآوری ۲ - خطرهای بهداشت حرفه‌ای مربوط به تونل‌سازی در جدول ۲ توصیف شده‌اند. در مورد بعضی از آن‌ها، نظارت‌های قانونی بهداشتی پیش از قرارگیری در معرض این خطرها، مورد نیاز است.

اگر چشم‌پوشی از خطرها غیرممکن است، توصیه می‌شود برای حداقل کردن قرارگیری در معرض چنین خطرهایی، اقدام‌های پیشگیرانه‌ای در نظر گرفته شود، برای مثال مکانیزاسیون، تهویه، جایگزینی گرینه‌های با خطر کم‌تر، کاهش زمان نوبت کاری یا تغییر الگوی کاری. در بعضی موارد، اقدام‌های کنترلی ممکن است خطرهای دیگری را به وجود آورد، که بهتر است کنترل شوند.

۲-۴-۴ کنترل خطرهای بهداشت حرفه‌ای باقیمانده

توصیه می‌شود مدیران سایت، کارشناسان ناظر بر پروژه و مهندسین بتوانند خطرهای بهداشت حرفه‌ای مرتبط با فعالیت‌های عملیات ساختمانی را شناسایی کنند. بهتر است کارشناسان ناظر، در مورد نشانه‌های ناهنجاری‌های بهداشت حرفه‌ای اطلاع‌رسانی کنند.

بهتر است گزارش‌گیری‌های اخیر عالیم ناهنجاری بهداشت حرفه‌ای، تقویت شود تا بتواند مرجع کاملی برای مشاورین بهداشت حرفه‌ای کارکنان باشد. توصیه می‌شود جایی که مناسب است، کارگران زیرزمینی توسط یک متخصص بهداشت حرفه‌ای تحت آزمون‌های پزشکی منظم قرار گیرند.

یادآوری - به دستورالعمل ۶ در منبع مدیریت سلامت و ایمنی آیین‌نامه کار سال ۱۹۹۹ توجه شود [۴]، که یک برنامه نظارت بهداشت حرفه‌ای را الزام می‌کند. اطلاعات در انتشارات واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست HSG61 ارایه شده است [۵].

۳-۴-۴ تهیه اطلاعات

بهتر است اطلاعات سطوح خطرپذیری و اقدام‌های پیشگیرانه کنترل خطر مربوطه، به‌طور مستقیم و از طریق نماینده‌های ایمنی تعیین شده توسط اتحادیه کارگری (اگر موجود است)، در دسترس کارکنان باشند.

۴-۴-۴ بایگانی سوابق

الزاماتی برای نگهداشتن یادداشت‌های ارزیابی‌ها و سطوح خطرپذیری، هم در قوانین سلامت و ایمنی عمومی و هم در قوانین خطرهای ویژه از قبیل قوانین کنترل سروصدای، در آیین‌نامه کار ۲۰۰۵ [۶] و کنترل لرزش در آیین‌نامه کار ۲۰۰۵ [۷]، وجود دارد.

هیچ الزام قانونی برای نگهداشتن یادداشت‌های موجود وجود ندارد، اما توصیه می‌شود این یادداشت‌ها به مدت ۲۰ سال نگهداشته شوند.

۴-۴-۵ امکانات شستشو و آب آشامیدنی

به موضوع مناسب نگهداشتن وضعیت بهداشت پرسنل کاری توجه شود به ویژه زمانی که کار در جایی انجام می‌شود که پرسنل کاری در زمین آلوده و با مواد محرک و سوزش‌آور سرو کار دارند. توصیه می‌شود این مورد در جایی که امکانات دستشویی محدود است، انجام شود.

توصیه می‌شود کارگران زیرزمینی به منابع آب شرب سرد، دستری آسانی داشته باشند.

جدول ۱- مثال‌های شاخص از علت حوادث و راه‌های پیشگیری (بر اساس حق تقدم اولویت‌بندی نشده‌اند)

دسته حادثه	مثال‌ها	پیشگیری‌ها و/یا مراجع اصلی	سایر منابع
سقوط از ارتفاع	سقوط به درون چاه	سدها و موائع ثابت	بندهای ۶-۲۰ و ۷-۲۰
	سقوط درون سر حفار	مهراری‌ها و نقطه‌های لنگر ثابت در TBM	
سقوط بر روی سطح	لغزش یا جدایش	پیاده‌روهای باز و خوب نگهداری شده، اتاقک‌های خوب، روشنایی خوب	بندهای ۱۷ و ۲۲
	وسایل و اقلام کوچک سقوط کرده از سکوهای ضربه خورده یا از چاه	تخته‌پنجه‌ها؛ پشت‌سازی و انبارش مناسب؛ ابزار دستی تهیه شده از تسممه‌های مقاوم	۶-۲۰
سقوط مصالح از ارتفاع	بارهای آویزان سقوط کرده	زنجیر کردن و بارگیری صحیح، نواحی بارگیری تمیز نگه داشته شوند. استانداردهای بندهای ۲-۴۶ تا ۴۷-۲، بند ۲-۶-۲۰ و ۲-۲۱ و ۶-۲۰ را ببینید.	۶-۲۰ و ۲-۲۱
	سقوط شاتکریت	دسترسی محصور برای پرسنل کاری	
سقوط مصالح از پشت‌های سیمان	تخرب پشت‌های، مثلاً الوار، سگمنت‌ها، کیسه‌های سیمان	اصول طراحی شده مناسب برای پشت‌های؛ ساخت و نگهداری نظام‌مند پشت‌های	-۲۰ ۲-۳-۸ و ۶
	سقوط بارها از وسایل نقلیه	بارها به‌طور مناسب پشت‌سازی و محافظت شوند؛ سطح جاده یا کامیون به خوبی نگهداری شود.	۶-۲۰
آسیب ناشی از سقوط و تخریب زمین	تخرب سینه‌کار باز	بندهای ۷ و ۸ را ببینید	
	سقوط سنگ	مانع از سقوط سنگ سست، فوراً سامانه نگهداری اجرا شود	۸-۷
ماشین‌آلات بالابر	شکستن فاضلاب یا منبع اصلی تامین آب، هجوم آب زیرزمینی و غیره.	بند ۱۰ را ببینید	
	جرثقیل‌ها و بالابرها	بند ۲۱ را ببینید	
ماشین‌آلات بالابر	بالابر و نصب کننده سگمنت در سینه‌کار	در صورت امکان، فرآیند مکانیزه انجام شود. بازوی چرخشی و جرثقیل‌ها به‌طور مناسب طراحی و آزموده شوند	۲-۳-۸ و ۳-۳-۸
	جرثقیل چنگک‌دار - بارهای آویزان شده از چنگک‌ها	نگهدارنده بار، آموزش راننده	
سایر ماشین‌آلات	سقوط از آسانسور	انطباق با استاندارد بند ۷۱-۲	
	ماشین‌آلات حفاری	مانع افراد از ناحیه عملیاتی؛ فرآیندهای ایمن تعريف شده و تأکید شده؛ بندهای ۷ و ۲-۲۳ و ۳-۲۳ را ببینید	
سایر ماشین‌آلات	عملیات تزریق	تجهیزات به‌طور مناسب نگهداری شوند؛ عملیات توسط افراد آموزش‌دیده کارдан انجام شود؛ بند ۵-۳-۸ را ببینید	
	نوار نقاله‌ها	بند ۵-۲۳ را ببینید	

جدول ۱- ادامه

دسته حادثه	مثالها	پیشگیری ها و/یا مراجع اصلی	سایر منابع
وسایل نقلیه	لکوموتیوها و قطارهای ریلی	بند ۱-۲۳ را ببینید	
	وسایل نقلیه چرخ لاستیکی	بند ۲-۲۳ را ببینید	
نصب و سایل الکتریکی	تلفات ناشی از برق	بند ۲۵ را ببینید	۳-۱۳
آتش سوزی و انفجار	سوختگی ها و ضربه مغزی	بندهای ۱۲، ۱۳ و ۱۴ را ببینید	۵-۱۱ و ۷-۳-۲۵
آلودگی هوای محیط	آلوده کننده های هوای محیط	بندهای ۱۲، ۱۵ و ۱۶ را ببینید	۳-۱۱
خطرهای حمل مصالح	مواد شیمیایی برای آماده- سازی خاک ^۱	اجتناب از ریزش و تماس با مواد شیمیایی آماده کننده خاک. الصاق ورق داده های ^۲ کارخانه سازنده؛ تجهیزات محافظ شخصی ^۳ مناسب	
حوادث مرتبط با ماشین های حفاری ^۴ تونل		استاندارد بند ۷۱-۲ را ببینید	

۶-۴-۴ اقدام های کاهنده

۱-۶-۴ سرو صدا

بهتر است برای کاهش قرارگیری در معرض سرو صدا، کلیه گام های عملیاتی معقولانه، شامل جایگزین کردن تجهیزات با صدای کم یا با قرار دادن دستگاه ها در محفظه های کاهنده سرو صدا، انجام شود.
یادآوری - کنترل صدا در آیین نامه کار (۲۰۰۵)، را ببینید [۶].

۶-۴-۴-۲ جابجایی دستی

توصیه می شود خطرهای جابجایی دستی، با مکانیزه کردن فرآیند حفاری و نصب لاینینگ، تقسیم کردن بارها به اندازه های کوچک تر، اندیشیدن تمهیداتی در محل های بالابری و تغییر عملیات کاری، کاهش داده شود.

یادآوری - آیین نامه عملیات جابجایی دستی (۱۹۹۲)، را ببینید [۸].

1 - Soil Conditioners

2 - Data Sheets

3 - Personal Protective Equipment (PPE)

4 - Tunnel Boreing Machine (TBM)

۴-۶-۳ اختلال ناشی از کار در اعضای بالایی بدن

بهتر است برای کاهش خطر اختلال‌های ناشی از کار در اعضای بالایی بدن، فرآیند مکانیزه کردن و تغییر روند عملیات کاری به کار برد شود.

یادآوری- آیین‌نامه عملیات جابجایی دستی (۱۹۹۲) را ببینید [۸].

۴-۶-۴ نشانه‌های لرزش دست^۱

بهتر است برای کاهش خطر نشانه‌های لرزش دست (HAVS)، فرآیند مکانیزه کردن و تغییر عملیات کاری اعمال شود. به علاوه، توصیه می‌شود برنامه آزمون‌های درمانگاهی توسط متخصصین بهداشت حرفه‌ای، تحت نظارت پزشک دارای تجربه در مورد نشانه‌های لرزش دست، وجود داشته باشد.

یادآوری- کنترل لرزش در آیین‌نامه کار ۲۰۰۵ [۷] را ببینید.

۴-۶-۵ تنفس گرمایی^۲ و فرسودگی^۳

توصیه می‌شود برای کاهش خطر تنفس گرمایی و فرسودگی، فرآیند مکانیزه کردن، تهویه و تغییر عملیات کاری اعمال شود. بهتر است منابع آب شرب سرد در دسترس باشند.

۴-۶-۶ مشکلات پوستی^۴

می‌توان با استفاده از بعضی روش‌ها، مشکلات پوستی را کاهش داد، این روش‌ها شامل استفاده از تجهیزات کنترل از راه دور، و استفاده از تجهیزات محافظ شخصی از قبیل دستکش‌ها و لباس کار هستند. هنگامی که تماس مواد آلوده با پوست اتفاق می‌افتد، توصیه می‌شود پوست آلوده بلافصله با آب گرم شسته شود و با پارچه خشک شود. بهتر است قبل از کار، از کرم‌های محافظتی استفاده شود و برای مرطوب کردن پوست، از کرم‌های مرطوب‌کننده استفاده شود. بهتر است تجهیزات محافظ شخصی آلوده شده، دور انداخته شوند یا اگر مناسب هستند، قبل از استفاده مجدد تمیز شوند.

۷-۶-۴ گردوغبار (شامل ذرات بلوری سیلیس قابل تنفس)

توصیه می‌شود با انجام تهویه موضعی هوا و استفاده از افشارهای آب، میزان قراگیری در معرض گردوغبار (شامل ذرات بلوری سیلیس قابل تنفس) کاهش داده شود. برای کاهش میزان گردوغبار تولید شده ناشی از کاربرد لاینینگ بتون پاششی، از مخلوط شاتکریت تر^۱ استفاده شود.

1 - Hand-Arm Vibration Syndrome (HAVS)

2 - Heat Stress

3 - Exhaustion

4 - Skin Problems

۵ بررسی و گردآوری اطلاعات

۱-۵ کلیات

ایمنی عملیات تونل سازی به ارزیابی های پیش ساخت از زمین و محل و تفسیر مناسب اطلاعات به دست آمده بستگی زیادی دارد. بهتر است قبل از شروع کار کلیه اطلاعات مرتبط با عملیات ساخت تونل، نگهداری، نوسازی و تعمیر آن گردآوری شود و مورد مطالعه قرار گیرد. مطالعات خاص پروژه که باید انجام شود، بهتر است قبل از ساخت تونل شروع شود و در طی مرحله ساخت نیز ادامه داشته باشد (بند ۳-۵ را ببینید).

جدول ۲ - خطرهای اصلی بهداشت حرفه‌ای

منبع	نشانه‌ها و/یا پیامدهای ممکن	رخداد	خطر
فیزیکی			
۳-۴-۴، ۲-۴-۴ ۱-۱۹، ۴-۴-۴ و ۲-۱۹	کاهش شناوی طولانی مدت برگشت‌ناپذیر	قرارگیری طولانی در معرض سطوح بالای سروصدای تجهیزات پنوماتیک از قبیل بیلچه‌ها یا دستگاه‌های حفاری.	۱- سروصدای دستگاه‌های حفاری
۳-۸، ۳-۴-۴ و بند ۲۱	درد شامل درد کمر و خشک‌کننده حرکات بدن که می- تواند منجر به ناتوانی دائمی شود. دیسک کمر. آسیب دیدن ماهیچه/تاندون	فون حفاری دستی. نصب لاینینگ با دست، استفاده از ابزار نوک تیز سنگین، غیرفنی و لغزان	۲- جابجایی دستی (بالابری، حمل، کشیدن و راندن)
۳-۱۹، ۳-۴-۴	بی‌نظمی مرتبط با کار اعضای بالای بدن. درد، کاهش حس و محدود شدن دامنه حرکتی بدن که ممکن است منجر به ناتوانی دائمی شود.	کارهای تکراری، متناوب یا طولانی نیازمند نیرو، چنگزدن، مچاله شدن دست‌ها، چرخش مج دست‌ها. طرز ایستادن ناصحیح	
۳-۴-۴ ۴-۴-۴ ۳-۱۹	نشانه‌های لرزش بازو، سوزش یا درد و سوزن سوزن شدن انگشتان و کاهش احساس. سفید شدن نوک انگشتان هنگامی که در معرض سرما قرار می‌گیرند. رنگ پریدگی انگشتان به دنبال آن سرخ شدن ناگهانی و سریع آن‌ها، ضربان و لرزش بیش از حد انگشتان. حملات متناوب بیش تر ناشی از درد دست و کاهش چالاکی. سرانجام ظاهر شدن کبودشده‌گی انگشتان	قرارگیری طولانی مدت در عرض ابزار لرزشی دستی. بتن/سنگ شکن. بیلچه. دستگاه- های حفاری ضربه‌ای	۳- لرزش
۵-۴-۴ ۱۱ ۳-۱۵ ۶-۱۵	تنش و کرنش حرارتی. فرسودگی. سرعت افزایش حرارت و دمای بدن افزایش یافته و عرق کردن و عدم تعادل نمک. غش و ضعف کردن	حفاری دستی در شرایط دمای بالا، رطوبت بالا یا سرعت پایین جابجایی هوا. تشدید کار در شرایط کاری در هوای فشرده	۴- حرارت

جدول ۲ - ادامه

منبع	نیازهای ممکن	رخداد	خطر
بند ۱۱	ناخوشی ناشی از بیهوش شدن در اثر کم شدن فشار اتمسفر. علایم و نیازهایی که ممکن است شامل شوند: دردهای زودگذر: درد مفاصل، جوش زدن پوست، خارش، لکه شدن بدن، کاهش احساس، سوزش، ضعف، فلنج، اختلالات بینایی، بیهوشی، تشنجه. دردهای مزمن: بافت مردگی استخوان.	کار در هوای فشرده	۵- محیطهای با فشار بالا
شیمیایی			
۵-۴-۴، ۲-۱۳-۷، ۱۶-۷، ۵-۳-۸ جدول ۴	سرخی، خارش، پولک پولک شدن، تاول زدن، ترک خوردن و عرق کردن بیش از حد پوست قرار گرفته در معرض عوامل محرك یا آماس پوست حساس.	آلدگی مستقیم و طولانی پوست دست، بازوها و پاها در تماس با ساروج، روان ملات- ریزی و تزریق سیمان در عملیات پیچ‌سنگ کردن. کاربرد بتن پاششی.	۱- مصالح سیمانی شده، مواد افزودنی، چسب اپوکسی
۲-۴-۴، ۳-۴-۴، ۴-۴-۴ بند ۱۶	افزایش تنگی نفس، افت شنوایی، سیلیکوزیس ^۱ گذرا، سیلیکوزیس شتاب‌یافته، فیبریوس ^۲ ریه‌ها.	برش دادن سنگ توسط دستگاه‌ها. کاربرد بتن پاششی، حفاری، شکستن، خرد شدن، باربری با نوار نقاله، برش دادن، بارگیری سنگ.	۲- ذرات بلورهای سیلیس قابل تنفس
۱۶، بند ۸-۷	سوژش دستگاه تنفسی. انباستگی گردوغبار در ریه‌ها.	برش دادن سنگ توسط دستگاه‌ها. کاربرد بتن پاششی، چالزنی و آتشباری.	۳- سایر گردوغبارهای چالزنی و آتشباری قابل تنفس
-۱۵ و ۱۱-۳-۴	خارش اساسی پوست شامل آماس و تاول پوست. حالت تهوع و سرگیجه.	تماس با پوست، آلدگی هوای تونل. آلدگی زمین.	۴- مایعات حلال
-۲۴ و ۱-۴	سوژش چشم‌ها و دستگاه تنفسی. ممکن است منجر به سرطان (عامل سرطان) شود.	ذرات ناشی از خروجی اگزوز موتورهای دیزلی	۵- هیدروکربن‌ها
زیستی			
۳-۴-۴، ۵-۴-۴ بند ۲۶	بیماری‌های سرایت‌کننده (لیپتوسپیروز)- سرایت باکتریایی حمل شده در آب یا خاک آلدگ. علایم شامل دمای بالای ناگهانی، کاهش بازدهی کلیه، بیماری‌های شبیه آنفلانزا، درد مفاصل و ماهیچه‌ها. تورم و یرقان که ممکن است اتفاق افتد.	شرایط از طریق کارهای دارای بهداشت ضعیف، بریدگی پوست و خراش‌ها یا سایش چشم‌ها هنگام کار کردن در زمین آلدگی یا فاضلاب.	آلدگی آب یا خاک

۱- بیماری ریوی که بر اثر استنشاق ذرات غبار سیلیس تولید می‌شود.

۲- سیلیس سبب فیبروز بافت ریه می‌شود و فیبروز به تنگی نفس پیش‌رونده می‌انجامد.

توصیه می‌شود در ارایه عملی اطلاعاتی که باید در اختیار مسئول طراحی، برنامه‌ریزی و ساخت قرار گیرد، کلیه اطلاعات مرتبط و نقص‌های موجود در این اطلاعات، به‌طور کامل بیان شود. توصیه می‌شود اطلاعات زمین، مطابق با نیازهای فرآیند طراحی باشند. بنابراین مطلوب است که طراح، با مشورت سایر افراد متخصص، الزامات مربوطه را تعیین کرده و بر عملیات گردآوری داده‌های مربوط به محل ساخت و برنامه بررسی‌های برجای پیمانکاران انجام شود.

بهتر است توصیه‌های ارایه شده در بندهای ۲-۵ و ۳-۵ به عنوان یک بازبینه^۱ پایه‌ای تلقی شده و به هیچ عنوان به صورت یک ویژگی جامع و کامل در نظر گرفته نشوند.
یادآوری - بررسی‌های برجای جزیيات قابل توجه، در استاندارد بند ۴۰-۲ بررسی شده‌اند.

۲-۵ مطالعات مقدماتی^۲

۱-۲-۵ عارضه‌نگاری^۳

به‌طور معمول نقشه‌ها و طرح‌های پیمایش نظامی برای مطالعات مقدماتی و برای جانمایی اولیه کارها، با جزیيات کافی تهیه می‌شوند؛ به هر حال، اطلاعات به روزی که هنوز در ویرایش‌های منتشر شده از نقشه‌های در دسترس و نقشه‌های تاریخی نشان داده نشده‌اند، می‌تواند از پیمایش و مساحی نظامی بهدست آیند.
یادآوری ۱ - یادداشت‌های معتبر محلی که اغلب از طریق کتابخانه محلی و خدمات آرشیوی در دسترس هستند، می‌تواند منابع مفیدی از اطلاعات در مورد تاریخچه استفاده از زمین باشند.

یادآوری ۲ - ویرایش‌های قدیمی نقشه‌ها، از قبیل نقشه‌های شهرستانی با مقیاس ۱:۱۰۵۶۰ و ۱:۲۵۰۰ می‌توانند منابع اسنادی مهمی باشند، به خاطر این‌که در این نقشه‌ها، عملیات‌ها، سازه‌ها و کانال‌های آبی که ممکن است اکنون رها شده یا پوشیده شده باشند، را ثبت کرده است. عکس‌های هوایی توسط وزارت دفاع، پیمایش نظامی، شرکت‌های هوایی نظامی و پایگاه‌های اینترنتی نقشه‌برداری نظامی تهیه می‌شوند. مقایسه عکس‌های هوایی قبلی و اخیر می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد قسمت‌های پنهان شده و از دید مخفی شده قبلی را ارایه دهد.

یادآوری ۳ - پایگاه‌های اینترنتی اختصاصی ارایه دهنده اطلاعات عارضه‌نگاری می‌توانند منبع اولیه مفیدی از اطلاعات باشند.

نقشه‌های نیروی دریایی در نواحی در معرض جزر و مد آب و نواحی ساحلی، عارضه‌نگاری و طبیعت بستر کف دریا را نشان می‌دهند. تاریخ اطلاعات نشان داده شده بر روی نقشه‌ها مهم است؛ توصیه می‌شود برای کسب جدیدترین اطلاعات در مورد بندرهای محلی و حومه آن، با بندرگاه‌ها محلی و مسئولین بنادر در تماس بود.

1 - Checklist

2 - Preliminary Studies

3 - Topography

۲-۲-۵ زمین‌شناسی و آب‌زمین‌شناسی^۱

اطلاعات به دست آمده از این منابع، ضرورتاً ممکن است با هم سازگار نباشند و توصیه می‌شود در مورد صحت، قابلیت کاربرد و ارتباط آن‌ها، بررسی‌هایی انجام شود.

یادآوری- نقشه‌های منتشر شده، ویرایش‌های نهایی یا پیش‌نویس، همراه با برگه‌های یادداشت مرتبط تکمیل شده با چنین اطلاعاتی، در یادداشت‌های منتشر شده یا نشده و اطلاعات تسلیم شده به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران قبل دسترسی هستند و اطلاعات زمینه ضروری برای جانمایی و ساخت تونل را ارایه می‌دهند. سایر نقشه‌های مفید شامل نقشه‌های خاک، فهرست مرجه شبکه قائم‌الزاویه از گزارش‌های گمانه‌ها، یادداشت‌های انجمن مکانیک خاک، نقشه‌های زمین آلوه و نقشه‌های بهره‌برداری زمین، هستند. هم‌چنین مطالعات زمین‌ریخت‌شناسی^۲ مفید است، به ویژه در مجاورت ورودی‌های تونل باید با شیب‌های طبیعی شکل گرفته باشد.

۳-۲-۵ آب‌شناسی

توصیه می‌شود دبی تخلیه رودخانه‌ها تعیین شود. بهتر است کلیه یادداشت‌ها و انتشارات مناسب، برای ارتباط‌شان با وضعیت‌های ویژه، کاملاً مورد بررسی قرار گیرند. آگاهی و اطلاع داشتن از این اطلاعات همراه با شناخت محل، فوق‌العاده ارزشمند است.

یادآوری- به طور معمول یادداشت‌ها در مورد سطوح آب سطحی و سیلاب‌ها، می‌توانند از بخش محیط‌زیست در امور جذر و مد آب گرفته شود. نمودارهای نیروی دریایی و سایر انتشارات نیروی دریایی اطلاعات ضروری را ارایه می‌کنند که می‌توانند توسط یادداشت‌های مسیولین بندرگاه‌های محلی تکمیل شوند. پیش‌بینی‌های جذر و مد تهیه شده در جداول نیروی دریایی، اطلاعات زیادی در مورد کار در انزدیک به سطح آب دریا ارایه می‌دهند.

۴-۲-۵ سازه‌های موجود، تاسیسات، کارهای قدیمی و موارد شناسایی نشده

بهتر است اطلاعات کلیه سازه‌ها، ساختمان‌ها و عملیات خاکی در نواحی که تحت تاثیر ساخت تونل قرار می‌گیرند، جستجو شده و مورد مطالعه قرار گیرند. توصیه می‌شود نقشه ساختمان‌ها و سایر سازه‌ها شامل توسعه‌های قبلی در محل پروژه، هم از نظر نگهداری مورد نیاز زمین نزدیک به تونل، و هم از نظر خطر و آسیب به سازه‌های موجود ناشی از نشست یا لرزش زمین، مورد بررسی قرار گیرند. چنین نقشه‌هایی احتمالاً یا در اختیار مالکین سازه‌ها یا در اختیار مقامات محلی قرار دارند.

یادآوری- کارهای صنعتی، زباله‌ها، محل‌های دفن زباله، محل‌های خاکریزی، اگرچه در حال کار بوده، بسته شده یا رها شده و متروک باشند، می‌توانند دامنه‌ای از خطرها را برای اجرای عملیات تونل‌سازی ایجاد کنند، به خصوص اگر مواد خطرناک این زباله‌ها در طبقاتی که باید تونل‌سازی در آن‌ها انجام شود، نفوذ کرده باشند.

1 - Hydrogeology

2 - Geomorphological

برای ثبت و یادداشت چاهها، مجرای آب زیرزمینی، گمانه‌ها، گودهای خاکبرداری و هرگونه کارهای معدن-کاری قدیمی در منطقه، بررسی و تحقیق شود. همچنین می‌توان برای ثبت سطوح آب زیرزمینی بررسی‌های انجام داد. یادداشت‌های هنگام ساخت تونل‌های قبلی می‌تواند اطلاعات با ارزشی ارایه نمایند. انتشارات انجمان‌ها و کتابخانه‌های دارای آگاهی نسبت به موضوع نیز می‌توانند حاوی مدارکی از کاربردهای قبلی زمین محل پروژه باشند. بهتر است در نواحی معدن‌کاری، کامل‌ترین اطلاعات در مورد معادن زغال موجود و رها شده و سایر معادن جستجو و بررسی شود. یادداشت‌های معادن زغال توسط سازمان صنعت، معدن و تجارت نگهداری می‌شوند. توصیه می‌شود در مورد این که آیا یادداشت‌هایی در مورد حضور یا انتشار گاز متان یا هر گاز دیگری وجود دارد، تحقیقات و پرس‌وپرس‌هایی انجام شود. گاهی داشتن اطلاعات محلی از گودال-های معادن^۱، تونل‌های ورودی، تونل‌های دنبال لایه^۲ و سایر کارهای معدنی، مفید است.

توصیه می‌شود شکل‌های مختلف نگهداری سازه‌ای ساختمان‌ها و سازه‌های موجود از قبیل شمع‌ها یا مهاری‌های موقت یا دائمی کاملاً مورد بررسی قرار گیرند، به خاطر این که این‌ها ممکن است خطرهایی را برای عملیات تونل‌سازی ایجاد کنند و کارایی‌شان ممکن است تحت تاثیر عملیات تونل‌سازی قرار گیرد. بهتر است بدون این که تاثیر کارهای تونل‌سازی بر عملکرد مهاری‌های زمین بررسی شود، این عملیات درون ناحیه تاثیر مهاری‌های زمین اجرا نشود. توصیه می‌شود کامل‌ترین اطلاعات عملیاتی در مورد تاسیسات و سازه‌های زیرزمینی از جداول و شرکت‌های ارتباطی، شرکت‌های برق، گاز، آب و فاضلاب و سایر ارگان‌های صاحب تاسیسات زیرزمینی نظیر لوله‌کشی نفت و سازه‌هایی از قبیل شبکه حمل و نقل، گرفته شود. بهتر است جایی که لازم است در مورد موقعیت محلی این تاسیسات تحقیق شود. بهتر است به نقشه‌ها بسته نشود زیرا ممکن است نقشه‌ها ناقص بوده یا صحیح نباشند. لازم به ذکر است که کابل‌ها و تاسیسات اصلی ممکن است به جای تامین امکانات محلی، کاربری ملی داشته باشند. توصیه می‌شود در صورت امکان، یک بررسی جامع در مورد مسیر پیشنهادی تونل در سطح زمین انجام شود.

یادآوری - دستورالعمل ارزیابی خطر موارد شناسایی نشده، توسط انجمن تحقیقات و اطلاعات صنعت ساخت‌وساز^۳ (CIRIA) ارایه شده است [۱۰].

۵-۲-۵ آب و هوای

بهتر است تاثیر شرایط آب و هوایی بر ساخت تونل، مثلاً الگوهای بارش و تغییرات فشار هوا و همچنین احتمال وقوع رعد و برق‌های الکتریکی در نظر گرفته شود. بهتر است برای مقایسه بارش در دوره‌هایی که شرایط آب زیرزمینی در آن دوره‌ها مشاهده شده، داده‌های دوره بازگشت بارش از اداره هواشناسی اخذ شود.

1 - Pits

2 - Drifts

3 - Construction Industry Research and Information Association (CIRIA)

۳-۵ مطالعات ویژه پروژه

۱-۳-۵ کلیات

کلیه بررسی‌های برجا در محل پروژه باید مطابق با استاندارد بند ۲-۴۰ و الحاقیه تونل‌سازی در زمینه «مشخصات ارزیابی زمین» انجام شود [۹].

۲-۳-۵ گمانه‌ها^۱

گمانه‌ها (قائم، افقی یا شبیدار) باید اطلاعات خاصی در مورد تونلی که ساخته شده، از نو ساخته یا تعمیر می‌شود، ارایه دهنده. برای تکمیل داده‌های به دست آمده از گمانه‌ها، بهتر است اطلاعات به دست آمده مربوط به زمین‌شناسی و آب‌شناسی زمین از نقشه‌ها و دیگر گزارش‌ها مورد استفاده قرار گیرند. گمانه‌ها باید در نزدیکی محور تونل مورد نظر جانمایی شوند، به طوری که فاصله آن‌ها تا محور زیاد نزدیک نباشد تا این‌که محور آن را قطع کند، به جز در شرایطی که دلایل خاصی برای آن وجود دارد.

یادآوری - در مواقعي که آب وجود دارد و به ویژه هنگامی که روش تونل‌سازی با هوای فشرده انتخاب شده است، گمانه بسیار نزدیک به تونل یا چاه می‌تواند خطرهای جدی را به وجود آورد. جانمایی گمانه در جایی که چاه حفر می‌شود، یک امکان هم-بستگی میان داده‌های گمانه و شرایط واقعی که در زمین با آن روبرو هستیم، ایجاد می‌کند.

اگر گمانه لایه‌های آب‌دار را قطع کرد، باید گمانه در مکان‌های مناسبی عایق‌بندی شود. تمامی گمانه‌ها باید به طرز مناسبی پر شده و با استفاده از بلوک‌های بتنی پوشیده شوند.

یادآوری - تعداد گمانه‌ها وابسته به عواملی از قبیل طول تونل، ویژگی‌ها و تغییرپذیری (آتومالی) زمین است.

به طور معمول توصیه می‌شود الگوی اصلی گمانه‌ها با اضافه کردن گمانه‌هایی، برای بررسی نواحی که در مورد آن‌ها شک و نگرانی وجود دارد و نیز حل مشکلاتی که در مرحله ساخت ظاهر شده‌اند، تکمیل شوند. بهتر است فرض پیوستگی لایه‌های بین گمانه‌ها در نظر گرفته نشود. کلیه گمانه‌ها باید حداقل تا عمقی معادل دو برابر قطر تونل از زیر کف تونل، حفر شوند و باید به نحو مطلوبی از این گمانه‌ها نمونه‌گیری شده و ساختارهای زمین‌شناسی گزارش شوند، و خطرهای قابل انتظار در روش تونل‌سازی پیشنهادی مشخص شوند. به طور ویژه برای تصحیح ساختار چینه‌شناسی با استفاده از زمین‌شناسی محل، باید حداقل یک گمانه عمیق حفر شود.

بهتر است بر عملیات حفاری و نمونه‌گیری نظارت شود تا سودمندی و کیفیت داده‌های بازیابی شده بهتر شود. توصیه می‌شود موقعیت‌ها، لایه‌های پیدا شده، برخورد با آب، آسودگی‌ها، آزمون و دلایل رها کردن کلیه گمانه‌ها، ثبت شود. بهتر است یک نسخه کپی از گزارشات مربوط به گمانه‌ها به سازمان زمین‌شناسی و

اکتشافات معدنی ایران تحویل داده شود. توصیه می‌شود در مواردی که لازم است، نمونه‌های سنگی، خاک‌های زیرین و آب زیرزمینی شناسایی، برچسب‌گذاری و عکس‌برداری شوند و نیز برای بررسی‌های آتی بیشتر، نمونه‌ها بسته‌بندی و انبارش شود.

توصیه می‌شود برای به‌کاربردن بهترین روش‌ها بهمنظور تهیه نمونه‌های دست نخورده خاک، برای مثال روش‌های مغزه‌گیری چرخشی و لوله‌های نمونه‌گیری جدار نازک، با هدف ایجاد بهترین داده‌های مربوط به ساختار خاک، رفتار تنش-کرنش و ایزوتروپی آن، ملاحظات ویژه‌ای در نظر گرفته شود.

۳-۳-۵ داده‌نگاری اطلاعات^۱

برای داده‌نگاری اطلاعات فنون زیر در دسترس هستند.

الف- داده‌نگاری چینه‌شناسی، همراه با یک زمین‌شناس با تجربه؛ و

ب- داده‌نگاری گمانه، با استفاده از فنون مناسب با شرایط زمین همراه با یک زمین‌شناس با تجربه.

توصیه می‌شود تجربه زمین‌شناس واقعه‌نگار مطابق با توصیه‌های گروه هدایت کننده بررسی‌های برجای منتشر شده در پایگاه اینترنتی www.agi.org.uk/business/bestsi.cfm باشد.

بهتر است برای جلوگیری از سست شدن و شکست زمین، آب، گاز و سایر خطرها در هنگام حفر گمانه‌ها و گودال‌ها، اقدام‌های پیشگیرانه ایمنی ویژه در نظر گرفته شوند. توصیه می‌شود جایی که نیاز است، بازرسی چشمی گمانه‌ها با استفاده از وسایل کنترل از راه دور مانند دوربین‌ها انجام شود. بهتر است برای تعیین روش‌های حفاری، نگهداری زمین و دفع خطرها، از یک برنامه آزمون آزمایشگاهی مناسب پیروی شود.

یادآوری- اطلاعات اضافی با ارزش می‌تواند از طبقات نمایان شده خاک یا از حفاری‌های مارپیچی^۲ با قطر بزرگ‌تر که طبقات زمین می‌تواند به صورت برجا بررسی شوند، یا از گودال‌های آزمون یا از چاهها به دست آورده شوند.

۴-۳-۵ بررسی‌های ژئوفیزیکی

روش‌های ژئوفیزیکی قابل کاربرد برای شرایط تونل، شامل روش‌های مقاومت الکتریکی زمین^۳، رadar زمین^۴ و پیمایش ریزثقلی^۵ هستند. توصیه می‌شود این روش‌ها به تنهایی استفاده نشوند، اما به صورت مشترک با اطلاعات گمانه‌ها و سایر اطلاعات می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

یادآوری ۱- این روش‌ها به خوبی می‌توانند مرزهای طبقات زیرزمینی را مشخص کنند و تصویر جامع‌تر و ناهمگونی^۶ مشخص‌تری از زمین ارایه کنند که این موضوع می‌تواند با حفر گمانه‌های اضافی، بیش‌تر مورد بررسی قرار گیرد.

1 - Information Logging

2 - Auger Boring

3 - Electrical Ground Resistivity

4 - Ground Radar

5 - Micro-Gravity Surveys

یادآوری ۲- استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی در نواحی شهری، به دلیل حضور و مداخله تاسیسات و سازه‌های موجود، مناسب نیست. روش‌های رadar زمین و ریزثقلی به طور موفق برای شناسایی حفره‌های مکنده^۲ و شکستگی‌های مشابه مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

یادآوری ۳- در تونل‌های زیرآبی، روش پیمایش لرزه‌ای دریایی می‌تواند در نقشه‌برداری بستر دریا یا رودخانه، تعیین سطح سنگ بستر و شناسایی کانال‌های مدفون، کمک کند.

یادآوری ۴- باید به گزارش C562 انجمن تحقیقات و اطلاعات صنعت ساخت‌وساز (CIRIA) مراجعه شود.

۵-۳ پیمایش سطحی^۳

به منظور پیاده کردن نقشه مسیر تونل و ساخت آن، بهتر است یک پیمایش صحیح در محل پروژه انجام شود. بهتر است این پیمایش ارتباط تونل با گمانه‌ها، سازه‌های موجود و سایر ویژگی‌هایی که می‌تواند در روند پروژه تاثیرگذار باشند، را تعریف کند.

برای سامانه شبکه مختصات پیمایش، بهتر است نقاط مرجع مربوط به پیمایش یا نقاط مرجع سامانه موقعیت‌یابی جغرافیایی^۴ (GPS)، به عنوان نقطه مبدأ برای ترازیابی، مستقر شده و نگهداشته شوند. توصیه می‌شود پایداری نقاط مرجع مورد بررسی قرار داده شود. بهتر است ویژگی‌های سطحی موجود از قبیل دریچه‌های آدمرو^۵ و سرپوش دریچه‌ها^۶، شناسایی و ثبت شوند، به دلیل این‌که این‌ها به مشخص کردن موقعیت فاضلاب‌های موجود و سایر تاسیسات مدفون کمک می‌کنند.

یادآوری ۱- در پروژه‌های تونل‌سازی به ویژه پروژه‌های مهم، پیمایش هوایی یا ماهواره‌ای می‌تواند اطلاعات اضافی ارزشمندی را ارایه دهد.

یادآوری ۲- مطابق با تجربیات محلی، داده‌های سطوح جزر و مد، ممکن است متغیر باشند.

۶-۳ پیمایش زیرسطحی^۷

بهتر است علاوه بر عارضه‌نگاری سطحی، هر سازه زیرزمینی به طور صحیح نسبت به مسیر پیشنهادی تونل قرار گیرد. بهتر است درستی و صحت اطلاعات پیمایش در دسترس، به خوبی مورد بررسی قرار داده شود. ساختارهایی که باید پیمایش شوند شامل موارد زیر هستند:

- طبقات زیرین و پی‌های موجود؛

- ساختمان‌ها، تونل‌ها و کارهای زیرزمینی موجود؛

1 - Anomalies

2 - Swallow Holes

3 - Surface Survey

4 - Geographic Position System

5 - Manholes

6 - Valve Covers

7 - Subsurface Survey

- مجاری اصلی فاضلاب^۱؛

- تاسیسات زیرزمینی از هر نوعی.

توصیه می‌شود انتهای هر نوع مهارکننده خاک یا سنگ که ممکن است در مسیر تونل قرار گیرد، با دقت مورد پیمایش قرار گیرند. بهتر است در صورت امکان، نقشه‌های مالکین طبقات زیرین ساختمان‌ها، پی‌ها، مهاری‌ها و شمع‌ها مورد بازبینی و بررسی قرار داده شوند.
بهتر است هر سازه موجود، تاسیسات متقطع یا خیلی نزدیک به مسیر پیشنهادی تونل و هر خطر خاصی که ممکن است اتفاق افتد، با دقت مورد بررسی مناسب قرار گیرد و اقدام‌های پیشگیرانه مناسب انجام شود.

۷-۳-۵ پیمایش ساختاری^۲

توصیه می‌شود برای تعیین شرایط قبل، در حین و بعد از عملیات پیشنهادی ساخت تونل، کلیه ساختمان‌ها یا سازه‌هایی که ممکن است تحت تاثیر ساخت تونل قرار گیرند، مورد پیمایش قرار گیرند.

۸-۳-۵ آزمون‌های آب زیرزمینی

جایی که پاسخ رژیم آب زیرزمینی به عملیات پمپاژ یا سایر روش‌های ایجادکننده اختلاف هد هیدرولیکی بر روی پایداری تونل یا چاه پیشنهادی مهم است، توصیه می‌شود بررسی‌هایی برای انجام آزمون‌های پمپاژ در گمانه‌ها، به‌طور ویژه برای این هدف، انجام شود.

بهتر است سطح آب گمانه‌ها یادداشت و هر سطح ایستابی معلق یا سطح ایستابی آرتزین^۳ شناسایی شود.

یادآوری ۱ - جایی که سطح آب زیرزمینی متغیر بوده یا تحت تاثیر عملیات تونل‌سازی قرار می‌گیرد، استفاده از چاههای مشاهده‌ای برای دیدن و ثبت تغییرات سطح آب، مطلوب است. این چاهها ممکن است قبل یا در حین عملیات تونل‌سازی مورد نیاز باشند.

یادآوری ۲ - در زمین حاوی آب، آزمون‌های نفوذپذیری می‌تواند اطلاعات با ارزشی را در اختیار قرار دهد.

توصیه می‌شود جایی که تغییرات جزر و مد بحرانی است، مانند شرایط مربوط به کار کردن با هوای فشرده، دستگاه‌های جزر و مد نما تهیه شود.

توصیه می‌شود در صورت لزوم، برای بررسی میزان شوری، اسیدی بودن یا آلوگی و/یا حضور مواد شیمیایی یا گازهای طبیعی یا مصنوعی محلول در آب، آزمون‌های بر روی آب انجام شود. بهتر است اثرات تغییر در سطح آب زیرزمینی ناشی از آب‌کشی یا بازیابی آب از زمین، در سراسر طول عمر تونل، مورد بررسی قرار گیرد.

1 - Main Sewers

2 - Structural Survey

3 - سطحی که در آن سطح، آب بالاتر از سطحی که چاه به آب رسیده، قرار می‌گیرد.

۹-۳-۵ گاز

توصیه می‌شود برای تعیین خطر ناشی از گازهایی مانند متان، رادون یا سایر آلوده‌کننده‌های گازی که حضور دارند یا احتمالاً از زمین یا آب زیرزمینی رها می‌شوند، شرایط زمین بررسی شود و مطابق با آن آزمون‌هایی انجام شود. بهتر است آزمون‌هایی برای تعیین ماهیت حضور گازها (جدول ۷ را ببینید) و غلظت نسبی آن‌ها انجام شود.

بهتر است اثرات تغییر فشار هوا بر رها شدن و تصاعد گازها شناسایی شود. بهخصوص لازم به ذکر است که کاهش فشار هوا ممکن است موجب تصاعد و رها شدن قابل توجه گاز شود.

یادآوری ۱- گاز ممکن است هم در طی ساخت و هم در عملیات آتی پس از ساخت، به درون کارهای اجرایی انتقال یابد.

یادآوری ۲- این بررسی‌ها به‌طور ویژه برای کارهای تونل در انزدیک به موارد زیر اجرا می‌شود:

- محل‌های حاوی زغال؛
- محل‌های خاکریزی؛
- ماسه‌های سیلیکات آب‌دار آهن و پتاسیم (گلوگونیتی)؛
- طبقات نفوذپذیر، جایی که هوا در اثر کارهای قبلی استفاده از هوای فشرده، در آن طبقات وارد شده است؛
- جایی که با پایین رفتن سطح آب زیرزمینی موجب اکسیژن‌زادایی^۱ می‌شود.

گاز می‌تواند در آب حل شود و با ورود هر نوع آب به تونل، گاز هم همراه با آن وارد تونل شود. در کارهای تونل‌سازی، آب زیرزمینی می‌تواند در فاصله قابل توجهی حرکت کند.

۱۰-۳-۵ آتشباری آزمایشی

جایی که تونل با استفاده از مواد منفجره، در سنگ و تقریباً نزدیک به سازه‌ها یا ساختمان‌ها حفر می‌شود، بهتر است برای تعیین پارامترهای لرزشی تودهسنگ، آتشباری آزمایشی انجام شود.

۴-۵ بررسی‌های زمین در طی ساخت

۱-۴-۵ کلیات

ضروری است که در طی مرحله ساخت، بررسی‌های زمین ادامه داشته باشد. بهتر است فشار آب در سنگ سخت یا فشار آب منفذی^۲ در زمین نرم مورد بررسی قرار گیرد. لازم به ذکر است که جایی که اهمیت دارد، لاینینگ بتن پاششی اجرا شود.

1 - Deoxygenation

2 - Porewater Pressure

۲-۴-۵ بررسی‌های پیش‌رو

مطابق با روش ساخت، جستجوها در جلوی سینه‌کار می‌تواند اطلاعات اضافی ارزشمندی را ارایه کند و می‌تواند کیفیت کلی داده‌های مرتبط با زمین جلوی سینه‌کار تونل را بهبود بخشد. گستردگی به کارگیری واقعی جستجوهای پیش‌رو، به خطرهای احتمالی بستگی دارد.

در زمین‌های با شرایط بسیار بد، ممکن است نیاز باشد جستجوها در ترکیب با بهسازی زمین، در کلیه جهت‌ها انجام شود. در چنین نوع تحقیقات گستردگ، هنگام حفاری توجه شود که از نفوذ مواد یا لایه‌های آبدار مشکوک بالاسری یا زیر تونل جلوگیری شود (بند ۳-۱-۹ و ۲-۹ را ببینید).

۳-۴-۵ تونل پیشاهنگ^۱

در تونل‌های باز بزرگ مقطع، استفاده از روش ساخت تونل پیشاهنگ (به‌طور معمول درون مقطع عرضی تونل مورد نظر اصلی قرار می‌گیرد) روش مناسبی برای تعیین ماهیت و رفتار زمین پیش‌رو، برای ساخت تونل اصلی است. این روش ساخت، نیاز به فنون ساخت ویژه، بهسازی زمین^۲ یا نگهداری زمین، را مشخص می‌کند.

۶ برنامه‌ریزی تفصیلی برای سلامت و ایمنی

کلیه بخش‌های آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) ۲۰۰۷، همراه با کاهش خطرهای تهدیدکننده سلامت و ایمنی الزام شده است [۱].

۱-۶ ماهیت جدایی‌ناپذیر طراحی و ساخت

لازم به ذکر است که وابستگی متقابل طراحی و ساخت و تناسب آن‌ها با شرایط زمین و محیط‌زیست، دارای ایمنی حیاتی‌تری در اجرای کار زیرزمینی نسبت به سایر کارهای ساخت‌وساز است.

بهتر است توانمندی مهندسی در سراسر مراحل برنامه‌ریزی، تحقیقات، طراحی و ساخت وجود داشته باشد. اگر تغییری در راستای مهندسی کارها وجود دارد، حفظ تداوم مهندسی ضروری است و توصیه می‌شود از دور شدن از فرآیند برنامه‌ریزی کلان، طراحی و ساخت اجتناب شود. برای اطمینان از این‌که طراحی، به صورتی که پیش‌بینی شده ساخته شده است، بهتر است در طی مرحله ساخت اطلاعات ورودی از طراح وجود داشته باشد.

۱- تونل پیشاهنگ تونلی با ابعاد کوچک‌تر از تونل اصلی است که در میان مقطع و در امتداد تونل اصلی حفر می‌شود سپس با بزرگ‌تر کردن مقطع از داخل این تونل، تونل اصلی ساخته می‌شود (Pilot Tunnel)

۲-۶ سازماندهی مرحله قبل از ساخت

کارفرما مسئول نهایی عملکرد مناسب سلامت و ایمنی در پروژه‌ها است. آن‌ها بهتر است ارزش این موضوع را بدانند که این امر مورد علاقه همه بوده و شامل صلاحیت، همکاری و هماهنگی، همراه با تهیه منابع کافی برای ایجاد سلامت و ایمنی خوب در پروژه است.

۳-۶ مرحله ساخت

۱-۳-۶ سازماندهی

برنامه سلامت و ایمنی در مرحله ساخت، سند اصولی و اساسی است که عملیات ایمن کاری در سراسر فرآیند ساخت تونل را تنظیم می‌کند و بهتر است بر اساس اطلاعات گرفته شده از کارفرما در مورد خطرها، باشد. توصیه می‌شود این برنامه توسط افراد دارای تجربه کافی در عملیات‌های تونل‌سازی، و درگیر با انواع دستگاه‌ها و تجهیزاتی که باید مورد استفاده قرار گیرند، آماده و تهیه شود.

توصیه می‌شود پیمانکاران روی کارکنان استخدامی و غیراستخدامی خود ارزیابی خطر انجام دهند. بهتر است این ارزیابی‌های خطر برای تصمیم‌گیری و به کارگیری سامانه‌های ایمن کاری مورد استفاده قرار گیرند. توصیه می‌شود برنامه سلامت و ایمنی، زنجیره روشی از مسئولیت‌پذیری و شبکه‌های ارتباطی در مورد موضوعات ایمنی مهندسی را تعریف کند. این موضوع به ویژه در انتخاب سامانه‌های نگهداری زمین و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با ایمنی در سینه‌کار تونل مهم است.

بهتر است پیمانکاران اصلی، برنامه‌ریزی و مختصات کلیه فعالیت‌های سایر پیمانکاران خرد را مدیریت کنند. بهتر است خدمات رفاهی، به ویژه در تونل‌های بلند، چاه‌های عمیق و در سایر موقعیت‌های دور از دسترس تدارک دیده شود. توصیه می‌شود جایی که ابعاد تونل اجازه دهد، امکانات رفاهی در زیر زمین، از جمله در ماشین‌های حفاری تونل، قرار داده شود.

یادآوری - قسمت چهارم آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) ۲۰۰۷، شامل الزامات تدارکات، قابلیت دسترسی و بهره‌برداری از تسهیلات اجتماعی، است [۱].

۲-۳-۶ کنترل‌های قانونی^۱

بهتر است هشدار دادن در کار ساخت‌وساز، به واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست واگذار شود و جزئیات مربوط به اطلاعات مورد نیازی که باید ارایه شوند، در آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) سال ۲۰۰۷ [۱] و (در صورت وجود) در آیین‌نامه کار در هوای فشرده سال (۱۹۹۶) [۲] پیدا می‌شود. بهتر است واحد

سلامت، ایمنی و محیطزیست در مورد تهیه و تکمیل کلیه آگهی‌ها، اطلاعیه‌ها و فرم‌های رسمی، رایزنی و مشورت نماید.

یادآوری- وظایف سلامت و ایمنی قانونی و مسئولیت «کار ساخت‌وساز»، در سلامت و ایمنی در کار و غیره خلاصه می‌شود. مدیریت و اجرای این وظایف بر عهده مدیر اجرایی واحد سلامت، ایمنی و محیطزیست است.

در صورت هرگونه کار ساخت‌وساز درگیر با راه‌آهن در حال کار، بهتر است با بازرسان راه‌آهن، که دارای قدرت اجرایی هستند، مشورت‌هایی انجام شود.

بهتر است حوادث مشخص، مواردی از وقوع بیماری و موارد خاص، به واحد سلامت، ایمنی و محیطزیست گزارش داده شوند، و این موارد در آیین‌نامه گزارش وضعیت جسمانی، بیماری‌ها و وقوع خطرها (۱۹۹۵) مشخص شده‌اند [۱۳].

همه تصادفات و حوادثی که موجب صدمه شخصی یا آسیب می‌شوند، بهتر است توسط فرد درگیر یا مسئول بالاسری او به کارفرمایان، و پس از آن به پیمانکار اصلی گزارش شود.

سوابق باید نگه داشته شوند و توصیه می‌شود این سوابق همراه با نتایج حاصل از هر بررسی مربوطه و جزئیات حوادث مشابه در جاهای دیگر، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل و اقدام مناسب قرار گیرند.

یادآوری- بازررسی از یک چاه یا تونل توسط یک شخص متخصص، یک الزام قانونی در آیین‌نامه ساخت‌وساز (طراحی و مدیریت) ۲۰۰۷ است [۱]. نتایج این بازررسی یک سابقه با ارزش از شرایط در زمان را ارایه می‌کند.

بهتر است یک برنامه مناسب بازررسی تهیه شود و هنگامی که کار به هر دلیل، پیوسته نبوده و متوقف می‌شود، به عنوان مثال در تعطیلات آخر هفته و در طول دوره تعطیلات یا در طی وقفه در کار تونل‌سازی، این برنامه بازررسی اجرا شود. هنگامی که ورود به تونل ضروری است، توصیه‌های ارایه شده در بند ۱۵-۵ را ببینید.

یادآوری- استفاده از سامانه‌های پایش از راه دور، از قبیل پایش ابزار دقیق از راه دور یا تلویزیون مدار بسته (CCTV)، می‌تواند موجب حذف یا کاهش نیاز به ورود افراد به تونل شود.

۳-۶ نظارت و بازررسی

تمام عملیات‌های تونل‌سازی باید تحت نظارت مناسب باشد. بهتر است به منظور حفظ شرایط کاری ایمن، درک، قضاویت مهندسی و اقدام مناسب در پاسخ به شرایط متنوع زمین، انجام شود. بهتر است کارفرما افراد مناسب مهندسی و با تجربه‌ای را برای نظارت بر تمام فعالیت‌های سایت و برای کمک به ارتقا کلی سلامت و ایمنی، تعیین کند.

۴-۳-۶ کارهای موقت^۱

بهتر است طراح کارهای دائم، قابلیت ساخت کارهای دائم و کارهای موقت مرتبط را مد نظر داشته باشد. حتی اگر لاینینگ اولیه به عنوان کار موقت در نظر گرفته شده است، بهتر است این کار موقت تحت یک طرح بازرسی مستقل قرار گیرد.

یادآوری - کارهای موقت، کارهای اساسی هستند که همواره در ساخت و ساز چاهها و تونل‌ها، در بهره‌برداری، نوسازی و تعمیر آنها، لازم هستند. کارهای موقت می‌توانند یک جز ضروری از ساخت و ساز دائم را تشکیل دهند، به عنوان مثال، یک تونل پیشاہنگ (آزمایشی)، یک چاه کاری یا چهارچوبی برای تشکیل یک دهانه، کارهای موقتی هستند که جز ضروری مرحله ساخت دائم هستند. آن‌ها هم‌چنین می‌توانند جز کارهای سازه‌ای مستقل باشند دروازه‌های کاری، سامانه‌های دسترسی، گودال رانش و دیوارها.

توصیه می‌شود سلامت و ایمنی مربوط به این کارها، در ابتدای مرحله طراحی در نظر گرفته شود. در تونل-سازی، اغلب کیفیت نگهداری موقت برای بارگذاری بر روی سازه‌های دائمی بحرانی است. توصیه می‌شود طراحی، محاسبات، ویژگی‌ها و هر کمکی برای طرح سلامت و ایمنی در مرحله ساخت آماده شود و از آن پیروی شود. جایی که شکست این کارهای موقت، اثرات جانبی قابل توجهی بر سلامت و ایمنی اشخاص یا بر محیط‌زیست سطحی یا زیرسطحی دارد، توصیه می‌شود کارهای موقت تحت بازرسی طراحی مستقلی قرار گیرند. پس از بررسی و تایید، بهتر است تغییرات، تنها پس از مشورت با طراح مربوطه ایجاد شوند. پیمانکار اصلی باید برای اطمینان از ایمنی طراحی، بازرسی، ساخت یا نصب و استفاده از این کارهای موقت، مطابق با استاندارد بند ۲-۴۱، فردی را تعیین کند و همکاری و هماهنگی بین پیمانکاران را تقویت کند.

۶-۳-۵ یادداشت‌ها و گزارش‌ها^۲

توصیه می‌شود سوابق مناسب و کافی از جنبه‌های فیزیکی کار در ساخت و مرمت و نوسازی تونل نگهداشته شود. این کار نه تنها برای ایمنی در طی ساخت، بلکه برای ایمنی در هر عملیات بهره‌برداری و تعمیر آینده، لازم و ضروری است. توصیه می‌شود این سوابق برای کمک به کلیه عملیات تونل‌سازی یا سایر کارهای نزدیک در آینده، نگهداشته شوند.

توصیه می‌شود مفاد پرونده سلامت و ایمنی، موضوع بحث اولیه با کارفرما باشد. این پرونده باید حاوی سوابق مقطع زمین‌شناسی طولی بر اساس یادداشت‌های روزانه طبقات مواجهه شده بوده و با سوابق گمانه‌ها یا سایر یادداشت‌ها، سطوح غیرطبیعی زمین، سطح جزر و مدي آب یا سطح آب رودخانه یا بارش باران همراه با

1 - Temporary Works

2 - Records and Reports

شرایط جوی، تصحیح شود. علاوه بر این بهتر است نشستهای و جابجایی‌های لاینینگ و نگهداری‌های تونل و زمین بالا و اطراف تونل یادداشت شوند.

یادآوری - چنین سوابقی بخشی از پرونده سلامت و ایمنی خواهند بود و تحت آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) سال ۲۰۰۷ [۱]، برای پروژه الزام شده‌اند.

۶-۳-۶ استخدام پرسنل پروژه

بهتر است چگونگی مسایل مربوط به سلامت و ایمنی در زمینه استخدام کارکنان یک پروژه تونل‌سازی، در سیاست‌های سلامت و ایمنی کارکنان شرکت تعیین شده باشند.

بهتر است غربالگری سلامت پیشاستخدامی در مورد کارکنان آتی در ارتباط با وظیفه کاریشان انجام شود. توصیه می‌شود همه افراد مشغول به کار در ساخت تونل، استاندارد بالایی از آمادگی جسمانی را داشته باشند.

بهتر است همه افراد مشغول به کار در فضای زیرزمینی حداقل ۱۸ سال سن داشته باشند و همه کاربرهای دستگاهها و افراد راهنمای هشداردهنده^۱ نیز حداقل ۲۱ سال سن داشته باشند.

۷-۳-۶ صلاحیت و آموزش

۷-۳-۱ صلاحیت

صلاحیت از طریق ترکیب آموزش و تجربه به دست می‌آید؛ تمام افراد مشغول در کارهای زیرزمینی بهتر است برای محیط‌بستی که در آن مشغول به کار هستند و برای وظایف و فعالیتها و کارهایی که موظف به انجام آن هستند، شایسته و صلاحیت‌دار باشند.

یادآوری ۱ - حیاتی‌ترین سهم در سلامت و ایمنی در هر عملیات تونل‌سازی بر عهده مهندسین، مدیران و نیروی کار صلاحیت‌دار است؛ نقش ناظران سطح اول اهمیت ویژه‌ای دارد.

یادآوری ۲ - الزامات در مورد صلاحیت کارکنان در پیوست شماره ۴ آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) سال ۲۰۰۷ توصیف شده‌اند [۱].

توصیه می‌شود مهندسین، مدیران و ناظران نسبت به کار در حال ساخت، فنون مدیریت، ارتباطات و نظارت صلاحیت و شایستگی داشته باشند. بهتر است مدارک و شواهد صلاحیت‌های مربوطه، مانند داشتن مدارک تحصیلی رسمی شناخته شده طلب شود، که ممکن است این مدارک برای مثال شامل، مدرک تحصیلی در مدیریت پروژه یا مدیریت سلامت و ایمنی، یا سایر مدارک تحصیلی بالاتر باشد. داشتن آموزش‌های فنی و حرفة‌ای برای افراد درگیر با کارهای تونل‌سازی، یک گواهی تایید مناسب و در دسترس هستند.

۱- فرد راهنمای هشداردهنده کسی است که مسئول راهنمایی و دادن علایم راهنمای این دستگاه‌ها است (Banksmen).

کارفرمایان بهتر است مشوق استفاده از مدارک فنی و حرفه‌ای معتبر، به عنوان یک شاخص شایستگی برای کارکنان، باشند. توصیه می‌شود کسی که در آیین‌نامه کاری، موظف به کار با الکترونیکی است با کلیه جنبه‌های تاسیسات زیرزمینی آشنا باشد (بند ۱-۲۵ را ببینید). بهتر است این افراد به مشاوره و نظارت مهندسی حرفه‌ای برق دسترسی داشته باشند.

افراد آموزش دیده برای استفاده از دستگاه‌های تونل‌سازی تخصصی، بهتر است دارای تجربه کافی در فرآیندهای کلی تونل‌سازی بوده با هر دو دستورالعمل سلامت و ایمنی و دستورالعمل‌های ارایه شده توسط تولیدکنندگان و سازندگان دستگاه‌ها، آشنا باشند.

یادآوری - دستگاه‌های تونل‌سازی تخصصی شامل ماشین‌های حفاری تونل، بالابر سگمنت‌ها (شامل جرثقیل‌ها)، تجهیزات پاشش بتون، تلمبه‌های تزریق روان‌ملات، تجهیزات حفاری و مغزه‌گیری و سامانه‌های فشار لوله‌رانی^۱ هستند.

۶-۷-۳ اطلاعات و آموزش

این یک الزام قانونی است که در مورد سلامت و ایمنی مربوط به خطرهایی که ممکن است افراد در محل کار با آن روبرو شوند، اطلاعات و آموزش داده شود. در شرایط خاص مانند کمک‌های اولیه، عملیات دستگاه‌ها و برای کار در هوای فشرده، الزامات آموزشی ویژه‌ای اعمال می‌شود.

علاوه بر اقدام‌های پایه‌ای در محل، قبل از شروع به کار هر فرد در کار زیرزمینی (چه به عنوان نیرو در محل کار جدید و چه به عنوان یک شخص جدید در پروژه)، بهتر است آموزش اولیه ویژه‌ای به او داده شود. به خصوص افرادی که جدیداً به صنعت وارد می‌شوند، آسیب‌پذیر هستند و بهتر است آموزش اولیه آن‌ها و درجه نظارت بر کارشان، در این آموزش منعکس شود. آموزش اولیه ویژه شامل موارد زیر است:

- اطلاعات در مورد امکان وجود خطرها، ریسک‌ها و عوارض بهداشتی؛
- روش‌های ایمن کاری ایجاد شده برای رسیدگی به خطرها و ریسک‌ها؛
- قوانین در محل که توسط پیمانکار اصلی اعمال شده و فعالیت‌های ممنوع؛
- تهییه، استفاده و مراقبت از تجهیزات حفاظتی؛
- ارتباطات و فرآیندهای در محل؛
- کسانی که دارای مسئولیت‌های خاصی برای سلامت و ایمنی هستند؛
- اقدام‌ها در صورت وقوع شرایط اضطراری، به ویژه به صدا درآوردن زنگ هشدار، مکان‌های ایمنی زیرزمینی و خروج از محل کار زیرزمینی.

صحبت‌های کوتاه در مورد ایمنی در محل کار به عنوان یک روش با ارزش در کار آموزش در محل و برای ترویج و به روزرسانی دانش سلامت و ایمنی، انجام می‌شود. توصیه می‌شود چنین صحبت‌هایی به طور مرتب

انجام شود. بهتر است این صحبت‌ها، روش بیان برای فعالیت کاری جدید یا اصلی را پوشش دهند، آگاهی در مورد فعالیت‌های در حال انجام را تقویت کنند و توجه افراد را به خطاهای یا حوادثی که رخ داده است، جلب کند. توصیه می‌شود این صحبت‌ها نسبتاً کوتاه و محدود به ضروریات باشند، اما برای شنیدن انتقادات و پیشنهادات و سوال کردن از افراد حاضر، زمانی اختصاص داده شود. همچنین بهتر است هر زمان که شرایط در محل کار به طور قابل توجهی تغییر کرد یا زمانی که خطرهای جدید پیش‌بینی شود یا به وجود آیند، این مذاکرات انجام شود. بهتر است به بازدیدکنندگان پروژه‌های زیرزمینی آموزش اولیه مناسب داده شود. توصیه می‌شود هنگامی که آن‌ها در سایت هستند، توسط یک عضو با تجربه از کارکنان پروژه همراهی شوند.

۸-۳-۶ تجهیزات محافظت شخصی (PPE)

۱-۸-۳-۶ کلیات

سلامت و عملکرد ایمنی خوب، با شناسایی موثر و کنترل خطرها و ریسک‌ها به دست می‌آید، اما از بین بردن ریسک فقط می‌تواند به تعویق انداخته شود و بهتر است خطرهای باقی مانده کنترل شوند. توصیه می‌شود تکیه بر تجهیزات حفاظت فردی به عنوان آخرین راه حل در نظر گرفته شود. با این حال بهتر است در کارهای ساخت تونل، برخی از تجهیزات حفاظت فردی استفاده شوند. سازگاری بین اقلام حفاظتی و کاربر نیز باید در نظر گرفته شود.

۲-۸-۳-۶ حفاظت از سر

توصیه می‌شود همه افراد در محل پروژه در تمام اوقات به طور معمول پوشش محافظت سر، مطابق با استاندارد بند ۵۷-۲، را بپوشند.

۳-۸-۳-۶ حفاظت از پا

توصیه می‌شود در تمام اوقات، چکمه‌های دارای صفحات زیره فولادی، محافظ پاشنه، غوزک و مج پا، مطابق با استاندارد بندهای ۱۷-۲ و ۱۸-۲، پوشیده شوند.

۴-۸-۳-۶ حفاظت از دست

بهتر است جایی که افراد در معرض خطر بریدگی‌ها، خراشیدگی، سوختگی یا تماس با مواد خورنده یا محرك هستند، از دستکش‌های مطابق با استاندارد بند ۵۶-۲ استفاده شود. توصیه می‌شود هنگام روان‌ملات‌ریزی یا حمل مواد خورنده یا محرك، از دستکش بلند تا آرنج استفاده شود. بهتر است کرم‌های محافظ تهیه شده و توسط پرسنل در محل، مورد استفاده قرار گیرند.

۵-۸-۳-۶ محافظت از چشم‌ها

بهتر است از محافظت چشم در برابر نور مطابق با استاندارد بند ۵۴-۲، به عنوان حداقل سطح حفاظت در نظر گرفته شود. توصیه می‌شود پرسنل کاری در گیر در عملیات سایش ماسه‌ای، ساچمه‌پاشی، تمیز کردن با هوا و آب تحت فشار، پاشش بتن، سنگزنی یا پیکور کاری، برش فلز، احتراق و جوشکاری، اختلاط روان‌ملات و روان‌ملات‌ریزی، همیشه عینک ایمنی، محافظت صورت و محافظت‌های ثابت بپوشند. آن‌ها هم‌چنین بهتر است، هنگام شکستن، برش دادن یا حفاری بتن، سنگ یا مواد مشابه و حمل یا تزریق مایعات خطرناک تحت فشار توسط افراد، که خطر آسیب قابل پیش‌بینی وجود دارد، از لباس‌ها و پوشش‌های محافظ استفاده کنند.

۶-۸-۳-۶ حفاظت از کل بدن

هر شخصی که در زیرزمین کار می‌کند، بهتر است لباس ضدآتش دارای نوار یا حاشیه با دید بالا بپوشد. بهتر است جایی که مناسب است، مانند شرایط رطوبت بیش از حد، هنگام احتراق یا جوشکاری، هنگام دست زدن به مواد خطرناک یا کار در زمین آلوده، لباس‌های محافظ اضافی تهیه شده و مورد استفاده قرار گیرند. **یادآوری** - استاندارد لباس‌های محافظ - حفاظت در برابر گرما و شعله، را ببینید [۸۰].

۷-۸-۳-۶ محافظت از دستگاه تنفسی^۱

جایی که ریسک آسیب به دستگاه تنفسی ناشی از گردوغبار وجود دارد، بهتر است برای رقیق کردن یا خارج کردن هرگونه مواد خطرناک، از سامانه تهويه استفاده شود. توصیه می‌شود استفاده از تجهیزات حفاظتی تنفسی مانند ماسک گردوغبار یا کلاه جریان هوا، به عنوان آخرین راه حل در نظر گرفته شود. برای کار در سطح بالای آلودگی، مانند جایی که در آن حفاظت شیمیایی مورد نیاز است، بهتر است مشاوره تخصصی گرفته شده و از آن پیروی شود.

۸-۸-۳-۶ حفاظت از سامانه شنوازی^۲

یادآوری - دستورالعمل انتخاب و مراقبت از سامانه شنوازی را می‌توان به طور رایگان از پایگاه اینترنتی www.hse.gov.uk/pubns/books/1108.htm بارگیری کرد، و هم‌چنین می‌توان آن را در سند محافظت از سامانه شنوازی - انتخاب، استفاده، مراقبت و بهره‌برداری مشاهده کرد [۶۹]. بند ۱۹ را ببینید.

1 - Respiratory Protection

2 - Hearing Protection

۶-۳-۹ وسایل امداد شخصی^۱

توصیه می‌شود کلیه افرادی که در زیرزمین کار می‌کنند، یک ماسک اکسیژن انفرادی با خود داشته باشند.
یادآوری - بند ۴-۱۰ را ببینید.

۶-۳-۹ اقدام‌ها و روش‌های کمک‌های اولیه^۲

۶-۳-۹-۱ کلیات

بهتر است در کلیه اوقات، در هر نوبت کاری و در هر موقعیت کاری، افراد آموزش دیده در کمک‌های اولیه و قادر به عکس‌العمل سریع در حوادث، در دسترس باشند.

یادآوری - ۱ - به آیین‌نامه سلامت و ایمنی (کمک‌های اولیه) سال ۱۹۸۱ [۱۴] و سند دستورالعمل همراه L74 توجه شود [۱۵]. این اسناد، کارفرمایان را برای ارایه کمک‌های اولیه به افراد مجرح در محل کار راهنمایی و هدایت می‌کنند.

یادآوری - ۲ - اگر تونل در یک مکان به‌خصوص غیر قابل دسترس قرار دارد، ممکن است برنامه‌ریزی پیشرفته و هماهنگی با خدمات اضطراری عمومی، مورد نیاز باشد.

بهتر است تمام افراد از ترتیب کمک‌های اولیه، آگاه باشند. توصیه می‌شود تمام کارفرمایان، پرسنل نظارت خود در محل را برای مدیریت شرایط اضطراری شامل کمک‌های اولیه، آموزش دهند. به تمامی پرسنل باید گفت که در صورت آسیب جدی، بهتر است فرد مصدوم فقط توسط فرد آموزش دیده در کمک‌های اولیه جابجا شود، مگر این‌که خطر فوری برای آسیب بیش‌تر وجود داشته باشد.

توصیه می‌شود وسایل ارتباطی خوب، در جایی بین محیط‌های کاری و امکانات سطحی قرار داده شود. برای سرعت بخشیدن به انتقال مجرح از محیط‌های کاری و اطمینان از این‌که آمبولانس می‌تواند به سرعت به بالای چاه یا سایر نقاط دسترسی برسد، یک برنامه واضح و روشن عملیاتی تنظیم شود. بهتر است ترتیب بالا رفتن در چاه‌ها در نظر گرفته شود. بهتر است در مورد روش‌های تخلیه تونل در شرایط اضطراری و برای اطمینان از این‌که افراد زخمی در پشت جا گذاشته نشوند، دستورالعمل‌های شفافی به تمام افراد داده شود.

۶-۳-۹-۲ امکانات کمک‌های اولیه

لازم است جعبه کمک‌های اولیه تهیه شود. بهتر است این جعبه‌ها از مواد مناسب (مانند فلز یا پلاستیک) ساخته شده باشند و توصیه می‌شود برای محافظت از محتویات آن، حتی‌الامکان در برابر مرطوب و گرد و خاک، طراحی شوند. آن‌ها باید به وضوح قابل شناسایی باشند: علامت‌گذاری توصیه شده برای این جعبه‌ها، یک صلیب سفید در زمینه سبز رنگ است. جعبه باید به آسانی در محیط‌های کاری در دسترس بوده و تحت

1 - Self-Rescuer

2 - First aid Provision

مسئولیت متصدی کمک‌های اولیه در هر نوبت کاری باشد. توصیه می‌شود امکانات مناسب شستشوی چشم نیز فراهم شود.

یادآوری - دستورالعمل تجهیز کردن جعبه کمک‌های اولیه، در انتشارات L74 ارایه شده است [۱۵].

۳-۹-۳-۶ اتاق کمک‌های اولیه

توصیه می‌شود یک اتاق با ساخت مناسب و مجهز به امکانات کمک‌های اولیه، برای درمان و استراحت مورد استفاده قرار گیرد. این اتاق بهتر است در سطح قرار داشته باشد. توصیه می‌شود این اتاق در اختیار یک فرد آموزش دیده در کمک‌های اولیه قرار داشته باشد و در تمام ساعت‌ها کاری در دسترس باشد.

۴-۹-۳-۶ آموزش کمک‌های اولیه

یادآوری ۱ - به آیین‌نامه سلامت و ایمنی (کمک‌های اولیه) سال ۱۹۸۱ توجه شود [۱۴]، که الزام کرده است افراد دارای مسئولیت کمک‌های اولیه، تحت یک دوره آموزشی موفق قرار گیرند و باید یک گواهی صادر شده توسط سازمان مورد تایید واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، داشته باشند.

یادآوری ۲ - جزئیات چنین سازمان‌هایی از دفتر واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در دسترس هستند. بهتر است متصدی کمک‌های اولیه، به منظور رسیدگی به محدوده‌ها و محل حوادثی که به احتمال زیاد در عملیات تونل‌سازی شامل بهره‌برداری و تجهیز اتفاق می‌افتد، باید به طور ویژه تحت آموزش قرار گیرد.

۶-۹-۳-۵ برانکارها^۱

بهتر است برانکارهای (مجهز به پتو) مناسب برای فضای محدود یک تونل، تهیه شده و نگهداری شوند. توصیه می‌شود در شرایط اضطراری در محیط‌های کاری، به آسانی در دسترس باشند و در برابر خاک و رطوبت محافظت شوند. به خصوص جایی که در آن، دسترسی به یک تونل توسط یک چاه است، بهتر است برانکار (در صورت امکان)، در تراز سطح تونل نگهداری شود. توصیه می‌شود وسیله‌ای مناسب برای انتقال این فرد آسیب دیده به سطح تهیه شود (بند ۴-۶-۲۱ را ببینید).

۶-۹-۳-۶ آمبولانس‌ها

بهتر است خدمات آمبولانس محلی، از موقعیت محل و ماهیت کاری که انجام می‌شود، مطلع باشد. توصیه می‌شود همه کارمندان به روش خبرکردن آمبولانس آگاهی داشته باشند. بهتر است اطلاع آدرس بیمارستان، هنگام برخورد با موارد اضطراری، به صورت آشکار نمایش داده شود.

یادآوری- در یک پروژه که از نظر جغرافیایی غیرقابل دسترس است، تهیه یک وسیله نقلیه با دسترسی فوری در محل، و مناسب برای حمل و نقل برانکارد، ضروری است.

۷-۹-۳-۶ انتقال زیرزمینی

بهتر است برای تسریع در عملیات نجات مجروهین در تونل‌های بلند، در صورت لزوم، وسیله نجات، قطار یا وسیله نقلیه اختصاصی، تهیه شود.

۷ حفاری و نگهداری زمین

۱-۷ کلیات

با افزایش عملیات تونل‌سازی در جهان، برای توصیف فن ساخت تونل از دو اصطلاح (تونل‌سازی مکانیزه^۱) و (تونل‌سازی سنتی^۲) استفاده می‌شود. تونل‌سازی مکانیزه به فرآیند تونل‌های حفاری شده با ماشین حفاری تونل در زمین نرم یا سنگ سخت اطلاق می‌شود، در حالی که اصطلاح تونل‌سازی سنتی مربوط به تونل‌های حفاری شده در زمین نرم با یا بدون محافظت با استفاده از سپر باز^۳ است که با استفاده از لاینینگ بتن پاششی^۴ نگهداری می‌شوند. در تونل‌سازی سنتی از لاینینگ‌های چوبی و سگمنتی به عنوان مصالح لاینینگ استفاده شده است و امروزه نیز استفاده می‌شود، مثلاً در پیشانی‌های کوچک زیر خیابان‌های شهری. در سنگ سخت، عموماً تونل‌سازی سنتی با استفاده از دستگاه‌های حفاری و تجهیزات خودپیشرو^۵ مانند رودهدرها^۶ یا فون چالزنی و آتشباری^۷ ساخته می‌شوند. به دلیل این‌که عملیات حفاری و نگهداری زمین اغلب یک عملیات یک‌پارچه است، ارجاعات متقابل مناسبی در بند ۸ و سایر بندهای مربوطه ارایه شده است.

۲-۷ اصول اساسی

شرط حفاری این است که اطمینان حاصل شود، پایداری زمین و حداقل کردن نشست و جابجایی زمین در همه زمان‌ها حاصل شده است. این امر با توجه به موارد زیر حاصل می‌شود:

- تامین مداوم نگهداری زمین به صورت بخشی از توالی حفاری (مثلاً فن سینه‌کار بسته^۸);

-
- 1 - Mechanized Tunnelling
 - 2 - Conventional Tunnelling
 - 3 - Open-Faced Shield
 - 4 - Sprayed Concrete Lining (SCL)
 - 5 - Self-Propelled
 - 6 - Roadheaders
 - 7 - Drill and Blast Techniques
 - 8 - Closed-Face Technique

- بازکردن فقط در اندازه‌ای از زمین انجام شود که تا زمانی که نگهداری موقت و دائم نصب می‌شوند،
این ناحیه به‌طور ایمن خودپایدار باشد (فن سینه‌کار باز^۱).

اندازه ناحیه دهانه، از حفاری‌های کوچک در خاک رس نرم یا ماسه شل گرفته (که فوراً باید نگهداری شوند) تا سطوح کل حفاری یک تونل در سنگ سخت سالیم^۲ (بکر)، که می‌تواند هفته‌های زیاد یا به صورت دائمی بدون لاینینگ و نگهداری پایدار بماند، متفاوت است. در ادامه بهتر است یک ارزیابی خطر کامل، یک سامانه ایمن کاری در همه زمان‌ها تکمیل و نگهداری شود. اگر اثرات موضعی هستند، برای جلوگیری از گسترش خرابی و ناپایداری^۳، باید بلاfaciale سامانه نگهداری اجرا شود.

یادآوری ۱- در کلیه فرآیندهای ساخت‌وساز و هزینه‌های مربوط به آن، فاصله زمانی بین حفاری، لاینینگ نگهداری فوری و لاینینگ نگهداری نهایی موضوعی بحرانی است. به محض این‌که حجمی از زمین حفاری شود، در زمین اطراف ناحیه حفاری شده یک توزیع مجدد تنش‌ها^۴ صورت می‌گیرد. این می‌تواند موجب ایجاد جابجایی‌های اولیه در زمین شود، که ممکن است در در سنگ سخت بلاfaciale متوقف شده، در خاک رس مرطوب یا سخت به آهستگی جابجایی‌ها زیاد شوند یا این‌که در خاک رس نرم تا خیلی نرم، ماسه^۵ یا شن^۶ این جابجایی‌ها به سرعت توسعه یابند.

یادآوری ۲- گستره زمان خودایستایی^۷ زمین نگهداری نشده، از چند ثانیه تا چند روز یا هفته‌ها است. ماهیت سامانه نگهداری نگهداری لازم برای زمین، از محدود کردن صرف تا نگهداری کامل روباره^۸ متفاوت است.

عوامل اصلی که بهتر است هنگام تعیین بارهای واردہ بر سامانه نگهداری زمین، مد نظر قرار داده شوند شامل موارد زیر هستند:

- الف- اندازه و عمق تونل؛
- ب- شکل تونل؛
- ج- روش و سرعت حفاری و نصب لاینینگ نگهداری؛
- د- سختی و آببندهای سامانه لاینینگ نگهداری؛
- ه- رژیم آب زیرزمینی؛
- و- زمین‌شناسی ساختمانی؛
- ز- نزدیکی به سایر سازه‌های سطحی یا زیرسطحی؛
- ح- ساخت تونل‌های مجاور و سایر سازه‌های زیرزمینی؛

1 - Open-Face Technique

2 - Sound hard Rock

3 - Instability

4 - Redistribution of Stresses

5 - Sand

6 - Gravel

7 - Stand-Up Times

8 - Overburden

ط- لرزش.

یادآوری- بسته به تاثیر این عوامل و بهخصوص آب زیرزمینی، گاهی ممکن است بتوان سینه‌کارها را بهصورت کوچک حفاری کرد و آن‌ها را به مدت تقریباً نامحدودی بهطور ایمن باقی گذارد، با در نظر داشتن این که برای سینه‌کارهای بزرگ‌تر با مصالح مشابه، به سامانه نگهداری سنگین و پیوسته‌ای نیاز است.

لازم به ذکر است که در ارزیابی این که چه اندازه‌ای از زمین می‌تواند بهطور ایمن باز شده و حفاری شود و این که تا چه زمانی می‌تواند بدون نگهداری باقی بماند، تجربه و قضاوت مهندسی صحیح، امری ضروری است. در بعضی انواع تونل‌سازی مکانیزه، همیشه امکان مشاهده سینه‌کار حفاری برای اتخاذ تصمیم وجود ندارد. در این‌گونه موارد بهتر است سایر روش‌های جایگزین ارزیابی نگهداری مورد نیاز سینه‌کار، مورد بررسی قرار گیرند.

یادآوری ۱- این روش‌ها شامل بازرسی مصالح حفاری شده، کاوش‌های پیش‌رو^۱ (با در نظر گرفتن امکانات مناسب درون دستگاه حفاری)، رادار زمین^۲ و ارزیابی حجم حفاری هستند.

یادآوری ۲- جایی که با تغییرات ناگهانی در شرایط زمین روبرو شویم، نگهداری موقت فوری و محدود کردن جابجایی‌ها می‌تواند حیاتی و ضروری باشد. در زمین‌های سست، جایی که خاک سیلت و خاک رس شروع به حرکت می‌کنند، توقف سینه‌کار یا پرکردن سریع و متناوب سینه‌کار با کیسه‌هایی از پوشال^۳ یا مصالح مشابه، می‌تواند در حداقل کردن سست‌شدنی خاک و حفظ پایداری خاک موثر باشد.

توصیه می‌شود وسایل تقویت کننده، به آسانی در دسترس قرار داشته باشند. در تونل‌سازی سنتی، که شامل حفاری و لاینینگ تدریجی است، بهتر است بهصورت مداوم مشاهده و نظارت بر زمین و سامانه نگهداری زمین انجام شود.

این استاندارد زمانی منتشر شده است که فن لاینینگ‌های بتن پاششی در حال پیشرفت است، (مثلاً استفاده از تقویت کننده الیافی در شاتکریت به جای تور سیمی^۴، اما اصول این فن ثابت باقی مانده و بهتر است از آن‌ها پیروی شود).

یادآوری- دستورالعمل کاملی در گزارش واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، در سند ایمنی روش جدید تونل‌سازی اتریشی^۵ اتریشی^۶ [۱۶]، و دستورالعمل طراحی و عملیات IEC در سند لاینینگ‌های بتن پاششی برای تونل‌ها در زمین نرم، ارایه شده است [۱۷].

1 - Forward Probing

2 - Ground Radar

3 - Bag of Straw

4 - Mesh

5 - New Austrian Tunnelling Method (NATM)

۳-۷ کنترل جابجایی زمین

کنترل جابجایی زمین، در عملیات ساخت تونل‌ها در نواحی شهری بسیار مهم است. این امر عامل تعیین کننده‌ای در تصمیم‌گیری در مورد انتخاب فن تونل‌سازی است.

به خاطر این‌که جابجایی زمین اطراف تونل تابعی از سست‌شدگی زمین، رهایی تنش و تغییر شرایط آب-زمین‌شناسی است، بهتر است فرآیند حفاری با اطمینان از حداقل شدن جابجایی‌های زمین، مدیریت شود. جایی که کنترل جابجایی‌های زمین بحرانی است، بهتر است از عملیات پایش^۱ جابجایی‌های زمین، که بتواند نتایج دقیقی ارایه دهد، به عنوان بخشی از مدیریت کلی فرآیند ساخت استفاده شود.

۴-۷ خصوصیات زمین

۱-۴-۷ کلیات

جامدات و سنگ‌ها همگن^۲ نیستند. زیربندهای زیر (زیربندهای ۷-۴-۷، ۶-۴-۷، ۵-۴-۷ و ۴-۴-۷) دستورالعمل در مورد انواع خاک‌های متنوع ارایه می‌دهند، اما در طی فرآیند تونل‌سازی ممکن است شرایط زمین تغییر کند، و بعيد است مصالحی که حفاری شده‌اند با هیچ یک از دسته‌های توصیف شده در این زیربندها، منطبق باشند.

از اصول اساسی تونل‌سازی این است که توصیه می‌شود افق تونل در فصل مشترک خاک/سنگ قرار نگیرد، هم‌چنین برای هر فصل مشترک بین خاک‌های چسبنده و غیر‌چسبنده، باید این موضوع در نظر گرفته شود.

۲-۴-۷ خاک دانه‌ای

۱-۲-۴-۷ کلیات

لازم به ذکر است که خاک دانه‌ای، غیر‌چسبنده پایداری کمی داشته یا اصلاً پایدار نیست، و فقط تحت زاویه اصطکاک طبیعی آن قرار می‌گیرد.

یادآوری - شکست در خاک‌های دانه‌ای ممکن است به صورت زیر اتفاق افتد:

الف- ریزش آهسته و سریع، هنگامی که مصالح کاملاً خشک شده‌اند یا به علت بیش‌تنشی سست شده‌اند؛

ب- رانش مصالح دانه‌ای خشک در اثر فقدان چسبنده‌گی؛

ج- هنگامی که مصالح دانه‌ای سیال می‌شوند به صورت یک مخلوط لزج جریان می‌یابد.

1 - Monitoring

2 - Homogeneous

۴-۲-۲ ماسه و شن

در ماسه و شن هیچ تسلیم شدگی پلاستیک و کوچک تحت تنش وجود ندارد، اما ممکن است یک فروریزش کوچک مصالح سیست، سریعاً کنش طاق زدن^۱، که بار وارد بر خاک را تحمل می کند، را از بین برد و موجب تخریب پیشرونده ناگهانی در خاک شود.

توصیه می شود به منظور جلوگیری از شروع جابجایی، سامانه نگهداری بلا فاصله اجرا شود. اگر آب وجود داشته باشد، نگهداری و محدود کردن اهمیت بیشتری دارد و توصیه می شود اقدام های پیشگیرانه اضافی در برابر آب شستگی مصالح ریزدانه، و در نتیجه سست شدگی کلی خاک، مورد بررسی قرار گیرند.

یادآوری - یک ماشین حفاری سینه کار بسته^۲ با روان ملات تنظیم فشار سنگین، از قبیل بنتونیت^۳، نه فقط ماسه و شن را نگهداری می کند، همچنین اثرات سطح آب زیرزمینی را با متعادل کردن بار ایستابی خنثی می کند.

توصیه می شود سینه کارهای باز بالقوه ناپایدار، با دقت محدود شده یا متوقف شوند، و هر زمان که فرآیند حفاری روتین متوقف شد، کلیه حفرات روان ملات ریزی^۴ شوند.

۴-۳-۳ خاک چسبنده^۵

۱-۳-۴-۷ کلیات

در خاک های دارای درجه ای از چسبنده و پلاستیسیته مانند محدوده ای از سیلت ها تا خاک رس ها، بهتر است اتفاق افتادن انواع شکست های احتمالی زیر ناشی از دلایل زیر مورد بررسی قرار گیرند.

الف - ریزش^۶، جایی که خاک زمین خشک شده یا تحت بیش تنشی قرار گرفته است، اما به جای شکستگی ها، روان شدگی^۷ اتفاق می افتد.

ب - فشارندگی^۸ (مچاله شوندگی)، جایی که خاک رس تحت بیش تنشی قرار گرفته و به آهستگی و بدون بدون شکستگی های قابل مشاهده، از جای خود به بیرون حرکت می کند.

ج - جریان یافتن^۹، در اثر ارتعاش یا روان شدن سیلت های مرطوب یا اشباع^{۱۰}، و در اثر ارتعاش در خاک ها.

1 - Arching Action

2 - Closed-Face Machine

3 - Bentonite

4 - Grouting

5 - Cohesive Soil

6 - Ravelling

7 - Flows

8 - Squeezing

9 - Flowing

10 - Saturated Silts

د- تورم^۱، ناشی از جذب کردن آب توسط خاک رس، احتمالاً از اتمسفر و افزایش حجم آن است.

اگر در هر مرحله‌ای به حساسیت خاک شک شود، توصیه می‌شود آزمون‌های برش پره^۲ انجام شود.

یادآوری- بعضی خاک رس‌های رودخانه‌ای یا دریایی به طور ویژه‌ای حساس هستند. گاهی خاک رس‌های نرم و حساس این به نظر می‌رسند اما در حقیقت در معرض کاهش مقاومت و تخریب پیش‌روند هستند (حساسیت مربوط به نرخ افت مقاومت در آشفتگی خاک است).

۳-۴-۷ خاک رس^۳

در خاک رس‌های نرم و سخت، جایی که ناپیوستگی‌ها (سوده‌رخ^۴ یا سطوح چرب) حضور دارند، لازم است که که برای محدود کردن جابجایی‌ها، سامانه نگهداری (به محض قابلیت عملیاتی شدن) اجرا شود. ویژگی‌های پلاستیک خاک رس‌ها ممکن است ناشی از توسعه تدریجی آشفتگی زمین باشد. اجرای بلافارسله نگهداری، جابجایی‌ها را به حداقل می‌رساند. تغییرات محتوی رطوبت در خاک رس‌ها ناشی از قرارگیری در معرض سطح و تغییرات بار (در بلندمدت)، می‌تواند موجب تورم یا انقباض^۵ خاک رس‌ها شود، که به موجب آن بار وارده بر سامانه نگهداری افزایش می‌یابد. در حفاری‌های دستی، جایی که از چوب یا الوار برای سامانه نگهداری استفاده می‌شود، توصیه می‌شود که این الارها به طور محکم با یک سامانه تیر حمال^۶ چوبی یا فلزی محکم شوند. بهتر است کلیه منافذ خالی یا محصور شده و روان‌ملات‌ریزی شوند، یا سینه‌کار با استفاده از بتن پاششی درزگیری شود.

یادآوری ۱- در سپرهای باز، ممکن است از تیرهای حمال هیدرولیکی استفاده شود. این تیرها هنگامی که نگهداری کنترل-شده‌ای بر روی سینه‌کار توسط فشار نگهدارنده هیدرولیکی ایجاد کرده‌اند، به سپر اجازه می‌دهند که پیشروی کند. ماشین سپر سینه‌کار بسته برای استفاده در خاک رس‌های پلاستیک نرم، مناسب است.

یادآوری ۲- برای یک تونل در خاک رس یا هر زمین تسلیم‌شونده، اگر چرخه عادی عملیات‌های حفاری متوقف شود، ممکن است نیاز باشد که از نگهداری موقت اضافی استفاده شود.

۴-۳-۳ سیلت^۷

به علت تغییر در میزان رطوبت ممکن است که چسبندگی سیلت به طور ناگهانی سقوط کند و بهتر است سینه‌کار به طور کامل نگهداری شود، مگر این که بتوان به چسبندگی سیلت اطمینان کرد. هنگامی که

1 - Swelling

2 - Vane Tests

3 - Clay

4 - Slickensides

5 - Shrinkage

6 - Strut

7 - Silt

یک تونل در سیلت و زیر سطح آب زیرزمینی قرار دارد، بهتر است برای حفاری از روش‌های هوای فشرده^۱، انجامد محیط^۲، آب‌زدایی^۳، ماشین حفاری تونل بسته^۴ یا سایر روش‌های پایدارکننده استفاده شود.

۴-۳-۴-۷ گچ^۵

گچ یک سنگ‌آهک ریزدانه^۶ است. طبیعت آن، بسته به مقدار مصالح موجود در آن و درجه هوازدگی^۷ هوازدگی^۸ آن، بسیار متنوع است. گچ ممکن است نرم باشد و بنابراین هنگام حفاری ناپایداری باشد، یا ممکن است سخت بوده و تلاش زیادی برای حفاری آن نیاز باشد. گچ نرم ممکن است شبیه بتونه^۹ باشد. شکستگی^{۱۰}، اندازه بلوك، نفوذپذیری^{۱۱} و تناوب درزهای لایه‌بندی نیز متغیر است. گچ ممکن است نسبتاً همگن، یا ناپیوسته و بلوكی باشد. گچ می‌تواند به مقدار قابل توجهی آب جذب کند، حاوی ترکهای باز و پر آب باشد، یا ممکن است متراکم^{۱۲} بوده و نفوذپذیری پایینی داشته باشد.

بهتر است توجه شود که ممکن است با ترکیب‌های متنوعی از این شرایط، تاثیر ایمنی حفاری، شرایط اجرایی درون تونل و امکان‌پذیری روش‌های انتخاب شده حفاری و نگهداری، روبرو شود.
یادآوری ۱- حضور سنگریزه چخماق^{۱۳} درون توده گچ اهمیت ویژه‌ای دارد.

یادآوری ۲- حفاری، به ویژه حفاری مکانیزه، ممکن است تحت تاثیر منفی حضور سنگریزه‌های چخماق قرار گیرد، که می‌تواند موجب سایش سریع و بیش از حد ابزار برنده^{۱۴} شود.

۵-۳-۴-۷ سنگ

پس از حفاری یا آتشباری در سنگ، عموماً یک عمل طاق‌زدن سراسری تونل در سقف، جدیداً نمایان شده، ایجاد می‌شود که تا حدودی سنگ دست‌نخورده جلوی سینه‌کار تونل را نگهداری می‌کند. مقدار این نگهداری شدیداً به جهت و شیب صفحات ضعیف موجود در فاصله نزدیک سینه‌کار و روش حفاری وابسته است.

1 - Compressed Air

2 - Freezing

3 - Dewatering

4 - Closed-Face TBM

5 - Chalk

6 - Fine-Grained

7 - Weathering

8 - Putty-Like

9 - Fracturing

10 - Permeability

11 - Dense

12 - Flints

13 - Cutter

توصیه می‌شود هنگام ارزیابی پایداری حفریه، جهت و امتداد صفحات لایه‌بندی، فاصله‌داری و الگوی درزه‌داری، و حضور گسل‌ها^۱ و هر شکستگی و خردشیدگی ناشی از آن در بررسی‌ها مد نظر قرار گیرند. به ویژه بهتر است طراح، ضخامت سنگ پوششی زیر رسوبات سطحی را مورد بررسی قرار دهد زیرا ممکن است این ضخامت برای افزایش عمق تونل مناسب باشد.

یادآوری ۱- عمل طاق‌زن همراه با توزیع مجدد تنش رخ می‌دهد. این موضوع ممکن است موجب جابجایی بلوک‌های سنگ و ورود آب به عنوان روان‌کننده شود. توزیع مجدد پیوسته تنش‌ها می‌تواند موجب سقوط سنگ و تکرار فرآیند در سطوح بالاتر شود. این امر ممکن است موجب شکل‌گیری فضاهای خالی در بالای پروفیل تونل شود.

یادآوری ۲- ممکن است ورق‌سنگ‌هایی موجود در تاج تونل تحت اثر خمش دچار شکست شوند.

بهتر است همیشه با سنگ‌های تونل که به صورت نوک تیز شکسته شده‌اند، با دقیقت برخورد شود. توصیه می‌شود خطر شکست در گسل‌ها، شکستگی‌ها و حفرات^۲، شناسایی شده و مورد ارزیابی قرار گیرد. بهتر است اکتشافات حین پیشروی (مانند کاوش کردن یا حفاری قسمت پیش‌رو) ناشی از عملیات روان‌ملات-ریزی یا سایر اقدام‌های پیشگیرانه، به ویژه در هنگام تونل‌سازی در نواحی زیر آب، مورد بررسی قرار گیرند.

یادآوری ۱- گسل‌ها ممکن است حاوی آب یا گاز تحت فشار بالا باشند. در گسل‌ها، ممکن است با تغییر در طبقات^۳، نواحی دارای شکستگی زیاد، اغلب با سوده‌رخ‌ها و شکستگی‌های دارای گوژ^۴ یا گرد گسلی^۵ مواجه شوید.

یادآوری ۲- در گسل‌ها و سایر نواحی برشی، ممکن است سنگ به اندازه‌ای دچار دگرگونی^۶ شود که خصوصیات آن مانند خصوصیات خاک شود. هنگامی که این دگرگونی سنگ، با حضور آب زیرزمینی و تنش‌های رویاره و تنش بر جا ترکیب می‌شود، پیچیده‌ترین شرایط را برای تونل‌سازی ایجاد می‌کند. در چنین نواحی گسل خورده‌ای، اگر روش‌های پیش‌زهکشی^۷، پیش‌روان‌ملات‌ریزی^۸ و پیش‌تحکیمی میخ‌کوبی^۹ به کار گرفته شود، ممکن است بتوان از حفاری تمام مقطع^{۱۰} مقطع^{۱۱} استفاده کرد.

۴-۴-۷ خاک دستی^{۱۲}

به طور معمول در حفاری چاه‌ها و تونل‌های کم‌عمق با خاک دستی مواجه می‌شویم، که ممکن است ناپایدار، غیر همگن و نیازمند نگهداری کامل باشد.

1 - Faults

2 - Cavities

3 - Strata

۴ - گوژ به مواد پودر شده و عمده‌تر رسانی در طول گسل، که از ویژگی‌های سنگ‌های مقاوم‌تر است، اطلاق می‌شود (Gouge).

5 - Pug

6 - Alteration

7 - Pre-Drainage

8 - Pre-Drainage

9 - Forepoling

10 - Full-Face Excavation

11 - Made Ground

بهتر است فرآیند بررسی و گردآوری اطلاعات (بند ۵ را ببینید) در مورد ماهیت زمین، به ویژه در مورد حضور هیدروکربن‌ها^۱، مایعات حلال^۲، باکتری‌ها^۳، گازها و اجسام آلوده‌کننده^۴ انجام شود.

در خاک‌های آلوده بهتر است که از ماشین‌های حفاری روان‌ملاتی استفاده شود، به خاطر این که می‌توانند مشکلات ناشی از آلودگی خاک در ماشین‌های حفاری تونل را کاهش دهند.

۷-۵ روشهای شاخص تونل‌سازی

بهتر است برای تعیین روشهای فن حفاری تونل و نگهداری زمین، به صورتی که در بند ۴-۱-۴ توصیف شده است، ارزیابی خطر مدنظر قرار داده شود.

یادآوری - نگهداری اولیه می‌تواند مرحله اول سامانه نگهداری زمین باشد، مانند بعضی کاربردهای بتون پاششی، یا این که لاینینگ اصلی تونل کامل شده باشد.

۷-۶ روشهای حفاری و برداشت مواد استخراج شده

۷-۶-۱ کلیات

تونل‌ها به طور معمول با استفاده از فنون حفاری و لاینینگ کردن مکانیکی حفر می‌شوند. به هر حال، لازم به ذکر است که حفاری دستی، به خاطر سازگاری آن با فضاهای محدود، هنوز بخشی ضروری در کلیه فرآیندهای تونل‌سازی است؛ و نوعاً در شرایط مناسب زمین برای حفاری تونل‌های با طول کوتاه (بند ۳-۶-۷) را ببینید، استخراج از چاه‌ها، اتصالات کوتاه و ماشین‌های حفاری پس زن^۵، اتاق‌های نگهداری ابزار برنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. توصیه می‌شود حفاری دستی فقط هنگامی استفاده شود که استفاده ایمن از دستگاه‌های حفاری مکانیکی امکان‌پذیر نباشد.

۷-۶-۲ تونل‌سازی مکانیزه، شامل دستگاه‌هایی برای لوله‌رانی^۶ و میکروتونل‌سازی^۷

بهتر است ایمنی دستگاه‌ها به عنوان یک جنبه ضروری از ایمنی عملیات تونل‌سازی، مورد بررسی قرار گیرد. بهتر است ماشین‌آلات استفاده شده مطابق با استانداردهای مربوط به ماشین‌آلات تونل‌سازی، استانداردهای بنددهای ۶۳-۲، ۶۹-۲، ۷۰-۲ و ۷۱-۲ باشند.

بهتر است کلیه ماشین‌آلات اکیداً مطابق با دستورالعمل‌های کارخانه سازنده، عملیات کنند.

1 - Hydrocarbons

2 - Solvents

3- Bacteria

4 - Contaminants

5 - Back Drives

6 - Pipe Jacking

7 - Microtunnelling

۳-۶-۷ تونل‌سازی سنتی

تجهیزات حفاری و باربری مکانیکی متنوعی در تونل‌سازی سنتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تونل‌سازی سنتی در سنگ یا خاک، گاهی به استفاده از تجهیزات مجزایی برای حفاری و باربری مواد استخراج شده به بیرون نیاز دارد.

توصیه می‌شود سامانه اجرای کار، این اطمینان را ایجاد کند که افراد از دستگاه‌ها و تجهیزات سیار، که به طور معمول خود پیش رو هستند، دور باشند. بنابراین، توصیه می‌شود خطرهای اضافی ناشی از تجهیزات سیار مورد ارزیابی قرار گرفته و کنترل شوند. بهتر است برای انتقال مواد حفاری شده، نقاله‌ها مورد بررسی قرار گیرند زیرا استفاده از این تجهیزات، به طور قابل توجهی تعداد جابجایی وسایل نقلیه باربری را کاهش می‌دهد. یادآوری - برای دستورالعمل در مورد نصب و استفاده از نقاله‌ها، بند ۵-۲۳ را ببینید.

برق مورد نیاز دستگاه‌های حفاری و بارگیری اغلب با استفاده از مسیر لوله‌ها یا کابل‌های الکتریکی، که بهتر است دور از دستگاه‌های سیار نگه داشته شوند، به آن‌ها انتقال داده می‌شود، و توصیه می‌شود از قرار گرفتن آن‌ها در معرض کشش زیاد اجتناب شود. بهتر است لوله‌ها یا کابل‌های الکتریکی در محل ورودی دستگاه به زنجیرهای ایمنی مجهز شوند و بهتر است در اتصالات لوله‌ها یا کابل‌ها، وسایل حفاظتی تعییه شوند. یادآوری - به توصیه‌های روشنایی ارایه شده در بند ۱۷ توجه شود.

۴-۶-۷ حفاری دستی

قبل از بررسی حفاری دستی، سند مرجع در مورد (تونل‌سازی و لوله‌رانی - دستورالعمل برای طراحان) [۱۸] بررسی شود.

یادآوری - در روش حفاری دستی، از بیل و کلنگ‌های سنتی^۱، چکش‌های هوای فشرده^۲، چکش‌ها و بیلچه‌های مخصوص خاک رس استفاده می‌شود. خطر اصلی این نوع عملیات شامل فضای محدود^۳، سروصدا، ارتعاش دست-بازو، بارگیری دستی^۴، دستی^۵، کار در ارتفاع و گرمای زیاد است.

توصیه می‌شود جابجایی‌های کوتاه و/یا گردش متناوب افراد اطراف کارهای مختلف، به منظور محدود کردن سروصدا، خطرهای ارتعاش و بارگیری دستی، مورد بررسی قرار داده شود. جایی که لازم است، توصیه می‌شود فضای کاری کافی و سکوهای کاری مناسب تعییه شوند (بند ۳-۶-۷ را ببینید).

1 - Picks and Shovels

2 - Air-Powered Picks

3 - Confined Space

4 - Manual Handling

به خاطر این‌که استفاده از حفاری دستی محدود به جاهایی است که امکان استفاده از روش‌های حفاری مکانیکی، به دلیل غیر عملیاتی بودن، وجود ندارد، بهتر است در صورت وجود روش‌های حفاری مکانیکی قابل کاربرد، در مرحله طراحی این روش‌ها ارایه شوند.

۷-۷ نگهداری زمین در روش تونل‌سازی سنتی در زمین نرم

۱-۷-۷ خطرهای حین ساخت

در تونل‌های بزرگ‌تر در زمین نرم، خطرهای اصلی ساخت، که توصیه می‌شود مورد بررسی قرار گیرند، شامل پایداری زمین حفاری شده، آسیب واردہ به لاینینگ و جابجایی‌های بیش از حد زمین است. این موارد ممکن است موجب خطر برای پرسنل تونل، امکانات مدفون و سازه‌های سطحی و زیرسطحی شود.

بهتر است برای تقسیم‌بندی مقطع عرضی بررسی‌هایی انجام شود، مثلاً انتخاب توالی ساخت پیشانی^۱ (تاج)، پله^۲ و کف^۳. بهتر است مزیت‌های استفاده از حفاری تونل پیشاھنگ برای تقسیم‌بندی سینه‌کار تونل نیز مورد بررسی قرار گیرند (بند ۱۳-۷ را ببینید).

توصیه می‌شود در کلیه موارد، از روش و توالی تعیین شده برای حفاری پیروی شود. در صورت لزوم، بهتر است پایداری سطوح حفاری شده با استفاده از گنبدی کردن^۴ مقطع و اندود بتن پاششی افزایش داده شود. یادآوری - پایداری سینه‌کار می‌تواند با استفاده از داول‌های الیاف شیشه‌ای^۵ افزایش داده شود.

بهتر است برای اطمینان از این‌که شرایط زمین، فرآیندهای حفاری و لاینینگ، کنترل کیفیت مصالح^۶ و جابجایی‌های زمین پس از نصب لاینینگ، فرضیات و الزامات طراح را برآورده می‌کند، از یک سامانه جامع استفاده شود. بهتر است بهتر است در هر انحراف از فرضیات و الزامات طرح، یک ارزیابی فوری فرآیندها آغاز شود. بهتر است خطرهای احتمالی برای افرادی که زیر قسمت حفاری شده بدون نگهداری کار می‌کنند، به حداقل رسانده شود.

یادآوری - دستورالعمل کاملی در گزارش واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، در سند ایمنی روش جدید تونل‌سازی اتریشی [۱۶]، و دستورالعمل طراحی و عملیات IEC در سند لاینینگ‌های بتن پاششی برای تونل‌ها در زمین نرم [۱۷]، ارایه شده است.

1 - Top-Heading

2 - Bench

3 - Invert

4 - Doming

5 - Glass Fibre Dowels

6 - Materials Quality Control

۲-۷-۷ نگهداری اولیه و کنترل پروفیل تونل‌های دارای لاینینگ بتن پاششی^۱

توصیه می‌شود بلافضله پس از حفاری، برای توقف تخریب سطح زمین، محکم کردن مصالح سست و حداقل کردن تغییر در خصوصیات خودپایداری توده زمین، یک لایه اولیه بتن پاششی بر روی سطوح حفاری شده اجرا شود. بهتر است وسایل کنترل از راه دور کنترل کننده حفاری و نیم‌رخ بتن پاششی در نظر گرفته شوند. بهتر است در نگهداری اولیه، بتن پاششی تقویت شده با الیاف ترجیحاً توسط ربات‌های پاشنده اجرا شود. توصیه می‌شود قبل از نصب تیرحمل مشبك^۲ (لتیس گریدر) و تور سیمی (مش) در تاج تونل، یک لایه بتن پاششی اجرا شود. هنگام استفاده از روش‌های ساخت گالری‌های جانبی (شاخبزی)^۳، روش‌های کنترل پروفیل مورد بررسی قرار گیرند.

۳-۷-۷ نفوذناپذیری در برابر آب^۴

در لاینینگ‌های دائمی، اغلب به یک غشای نفوذناپذیر در برابر آب^۵ نیاز است. این غشای ضدآب ممکن است است یک غشای ورقه‌ای یا یک غشای قابل پاشش با استفاده از نازل‌های پاششی باشد. بهتر است در مورد حداقل کردن خطر آتش‌سوزی غشای ورقه‌ای و کاهش خطر سلامت ناشی از مصالح پاششی، توجه ویژه‌ای شود.

۴-۷-۷ بتن پاششی^۶

۱-۴-۷-۷ کلیات

اصطلاح بتن پاششی به کلیه مخلوط‌های سیمان، آب، مواد افزودنی و سنگدانه شامل (شاتکریت)^۷ و (گونیت)^۸ به شکل خشک یا تر به صورت پنوماتیکی (با استفاده از هوای فشرده) بر روی سطح پاشیده و اجرا می‌شود، اطلاق می‌شود.

مواد افزودنی شامل تأخیردهنده‌ها^۹، فعال کننده‌ها^{۱۰}، شتاب دهنده‌ها^{۱۱}، کف سیلیکاته^{۱۲} و سایر مصالحی است است که توصیه می‌شود برای بهبود ویژگی‌های مخلوط بتنی، هم در طی اجرا و هم در میان مدت و بلند مدت، به مخلوط اضافه شود.

1 - Sprayed Concrete Lining (SCL)

2 - Lattice Girders

3 - Sidewall Drift

4 - Water Proofing

5 - Waterproof Membrane

6 - Sprayed Concrete

7 - Shotcrete

8 - Gunite

9 - Retarders

10 - Activators

۲-۴-۷-۷ اقدامهای پیشگیرانه^۳

جایی که از نظر عملیاتی قابل قبول باشد، بهتر است که عملیات اجرای بتنی به صورت فرآیند پاشش تر با استفاده از تجهیزات پاشش کنترل از راه دور انجام شود، بدین ترتیب خطر قرار گرفتن کاربر در معرض گردوغبار و پرتاب مصالح خطرناک کاهش می‌یابد.

توصیه می‌شود به حداقل رساندن میزان پخش گردوغبار، یک بخش داخلی در طی فرآیند طراحی مخلوط باشد. برای آگاهی بیشتر به توصیه‌های ارایه شده در بند ۱۶، برای کنترل گردوغبار، مراجعه شود.

جایی که از فنون کنترل از راه دور استفاده نمی‌شود بهتر است که کاربرها لباس محافظ کامل داشته باشند و از ماسک‌های دهانی و عینک‌های محافظ ایمنی استفاده نمایند. هر قسمت از پوست که احتمالاً در معرض مصالح خطرناک قرار می‌گیرند، بهتر است با استفاده از کرم‌های محافظت کننده، محافظت شود. توصیه می‌شود برای شستشو و تعویض لباس‌ها، تمہیدات و امکانات کاملی در نظر گرفته شود. بهتر است سایر افراد برای کاهش خطر قرار گرفتن در معرض مصالح خطرناک، در یک فاصله ایمن از عملیات پاشش بتن قرار گیرند.

در عملیات بتن پاششی بهتر است که برای جلوگیری از حرکت شلاقی لوله‌های اجرا، هنگامی که در حین اجرای عملیات بتن پاشی یک اتصال باز می‌شود، از لوله‌های انعطاف‌پذیر استفاده شود.

هنگام تونل‌سازی از درون قسمت‌های دارای زغال سنگ، نمی‌توان از روش بتن‌پاشی خشک استفاده کرد. یادآوری - فرآیند بتن‌پاشی خشک ممکن است موجب القای الکتریسیته ساکن در نازل پاشش شود و تخلیه الکتروستاتیکی را به دنبال دارد که موجب آغاز انفجار در حضور متان یا سایر مصالح با قابلیت انفجار شود.

۳-۴-۷-۷ لاینینگ بتن پاششی

هنگام اجرای لاینینگ‌های بتن پاششی، توصیه می‌شود توجه ویژه‌ای معطوف روشهای تعیین شده شود (بند ۲-۷ را ببینید).

۵-۷-۷ طرح‌های عملیات احتمالی و اضطراری

بهتر است طرح‌های عملیاتی احتمالی و اضطراری در محل وجود داشته باشند، برای این‌که بتوان در موقع ضروری به کار گرفته شوند، و همچنین تدارکات کافی از مصالح تعیین شده در طرح، نیز در محل وجود داشته باشد (بند ۲-۴ را ببینید).

1 - Accelerators

2 - Silica Fume

3 - Precautions

۸-۷ ماشینهای تونل‌سازی

۱-۸-۷ سپرهای باز

۱-۸-۷-۱ کلیات

یک سپر باز، نصب سامانه نگهداری اولیه و محافظت در طی حفاری و نصب لاینینگ یا نصب لوله‌ها را انجام می‌دهد. متعلقات آن شامل یک لبه برنده^۱ است که در زمینهای مناسب می‌تواند برای خراسیدن محیط حفاری استفاده شود، و یک قسمت دنباله که یک محفظه ایمن برای نصب لاینینگ یا محافظت لوله‌های سربی نصب شده را فراهم می‌کند. در اکثر شرایط بهتر است در پشت ناحیه محافظت شده توسط سپر، حفاری انجام نشود.

در بعضی شرایط سنگ خرد شده، یا جایی که سینه‌کار مخلوط (مثلاً سینه‌کار متتشکل از سنگ و خاک نرم) وجود داشته باشد، بهتر است سنگ نزدیک به لبه برش حفاری شود. سپس ممکن است لازم باشد که تاج و دیوارهای تونل با استفاده از نگهداری به شکل تخته‌های حایل یا صفحات باربر هیدرولیکی که بین دهانه لبه برشی سپر و چوب‌بست کاری سینه‌کار قرار می‌گیرند، تقویت و نگهداری شوند.

قبل از راندن و حرکت رو به جلوی سپر، بهتر است حفاری تا مرحله‌ای انجام شده باشد که به فشار بیش از حد سپر یا بازوهای جک هیدرولیکی نیازی نباشد. توصیه می‌شود جابجایی زمین با روان‌ملات‌ریزی بلاfacله به حداقل رسانده شود، مگر این‌که قرار باشد لاینینگ کامل و سنگینی اجرا شود.

بهتر است کلیه سپرها دارای تمهدیاتی برای نگهداری سینه‌کار باشند که ممکن است به صورت پیوسته در فرآیندهای تونل‌سازی مورد نیاز باشند، یا این‌که فقط در شرایط اضطراری استفاده شوند. هنگامی که نیاز به نگهداری سینه‌کار باشد، بهتر است سینه‌کار با استفاده از جک‌های هیدرولیکی نگه داشته شود، که یک فشار را بر روی چوب‌بست موقت سینه‌کار نگه می‌دارد و هنگامی که سپر به سوی جلو هل داده می‌شود این فشار از بین می‌رود. هنگام استفاده از لاینینگ‌های سگمنتی، احتمالاً نگهداری سینه‌کار به ندرت مورد نیاز است. در این مورد بهتر است به آرامی نگهداری از روی سپر به روی قسمتی که لاینینگ سگمنتی آن کامل شده است منتقل شود، این موضوع به سپر اجازه می‌دهد که بدون تاثیر مخرب بر روی چوب‌بست کاری سینه‌کار به جلو هل داده شود.

یادآوری ۱- در لوله‌رانی^۲، سپر به گونه‌ای طراحی شده است که بیش‌حفاری^۳ کوچکی در قطر بیرونی خط لوله ایجاد شود. به‌طور معمول یک روان‌کننده مانند بنتونیت^۴ در این فضای بیش‌حفاری وارد می‌کنند تا اصطکاک را کاهش داده و جابجایی زمین حداقل شود.

1 - Cutting Edge

2 - Pipe Jcking

3 - Overbreak

4 - Bentonite

یادآوری ۲- ممکن است سایر روش‌های نگهداری سینه‌کار از قبیل درهای سینه‌بند تونل، یا روش پیش‌تحکیمی میخ‌کوبی^۱ انتخاب شود.

بهتر است بازوهای برنده یا بیل مکانیکی نصب شده برای حفاری، به‌طور مناسبی نگهداری شود. مجموعه‌ای از الوارهای با اندازه و برش مناسب برای شرایط اضطراری در دسترس نگه داشته شوند. توصیه می‌شود هنگامی که سپر شروع به نصب و جک کردن حلقه‌های سگمنتی می‌کند، شخصی که به عنوان کاربر سپر تعیین شده است، بررسی کند که هیچ‌کس بین بازوها و لاینینگ، محبوس و گرفتار نشده باشد.

در یک سپر با قطر بزرگ، بهتر است حفاری و نگهداری زمین با نصب سکوهای محافظ که به‌طور مناسب ساخته شده‌اند، انجام شود. چوب‌بست‌ها استحکام کافی برای این هدف را ندارند، به خاطر این‌که در اثر ضربه ناشی از خرد سنگ‌های سقوط کرده بر روی آن‌ها، دچار آسیب می‌شوند. هنگامی که یک سرپوش بر روی سپر قرار دارد، بهتر است به‌منظور نزدیک کردن سکوها به سینه‌کار، سکوهای کاری مجهز به تجهیزات لغزندۀ ساخته شوند.

یادآوری- سکوهای کاری ممکن است متناوباً به صورت موقت به کار گرفته شوند، یا فقط برای نصب نگهداری اولیه نصب شده و بخش کوتاهی از چرخه تونل‌سازی باشند، و سپس برداشته شوند.

توصیه می‌شود مسئولیت طراحی، نصب ایمن و استفاده از سکوهای کاری به شخصی که از قبل تعیین شده است، سپرده شود. هنگامی که مصالح حفاری شده به‌طور معمول از سینه‌کار تونل بر روی یک نوار نقاله یا نوار زنجیری از کف سپر برداشته و بارگیری می‌شوند، توصیه می‌شود این ماشین‌ها به حفاظه‌های مناسب و تجهیزات توقف اضطراری مجهز شوند.

۲-۸-۷ ماشین حفاری تونل‌ها

۱-۲-۸-۷ کلیات

یک ماشین حفاری تونل دارای یک چرخ دوار حفار است که قادر است با چرخش قسمت حفار آن، کل سطح سینه‌کار تونل را حفاری کند و ممکن است دارای سپر بوده یا بدون سپر باشد. به‌طور معمول مصالح حفاری شده توسط کج بیل‌های متصل به چرخ حفار، بر روی یک نوار نقاله مرکزی حمل می‌شوند.

این ماشین‌ها به‌طور معمول در زمین‌هایی به کار بردۀ می‌شوند که نیازی به نگهداری ندارند، اگرچه بعضی ماشین‌ها برای این‌که بتوانند عملیات را متوقف کرده تا سامانه نگهداری نصب شود، به درب‌های با مکانیزم هیدرولیکی، مجهز شده‌اند. به‌طور معمول ماشین‌های حفاری تونل به سپر مجهز هستند (اما بند ۴-۶-۷ را

ببینید). بهتر است قبل از شروع کار، یک سامانه ایمن کاری در سینه‌کار تونل شامل تمهیداتی برای آزاد کردن، بازرسی، نگهداری و تعویض قطعات برنده در محل، ایجاد شود.

۲-۲-۸-۷ ماشین‌های دوغابی

ماشین‌های دوغابی، ماشین‌های حفاری تونل دارای سپر هستند که به یک دیواره جداکننده محفظه حفاری از قسمت عقبه ماشین، مجهز شده‌اند. روان‌ملاتی که تحت فشار درون محفظه حفاری پمپ می‌شود نگهداری سینه‌کار حفاری شده را تأمین کرده و فشار آب زیرزمینی را متعادل می‌کند. روان‌ملات و مصالح حفاری شده به بیرون پمپ می‌شوند و سپس برای جداسازی توسط لوله به سطح زمین فرستاده می‌شوند؛ سپس روان‌ملات تصفیه شده دوباره به سطح سینه‌کار پمپ می‌شود. توصیه می‌شود قبل از ورود افراد به محفظه صفحه حفار ماشین، وسایلی برای تمیز کردن محفظه حفاری از روان‌ملات و مصالح حفاری شده وجود داشته باشد. یادآوری - در اکثر ماشین‌ها، راه دسترسی به سر حفار ماشین از طریق یک دریچه هوابند^۱ است.

۳-۲-۸-۷ ماشین‌های متعادل‌کننده فشار زمین^۲

ماشین حفاری تونل متعادل‌کننده فشار زمین، ماشین‌های حفاری دارای سپر هستند که به یک دیواره جداکننده محفظه حفاری از قسمت عقبه‌دستگاه مجهز هستند. این دستگاه‌ها برای برداشت و بارگیری مواد حفاری شده دارای یک نقاله مارپیچی هستند؛ نگه‌داشتن فشار بر روی خاک دست خورده و حفاری شده درون محفظه حفاری، برای نگهداری سینه‌کار در سراسر فرآیند حفاری کافی است. بعضی ماشین‌های حفاری تونل متعادل‌کننده فشا زمین، برای دسترسی به سینه‌کار تحت فشار، دارای یک دریچه هوابند هستند. محبوس کردن مصالح حفاری شده درون محفظه حفاری یا نقاله مارپیچی باعث ایجاد یک سد نفوذناپذیر در برابر آب زیرزمینی می‌شود. برای بهبود کارایی ماشین و کم اثر کردن تأثیر آب زیرزمینی و کنترل مصالح می‌توان مصالح مناسبی مانند بنتونیت، پلیمرها و کف را در قسمت سر حفار تزریق کرد. توصیه می‌شود ماهیت خطرناک این مواد شیمیایی (اگر استفاده می‌شود) مورد بررسی قرار گیرد.

۴-۲-۸-۷ ماشین‌های حفاری تونل در سنگ سخت^۳

ماشین‌های حفاری تونل در سنگ سخت، برای حفاری سنگ‌های با دامنه مقاومت، ساییدگی، درزه‌داری و میزان آب متفاوت استفاده می‌شوند. این ماشین‌ها ممکن است به صورت کامل یا موضعی دارای سپر باشند.

1 - Air Lock

2 - Earth-Pressure Balance Machines (EPBs)

3 - Hard Rock TBM

بهتر است ارزیابی ریسک تأثیر ناگهانی شرایط سنگ را بررسی نموده و اقدام‌های کنترلی انجام شود. توصیه می‌شود برای جستجو و اکتشاف جلوی سینه کار، به منظور تعیین حضور شکستگی‌ها، گسل‌ها و سایر تغییرات در زمین و شرایط آب زیرزمینی، تمهداتی در نظر گرفته شود.

جایی که روباره عمق کمی داشته یا نامعلوم است، توصیه می‌شود اکتشاف‌ها در نقطه‌ای در بالا و جلوی تاج دستگاه انجام شده و بهتر است بلا فاصله سوراخ‌ها مسدود شوند. بهتر است وسایل مناسب نصب نگهداری زمین مانند تجهیزات نصب پیچ‌سنگ بلا فاصله نزدیک به سر حفار دستگاه، در دسترس باشند.

۵-۲-۸-۷ تجهیزات نصب سگمنت

توصیه می‌شود تجهیزات نصب سگمنت و سایر لاینینگ‌ها مطابق با الزامات استاندارد بند ۷۱-۲ باشند. توصیه می‌شود به پرسنل کاری درون و بلا فاصله پشت ماشین تونل‌سازی دستورالعمل‌ها و آموزش‌های واضح در مورد سامانه ایمن کاری ارایه شود.

بهتر است لاینینگ تونل (در صورت عملیاتی بودن) با استفاده از بازوهای بلندکننده کاملاً گرد طراحی شده برای این هدف، نصب شوند.

جایی که این موضوع قابل اجرا نباشد، بهتر است لاینینگ با سایر وسایل مناسب شامل موارد زیر نصب شوند:

- بلندکننده‌های صفحه بلبرینگ؛
- بلندکننده‌های بال پرنده‌ای؛
- توسط دست، با متعلقات مکانیکی از قبیل جرثقیل‌های مجهز به قرقره‌های فلزی چفت دار و بولت‌های (مهاری) غلطکی.

بهتر است طناب‌های سیمی، میخ‌های اتصال و سایر ابزار بلندکننده استفاده شده در نصب لاینینگ، به طور متناسب مورد بازرسی قرار گیرند، به خاطر این‌که این ابزار در معرض سایش و آسیب شدید قرار دارند. ابزار به شکل ۸ (عدد ۸ انگلیسی) موجب آسیب شدید به طناب می‌شوند و بهتر است عموماً در انتهای طناب مورد استفاده قرار نگیرند.

یادآوری - نواحی اطراف سگمنت و سایر تجهیزات نصب لاینینگ، جایی که افراد مجبورند در فضاهای محصور نزدیک به المان‌های ساختاری نصب شده کار کنند، یکی از خطرناک‌ترین نواحی ماشین تونل‌سازی هستند. میدان دید کاربر ممکن است محدود شود.

۹-۷ تونل‌سازی سنتی در سنگ

۱-۶-۷ فنون حفاری

۱-۹-۷ چالزنی و آتشباری^۱

بهتر است الگوی آتشباری به گونه‌ای طراحی شود که خطر آسیب به سطوح حفاری را کاهش دهد، که ممکن است موجب سست شدن سنگ شود. جایی که مناسب باشد، بهتر است استفاده از آتشباری کنترل شده^۲ یا فنون آتشباری پیش‌شکافی^۳ مورد بررسی قرار گیرند. ترجیح داده می‌شود که از سامانه‌های انفجار غیرالکتریکی^۴ استفاده شود.

یادآوری ۱- روش‌های چالزنی و آتشباری برای انواع تونل‌های سنگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یادآوری ۲- جدا از خطرهای مرتبط با انبارش^۵، حمل و نقل^۶ و استفاده از مواد منفجره، که به طور جامع در استاندارد بند ۳۸ تفصیل شده است، خطرهای اصلی مرتبط با فنون چالزنی و آتشباری شامل سروصدای، لرزش و گردوغبار ناشی از تجهیزات حفاری، گاز ناشی از انفجار و سقوط خاک و سنگ است. میزان خطر در این روش به خصوصیات سنگ و ساختار آن، فنون انتخاب شده برای چالزنی و آتشباری و به مصالح استفاده شده بستگی دارد.

بهتر است در صورت لزوم، و در صورت کسب تجربه از شرایط غالب زمین، سامانه کاری مورد بازنگری واقع شده و اصلاح شود. بهتر است به دنبال عملیات آتشباری و قبل از خرج‌گذاری مجدد، برای اطمینان از این که هوای داخل تونل برای تنفس مناسب باشد، بررسی و کنترل انجام شود. بحرانی‌ترین خطر در دوره زمانی پس از انفجار و قبل از اجرای نگهداری موقت، خطر سقوط سنگ از سقف است که در صورت لزوم بهتر است برطرف شود.

بهتر است قبل از آغاز عملیات عادی اجرای نگهداری موقت، که پس از عملیات آتشباری و قبل از خرج‌گذاری مجدد سینه‌کار تونل انجام می‌شود، دیوارهای، جوانب، سینه‌کار و سامانه‌های نگهداری مورد بازررسی قرار گیرند. جایی که به نصب سامانه نگهداری موقت نیاز است، بهتر است این کار به روش ایمنی انجام شود. توصیه می‌شود لق‌گیری با استفاده از ابزار مکانیکی (در صورت عملیاتی بودن) انجام شود. بهتر است لق‌گیری به صورت نظاممند و به سمت سینه‌کار انجام شود. به غیر از بررسی نواحی از زمین که به تازگی حفاری شده‌اند، بهتر است مناطقی که قبلاً لق‌گیری شده، دوباره بررسی شوند. توصیه می‌شود لق‌گیری به طور منظم انجام شده و توسط یک ناظر بررسی شود. بهتر است افراد انجام دهنده لق‌گیری

1 - Drill and Blast

2 - Smooth Blasting

3 - Pre-Splitting

4 - Non-Electric Detonation

5 - Storage

6 - Handling

دستی، در یک طرف ناحیه سنگ در حال بررسی، بایستند. بهتر است از میله‌های لق‌گیری با طول مناسب استفاده شود و وسایل مناسب برای دسترسی ایمن تهیه شود.

اگر نصب نگهداری ضروری است، بهتر است برای حفظ یک پارچگی کلی توده سنگ و جلوگیری از سقوط-های جزئی سنگ از سقف، سامانه نگهداری را بلافصله پس از لق‌گیری اجرا کرد. توصیه می‌شود مته‌های حفاری هوای فشرده و هیدرولیکی، در صورت امکان بر روی یک قاب یا روی یک پایه دستگاه خودپیشوست ممستقل^۱ (جامبو حفاری) نصب شوند. بهتر است سکوهای حفاری مطابق با استاندارد بند ۶۲-۲ باشند. یادآوری- در سینه‌کارهای بزرگ‌تر، می‌توان چندین مته را بر روی یک پایه نصب کرد که به‌طور مستقل عملیات کنند.

توصیه می‌شود استفاده از مته‌های هوای فشرده و پایه‌های هل دهنده، به دلیل خطرهای بهداشتی مرتبط با استفاده از آن‌ها، به حداقل برسد.

پرتاب سنگ به آسانی می‌تواند به ماشین‌آلات تونل‌سازی یا خدماتی آسیب برساند. بهتر است آسیب‌پذیری دستگاه‌ها و تجهیزات، قبل از استفاده بررسی شود.

لازم به ذکر است که سروصدای ارتعاش ناشی از استفاده از ابزار ضربه‌ای- چرخشی و سطح قرارگیری در معرض چنین عواملی در تونل‌سازی، به‌طور معمول بالا است.

یادآوری- دستورالعمل‌های بیش‌تر در مورد سروصدای ارتعاش و لرزش را در بند ۱۹ ببینید.

۲-۱-۹-۷ رودهدرها^۲ و سایر دستگاه‌های حفاری سینه‌کار

برای استفاده از رودهدرها بهتر است اقدام‌های پیشگیرانه بند ۱-۹-۷، مشاهده شود.

یادآوری- جایی که مقاومت یا الگوی درزهداری سنگ‌ها اجازه دهد، می‌توان از رودهدرها یا سایر دستگاه‌های حفاری سینه‌کار استفاده کرد.

۲-۹-۷ قاب فولادی و محکم بستن

۱-۲-۹-۷ کلیات

جایی که پشت‌بندهای قاب فولادی در تماس با حایل‌های چوبی یا فلزی قرار دارند، این وسایل برای نگهداری فوری هستند و بهتر است بلافصله پس از حفاری نصب شده، با گوه محکم شده و بسته شوند. نگهداری قاب فولادی به‌طور گستره‌ای، در اندازه و هندسه متفاوت هستند، و بهتر است نوع قاب و فاصله‌داری آن‌ها برای شرایط زمین واقعی که با آن مواجه می‌شویم، طراحی شود.

1- Jambo Drilling

2 - Roadheaders

بهتر است توانایی نصب تعدادی از روش‌های نگهداری، از پیش تعیین شده برای محدوده مورد انتظار طبقه‌بندی توده سنگ، در محل فراهم باشد. توصیه می‌شود یک ناظر دارای تجربه، برای ارزیابی تغییر شرایط زمین، شناسایی روش نگهداری مناسب و قدرت اجرای آن، همیشه در محل حاضر باشد.

در صورت لزوم، بهتر است عملیات لق‌گیری، قبل از نصب قاب‌ها و قوس‌ها، انجام شود.

یادآوری - توصیه‌های مرتبط با لق‌گیری سطوح سنگی در بند ۸-۷ ارایه شده است.

۲-۲-۶-۷ قاب‌های دوتکه

به‌طور معمول در تونل‌های با ارتفاع تا ۳/۵m، از قاب‌های به شکل U معکوس، دارای یک درز اتصال پیچ شده در تاج استفاده می‌شود. توصیه می‌شود پایه قاب بر روی سنگی قرار داده شود که توانایی تحمل بار انتقالی را داشته باشد، یا این که صفحات پایه باربر^۱ استفاده شود.

بهتر است برای مقاومت در برابر بارهای غیرعمودی وارد بر قاب‌ها، نگهدای‌هایی اجرا شود. اگر از قاب‌های نعل اسپی^۲ استفاده می‌شود، بهتر است پای قاب به‌طور موثر در برابر حرکت محدود شود.

توصیه می‌شود قاب‌ها با استفاده از رابطه‌ها و استراتهای^۳ به‌طور ایمن به هم متصل و محکم شوند.

بهتر است جفت شدگی بین قاب و سنگ با استفاده از گوه محکم شود و قاب‌ها، به‌خصوص در تراز پاطاق برای جلوگیی از جابجایی در آن نقطه، به‌طور ایمن محکم شوند.

یادآوری - همچنین ممکن است برای جلوگیری از جابجایی در طی آتشباری‌های آتی، به نصب پیچ‌سنگ^۴ و نصب میخ‌های فولادی^۵ در کناره‌های قاب نیاز باشد.

بهتر است کلیه درزهای اتصال مطابق با الزامات طراحی باشند. توصیه می‌شود پس از هر مرحله آتشباری، جابجایی پشت‌بند قاب نگهداری نزدیک به سینه‌کار، مورد بررسی قرار گرفته شوند و قاب‌های استفاده شده برای نگهدای پیشانی تونل، قبل از حفاری سطوح پایین‌تر تونل، به‌طور ایمن محکم شوند.

۳-۲-۶-۷ قاب‌ها یا قوس‌های بزرگ یا چندتکه

تمام توصیه‌های فهرست شده در ۲-۲-۹-۷، برای نصب صحیح قاب‌های دو تکه اعمال شود، اما علاوه بر آن، بهتر است از توصیه‌های زیر نیز پیروی شود.

1 - Footplates

2 - Horseshoe Shap

3 - Struts

4 - Rock Bolt

5 - Steel Dowel Pins

الف- بهتر است روش نصب مشخص شده باشد و روش حمل و نقل و نصب ایمن آنها به روشی ارایه شده باشد.

ب- تجهیزات نصب (که اغلب می‌تواند بر روی دستگاه‌های حفاری متکاری نصب شوند) باید به درستی برای وضعیت ویژه طراحی شده باشند.

ج- برای دسترسی به اتصالات پیچ شده و برای جفت‌شدگی، بهتر است از سکوها، چوب‌بستها یا تجهیزات دسترسی مکانیکی/ هیدرولیکی با طراحی درست، استفاده شود.

۴-۲-۹-۷ پشت‌بندهای مشبك فولادی^۱

این باریکه‌های پشت‌بند فولادی بهتر است در بخش مرز گام‌های حفاری، همراه با اتصالات پیچ شده در سطح پله سینه کار، نصب شوند.

یادآوری- در تونل با نگهداری بتن پاششی، نگهداری مکمل اغلب با باریکه‌های پشت‌بندهای مشبك فولادی مدفون در بتن در اطراف کل محیط تونل، اجرا می‌شود.

۵-۲-۹-۷ نگهداری بین قاب‌ها

در صورت لزوم بهتر است برای جلوگیری از سقوط سنگ‌های سست، بین قاب‌ها نگهداری اجرا شود. یادآوری- این نگهداری به‌طور معمول به شکل مش، چوب، ورق‌های فولادی یا پانل‌های بتن پوشاننده بین قاب‌ها هستند.

۳-۹-۷ پیچ‌سنگ کردن

پیچ‌سنگ کردن، با استفاده از مهاری‌ها مکانیکی یا مهاری‌های پیچ‌شده شیمیایی، روشی رایج برای نگهداری موقت هستند و ممکن است یک عنصر از سامانه نگهداری دائم باشند. در حالی که پیچ‌سنگ‌ها ممکن است صرفاً برای محکم کردن ورق‌سنگ‌های سست شده‌ای که امکان سقوط دارند، استفاده شوند، کاربرد اساسی‌تر آن‌ها برای جلوگیری از جدایش در امتداد ناپیوستگی‌ها از قبیل درزه‌ها^۲، شکستگی‌ها^۳ و صفحات لایه‌بندی است، به‌طوری که یک پارچگی ساختار سنگ را حفظ می‌کند.

توصیه می‌شود الگو و نوع، طول و قطر پیچ‌سنگ، پس از مطالعه شرایط خاصی که ممکن است به سرعت و همزمان با پیشروی تونل تغییر کند، تعیین شود.

نصب و عملکرد ایمن یک سامانه پیچ‌سنگ کردن، به مناسب بودن آن برای خصوصیات سنگ و روش‌های حفاری و لاینینگ تونل، بستگی دارد.

1 - Steel Lattice Ribs

2 - Joints

3 - Fissures

مهاربندی بهتر است عمق کافی داشته و به گونه‌ای طراحی شود که در برابر نیروی بیرون‌کشی پیچ‌سنگ، بدون لغزش در چال یا خرد شدن موضعی سنگ، مقاومت کند. توصیه می‌شود آزمون‌های بار در محل بر روی پیچ‌سنگ‌های معرف انجام شود.

یادآوری - دستورالعمل بیشتر در آیینه کار مهاری‌های زمین [۶۸] در دسترس است.

۱۰-۷ هوا فشرده^۱

برای کنترل آب زمین بهمنظور بهبود پایداری سینه کار تونل، از هوا فشرده (بند ۱۱ را ببینید) استفاده شود، اگرچه ممکن است هنوز نگهداری اضافی سینه کار لازم باشد.

یادآوری - هوا فشرده می‌تواند نشت ناشی از جابجایی زمین را کاهش دهد. کاهش بسیار قابل توجه در تعداد موارد مواجهه شده‌ای که با استفاده از ماشین‌های حفاری تونل بسته حاصل شده است، بر استفاده از هوا فشرده برای کل تونل ترجیح داده می‌شود.

۱۱-۷ فرآیندهایی ژئوتکنیکی برای بهبود زمین و مدیریت آب

۱-۱۱-۷ انجماد

۱-۱-۱۱-۷ کلیات

زمین حاوی آب را می‌توان تقویت و نفوذناپذیر کرد، اگر بتوان آن را منجمد کرده و یخ زده نگهداشت. در زمین‌های سیلتی و ماسه‌ای دارای لایه‌های سیلتی، که عمل‌آوری زمین با روان‌ملات بسیار دشوار است، انجماد یک روش موثر ویژه است. انجماد اغلب با گردش مایع خنک‌کننده با دمای بسیار پایین‌تر از دمای صفر درجه سلسیوس، در یک سامانه لوله‌های هم محور درون گمانه‌هایی در زمین، حاصل می‌شود. انجماد آب‌های زیرزمینی در مقایسه با دیگر روش‌های بهبود زمین به آرامی انجام می‌شود، و اگر یک جریان آب زیرزمینی وجود داشته باشد که گرما را با سرعتی حمل می‌کند که از سرعت گرفتن گرمای در فرآیند انجماد بیش‌تر باشد، عملیات انجماد می‌تواند غیرممکن باشد.

توصیه می‌شود توسعه و نگهداری انجماد توسط جفت‌های گرمایی (ترموکوپلهای) قرار گرفته در گمانه‌های پایش درون زمین منجمد، تایید شود. یک ریسک وجود دارد که قسمت‌های از زمین منجمد نشود و بهتر است طرح‌های احتمالی در محل برای جلوگیری از این مورد، برقرار شود. توصیه می‌شود پس از نصب، تمام گمانه‌ها برای تایید موقعیت دقیق‌شان، در سراسر طول‌شان مورد بررسی قرار گیرند. گمانه‌هایی که خارج از موقعیت دقیق‌شان هستند، بهتر است دوباره حفاری شوند.

لازم به ذکر است که جابجایی زمین ممکن است ناشی از انساط آب منجمد و ساخت لایه‌های یخ باشد. بهتر است مراقب بود که این موضوع می‌تواند یک خطر برای سازه‌ها و تاسیسات بالاسری و مدفون در خاک باشد.
یادآوری - ممکن است نیاز باشد که سامانه‌های لوله‌کشی آب در منطقه انجماد، عایق‌کاری شوند.

اگر یک گالری چوب‌بست‌کاری شده درون زمین منجمد حفاری شده است، این احتمال وجود دارد که نگهداری‌های چوبی پر از یخ شوند، بنابراین بهتر است بهمنظور جلوگیری از باقی ماندن یخ و تشکیل فضای خالی که باعث نشست می‌شود، در پر کردن مجدد گالری دقت شود.

یادآوری - اگر یخ به‌طور کامل آب نشده یا از بین نرود، ممکن است پس از آن لازم باشد که تزریق فشاری از طریق لوله‌های جاگذاشته شده درون مناطق بحرانی، انجام شود. جایی که درجه حرارت محیط به اندازه‌ای کم باشد که منجر به ناراحتی شود، بهتر است پرسنل در برابر سرما محافظت شوند. توصیه می‌شود وسایل امداد شخصی مناسب محیط‌های سرد، تهیه شود (بند ۱۰-۱۴ را ببینید).

۲-۱-۱۱-۷ شورآب^۱

جایی که در آن مایع خنک‌کننده آب دارای نمک است، بهتر است حفاری تونل در نیم متری یک لوله منجمد انجام نشود.

۳-۱-۱۱-۷ نیتروژن مایع^۲

انجماد با استفاده از نیتروژن مایع امکان‌پذیر است. به خاطر این‌که نیتروژن خیلی سرد است، سریع‌تر عمل می‌کند. بهتر است ریسک‌های ناشی از حمل و نقل دستی مایع سرمaza^۳ و نشت بخارات نیتروژن مایع در تونل، مورد ارزیابی قرار گیرد. بهتر است نیتروژن مایع در سطح زمین ذخیره شود. توصیه می‌شود تمام سامانه لوله‌کشی سطحی در برابر آسیب ناشی از ضربه محافظت شود. در صورت امکان، بهتر است لوله‌های انجماد به صورت عمودی در زمینی که باید منجمد شود، نصب شوند. جایی که لوله‌های یخ باید به صورت افقی درون محور تراز وسط تونل یا چاه قرار گیرند، بهتر است شبکه لوله در تونل و شفت قبل از استفاده برای استحکام در برابر نشت مورد آزمون قرار گیرند. بهتر است نیتروژن مایع از طریق گمانه‌هایی از سطح، که نزدیک به نقطه توزیع هستند، درون لوله‌های انجماد و ترجیحاً از طریق لوله‌کشی درون تونل، تامین شود. بهتر است لوله‌کشی دارای اندازه‌ای باشد که در صورت نشت یا شکستن لوله انجماد، مقدار مایعی که درون تونل تخلیه می‌شود حداقل باشد. بهتر است وسایل مناسب کنترل و محدودکننده جریان، نصب شود. توصیه می‌شود

1 - Brine

2 - Liquid Nitrogen

3 - Cryogenic Liquid

برای تشخیص نشت، در نزدیکی سامانه انجاماد و هرگونه لوله‌های انجاماد درون تونل، تجهیزات پایش جوی نصب شود. هرگونه گاز سردی که به بیرون نشت می‌کند، تمایل دارد در گودال‌هایی جمع شود و بهتر است سامانه پایش این مکان‌ها را در نظر داشته باشد.

بهتر است نیتروژن خروجی از اگزوژن ماشین‌ها از طریق یک دودکش در سطح تخلیه شود و هنگام جانمایی دودکش، جهت غالب باد در نظر گرفته شود. بهتر است دودکش دور از مناطق کاری و مرزها قرار داده شود.
یادآوری ۱- ممکن است به سامانه تهویه اضافی نیاز باشد.

یادآوری ۲- ممکن است برای پراکنده کردن نیتروژن سرد از اطراف پایه دودکش در روزهای آرام، به بادبزن‌هایی نیاز باشد.

بهتر است قبل از حفاری در نزدیکی یک لوله انجاماد، ارزیابی ریسک انجام شود. بهتر است ذخیره‌سازی بخش عمده‌ای از نیتروژن مایع در یک منطقه سطحی حفاظت شده در برابر ترافیک، انجام شود. به دلیل این‌که احتمالاً مقدار زیادی مایع سرمaza مورد نیاز است، بهتر است ریسک‌های ناشی از حمل و نقل آن بر روی نیروی کار و بر روی عموم مردم، و ذخیره‌سازی آن در محل، به دقت مورد ارزیابی قرار داده شود.

۷-۱۱-۷ تزریق زمین

عمل‌آوری زمین جلوی تونل با سیمان یا مواد شیمیایی می‌تواند موجب افزایش ایمنی، به ویژه در حفاری با سینه کار باز شود. این کار به‌طور مستقیم، و آب‌بندی کردن آب، یا تقویت لایه‌های بالاسری یا زمین اطراف، به‌طور غیرمستقیم موجب بهبود ویژگی‌های زمینی می‌شود که بهتر است حفاری شود.

طراحی یک سامانه و الگوی تزریق مناسب برای شرایط خاص بسیار تخصصی بوده و بهتر است در این مورد مشورت‌های تخصصی گرفته شود. لازم به ذکر است که اگر وجود شن یا ماسه در سینه کار تونل انتظار می‌رود، به‌خصوص اگر دارای آب باشند، می‌توان با تزریق مخلوط روان‌ملات مناسب نفوذپذیری آن را تا حد زیادی کاهش داد، قدرت چسبندگی را افزایش داد، و اگر از تحت شرایط هوای فشرده حفر می‌شود، می‌تواند الزامات هوا را تا حد زیادی کاهش دهد. توصیه می‌شود انتخاب مخلوط ملات و فاصله‌داری و الگوی چال‌های تزریق تا حد زیادی بر اساس اندازه دانه هر طبقه (مثلاً روان‌ملات سیمان به جز در شن‌های دانه‌درشت، در سایر موارد مسافت دوری را طی نمی‌کند یا آن گونه که انتظار می‌رود موثر نیست) تعیین شود. بهتر است روان‌ملات‌های ریز پیشرونده با گرانروی پایین در خاک‌های ریز استفاده شوند. مشکل‌تر از همه، سیلت‌ها هستند که به‌طور معمول تنها با استفاده از تزریق حمایت شده^۱ در شکستگی‌ها، عمل‌آوری می‌شوند.
یادآوری - خاک رس‌ها را نمی‌توان با تزریق نفوذی عمل‌آوری کرد.

۱- تزریق حمایت شده در شکستگی‌ها (Claquage) شامل اعمال یک فشار کم به مخلوط دوغاب غلیظ، برای ایجاد شبکه‌ای از شکستگی‌ها که عمدتاً در امتداد شکستگی‌های از قبل موجود، به وجود می‌آیند.

نفوذپذیری زمین به ندرت ثابت است و امکان مواجهه با قسمت‌های عمل‌آوری نشده زمین، هرگز نباید نادیده گرفته شود. بهتر است هنگام طراحی روان‌ملات، کیفیت آب زیرزمینی در نظر گرفته شود.

جایی که سنگ شکاف‌دار بهتر است عمل‌آوری شود، ممکن است تعیین موقعیت و عمل‌آوری همه شکاف به‌طور قابل توجهی مشکل باشد، به ویژه اگر برخی از آن‌ها با باطله یا خاک رس نرم پر شده باشد، بنابراین بهتر است عمل‌آوری زمین پیش رو با روان‌ملات‌ریزی مورد بررسی قرار گیرد.

یادآوری ۱- این کار می‌تواند از سطح زمین، از یک تونل آزمایشی یا از طریق سینه‌کار تونل در طی ساخت اجرا شود.

یادآوری ۲- هنگامی که در تونل از هوای فشرده استفاده می‌شود، ممکن است در حین تزریق روان‌ملات به اطراف پاشیده شود.

یادآوری ۳- جایی که خمیره بیش از حد ریز زمین مانع نفوذ تزریق می‌شود، یا جایی که انتخاب یک روش تزریق جایگزین نیاز است، تزریق فشاری^۱ (توده‌سازی زمین با استفاده از تزریق سیمان) می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

توصیه می‌شود برای اجتناب از فشار بیش از حدی که ممکن است موجب جابجایی زمین و آسیب سازه‌ای شود، اقدام‌های کنترلی و کاهشی انجام شود.

بهتر است ریسک‌های سمی و زیستمحیطی ناشی از روان‌ملات‌های شیمیایی در نظر گرفته شود. بهتر است در تمام موارد، خواص شیمیایی روان‌ملات استفاده شده بررسی شود و ریسک‌های ناشی از جابجایی دستی مواد در طی و پس از مخلوط کردن، شامل ریسک‌های ناشی از لوله‌کشی و لوله‌های پلاستیکی ترکیده، بررسی شود.

با توجه به سمیت برخی از روان‌ملات‌ها، توصیه می‌شود اقدام‌های احتیاطی دقیق مانند لباس‌های محافظه و امکانات شستشوی کامل آن‌ها فراهم شود. توصیه می‌شود مراقب بود که تزریق درون فضای محدود شده تونل، به ویژه در یک تونل پیشاہنگ کوچک، ممکن است ریسک ابتلا به مسمومیت افزایش یابد. بهتر است برای جلوگیری از آلدگی و آسیب در سطح زمین ناشی از نشت و تخلیه زباله، تمهیداتی نیز در نظر گرفته شود. بهتر است تمهیدات جمع‌آوری و دفع زباله از قبل ساخته شوند و توسط همه مقامات مربوطه تایید شوند. برای پیشگیری از آلدگی آب‌های زیرزمینی نیز توصیه می‌شود، تمهیدات مشابهی با مسئولیت مقامات ساخته شود.

۷-۱۱-۳ آب‌کشی

برای تونل‌های کم‌عمق در ماسه‌ها و شن‌های آبدار، زمین را می‌توان با استفاده از چاهه‌ای زهکش نقطه‌ای پایدار کرد.

در تونل‌های عمیق‌تر، افت بیش‌تر سطح آب با استفاده از چاه‌های عمیق و پمپ‌های شناور به دست می‌آید. توصیه می‌شود از سست شدن خاک جلوگیری شود.

خطرهای اصلی که در هنگام نصب و استفاده از این سامانه‌ها بهتر است در نظر گرفته شوند، شامل نشست سطحی ناشی از کاهش سطح آب و شکست سامانه آب‌کشی، در هنگام حفر تونل، هستند.

بهتر است سامانه آبکشی با بهترین تجهیزات و دستگاه‌های موجود راهاندازی شود، در صورت امکان بهتر است دو سامانه آبکشی دوم موجود باشد و سامانه لوله‌کشی سطحی در برابر آسیب احتمالی محافظت شود.

نشست ناشی از آبکشی ممکن است بر اموال شخص ثالث تاثیر گذارد و باعث صدمه و آسیب به او شود، بنابراین بهتر است توصیه‌های زیر در نظر گرفته شوند.

- استفاده از یک فشار سنج برای پایش سطح آب زیرزمینی.

- ساخت چاه تغذیه برای ثابت نگهداشتن سطح آب‌های زیرزمینی در مجاورت سازه‌های حساس.

- نصب و راهاندازی دیوارهای برشی برای محافظت از پی‌های حساس.

یادآوری - توجه داشته باشید دلایل ذکر شده باعث می‌شود زمین به شرایط ناپایدار سابق خود برگشته و ممکن است سست‌شدنگی سریع و گسترده زمین را به دنبال داشته باشد.

۷-۱۱-۴ خارج کردن از زیر فشار

لازم به ذکر است که در تونلی که با روش حفاری سنتی در خاک رس حفر می‌شود، احتمال ریسک ناپایداری وجود دارد، اما این ریسک نزدیک به فصل مشترک مواد دانه‌ای است که در آن فشار آرتزین وجود دارد. بهتر است مواد دانه‌ای از زیر فشار خارج شوند.

یادآوری - خارج شدن از زیر فشار ممکن است با پمپاژ آب از گمانه یا چاه‌های آبکشی نقطه‌ای، حاصل شود.

۷-۱۲-۱ گالری‌های پیشروی کوچک و تونل‌های کوچک

۷-۱۲-۲ کلیات

برای گالری‌های پیشروی و تونل‌های کوچک به دستورالعمل طراحان PJA/BTS/HSE مراجعه شود [۱۸]. با توجه به فضای بسیار محدود در گالری‌ها و تونل‌های کوچک، بعضی خطرها شدت می‌یابند، چنین پروژه‌هایی اغلب در فضا، زمان و منابع بسیار محدود هستند، بهتر است سامانه‌های طراحی شده برای پروژه‌های بزرگ در این پروژه‌ها اجرا نشود. بهتر است کسانی که در چنین شرایطی کار می‌کنند، با خطرهای این نوع کار آشنا بوده و برای انتخاب روش مناسب اجرا، قبل از شروع کار یک ارزیابی ریسک انجام شود.

۲-۱۲-۷ تونل‌سازی با حفاری دستی دارای لاینینگ سگمنتی بدون سپر

گاهی اوقات حفاری تونل‌ها یا اتاق‌ها و ساخت سگمنت‌های پیش‌ساخته چدنی یا بتُنی بدون استفاده از سپر انجام می‌شود. به طور کلی، روش حفر تمام مقطع تونل در زمین نرم و بدون استفاده از سپر، به صورت حفاری از پیشانی بالا رو به پایین و ایمن کردن سقف و سینه کار به محض نمایان شدن آن است. سینه کار به صورت گام‌ها یا پله‌هایی درآورده می‌شود. در زمین محکم‌تر ممکن است حفاری عمودی رو به پایین با چوب‌بست‌کاری کم یا بدون چوب‌بست‌کاری، روشی ایمن باشد.

هنگام تدوین و اجرای روش‌ها کاری برای حفاری تونل، حمل و نقل و نصب لاینینگ سگمنتی، بهتر است به هرگونه ریسک سلامت و ایمنی قابل پیش‌بینی توجه ویژه‌ای شود.

قبل از بررسی حفاری دستی، اینکه با توجه به حفاری دست، بهتر است به دستورالعمل طراحان PJA/BTS HSE مراجعه شود و بهتر است از دستورالعمل ارایه شده در اسناد پیروی شود [۱۸].

۳-۱۲-۷ گالری‌های چوب‌بست‌کاری شده

به طور معمول گالری‌های چوب‌بست‌کاری شده، برای کاربرد موقت بوده و ارتفاع حداقل $1,2\text{m}$ و عرض حداقل 1m دارند. توصیه می‌شود از بالاترین استانداردهای مهارت در چوب‌بست‌کاری و پرکردن پس از آن، استفاده شود. بهتر است اندازه چوب‌بست مورد استفاده متناسب با نوع خاک و اندازه گالری باشد و برای نگهداری زمین اطراف آن، طراحی شود. توصیه می‌شود از هیچ چوب‌بست با ضخامت کمتر از 38mm برای چوب‌بست‌کاری استفاده نشود.

توصیه می‌شود تمام چوب‌بست‌ها برای نقص‌هایی که مقاومت را کاهش می‌دهد، مورد بررسی قرار داده شوند. بهتر است تمام مواد مورد نیاز گالری به آسانی در دستریس و نزدیک به سینه کار عملیاتی باشند. توصیه می‌شود توجه ویژه‌ای به مسیر ریل، حفظ فاصله بین واگن‌ها و چوب‌بست‌کاری نگهداری، معطوف شود.

یادآوری - توجه داشته باشید به منظور اکتشاف زمین جلوی تونل اصلی، یا برای انجام عملیاتی مانند لوله‌کشی یا برای فراهم کردن دسترسی بین دو نقطه، گالری‌های چوب‌بست‌کاری شده حفاری شوند. هیچ لاینینگ دائمی برای این گالری‌ها مورد نیاز نیست، زیرا این‌ها یا پر می‌شوند یا بخشی از تونل اصلی خواهند شد. ریسک تخریب یا نشست بیش از حد در سایر روش‌های ساخت تونل بیش‌تر از ریسک تحریب در گالری‌های چوب‌بست‌کاری شده کوچک است.

۴-۱۲-۷ پر کردن

بهتر است گالری‌های کوچک، با بتُن پر شده و سپس روان‌ملات‌ریزی شوند.

۷-۱۲-۵ نجات و فرار

در گالری‌ها و تونل‌های کوچک، افراد نمی‌تواند درست راه بروند و تنها می‌توانند به سختی از کنار یکدیگر عبور کنند؛ در نتیجه، به طور عادی فقط یک نفر می‌تواند سینه‌کار را حفاری کند، اگرچه بهتر است همیشه نفر دومی وجود داشته باشد.

به خاطر این‌که خدمات عمومی اضطراری ممکن است برای ورود به گالری‌ها و تونل‌های کوچک آماده نباشد، بهتر است در صورت تصادف، جراحت، بیماری، تخریب سینه‌کار تونل، توقف یا از خط خارج شدن لوکوموتیو، یا آتش‌سوزی، برای نجات و خروج کارگران سینه‌کار تمهیدات ویژه‌ای در محل وجود داشته باشد.

۷-۱۲-۶ تهویه^۱

در صورت کم بودن تهویه یا عدم گردش طبیعی هوا، و در تونل‌های کم‌عمق عبوری از زمین متغیر یا تونل‌هایی که از درون یا نزدیک زمین دارای مواد آلی یا دارای سایر آلودگی‌ها (که می‌تواند فضای تونل را آلوده کنند) عبور می‌کنند، تهویه می‌تواند مسئله مشکل‌سازی باشد. بهتر است بهمنظور محدود کردن نفوذ آلودگی‌ها و برای تامین هوای تازه در سینه‌کار، سامانه تهویه اجباری مورد استفاده قرار گیرد. یادآوری - با توجه به کمبود فضا، استفاده از سامانه‌های تهویه کم‌حجم، فشار بالا و دارای کاهنده صدا در نقطه تخلیه (برای کنترل انتشار سروصدای)، می‌تواند مناسب باشد.

۷-۱۳ تونل‌های پیشاهنگ

برای تهییه اطلاعات دقیق از شرایط زمین مانند رژیم آب‌های زیرزمینی، تونل‌های پیشاهنگ ساخته می‌شود. بهتر است از این نوع تونل‌ها هنگام پیش‌روی تونل‌های سنتی بزرگ مقطع در زمین نرم، استفاده شود (۷-۱۶). بهتر است لاینینگ تونل پیشاهنگ بر اساس تسهیل اجرای ایمن و حفاری متعاقب آن، طراحی شود.

۷-۱۴-۱ لوله‌رانی^۲ و جعبه‌رانی^۳

۷-۱۴-۱ لوله‌رانی

لوله‌رانی سامانه‌ای است که در آن لوله‌ها یا سازه‌های مشابه آن (برای جعبه‌رانی بندهای ۸-۳-۴ و ۵-۳-۸ را ببینید) در درون زمین هل داده می‌شوند و مصالح حفاری شده؛ از طریق خط لوله از سینه‌کار برداشته می‌شود. لوله‌ها در گودال چاه لوله‌رانی وارد شده و با استفاده از جک، کل آن‌ها را به سمت جلو هل می‌دهند.

1 - Ventilation

2 - Pipe Jacking

3 - Box Jacking

بهتر است بارهای هل دهنده زیادی که برای حرکت لوله‌ها به سمت جلو مورد نیاز هستند، توسط یک تکیه‌گاه یا دیوار فشاری دارای طراحی و ساخت مناسب درون چاه عملیاتی، تقویت شوند. توصیه می‌شود بازوهای هیدرولیکی و هر حلقه پخش کننده بار، بلوک‌ها یا بسته‌های فاصله دهنده به دقت محکم شوند و همراه با کلیه سطوح بارگذاری شده دقیقاً به طور عمود بر راستای فشار اعمالی، قرار گیرند. توصیه می‌شود تا آن جا که ممکن است، در طی بارگذاری هل دهنده، افراد از مجاورت تجهیزات تحت فشار بالا، دور شده و محافظت شوند. بهتر است لوله‌ای هیدرولیکی و به ویژه شلنگ‌های انعطاف‌پذیر، به درستی در برابر خرد شدن و آسیب ضربه‌ای محافظت شوند.

یادآوری ۱- برای اطلاعات در مورد لوله‌رانی، (مقدمه‌ای بر لوله‌رانی و طراحی ریزتونل^۱) [۱۹] و (دستورالعمل بهترین عملیات برای نصب و راهاندازی جک‌های لوله) [۲۰]، باید مشاهده شود.

یادآوری ۲- استفاده از روان‌کننده‌های تزریقی در سرتاسر لوله‌ها یا دیوارهای سازه‌ای بر روی سطوح لغزنه، کمک می‌کند که بارهای هل دهنده کمتری نیاز باشد.

اگر روان‌کننده‌ها تحت فشار بالا تزریق می‌شوند، بهتر است از وسایل محافظ چشم استفاده شود. هنگام لوله‌رانی در خاک سست یا آبدار، بهتر است برای حفظ اینمی سینه کار از دستگاه حفاری تونل دوغایی یا متعادل‌کننده فشار زمین استفاده شود. هنگام لوله‌رانی در خاک رس حساس، توصیه می‌شود روش‌های انتخاب شده، هرگونه جابجایی خاک در اثر ورود لوله‌ها و امکان بالازدگی یا نشست سطح زمین، را مورد بررسی قرار دهن. هنگام لوله‌رانی زیر ریلهای راه آهن، رودخانه‌ها، کانال‌ها، سایر مسیرهای آبی و سازه‌های حساس، تمہیدات ویژه‌ای در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود برای همه افراد درون چاه لوله‌رانی پناهگاه تعییه شود، یا در بخشی از خط لوله تکمیل شده یا در جای دیگر حفاظت شود و برای یافتن پناهگاه هنگام کم بودن لوله‌ها، به آن‌ها آموزش داده شود.

یادآوری- برای انجام حفاری بدون این‌که هیچ کسی به داخل تونل ورود شود، می‌توان از ماشین‌های حفاری تونل با کنترل از راه دور استفاده کرد.

۷-۱۴-۲ جعبه‌رانی

جعبه‌رانی در اصول اساسی مشابه لوله‌رانی است. تفاوت عمدی آن با سامانه لوله‌رانی در استفاده از سامانه جعبه‌رانی در سطح مقطع عرضی بزرگ، واحدهای جعبه بتن مسلح مربع یا مستطیل شکل با دیواره ضخیم به جای لوله‌های دایره‌ای است که اغلب در مورد لاینینگ بالای جعبه و طول نسبتاً کوتاه ساختار کل جعبه، محدودیت وجود دارد. کاربرد معمولی سامانه جعبه‌رانی، برای ایجاد یک دهانه از درون خاکریز اطراف ریل-

های راه آهن برای عبور یک جاده جدید خواهد بود. مقاله نوشته شده توسط آقایان Ropkins و Allenby در مور تونل سازی با جعبه رانی را ببینید [۲۱]. توصیه می شود اقدام های احتیاطی برای جعبه رانی، مشابه به موارد لوله رانی انجام شود. با توجه به این که سامانه جعبه رانی اغلب در لاینینگ های کم عمق زیر پیه های موجود انجام می شود، بهتر است برای کنترل جابجایی های عمودی و افقی زمین اطراف جعبه، تمهیداتی اندیشیده شود، به طوری که جابجایی لایه های بالاسری یا پیه های مجاور به حداقل رسانده شود و در محدوده قابل قبولی نگه داشته شود. به طور معمول این کار با استفاده از یک سپر دهلیز بندي شده در سینه کار انجام می شود، به طوری که بتوان از درون دهلیز های آن حفاری مکانیکی را انجام داد.

توصیه می شود پایداری سینه کار تامین شود و سیستم زمین با استفاده از فنون تونل سازی سپری تشریح شده در بند ۷-۶-۱، کنترل شود. جایی که لاینینگ جعبه کم عمق است، بهتر است برای به حداقل رساندن اختشاش در لایه های بالاسری و در نتیجه جلوگیری از هرگونه اختلال ممکن برای پیه های سطحی، از یک سامانه ضد کشش^۱ استفاده شود. برای حداقل کردن جابجایی زمین ناشی از کشیدن و جلوگیری از اختلال ممکن در پیه های سطحی، بهتر است از یک سامانه ضد کشش، در ترکیب با یک روان کننده مناسب مانند بنتونیت، هم در بالا و هم در پایین جعبه، استفاده شود.

یادآوری - توجه داشته باشید این سامانه ضد کشش، نیروهای کششی و بارهای وارد بر جعبه را کاهش می دهد، در حالی که به صورت همزمان به کنترل چیدمان عمودی در محدوده رواداری های قابل قبول، کمک می کند.

توصیه می شود برای اطمینان از این که سازه ای که هل داده می شود در اثر بیش بارگذاری موضعی دچار آسیب نشده و مسیر و تراز آن حفظ شده است، کنترل دقیقی بر عملیات راندن انجام شود. بهتر است برای تسهیل تونل سازی در زمین ضعیف، مانند آن چه در عملیات تونل سازی سپر باز انجام می شود، استفاده از روش های به سازی زمین مانند آبکشی، تزریق یا انجماد زمین به کار برده شود. هنگام راندن جعبه از درون یک خاکریز، بهتر است برای جلوگیری از تنش زایی در طی مراحل نهایی راندن جعبه، با احداث سکوهای موقت در سمت خروجی خاکریز، آن را تقویت کرد. هنگامی که جعبه به موضع نهایی خود رانده شده است، بهتر است برای حداقل کردن نشست زمین، فصل مشترک جعبه / زمین روان ملات ریزی شود.

۱۵-۷ آماده کننده های خاک و روان کننده ها

برای اصلاح زمین به منظور نگهداری سینه کار در شرایط زمین ناپایدار، کاهش نیروهای لوله رانی (بند ۷-۱۴-۱ را ببینید) و به منظور بهبود ویژگی های مواد حفاری شده برای حمل و نقل از سینه کار به سطح

۱- هنگام راندن جعبه ها در زمین، جعبه تمایل دارد خاک اطراف دیواره بیرونی خود را همراه با خود حرکت دهد، این سامانه برای کاهش اصطکاک بین دیواره بیرونی جعبه و خاک اطراف است (Anti-Drag System).

زمین، به طور فزاینده از ترکیب‌هایی مانند بنتونیت‌ها، پلیمرها و کف‌ها استفاده می‌شود. این مواد در مجموع به عنوان سامانه‌های آماده‌کننده خاک شناخته می‌شوند. برخی از این مواد هنگام آماده‌سازی و/یا استفاده از آن‌ها، برای سلامت خطرناک هستند (جدول ۳ را ببینید). مصرف بسیاری از این مواد، خطرهایی را به دنبال دارد. بهتر است هنگام تعیین روش مناسب مصرف مواد آماده‌کننده، به منظور حداقل کردن ریسک‌های وارد بر محیط‌زیست و عموم مردم، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مخلوط خاک/آماده‌کننده مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. توصیه می‌شود برای هرگونه خطرهای تهدیدکننده سلامتی ناشی از استفاده از این ترکیب‌ها، ارزیابی ریسک فرآیند تونل‌سازی در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود از برگه‌های اطلاعات ایمنی تولیدکنندگان، که در مورد حمل و نقل و تجهیزات حفاظتی شخصی توصیه‌هایی ارایه می‌دهد، پیروی شود. ترکیب‌های مورد استفاده به عنوان سامانه‌های آماده‌کننده خاک در جدول ۳ ارایه شده‌اند. این فهرست نباید به عنوان یک فهرست جامع در نظر گرفته شود. به طور مستمر مواد جدیدی معرفی می‌شوند و برای اطلاعات مربوط به ترکیب آن‌ها، خطرها و استفاده ایمن از آن‌ها، به مراجع تهیه شده توسط کارخانه سازنده مراجعه شود.

۱۶-۷ کنترل نشت-تونل‌سازی مکانیزه

در تونل‌های حفاری شده توسط ماشین‌های حفاری تونل، (بند ۴-۶-۷ را ببینید)، بهتر است حجم خاک حفاری شده به ازای نرخ پیشروی حجمی، بر اساس یک روال روزانه به بیرون هدایت شود. توصیه می‌شود پیمانکار یک سامانه پایش، بر طیف گسترده‌ای از پارامترهایی که می‌تواند بیش‌حفاری^۱ در حال وقوع را هشدار دهنده، مستقر نماید. علاوه بر این بهتر است یک سری حدود برای این پارامترها در نظر گرفته شود که، اگر از این حد تجاوز کرد، باعث توقف حفاری تونل تا زمانی شود، که مشخص شود بیش‌حفاری اتفاق نیافتداده است. بهتر است پایش مستمر این پارامترها در طی حفاری، به طور جداگانه از عملیات ماشین حفاری تونل انجام شود. توصیه می‌شود سامانه تزریق روان‌ملاط نیز، تحت پایش این سامانه قرار گیرد.

یادآوری ۱- استفاده از هوای فشرده یا حفظ فشار بالای سینه‌کار می‌تواند در کنترل جابجایی زمین سینه‌کار مفید باشد. در سپرهای باز (بندهای ۱-۶-۷ و ۲-۶-۷ را ببینید)، بهتر است بازرسی دیداری از بیش‌حفاری‌ها انجام شود.

یادآوری ۲- می‌توان با کنترل دقیق، افت سینه‌کار حدود ۵٪ را به دست آورد، اما به طور معمول ۱٪ افت سینه‌کار، در فرآیند طراحی مجاز می‌باشد.

یادآوری ۳- باید به گزارش تهیه شده انجمن تونل انگلستان در مورد کار کردن در سینه‌کار بسته مراجعه شود [۲۲].

یادآوری ۴- همچنین گزارش واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست در مورد (ریسک ناشی از تونل‌سازی در زمین نرم برای اشخاص ثالث) را ببینید [۲۳].

جدول ۳- آماده‌کننده‌های خاک

مواد	ترکیب‌های اصلی	کاربرد	خطر
بنتوئیت	سدیم، پتاسیم، کلسیم، مونتموریلونیت	بهصورت روان ملات در سپرهای روان - ملاتی و برای اصلاح خاک در سپرهای متعادل کننده فشار زمین یا بهعنوان نگهداری زمین و روان‌کننده محیط اطراف لوله‌های رانده شده و در ماشین - های حفاری تونل	گردوغبار قابل تنفس در حالت خشک لغزنه هنگام مرطوب بودن محرك پوست
پلیمرها	مصنوعی: پلی‌آکیلامیدها، پلی‌آکریلیت - طبیعی: نشاسته، گوار	مواد افزودنی به بنتوئیت برای بهبود گرانروی، بهعنوان روان‌کننده ها، سلولز کاربوکسی‌متیل	بهطور کلی غیرسمی در نظر گرفته می - شود، اما بهتر است برگه‌های اطلاعات ایمنی برای خطرهای خاص و اقدام‌های کنترلی مربوطه مطالعه شوند لغزنه هنگام مرطوب بودن
کفها و عامل‌های کفساز	کف‌های مصنوعی شامل: شوینده‌های مصنوعی، کف گلیکول اتر، فلوروکربن کف‌های پروتئینی شامل: عامل‌های کفساز پروتئینی ، کف بر پایه گلیکول، تقویت - کننده	برای اصلاح خاک‌ها بهمنظور بهبود خصوصیات حمل و نقل	سمی، محرك بهتر است برگه‌های اطلاعات ایمنی خطرهای خاص و اقدام‌های کنترلی مربوطه مطالعه شوند
ساير مواد	گلیکول هگزیلن اتیلن گلیکول اتر سود سوزآور آهک سیمان فسفات	حلال بهعنوان کف استفاده می‌شود حلال بهعنوان کف استفاده می‌شود با افزایش PH برای استفاده در آماده - سازی امکان اصلاح کنندگی برای بهبود خصوصیات در حالت مصرف لیگنوسلوفونات‌ها، ترکیب‌های متفرق کننده‌ها، رقیق کننده‌ها در روان - ملات بنتوئیت	سمی، محرك بهتر است برگه‌های اطلاعات ایمنی مطالعه شوند سمی، محرك بهتر است برگه‌های اطلاعات ایمنی مطالعه شوند بهتر است برگه‌های اطلاعات ایمنی خطرهای خاص و اقدام‌های کنترلی مربوطه مطالعه شوند

۱۷-۷ روان‌ملات‌ریزی ترمیمی

اگر عملیات روان‌ملات‌ریزی ترمیمی و/یا روان‌ملات‌ریزی نفوذی انجام می‌شود، بهتر است اثرات بارگذاری چنین روان‌ملات‌ریزی در لاینینگ‌های اولیه و ثانویه تونل بر روی پایداری سینه کار و بر روی سازه‌ها و تاسیسات مجاور، در طی طراحی و ساخت تونل در نظر گرفته شوند.

یادآوری - روان‌ملات‌ریزی ترمیمی عملیاتی است که در آن برای ترمیم سست‌شدگی زمین ناشی از عملیات تونل‌سازی، روان‌ملات درون لایه‌های بالاسری تونل تزریق می‌شود.

بهتر است روان‌ملات‌ریزی ترمیمی در فاصله حداقل سه متری از سینه کار یا لاینینگ تونل در حال ساخت انجام شود، مگر این‌که برای چنین روان‌ملات‌ریزی تمهدیات خاصی ایجاد شده باشد. هنگام تعیین گستردگی ناحیه ممنوعه، بهتر است حدود مجاز برای انحراف طبیعی لوله‌های روان‌ملات از مسیر و تراز آن در نظر گرفته شود.

بهتر است روان‌ملات‌ریزی شکستگی‌های ناخواسته در زمین ایجاد نکند.

۱۸-۷ طاق‌های لوله‌ای^۱ و میخ‌کوبی^۲

توصیه می‌شود استفاده از طاق‌های لوله‌ای و میخ‌کوبی برای کنترل نشست یا نگهداری زمین، منجر به تشکیل صفحات ضعیف در زمین بالای تونل نشود.

۸ نگهداری دائمی^۳

۱-۸ کلیات

اکثر تونل‌ها به بعضی اشکال نگهداری دائمی زمین نیاز دارند. فرآیند نگهداری دائمی زمین ممکن است شامل نگهداری اولیه موقت باشد که به دنبال آن لاینینگ ثانویه دائمی اجرا شده است، یا شامل لاینینگ اولیه باشد که به صورت دائمی زمین را نگهداری می‌کند. بعضی تونل‌ها برای بهبود عملکردشان دارای یک لاینینگ غیرسازه‌ای هستند. پیچ‌سنگ‌ها، مهارهای سنگ و داول‌ها می‌توانند به عنوان قسمتی از سامانه نگهداری دائمی استفاده شوند. در مرحله طراحی لاینینگ تونل، بهتر است اطلاعات در دسترس و بررسی‌ها، به‌گونه‌ای که در بند ۵ توصیف شده‌اند، در نظر گرفته شوند.

1 - Pipe Arches

2 - Spiles

3 - Permanent Support

توصیه می‌شود طراحی تونل بر اساس روشی باشد که ایمنی شرایط زمین را در نظر گیرد؛ سایر روش‌هایی که ممکن است توسط پیمانکار استفاده شود باید ایمنی یکسانی با روش طراحی شده داشته باشد.

توصیه می‌شود سامانه نگهداری، مطابق با بارگذاری زمین و فشار هیدروستاتیک و بر اساس بارگذاری خارجی و داخلی ناشی از عواملی از قبیل پی‌های مجاور، شمع‌ها، فشار آب و بارهای ترافیک سطحی، طراحی شود. شایان ذکر است که، بارگذاری موقت ممکن است ناشی از انتقال بارهای هلدهنده سپر یا ناشی از به‌کار بردن هوای فشرده باشد (بند ۱۱ را ببینید). برای این‌که اجزا سازه‌ای بدون آسیب دیدن در محل قرار گیرند، بهتر است الزامات حمل و نقل آن‌ها به عنوان بخشی از فرآیند طراحی مورد بررسی قرار گیرد.

یادآوری - ممکن است نیاز باشد هم ترازی افقی و عمودی تونل مورد بررسی قرار گیرد و تعدادی از روش‌های ساخت در دسترس باشند.

۲-۸ لاینینگ‌های برجا

۱-۲-۸ لاینینگ‌های اولیه

ممکن است قاب‌های دارای لارده یا سایر سامانه‌ها، به عنوان بخشی از لاینینگ برجای دائمی به کار برده شوند. اگر از این‌ها استفاده می‌شود، توصیه می‌شود در صورت امکان همراه با پشت‌بندهای اضافی یا تقویت‌کننده‌ها، به طرز مناسبی ساخته شوند، بهتر است از ساخت این‌ها، با چوب نرم فرآوری نشده اجتناب شود. یادآوری - عموماً لاینینگ‌های برجای اولیه، به صورت لاینینگ بتن پاششی اجرا می‌شوند.

۲-۲-۸ لاینینگ ثانویه

لاینینگ ثانویه برجا به دو صورت بتن‌ریزی در قالب‌بندی یا پاشش بر روی سطح داخلی تونل انجام می‌شود. بهتر است عملیات تولید، بتن‌ریزی و تراکم بتن به خوبی رعایت شود، به گونه‌ای که دوام آن را افزایش دهد و نگهداری و ریسک‌های مرتبط با چنین کاری را کاهش دهد.

توصیه می‌شود بتن مطابق با مراجع [۸۲] و [۸۳]، طراحی، تولید، حمل و آزمون شود.

توصیه می‌شود قالب به گونه‌ای ساخته شود که بتواند در طول تونل حرکت کرده و مورد استفاده مجدد قرار گیرد. بهتر است قالب برای تحمل بارهای اعمال شده از سوی بتن مرطوب و فرآیندهای جابجایی، مقاومت و سختی کافی داشته باشد؛ به خاطر این‌که مقاومت و سختی ناکافی قالب می‌تواند منجر به ایجاد مشکلاتی در ساخت لاینینگ‌های بتنی برجا و در نتیجه شرایط برنامه‌ریزی نشده و ذاتاً خطرناک و کیفیت پایین لاینینگ،

شود. توصیه می‌شود قالبی که توسط دست نصب می‌شود، برای جابجایی آسان، تا حد امکان سبک ساخته شود.

بهتر است نازل تخلیه به درستی محکم شده و محافظت شود و برای جلوگیری از حرکات شلاقی لوله‌ها هنگام ترکیدن یک لوله در طی بتونریزی، همه اتصالات لوله‌کشی محکم شوند.
یادآوری- تجهیزات به کار رفته برای انباشته کردن بتون در پشت قالب، ممکن است شامل یک پمپ بتون باشد.

در عملیات بتون‌پاشی، منطقه خطرناک گسترده‌تر است، زیرا بدون قالب‌بندی اجرا می‌شود. بهتر است برای کاهش قرارگیری در معرض مواد خطرناک، فنون پاشش با کنترل از راه دور بررسی شوند (بند ۱۰-۷ را ببینید).

۳-۸ لاینینگ‌های پیش‌ساخته

۱-۳-۸ کلیات

از لاینینگ‌های پیش‌ساخته عموماً برای تونل‌های با مقطع دایره‌ای و گاهی برای تونل‌های با مقطع بیضوی و سایر مقاطع استفاده می‌شود.

این نوع لاینینگ را می‌توان تحت سه دسته مورد بررسی قرار داد.

الف- پیچ شده یا سایر سامانه‌های سازه‌ای صلب که خودپایدار هستند و برای تکمیل سامانه نگهداری، بهتر است روان‌ملات یا سایر مواد در پشت آن تزریق شود.

ب- سامانه‌های اببساطی که یک نیروی جانبی را بر زمین وارد می‌کنند، بنابراین یک نگهداری فوری را در زمین اعمال می‌کنند. این سامانه‌ها ممکن است با یا بدون پیچ‌ها نصب شوند.

ج- لوله‌رانی (بند ۴-۳-۸ را ببینید).

۲-۳-۸ سگمنت‌ها

لاینینگ‌های سگمنتی شامل تعدادی از واحدها (سگمنت‌ها) هستند که یک حلقه را تشکیل می‌دهند. این واحدها به طور معمول از چدن یا بتون پیش‌ساخته هستند، اما فولاد یا سایر مواد نیز می‌تواند استفاده شود. ماهیت سگمنتی واحدها به این دلیل است که با تجهیزات معمولی سازگار باشند و بهتر است برای حمل و نقل و نصب موثر و ایمن خود، دستگاه‌های ویژه‌ای تهیه شود. به منظور حمل و نقل ایمن در تمام مراحل، بهتر است سگمنت‌های دارای سوراخ یا اتصالات مناسب تهیه شوند. توصیه می‌شود اتصالات سریع آزاد^۱، مانند

بلندکننده‌های سگمنت (انگشتی‌ها)، تنها جایی به کار گرفته شوند که طراحی آن‌ها مانع جابجایی تصادفی بار می‌شود.

توصیه می‌شود بلند کردن، حمل و نقل، جابجایی، انبارش و نصب واحدها به عنوان بخشی از فرآیند طراحی سگمنت در نظر گرفته شود. بهتر است از تجهیزات ضعیف و تعمیر شده برای جابجایی سگمنت‌ها استفاده نشود.

یادآوری- بلند کردن پنوماتیکی (مکشی) می‌تواند به عنوان یک راه حل جایگزین در نظر گرفته شود که موجب صرفه‌جویی در نیاز به ایجاد سوراخ‌ها و نقاط تمرکز بارگذاری در سگمنت‌ها شود.

هنگام بررسی طول حلقه، طراح بهتر است آگاه باشند که عرض موجود بین ستون‌های چهارچوب جرثقیل دروازه‌ای به گونه‌ای باشد که سگمنت‌ها بتوانند از آن عبور کنند، نیاز به ایجاد دسترسی در امتداد سمت بیرونی جرثقیل دروازه‌ای، مطابق با الزامات استاندارد بند ۷۱-۲، محدود شود.

یادآوری- هنگام قرار داشتن در انبار سگمنت، ملاحظات مشابه در مورد دسترسی در امتداد طول سگمنت‌ها نیز اعمال شود.

بهتر است سگمنت‌ها ترجیحاً بر روی سطح زمین انباشته شوند، به‌طوری که ثبات داشته باشند، دچار آسیب احتمالی نشوند و از واژگونی سگمنت‌های منفرد جلوگیری شود. بهتر است پشته سگمنت‌ها بر روی سطح زمین به گونه‌ای چیده شوند که بارگذاری اضافی ناشی از حفاری تونل یا بیش‌بارگذاری زمین بر روی تکیه‌گاه آن‌ها، تحمیل نشود. بهتر است پشته‌های سگمنت‌ها برای تسهیل حمل و نقل ایمن طراحی شده، قرار گرفته و ساخته شوند و اطمینان حاصل شود که هیچ بار بیش از اندازه و غیر قابل قبولی بر سگمنت‌های منفرد درون یک پشته، که ممکن است باعث تغییرشکل یا ترک خوردن واحدهای منفرد شود، تحمیل نمی‌شود.

۳-۸ حمل و نقل و نصب

بهتر است برای انتقال سگمنت از انبار سطحی به نقطه نصب، یک سامانه ایمن کاری به کار برد شود.

بهتر است یک وسیله حمل مناسب یا واگن با شکل خاص تهیه شود، به‌طوری که بارها در حین انتقال دچار تغییرشکل نشوند. بهتر است سگمنت‌ها در طی حمل و نقل یا نصب در معرض بارهای غیرطبیعی، که ممکن است موجب تاثیر مخرب بر مقاومت طراحی‌شان به عنوان بخشی از لاینینگ دائمی شود، قرار نگیرند.

بهتر است در صورت عملیاتی بودن، سامانه نصب و انتقال سگمنت تهیه شود، اما تمهدیات جابجایی در سینه‌کار می‌تواند بعضًا شامل جابجایی دستی، حداقل در هدایت واحدها به موقعیت‌شان، باشد. انواع مختلف نصب‌کننده سگمنت وجود دارد، که به‌طور معمول بر روی سپر نصب شده‌اند (بند ۶-۷ را ببینید).

توصیه می‌شود در تمام موارد، روش جابجایی و نصب سگمنت‌ها به دقت برنامه‌ریزی شود و پرسنل نصب برای درک روش از نقاط خطر به درستی آموزش داده شوند، و دیگران دور از ناحیه کاری نگه داشته شوند. بهتر است برای همه بارهای بیش از ۲۵ کیلوگرم، از جابجایی دستی کمک گرفته شود.

توصیه می‌شود کاربر تعیین شده برای نصب‌کننده یا جرثقیل نصب سگمنت، در جایی قرار گیرد که دید واضح و روشنی از کل عملیات داشته باشد.

یادآوری ۱ - در تونل، سگمنت‌ها به‌طور عادی در واگن‌ها حمل و نقل می‌شوند.

یادآوری ۲ - در تونل با قطر کوچک، جایی که سگمنت‌ها به جابجایی دستی نیاز دارند، لوله‌رانی می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

یادآوری ۳ - کاربر نصب‌کننده ممکن است، نقاط کنترل جایگزینی برای کنترل از راه دور نصب‌کننده ایجاد کند. اگر دید واضح و روشنی حاصل نشود، ممکن است استفاده از دوربین مدار بسته لازم باشد.

بهتر است بر نیروی فشاری بازوی هل دهنده، به عنوان تنها وسیله نگهدارنده سگمنت‌ها تکیه نشود. توصیه می‌شود کلیه سگمنت‌هایی که ممکن است سقوط کنند، با استفاده از پیچ و مهره یا میله‌های ساختمانی، به‌طور مثبت نگهداری شوند. جایی که کمک دست لازم نیست، بهتر است برای ایجاد یک مکان ایمن کاری و مسیر دسترسی ایمن، جرثقیل‌های دروازه‌ای نصب شود.

نصب لاینینگ، یک عملیات خطرناک است. بهتر است الزامات استاندارد بند ۷۱-۲ به کار گرفته شود.

۴-۳-۸ لوله‌رانی و جعبه‌رانی

۱-۴-۳-۸ لوله‌رانی

بهتر است لوله‌های بتی برای لوله‌رانی حداقل مطابقت با استاندارد بند ۳۹-۲ را داشته باشند، اما بهتر است طوری طراحی شوند که در صورت لزوم الزامات دشوارتر برای بارهای بارهای تحمیلی را برآورده کنند. توصیه می‌شود برای این‌که نیروهای هل دهنده بدون صدمه زدن به اتصالات در امتداد خط لوله منتقل شوند، لوله‌های استاندارد طراحی شوند. بهتر است مفاصل به‌گونه‌ای طراحی شوند که انعطاف‌پذیری لازم برای نصب خط لوله و برای انطباق با جابجایی‌های آتی زمین، را داشته باشند. همچنین بهتر است اتصالات دارای درجه بالایی از ضدآب بودن، تهیه شوند. توصیه می‌شود بارهای طراحی شامل بارهای ناشی از جابجایی و قرار دادن واحدها باشد. بهتر است نقاطی برای بلند کردن اجسام ایجاد شود.

یادآوری ۱ - هرگونه نشت جزئی ممکن است با درزبندی یا سایر روش‌های مجاز تایید شده، درزگیری شود. لوله‌های منطبق با استاندارد بند ۳۹-۲ در طیف وسیعی از طول‌ها، قطرها و نیم‌رخ‌های اتصال، تولید می‌شوند.

یادآوری ۲ - واحدهای پیش‌ساخته بتی مربع و مستطیل برای راندن، معمولاً کالاهایی سفارشی هستند.

۲-۴-۳-۸ جعبه‌رانی

بهتر است جعبه‌های بتنی برای جعبه‌رانی حداقل مطابقت با استاندارد بند ۶۸-۲ را داشته باشند، اما بهتر است طوری طراحی شوند که در صورت لزوم، الزامات دشوارتر برای بارهای تحمیلی را برآورده کنند. توصیه می‌شود جعبه‌ها طوری طراحی شوند که نیروهای هل دهنده در امتداد خط مسیر جعبه‌ها و از طریق ایستگاههای هل دهنده (در صورت استفاده)، بدون ایجاد تنفس و صدمه زدن به اتصالات، به جعبه‌ها منتقل شوند. اگر از ایستگاههای هل دهنده استفاده می‌شود، بهتر است این‌ها به گونه‌ای طراحی شوند که انعطاف‌پذیری لازم برای نصب جعبه و برای اनطباق با جابجایی‌های آتی زمین، را داشته باشند.

یادآوری- جفت‌کردن با استفاده از چدن‌ریزی، روشی موثر برای اطمینان از سازگاری بین سطوح مفاصل مجاور هم است.

بهتر است مفاصل دارای درجه بالایی از ضدآب بودن، تهیه شوند. بهتر است هرگونه نشت جزئی با درزبندی یا سایر روش‌های مجاز تایید شده، درزگیری شود.

توصیه می‌شود بارهای طراحی دربرگیرنده بارهای ناشی از جابجایی و قرار دادن واحدها باشد. بهتر است نقاطی برای بلند کردن اجسام ایجاد شود.

۵-۳-۸ روان‌ملات‌ریزی پشت لاینینگ

بهتر است لاینینگ‌های پیچ‌شده بهمنظور اطمینان از استحکام سازه‌ای، نگهداری شوند. توصیه می‌شود لاینینگ و زمین در تماس کامل و یکنواخت با هم باشند. در مواردی که زمین سریعاً جابجا می‌شود، و اجتناب از نشت موضوع مهمی است، بهتر است (به محض عملیاتی بودن) برای پر کردن تمام حفره‌ها، روان‌ملات تحت فشار کافی تزریق شود.

یادآوری- در برخی ماشین‌های حفاری تونل، روان‌ملات را می‌توان از طریق لوله‌های تعییه شده در عقبه دستگاه، تزریق کرد و بدین ترتیب امکان پرکردن حفره‌های خالی همزمان با پیشرفت ماشین را فراهم کرد.

بهتر است در مورد فشار تزریق توسط یک مهندس با تجربه و پس از بررسی موارد زیر تصمیم‌گیری شود:

- عمق روباره؛
- حضور سازه‌ها یا تأسیسات زیرزمینی.

بهتر است نازل تزریق با استفاده از یک اتصال پیچ‌ومهره‌ای یا غلاف لاستیکی انساطی به درستی به لاینینگ وصل شود.

توصیه می‌شود از ابتدا جایگزینی مواد دارای خطرهای کم‌تر، مورد بررسی قرار گیرد.
بهتر است افراد آموزش داده شوند، و به لباس‌های محافظه برای پوشیدن و برای چشم، و در صورت لزوم
محافظه دستگاه تنفسی، مججهز باشند.

یادآوری ۱ - هنگامی که روان‌ملات تازه مخلوط شده و تحت فشار است، به ویژه در نقطه تزریق، ممکن است نشت رخ دهد.
یادآوری ۲ - در شرایط خاص، ممکن است دو مرحله پرکردن موثر باشد، هنگامی که سپر هل داده می‌شود، شن نخودی^۱ به-
منظور ایجاد نگهدار فوری تزریق می‌شود و سپس در یک زمان مناسب، حفره‌های شن با سیمان یا روان‌ملات‌های مشابه روان-
ملات‌ریزی می‌شوند.

یادآوری ۳ - اکثر مخلوطهای روان‌ملاتی، حاوی مواد خطرناکی هستند که می‌تواند بر پوست و چشم‌ها تاثیر بگذارد. برخی از
مخلوطهای روان‌ملات‌ریزی موجود، برای محیط‌زیست خطرناک هستند.

۴-۸ ساخت دهانه

جایی که برای تونل یک دهانه مورد نیاز است و این دهانه بزرگ‌تر از نصف قطر تونل اصلی است، ترجیح داده
می‌شود که ابتدا تونل کامل ساخته شود و متعاقباً دهانه آن ساخته شود (بند ۵-۲۰ را ببینید). در تونل‌سازی
مکانیزه، بهتر است طراح تونل با تعیین مجموعه‌ای از دهانه‌ها یا راهکارهای ویژه، ساخت دهانه را تسهیل
کند.

بهتر است نگهداری موقت مناسب و کافی برای تحمل کل بار تخمینی (شامل بار وارد بر حلقه‌های تشکیل
دهنده چهارچوب دهانه)، ابتدا طراحی شده و سپس در جای خود نصب و محکم شود. بهتر است ضرورتاً
تجربه گستردگی این نوع کار، هم در مورد طراحی و هم برای اجرای آن در نظر گرفته شود. بهتر است تماس و
جفت‌شدنگی کاملی بین اعضای موقت و کارهای دائمی ایجاد شود و کلیه تیرهای نگهدارنده با استفاده از
گوهها و بستهای چوبی سخت یا فولادی، به‌طور ایمن محکم شوند.

۵-۸ پایش بارها و تغییرشکل‌ها

۵-۸-۱ کلیات

در سراسر مرحله ساخت یک تونل یا در حین بهره‌برداری، نوسازی یا تعمیر و در شرایطی که جابجایی یا
نشست زمین حساسیت ویژه‌ای دارد، توصیه می‌شود بازرسی‌های متناوب لاینینگ نهایی توسط یک مهندس
آشنا با نوع کار انجام شود. بهتر است لاینینگ‌های تکمیل شده برای هر نوع نشست و تغییرشکل مورد
بررسی قرار گیرند، ترک‌ها تحت نظارت باشند و جزئیات آن‌ها ثبت شده و علت ترک‌خوردگی تعیین شود.

بهتر است نشت آب یا خاک دانه‌ریز ثبت شود و شل‌شدنگی پیچ‌ومهره‌ها و اتصالات روان‌ملات‌ریزی و سوراخ-های خالی ناشی از روان‌ملات، تعیین شده و یادداشت شود.

یادآوری ۱ - پایش حرکت زمین اطراف تونل، بار ساخت بر روی لاینینگ و تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی می‌تواند به شناسایی زودهنگام مشکلات، کمک کند.

یادآوری ۲ - نشست سطحی و نزدیک پی سازه‌های مجاور یا ساختمان به‌طور جدی می‌تواند بر امنیت آن‌ها و احتمالاً بر این‌منی تونل تأثیر بگذارد.

جایی که تونل جدید یا پی در حال ساخت نزدیک به تونل‌های موجود یا سایر سازه‌های زیرزمینی وجود دارد، بهتر است سازه‌های موجود برای هر جابجایی درون ناحیه تاثیر، به‌طور منظم مورد بازررسی و نظارت قرار گیرند.

یادآوری - جایی که تونل در زمین نرم و در عمق محدود قرار دارد، برخی از نشستهای بالای حفاری تونل تقریباً اجتناب ناپذیر هستند، اما به‌طور معمول می‌توان با استفاده از روش‌ها و فنون خاص، نشست را کاهش داد. نشست افتراقی (تفاضلی) بین قسمت‌های مختلف سازه یا ساختمان می‌تواند موجب آسیب ساختاری شود.

توصیه می‌شود بررسی‌های روزانه سازه‌هایی که در محدوده تاثیر عملیات قرار دارند شامل عکس‌برداری، بازررسی و یادداشت ترک‌ها و عیوب قبلی، در طی و بعد از تونل‌سازی، همراه با نقشه‌برداری دقیق بر اساس نقاط مرجع خارج از ناحیه جابجایی، باشد.

یادآوری - در موارد خاصی که سازه حساسیت ویژه‌ای به نشست دارد، ممکن است نظارت بیشتری با استفاده از انحراف‌سنجهای و کرنش‌سنجهای درون گمانه یا درون شمع، برای شناسایی و اندازه‌گیری جابجایی زمین اطراف آن ساختار لازم باشد. جایی که روان‌ملات‌ریزی ترمیمی انجام می‌شود، برای معلوم کردن این که آیا تزریق موجب بارگذاری اضافی بر روی تونل می‌شود یا جابجایی بر آن تحمیل می‌کند، ممکن است پایش تونل لازم باشد.

۲-۵-۸ چاه‌های مایل^۱ و چاه‌های پله برقی^۲

بهتر است برای به حداقل رساندن خطرهای ناشی از شیب تند، در مورد جلوگیری از حرکت ناخواسته دستگاه‌ها و تجهیزات به صورت بر عکس روی شیب، توجه ویژه‌ای معطوف شود.

یادآوری - با توجه به زاویه شیب ایجاد شده در مسیرهای پله برقی، آن‌ها را همواره به عنوان چاه، به جای تونل افقی طبقه‌بندی می‌کنند. با این حال، حفاری، نگهداری زمین و سامانه‌های حمل و نقل، همه تمایل به پیروی از عملیات تونل‌سازی دارند.

1 - Inclined Shafts

2 - Escalator Shafts

در صورت امکان، بهتر است حفاری از یک سکوی افقی انجام شود. بهتر است طراحی سامانه‌های نگهداری سینه‌کار و مراحل دسترسی به آن، به طور ویژه‌ای بررسی شود که انتقال بارهای سینه‌کار به طرز صحیح انجام شود. بهتر است توضیح روش، و آموزش کامل پرسنل، در دهانه چاه ارایه شود.

در صورت امکان بهتر است چاه به سمت پایین شیب حفاری شود. اگر، برای آغاز مرحله ساخت، چاه باید به سمت بالا ساخته شود، به طور ایده‌آل بهتر است به منظور ایجاد یک سامانه حمل و نقل، قبل از بزرگ کردن چاه از پایین به بالا، یک چاه پیشاهنگ حفر شود.

بهتر است مسیرهای بالارو به گونه‌ای برنامه‌ریزی شوند که ریسک ریزش زمین به یک طرف، را به حداقل برسانند. بهتر است سامانه‌های حمل و نقل در مسیرهای بالارو، به انواع سامانه‌های هوایی (مونوریل^۱) محدود شوند، که ممکن است طناب، محفظه یا عوامل اصطکاکی باشند.

بهتر است فنون پیشروی بسیار دقیق مورد استفاده قرار گیرند، به صورتی که ویژگی‌های ایمنی مورد نیاز برای همگام شدن با سینه‌کار در حال حرکت چاه، ساخته و ایجاد شوند.

بهتر است دسترسی پرسنل توسط پله یا پیاده‌روهای دارای کف‌های اصطکاکی نگهدارنده^۲، باشد.

۹ مدیریت آب زیرزمینی

۱-۹ کنترل آب زیرزمینی

۱-۱-۹ کلیات

بهتر است حضور آب در ساخت و بهره‌برداری تونل مورد تحلیل قرار گیرد. در آیین‌نامه رایج انتقال آب، بهتر است احتمال وقوع سیلاب در نظر گرفته شود. کنترل سیلاب فرآیندی بسیار تخصصی بوده و بهتر است در این زمین مشاوره تخصصی گرفته شود (برای جزیيات بیشتر در مورد سیلاب و اقدام‌های احتیاطی که بهتر است در نظر گرفته شوند، بند ۱۰ را ببینید).

یادآوری ۱- جریان آب زیرزمینی قabilت شستن مواد دانه‌ریز سست را دارد، بنابراین می‌تواند ویژگی‌های مقاومتی زمین را تغییر داده و پایداری حفریه را تحت تاثیر قرار دهد. جایی که حجم زیادی آب وجود دارد (مانند زمین‌های اشباع، تونل‌سازی زیر سطح ایستابی یا در جایی که احتمال مواجهه با آب تحت فشار آرتزین وجود دارد)، هر جریانی ممکن است از طریق کاهش مقاومت برشی، باز کردن مجرأ یا ایجاد حفرات در داخل زمین، تونل را ناپایدار کند. سست شدن زمین ممکن است باعث نشست سطحی یا زیرسطحی به همراه خسارت‌های زیاد به ساختمان‌ها، سازه‌ها و تاسیسات زیرزمینی شود.

یادآوری ۲- آب ممکن است برخی مواقع، شکستگی‌ها و درزهای سنگ را شسته و در نتیجه موجب افزایش جریان آب شود. جریان آب در پشت چاه یا لاینینگ تونل می‌تواند با ایجاد حفراتی، باعث وقوع خطرهایی شود.

1 - Monorail
2 - Gripper Battens

یادآوری ۳- ایجاد فشار آب ممکن است موجب دگرشكلى لاینینگ تونل شود. این موضوع بهطور معمول در تونل‌هایی که نگهداری آن‌ها توسط لاینینگ آجری اجرا شده، مشکل ایجاد می‌کند.

در طی حفاری، بهتر است آب داخل زمین در اطراف چاه یا تونل با یکی از روش‌های زیر مدیریت شود:

الف- آبکشی زمین اطراف چاه یا تونل از خارج تونل (از سطح زمین)؛

ب- آبکشی زمین در قسمت پایین چاه یا سینه‌کار تونل از داخل؛

ج- ممانعت از ورود آب با استفاده از عملآوری زمین، استفاده از هوای فشرده، یا استفاده از ماشین‌های حفاری تونل سینه‌کار بسته و لاینینگ‌های عایق‌بندی شده؛

د- با اجازه دادن به ورود کنترل شده جریان آب به داخل تونل.

بهتر است برای جلوگیری از حضور آب در چاه یا تونل به دلیل ایجاد شرایط کاری نایمن و همچنین به منظور جلوگیری از تغییر رژیم سطح ایستابی آب به دلیل ایجاد مشکل در جای دیگر، تمهیداتی انجام شود. **یادآوری**- روش‌های مدیریت آب در بندهای ۱-۹، ۲-۱-۹، ۳-۱-۹، ۴-۱-۹، ۵-۱-۹، ۶-۱-۹ و ۷-۱-۹ و ۸-۱-۹ بیان شده است.

۲-۱-۹ آبکشی از بیرون

سطح آب زیرزمینی با زهکشی خارج از چاه و تونل، پایین آورده می‌شود. این کار به‌وسیله چاهه‌های عمیق، چاههای آبکشی نقطه‌ای از سطح زمین، یا به‌وسیله چاله‌های زهکش در چاه یا گودال و در صورت امکان در ترکیب با گالری‌های زهکشی، حاصل می‌شود. اگر ذخایر محلی آب به خوبی تعیین شده باشند، می‌توان یک دیوار آببند درون لایه نفوذناپذیر ساخت.

بهتر است سامانه به‌گونه‌ای طراحی شود که از بالاًمدگی کف چاه یا تونل جلوگیری کند. توصیه می‌شود پیامدهای نشست، سست شدن خاک ریزدانه و خالی شدن سفره‌های آبدار مورد بررسی قرار گیرند.

۳-۱-۹ لاینینگ نفوذناپذیر

درجایی که تونل با سینه‌کار باز، با استفاده از یک لایه ظاهرآ نفوذناپذیر از زمین حاوی آب جدا می‌شود، بهتر است ضخامت و قابلیت این لایه اطراف حفاری تعیین شود. این کار با کاوش در زمین جلوی سینه‌کار یا استفاده از سایر سامانه‌های مناسب، امکان‌پذیر است. در صورتی که احتمال وقوع شکاف در لایه نفوذناپذیر وجود داشته باشد، توصیه می‌شود برای کنترل جریان احتمالی، اقدام‌های احتیاطی در نظر گرفته شود. بهتر است چال‌های اکتشافی به‌طور ایمن درزبندی شوند.

۴-۱-۹ انجاماد زمین^۱

بهتر است سطح آب زیرزمینی با استفاده از عملیات انجاماد، ثابت نگه داشته شود.
یادآوری - جزیيات اين روش ويزه در بند ۱-۱۳-۷ ارایه شده است.

۵-۱-۹ عملآوری زمین^۲

بهتر است سطح آب زیرزمینی با کاهش نفوذپذیری زمین با استفاده از فنون بهسازی زمین، کنترل شود.

۶-۱-۹ ماشین‌های دوغابی^۳ و متعادل‌کننده فشار زمین

توصیه می‌شود در ماشین‌های دوغابی و متعادل‌کننده فشار زمین (بند ۶-۷ را ببینید)، با استفاده از یک دهليز یا دیواره تحت فشار، از ورود آب به تونل ممانعت شود.

۷-۱-۹ هوای فشرده

توصیه می‌شود آب با استفاده از هوای فشرده کنترل شود (برای جزیيات بیشتر بند ۱۱ را ببینید).

۸-۱-۹ جريان درونی کنترل شده^۴

جايی که جريان آب کم است، ممکن است ترجیح داده شود به جای ممانعت از ورود آب، جريان آب در درون تونل کنترل شود. در یک تونل سینه‌کار باز، برای پایین بردن سطح آب زیرزمینی، می‌توان از زهکش مدفون^۵ زیر سطح کف استفاده کرد. می‌توان برای جلوگیری از ایجاد فشار، جريان‌های آب از درون لاینینگ تونل لوله‌کشی شوند. در نهايٰت، چنین جريان‌های لوله‌کشی شده را می‌توان درزبندی کرده و سپس پشت آن را روان‌ملات‌ریزی کرد، یا می‌توان آن‌ها را بر اساس شرایط موجود، به عنوان جريان درونی آب دائمی پذيرفت.

قبل از درزبندی جريان درونی، بهتر است مسیرهای جريان آب و مسیرهای نيازمند به روان‌ملات‌ریزی بعدی، مورد بررسی قرار داده شوند. توصیه می‌شود روان‌ملات‌ریزی بعدی برای موقعیت خاص طراحی شده و نتایج فشارهای تزریق اعمالی و افزایش مقاومت لاینینگ در نظر گرفته شوند.

1 - Ground Freezing

2 - Ground Treatment

3 - Slurry

4 - Controlled Inflow

5 - Sub-Drain

۲-۹ انتقال آب زیرزمینی

۱-۲-۹ شیب تونل

تونل دارای شرایط مرتبط، بهتر است با شیب صعودی (بالارو) حفاری شود به خاطر این که آب از سینه کار به سمت بیرون جریان یابد. مگر این که تونل خشک باشد یا به شیوه مطلوبی به وسیله بازگشت ثقلی آب به سوی دهانه ورودی، سامانه چالهای جمع‌آوری آب و پمپهایی که نصب می‌شوند، زهکشی شده باشد.

۲-۲-۹ چالهای جمع‌آوری آب

چالهای جمع‌آوری آب، پر از آب می‌شوند و در نتیجه موجب خطر برای افرادی می‌شوند که در تونل راه می‌روند، بنابراین توصیه می‌شود آن‌ها به طور مطمئن پوشانده شوند، علامت‌گذاری شده و مسدود شوند. اگر آن‌ها پوشانده شوند، بهتر است درپوش آن‌ها به صورت مفصلی باشد و به طور معمول بسته نگه داشته شود و یک جای پای امن و بدون شکاف قابل توجه ایجاد شود. بهتر است درپوش طوری محکم شود که هنگام پر شدن چال جمع‌آوری با آب، درپوش روی آب شناور نشود.

۳-۲-۹ ظرفیت پمپاژ^۱

بهتر است در همه چاهها و تونل‌هایی که رسک سیالاب وجود دارد، برای اراضی شرایط غیرطبیعی، یک ظرفیت پمپاژ مناسب و کافی وجود داشته باشد. کلیه تونل‌های شیب‌دار در خطر سیالاب گرفتگی هستند و بهتر است پمپهای آماده به کار در شرایط اضطراری، در دسترس باشد. توصیه می‌شود پمپهای نزدیک به سینه کار، از نوع پمپ شناور باشند زیرا پس از سیالاب، مسیر دسترسی به سینه کار با آب پوشیده می‌شود. یادآوری - برای اطلاع از هشدار خرابی پمپ‌ها، می‌توان هشداردهنده‌های صوتی و/یا تصویری عملیات سوئیچ شناور، در چالهای جمع‌آوری آب نصب کرد.

۴-۲-۹ زهکش‌های مدفون^۲

اگر برای اتصال چالهای جمع‌آوری آب یا کمک به کاهش سطح آب زیرزمینی، از زهکش‌های زیر سطح کف استفاده می‌شود، بهتر است زمانی که دیگر مورد نیاز نیستند آن‌ها را با روان‌ملات‌ریزی پر کرد، مگر این که دلیل خوبی برای عدم انجام این کار وجود داشته باشد.

1 - Pumping Capacity

2 - Subdrains

۵-۲-۹ انتقال آب تحت هوای فشرده

هنگاهی که کار تحت هوای فشرده انجام می‌شود، به طور معمول آب با استفاده از (مکنده) یا دستگاه‌های آبکشی با مکانیزم هوای فشرده از سینه کار خارج می‌شود و با استفاده از هوای فشرده، می‌توان آب و روان‌ملات را از طریق لوله به هوای آزاد هدایت و تخلیه کرد.

۶-۲-۹ آب‌بندی لاینینگ

برای تعیین روش‌هایی که باید برای آب‌بندی چاه یا تونل پایان یافته استفاده شوند، بهتر است ماهیت زمین، فشار آب، روش‌های ساخت، واکنش‌های شیمیایی و جابجایی‌های ناشی از تنفس یا دما، بررسی شوند. توصیه می‌شود با استفاده از لایی‌های درزبندی هیدروفیلیک یا الاستومریک که قبل از نصب در سگمنت‌ها قرار داده می‌شوند، از ورود آب به تونل از درون سگمنت‌ها جلوگیری شود؛ سایر اقدام‌ها شامل موارد زیر هستند:

- روان‌ملات‌ریزی حلقوی؛
- اجرای روان‌ملات آب‌بند اتصالات؛
- تکمیل حلقه پیچ‌ها؛
- درزبندی (بتونه کاری) اتصالات؛
- تعمیر سگمنت‌های ترک خورده.

اگر باید از لایی‌های درزبندی هیدروفیلیک استفاده شود، بهتر است آب زیرزمینی برای میزان شوری که ممکن است بر عملکرد درزگیرها تاثیرگذار باشد، مورد آزمون قرار گیرند. در مورد لاینینگ‌های بتن پاششی یا برجا، بهتر است برای اجازه دادن به عبور آب از درون لاینینگ، در طی بتن‌ریزی لوله‌هایی تعبیه و مدفون شود. توصیه می‌شود پس از آن، جریان درونی و حفرات پشت لاینینگ با روان‌ملات‌ریزی درون لوله‌های تعبیه شده و از طریق چال‌های حفاری شده درون بتن، درزبندی شود.
یادآوری - استفاده از یک غشا نفوذناپذیر می‌تواند به کنترل آب کمک کند.

۱۰ سیلاب گرفتگی^۱

۱-۱۰ کلیات

این بخش دستورالعمل‌هایی در مورد ابزاری که می‌تواند برای مدیریت ریسک سیلاب‌های با حجم زیاد آب، که اغلب در فشار بالا اتفاق می‌افتد، ارایه می‌دهد. مدیریت آب در شرایط عمومی در چاه‌ها و تونل‌ها در بند ۹، و کار در هوای فشرده در بند ۱۱-۶، شرح داده شده است.

بهتر است خطرهای مرتبط با سیلاب در تمام مراحل برنامه‌ریزی، در نظر گرفته شود.
یادآوری- این مراحل عبارتند از تحقیقات اولیه، فرآیند طراحی، توسعه و پیاده‌سازی روش کار و تهیه طرح‌های احتمالی.

در تمام مواردی که ریسک سیلاب وجود دارد، بهتر است راهکارهای برنامه‌ریزی شده برای فرار، همراه با اقدام‌های ایمن‌سازی تونل، فراهم شده باشد.

بهتر است پیاده‌روها تا حد اکثر ارتفاع ممکن بالا ساخته شوند، که فضای باقیمانده اجازه این کار را می‌دهد.
یادآوری- در صورت هرگونه سیلاب، یک ریسک جدی برای افرادی که توسط آب به دام افتاده‌اند، وجود دارد. اگر تونل از انتهای یک چاه آب گرفته، به سمت بالا شیب داشته باشد، ممکن است افراد گیر افتاده و نتوانند فرار کنند. اگر تونل از سمت انتهای چاه به سمت سینه‌کار شیب داشته باشد، آب در سینه‌کار جمع خواهد شد.

۲-۱۰ سیلاب گرفتگی در سینه‌کار

۲-۱۰-۱ شناسایی ریسک

بهتر است وجود چنین ویژگی‌هایی، با مطالعات زمین‌شناسی و ژئوفیزیکی دقیق و حفاری‌های اکتشافی نظاممند، تعیین شود.

یادآوری ۱- بند ۵ و سند (بررسی‌های برجا در ساخت‌وساز) [۹] را ببینید.

یادآوری ۲- در یک تونل سینه‌کار باز که در زیر حجمی از آب یا زیر سطح ایستایی آب حفاری می‌شود، ریسک سیلاب گرفتگی ناشی از، یا همراه با، سست شدن سینه‌کار وجود دارد. هم‌چنین سیلاب ممکن است در اثر شکستگی در گسل‌ها، شکاف‌ها، کanal‌های مدفون^۱، معادن متروک، یا سایر ویژگی‌های زمین‌شناسی که به سفره‌ها و ذخایر آبی زیرزمینی متصل هستند، شروع شود. در سیلاب ممکن است سازه‌های مصنوعی مانند دیوارها یا آب‌گذرها دچار شکست شوند. برای تایید موقعیت ویژگی‌های محلی مانند کanal‌های مدفون، همیشه پیمایش گمانه به تنها‌یی کافی نیست. جایی که احتمال وجود چنین ویژگی‌هایی هست، بهتر است تمهیدات اضافی مانند کاوش‌های پیش‌رو در طی ساخت تونل، انجام شود.

گمانه‌هایی که خوب درزبندی نشده‌اند، ممکن است خطرهایی را در پی داشته باشند. این گمانه‌ها ممکن است بخشی از تحقیقات برجا برای کاری غیر از تونل‌سازی باشند. توصیه می‌شود همیشه پس از استفاده، آن‌ها به‌طور کامل درزبندی شوند، اما بهتر است برای تعیین احتمال حضور چنین گمانه‌هایی تحقیقاتی انجام شود، برای این‌که آن‌ها ممکن است ارزیابی ریسک را تحت تاثیر قرار دهند.

در صورت وقوع سیلاب گرفتگی ناگهانی، بعید است که بتوان اقدام‌های به موقعی برای جلوگیری از جریان یافتن آب انجام داد، و بهتر است برای جهت‌دهی به این امکان، برنامه‌ریزی‌های احتمالی وجود داشته باشد.

اگر این احتمال وجود دارد که جریان رو به عقب آب درون تونل، در زمین‌های اطراف سیلاب ایجاد کند یا موجب به خطر انداختن دارایی‌های شخص ثالث شود، بهتر است برای جلوگیری از وقوع چنین اتفاقی، اقدام‌های احتیاطی انجام شود.

۲-۲-۱۰ اقدام‌های احتیاطی

جایی که ریسک سیلاب گرفتگی در زمین نرم شناسایی شده است، بهتر است از یک ماشین حفاری سینه کار بسته استفاده شود. در سنگ سخت نیز بهتر است از این روش استفاده شود.

بهتر است از دستورالعمل‌ها و توصیه‌های نگهداری زمین، ارایه شده در بند ۲-۷، حتماً در کارهای زیر آب پیروی شود. بهتر است برای جلوگیری از پیشروی جریان درونی آب، به درون جریان آب دیگر یا به درون زمین، تمهیداتی اندیشیده شود.

یادآوری - اگر جریان درونی زمین اتفاق افتد، می‌تواند توده‌ای از مصالح را روی هم انباشته کند و سد ناپایداری ایجاد کند که بدون هشدار دادن، خراب می‌شود.

هنگامی که ریسک هجوم زمین اشباع وجود دارد، بهتر است برای احتیاط، جعبه‌های ماسه‌ای روی سپرهای تونل‌سازی قرار داده شود (بند ۱-۶-۷ را ببینید).

در تونل‌سازی زیر آب، جایی که روباره تونل زیر حجم آب، ناکافی است، توصیه می‌شود به عنوان اقدام‌های احتیاطی یک لایه خاک رس یا سایر مواد نفوذ ناپذیر در سراسر خط مسیر تونل ریخته شود. توصیه می‌شود هدف این باشد که یک بستر نفوذ ناپذیر منسجم بین آب و تونل ایجاد شود.

اگر تونل‌سازی در/یا نزدیک سطح دریا انجام می‌شود، بهتر است جداول جزر و مد، و در صورت امکان، هشدارهای اعلام شده از سوی مقامات محلی و بندرگاه مورد مطالعه قرار گیرند. توصیه می‌شود ابزار اندازه‌گیری جزر و مد نصب شود و در شرایط مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

بهتر است سطح آب رودخانه نیز پایش شود. توصیه می‌شود از قبل، رابطه سطوح آب در محل تونل نسبت به سطح رودخانه و سوابق سیلاب‌ها، مورد مطالعه قرار گیرد. بهتر است برای به دست آوردن هرگونه هشدار سیلاب گرفتگی از مقامات مربوطه، به عنوان مثال سازمان محیط‌زیست، یا از سازمان‌ها یا منابع محلی، مانند نیروگاه‌های انرژی یا کارخانه‌ها، که سطح آب رودخانه را پایش می‌کنند، اقدام‌هایی انجام شود.

جایی که بارش باران، بارش برف، یا آب شدن برف، عامل مهمی در ریسک سیلاب است، بهتر است به طور مرتب پیش‌بینی‌های هواشناسی را نیز به دست آمده و مورد مطالعه قرار داده شوند.

۳-۲-۱۰ محافظت چاه

بهتر است چاه به درستی درپوش‌گذاری^۱ شود و کلیه عملیات بالای دهانه چاه، عملیات درون تونل، بالاتر از بالاترین سطح احتمالی آب سیلاب قرار داده شود. علاوه بر این، توصیه می‌شود دیوارهای محافظ احاطه‌کننده^۲ در سطحی ایمن ساخته شده و نگهداری شوند و در برابر فرسایش محافظت شوند. هنگامی که ضروری است دهانه چاه، پایین‌تر از بالاترین سطح احتمالی سیلاب باشد، بهتر است در برنامه‌ریزی برای چنین دهانه‌هایی، تهیه مصالح و تجهیزات مناسب و ارایه آموزش و دستورالعمل‌های لازم به پرسنل در مورد بستن دهانه در زمان خطر، کنجانده شود. توصیه می‌شود چنین کارهای حفاظتی در مرحله اولیه ساخت چاه انجام شود و تا زمانی که ریسک پابرجا است، این تمهیدات نیز پابرجا باشند (هم‌چنین بند ۶-۲۰ را ببینید).

بهتر است جایی که از یک چاه، عملیات حفاری بیش از یک تونل انجام می‌شود، دیوارهای آببند نصب شوند. با این حال، نصب آن‌ها ممکن است موجب افزایش ریسک برای تجهیزات در بخش‌های عایق‌کاری شود، و بهتر است برای جلوگیری از این اتفاق، روش‌های دقیقی انتخاب شود.

۴-۲-۱۰ اقدام‌های احتیاطی هنگام وقوع سیلاب گرفتگی‌ها

توصیه می‌شود چاه‌ها و تونل‌های در حال کار، به یک سامانه ارتباطی برای هشدارهای سیلاب گرفتگی، مجهز باشند. بهتر است در صورت تهدید شدن چاه با سیل گرفتگی، اقدام‌های فوری زیر انجام شود:

- الف- خروج همه افراد از زیرزمین، در صورت لزوم؛
- ب- بسته شدن همه دهانه‌های در حال کار واقع زیر سطح احتمالی سیلاب، بعد از این‌که همه افراد خارج شدند؛
- ج- تمهیداتی برای پایش مستمر سطح آب، با بازرسی نقاط دارای ریسک؛
- د- تقویت نقاط آسیب‌پذیر، با استفاده از محافظ کیسه شنی^۳ در موقع مناسب؛
- ه- فراهم کردن و راهاندازی استفاده از پمپ‌های اضطراری^۴، در صورت مناسب بودن، یا هر دستگاه آماده به کار دیگر؛
- و- تدارک عایق‌کاری الکتریکی برای کارهای خطرآفرین.

1 - Lined

2 - Surrounding Protective Banks

3 - Sandbag Protection

4 - Emergency Pumps

۳-۱۰ عملیات جبرانی بعد از سیلاب^۱

بهتر است علت وقوع سیلاب مشخص شود و قبل از ورود مجدد به تونل، برای جلوگیری از سیلاب گرفتگی‌های آتی، تمهیداتی در نظر گرفته شود. بهتر است فرآیندهایی که هنگام ورود مجدد در نظر گرفته شود، شامل موارد زیر باشد:

- حصول اطمینان از پایداری سازه‌ای تونل؛
- وجود فضای مناسب برای دستگاه تنفسی و فضای عاری از گازهای قابل انفجار؛
- حصول اطمینان از ایمن بودن دستگاهها و تجهیزات الکتریکی؛
- کلیه تقویتها، چوببستها و نگهداری‌ها در تونل، همراه با پیاده‌روها^۲، پله‌راهها^۳ و حایل‌ها هر چه سریع‌تر قابل کار کردن باشند. توصیه می‌شود این موارد بازرسی شده و ایمن شوند.

بهتر است پس از غوطه‌ور شدن ماشین‌آلات و دستگاهها، هنگام استفاده مجدد، تمام آن‌ها به دقت بازرسی و نگهداری شوند. به خصوص کابل‌ها و تجهیزات الکتریکی، نیاز به مراقبت ویژه‌ای در خشک کردن دارند و بهتر است قبل از استفاده مجدد، مورد آزمون قرار گیرند. اگر خطر جاری شدن سیلاب وجود دارد، توصیه می‌شود برای تامین انرژی در تونل به جای نیروی الکتریکی از انرژی هوای فشرده استفاده شود.

بهتر است خاک رس ترجیحاً پلاستیک و سخت، به جای این‌که با استفاده از یک قیف به صورت یک توده بزرگ در یک‌جا ریخته شود (که ممکن است به طور خطرناکی در زمین اغتشاش ایجاد کند)، با استفاده از چنگک انباسته شود. بهتر است قبل از آغاز عملیات تونل‌سازی در زیر بستر ایجاد شده، زمان کافی برای تحکیم بستر ایجاد شده، داده شود.

یادآوری ۱- در صورت ایجاد شکست تدریجی ناشی از رخنه آب در دیواره تونل، این می‌تواند یک اقدام اصلاحی ممکن باشد.

یادآوری ۲- در بارگذاری ایجاد شده توسط بستر، این مزیت اضافه وجود دارد که اجازه می‌دهد با خیال راحت و به طور ایمن، از فشار هوای بالاتر استفاده کرد.

۴-۱۰ سیلاب گرفتگی تونل از یک چاه یا تونل مجاور

۴-۱۰-۱ شناسایی خطر سیلاب گرفتگی

بهتر است از قبل ریسک سیلاب گرفتگی تونل ناشی از یک چاه دسترسی، سایر گذرگاه یا تونل مجاور، مورد بررسی قرار گیرند.

یادآوری- منشا احتمالی سیلاب، شامل سیلاب رودخانه‌ها، جزر و مد بالای آب یا ترکیدگی لوله‌های آب بالسری یا تضعیف هرگونه کارهای حفاظتی، است.

1 - Remedial Action

2 - Walkways

3 - Stairways

بهتر است خطر جاری شدن سیلاب به عنوان بخشی از طراحی و برنامه‌ریزی پروژه در نظر گرفته شود. در این مورد هیچ خطر فوری برای تخریب سینه کار تونل وجود ندارد، هر چند سیلاب ورودی از یک چاه می‌تواند آسیب‌های جدی به دستگاه حفاری تونل وارد کند و در نهایت به فروپاشی ناقص سینه کار نگهداری شده، منجر شود.

بهتر است دوره‌های زمانی دارای ریسک بالای سیلاب شناسایی شود و منشا ریسک به خصوص در طی این دوره‌ها، پایش شود. اگر تونل‌سازی در/یا نزدیک به سطح دریا انجام می‌شود، بهتر است جداول جزر و مد، و در صورت امکان، هشدارهای اعلام شده از سوی مقامات محلی و بندرگاه مورد مطالعه قرار گیرند. توصیه می‌شود ابزار اندازه‌گیری جزر و مد نصب شود و در شرایط مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

بهتر است سطح آب رودخانه نیز پایش شود. توصیه می‌شود از قبل، رابطه سطوح آب در محل تونل نسبت به سطح رودخانه و سوابق سیلاب‌ها، مورد مطالعه قرار گیرند. بهتر است برای به دست آوردن هرگونه هشدار سیلاب گرفتگی از مقامات مربوطه، به عنوان مثال سازمان محیط‌زیست یا از سازمان‌ها یا منابع محلی، مانند نیروگاه‌های انرژی یا کارخانه‌ها، که سطح آب رودخانه را پایش می‌کنند، اقدام‌هایی انجام شود.

جایی که بارش باران، بارش برف یا آب شدن برف، عامل مهمی در ریسک سیلاب است، بهتر است به طور مرتب پیش‌بینی‌های هواشناسی را نیز به دست آورده و مورد مطالعه قرار داده شوند.

۲-۴-۱۰ محافظت چاه

بهتر است چاه به درستی در پوش‌گذاری شود و همه عملیات بالای دهانه چاه و عملیات درون تونل، بالاتر از بالاترین سطح احتمالی آب سیلاب قرار داده شوند. علاوه بر این، توصیه می‌شود سکوهای محافظ احاطه کننده در سطحی ایمن ساخته شده و نگهداری شوند و در برابر فرسایش محافظت شوند. هنگامی که ضروری است دهانه چاه پایین‌تر از بالاترین سطح احتمالی سیلاب باشد، بهتر است در برنامه‌ریزی برای چنین دهانه‌هایی، تهیه مصالح و تجهیزات مناسب و ارایه آموزش و دستورالعمل‌های لازم به پرسنل، در مورد بستن دهانه در زمان خطر، را در برداشته باشد. توصیه می‌شود چنین کارهای حفاظتی در مرحله اولیه ساخت چاه ایجاد شود و تا زمانی که ریسک پابرجا است، این تمهیدات نیز پابرجا باشند (همچنین بند ۲۰-۶ را ببینید).

بهتر است جایی که از یک چاه، حفاری بیش از یک تونل انجام می‌شود، دیوارهای آب‌بند نصب شوند. با این حال، نصب آن‌ها ممکن است موجب افزایش ریسک برای تجهیزات در بخش‌های عایق‌کاری شود و بهتر است برای جلوگیری از این اتفاق، روش‌های دقیقی انتخاب شود.

۴-۳-۴ اقدام‌های احتیاطی هنگام تهدید سیلاب

توصیه می‌شود چاهها و تونل در حال کار به یک سامانه ارتباطی^۱ برای هشدارهای موثر سیلاب گرفتگی، مجهز باشند. بهتر است در صورت تهدید شدن چاه با سیلاب گرفتگی اقدام‌های فوری زیر انجام شود:

الف- خروج همه افراد از زیرزمین، در صورت لزوم؛

ب- بسته شدن همه دهانه‌های در حال عملیات واقع زیر سطح احتمالی سیلاب، بعد از خروج همه افراد؛

ج- تمھیداتی برای پایش مستمر سطح آب، با بازرگانی نقاط دارای ریسک؛

د- تقویت نقاط آسیب‌پذیر، با استفاده از محافظه کیسه شنی در موقع مناسب؛

ه- فراهم کردن و راهاندازی استفاده از پمپ‌های اضطراری، در صورت مناسب بودن، یا هر دستگاه آماده به کار دیگر؛

ج- تدارک عایق‌کاری الکتریکی برای کارهای مورد تهدید.

۴-۴-۴ راهکار احتیاطی

بهتر است علت وقوع سیلاب مشخص شود، و قبل از ورود مجدد به تونل، برای جلوگیری از سیلاب گرفتگی‌های آتی گام‌هایی در نظر گرفته شود.

فرآیندهایی که هنگام ورود مجدد به تونل بهتر است در نظر گرفته شود، شامل موارد زیر باشد:

- حصول اطمینان از پایداری سازه‌ای تونل؛

- وجود فضای مناسب برای دستگاه تنفسی و فضای عاری از گازهای قابل انفجار؛

- حصول اطمینان از ایمن بودن دستگاهها و تجهیزات الکتریکی؛

- کلیه تقویت‌ها، چوب‌بستها و نگهداری‌ها در تونل، همراه با پیاده‌روها^۲، پله‌راهها^۳ و حایل‌ها هر چه

سریع‌تر قابل کار کردن باشند. توصیه می‌شود این موارد بازرگانی شده و ایمن شوند.

بهتر است پس از غوطه‌ور شدن ماشین‌آلات و دستگاه‌ها، هنگام استفاده مجدد، تمام آن‌ها به دقت بازرگانی و نگهداری شوند. به خصوص کابل‌ها و تجهیزات الکتریکی، نیاز به مراقبت ویژه‌ای در خشک کردن دارند و بهتر است قبل از استفاده مجدد، مورد آزمون قرار گیرند. اگر خطر جاری شدن سیلاب وجود دارد، توصیه می‌شود برای تامین انرژی در تونل به جای نیروی الکتریکی از انرژی هوای فشرده استفاده شود.

1 - Communication System

2 - Walkways

3 - Stairways

۵-۱۰ اقدامهای احتیاطی هنگام حفاری

توصیه می‌شود هنگام حفاری در سینه کار یا لاینینگ تونل، اقدامهای احتیاطی زیر به کار گرفته شود. بهتر است قبل از شروع حفاری، یک ارزیابی ریسک در مورد برخورد با آب، گاز یا موانع شامل مهمات منفجر نشده^۱ انجام شود. در صورت لزوم، بهتر است حفاری از طریق یک جعبه محافظ انجام شود.

۱۱ کار کردن با هوای فشرده

استفاده از هوای فشرده برای مدیریت آب‌های زیرزمینی، بهصورتی که در بند ۱-۹ شرح داده شده است، خطرهایی برای افراد و سازه‌ها ایجاد می‌کند. بهخصوص سلامت افراد، موضوع آیین‌نامه کار در هوای فشرده سال ۱۹۹۶ است [۲]، که ناظر بر کار در هوای فشرده بوده و با سند دستورالعمل L96 همراه است [۲۴]. آین‌ها مربوط به آیین‌نامه و دستورالعمل‌های از این بند به بعد هستند. آیین‌نامه و دستورالعمل‌ها بدین منظور در مرحله ساخت اعمال می‌شوند که لازم است پیمانکار اصلی عملیات کار با هوای فشرده، یک پیمانکار دست دوم تعیین کند که مسئول انطباق عملیات هوای فشرده با تمام جنبه‌های آیین‌نامه باشد و لازم است اطلاعیه‌های قانونی را تهیه کند. کارفرمایان و کارکنان نیز مسئولیت‌های مشخصی دارند.

۱-۱۱ ملاحظات سازه‌ای

۱-۱-۱۱ کلیات

هنگامی که استفاده از هوای فشرده مدنظر است، بهتر است در طی مراحل طراحی و پیمان، خطرهای مربوط به استفاده از هوای فشرده و اینمی آن در رابطه با کارهای مهندسی عمران، همان‌طور که در این بند آمده است، مورد بررسی قرار داده شود.

۲-۱-۱۱ حداکثر فشار کاری

بهتر است فشار استفاده شده در طراحی، بر اساس حداکثر هد آبی که احتمالاً با آن مواجه می‌شویم، باشد. توصیه می‌شود در مورد فشار در پایین‌ترین نقطه حفاری، با در نظر گرفتن هرگونه اضافه هد بالای سطح آزاد آب ناشی از جریان یافتن از زمین بالاتر و اثرات شرایط جزر و مدی، یک برآورد اولیه در مورد فشار مورد نیاز انجام شود.

یادآوری - توجه داشته باشید در شرایط استثنایی، خاک رس‌های حساس ممکن است بهصورت مایع عمل کنند و فشاری که باید محدود شود، در مقایسه با فشاری که باید در برابر آب ایجاد شود، چندین برابر چگالی حجمی خاک رس است.

برای مجاز کردن خطاهای و تغییرات در عملکرد تجهیزات و خطاهای در برآورد اولیه، بهتر است به منظور ایجاد حداقل فشار کاری برای اهداف طراحی، برآورد فشار ۱۰٪ افزایش داده شود.

بهتر است دریچه‌های هوابند و دیواره‌ها، مطابق با استاندارد بند ۶۹-۲ باشند.

یادآوری - برای اطلاعات بیشتر در مورد دریچه‌های هوابند^۱ و دیواره‌ها^۲ به مرجع LS96 مراجعه کنید [۲۵].

۳-۱-۱۱ مقاومت زمین^۳

توانایی زمین برای حفظ فشار هوای درون تونل و/یا چاه می‌تواند فشار مورد استفاده را محدود و کمتر کند. بهتر است این موضوع در تمام مراحل ساخت و ساز، با ارزیابی روباره در تمام قسمت‌های سامانه تونل و/یا چاه تعیین شود. توصیه می‌شود این ارزیابی شامل آزمون کردن باشد.

توصیه می‌شود حتی اگر زمین غوطه‌ور باشد، در محاسبات از وزن مخصوص خشک آن استفاده شود، چرا که عبور هوا موجب خشک کردن زمین می‌شود. در مورد یک تونل، بهتر است نیروی مهارکننده زمین، به صورت وزن ستون عمودی خاک بالای تونل در همان ناحیه در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود مقاومت لاینینگ تونل یا لوله‌ها در عملیات لوله‌رانی، بر اساس توانایی زمین برای مقاومت در برابر ترکیدن ناشی از فشار هوا تعیین نشود (بند ۱-۱۱-۴ را ببینید).

یادآوری - هنگامی که افت مقاومت زمین، حداقل فشار مورد استفاده را محدود می‌کند، سایر روش‌های مدیریت آب زیرزمینی می‌توانند فشار هوای مورد نیاز را کاهش دهند.

۴-۱-۱۱ دیوارهایی برای دریچه هوابند در لاینینگ تونل‌ها

طراحی دیواره‌ها (فولادی یا بتونی) شامل اتصال آن‌ها به لاینینگ تونل می‌شود و بهتر است پایداری لاینینگ در مجاورت آن مورد بررسی قرار گیرد، به خاطر این‌که این‌ها ممکن است تحت تاثیر جابجایی دیواره در اثر تغییرات فشار، قرار گیرند. بهتر است طراحی لاینینگ‌ها به گونه‌ای باشد که اجازه چنین تغییراتی را بدهد.

یادآوری ۱ - در شرایط هیدروستاتیک در آغاز ساخت تونل، همیشه به حداقل فشار کاری تعیین شده مطابق با بند ۱-۱۱-۲ نیازی نیست، به عبارت دیگر ممکن است زمین نتواند آن فشار را حفظ کند.

یادآوری ۲ - هنگامی که دریچه هوابند با استفاده از دیوارهایی درون لاینینگ تونل ساخته می‌شود، این لاینینگ‌ها در معرض تغییرات فشار متناوب قرار می‌گیرند.

1 - Airlocks

2 - Bulkheads

3 - Ground Strength

هنگام طراحی لاینینگ بر اساس حفظ فشار هوا، بهتر است لاینینگ به گونه‌ای طراحی شود که حداقل فشار کاری را تحمل کند، یا هنگامی که نیاز است فشار افزایش داده شود، تمهیداتی برای ساخت دیواره درون لاینینگ بزرگ‌تری در نظر گرفته شود.

۲-۱۱ اثرات فیزیکی فشار هوا

۱-۲-۱۱ تعادل هیدروستاتیک^۱

هنگام کار در روباره کم‌عمق یا کار به سمت فضای آزاد، بهتر است فشار مورد نیاز مورد ارزیابی قرار گیرد، مانند هنگام مواجهه با یک چاه یا تونل در فشار پایین‌تر. به علاوه، شایان ذکر است که حباب‌های هوای محبوس شده در آب می‌تواند موجب برداشت غلط از فشار هوای مورد نیاز، شوند.

یادآوری ۱ - هنگام تونل‌سازی در زمین آبدار، یکی از راه‌های کاهش حجم آب جریان یافته در سینه‌کار، ایجاد یک فشار هوای متعادل‌کننده در تونل است. در هر سینه‌کار تونل، هد آب در کف بیش‌تر از تاج تونل است. اگر فشار هوای خیلی بالایی استفاده شود، هنگام خروج هوای یک مسیر بزرگ شونده در درون لایه‌های زمین باز می‌شود که خطر ترکیدن یا منفجر شدن را افزایش می‌دهد، در نتیجه یک افت ناگهانی و بحرانی در فشار هوا و جریان یافتن خاک و آب به وجود می‌آید. اگر فشار هوای خیلی کمی استفاده شود، به ویژه در قسمت کف، جریان آب افزایش پیدا می‌کند، که منجر به تخریب سینه‌کار می‌شود، مگر این‌که سینه‌کار به‌طور مناسب نگهداری و تقویت شده باشد.

یادآوری ۲ - تعادل هیدرواستاتیکی ذاتا نایدیار است. در یک محیط کاملاً مایع، تعادل غیر ممکن است؛ تعادل تنها زمانی به دست می‌آید که لایه‌ها دارای مقداری چسبندگی بوده و در برابر جریان یافتن آب و هوای مقداری مقاومت داشته باشند. خطر بزرگ‌تر، احتمالاً ناشی از فشار هوای بیش از حد است.

برای به حداقل رساندن فشار هوای مورد استفاده، بهتر است سطح تعادل در حداقل عمق عملیاتی، ثابت نگهداشته شود. در مواردی که یک تونل ساخته شده تحت هوای فشرده، باید به یک چاه، تونل یا سازه‌ای که نمی‌تواند تحت فشار قرار گیرد، متصل شود، بهتر است اقدام‌های ویژه‌ای از قبیل پایدارسازی طبقات آبدار با استفاده از تزریق یا پایین آوردن سطح آب، انجام شود. بهتر است برای راحت‌تر کردن شرایط کاری در سینه‌کار تونل، میزان فشار در سینه‌کار، بدون بررسی کامل اثرات احتمالی آن، افزایش داده نشود.

یادآوری ۱ - در بعضی شرایط ممکن است که تنظیم کردن سطح تعادل در بالای تاج تونل، پذیرفتن شرایط مرتبط در تونل و فراهم کردن نگهداری مناسب سینه‌کار، کاری مناسب باشد. هنگام استفاده از ماشین‌های حفاری تونل با قطر خیلی بزرگ در مناطق با پوشش روباره کم‌عمق، تغییرات زیاد فشار در امتداد سینه‌کار ممکن است خطرناک باشد.

یادآوری ۲ - آیین‌نامه L96 بیان می‌کند که شخص متصدی باید پاسخگوی نقش فردی باشد که مسئول تعیین فشار هوا در محفظه کاری است [۲۴].

۲-۲-۱۱ فشار نگهداری

بهتر است هنگام استفاده از فشار هوا در زمین نفوذناپذیر، یک فشار نگهداری بر زمین اعمال شود؛ در طراحی نگهداری فوری زمین، می‌توان بر این موضوع تکیه کرد، اما بهتر است برای جلوگیری از ناپایداری در موقع افت فشار هوا، تمهیدات پیشگیرانه‌ای در نظر گرفته شود.

جایی که تونل واقعاً در طبقات آب‌دار نباشد، اما امکان ورود و نفوذ به چنین زمین‌های وجود داشته باشد (همانند زمانی که روباره خاک رسی خیلی کم عمق است)، بهتر است هوای فشرده با فشار کم در زمین وارد شود، که در موارد لزوم به سرعت بتوان این فشار را افزایش داد، یا توصیه می‌شود حداقل یک دیواره یا تجهیزات هوای فشرده نصب شود.

۲-۱۱-۳ بارگذاری زمین

زمانی که تونل در زمین بار روباره کم حفر می‌شود، توصیه می‌شود برای کاهش خطر ترکیدن ناشی از فشار هوا^۱، تمهیدات بارگذاری زمین مورد بررسی قرار گیرند.

یادآوری - این مورد می‌تواند شامل ساختن خاکریز کم ضخامت بالای تونل در سطح زمین، یا انباشتن لایه‌ای از مصالح بر روی کف دریا یا بستر رودخانه باشد.

۴-۲-۱۱ پیامد ترکیدن ناشی از فشار هوا

پیامد ترکیدن ناشی از فشار هوا می‌تواند موجب شکست در سینه‌کار تونل یا چاه و آسیب‌های احتمالی به زیرساخت‌های سطحی شود. این موضوع زمانی جدی است که عملیات در محفظه‌های تحت هوای فشرده انجام می‌شود، جایی که افت ناگهانی هوا می‌تواند موجب سیلا布 گرفتگی کامل و سریع محفظه شود.

۵-۲-۱۱ رفتار در زمین غیرچسبنده نفوذپذیر^۲

اگر پیشروی رو به جلو به هر دلیلی قطع یا متوقف شود، بهتر است تمهیداتی در نظر گرفته شود. سیلت‌ها و ماسه‌های ریز هنگامی که مرطوب هستند، دارای مقدار چسبندگی مناسبی هستند، اما بهتر است محتوی رطوبت آن‌ها یادداشت شود.

یادآوری ۱ - جایی که تونل‌سازی در شن و ماسه نفوذپذیر آب‌دار انجام می‌شود، برای کاهش جریان آب و پایدارسازی مصالح، می‌توان از هوای فشرده استفاده کرد. هوا ممکن است در بخش بالایی سینه‌کار فرار کند که باعث می‌شود آب در حفرات بین شن و ماسه جابجا شود و در نتیجه مسیر فرار هوا به صورت پیشروندہ‌ای آزادتر و آسان‌تر می‌شود، به همین خاطر است که حجم بیشتری از هوا باید تامین شود. در همان زمان، آب جریان یافته در بخش پایینی سینه‌کار تمایل دارد که سیلت و ماسه

1 - Blow Out

2 - Permeable Non-Cohesive Ground

سینه کار را با خود حمل کرده و کانال هایی را در سینه کار ایجاد کند که در نتیجه موجب افزایش جریان آب در سینه کار تونل می شود. پیش روی پیوسته سینه کار درون زمین دست نخورده، می تواند با این موضوع مقابله کرده و آن را بی اثر کند، اما هنگامی که شرایط سخت است، توصیه شده است برای درزبندی و جلوگیری از فرار هوا، از چوب بست کاری، خاک رس، بنتونیت، روان ملات یا سایر مصالح استفاده شود.

یادآوری ۲- سیلت ممکن است دچار فروریزش شود در حالی که سیلت مرطوب به صورت سیال، جاری می شود.

بهتر است آب کنترل شود (بند ۱-۹ را ببینید)، اما این کار جایگزینی برای نگهداری نزدیک سینه کار نیست، که بهتر است در هنگام حضور آب ایجاد شود.

یادآوری ۱- خاک رس به طور تقریبی در برابر آب و هوا نفوذناپذیر است، اما ممکن است ترک خورده، بیش از حد نرم، پلاستیک و حساس باشد. بعضی سیلت ها و ماسه های ریز نیز چنان نفوذناپذیری کمی دارند که ممکن است به عنوان مصالح نفوذناپذیر عمل کنند.

یادآوری ۲- در سنگ های نرم از قبیل گچ، می توان برای کنترل ورود آب از درون درزها یا ترک ها از فشار هوا استفاده کرد، اما گاهی برای تکمیل این کار، استفاده از سایر راه های کنترل آب مورد نیاز است. در گچ و به خصوص نزدیک به بالای طبقات، خطر رخ دادن انفجار ناشی از حضور گچ آهکی نرم و ناشی از چال های کم عمق قدیمی پر شده با شن، وجود دارد.

۶-۱۱ افت های هوا

توصیه می شود افت هوا در لاینینگ های سگمنتی، با استفاده از سامانه های آب بندی کاهش داده شود.

یادآوری ۱- در برخی شرایط زمین شناسی، نشت هوا در سینه کار و از درون لاینینگ پشت سینه کار ممکن است بسیار قابل توجه باشد. هوای فرار کرده ممکن است به ساختارهای مجاور خسارت وارد کند و اگر در زیر یک لایه نفوذناپذیر انباسته شود، بالازدگی را به دنبال خواهد داشت. علاوه بر این، عبور هوا و جابجایی آب ممکن است پی ها را ضعیف کند و باعث نشست ستون ها و تداخل با سامانه لوله های زهکشی و زهکش ها شود. افت هوا باید تا کمترین مقدار کاهش داده شود. استفاده از سنجنده های صفحه ای پلاستیکی ضخیم می توانند به عنوان یک اقدام مؤقتی برای جلوگیری از نشت هوا از سینه کار موثر باشد. هم چنین می توان از بنتونیت یا بتون پاششی استفاده کرد. در صورتی که هوای ورودی ناچیز است، ممکن است تهویه ضروری باشد (بند ۳-۱۱).

یادآوری ۲- در برخی موارد در تونل هایی که لاینینگ شاتکریتی دارند، از هوای فشرده استفاده می شود، اما استفاده آن در تونل هایی با لاینینگ سگمنت های فلزی قالب ریزی شده یا بتون پیش ساخته که کاملا نزدیک به سینه کار نصب شده و تمامی ناحیه حفر شده را می پوشاند، دارای محدودیت است.

یادآوری ۳- لایی های درزبند الاستومریک، به خصوص زمانی که با دریچه های روان ملات خود درز گیر استفاده می شوند، می توانند به معنای واقعی نشت را بطرف کنند. به طور کلی مواد آبدوست فقط پس از مواجهه با آب تمیز، موثر بوده و ممکن است در نشت هوای فشرده تاثیر گذار باشند. راه حل موثر در این زمینه، مرطوب کردن لایی درزبند همراه با کاهش فشار هوای فشرده است، در حالی که سینه کار ایمن شده باشد.

برای جلوگیری از نشت، بهتر است لاینینگ با دقت ویژه‌ای ساخته شود که از عدم تخریب سگمنت‌ها، عدم جابجایی لایی‌های درزبندی و اجرای کافی و مناسب روان‌ملاط‌ریزی اطمینان حاصل شود و زمانی که بتوان به درزبندی انجام شده اعتماد کرد، حلقه‌های لاستیکی اطراف پیچ‌ها نصب شود. بهتر است نشت باقیمانده به‌وسیله درزبندی و بندکشی، درزگیری شود.

به‌طور معمول در زمانی که فشار هوا کاهش داده شده است و جابجایی‌ها در لاینینگ اتفاق افتاده است، این اقدام‌ها برای تحمل فشار آب کافی است. هرگونه افت شدید هوا باید بررسی شده و نباید آن را با وارد کردن هوای بیش‌تر جبران کرد.

۷-۲-۱۱ کاهش دادن فشار در اتاقک کاری

بهتر است کاهش فشار به‌صورت تدریجی صورت گیرد تا به هوای محبوس در زمین اطراف اجازه داده شود به بیرون محیط کاری رانده شود (بند ۴-۳-۱۱ را ببینید). شایان ذکر است که کاهش سریع فشار در اتاقک کار ممکن است موجب ایجاد فشار بیرونی باقیمانده بر روی لاینینگ چاه و تونل‌ها شود.

۳-۱۱ حفر چاه (بند ۲۰ را ببینید)

۱-۳-۱۱ کلیات

بهتر است طراحی لاینینگ چاه به‌گونه‌ای باشد که بارهای مورد انتظار ناشی از فشار هوا، زمین و هر سربار دیگر را در نظر بگیرد.

توصیه می‌شود لاینینگ چاه و توزیع سربار به‌گونه‌ای باشد که نیروهای کششی واردہ بر لاینینگ چاه (که توسط بالازدگی قسمت پایین لایه پل هوایی و فشارهای شعاعی ایجاد می‌شود)، را تحمل کند. بهتر است فشار هوای نهایی مورد نیاز، با در نظر گرفتن فشار هوای لازم برای تکمیل ساخت چاه و تونل بعدی (در صورت وجود) باشد. به‌طور خاص این موضوع زمانی مهم است که لایه پل هوایی در نزدیکی سطح زمین قرار گیرد یا فرار هوا از درزهای لاینینگ چاه (و بعداً از لاینینگ تونل) ممکن است نگهداری زمین پشت لاینینگ را تضعیف کند. بنابراین بهتر است لاینینگ دارای مقاومت کافی باشد تا این موضوع تحقق یابد.

یادآوری - زمانی که چاه با هوای فشرده حفر می‌شود، دو وضعیت زیر برای لایه پل هوایی^۱ ممکن است:

الف- در و یا نزدیک به سطح زمین؛

ب- برخی مسیرها در پایین چاه.

زمانی که فشار در چاه تا فشار اتمسفر کاهش داده می‌شود، در وضعیت (الف)، بهتر است لاینینگ زیر لایه پل هوایی، وزن لایه پل هوایی و سربار بالای آن را تحمل کند و در هر دو وضعیت (الف) و (ب)، بهتر است خود لایه پل هوایی، تمام وزن سربار را تحمل کند. در نتیجه توصیه می‌شود لایه پل هوا به زمین متصل شود.

در تمامی موارد، بهتر است بار واردہ بر لایه پل هوا به اندازه‌ای باشد که در حداکثر فشار هوا، از بالازدگی آن جلوگیری شود. بهتر است فرض شود که لاینینگ‌های سگمنتی لبه‌دار^۱ قادر به تحمل نیروهای طولی کششی نیستند و در تمامی موارد تحت نیروهای فشاری قرار گیرند؛ مگر این که اتصال درزها به‌گونه‌ای خاص طراحی شده باشد که چنین نیروهایی را تحمل کند.

بهتر است فقط زمانی که ساختار بالای لایه پل هوایی آب‌بندی شده باشد، از آب به عنوان سربار لایه پل هوا استفاده شود. بر عکس، در موقعیتی که امکان وقوع سیلان در چاه بالای لایه پل هوا وجود دارد، این موضوع باید در طراحی لایه پل هوایی در نظر گرفته شود.

۲-۳-۱۱ پی‌بندی (تقویت پی از زیر)^۲

۱-۲-۳-۱۱ کلیات

زمانی که چاه همراه با پی‌بندی حفر می‌شود، به خصوص در زمین‌های سست، بهتر است برای اطمینان از این که افت زمین پشت لاینینگ با روان‌ملات جایگزین شده باشد، توجه ویژه‌ای شود.

یادآوری - اگر افت زمین کنترل نشود، ممکن است لاینینگ تحت تنش قرار گیرد که باعث ایجاد شکستگی و فرار هوا خواهد شد و ممکن است برای افراد در حال کار در پایین چاه خطرناک باشد.

۲-۲-۳-۱۱ ساخت صندوقه هوا^۳

در طی حفاری صندوقه هوا برای یک چاه، تا زمانی که کار حفاری کامل نشود، امکان روان‌ملات‌ریزی لاینینگ وجود ندارد. برای جلوگیری از افت هوا در اطراف لبه برشی و فرار هوا از درون لاینینگ به داخل فضای حلقوی بنتونیتی پشت آن، بهتر است لبه برشی به صورت مدفون نگهداشته شود یا حداقل در زیر سطح ایستابی باشد و هم‌چنین لاینینگ هوابند برای چاه ساخته شود. بهتر است پایین آمدن صندوقه هوا کنترل شود.

توصیه می‌شود طراحی به‌گونه‌ای باشد که زمین اطراف لبه برشی بتواند وزن صندوقه را تحمل کند.

1 - Flanged Segmental Linings

2 - Underpinning

3 - Caisson Construction

یادآوری ۱- این موضوع، روش حفاری اطراف لبه برشی و نیز میزان نگهداری صندوقه هوا، که در طول حفر لازم است را تعیین می‌کند.

یادآوری ۲- ممکن است بهمنظور حفاری و کنترل جابجایی و کنترل انحراف صندوقه هوا، از سیلندرهای هیدرولیکی استفاده شود. خطرهای ناشی از پایین آمدن کنترل نشده صندوقه هوا و به دنبال آن کاهش فضای کاری، موجب تمرکز فشار زیاد و در خطر افتادن عملیات است.

بهتر است برای این‌که معلوم شود افراد چه زمانی از اتفاق کار خارج شوند، تحلیل ریسک انجام شود. توصیه می‌شود بهمنظور حفاری، اتفاق کاری از زیر فشار خارج نشود، مگر این‌که افراد از آن‌جا تخلیه شده باشد.

یادآوری ۱- در صورتی که صندوقه‌های هوا با توجه به ماهیت‌شان، به‌طور معمول در شرایط مرطوب به‌کار گرفته می‌شوند، خطر سیلان برای پرسنل وجود دارد.

یادآوری ۲- این موضوع ممکن است باعث جابجایی کنترل نشده صندوقه هوا شود.

۴-۱۱ ماشین‌های حفاری تونل و هوای فشرده

۴-۱۱-۱ کلیات

توصیه می‌شود ماشین‌های حفاری تونل استفاده شده در هوای فشرده، برای این هدف مطابق با استاندارد بندهای ۶۹-۲ و ۷۱-۲ طراحی شوند. زمانی که ماشین‌های حفاری تونل طراحی شده برای هوا آزاد، در هوای فشرده مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهتر است اصلاحات لازم برای چنین شرایطی توسط طراح ماشین یا افراد مناسب ذی‌صلاح صورت گیرد (بند ۴-۶-۷).

۲-۴-۱۱ ماشین‌های حفاری تونل دارای محفظه فشار

زمانی که نگهداری در داخل محفظه فشار ماشین‌های حفاری تونل دوغابی انجام می‌شود، بهتر است بهمنظور در نظر گرفتن روش ایمن کاری، از دستورالعمل‌های کارخانه سازنده پیروی شود. توصیه می‌شود در تمامی زمان‌ها ارتباطات مناسبی وجود داشته باشد و بهتر است برای جلوگیری از سردرگمی، افراد داخل ماشین به وسایلی تجهیز شوند. دریچه هوابند اجازه عبور افراد مجرح داخل محفظه فشار را فراهم می‌کند.

دریچه‌های هوابند به‌طور ویژه در برابر آتش‌سوزی آسیب‌پذیر هستند؛ بهمنظور محافظت از این دریچه‌ها بهتر است ملاحظاتی برای فراهم کردن سامانه عایق‌کاری یا سامانه سرمایش آبی، که در موقع آتش‌سوزی هم قادر به کار باشد، در نظر گرفته شود.

یادآوری ۱- استفاده از دیوارهای درزگیری شده در درون سپر، این امکان را فراهم می‌سازد که در طی چرخه ساخت، بدون این که افراد به طور پیوسته تحت فشار قرار گیرند، هوای فشرده در داخل محفظه فشار اعمال شود. مواد زاید به صورت لوله‌کشی دوغابی یا به وسیله نوار نقاله‌های مارپیچی از میان دیوارهای انتقال می‌یابند.

یادآوری ۲- به خاطر این که برای تعمیر و نگهداری‌های دوره‌ای نیاز است که به محفظه فشار این ماشین‌ها دسترسی وجود داشته باشد، به طور معمول آن‌ها با یک دریچه هوابند کوچک برای افراد تجهیز می‌شوند. به دلیل فضای محدود شده موجود، چنین دریچه‌های هوابند مناسب با نوع ماشین ساخته می‌شوند.

یادآوری ۳- برای تونل‌های با قطر کوچک، در برخی موارد به نصب دریچه‌های هوابند موقتی در ورودی یا در داخل تونل نیاز است.

۴-۳-۱۱ ماشین‌های حفاری تونل در اتمسفر تحت فشار

زمانی که تعمیرات در سر جلوی ماشین حفاری تونل انجام می‌شود، بهتر است نگهداری زمین در جلوی کله حفار اجرا شده و جریان آب با استفاده از هوای فشرده در طول کوتاهی از تونل کنترل شود. زمانی که چنین عملیاتی در حال اجرا است، توصیه می‌شود یک ارزیابی در مورد خطرهای احتمالی انجام شده و جزیات روش عملیات به صورت تفضیلی ترسیم شود. به منظور نجات اضطراری از مناطق غیرقابل دسترس، بهتر است طرح‌های عملیاتی در نظر گرفته شود.

یادآوری ۱- جایی که تمام طول تونل تحت فشار باشد، می‌توان تونل را با ماشین حفاری تونل حفر کرد. این موضوع باعث می‌شود مزایای استفاده از هوای فشرده (نگهداری زمین و کنترل آب) با روش حفاری کنترل شده و ایمن ترکیب شوند.

یادآوری ۲- دستورالعمل‌های بیان شده در بندهای ۱-۲-۱۱، ۲-۲-۱۱، ۳-۲-۱۱، ۴-۲-۱۱، ۵-۲-۱۱ و ۷-۲-۱۱ برای کار در سینه‌کارهای باز، به طور یکسان برای ماشین‌های حفاری تونل در این شرایط نیز قابل کاربرد هستند.

۵-۱۱ تامین هوا

۱-۵-۱۱ کیفیت

بهتر است به طور منظم و در فواصل زمانی که توسط قوانین و خطرهای خاص پروژه تعیین شده است، هوای داخل محفظه کاری پایش شود. توصیه می‌شود تجهیزات پایش به کار برده شده در فشار بالاتر از فشار اتمسفر، به دقت انتخاب و مورد استفاده قرار گیرند (پیوست ۲ راهنمای بیانید [۲۵]). بهتر است مانیتورهای الکترونیکی گازی، مطابق با توصیه‌های کارخانه سازنده دوباره واسنجی شده و مطابقت داده شود.

یادآوری ۱- بند ۱۵ را ببینید.

یادآوری ۲- کیفیت هوا را می‌توان در محل ورود آن به داخل فضای کاری یا هر نقطه دیگر در فضای کاری اندازه‌گیری کرد. بر اساس توصیه راهنمای در جایی که هوا تحویل داده می‌شود، تنها ۱۰ درصد حد در معرض قرارگیری کوتاه‌مدت، برای هرگونه

آلودگی مجاز است [۲۵]. این موضوع آلودگی‌های آتی اتمسفر در اثر انجام عملیات در محفظه را مجاز می‌کند (پاراگراف‌های ۶۱ تا ۶۵ و ۷۴ راهنمایی را ببینید) [۲۵].

لامپ‌های آشکارساز در اتمسفر تحت فشار، یک خوانش افزایش یافته را نشان می‌دهند و در فشار اتمسفر خوانش معادل را نشان می‌دهند؛ به همین دلیل مقادیر نشان داده شده، مطابق با دستورالعمل‌های سازنده با استفاده از عواملی تعديل می‌شوند. توصیه می‌شود حدود نسبت‌ها توسط جرم آلودگی‌های گازی موجود در فشارهای بالاتر از فشار اتمسفر، از مقادیر هوای آزاد (در نسبتی از فشار مطلق) کم شود. نیازی به تغییر میزان آلودگی‌های گردوغبار وجود ندارد.

۲-۵-۱۱ کمیت

در برخی تونل‌های با عملیات هوای فشرده، جایی که مقدار هوای فشرده لازم برای تعادل هیدرواستاتیکی برای تهویه مناسب نباشد؛ بهخصوص در خاک رس یا لایه‌های ارگانیک یا در هنگام روان‌ملات‌ریزی در تونل‌های با قطر کوچک‌تر، بهتر است هوای اضافی به مناطق کاری فرستاده شود.

یادآوری ۱- بهمنظور مناسب ماندن کیفیت هوای فشرده در محفظه کاری، دستورالعمل مقررات کار در هوای فشرده [۲۵]، حداقل نرخ عرضه هوای تازه برای هر نفر را ۳۰۰ لیتر بر دقیقه توصیه می‌کند. در عمل، برای اهداف دیگر نرخ‌های بالاتری نیاز است. در خاک‌های دانه‌ای، افت هوای فشرده از طریق سینه کار و لاینینگ همراه با افت هوای از دریچه هوابند، احتمالاتی هستند که حداقل نرخ عرضه هوای فشرده را افزایش می‌دهند.

یادآوری ۲- تمامی موارد از قبیل گرمای ناشی از ماشین‌آلات و هیدراسیون سیمان در روان‌ملات و گردوغبار و دود ناشی از حفاری سنگ و اختلاط روان‌ملات، نیاز به تهویه دارند. این موضوع بهوسیله کانال‌کشی هوای ورودی به محیط کاری یا به‌طور موثر با هواگیری از اتمسفر توسط خطوط لوله خرطومی مکشی، که در دهانه ورودی‌شان قابل کنترل هستند، انجام می‌شود.

۳-۵-۱۱ ماشین هوای فشرده

شایان ذکر است که قابل اعتماد بودن تامین هوای فشرده، یکی از ویژگی‌های ضروری ایمنی است.

یادآوری- به آیین‌نامه ایمنی سامانه‌های فشاری سال ۲۰۰۰، که مربوط به عملیات هوای فشرده، کمپرسورها، دریافت‌کننده‌ها، خنک‌کننده‌ها و فیلترها است، توجه ویژه‌ای معطوف شود (پیوست ۱ راهنمایی را ببینید [۲۵]).

۴-۵-۱۱ هوای اکسیژن‌زدایی شده (بدون اکسیژن)

هوای بدون اکسیژن یکی از خطرهای مستقیم در رابطه با کار در هوای فشرده است. هرگونه افت فشار هوای ممکن است باعث مکش هوای بدون اکسیژن از زمین اطراف شود. همچنین هوای بدون اکسیژن می‌تواند با فشار از تونل دارای هوای فشرده مجاور یا توسط افت فشار بارومتریک، وارد تونل‌های منتهی به هوای آزاد

شود. در فرآیند کاهش فشار، هوای بدون اکسیژن از درون زمین مجاور به تونل با هوای فشرده رانده شود. بنابراین بهتر است تهويه انجام شود و مقدار اکسیژن به صورت دائمی مورد بررسی قرار گیرد.

۶-۱۱ دیواره‌ها، دریچه‌های هوابند و تجهیزات وابسته به هوای فشرده

۶-۱۱ طراحی و ساخت

توصیه می‌شود دیواره‌ها در لاینینگ تونل و دریچه‌های هوابند متناسب با استاندارد بند ۶۹-۲ طراحی شده و حداقل ویژگی‌های زیر را دارا باشند.

- بهتر است دیواره‌ها و دریچه‌های هوابند استحکام کافی برای تحمل هرگونه فشار هوا، که ممکن است در موقع ضروری در ساختار اعمال شود، را داشته باشند.
 - بهتر است ابعاد دریچه هوابند، برای بیشترین تعداد افرادی که احتمالاً در زمان واحد از آن استفاده می‌کنند، به اندازه کافی بزرگ باشد.
 - بهتر است تکیه‌گاه دریچه هوابند در برابر نیروهای واردہ ناشی از فشار هوا در انتهای آن مقاوم باشند و به‌گونه‌ای طراحی شود که تمامی بارها را به‌طور ایمن تحمل کند.
 - خود دریچه هوابند باید عایق هوا باشد و تجهیزات قابل قبولی برای عایق‌بندی درب‌ها، حتی در فشارهای پایین، فراهم شود.
 - تمامی مواد استفاده شده برای ساخت دریچه هوابند باید در آزمون مطابق با استاندارد بند ۱۹-۲ غیراحتراق‌پذیر باشند؛ یا در آزمون مقاومت در برابر آتش مطابق با استاندارد بندی ۲۱-۲ یا ۲۲-۲، در برابر آتش مقاوم باشند.
 - دارای شیرهای فشارشکن^۱ باشد.
- یادآوری - مرجع L69 را ببینید [۲۵].

۶-۱۱ آزمون تاسیسات

بهتر است برنامه آزمون تاسیسات هوای فشرده مطابق موارد زیر انجام شود:

- الف) توصیه می‌شود تمامی تجهیزات مکانیکی مانند کمپرسورها، سردکننده‌ها، فیلترها، دریافت‌کننده‌ها، دریچه‌ها، سنجنده‌ها و لوله‌کشی‌ها، به منظور مناسب بودن در سرعت جریان‌های مختلف و حدود فشار در نظر گرفته شده در طراحی، مورد ارزیابی قرار گیرند.

ب) پس از نصب تاسیسات و قبل از آغاز عملیات تونل سازی، بهتر است کلیه تاسیسات نصب شده تا محل ورودی دریچه‌های هوابند و دیواره، که شامل تجهیزات بیان شده در بند (الف) است، مورد ارزیابی قرار گیرند. ارزیابی بدین صورت است که هوای فشرده از کمپرسورها را به صورت تدریجی وارد محیط می‌کند به‌طوری که فشار هوا بیشتر از ظرفیت آزمون شده اجزای دارای کمترین ظرفیت نشود. این عملیات می‌تواند با درزگیری انتهای لوله‌های تامین هوا و زیر فشار بردن سامانه تامین هوای ورودی انجام شود.

ج) توصیه می‌شود تمامی تاسیسات، بعد از نصب دیواره‌ها و دریچه‌های هوابند و آزمون تجهیزات مکانیکی، به صورتی که در قسمت (ب) بیان شد، و قبل از آغاز عملیات تونل سازی تحت فشار، مورد آزمون قرار گیرند. بهتر است جایی که طراحی اجازه دهد از حداکثر فشار کاری استفاده شود (بند ۱-۱-۲ را ببینید). از آنجایی که ممکن است فشار کاری در طی دوره کاری متغیر باشد، آزمون با فشار حداکثر تا زمانی که شرایط زمین در تونل اجازه دهد، انجام می‌شود. در ضمن توصیه می‌شود آزمون در فشار مناسب کاری انجام شود. این موضوع به‌طور خاص در زمان حفاری چاه مهم است؛ زیرا فشاری که در آغاز عملیات حفاری ایمن است، ممکن است در اعماق بیشتر کافی نباشد.

برای عملیات متغیر با گذر زمان، بهتر است آزمون تا فشار مورد انتظار برای آن عملیات انجام شود و ممکن است نیاز باشد آزمون در مراحل مختلف، مطابق با مقاومت سازه نسبت به عمق آن انجام شود.

بهتر است عملیات کاری و دریچه‌های هوابند مجزا به‌وسیله یک یا چندین شیر اطمینان (که قادر به ثابت نگهداشتن فشار در مشکلات غیرقابل کنترل هستند)، در مقابل فشارهای شدید محافظت شوند. بهتر است به منظور ارزیابی کارایی این دریچه‌ها، آزمون‌هایی انجام شود. توصیه می‌شود در طی آزمون از محافظه‌ای شناوی استفاده شود. بهتر است آزمون‌های فشار تحت نظارت بازرس انجام شود. بهتر است هیچ‌گاه فشار کاری از فشاری که تجهیزات در آن آزمون شده‌اند، بیشتر نباشد.

یادآوری ۱- در برخی از چاهها که در زمان حفر چاه، لایه پل هوا و دریچه‌های هوابند ساخته شده است، بعد از اتمام ساخت چاه و تکمیل عملیات خارج کردن مصالح از چاه، آزمون با بیشترین فشار کاری انجام می‌شود.

یادآوری ۲- مرجع L96 برخی توصیه‌ها و استاندارد بند ۶۹-۲ الزامات ویژه برای جانمایی و نصب این شیرهای اطمینان را ایه کرده‌اند [۲۵].

۷-۱۱ آتش‌سوزی‌ها و نجات در هوای فشرده

۱-۷-۱۱ خطرهای خاص

هوای فشرده توده بزرگی از اکسیژن را تولید کرده که خطر آتش‌سوزی‌ها را افزایش می‌دهد. بهتر است کلیه اقدام‌های پیشگیرانه بیان شده در بندهای ۱۳ و ۱۴ اکیداً مورد بازبینی قرار داده شده و اقدام‌های احتیاطی مناسب انجام شود.

یادآوری ۱- پاراگراف ۲۱۱ تا ۲۲۹ مرجع L96، جزیاتی در مورد برنامه‌ریزی اضطراری و احتمالی را بیان می‌کند.

یادآوری ۲- موادی که در هوای آزاد قابل اشتعال هستند در هوای فشرده با شدت بیشتری می‌سوزند. موادی هم که در هوای آزاد این هستند ممکن است در هوای فشرده قابل اشتعال باشند. الوارها یک مصالح ضروری برای ساخت هستند که در هوای فشرده، حتی الوارهای سنگین، شامل آن‌هایی که با پوشش ضدآتش آغشته شده‌اند، نسبت به آن‌هایی که نیمسوز^۱ شده‌اند، ممکن است آسان‌تر آتش گرفته و بسوزند. حرقه‌های ناشی از وسائل نقلیه می‌توانند به راحتی پارچه‌های کهنه و باطله‌های روغنی را آتش بزنند. فیبرهای ترکیبی به سرعت شعله‌ور شده و می‌توانند به پوست بچسبند. بسیاری از پلاستیک‌ها دودهای غلیظی (که اغلب سمی هستند) ایجاد می‌کنند. در اغلب موارد سرعت گسترش شعله افزایش می‌یابد.

ماشین‌آلات هیدرولیکی حاوی روغن به‌طور خاص ممکن است به دو طریق خطرناک باشند: ممکن است سوراخ‌های ریز یک افسانه کوچک روغن ایجاد کند که به سرعت آتش می‌گیرد؛ یا این‌که شلنگ روغن ممکن است در مقابل آتش قرار گرفته یا به صورت‌های دیگر آسیب ببیند و حجم بزرگی از روغن قابل اشتعال آزاد شود. به خاطر این دو دلیل، توصیه می‌شود از روغن‌های هیدرولیکی با اشتعال‌پذیری کم استفاده شود. به علاوه، شایان ذکر است که ممکن است الوارها با روغن آغشته شده و سکوهای فولادی و مسیرهای عبور و مرور لغزende شوند. بهتر است باطری‌ها، در محیط کاری دارای عملیات هوای فشرده شارژ نشوند. اگر در موارد استثنایی این کار ضروری باشد، بهتر است تهویه موضعی ویژه انجام شود.

استفاده از عملیات گرمaza، جوشکاری و وسائل ساینده در محیط‌های کاری با هوای فشرده به‌طور ذاتی خطرناک است و فقط زمانی که عملیات سرد غیرممکن است، از موارد بیان شده استفاده شود. زمانی که انجام عملیات گرمaza ضروری است، توصیه می‌شود برای انجام آن، اقدام‌های احتیاطی از قبیل دور کردن کلیه مواد زاید قابل اشتعال و روغن و گریس در معرض عملیات، استفاده از پرده‌ها و خاموش‌کننده‌های آتش، گماشتن مراقب آتش‌سوزی، انجام شود.

توصیه می‌شود اجازه انجام عملیات، به تنها‌ی توسط یک کارگر داده نشود و این موضوع زمانی که عملیات گرمaza و به دنبال آن افت فشار صورت می‌گیرد، بهتر است در نظر گرفته شود. بهتر است در طی عملیات گرمaza، مراقب آتش‌سوزی در موقعیت حضور داشته باشد و حداقل یک ساعت بعد از اتمام کار نیز در آن جا حضور داشته باشد (بند ۱۳-۲-۱ را ببینید).

زمانی که از تجهیزات گرمaza با سوخت اکسیاستیلن^۲ یا اکسیپروپان^۳ استفاده می‌شود، بهتر است کوچک‌ترین اندازه سیلندر مورد نیاز برای کار در نظر گرفته شود.

یادآوری ۱- در برخی موارد، مراقبت از آتش‌سوزی ممکن است با پایش از راه دور انجام شود.

1 - Charred

2 - Oxyacetylene

3 - Oxypropane

یادآوری ۲- برای استفاده از استیلن در فشارهای بالا، بهتر است الزامات ویژه‌ای اعمال شود. استیلن ممکن است تا حد فشار مطلق ۲/۵ بار، مورد استفاده قرار گیرد، به شرطی که کاربرد آن مطابق با شرایط ذکر شده در گواهینامه شماره ۲ سال ۱۹۸۹ (قوانين انفجار سال ۱۸۷۵) باشد [۲۷].

شایان ذکر است که فشارسنج‌های فشار خروجی قرار گرفته روی تنظیم کننده‌ها^۱، فشار مطلق را نشان نمی‌دهند بلکه فشار گیج^۲ را نشان می‌دهند. به عنوان مثال، برای هوای فشرده در فشار گیج یک بار، خوانش فشار خروجی ۵۰ بار معادل ۲/۵ بار مطلق است.

$$\text{یادآوری} - 1 \text{ bar} = 105 \text{ N/m}^2 = 105 \text{ Pa}$$

۱۱-۷-۲ آتش‌سوزی در سینه کار چوب‌بست کاری شده

ممکن است دسترسی به موقعیت آتش‌سوزی سخت باشد و استحکام سازه‌ای سامانه نگهداری سینه کار در خطر باشد. بنابراین بهتر است آتش به وسیله روان‌ملات و خاک رس و سایر مصالح مشابه پوشانده شده و برای کاهش هوای ورودی و افزایش آب، هوای فشرده تا کمترین مقداری که ایمن باشد، کاهش داده شود. **یادآوری**- زمانی که هوا در سینه کار تونل رها می‌شود، سامانه الوارهای نگهدارنده، پیوسته اکسیژن دریافت خواهد کرد و بنابراین به طور ویژه مستعد آتش‌سوزی هستند.

۱۱-۷-۳ تجهیزات آتش‌نشانی

آب یکی از منابع اصلی کنترل آتش‌سوزی در محیط‌های کاری با عملیات هوای فشرده است. شایان ذکر است که آتش‌سوزی به ظاهر خاموش شده، ممکن است در هوای فشرده دوباره شعله‌ور شود. در نتیجه توصیه می‌شود محل آتش‌سوزی با آب، سرد و خیس شود و در یک محل ایمن، تا زمانی که موقعیت اضطراری برطرف نشده است، به طور پیوسته پاییش انجام شود. خاموش‌کننده‌های آتش برای فشار عادی، نمی‌تواند برای انجام عملیات در هوای فشرده در محیط با فشار افزایشی عملکرد موثری داشته باشد، مگر این‌که به طور ویژه عملکرد مناسب آن‌ها برای شرایط واقعی اثبات شده باشد. توصیه می‌شود این موضوع که آیا آتش خاموش کن برای استفاده در اتمسفر فشار بالا مناسب است، از عرضه کننده آن پرسیده شود.

بهتر است تجهیزات تنفسی مورد استفاده در دود و بخار، فقط توسط کسانی که آموزش استفاده از آن را دیده‌اند، به کار گرفته شوند. توصیه می‌شود تنها تجهیزات تنفسی هوای فشرده همراه (از نوعی که کیسه هوای کیپ بر روی ماسک قرار ندارد) استفاده شود. بهتر است درباره مدت دوره زمانی استفاده از دستگاه‌ها در فشار کاری درون محیط، با سازندگان آن مشورت شود. بهتر است مناسب بودن وسایل خودنجات برای

کار در فشارهای بالا و مدت زمان‌های استفاده از آن‌ها، مورد ارزیابی قرار گیرد. توصیه می‌شود در فشار بالاتر از ۲ بار، اکسیژن خالص تنفس نشود.

یادآوری ۱- پاراگراف ۲۱۸ مرجع L96، تعبیه یک لوله آب آتش‌نشانی در سراسر دریچه هوابند و تونل را توصیه می‌کند [۲۵].

یادآوری ۲- ممکن است آتش خاموش کن‌های تولید شده برای استفاده در صنعت غواصی، مناسب باشند.

۴-۷-۱۱ آموزش‌های خاص

توصیه می‌شود برنامه‌ریزی عملیات احتمالی در سایت، شامل تحلیل انواع آتش‌سوزی‌های محتمل در محیط‌های کاری و گماردن بهترین افراد برای مقابله با آتش‌سوزی باشد. بهتر است بهمنظور خاموش کردن آتش، به افراد انتخاب شده آموزش (تئوری و عملی) داده شود و این افراد تمرینات متناوی داشته باشند. این افراد نقش کلیدی در حوادث آتش‌سوزی دارند و بهتر است درباره نحوه هدایت کردن و خارج کردن پرسنل غیرضروری در محیط کاری آموزش دیده باشند.

بهتر است به خدمات آتش‌نشانی، واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست و اورژانس بیمارستان‌های محلی در مورد استفاده از هوا فشرده اطلاع‌رسانی شود و در برنامه‌ریزی عملیات احتمالی، از آن‌ها برای مشارکت در عملیات‌ها دعوت به عمل آید. بر اساس یک قانون کلی، توصیه می‌شود خدمات آتش‌نشانی به تنها‌یی عهده‌دار عملیات در هوای فشرده نباشد. بهتر است در مورد خدماتی که در موقع آتش‌سوزی باید مهیا شود، به یک درک صحیح رسید (بند ۱-۱۴ را ببینید). بهتر است به پرسنل خدمات آتش‌نشانی که تمایل به کار در هوای فشرده دارند در مورد عملیات محبوس شدن و بسته شدن درب از پشت، آموزش داده شود و در مورد خطرهای ویژه آتش‌سوزی به آنها توصیه‌هایی ارایه شود. به هر حال در صورت حضور یا عدم حضور پرسنل خدمات آتش‌نشانی در خاموش کردن آتش‌سوزی در هوای فشرده، بهتر است اقدام فوری انجام شود و گروه آتش‌نشانی سایت برای مقابله با آتش‌سوزی، برنامه‌ریزی و آموزش ببینند (بند ۴-۱۳ را ببینید).

یادآوری- حتی زمانی که پرسنل کاری وارد محیط هوای فشرده نشده‌اند، گاهی خدمات آتش‌نشانی برای فراهم کردن خدمات و تجهیزات کمکی، آماده به کار هستند.

۵-۷-۱۱ گاز متان

توصیه می‌شود احتمال حضور متان با ردیابی و اندازه‌گیری بررسی شود. بهتر است در صورت وجود هرگونه احتمال حضور گاز متان، اقدام‌های احتیاطی ایمنی اضافی انجام شود (بندهای ۱۲ و ۱۵ را ببینید) و بهتر است با عایق‌بندی و درزگیری فوری لایه‌های زغال‌سنگ، جریان هوای خروجی آن‌ها کم یا حذف شود.

یادآوری ۱- در تونل‌سازی با هوای فشرده، در صورت نفوذ و حفاری در لایه با احتمال حضور گاز متان، خطر افزایش آتش‌سوزی و انفجار وجود دارد. در عمل هوای فشرده در لایه‌های زغال‌سنگ، خطر احتراق را افزایش می‌دهد.

یادآوری ۲- گاز متان می‌تواند در فشار بالا اتفاق افتد و همراه با هوا فشرده، یک مخلوط مستعد انفجار را در فضای کاری تولید کند. گاز متان ممکن است از لایه‌ها نشت کرده یا به صورت محلول در آب‌های زیرزمینی وارد به تونل باشد. گاز متان را می‌توان با کاهش فشار هوا فشرده تونل به خارج تونل هدایت کرد.

۶-۷-۱۱ عملیات نجات زمانی که چاه با دریچه‌های هوابند قائم حفر می‌شود

هنگامی که لازم است یک چاه با استفاده از دریچه‌های هوابند قائم حفر شود، بهتر است روش جابجایی افراد زخمی از اتاقک کاری مورد بررسی قرار گیرد. یک راه معمول برای این گونه ورود از اتاقک کاری به دریچه هوابند، بالا رفتن از نرده‌بان و ورود از یک دریچه به درون اتاقک کوچکی است که فقط می‌توان در آن ایستاد. در نتیجه بهتر است برای خروج افراد زخمی، روش‌های جایگزین در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود به منظور ارزیابی مناسب بودن دریچه هوابند برای افرادی که به تجهیزات تنفسی مجهز هستند، دسترسی به دریچه هوابند مورد آزمون قرار داده شود.

یادآوری- معمول ترین روش، تهیه یک محفظه است که به صورت دستی حرکت داده می‌شود و می‌تواند پایین رود، که افراد مجرح را درون آن قرار داده به وسیله تسمه‌های اضطراری ویژه‌ای پایین آورده می‌شوند. برای این‌که هیچ عضوی از افراد در حال نجات، در مسیرها و درب‌ها گیر نکند، می‌توان محفظه را با روپوش و تورسیمی پوشاند.

۷-۷-۱۱ عملیات نجات در تونل و از درون ماشین‌آلات

بهتر است علاوه بر خطرهای آتش‌سوزی، نجات افراد زخمی در اثر سقوط و سایر حوادث نیز مورد بررسی قرار گیرند. این موضوع در ماشین‌های تونل‌سازی که از هوا فشرده در اتاقک کله حفار استفاده می‌کنند، مهم‌تر است. توصیه می‌شود متصدیان دریچه هوابند و کارگران، در مورد نجات افراد زخمی گرفتار در محفظه کاری (اتاقک کله حفار)، به صورت روتین آموزش ببینند. همچنین توصیه می‌شود آن‌ها با دستورالعمل‌های کارخانه سازنده در مورد عملیات دریچه‌های هوابند در ماشین، آشنا باشند.

یادآوری- زمانی که در اتاقک کله حفار افت فشار وجود داشته باشد، ممکن است برای بستن درب به سمت دریچه هوابند (به منظور دوباره زیر فشار بردن افراد در دریچه هوابند)، مشکل ایجاد شود.

۸-۱۱ سیلاب

۱-۸-۱۱ اقدام‌های احتیاطی

در تونل‌سازی با هوا فشرده، اگر فرار هوا از طریق زمین موجب فرسایش خاک و ایجاد یک کانال با سطح افزایشی شود خطر وقوع سیلاب افزایش می‌یابد و به همین دلیل سرانجام افت غیرقابل کنترل فشار هوا ایجاد خواهد شد. بهتر است اقدام‌های احتیاطی زیر در نظر گرفته شود:

- استفاده از حداقل فشار هوای عملیاتی؛

- بازرسی‌های ثابت برای پیدا کردن نشت هوا از سینه‌کار و سطح زمین؛
- عایق‌بندی تمامی نشت‌ها با استفاده از بنتونیت، روان‌ملات سیمانی، ورقه‌های پلاستیکی، کیسه‌ها یا به‌وسیله سایر تجهیزات مسدود کننده جریان هوا.

بهتر است فرآیندهای بازرسی و پایش ویژه، به‌طور مناسب با استفاده از ابزارهای کنترل از راه دور، در ایام آخر هفته و سایر توقف‌های کاری انجام شود. در ماشین‌های حفاری تونل که از هوای فشرده در قسمت‌های کوچک در سینه‌کار استفاده می‌کنند، بهتر است دقت ویژه‌ای صرف شود.

۲-۸-۱۱ فرار

در فضاهای کار با هوای فشرده، بهتر است مسیرهای فرار برای دسترسی به دریچه‌های هوابند، به دقت برنامه‌ریزی شود. در تونل‌های با قطر کوچک‌تر، بهتر است از دریچه‌های هوابندی استفاده شود که در سطحی بالاتر قرار گرفته و با استفاده از نرده‌بان‌های درون کanal تهویه در دسترس قرار می‌گیرند و نسبت به دریچه هوابند قرار گرفته در سطح تونل، محل ایمن‌تری را ایجاد می‌کند.

۱۲ گاز متان

۱-۱۲ کلیات

در جایی که گاز متان حضور دارد یا خطر امکان وجود آن هست، به‌منظور جلوگیری از آتش‌سوزی، بهتر است اقدام‌های احتیاطی انجام شود. توصیه می‌شود همیشه تجهیزات بازرسی حضور متان در محل وجود داشته باشد. بهتر است تمامی ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده به‌گونه‌ای طراحی شوند که جرقه و دمای بالا را به حداقل برسانند. در جاهای که حضور گاز متان ثابت شده، بهتر است غلظت گاز متان به‌صورت عادی به‌وسیله تهویه با شدت بالا رقیق شود.

یادآوری ۱- خطر اصلی متان، انفجار آن است.

یادآوری ۲- بهتر است تمامی تجهیزات مکانیکی و الکتریکی در مقابل آتش‌سوزی مقاوم باشند (بند ۷-۳-۲۵ را ببینید).

یادآوری ۳- زمانی که باید مقدار زیادی گردوغبار از منطقه دور شود، بهتر است از تهویه مکشی استفاده شود.

یادآوری ۴- برای مطالعه بیش‌تر در مورد گاز متان و تهویه آن، بندهای ۱۱-۷-۵، ۱۲، ۱۵، ۴-۳-۴-۱۵ و ۴-۴-۱۵ را ببینید.

۲-۱۲ وقوع انتشار گاز متان

توصیه می‌شود هنگام طراحی و ساخت تونل‌ها، اطلاعات زیر در مورد وقوع انتشار گاز متان و ویژگی‌های آن در نظر گرفته شوند:

الف) متان یک گاز بالقوه انفجاری است که در طبیعت از تجزیه مواد آلی حاصل می‌شود. این گاز در یا نزدیک سنگ‌های زغال دار^۱ و به‌طور خاص در رگه‌های زغال، شیل‌ها، لایه‌های نفت‌خیز و در سایر طبقات متخلخل یا لایه‌ای بالای سنگ‌های تولید کننده متان، حضور دارد. همچنین در زغال‌سنگ نارس^۲ و سیلت‌های آلی^۳ و جاهایی که مواد آلی در شرایط مرطوب فرسایش یابند، گاز متان حضور دارد. حضور گاز گاز متان ممکن است تحت تأثیر جابجایی‌های آب زیرزمینی قرار گیرد. گاز متان می‌تواند از طریق درزه‌ها و بازشدگی‌ها یا سنگ‌های متخلخل، به‌صورت افقی تا فواصل قابل توجهی جابجا شود.

ب) انباستگی گاز ممکن است در زیر آب‌ها یا برکه‌هایی که در بالای لایه‌های نفوذناپذیر محبوس شده‌اند، اتفاق افتد. در مناطق شهری ممکن است در محل دمپ آشغال‌ها، در زیر خاکریزها، در فاضلاب یا لجن پساب‌ها یا از طریق نشت از وسایل گازی، گاز ایجاد شود. گاز متان می‌تواند از طریق منابع زیستی مانند انتقال از محل‌های دفع زباله یا در اثر فاسد شدن میکروبی مواد آلی مشابه موادی که در سیلت‌ها یا پساب زهکش‌ها، فاضلاب‌ها و آب‌گذرها^۴ (کالورت) وجود دارد، وارد مناطق حفاری شده شود.

ج) گاز متان ممکن است در مناطق حفر شده به‌صورت تراوش دائمی، انتشار سنگین یا هجوم ناگهانی در اثر سوراخ شدن یک محفظه گازی تحت فشار مانند زمین‌های گسله، ظاهر شود. نفوذ گاز متان ممکن است تحت تأثیر تغییرات فشار اتمسفر تونل ناشی از نوسانات فشار هوا یا استفاده از سامانه تهویه مکشی، رخ دهد. گاز متان ممکن است به‌صورت حل شده در آب زیرزمینی وارد فضای کاری شده و سپس از آن رها شود و وارد اتمسفر تونل شود.

د) متان می‌تواند در لایه‌های بالای تاج تونل تشکیل شده و ممکن است از منبع تولید آن به سمت محلی در فاصله دورتر انتقال یابد، که در تونل‌های شیبدار جهت حرکت گاز به سمت بالا بوده و ممکن است این جریان گاز در جهت عکس جریان سامانه تهویه انجام شود. بنابراین در صورتی که مخلوط گازی به وجود آید، ممکن است انفجار در فاصله‌ای دورتر از منبع ورود گاز متان اتفاق بیافتد.

ه) گاز متان می‌تواند همراه با گاز دی‌اکسیدکربن و سایر گازها اتفاق افتد، که این موضوع در چگالی آن تأثیر دارد و ممکن است ترکیب حاصل به‌صورت گاز خنثی سبک یا حتی سنگین‌تر از هوا وجود داشته باشد. بنابراین ممکن است لایه‌های گاز در کف حفریه تشکیل شده و به سمت پایین شیبد حرکت کنند.

و) لایه‌های گاز متان را می‌توان با روش‌های مختلف ترکیب جریان‌های متلاطم مانند جریان هوای پر سرعت در تونل یا با هدایت جریان هوا به سمت تاج تونل با استفاده از تجهیزات جابجایی موضعی هوا، پراکنده کرد.

1 - Carboniferous Rocks

2 - Peat

3 - Organic Silts

4 - Culverts

۳-۱۲ خصوصیات انفجار

خطر گاز متان این است که وقتی با هوا مخلوط می‌شود مستعد انفجار است. بر اساس تحقیق صورت گرفته در اروپا حد پایین انفجاری^۱ و حد بالای انفجاری^۲ (UEL و LEL)، که در چندین سال گذشته تغییراتی داشته و امروز مورد قبول واقع شده است، به ترتیب برابر ۴٪ و ۱۷٪ است. (استاندارد بند ۲-۷۲ را ببینید). چگالی گاز متان خالص به طور تقریبی ۶٪ برابر چگالی هوا است و در نتیجه تمایل به انباشتگی در تاج تومن دارد و در صورتی که اختلالی در آن ایجاد نشود، یک لایه پایدار را به وجود می‌آورد. زمانی که این گاز به طور کامل با هوا مخلوط شود دیگر از آن جدا نمی‌شود و در نتیجه اگر رقیق شود، به صورت ایمن به وسیله سامانه تهویه به بیرون هدایت می‌شود. زمانی که تومن از واحدهای زغال‌دار عبور می‌کند، بهتر است از ایجاد گرد زغال جلوگیری شود، چون انفجار گاز متان باعث انفجار گرد زغال خواهد شد.

۴-۱۲ ردیابی (تشخیص)^۳ و پایش

در جایی که حضور متان با هر غلظتی قابل انتظار است، بهتر است به طور پیوسته هوای تومن به وسیله تجهیزات پایش ثابت بازرسی شود و هم‌چنین توصیه می‌شود بازرسی‌های تکمیلی به وسیله تجهیزات پایش قابل حمل انجام شود. بهتر است سامانه ردیابی با سامانه هشداردهنده، همراه و ترکیب باشد، برای این‌که زمانی که سطح گاز متان از سطح هشدار از پیش تعریف شده فراتر رفت، سامانه هشداردهی فعال شود. توصیه می‌شود با فعال شدن هشدار، فرآیند اضطراری انجام شود. برای انتخاب و استفاده از تجهیزات پایش، بهتر است از استاندارد بند ۲-۷ استفاده شود. توصیه می‌شود به محض تشخیص حضور گاز متان یا هر گاز قابل انفجار دیگر، به طراح و پیمانکار تومن گزارش داده شود. زمانی که حضور هر گاز انفجاری مشخص شد، بهتر است منبع و ماهیت گاز تعیین شده و شدت جریان آن به طور ویژه اندازه‌گیری شود.

توصیه می‌شود تجهیزات پایش گاز به طور منظم و موثر نگهداری و واسنجی شوند. بهتر است به خاطر داشته باشید که این تجهیزات غلظت گاز را در نزدیکی محل نمونه‌گیری اندازه‌گیری می‌کنند. توصیه می‌شود پایش گاز به وسیله تجهیزات پایش ثابت نصب شده در کف تومن، در امتداد تاج تومن، در ماشین استخراج (مکانیزه) در سینه‌کار تومن و در مجرای تهویه مکشی انجام شود. توصیه می‌شود این کار با پایش‌های انجام شده در موقعیت‌های زیر، در صورت امکان با تجهیزات قابل حمل، تکمیل شود:

- در امتداد کف؛

- در حجم کلی هوای درون تومن؛

1 - Lower Explosive Limits

2 - Upper Explosive Limits

3 - Detection

- در محل‌های پایین‌تر مانند چاهک‌ها و گودال‌ها؛
- در محل‌های مشکوک به حضور لایه‌های گاز متان؛
- در حفره‌های بالای تاج تونل؛
- در خلاف جهت باد ماشین تونل‌سازی، کلیدهای اتصال الکتریکی و مبدل‌ها.

توصیه می‌شود داده‌های به دست آمده از سامانه پایش در مورد غلظت گاز متان جاری، همواره در دسترس مدیران سایت در سطح زمین و سینه‌کار تونل باشد.

بهتر است یادداشت‌های الکتریکی، چاپ شده و دستی موارد زیر را نشان‌دهند:

- واسنجی تجهیزات؛
- نتایج پایش روتین؛
- غلظت‌های بالای غیرعادی گاز متان؛
- فشار اتمسفر؛
- موقعیت نمونه‌برداری‌ها،
- زمان در طول روز؛
- تاریخ؛
- مقدار هوای عبوری در هر نقطه نمونه‌برداری.

توصیه می‌شود تجهیزات پایش اتمسفر استفاده شده برای شناسایی گاز متان، مطابق با استاندارد بند ۷-۲ باشند. بهتر است در انتخاب تجهیزات دقیق شود به خاطر این‌که اکثر ابزار دقیق فقط و فقط برای استفاده در دامنه صفر درصد تا ۱۰۰ درصد حد پایین انفجاری (LEL) (حجم گاز متان صفر درصد تا ۴/۴ درصد)، طراحی شده‌اند و ممکن است در غلظت‌های بالاتر قابل استفاده نبوده و خراب شوند.

۵-۱۲ سطوح خطر

توصیه می‌شود زمانی که نتوان غلظت گاز متان در کل هوا را زیر پنج درصد حد پایین انفجاری (LEL) (درصد حجمی ۰/۲۲) ثابت نگه داشت، تمامی تجهیزات مکانیکی و الکتریکی مورد استفاده در تونل، در مقابل انفجار محافظت شده باشند (بند ۷-۱۲ را ببینید). در عمل تجهیزاتی که برای این‌نوع ضروری هستند شامل روشنایی، روشنایی اضطراری، تجهیزات ارتباطی و شناسایی آتش‌سوزی، سامانه اطفاء حریق و هشدار هستند که بهتر است از نوع تجهیزات مقاوم در برابر آتش باشند تا در کلیه مواقع در حالت عملیاتی باقی بمانند.

توصیه می‌شود زمانی که نتوان غلظت گاز متان در کل هوا را زیر حد درصد حد پایین انفجاری (LEL) (۰,۴۴ درصد حجمی) ثابت نگه داشت، هیچ تجهیزات انفجاری، برشکاری و جوشکاری، برش‌دهنده‌های دیسکی سایشی، لوکوموتیوهای غیرمحافظه در برابر انفجار، استفاده نشوند و بهتر است تجهیزات الکتریکی و مکانیکی غیر مقاوم در برابر انفجار، خاموش شده یا از سامانه قطع شوند.

در هر جایی که اندازه‌گیری غلظت گاز متان چه در تونل یا در مجرای تهویه مکشی، ۲۵ درصد حد پایین انفجاری (LEL) (۱,۱ درصد حجمی) یا بیشتر را نشان داد، توصیه می‌شود تمامی افراد، به غیر از پرسنلی که برای تامین ایمنی سایرین ضروری هستند، از کلیه بخش‌های تونل خارج شوند و تجهیزات مکانیکی و الکتریکی غیر مقاوم در برابر انفجار و غیر ضروری از سامانه قطع شوند؛ تا زمانی که غلظت گاز متان به زیر ۲۰ درصد حد پایین انفجاری (LEL) (۰,۸۸ درصد حجمی) کاهش یابد. فقط افراد ضروری برای تامین ایمنی به شرطی که روشنایی، روشنایی اضطراری، تجهیزات ارتباطی و شناسایی آتش‌سوزی، سامانه هشدار و اطفاء حریق از نوع مقاوم در برابر انفجار وجود داشته باشد، در تونل باقی می‌مانند.

توصیه می‌شود اگر غلظت گاز متان بیش از ۴۰ درصد حد پایین انفجاری (LEL) (۱,۷۶ درصد حجمی) باشد، تمامی افراد از کلیه قسمت‌های تونل تخلیه شوند و نیروی الکتریکی کلی، از نیروی الکتریکی که به تجهیزات پایش اتمسفر داده می‌شود و باید در حال عملیات باقی بمانند، به وسیله کلیدهای شبکه اتصال در سطح جدا شود. توصیه می‌شود این تجهیزات مطابق با استاندارد بند ۷۷-۲ طراحی شوند.

۶-۱۲ منابع اشتعال

در اثر برخورد شدید بین سنگ و فلزات ممکن است جرقه‌هایی ایجاد شود. بنابراین بهتر است ماشین‌های حفار و تجهیزات مشابه با سرعت‌های پایین کار کنند و با سامانه پاشش آب یا جت آب خنک شوند. آلومینیوم و سایر آلیاژهای فلزی سبک در اثر برخورد با فلزات و سنگ، جرقه‌های شدیدی ایجاد می‌کنند. توصیه می‌شود در تونل‌هایی که حضور گاز متان قابل پیش‌بینی است، از چنین آلیاژهایی استفاده نشود (استاندارد بند ۲-۶، بند ۱۴ را ببینید). قوس‌های الکتریکی، در اثر ایجاد و قطع تماس در یک مدار جریان دار یا در اثر تماس‌های ضعیف شکل می‌گیرند. به خاطر وجود چنین قوس‌هایی است که توصیه می‌شود هنگام عملیات در اتمسفرهای حاوی گاز متان با غلظت بالاتر از حدود ارایه شده در بند ۵-۱۲، از تجهیزات مقاوم در برابر انفجار استفاده شود.

یادآوری ۱- هر شعله یا نقطه گرم، جرقه یا قوس الکتریکی، می‌تواند محلوت گازی مستعد انفجار را مشتعل کرده و انفجار را آغاز کند. نقاط گرم ممکن است در اثر اصطکاک ماشین‌کاری (مانند ترمز کردن)، بیش‌بارگذاری یا خنک کردن ناکافی کابل‌های الکتریکی یا لامپ‌ها، اتصال به زمین معیوب و نشت جریان به زمین یا در اثر برش و سایش فلزات، ایجاد شوند.

یادآوری ۲- جرقه‌های الکتریکی ممکن است از الکتریسیته ساکن ایجاد شده در اثر سایش مواد عایق‌کاری مانند تسممهای لاستیکی، نایلون و سایر مواد غیر فلزی، تولید شود. زمانی که برای هدایت پنوماتیکی مصالح خشک از هوا فشرده استفاده می‌شود، نیز الکتریسیته ساکن همواره ایجاد می‌شود (استاندارد بند ۶۵-۲ را ببینید).

۷-۱۲ محفظت در برابر انفجار (بند ۵-۱۲ را ببینید)

استفاده از تجهیزات/ وسایل و سامانه‌های الکتریکی (مقاوم یا غیر مقاوم در برابر انفجار) در موقعیت‌هایی که احتمال خطر ناشی از حضور اتمسفرهای مستعد انفجار وجود دارد، مانند حضور گاز متان، فقط در شرایطی اجازه داده می‌شود که ارزیابی کاملی از تمام خطرها انجام شود. جایی که از تجهیزات مقاوم در برابر انفجار استفاده می‌شود، بهتر است کلیه شبکه‌های کلید اتصال، کابل‌ها و اتصالات همراه با تجهیزات، به طور مناسب در برابر انفجار مقاوم باشند، نه این‌که برخی قسمت‌های آن در برابر انفجار مقاوم باشند.

یادآوری ۱- برای کاربرد تجهیزات و سامانه‌های حفاظتی در نظر گرفته شده برای استفاده در اتمسفر با پتانسیل انفجار، بهتر است به آیین‌نامه ۲۰۰۶، که الزامات تجهیزات مقاوم در برابر آتش را مشخص می‌کند، توجه شود [۲۸]. این آیین‌نامه برای هر دو تجهیزات مکانیکی و الکتریکی اعمال می‌شود.

یادآوری ۲- برای انتخاب، نصب و نگهداری وسایل الکتریکی در اتمسفر دارای قابلیت انفجار در کاربردهای غیر از معدن کاری، استانداردهای بندۀ ۶-۲ و ۷۵-۲ را ببینید.

یادآوری ۳- زمانی که تجهیزات گروه I دسته M1 موجود نباشد، می‌توان تجهیزات گروه II دسته ۲ را جایگزین کرد، مشروط بر این‌که این تجهیزات برای گاز یا گروهی از گازها که احتمالاً وجود دارند، مناسب باشند [۲۸].

یادآوری ۴- تعریف معدن کاری می‌بایست مطابق با تعریف قانون معادن ۱۹۵۴ انجام شود [۲۹].

یادآوری ۵- بهتر است به آیین‌نامه مواد خطرناک و اتمسفر انفجاری سال ۲۰۰۲ توجه شود [۳۰].

یادآوری ۶- استاندارد بند ۶۵-۲ الزامات وسایل چرخ لاستیکی و لوکوموتیوها را تعیین کرده است.

به طور کلی توصیه می‌شود از تجهیزاتی (که مطابق با موارد بیان شده در بند ۶-۱۲)، شعله، نقاط گرم یا جرقه ایجاد می‌کنند، استفاده نشود. بهتر است در مورد مناسب بودن تجهیزات برای کاربرد در کار با هوا فشرده، با متخصصان محافظت در برابر انفجار مشورت شود. در جاهایی که امکان حضور گاز متان وجود دارد و از مواد منفجره استفاده می‌شود، بهتر است نظرات متخصصان پرسیده شود.

۸-۱۲ کار در اتمسفر دارای پتانسیل انفجار

جایی که آلودگی‌های دارای پتانسیل انفجار، به وسیله تهویه، زیر ۱۰۰ درصد حد پایین انفجار (LEL) نگهداشته شوند، در این صورت اتمسفر انفجاری وجود ندارد. در نتیجه بهتر است دستورالعمل این استاندارد در مورد کار در اتمسفر دارای پتانسیل انفجاری، به طور قوی پذیرفته شود (بند ۷-۱۲ را ببینید).

یادآوری ۱- آییننامه مواد خطرناک و اتمسفر انفجاری سال ۲۰۰۲، الزامات و کار در اتمسفر دارای پتانسیل انفجار را تعیین کرده است. این آییننامه برای تونل‌هایی که با هوای فشرده کار می‌کنند، قابل کاربرد نیست.

یادآوری ۲- اکسیژن ناشی از تخلیه گاز از دریچه هوابند و غنی شدن اتمسفر تونل، یک عامل اکسنده^۱ است، و در نتیجه این موضوع در مجموعه تعاریف مواد خطرناک در آییننامه آمده است [۳۰].

یادآوری ۳- توصیه می‌شود هرگونه گردوغبار که با هوا یک ترکیب انفجاری یا اتمسفر انفجاری تشکیل می‌دهد و هرگونه حضور گاز طبیعی مانند متان، را به عنوان مواد خطرناک در نظر گرفت. در حالی که سیالات هیدرولیکی و دیزلی که به صورت حجمی در مخزن نگهداری می‌شوند به عنوان مواد خطرناک در نظر گرفته نشده و تنها زمانی که به صورت ریز اسپری شوند، به عنوان مواد خطرناک قلمداد می‌شوند.

۱۳ آتش و دود

۱-۱۳ ذخیره‌سازی مصالح

۱-۱-۱۳ کلیات

بهتر است در فضای محدود تونل، مصالحی که احتمالاً موجب ایجاد آتش می‌شوند یا به ایجاد آتش کمک می‌کنند، حذف شده یا کنترل شوند، برای مثال توصیه می‌شود مصالح قابل اشتعال (مانند چوب، پوشال، کاغذ، لاستیک)، سیالات قابل اشتعال (مواد نفتی، محلول‌های شیمیایی و چاشنی، پارافین) و گازهای فشرده شده، در تونل به میزان حداقل مقدار ممکن، نگه داشته شوند.

توصیه می‌شود هر مصالحی که مصرف آن به طور آنی لازم نیست (به طور کلی مصالحی که در طول نوبت کاری لازم نیستند) به انبار سطحی منتقل شوند، به جز مواردی مانند چوب‌های لازم در سینه کار و در برخی موارد پوشال، که برای اهداف ایمنی لازم هستند. استعمال دخانیات و حمل و نقل مصالح دودزا باعث خطر آتش‌سوزی می‌شود و بهتر است در زیرزمین ممنوع باشند و فقط در نواحی طراحی شده، که به دور از مصالح قابل اشتعال است، مجاز باشند.

یادآوری- انتشارات (محافظت در برابر آتش در محل‌های ساخت‌وساز) FPA، اطلاعات مفید بیشتری را در مورد جلوگیری از آتش‌سوزی ارایه می‌دهد [۳۱].

۲-۱-۱۳ مصالح قابل اشتعال

بهتر است مصالح قابل اشتعال انبارشده در تونل دارای تجهیزات آتش‌نشانی (اطفاء حریق) قابل دسترس باشند (جدول ۴ و ۵ را ببینید). توصیه می‌شود در نواحی انبار مصالح قابل اشتعال، از علایم خطر حریق استفاده شود. در صورت امکان بهتر است، انبار از نواحی کاری اصلی دور باشد. توصیه می‌شود انبارها در

مجاورت دهانه توبل یا چاه یا مسیرهای فار نباشند و بهتر است با سازه‌هایی که مقاومت در برابر آتش آن‌ها، حداقل ۳۰ دقیقه است (که مطابق با استاندارد بندهای ۲۰-۲، ۲۱-۲ و ۲۲-۲ آزمون شده‌اند)، در برابر آتش‌سوزی مقاوم‌سازی شوند. توصیه می‌شود در صورت امکان، سازه‌های سطحی و ساختمان‌هایی که در نزدیکی دهانه توبل یا چاه هستند، با مصالح غیرقابل اشتعال ساخته شوند.

در هر جایی که استفاده از چوب احتمالاً موجب ایجاد خطر می‌شود یا به دلیل حساسیت محل یا به دلیل این‌که آتش‌سوزی نسبتاً جدی است، در صورت امکان بهتر است از فولاد استفاده شده و از پوشال استفاده نشود. هر چند برای پرکردن سینه‌کار در موقع ضروری پوشال لازم است، بهتر است آن‌ها را در گونی‌ها و به صورت مرطوب نگهداری کرد و در یک محفظه فلزی انبار کرد. در صورت امکان بهتر است از مواد جایگزین مانند پشم‌شیشه استفاده شود.

۳-۱-۱۳ سیالات قابل اشتعال

بهتر است سیالات قابل اشتعال، همواره در مخزن‌های فلزی کاملاً عایق‌بندی شده و برچسب‌دار نگهداری شوند و در قفسه‌ها یا صندوق‌هایی، که مقاومت در برابر آتش آن‌ها (مطابق با استاندارد بندهای ۲۰-۲، ۲۱-۲ و ۲۲-۲ آزمون شده‌اند)، انبار شوند و این قفسه‌ها در زمانی که مصالح استفاده نمی‌شوند، قفل شوند. توصیه می‌شود این سیالات جدا از سایر مصالح قابل اشتعال و در فاصله این‌مانی از نواحی با فعالیت بالا، تأسیسات برقی و انبار مواد منفجره نگهداری شوند. نباید از این سیالات، بیش از مقدار مصرفی یک روز، در توبل نگه داشته شود. یعنی این‌که نباید تمام سیالات قابل اشتعال را در توبل انبار کرد.

بهتر است برای فهمیدن هرگونه نشت از محفظه‌ها، ظروف قطره‌چکان^۱ (لاوک قطره‌ای) تهیه شود و در صورت لزوم برای جلوگیری از نشت بر روی زمین ناشی از سرریز، این ظروف خالی شوند. توصیه می‌شود کف زمین در اطراف ظروف قطره‌چکان، با ماسه یا مصالح مشابه غیرقابل اشتعال پوشانده شود، که در صورت نیاز این مصالح با مصالح دیگری نیز جایگزین شود. هنگام انتخاب سیال هیدرولیکی، بهتر است فرآورده‌های تولید شده در اثر حریق سیال، مورد بررسی قرار گیرند.

جدول ۴- فراهم کردن تجهیزات اطفاء حریق

وسیله اطفاء‌کننده					موقعیت آتش‌سوزی
پودر	گاز خنثی	کف	آب (افشاندن)	آب (پاشیدن) فشاری	
P	P	P		F	تونل - عمومی
P	P	P			ماشین حفاری تونل - عمومی
F		F			ماشین حفاری تونل - قسمت‌های هیدرولیکی
F	F				ماشین حفاری تونل - قسمت‌های الکتریکی
F		F			دستگاه‌های دیزلی
F	F				لکوموتیوهای باتری‌دار
P		P			انبار سوخت
P					شارژر باتری‌ها
		P	F	F	کارهای هوای فشرده
		P		F	گالری‌ها، کارگاه‌ها و غیره
یادآوری - F = ثابت، P = سیار					

۱۳-۴- گازهای فشرده

در زیرزمین بهتر است سیلندرهای حاوی گاز اکسیژن از سیلندرهای سایر گازهای قابل اشتعال (مانند بوتان، پروپان، استیلن و ...) جدا شوند، به جز در زمانی که از آن‌ها استفاده می‌شود. تحت هیچ شرایطی نباید سیلندر اکسیژن در تماس با هرگونه گریس قرار گیرد. توصیه می‌شود سیلندرهای گاز فشرده به دور از سیالات قابل اشتعال و مصالح آتش‌زا قرار داده شوند.

بهتر است سیلندرها حتی‌الامکان در اندازه‌های کوچک باشند تا در عملیات براحتی استفاده شوند و برای مدت زمانی که کار انجام می‌شود در زیر زمین نگه داشته شوند. بهتر است سیلندرهایی که داری دریچه رزوهدار هستند، به طور منظم از نظر نشت مورد بررسی قرار گیرند. توصیه می‌شود هر سیلندری که نشت دارد، فوری به هوای آزاد منتقل شود. بنابراین بهتر است سیلندرها در موقع جابجایی، انبارش و کاربرد، در محفظه‌های مناسبی قرار داده شوند و در مقابل هرگونه ریسک ضربه ناشی از افتادن یا قرار گرفتن در معرض ماشین‌آلات، محافظت شوند. بهتر است دریچه‌های سیلندر و نیز اطفاء‌کننده‌های آتش، فوری در دسترس باشند.

یادآوری ۱- سیلندرهای گاز احتمالاً در اثر ضربات مکانیکی دچار آسیب می‌شوند، که ممکن است این آسیب موجب نشت از دریچه یا گسیختگی سیلندر و در نهایت باعث انفجار شوند.

یادآوری ۲- اطلاعات در مورد استفاده ایمن از گازهای فشرده، در واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست انتشارات HSG139 ارایه شده است [۳۲].

جدول ۵- تجهیزات اطفاء حریق سیار

ردیف مواد	وسیله اطفاء‌کننده
آتش گرفتن جامدات دارای ماهیت ارگانیک، که عموماً با تشکیل قطعات زغال اتفاق می‌افتد	اطفاء‌کننده با آب
آتش گرفتن مایعات یا جامدات گدازپذیر	اطفاء‌کننده با کف، دی‌اکسید کربن، پودر خشک
آتش گرفتن گازها	پاشش آب برای سرد کردن سیلندر، پاشش کف برای اطفاء کردن هرگونه آتش، هنگامی که دریچه ورود بسته شده باشد
آتش گرفتن فلزات	پودر خشک، ماسه خشک
تجهیزات الکترونیکی	گاز خنثی، پودر خشک، ماسه خشک
یادآوری - می‌توان با عمل آوری الوار با استفاده از مواد کاهنده قابلیت اشتعال، اشتعال‌پذیری الوار را کاهش داد، هر چند این عمل موجب کاهش کارایی الوار می‌شود.	

۱-۱۳-۵ بوری‌های^۱ قابل حمل

توصیه می‌شود بوری‌های قابل حمل، مطابق با استاندارد بند ۱۵-۲ باشند و در دو دهانه ورود گاز به دریچه‌های یک طرفه، و در دهانه خروجی به متوقف کننده آتش با شیرهای برشی، مجهز شوند. بهتر است تمام وسایل ایمنی مطابق با استاندارد بندهای ۶۰-۲ و ۶۱-۲ باشند. بهتر است شلنگ‌ها مطابق با استاندارد بند ۷۸-۲ و تنظیم‌کننده‌های فشار مطابق با استاندارد بند ۷۷-۲ باشد.

توصیه می‌شود محفظه‌های قابل حمل استیلن مطابق با استاندارد بند ۶۴-۲ و محفظه‌های سایر گازهای سوختی، مطابق استاندارد بند ۷۲-۲ یا استاندارد مناسب در سری استانداردهای بند ۳۳-۲ باشند.

۱-۱۳-۶ تجهیزات روشنایی

بهتر است در ناحیه انبار مصالح و سیالات قابل اشتعال، همه نوع تجهیزات روشنایی نصب شود. بهتر است این تجهیزات روشنایی به‌گونه‌ای جانمایی و نصب شوند که حرارت ناشی از آن‌ها موجب آتش‌سوزی نشود (بند ۱۷ را ببینید).

۱-۱۳-۷ جمع‌آوری آشغال‌ها

بهتر است به‌منظور جلوگیری از خطر آتش‌سوزی، حداقل یک بار در هر نوبت کاری، تمامی آشغال‌های آتش‌زا به‌طور مکرر از تونل جمع‌آوری شوند. توصیه می‌شود چنین مصالحی به‌طور مناسب و در یک فرآیند کاری عادی، جمع‌آوری شوند. مواد زاید قابل اشتعال نباید در نزدیکی مصالح آتش‌زا انباسته شوند. بهتر است آشغال‌های آتش‌زا، که نمی‌توان از تونل حذف کرد، در قفسه‌های فلزی با درپوش کاملاً سفت و به دور از

۱- لوله‌های فلزی که در عملیات دمیدن هوا در شیشه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Blowpipe).

نورافکن‌های بدون حفاظ و سایر عوامل آتش‌زا، ابیار شوند. بهتر است در نزدیکی این ابیارهای آشغال، تجهیزات آتش‌نشانی نصب شود (بند ۴-۱۳ را ببینید).

۸-۱-۱۳ سیال هیدرولیکی با خاصیت اشتعال‌پذیری کم

بهتر است سیالات هیدرولیکی با خاصیت اشتعال‌پذیری کم از قبیل سیالاتی که در استاندارد بند ۷۹-۲ به عنوان سیالات هیدرولیکی ضدآتش (HFDU)^۱ طبقه‌بندی شده‌اند، در ماشین حفاری تونل استفاده شوند. علاوه بر این، بهتر است این سیالات در سامانه هیدرولیکی و انتقال تمامی ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده در تونل، مورد استفاده قرار گیرند. توصیه می‌شود مطابق دستورالعمل‌های سازنده تجهیزات و تامین‌کننده‌های سیالات، سیال مناسب برای این کاربرد انتخاب شود.

۲-۱۳ جوش‌کاری و برش‌کاری (سوزاندن)

۲-۱۳-۱ کلیات

در اثر جوش‌کاری و برش‌کاری (شامل برش‌دهنده‌های دیسکی) خطر بالای آتش‌سوزی وجود دارد و آسیب‌های زیادی به هوای آزاد تونل وارد می‌آید. در صورت امکان، بهتر است این کارها در سطح زمین انجام شده یا فرآیندهای دیگری به کار گرفته شود.

یادآوری - در کارهای تحت فشار، به دلیل این‌که مصالح آتش‌زا به آسانی آتش گرفته و به طرز شدیدی می‌سوزند، خطر آتش‌سوزی به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته و کار اطفاء حریق را مشکل‌تر می‌کند (بند ۱-۵-۱۱ را ببینید).

در تونل‌هایی که گازهای منفجرشونده حضور دارند، توصیه می‌شود از عملیات گرمaza اجتناب شود. اگر پتانسیل وجود چنین گازهایی وجود دارد، بهتر است قبل از شروع کار و ادامه آن، در مدت زمان کاری در نظر گرفته شده، هوا مورد بررسی قرار گیرد (بندهای ۱۱-۵-۵، ۱۲-۴ و ۱۲-۵ را ببینید). در موقعي که اتمسفر انجراری شناسایی شد، بهتر است فوری عملیات گرمaza متوقف شود.

بهتر است برای کلیه عملیات جوشکاری و برشکاری‌ها در زیر زمین، یک سامانه «مجوز شروع به کار»^۲ ایجاد شود. توصیه می‌شود در این سامانه شرایط ابیارش، حمل و نقل و استفاده از تجهیزات و اقدام‌های احتیاطی در برابر آتش‌سوزی، تعیین شده باشد. بهتر است سامانه «مجوز شروع به کار» عمل برگرداندن تجهیزات به سطح زمین را نیز تحت پوشش قرار دهد. توصیه می‌شود سامانه «مجوز شروع به کار» زمان‌های ویژه‌ای داشته

۱- به سیالات سنتری بدون آب غیر از استرهای فسفات اطلاق می‌شود. این دسته از سیالات مقاوم در برابر آتش شامل پلی‌استرها و پلی‌آلکالین گلایکول‌ها هستند (HFDU).

باشد، به خاطر این‌که یک مجوز بدون زمان پایانی مشخص، ممکن است موجب اختلال در کار شود. بهتر است بر روی مخازن سوخت یا روغن، تا زمانی که به‌طور کامل خالی نشده‌اند و تاییدیه تهی از گاز نداشته باشند، کاری انجام نشود. بهتر است بعد از اتمام عملیات، به‌منظور اطمینان از عدم وجود موادی که بدون شعله می‌سوزد، بازرسی‌هایی انجام شود.

توصیه می‌شود مسئول اطفاء آتش، در طول عملیات و حدائق به مدت یک ساعت بعد از اتمام کار، با کپسول آتش‌نشانی در محل حضور داشته باشد. بهتر است به هیچ کس اجازه جوشکاری و برشکاری، به‌صورت انفرادی داده نشود، زیرا ممکن است آن‌ها در خبر دادن شروع و گسترش آتش‌سوزی یا اطفاء کامل آتش، موفق نباشند. به هر حال بهتر است پرسنل غیرضروری به دور از ناحیه کار باشند. در بسیاری از عملیات جوشکاری و برشکاری دود و گاز^۱ ایجاد می‌شود، بنابراین بهتر است تهویه مناسب انجام شود (بند ۱۵ را ببینید). در هنگام کار با فولادهای گالوانیزه، دود و گاز سمی تولید می‌شود که نباید استنشاق شود. توصیه می‌شود خروجی تهویه موضعی، خطوط هوارسانی و محرک‌های هوا، به‌گونه‌ای جانمایی شوند که تمرکز موضعی دود و گازها را پراکنده کنند.

۲-۲-۱۳ قوس الکتریکی جوشکاری و برشکاری

توصیه می‌شود هرگز از ژنراتورهای بنزینی در زیر زمین استفاده نشود. بهتر است به طرز مناسبی از انتقال‌دهنده یا مبدل‌های چرخشی الکتریکی، برای عرضه و تامین انرژی به‌منظور ایجاد قوس‌های الکتریکی استفاده شود. در مواردی که ژنراتور دیزلی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهتر است تهویه مناسبی انجام شود (بند ۴-۲۴ را ببینید). الکترودهای کربنی مورد استفاده برای برشکاری قوس-هوا^۲، ایجاد می‌کند که تهویه مناسب وجود داشته باشد. توصیه می‌شود ماشین‌آلات، تجهیزات، متعلقات و تاسیسات مربوط به قوس جوشکاری، مطابق با استاندارد بندۀای ۲۳-۲، ۲۴-۲ و ۲۵-۲ باشند.

۳-۱۳ تجهیزات الکتریکی در گیر با آتش

اگر در تجهیزات الکتریکی آتش‌سوزی اتفاق افتاد، بهتر است قبل از شروع اطفاء حریق، جریان الکتریسیته قطع شود.

یادآوری ۱- تجهیزات و تأسیسات الکتریکی در اثر گرم شدن بیش از حد و جرقه زدن، ممکن است موجب آتش‌سوزی شوند. در تجهیزات متحرک مکانیکی، آتش‌سوزی ممکن است در جعبه تغذیه برق، قطعات الکتریکی و مسیر کابل‌ها ایجاد شود. آتش ممکن است به‌طور سریع ایجاد شده و دود سنگینی را تولید کند.

1 - Fumes

2 - Arc-Air Gouging

یادآوری ۲- اگر تجهیزات قابلیت انتقال بارهای مورد نیاز، با در نظر گرفتن ضریب اطمینان برای بیش‌بارگذاری، را داشته باشند و به طور مناسب نصب، بهره‌برداری و نگهداری شوند، به جز در موارد آسیب‌های تصادفی یا نفوذ آب، امکان آتش‌سوزی وجود ندارد.

یادآوری ۳- برای کابل‌کشی و سیم‌کشی و نیز برای تجهیزات، توصیه‌هایی در بند ۲۵ ارایه شده است.

توصیه می‌شود خطرهای خاص ناشی از دود و بخار ناشی از سوختن کابل‌های پلی وینیل کلراید (PVC) و مشابه آن مورد بررسی قرار گیرد و به منظور جلوگیری از مواجهه پرسنل با خطر شوک الکتریکی و برق گرفتگی، به دلیل فضای محدود و شرایط مرطوب در تونل‌ها، کابل‌ها و تجهیزات معیوب عایق‌کاری شوند. بهتر است شبکه کابل‌ها به‌گونه‌ای طراحی شوند که در طی فرآیند عایق‌کاری تجهیزاتی که بیش از اندازه گرم شده‌اند، وسایل مورد نیاز برای اطفاء حریق که شامل سامانه پمپ‌ها، روشنایی و تهویه هستند، قطع نشوند و علایم و ارتباطات برقرار باشند.

توصیه می‌شود در نواحی که سیلندرهای گاز ذخیره می‌شوند، لوازم الکتریکی محافظت شوند و در نتیجه وجود آن‌ها نباید موجب ایجاد آتش‌سوزی شود.

۴-۱۳ اقدام‌های احتیاطی در برابر آتش‌سوزی

۱-۴-۱۳ کلیات

واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست موظف به اجرای اقدام‌های احتیاطی کلی و فرآیند طراحی اقدام‌های احتیاطی در محل‌های ساخت‌وساز است؛ بهتر است قبل از این‌که در مورد مقدار، نوع و موقعیت تجهیزات مقابله با آتش‌سوزی تصمیم‌گیری شود، با واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست و واحد خدمات آتش‌نشانی محلی مشورت شده و توصیه‌های آن‌ها مد نظر قرار داده شود. علاوه بر اطفاء حریق برای نجات جان افراد، بهتر است نتیجه آسیب آتش‌سوزی به ساختار تونل و خطرهای مربوط به هر راهکار مورد نیاز نیز مورد بررسی قرار داده شود.

یادآوری- ایمنی در برابر آتش‌سوزی به وسیله دستورات بهسازی تنظیمی (۲۰۰۵) (ایمنی آتش‌سوزی) تنظیم شده است [۳۳].

۲-۴-۱۳ شبکه‌های آب اطفاء حریق و اتصالات شلنگ‌ها

شبکه آب اطفاء حریق که مطابق استاندارد بند ۳۴-۲، آب مورد نیاز برای اطفاء حریق را تأمین می‌کند، بهتر است در کل طول تونل دارای شیرهای خروجی با حداکثر فاصله ۵۰ متر از هم، باشد. بهتر است این شیرهای خروجی آب، به طور واضح علامت‌گذاری شده و به آسانی در دسترس باشند. توصیه می‌شود تامین آب جهت اطفاء حریق، با حجم و فشار کاری شلنگ‌های آتش‌نشانی، افشارهای آب یا سایر تجهیزات اطفاء

حریق و نیز توصیه‌های خدمات آتش‌نشانی، متناسب باشد. بهتر است تجهیزات با راهبرد تناسب با عملیات درون تونل، جایابی شوند و به‌طور منظم تحت آزمون قرار داده شده و به‌طور مناسبی نگه‌داری شوند.

۳-۴-۱۳ سامانه‌های خاموش‌کننده آتش

بهتر است تمامی ماشین‌های حفاری تونل، به سامانه ثابت خاموش‌کننده آتش مجهز باشند به‌طوری که این سامانه نواحی پر خطر ماشین را تحت پوشش داشته باشد.

یادآوری - نواحی پر خطر شامل پمپ‌های هیدرولیکی، موتورها و مخزن ذخیره روغن، محفظه شبکه کلیدهای اتصال^۱ الکتریکی، موتورها و مبدل‌های الکتریکی هستند. سامانه خاموش‌کننده کف می‌تواند برای محافظت سامانه‌های هیدرولیکی و الکتریکی مناسب باشد.

بهتر است تمامی ماشین‌های حفاری تونل دارای پرده پاشش آب در انتهای خروجی آن‌ها باشند تا با کنترل و سرد کردن دود، در موقع ضروری به فرار افراد کمک کند.

بهتر است تمامی ماشین‌آلات استفاده شده در زیرزمین به سامانه‌های ثابت خاموش‌کننده تجهیز شوند، به‌طوری که اجازه تزریق مستقیم خاموش‌کننده به قسمت موتور را فراهم کنند. در ماشین آلات دارای چرخ-لاستیکی، بهتر است خاموش‌کننده‌ها، نواحی لاستیک‌ها را نیز تحت پوشش داشته باشند.

توصیه می‌شود خاموش‌کننده‌های قابل حمل مطابق با استاندارد بند ۵۱-۲ و قسمت(های) مناسب استاندارد بند ۵۳-۲ تهیه شوند. بهتر است آن‌ها مطابق با استاندارد بند ۳۶-۲ انتخاب و نصب شوند و مطابق با استاندارد بند ۳۵-۲ نگه‌داری شوند. بهتر است این خاموش‌کننده‌ها در محل‌هایی قرار داده شوند که به راحتی در دسترس پرسنل باشند. توصیه می‌شود در فرآیند انتخاب خاموش‌کننده، اثرات خاموش‌کننده بر اتمسفر تونل در نظر گرفته شود. جدول ۴ و ۵ خاموش‌کننده مناسب برای دامنه‌ای از موقعیت‌های آتش‌سوزی را نشان می‌دهد.

یادآوری - دستورالعمل‌هایی برای انتخاب سامانه مناسب در استاندارد بند ۳۶-۲ ارایه شده است. توصیه‌هایی درباره کاربرد تاسیسات ثابت و قابل حمل در جدول ۵ آمده است.

۴-۴-۱۳ آزمون و نگه‌داری‌های معمول تجهیزات محافظه در آتش‌سوزی

بهتر است کلیه تجهیزات در شرایط کاری خوب نگه‌داری شوند و این کار با آزمون‌هایی مطابق با توصیه‌های کارخانه سازنده، ارزیابی می‌شود.

۵-۱۳ مکان و موارد حساس

برخی موارد و مکان‌ها به طور ویژه نسبت به آتش‌سوزی حساس هستند که این می‌تواند به دلیل قابلیت اشتعال بالا، مشکل بودن خاموش کردن آتش‌سوزی در این مکان‌ها یا مخاطره‌آمیز بودن پیامدهای آتش‌سوزی باشد. بهتر است موارد زیر و موقعیت آن‌ها شناسایی و محافظت شوند:

الف- چوب در سینه‌کار و سقف؛

ب- انبارها یا پشت‌های:

۱- الوار یا ضایعات آن؛

۲- کیسه‌های کاغذی سیمان؛

۳- پوشال؛

۴- لباس‌های کهنه و کنف روغنی؛

۵- گاز و سیالات قابل اشتعال؛

ج- نوار نقاله‌ها؛

د- سیم‌ها و کابل‌ها؛

ه- تاسیسات الکتریکی شامل مبدل‌ها و شبکه کلیدهای اتصال؛

و- سامانه‌های هیدرولیکی (روغنی)؛

ز- نواحی برش‌کاری و جوش‌کاری شعله‌ای؛

ح- تمامی محل‌های کاری با هوای فشرده؛

ط- تمامی لایه‌های دارای گاز متان؛

ی- محل‌های انبار مواد منفجره؛

ظ- چاه‌ها و دهانه تمامی تونل‌ها؛

ل- لایه‌های زغالسنگ با قابلیت احتراق خودبخودی.

۶-۱۳ مسیرهای فرار

بهتر است تمامی مسیرهای فرار زیرزمینی نشانه‌گذاری شوند، توصیه می‌شود چاه‌های کور نیز نشانه‌گذاری شوند.

بهتر است برای ایجاد محل‌های نسبتاً امن، در جاهای مناسب مانند تونل‌های بلند، بررسی‌هایی انجام شود (بندهای ۱۲ و ۱۴ را ببینید).

۱۴ پاسخ به موارد اضطراری

۱-۱۴ خدمات اضطراری و ظرفیت عملیاتی

توصیه می‌شود در طول مراحل ساخت، عملیات اصلاح یا تعمیر، برای ایجاد نظم در اطفاء حریق، فرار و نیز برای فراغوایی خدمات اضطراری و پاسخ‌های اضطراری، با واحد خدمات اضطراری مشارکت و همکاری شود. بهتر است در طی مرحله برنامه‌ریزی پروژه تونل، با پلیس و خدمات آتش‌نشانی و آمبولانس مشورت‌هایی انجام شود تا ظرفیت عملیاتی آن‌ها و جزئیات امکانات و تجهیزات اضافی مورد نیاز برای کار در محدوده این ظرفیت‌ها، مشخص شود. بهتر است اجرای روزمره طرح به عنوان قسمتی از مرحله برنامه‌ریزی در نظر گرفته شود.

یادآوری - به دلیل فواصل طولانی که عملیات تونل‌سازی اتفاق می‌افتد، ممکن است برای کمک کردن به خدمات اضطراری مرتبط با حادث رخ داده در تونل در مرحله ساخت، نظم و امکانات ویژه‌ای لازم باشد. مبنای ظرفیت عملیاتی خدمات آتش‌نشانی، بر اساس توانایی پرسنل برای انتقال تجهیزات به محل حادثه، قابلیت اقدام در موقع آتش‌سوزی و برگشت ایمن به سطح زمین است. برای تونل‌ها در مکان‌های دور و شرایط محیطی متضمن، ممکن است به خدمات اضطراری مانند نجات در کوهستان^۱ نیاز باشد. ممکن است جهت برنامه‌ریزی برای بیرون بردن مجروهان، به چرخ‌بال نیاز باشد.

تجهیزات و سایر مواردی که در برنامه‌ریزی پاسخ به شرایط اضطراری باید در نظر گرفته شود، شامل برخی یا تمامی نکات زیر است:

- الف - ایجاد اتاق کنترل (بند ۱-۲-۱۴ را ببینید) و/یا محل‌های پشتیبانی^۲ (بند ۲-۲-۱۴ را ببینید)، به طوری که منابع و عملیات، از نزدیک محل حادثه کنترل شوند.
- ب - انتقال زیرزمینی پرسنل و تجهیزات به محل حادثه یا محل پشتیبانی عملیات؛
- ج - کنترل روشنایی، ارتباطات، تهویه و دود؛
- د - انتقال زیرزمینی مجروهان و پرسنل به سطح زمین؛
- ه - نصب تاسیساتی مانند شبکه آب، سامانه‌های متوقف کننده آتش‌سوزی، شلنگ‌های اطفاء حریق؛
- و - تجهیزات اطفاء حریق قابل حمل؛
- ز - ایجاد تجهیزات برای تنفس طولانی مدت؛
- ح - آموزش و آشناسازی پرسنل خدمات آتش‌نشانی با محیط؛

بهتر است در چنین شرایطی، اثرات شرایط جوی ناسازگار روی پاسخ به شرایط اضطراری پیمانکار در نظر گرفته شود و طرح‌های جایگزین مورد بررسی قرار گیرد. به دنبال ارزیابی ظرفیت عملیاتی، ممکن است

1 - Mountain Rescue

2 - Bridgeheads

خدمات اضطراری قادر نباشد این اطمینان را ایجاد کند که پرسنل آن‌ها بتوانند در برابر کلیه حوادث داخل تونل، اقدام‌های مناسب انجام دهنند؛ در این موقع بهتر است از خدمات اضطراری سوال شود و به‌طور رسمی به پیمانکار اعلام شده و جزییات کاهش ظرفیت عملیاتی آن‌ها در مورد تونل یا مرحله خاصی از ساخت تونل شرح داده شود. بعد از آن بهتر است، پیمانکار طرح خود را برای پاسخ به شرایط اضطراری تهیه کند. یادآوری - به علاوه، به دلیل دور از دسترس بودن برخی از سایتهای تونل‌سازی، ممکن است برای انتقال پرسنل اضطراری و تجهیزات آن‌ها به سایت و برگرداندن مجروحین به بیمارستان، نظم خاصی لازم باشد. این کار ممکن است با استفاده از چرخ‌بال انجام شود.

۲-۱۴ امکانات کنترل اضطراری

۱-۲-۱۴ اتاق‌های کنترل

بهتر است در سایتهای بزرگ، جاهایی که نیاز به خدمات اضطراری است، اتاق‌های کنترل اضطراری ایجاد شوند. به‌طوری که مسئول ارشد خدمات اضطراری بتواند پاسخ آن‌ها در مقابل حادثه را کنترل کند. بهتر است چنین اتاق‌هایی به ارتباط رادیویی با سایت، خطوط تلفن معمولی و نقشه‌ها (که به‌صورت به‌روز جانمایی کارهای زیرزمینی را نشان می‌دهند) مجهز شوند.

در صورت امکان، بهتر است اتاق کنترل اضطراری در بالای هر چاه یا سایر نقاط دسترسی، ایجاد شوند. اگر این امکان وجود نداشته باشد، بهتر است نقشه‌های به‌روز عایق هوا (نشان‌دهنده عمق چاه، جانمایی تونل‌ها و موقعیت تجهیزات اطفاء حریق و سایر تجهیزات اضطراری)، در محل اتاق کنترل وجود داشته باشد. بهتر است این نقشه‌ها نیز جزییات محل و چگونگی اعلام خطر به واحد خدمات اضطراری را ارایه دهد.

در پروژه‌هایی که دارای چند پیمانکار هستند یا نقاط دسترسی و خروجی‌های چندگانه ایجاد شده است، بهتر است اتاق‌های کنترل با یکدیگر در ارتباط باشند. در تونل‌های بزرگ‌تر و در جایی که خدمات اضطراری درخواست شود، بهتر است یک سامانه ارتباطی کابلی سازگار با سامانه‌های رادیویی آن‌ها، برای استفاده در زیرزمین فراهم شود.

توصیه می‌شود تمام خصوصیات سامانه تهویه مورد استفاده شامل جزییات تمامی پروانه‌ها و لوله‌ها، روزندها و درب‌ها، برای استفاده مسئول خدمات آتش‌نشانی و سایر افراد مسئول، در دسترس قرار داشته باشند. بهتر است برای راهاندازی سامانه تهویه، یک عضو آموزش دیده از کارکنان پیمانکار، همواره در دسترس واحد خدمات آتش‌نشانی باشند، این یکی از الزامات است.

بهتر است جزییات «مجوز شروع به کار» در ارتباط با استفاده از تجهیزات برش‌کاری/احتراق در دسترس خدمات آتش‌نشانی و در داخل اتاق کنترل اضطراری باشد.

۲-۱۴ پشتیبانی

بهتر است در موقعیت‌هایی که ممکن است به تجهیزات تنفسی نیاز باشد یا سایر عملیاتی که باید با فاصله‌ای از نقاط اصلی ورود به نواحی پر خطر آغاز شود، یک محل کنترل پیش‌رو (محل پشتیبانی) ایجاد شود که در شرایط محیط ایمن هوایی قرار داشته باشد.

۳-۱۴ اعلام هشدار

بهتر است برای اعلام هشدار و اطلاع دادن به خدمات اضطراری در موقع حادثه زیرزمینی، طرح‌های مناسبی تهییه شود. توصیه می‌شود طرح این موضوع را در ذهن تداعی کند که آتش‌سوزی در سطح زمین می‌تواند برای کسانی که در زیرزمین کار می‌کنند، خطرناک باشد. بهتر است ماهیت و عملکرد سامانه هشدار اضطراری با مقیاس، جانمایی و ماهیت کارها متناسب باشد و ماهیت و گستردگی آتش‌سوزی و سایر خطرهای زیرزمینی معلوم باشند. توصیه می‌شود سامانه هشدار آتش‌سوزی، همانند فرآیندهای کاری تونل‌سازی، توسعه و اصلاح شوند. بهتر است هشدار به گونه‌ای باشد که برای تمامی کسانی که در محیط‌های کاری هستند و برای پرسنل مهم در سطح زمین، به آسانی قابل شنیدن باشد.

یادآوری - طرح‌های هشدار می‌توانند شامل موارد زیر باشد:

الف- هشدارهای صوتی؛

ب- ارتباطات تلفنی؛

ج- زنگ‌ها یا آژیرهای دستی یا الکتریکی؛

د- چراغ فلش‌زن مخصوص؛

ه- روشن و خاموش شدن^۱ مدارهای روشنایی اصلی.

بهتر است محل وسایل هشداردهنده، بر اساس جانمایی نواحی کاری زیرزمینی، طبیعت ناسازگار شرایط کاری (به‌خصوص سطح بالای صدا) و طبیعت ناپایدار محل‌های کاری انتخاب شود.

جایی که از یک سامانه هشدار واحد استفاده می‌شود، بهتر است سیم‌کشی مطابق با استاندارد بند ۲-۴۳ باشد، حداقل رتبه‌دسته‌بندی AWZ (یعنی پایین‌ترین دسته عملکردی برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی (A)، مقاومت در برابر آتش‌سوزی با آب (W) و بالاترین دسته عملکردی برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی با شوک مکانیکی (Z)) را داشته باشد.

بهتر است به‌منظور توقف تمامی کارها، هشداردهنده مجزا و واضحی ایجاد شود. توصیه می‌شود سامانه هشدار اضطراری، به‌طور منظم تحت آزمون قرار داده شده و به نحو مناسبی نگهداری شود.

۴-۱۴ فرآیندهای هشدار

۱-۴-۱۴ مشاوره و برنامه‌ریزی

توصیه می‌شود برای هر سایت، از قبل فرآیندهای عملیاتی برنامه‌ریزی شود. برای مثال بهتر است پیمانکار برای اطلاع وقوع آتش‌سوزی و انجام عملیات تخلیه، با واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست و خدمات اضطراری مشورت کند. بهتر است برنامه‌ریزی شامل مسایلی مانند طرح‌های اطفاء حریق، فرار افراد، تخلیه مجروهین و کنترل‌های مدیریتی برای انجام این کارها باشد.

توصیه می‌شود پروتکل‌هایی برای اعلام به خدمات اضطراری، شامل ارایه دستورالعمل‌هایی به مسئول تابلو کلیدهای اتصال/مسئول ایمنی در خدمات، چگونگی تماس با ۱۲۵ و اطلاعاتی که باید به واحد کنترل خدمات اضطراری منتقل شود، باشند (بند ۳-۱۴ را ببینید).

۲-۴-۱۴ عملیات در محل کشف حادثه

بهتر است برای زمانی که در زیرزمین حادثه‌ای شامل آتش‌سوزی یا گمان آتش‌سوزی در تونل‌ها و کارهای زیرزمینی وجود دارد، به تمامی پرسنل مجموعه آموزش‌های زیر داده شود:

الف- اعلام هشدار در تونل و مقابله با آتش، فقط در صورتی که در این کار خطری وجود نداشته باشد؛

ب- گزارش حادثه، شرح موارد زیر:

۱- ماهیت حادثه مانند آتش‌سوزی، زخمی شدن، بیماری، تخریب، آلودگی هوا؛

۲- جایی که حادثه وجود دارد؛

۳- چه کمک‌هایی لازم است؛

۴- آیا تخلیه در حال انجام است؛

۵- سایر اطلاعات لازم مانند تخلیه سطحی مورد نیاز.

۳-۴-۱۴ عملیات در حین دریافت هشدار

شخصی که در سایت هشداری را دریافت می‌کند، بهتر است فوری کارهای زیر را انجام دهد.

الف- فراخوانی واحد خدمات اضطراری مربوطه، گزارش محل دقیق حادثه و همکاری کردن با شخص مسئول برای انجام این موارد؛

ب- باخبر کردن مدیر ارشد سایت یا هماهنگ کننده اضطراری؛

ج- فعال کردن طرح اضطراری سایت.

۵-۱۴ آموزش در محل

بهتر است تمام پرسنل زیرزمینی در مورد مراقبت کردن و استفاده از تجهیزات اطفاء حریق آموزش ببینند. بهتر است تمامی پرسنل سایت با فرآیندهای اضطراری از پیش تعیین شده سایت، آشنا شوند. توصیه می‌شود عملیات تمرینی اضطراری شامل تخلیه در فواصل زمانی منظم برای آشنا کردن و عادت دادن پرسنل با کارهای عملیاتی سامانه، انجام شود.

یادآوری- برخی خدمات آتشنشانی می‌توانند در این آموزش کمک کنند.

۶-۱۴ دسترسی

دسترسی به سایت، آماده‌سازی و دسترسی به تجهیزات آتشنشانی و آمبولانس یکی از موارد مهم و حیاتی بوده و بهتر است در فرآیندهای اضطراری سایت، مشورت آتی با خدمات آتشنشانی محلی و آمبولانس، در نظر گرفته شود. بهتر است همیشه برای واحد خدمات اضطراری، دسترسی به چاه و نواحی کاری وجود داشته باشد. توصیه می‌شود سطح مسیرهای عبور و مرور افراد در تونل با شرایط ایمن نگهداری شوند تا آن‌ها بتوانند حتی در شرایط دید (روشنایی) کم، به طور ایمن از وسایل اطفاء حریق استفاده کنند.

بهتر است در جاهای مناسب، نواحی فرود چرخ‌بال، سازگاز با نیازهای کاربر چرخ‌بال طراحی و ایجاد شود.

۷-۱۴ روشنایی

توصیه می‌شود همیشه به خصوص در نقاط آتش‌سوزی، مسیرهای فرار، خروجی‌های اضطراری و نقاط دسترسی تونل، روشنایی اضطراری کافی وجود داشته باشد (بند ۱۷ را ببینید).

۸-۱۴ کنترل دود

دود یک خطر اصلی در آتش‌سوزی است، به دلیل این‌که باعث خفگی می‌شود. دود باعث ایجاد اختلال در دید شده و در نتیجه باعث گم‌شدن و ایجاد رعب و وحشت می‌شود. خطر دود را می‌توان به بهترین نحو با استفاده از سامانه تهويه، کاهش داد. بهتر است کنترل دود، ابتدا در ارتباط با خدمات آتشنشانی مورد مطالعه قرار داده شود. هدف این کار، ایجاد یک جريان هوا است که بدون گسترش آتش‌سوزی، دود و گرما را از بين ببرد.

بهتر است افراد گیرافتاده در هوای مملو از دود بدانند که با خزیدن زیر دود، آسان‌تر می‌توانند حرکت کنند. توصیه می‌شود در شرایط شدید دود، کپسول‌های خودنجات و تجهیزات تنفس، آماده شوند.

یادآوری ۱- می‌توان برای کسانی که در دام دود و آتش گیر افتاده اند، با ایجاد دریچه تخلیه در فواصلی در خط هوارسانی در طول تونل، هوارسانی را انجام داد.

یادآوری ۲ - استفاده از پرده‌های آبپاش در انتهای خروجی ماشین‌های حفاری تونل، می‌تواند از گسترش آتش در ماشین و نزدیک شدن آن به داخل ماشین، جلوگیری کند.

۹-۱۴ امکانات نجات

بهتر است تجهیزات کمک‌های اولیه شامل برانکارها، مطابق با آن چه در بند ۶-۵-۹ توصیف شده است، در دسترس باشند.

بهتر است تجهیزات نجات شامل وسایل کامل تنفس تهیه شده و نگهداری شوند، برای این‌که در موقع اضطرار به آسانی در دسترس باشند.

بهتر است تمامی تجهیزات در محفظه‌هایی نگه داشته شوند، که طراحی آن‌ها به‌گونه‌ای باشد که در شرایط وخیم محتمل در کارها، وسایل نجات را حفظ نماید. توصیه می‌شود به‌منظور پاسخ سریع تیم نجات سایت یا واحد خدمات اضطراری، در بسیاری از تونل‌ها یک قطار یا واگن نجات اختصاصی، در نظر گرفته شود.

۱۰-۱۴ تجهیزات خودنجات‌ها^۱

بهتر است تمامی افراد در زیرزمین به تجهیزات خودنجات، دسترسی آنی داشته باشند، که این تجهیزات برای کاربر در حال راه رفتن، حداقل ۲۰ دقیقه اکسیژن تأمین کند. در جایی مانند تونل‌های طویل که برای مدت زمان طولانی به اکسیژن نیاز است، بهتر است انبار وسایل خودنجات در فواصل مناسبی تعییه شوند.

معمولًاً بهتر است وسایل خودنجات بر کمر افراد در زیرزمین بسته شوند، اما ممکن است آن‌ها را در قفسه‌ای انبار کرد تا در شرایط اضطراری، فوراً در دسترس قرار داشته باشد. زمانی که مسیرهای فرار جایگزین وجود داشته باشد، بهتر است قفسه وسایل خودنجات در تمامی مسیرهای فرار وجود داشته باشد. در صورتی که وسایل خودنجات در قفسه نگهداری می‌شوند، بهتر است آن‌ها تعمیر و نگهداری شده و یک سامانه بازرگانی وجود داشته باشد که کافی بودن تعداد آن‌ها، در دسترس بودن و نیز آماده به کار بودن آن‌ها را بررسی کند.

مجهز شدن به ماسک‌های دود که در تولید اکسیژن داخلی مشارکت دارند، به‌طور مثال فشنگ‌های شیمیایی تولید کننده اکسیژن، به‌طور سریع انجام می‌شود و می‌توانند یک وسیله خودنجات فراهم کنند. آن‌ها ممکن است برای بستن به کمر بزرگ باشند، ولی بهتر است در شرایط اضطرار فوری در دسترس باشند. به دلیل این‌که این وسایل کمتر از ۲۰ دقیقه عملیات می‌کنند، بهتر است در صورت نیاز خودنجات‌های اضافی در انبار وجود داشته باشد.

یادآوری- وسایل خودنجات اکسیژن فقط برای استفاده در فشار نرمال طراحی شده‌اند، اما می‌توانند تا شرایط فشار ۱ بار استفاده شوند، مشروط بر این که خطر تنفس اکسیژن پرفشار مورد بررسی قرار گیرد. نمونه‌ای از وسایل خودنجات برای فشار بالا تا ۳/۵ بار ساخته شده است. می‌توان در شرایط فشار بالا از دستگاه‌های جریان آزاد تنفس هوا استفاده کرد، اما بهتر است زمان استفاده از آن به‌طور چشم‌گیری کاسته شود.

توصیه می‌شود در محل‌هایی که اکسیژن مورد استفاده قرار می‌گیرد، بالاترین استانداردهای پاکیزگی وجود داشته باشد. بهتر است از توصیه متخصصان برای دستیابی بهتر به این مهم، استفاده کرد.

یادآوری- برای دستورالعمل نحوه استفاده از وسایل خودنجات در هوای فشرده، به بند ۱۱-۳-۵ مراجعه شود.

۱۱-۱۴ گزارش وضعیت پرسنل

بهتر است در موقع اضطراری سامانه‌ای برای گزارش وضعیت پرسنل وجود داشته باشد. این سامانه بهتر است تعداد و موقعیت افراد را در تمامی زمان‌ها نشان دهد. توصیه می‌شود در حوادث آتش‌سوزی در زیرزمین و سایر زمان‌های اضطراری، این اطلاعات در اختیار خدمات اضطراری قرار داده شوند.

یادآوری- اگر یک محل ورودی و خروجی وجود دارد، یک تابلو شمارش ساده کافی است.

در مواردی که چندین محل ورودی و خروجی وجود دارد، بهتر است از سامانه بسیار هوشمند استفاده شود. بهتر است هر سامانه‌ای که استفاده می‌شود مورد نظارت قرار گیرد و به تمامی افرادی که از آن استفاده می‌کنند، نحوه درست استفاده از آن آموزش داده شود.

در مواردی که عملیات تونل‌سازی با خوشی از پروژه با چند پیمانکار است، توصیه می‌شود سامانه‌ای که برای گزارش وضعیت پرسنل استفاده می‌شود، برای تمامی کارهای زیرزمینی به یک شکل باشد و در قرارداد و موارد ایمنی ذکر شود. بهتر است سامانه صرف نظر از این که افراد چگونه وارد و خارج می‌شوند، به‌گونه‌ای باشد که وضعیت پرسنل در کل سایت پروژه را گزارش دهد.

۱۲-۱۴ پناهگاه

محفظه نجات، یک پناهگاه محلی نسبتاً امن در تونل است. تعداد و محل پناهگاه‌هایی که توصیه می‌شود ساخته شوند، بر اساس ارزیابی خطر کارهای زیرزمینی و گزینه‌های فرار به محل‌های نسبتاً امن، تعیین می‌شود. شایان ذکر است که همه تونل‌ها آن قدر بزرگ نیستند که امکان حفر پناهگاه در آن‌ها وجود داشته باشد، یا آن قدر طویل نیستند که نیاز به آن داشته باشد.

توصیه می‌شود اتفاقک از جنس فولاد و بتن قوی به عنوان پناهگاه، به گونه‌ای ساخته شود که دارای منبع تنفس هوا به صورت بلندمدت بوده، محافظتی در برابر آلودگی اتمسفر باشد و در محیطی تحت فشار و حرارت کنترل شده و دارای روشنایی مطلوب قرار گیرد و نیز با سطح زمین در ارتباط بوده و غذای‌های ضروری، آب، راحتی و نیز کمک‌های اولیه را تامین کند.

یادآوری - تجرب نشان می‌دهند، برای افرادی که به مدت طولانی در پناهگاه محبوس شده‌اند، در صورت نبود تجهیزات شستشو و بهداشت دهانی ضعیف، مشکلاتی از قبیل عفونت‌های قارچی می‌تواند به وجود آید.

بهتر است پناهگاه قابلیت ایجاد یک منبع هوای قابل استشمام، ترجیحاً از طریق ارتباط با لوله اصلی کمپرسور هوای فشرده در توپل، را داشته باشد. بهتر است این لوله در مقابل آسیب‌های مکانیکی و گرمایی محافظت شود، برای مثال در کف توپل مدفون شوند. در مواردی که امکان تهیه لوله وجود ندارد، بهتر است هوا از سیلندرها تامین شود. راه دیگر این است که در پناهگاه یک سامانه اکسیژن (که از سیلندرها قرار گرفته در کنار پناهگاه تامین می‌شود)، همراه با سامانه تصفیه برای حذف مونوکسید کربن و دی‌اکسید کربن از هوای پناهگاه، وجود داشته باشد. توصیه می‌شود منبع اکسیژن شیمیایی بیشتری، برای استفاده در شرایط اضطراری، در پناهگاه وجود داشته باشد. مدت زمان تامین اکسیژن از سیلندرها ۲۴ ساعت و از منبع شیمیایی چهار ساعت است.

بهتر است سامانه تهویه مطبوع یا سرمایش آبی در پناهگاه موجود باشد که توان نگهداری دمای هوای داخلی در 28°C (زمانی که دمای محیط بیرونی 5°C است) را داشته باشد.

توصیه می‌شود در زمان استفاده معمولی، پناهگاه در فشار ثابت خیلی کمی نگهداری شود. بهتر است دریچه‌ای با قطر حداقل 150 mm درون درب یا دیوار مجاور آن در پناهگاه وجود داشته باشد. توصیه می‌شود به منظور جلوگیری از ورود آلودگی‌های هوا، درب با یک درزگیر مناسب درزگیری شود. بهتر است یک دریچه فرار اضطراری در دیگر دیوار پناهگاه و به دور از درب آن، وجود داشته باشد.

بهتر است پناهگاه با منبع اصلی انرژی در ارتباط باشد و منبع انرژی در مقابل آسیب مکانیکی و گرما محافظت شده باشد. به علاوه توصیه می‌شود منبع انرژی اضطراری به مدت ۳۰ ساعت وجود داشته باشد. بهتر است شدت روشنایی در سطح کف، 20 lux (لوکس) باشد، که این مقدار، در زمان استفاده از منبع انرژی اضطراری، می‌تواند به 10 lux کاهش یابد.

توصیه می‌شود دیواره داخلی پناهگاه و لوازم و متعلقات داخلی به گونه‌ای انتخاب شوند که خطر آتش‌سوزی را کاهش دهند. بهتر است پناهگاه به سامانه ارتباط شنیداری توپل متصل باشد، به گونه‌ای که این اتصال در برابر آسیب مکانیکی و آتش‌سوزی محافظت شده باشد.

بهتر است پناهگاه ظرفیت سه نفر از افرادی که به طور معمول در آن موقعیت در تونل کار می‌کنند، را داشته باشد و نیز به طور واضح، طرفین آن نشانه‌گذاری شده باشد. پناهگاه می‌تواند با چراغ‌های هشداردهنده که نشان‌دهنده استفاده از پناهگاه توسط عده‌ای دیگر است، و نیز با وسایل شنیداری که در موقع دید کم به یافتن موقعیت آن کمک می‌کند، تجهیز شود، بهتر است آتش خاموش کن آبی یا کفی در داخل آن تعییه شود. توصیه می‌شود پناهگاه در ماشین‌های حفاری تونل مطابق با الزامات استاندارد بند ۷۳-۲ ساخته شوند.

۱۵ تهویه

۱-۱۵ کلیات

بهتر است طراحی و نصب سامانه تهویه، با سرپرستی فرد متخصص صورت گیرد. توصیه می‌شود هرگونه نشت در لوله عایق‌بندی شود. بهتر است فرآیندی بهمنظور آزمون منظم عملکرد و کارایی هر سامانه تهویه و نیز برای تعمیر و نگهداری منظم آن، بهخصوص در تونل‌های طویل، در نظر گرفته شود. بهتر است آزمون‌ها مشخص کنند که آیا سامانه الزامات عملکردی را برآورده می‌کند یا خیر، و این‌که آیا تغییرات در طول تونل و پیکربندی آن نسبت به بررسی قبلی را در نظر می‌گیرد یا خیر. در صورت نیاز تعمیرات و اصلاحات مناسب انجام شود.

بهتر است در جاهایی که نیاز باشد فرآیندهایی برای خارج کردن پرسنل انجام شود و این فرآیندها به صورت تناوبی تمرین (تکرار) شوند.

یادآوری ۱- بهمنظور الزامات تامین منبع هوای تمیز و خالص شده برای ایمنی در ساخت، آیین‌نامه (طراحی و مدیریت) سال ۲۰۰۷ مد نظر قرار گیرد. آیین‌نامه هیچ محاسبه‌ای برای حداقل الزامات منبع هوای تمیز را ارایه نمی‌دهد (بندهای ۱۱-۳-۲ و ۱۵ را ببینید).

یادآوری ۲- هدف تهویه در تونل یا چاه، تولید هوای تمیز و خارج کردن آلودگی‌ها برای دست‌یابی به یک محیط قابل قبول است. مقدار هوای تمیز دمیده شده، بر اساس نیاز به تنفس و نیز رقیق کردن آلودگی‌ها و ایجاد سرمایش مطلوب تعیین می‌شود.

یادآوری ۳- الزامات مربوط به تهویه، ذاتاً بر اساس وجود یا عدم وجود گردوخاک یا سایر گازهای سمی، خفه‌کننده و منفجره و نیاز به رقیق شدن یا حذف شدن آن‌ها و همچنین میزان شرایط گرما و رطوبت برای مرتفع کردن آن‌ها، متفاوت خواهند بود.

یادآوری ۴- رطوبت بالا یکی از ویژگی‌های تونل است. افزایش دمای هوا در تونل می‌تواند ناشی از کار ماشین‌آلات در تونل، استفاده از مواد منفجره یا فرآیندهای تزریق روان‌ملات و بتون‌ریزی باشد. طبیعت دمای زمین تأثیر زیادی بر دمای هوای تونل دارد.

یادآوری ۵- کارایی سامانه تهویه ممکن است به طور جدی با طراحی ضعیف لوله‌ها یا تعمیر نگهداری ضعیف، کاسته شود، برای مثال عدم وجود زانوهای صلب در مواردی که تراز لوله تغییر می‌کنند باعث پهن شدن لوله می‌شود که در نهایت مانع جریان یافتن هوای خواهد شد.

۲-۱۵ دستورالعمل‌هایی برای مقدار منبع هوای تازه

بهتر است هوای تازه در تمامی محل‌های کاری توزیع شود. توصیه می‌شود ابتدا یک سامانه تهویه متعادل قابل کنترل کامل با ظرفیت و انعطاف‌پذیری مناسب با رشد و سازگار با پیشرفت برنامه حفاری، طراحی شود. بهتر است در قراردادهای پیچیده‌تر یا خطرناک‌تر، با متخصصان مشورت شود.

بهتر است در هر موقعیتی با در نظر گرفتن کلیه عوامل زیر، به صورت جداگانه محاسبه انجام شود:

- تعداد نیروی کار؛
- اندازه تونل؛
- شرایط محیط؛
- تعداد و نوع ماشین آلات.

بهتر است در مواردی که گرددهای خطرناک یا گازهای سمی وجود دارد یا قابل پیش‌بینی هستند، دقت ویژه‌ای صورت گیرد و آلودگی واقعی به طور نظاممند اندازه‌گیری شود.

بهتر است به منظور تامین هوای قابل تنفس، به طور موثر برای هر نفر حداقل $3\text{m}^3/\text{min}$ هوای تازه وجود داشته باشد. توصیه می‌شود در محل‌هایی که ساخت‌وساز صورت می‌گیرد، به منظور انتقال خروجی اگزووزها و گرمای ایجاد شده، تهویه اضافی انجام شود. مقدار تهویه اضافی برای هر کیلووات کار ماشین‌های با کنترل دقیق خروجی آن‌ها، حداقل $3.0\text{ m}^3/\text{min}$ توصیه می‌شود (بند ۱-۴-۲۴ را ببینید). بهتر است این منبع اضافی تهویه به گونه‌ای طراحی شود که میزان آلودگی‌های هوا را در سطح قابل قبولی نگه دارد و این موضوع به اندازه و ظرفیت ماشین‌آلات ساخت مورد استفاده، بستگی خواهد داشت.

کنترل دقیق خروجی ماشین‌آلات و به کارگیری روش‌های کار خوب، حجم هوای مورد نیاز را کاهش خواهد داد. در صورت وجود گاز متان و سایر گازهای منفجرشونده، بهتر است ملاحظات دیگری در نظر گرفته شود؛ در این موارد خطر انفجار یک اهمیت اصلی بوده و بهتر است هوای عرضه شده این گازها را در سطح قابل توجهی زیر حد پایین انفجاری (LEL) دقیق کند (بند ۵-۱۲ را ببینید). بهتر است حداقل سرعت هوای دمیده شده در تونل برای جلوگیری از گردوغبار، 0.5 m/s و برای جلوگیری از حضور گاز متان، 2.0 m/s باشد. یادآوری - محرک‌های هوای محلی یا موانع می‌تواند به منظور رسیدن به محدوده سرعت بیان شده، کمک کنند.

۳-۱۵ کیفیت هوای

بهتر است زمانی که تمرکز اکسیژن در تونل به کمتر از ۱۹٪ می‌رسد، کمبود اکسیژن اعلام شود. مهم‌ترین جنبه‌های فیزیکی کیفیت هوا، دما، رطوبت و سرعت است. توصیه می‌شود هوای دمیده شده در حد منطقی سرد و خشک باشد، با عبور هوا از داخل تونل، دمای هوا تمايل دارد به دمای دیواره تونل نزدیک

شده و رطوبت داخل تونل را بگیرد. در صورت امکان نباید دمای هوا همراه با رطوبت در محلهای کاری به بیش از 27°C برسد.

یادآوری ۱- هوای تازه از نظر حجمی حاوی 20.9% اکسیژن، 79.0% نیتروزن و 0.03% دیاکسید کربن است. بقیه حجم هوا شامل آرگون و سایر گازها است.

یادآوری ۲- دمای بالای هوا کارایی کاری را تضعیف می‌کند. دمای کمتر مانند 15°C الی 20°C ، کارایی و راحتی بالایی را به دنبال خواهد داشت.

در صورتی که فعالیت فیزیکی بالایی مانند حفاری دستی وجود دارد، نیاز است در شرایط دمایی و رطوبت بالا، خطر فشار حرارتی بررسی شده و توصیه‌های پزشکی در حد مناسب در نظر گرفته شود.

یادآوری- هوای اکسیژن زدایی شده می‌تواند باعث خفگی شود. این اتفاق در مواردی رخ می‌دهد که اکسیژن موجود در هوای عادی، جذب ذخایر آلی متخلخل شود. انواع دیگر زمین مانند ماسه‌های سیلیکاته می‌توانند باعث اکسیژن زدایی از هوا شوند (بند ۴-۳-۱۱ را ببینید).

بهتر است در صورت روپرو شدن با چنین لایه‌هایی در شرایطی که کاملاً اشباع نیستند، اقدام‌های احتیاطی در نظر گرفته شود؛ این شرایط در اثر نوسانات فشار داخل تونل، که در پاسخ به تغییر شرایط هواسنجی یا حذف یا کاهش فشار هوای فشرده مورد استفاده در تونل ایجاد می‌شود، به وجود می‌آید، در نتیجه هوای اکسیژن زدایی شده از زمین به درون تونل رها خواهد شد.

بهتر است پایش پیوسته غلظت اکسیژن به وسیله دستگاه‌های مطابق با استاندارد بند ۲-۷۴ انجام شود و از تجهیزات پایش ثابت، که به نمایش‌گرهای قابل حمل مجهز هستند، استفاده شود. توصیه می‌شود بهمنظور بهبود کیفیت هوای تونل، در عملیات تهویه از هوای تازه استفاده شود.

یادآوری- به مقررات سلامت و ایمنی در کار مطابق با قوانین سال ۱۹۷۴ توجه شود و بهتر است کنترل خطرهای بعدی مطابق آینینامه سلامت ۲۰۰۲ صورت گیرد، که نیاز است سطح آلودگی هوایی (بهصورتی که در دستورالعمل EH40 بیان شده است) تا سطحی که به طور منطقی عملی است، کاهش داده شود. همچنین بهتر است توجه شود که محدودیت‌های قرار گرفتن در معرض آلودگی هوایی محل کار، بر اساس دستورالعمل EH40 رعایت شوند (بند ۴-۱۵ را ببینید).

۴-۱۵ گازهای خطرناک

۱-۴-۱۵ کلیات

گازهای سمی، قابل اشتعال، بهصورت بالقوه منفجرشونده و خفه‌کننده، خطرناک هستند. بررسی و کنترل چنین گازهایی بسیار مشکل است، زیرا غلظت آن‌ها در یک روز کاری هم به ندرت ثابت می‌ماند. دستورالعمل EH40 به طور جامع مربوط به آلودگی هوایی بوده و حداقل محدودیت‌های قرارگیری در معرض این گازها و

محدودیت‌های قرارگیری در محل کار، را برای دامنه گستردگی فشار اتمسفر تنظیم کرده است. این راهنما توضیح کامل اصطلاح «حداکثر حد قرارگیری در معرض^۱» و «حد قرارگیری در محل کار^۲» را ارایه کرده است.

برای ارزیابی اثرات ترکیب‌های پیچیده، که در دستورالعمل EH40 وجود ندارد، بهتر است از توصیه‌های متخصصین امر استفاده شود. افراد از نظر حساسیت و تحمل پذیری در برابر مواد سمی، به‌طور گستردگی متغیر هستند و عاملی که این تغییرات را کنترل می‌کند به خوبی درک نشده است. بنابراین نباید فرض شود که شرایطی که برای عده‌ای ایمن است، برای همه ایمن باشد.

یادآوری ۱- اگرچه خدمات جدی ناشی قرارگیری در محل‌های دارای محدودیت قرارگیری در محل کار، غیرمحتمل در نظر گرفته می‌شود، نگهداشت غلظت تمامی آلودگی‌های اتمسفری در سطح پایین، تا آنجایی که به‌طور منطقی عملی است، یک الزام قانونی است (بند ۱۵-۳ را ببینید).

یادآوری ۲- می‌توان به‌منظور پایش وجود گاز متان و سایر گازهای هیدروکربنی و دامنه‌ای از گازهای سمی، از تجهیزات پایش الکتریکی استفاده کرد.

۲-۴-۱۵ خفه‌کننده‌های ساده

گازها و بخارهای خاص، زمانی که به مقدار قابل توجهی در هوا وجود داشته باشند، به‌صورت یک خفه‌کننده عمل می‌کنند. بدون سایر اثرات فیزیولوژی قابل توجه، آن‌ها با رقیق کردن اکسیژن (به اندازه‌ای که ادامه حیات امکان نداشته باشد) غلظت اکسیژن را می‌کاهمند. برخی خفه‌کننده‌های ساده مانند گاز متان، خطر انفجار نیز دارند.

بهتر است غلظت خفه‌کننده‌ها مانند دی‌اکسید کربن به‌طور مستقیم مورد بررسی قرار گیرند و نباید به بررسی اکسیژن به تنها‌ی اعتماد کرد زیرا خفه‌کننده‌ها، اکسیژن و نیتروژن موجود در هوا را با بخشی از غلظت حجمی خود جایگزین می‌کنند و به دلیل وجود چهار برابر نیتروژن نسبت به اکسیژن در هوا، در صورتی که تمرکز اکسیژن و نیتروژن در هوا به‌طور مستقیم اندازه‌گیری نشود، یک تخمین نادرست از غلظت خفه‌کننده‌ها صورت خواهد گرفت.

یادآوری- اگر به نیتروژن‌های رها شده ناشی از عملیات انجماد زمین اجازه تجمع داده شود، خطرناک خواهد بود (بند ۱۳-۷ را ببینید).

۳-۴-۱۵ آلودگی‌های هوایی که بیش‌تر در تونل‌سازی دیده می‌شود

محدودیت قرارگیری در معرض محل کار، که در این زیربند بیان می‌شود، از دستورالعمل EH40 است [۳۵].

1 - Maximum Exposure Limit

2 - Workplace Exposure Limit

یادآوری- اطلاعات مربوط به چنین گازهایی در جدول ۶ خلاصه شده است.

۱۵-۴-۳ مونوکسید کربن^۱ (CO)

مونوکسید کربن به شدت سمی است و به ندرت به صورت طبیعی اتفاق می‌افتد. این گاز همیشه در حین سوختن، به خصوص در سوختن با هوای محدود، مصالح زغال‌دار تولید می‌کند. این گاز در تونل ممکن است به صورت آهسته در اثر سوختن زغال‌سنگ و چوب و یا به صورت سریع در اثر خودسوزی زغال در محیط تونل تولید شود. منبع اصلی آن احتراق داخلی موتورها است.

به طور معمول در مرحله ساخت نباید از موتورهای بنزینی استفاده شود، زیرا دود اگزوز آن‌ها ممکن است حاوی ۱۰٪ مونوکسید کربن باشد (بند ۲۴-۴-۲۴ را ببینید).

یادآوری- دود اگزوز موتورهای دیزلی به طور معمول دارای غلظت بسیار پایینی هستند که مقدار آن به اندازه، طرز نگهداری و حالت عملیاتی آن بستگی دارد. می‌توان در زیر زمین از موتورهای دیزلی استفاده کرد، به شرطی که دستورالعمل بند ۱-۴-۲۴ مطالعه و رعایت شود.

مواد منفجره مورد استفاده در عملیات انفجار، گاز مونوکسید کربن تولید می‌کند و بهتر است در انتخاب مواد منفجره، گل‌گذاری مناسب دهانه چال و وسایل انفجار دقیق شود.

یادآوری- محدودیت قرارگیری در معرض محل کار، در بلندمدت (میانگین زمان ۸h) 30 ppm، اما در کوتاه مدت (15min) 20 ppm مجاز است (جدول ۶ را ببینید).

بهتر است هرگونه نشانه وجود مونوکسید کربن در تونل، به وسیله مدیریت سایت شناسایی شود و در صورت نیاز بهتر است کار تعطیل شود. شایان ذکر است که مونوکسید کربن در غلظت ۷۴٪ تا ۱۲٪ به صورت بالقوه منفجرشونده است.

جدول ۶- خلاصه آلودگی‌های جوی که در تونل‌سازی با آن‌ها مواجه می‌شویم

منابع اصلی	حدود انفجاری			W.E.L ^{A)}		خطر	چگالی نسبی		آلودگی
	بالا	پایین	C) حد کوتاه‌مدت	B) حد بلندمدت					
مواد منفجره، موتورها	۷۴/۲	۱۲/۵	۲۰۰ ppm	۳۰ ppm	سمی	۰/۹۷	CO	منوکسید کربن	
طبیعی، موتورها، جوشکاری، مواد منفجره	N/A	N/A	۱۵۰۰۰ ppm	۵۰۰۰ ppm	خفه‌کننده	۱/۵۳	CO ₂	دی‌اکسید کربن	
مواد منفجره، موتورها، جوشکاری	-	-	۵ ppm و ۳۵ ppm	۳ ppm و ۲۵ ppm	سمی و خفه‌کننده	۲/۶۲ و ۱/۰۳	NO ₂ و NO	اکسیدهای نیتروژن	
طبیعی	۱۴	۴/۴	-	-	منفجره و خفه‌کننده	۰/۵۵	CH ₄	متان	
طبیعی	۴۵/۵	۴/۳	۱۵ ppm	۱۰ ppm	سمی و منفجره	۱/۱۹	H ₂ S	سولفید هیدروژن	
طبیعی	-	-	۵ ppm	۲ ppm	سمی	۲/۲۶	SO ₂	دی‌اکسید سولفور	
نشست	۹/۵	۲/۲	-	-	منفجره و خفه‌کننده	۱/۵۵		پروپان	
نشست	۸/۵	۱/۵	۷۵۰ ppm	۶۰۰ ppm		۲/۰۵		بوتان	
نشست	۱۰۰	۱/۵	-	-		۰/۹۱		استیلن	
مواد آلی	۲۸	۱۵	۳۵ ppm	۲۵ ppm	سمی	۰/۵۹	NH ₃	آمونیاک	
زمین آلوده	-	تقریباً ۱	-	-	سمی و منفجره	-	متغیر	ترکیب‌های آلی فرار	
تحلیله صنعتی	-	-	-	-	سمی	-	متغیر	حلال‌های آلی	
طبیعی، اعمال شده	-	-	<۱۹% O ₂	-	خفه‌کننده	۱	O ₂	کمبود اکسیژن	
اکسیژن ذخیره شده در تونل، دریچه هوابند	-	-	>۲۳% O ₂	-	افزایش خطر آتش‌سوزی	۱	O ₂	غنای اکسیژن	
ریزش	۷/۵	۱ تقریباً	-	-	منفجره	>۲	-	بخار بنزین/ دیزل	
جوشکاری	-	-	-	-	سمی	۱/۶۶	O ₃	اوزون	
طبیعی	-	-	N/A	N/A	رادیواکتیو	-	R _n	رادون	

^(A) محدودیت قرارگیری در محل کار (برای اطلاعات بیشتر دستورالعمل EH40 را ببینید [۳۵]).

^(B) هشت ساعت، متوسط زمان توزین.

^(C) ۱۵ دقیقه.

^(D) بسته به ترکیب‌ها.

N/A غیرقابل کاربرد

۲-۳-۴-۱۵ دی اکسید کربن^۱ (CO_2)

منابع دی اکسید کربن شامل وقایع طبیعی است، بهخصوص در جایی که سنگ‌های آذرین در لایه‌های کربن‌دار نفوذ کرده یا آب اسیدی بر روی سنگ‌آهک یا سنگ آهکدار عمل می‌کند، دی اکسید کربن تولید می‌شود. سایر منابع شامل خروجی اگزوز موتورهای احتراق داخلی، سوختن مصالح کربن‌دار و انفجار مواد منفجره، هستند. دی اکسید کربن از هوا سنگین‌تر بوده و بنابراین انباشتگی در نواحی پایین مورد انتظار خواهد بود.

توصیه می‌شود غلظت دی اکسید کربن همواره به صورت مستقیم اندازه‌گیری شود و هرگز از روی میزان غلظت اکسیژن نتیجه‌گیری نشود.

یادآوری - دی اکسید کربن می‌تواند به صورت یک خفه‌کننده ساده عمل کند (بند ۲-۴-۱۵ را ببینید). محدودیت قرارگیری در معرض محل کار، در طولانی مدت 500 ppm و در کوتاه مدت بالای 1500 ppm ، مجاز است. زمانی که دی اکسید کربن به صورت طبیعی در زیرزمین اتفاق می‌افتد، اغلب با کمبود اکسیژن همراه است (در معدن کاری به عنوان دم (تجمع سیاه^۲) شناخته می‌شود)، دم یا تجمع سیاه، به اتمسفر دارای غلظت بالایی از دی اکسید کربن و نیتروژن نسبت به هوای معمولی، اطلاق می‌شود.

۳-۴-۱۵ اکسیدهای نیتروژن^۳

اکسیدهای اصلی نیتروژن، اکسید نیتروژن و دی اکسید نیتروژن است.

منبع اکسیدهای نیتروژن شامل دود ناشی از انفجار، دود اگزوز موتور و جوشکاری است. هر دو اکسید بهخصوص دی اکسید نیتروژن سمی هستند، که بی سروصدای و بدون نشانه‌های اولیه به بافت شش حمله می‌کنند و کمی بعد با نشانه ذات‌الریه باعث بی‌هوشی می‌شوند. دی اکسید نیتروژن به دلیل عدم قطعیت در مورد تأثیر شدید ریوی، اخیراً هیچ محدودیت قرارگیری بلندمدت در معرض محل کار ندارد، هر چند که واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست توصیه کرده است که محدودیت قرارگیری بلندمدت در معرض محل کار، در حد 1 ppm کنترل شود.

محدودیت قرارگیری بلندمدت در معرض اکسید نیتروژن محل کار، هر چقدر به صورت منطقی و عملی کم است، تحقیقات صنعتی نشان می‌دهد که این محدودیت در بلندمدت 1 ppm و در کوتاه‌مدت 15 ppm می‌تواند در تونل قابل قبول باشد. مونوکسید نیتروژن به صورت آهسته و خود به خودی به دی اکسید نیتروژن تبدیل می‌شود، اما این تغییر در تونل دارای تهويه عادي، غیرمحتمل است.

1 - Carbon Dioxide

2 - Blackdamp

3 - Nitrogen Oxides

۴-۳-۴ گاز متان^۱ و سایر گازهای هیدروکربنی

گاز متان به صورت بالقوه یک گاز قابل انفجار است که به طور طبیعی در لایه‌های زغال‌سنگ، مصالح کربن‌دار و زغال نارس وجود دارد. همچنین این گاز در سنگ‌های مخزن متخلخل و به صورت حل شده در آب، یافت می‌شود. این گاز ممکن است در زمین حاوی مصالح آلی مانند لجن‌های رودخانه‌ای و نیز در اثر تجزیه زیستی زباله‌های آلی مانند زباله‌های خانگی ایجاد شود. متان از لوله‌های شکسته شده گاز خانگی به داخل زمین رها می‌شود. در ترکیب با سایر گازهای انفجاری، به خصوص گازهای هیدروکربنی، به عنوان گاز قابل احتراق^۲ شناخته می‌شود.

متان سمی نیست ولی بهتر است دقت شود که این گاز می‌تواند با رقیق کردن غلظت اکسیژن در هوا، به صورت گازی خفه‌کننده عمل کند.

یادآوری - خطرهای اولیه آتش‌سوزی و انفجار به طور کامل در بند ۱۲ توضیح داده شده است. سایر گازهای هیدروکربنی مانند گاز طبیعی یا گاز طبیعی مایع (LPG) می‌تواند در اثر نشت درون زمین، وجود داشته باشد.

۴-۳-۵ سولفید هیدروژن^۳ (H_2S)

سولفید هیدروژن شدیداً سمی است و دارای بوی ویژه (تخم مرغ گندیده) است. شایان ذکر است که غلظت بیش‌تر از ۱۵۰ ppm این گاز، حس بویایی را کاهش می‌دهد، و این‌که سولفید هیدروژن قابل اشتعال است و در غلظت ۴٪ تا ۴۶٪ می‌تواند قابل انفجار هم باشد، اگرچه این غلظت در شرایط عادی تونل‌سازی غیر محتمل است.

یادآوری - سولفید هیدروژن به صورت خنثی در اثر زوال مصالح آلی سولفوردار یا عملکرد آب اسیدی بر روی سنگ چخماق ایجاد می‌شود. این گاز باعث سوزش تنفس و سوزش چشم می‌شود که به ترتیب باعث برونشیت و تورم خواهد شد. این گاز ممکن است باعث بیهوشی و به دنبال آن مرگ از طریق از کار افتادن تنفس، شود. محدودیت قرارگیری بلندمدت در معرض محل کار برای این گاز ۱۰ ppm و استاندارد کوتاه‌مدت آن ۱۵ ppm است.

۴-۳-۶ دی‌اسید سولفور^۴ (SO_2)

دی‌اسید سولفور یک گاز سمی است که به شش‌ها حمله می‌کند. منابع این گاز رویدادهای طبیعی در نواحی آتش‌فشنایی و نیز دود ناشی از خروجی اگزوز موتورها و احتراق سوخت‌های سولفوردار است.

1 - Methane

2 - Firedamp

3 - Hydrogen Sulfide

4 - Sulfur Dioxide

در نواحی صنعتی دی اکسید سولفور یک آلودگی عادی هوا محسوب می شود. این گاز توسط بسیاری از مردم به وسیله رایحه خاص آن و نیز مزه آن به محض جذب شدن آن، شناسایی می شود.

توصیه می شود محدودیت قرار گیری بلندمدت در معرض محل کار، به منظور جلوگیری از سوزش تنفسی در اکثر افرادی که با آن مواجه هستند و نیز برای داشتن حداقل تاثیر روی افرادی حساس به گازهای سوزش آور، مقدار آن ۵ ppm در نظر گرفته شود.

۷-۳-۴-۱۵ گازهای برشکاری و جوشکاری

پروپان^۱، بوتان^۲ و استیلن^۳ گازهایی هستند که برای برشکاری و جوشکاری استفاده می شوند. این گازها می توانند در هوا ترکیب های بالقوه انفجاری ایجاد کنند و بهتر است در مورد سیلندرهای حاوی این گازها دقت شود زیرا در اثر ضربه و گرما، منفجر می شوند.

بهتر است در موارد خاص، سیلندرهای استیلن به مدت ۲۴h به وسیله آب، عایق کاری و سرد شوند. یادآوری ۱- سیلندرهای استیلن در اثر گرما، به دلیل تجزیه گرمایی استیلن، ممکن است منفجر شود. این خطر می تواند مدت ها بعد از حذف حرارت، هنوز وجود داشته باشد.

یادآوری ۲- خطر ویژه گازهای پروپان و بوتان این است که از هوا سنگین تر بوده و می توانند در نقاط پایین تونل ها انشاب شوند (بند ۲-۱۳ را ببینید).

یادآوری ۳- دستورالعمل استفاده از سیلندرهای استیلن در هوای فشرده، در بند ۱-۵-۱۱ بیان شده است.

۸-۳-۴-۱۵ بخار (دود) حاصل از جوشکاری و برشکاری

دود حاصل از برشکاری و جوشکاری به طور معمول سمی است. ترکیب و مقدار آن به آلیاژ جوش شونده و فرآیند جوشکاری بستگی دارد، اما مولفه های اصلی سازنده آن، اکسید نیتروزن^۴، ازن^۵، آرگون^۶، دی اکسید کربن، منوکسید کربن، اکسیدهای فلزی^۷ و فلورید^۸ هستند.

توصیه می شود سامانه تهویه مکشی موضعی نصب شود. این سامانه نباید از نوع فیلتر کننده چرخشی هوا باشد، مگر این که تهویه کلی موثری برای جلوگیری از انشابتگی گازهای خطرناک اجرا شده باشد.

یادآوری- ممکن است افراد حفاظت نشده مجبور باشند، به طور موقتی از محل دور شوند (بند ۲-۱۳ را ببینید).

1 - Propane

2 - Butane

3 - Acetylene

4 - Oxides of Nitrogen,

5 - Ozone

6 - Argon

7 - Metal Oxides

8 - Fluorides

۹-۳-۴-۱۵ بخار بنزین / دیزل

بخارهای بنزینی یا دیزلی خطرهایی مانند سمی بودن، آتشسوزی و انفجار را در پی دارند. می‌توان در مجاورت محل‌های سوخت‌گیری یا تاسیسات انبارش فعلی یا قبلی، که وابسته به کار تونل‌سازی نیستند، بنزین یا دیزل باقیمانده در زمین یافت. بهتر است حمل و نقل سوخت دیزلی در جایی انجام شود که بتوان نشت و پخش شدن سوخت را کنترل کرد یا در جایی که تهويه به سمت هوای بیرون تونل ایجاد شده است.

۱۰-۳-۴-۱۵ آمونیاک^۱

آمونیاک می‌تواند از به کار بردن روان‌ملات‌های شیمیایی خاص، حفاری تونل‌ها در دهانه سیلت‌های آلی و احتمالاً به دلیل فعل و انفعالات شیمیایی میان روان‌ملات سیمانی و خاک، تولید شود.

۱۱-۳-۴-۱۵ ترکیب‌های آلی فرار^۲ (VOCs)

خیلی اوقات در زمین‌های آلوده شده با فرآیندهای صنعتی مانند گاز، کک یا فرآوردهای قطران^۳، گسترهای از ترکیب‌های آلی فرار پیدا شده است. این ترکیب‌ها شامل بنزین، تولوئن^۴، زیلن^۵ و ترکیب‌های مربوطه هستند. توصیه می‌شود به خاطر خطرناک بودن این گازها برای سلامت، به آن‌ها دقت شود، برخی از آن‌ها سرطان‌زا بوده و حد پایین انفجاری آن‌ها نسبتاً کم و در حدود ۱٪ حجمی است. زمانی که ترکیب‌های آلی فرار به داخل تونل وارد شوند، بهتر است توصیه‌های متخصصان در مورد خطرهای بهداشت کاری و انفجار در نظر گرفته شود.

۱۲-۳-۴-۱۵ سایر گازهای سمی

ممکن است سایر آلودگی‌های اتمسفری رخ دهد، ولی آن‌ها به طور معمول خطر زیادی بر تونل‌سازی ندارند. خطری که توصیه می‌شود از آن جلوگیری شود، گازهای سمی (کلرید هیدروژن^۶، سیانید هیدروژن^۷ و ایزوسانیدهای سمی^۸) هستند که در فرآیند احتراق، به خصوص احتراق مواد پلاستیکی حاصل می‌شوند.
یادآوری ۱- نشت از فاضلاب ممکن است، در نتیجه وارد شدن حلal آلی به تونل باشد.
یادآوری ۲- برای اطلاعات بیشتر در مورد این گازها به دستورالعمل EH40 مراجعه شود [۳۵].

1 - Ammonia

2 - Volatile Organic Compounds (VOCs)

3 - Tar

4 - Toluene

5 - Xylene

6 - Hydrogen Chloride

7 - Hydrogen Cyanide

8 - Toxic Isocyanates

۱۵-۴-۳-۱۳ تنظیمات هشدار برای تجهیزات بررسی اتمسفر

در حالی که بهتر است در مورد محل تخلیه و عملیات اجرای آن، ابهامی وجود نداشته باشد، توصیه می‌شود کارمند وابسته به واحد نظارت و سرپرستی در تونل با استفاده از تجهیزات پایش دارای قابلیت هشدار چند سطحی، از ایجاد وضعیت‌های غیرایمن در تونل آگاه باشد، به خاطر این‌که قبل از تخلیه غیرضروری، بررسی و عملیات اصلاحی انجام گیرد. توصیه می‌شود تنظیمات هشدار و پاسخ‌های ارایه شده در جدول ۷، در نظر گرفته شوند. در مواردی که تجهیزات پایش اتمسفر، قابلیت هشدار چند سطحی نداشته باشند، بهتر است تنظیمات هشدار و پاسخ‌ها در سطح ۲ ارایه شده در جدول ۷، باشند.

یادآوری- یک دستورالعمل در مورد محدودیت قرارگیری در معرض گازها، در انتشاراتی از قبیل HSE's EH40 ارایه شده است [۳۵]. در جایی از تونل که ارزیابی ریسک نشان می‌دهد که تغییرات ناگهانی در میزان آلودگی اتمسفر غیرمحتمل است، می‌توان سامانه هشداردهنده دو مرحله‌ای نصب کرد. تجهیزات الکترونیکی پیشرفته پایش اتمسفر دارای امکاناتی هستند که نشان می‌دهند گاز به میزان هشدار رسیده است و هم‌چنین هشدارهای چند سطحی را فراهم می‌کنند.

جدول ۷- تنظیم هشدارها و پاسخ‌ها

خطر	سطح هشدار ۱ (اخطر)	سطح هشدار ۲ (تخلیه)
اکسیژن (کمبود)	۱۹/۵ درصد حجم	۱۹ درصد حجم
اکسیژن (غنى سازی)	۲۲ درصد حجم	۲۳ درصد حجم
گاز اشتعال‌پذیر	۵ درصد حد پایین انفجار	۱۰ درصد حد پایین انفجار
گاز سمی	۵۰ درصد STEL	*STEL ۱۰۰ درصد
بیان هشدار و پاسخ	آگاه باشید که برای ایمنی اتمسفر محیط خطرهایی وجود دارد اما بدون پوشیدن وسایل خودنجات و تخلیه محیط کاری وجود دارد و بهتر است مطابق با طرح اضطراری، تخلیه انجام شود.	مشکل و خطر جدی برای هوای محیط کاری، ایمن باقی خواهد ماند. بهتر است برای مشخص شدن علت تهدید و اقدام‌های کاهنده این خطر، عملیات آغاز شود.
یادآوری- برای شرایط علامت‌گذاری شده با (*) (کمبود اکسیژن یا حضور گازهای سمی)، بلافصله تجهیزات خودنجات پوشیده شود.		

۱۵-۴-۴-۴ محدودیت‌های گازهای بالقوه انفجاری، در مواردی که توصیه‌های ویژه‌ای ارایه نشده است

در جاهایی که گازهای قابل اشتعال یا بالقوه انفجاری، مانند آن‌هایی که در بند ۱۵-۴-۳-۱۵ بیان شد (به غیر از متان)، یا ترکیب‌های گازی وجود دارند و هیچ دستورالعمل خاصی، مانند بند ۱۵-۴-۳-۱۵ یا هر منبع استاندارد دیگری وجود ندارد، بهتر است از اصول بند ۱۲ پیروی شود. بهخصوص، بهتر است توصیه‌های بند ۱۲-۵ در مورد غلظت‌های خاص گاز بر حسب درصد حد پایین انفجاری، مورد توجه قرار گیرد.

۱۵-۴-۵ رادون^۱

رادون، یک گاز رادیواکتیو ساکن و یکی از فرآوردهای طبیعی اورانیوم است. بهتر است هر سنگ یا مصالح دارای اورانیوم به عنوان منبع رادون در نظر گرفت.

عدم وجود گزارش در مورد فعالیت رادون در یک منطقه، دلیل بر نبودن رادون در آن منطقه نیست.

یادآوری ۱- در بیشتر سنگ‌ها اثراتی از اورانیوم وجود دارد، اما غلظت اورانیوم نمی‌تواند دستورالعمل برای پی بردن به غلظت رادون باشد. رادون به آسانی در آب زیرزمینی حل شده و در تماس با هوای آزاد از آن جدا می‌شود و به این ترتیب ممکن است از منبع خود فواصل زیادی را در زمین طی کند.

یادآوری ۲- آشنایی با رادون در آیین‌نامه تشعشع یونیزاسیون ۱۹۹۹ [۳۶] و دستورالعمل وابسته L121 [۳۷] آمده است.

یادآوری ۳- خطر سلامت افراد در اثر مواجه شدن با رادون، ناشی از استنشاق فرآوردهای تجزیه شده رادیواکتیو و اشتقاقات رادون است. اثرات آسیب سلوی وارد به خصوص در شش‌ها در نتیجه رویارویی با چنین موادی، به‌طور آنی تهدید کننده نیست، اما در ادامه زندگی احتمال خطر ایجاد سرطان را افزایش می‌دهد.

یادآوری ۴- توصیه‌های تخصصی در دستورالعمل L121 بیان شده است [۳۷]، هم‌چنین می‌توان در این مورد با واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست نیز مشورت کرد.

در صورتی که محدودیت قرارگیری در معرض رادون در محل کار، بیش از چیزی است که در این آیین‌نامه‌ها ارایه شده است، بهتر است به واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست اعلام شود.

توصیه می‌شود تحقیقات در مورد پتانسیل وجود رادون در زمینی که تونل در آن حفر خواهد شد، بخشی از مطالعات دفتری و بررسی‌های سایت باشد، هم‌چنین برای این‌که قبل از شروع ساخت تونل مشخص شود که آیا بررسی در حین ساخت نیاز است یا نه و نیز آیا اندازه‌گیری انتشار رادون و تأثیر آن بر افراد در طرح ایمنی و سلامت در نظر گرفته شودیا نه، بررسی‌ها و تحقیقاتی انجام شود.

اگر بررسی‌های قبل از ساخت، خطر انتشار رادون به درون چاه یا تونل را نشان‌دهند، توصیه می‌شود اندازه‌گیری‌های معرف غلظت رادون برای تمامی محل‌های قابل دسترس در طول ساخت، انجام شود.

دلیل تغییرات موضعی غلظت رادون، استفاده از تجهیزات هوای فشرده و عملکرد سامانه تهویه است. هم‌چنین غلظت رادون ممکن است تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی کوتاه‌مدت و فصلی قرار بگیرد. بهتر است زمانی که اندازه‌گیری‌ها برای تعیین غلظت معرف انجام می‌شود، تمامی این تأثیرها در نظر گرفته شوند. در صورتی که معادن قدیمی یا تونل‌ها وارد ناحیه دارای فعالیت رادون شوند، بهتر است به دلیل احتمال وجود غلظت بالایی از رادون و ترکیب‌های تجزیه شده آن، در آن‌جا با احتیاط عمل شود.

بهتر است به‌منظور تعیین احتمال انتشار گاز درون کارها، تمامی گزارش‌های مربوط به فعالیت رادون مورد بررسی قرار گیرند. توصیه می‌شود خلاصه‌ای از این اطلاعات در پرونده ایمنی و سلامت قرار داده شود. بهتر

است به طور صحیح به مالکان تونل مشورت داده شود و فرآیند عملیات مناسب برای حفظ سلامت و ایمنی افرادی که از تونل استفاده می‌کنند (مانند زمان عبور کارکنان از داخل تونل به منظور انجام کارهای تعمیرات و نگهداری)، به آن‌ها ارایه شود.

۵-۱۵ تونل‌های خالی و نواحی راکد

هیچ کس نباید به تنها‌یی یا بدون داشتن تجهیزات پایش اتمسفر و تجهیزات حفاظت شخصی، در صورت عدم کار کردن سامانه تهویه یا بدون تحت آزمون قرار دادن جریان هوای برگشتی و مشخص شدن ایمنی آن، وارد تونل شود. توصیه می‌شود با پرسنل اضافی در تماس بوده و چنین فرآیندی بر اساس فرآیند «مجوز شروع به کار» برنامه‌ریزی شود. عواملی که توصیه می‌شود در نظر گرفته شوند، شامل موارد زیر هستند:

- صلاحیت پرسنل؛

- آیا در مسیری که از آن عبور می‌شود تجمع گاز وجود دارد؟

- ماهیت زمین و پتانسیل آن برای گازهای خطرناک و انفجاری؛

- مدت زمانی که تونل خالی مانده است؛

- تهویه طبیعی تونل؛

- مشکلات نجات.

فاضلاب‌هایی که استفاده یا متروک شده‌اند، ممکن است به‌طور خاص خطرناک باشند و بهتر است فقط با تایید مسئول آب و فاضلاب محلی، وارد آن شد.

یادآوری - ممکن است در نواحی مانند تونل و چاههای تهویه نشده، که چرخش هوای کمی وجود دارد گازهای سمی، ترکیب‌های فاقد اکسیژن یا ترکیب‌های انفجاری انباشته شود. گازهایی مانند دی‌اکسید کربن چگال‌تر از هوا هستند و تمایل دارند در نواحی پایین‌تر جریان یافته و در آنجا باقی بمانند. گاز متان نسبت به هوا سبک‌تر است، ولی ممکن است در ترکیب با گازهای دیگر در هر سطحی از تونل وجود داشته باشد. زمانی که نیاز است به تونل یا چاههای استفاده نشده یا متروک وارد شد، خطرها به‌طور ویژه بالا است، اما این خطرها زمانی وجود دارند که بعد از یک وقفه کوتاه مانند آخر هفت‌هه، ورود دوباره به تونل یا چاه انجام می‌شود.

۶-۱۵ سرمایش^۱

شایان ذکر است که نیاز به سامانه سرمایش در تونل‌های نزدیک سطح، بیش‌تر ناشی از دمای بالای محیط بالاسری سطح زمین است.

یادآوری - گرمای ایجاد شده در تونل در اثر عملیات ماشین‌آلات الکتریکی و مکانیکی و هیدراسیون سیمان (زمانی که نمی‌تواند به‌طور سریع در زمین مجاور سینه کار پیش روی تونل جذب زمین شود)، تولید می‌شود.

بنابراین دمای هوا بالا می‌رود و بهتر است جریان موثری از هوا ایجاد شود تا دمای هوا در سطح قابل قبولی نگهداشته شود. توصیه می‌شود برای تعیین حجم هوای تازه مورد نیاز برای سرمایش، تعادل گرمای کلی به دقت مورد آزمون قرار گیرد (بند ۱۵-۳ را ببینید).

یادآوری - در اعمق بالا به دلیل دمای زیاد زمین، سرمایش مهم است.

۷-۱۵ دستگاه‌ها و سامانه‌های تهویه

۱-۷-۱۵ کلیات

توصیه می‌شود روش تهویه انتخاب شده، مطابق با حجم مشکلات به وجود آمده در هر وضعیت تونل‌سازی باشد. عواملی که توصیه می‌شود در نظر گرفته شوند، شامل موارد زیر هستند:

۱. تعداد سینه‌کارهای؛
۲. طول، اندازه و شیب تونل؛
۳. حضور آب، گردوغبار و دود؛
۴. حضور متان و سایر آلودگی‌ها؛
۵. آیا حفاری و آتشباری انجام خواهد شد؛
۶. آلودگی‌های ناشی از ماشین‌آلات مکانیکی؛
۷. مقدار اتلاف گرمای ایجاد شده در اثر عملیات تونل‌سازی مکانیزه.

نیروهای کاری سنتی و سامانه‌های خسته‌کننده و هم‌زمان در بسیاری از تونل‌ها به کار گرفته می‌شود و بهتر است بر اساس شرایط ویژه ماشین‌آلات و شرایط محیط، روش مناسب‌تر تعیین شود. جایی که اختلاط یا رقیق کردن آلودگی‌هایی مانند گازهای بالقوه انفجاری، در سطح سقف تونل نیاز باشد، توصیه می‌شود از وسایل موضعی محرک هوا مانند فن‌های هیدرولیکی موجود در ماشین و سپر تونل‌سازی استفاده شود.

یادآوری - هنگام پیشروی تونل در زمین نرم با یک سینه‌کار، دمیدن هوای تازه به سینه‌کار به‌طور مطمئنی موثر خواهد بود، اما در سامانه‌های پیچیده تونل مانند پروژه‌های حمل و نقل زیرزمینی یا در طرح‌های هیدرولکتریکی، نواحی کاری زیادی وجود دارند و احتمال تغییر پیکربندی مسیرها و لوله‌ها با پیشرفت فرآیند کار، وجود دارد؛ در نتیجه الزامات تامین هوای تازه و رقیق‌سازی یا حذف آلودگی‌ها، ممکن است متغیر باشد.

بهتر است جایی که مشکل اصلی وجود گردوغبار است، سامانه‌ای برای کنترل گردوغبار طراحی شود و فیلترها به هم متصل شوند، تا قبل از انتشار دوباره گردوغبار و وارد شدن به جریان هوای کلی، هوای گردوغباردار را تمیز کند.

یادآوری ۱- زمانی که در شرایط وجود گردوغبار، از ماشین‌آلات مکانیکی استفاده می‌شود، ممکن است بین موضوع ایجاد جریان هوای کافی برای رقیق کردن خروجی اگزوژ و عملیات محدود کردن جریان هوا برای جلوگیری از تشکیل گردوغبار سیلیس‌دار، تضاد ایجاد شود.

یادآوری ۲- تأثیر گرمای اضافه شده به هوا ناشی از دستگاه‌های نصب شده و افزایش رطوبت ناشی از آب‌های طبیعی و وارد شده را می‌توان با استفاده از سامانه‌های القایی، که دارای سرعت هوای موضعی بالایی هستند و نیز با کنترل مقدار آب استفاده شده برای فرون Shanدن گردوغبار، کاهش داد.

بهتر است سامانه تهویه به‌گونه‌ای طراحی شود که همزمان با فرآیند تونل‌سازی توسعه یابد. بعد از انجام عملیات حفاری جدید، توصیه می‌شود جانمایی سامانه تهویه دوباره انجام شود.

در صورتی که از محرک‌های هوا به‌طور موضعی استفاده می‌شود، بهتر است این محرک‌ها موجب چرخش دوباره هوا نشوند، زیرا باعث آلودگی هوا می‌شوند.

یادآوری ۱- سامانه‌های تهویه می‌توانند شامل یک یا چند مورد زیر باشد:

۱- تامین هوای تازه اجباری، خروج از داخل تونل و راههای دسترسی؛

۲- حذف هوای آلوده از تونل، ورود هوای تازه به داخل تونل به دلیل کاهش مقدار هوای آلوده؛

۳- افت فشار در اثر تهویه مکشی؛

۴- تناوب دهش و مکش هوا؛

۵- سامانه‌های بسیار پیچیده ترکیبی از دهش و مکش هوا، مانند سامانه‌های همزمان که ممکن است شامل فیلتر باشند؛

۶- چرخش مجدد هوا به‌صورت کنترل شده؛

۷- محرک‌های هوا برای کمک کردن موضعی و حذف توده‌های بدون حرکت.

یادآوری ۲- این سامانه‌ها به‌طور خلاصه در بندۀ‌های ۲-۷-۱۵، ۳-۷-۱۵، ۴-۷-۱۵، ۵-۷-۱۵ و ۶-۷-۱۵ و ۷-۷-۱۵ بیان شده‌اند.

۲-۷-۱۵ تهویه دهشی^۱

هوای تمیز برای سینه‌کارها از طریق تهویه تحت فشار هدایت شده به سینه‌کارها، تأمین می‌شود و بهتر است در بیش‌تر تونل‌ها، ترجیحاً از این سامانه استفاده شود.

در تونل‌های سنگی طویل یا در دوره‌های بلندمدت تمیز کردن هوا، بهتر است پناهگاه‌های موضعی^۲ مجهز به دمش هوای تمیز برای استفاده در سینه‌کارها، ایجاد شود.

یادآوری- ممکن است هوای برگشتی از تونل، به شدت آلوده شده باشد. هنگام استفاده از مواد منفجره، جریان تهویه یک هوای خیلی آلوده را بر می‌گرداند که به تدریج در بدنه کلی هوا پخش می‌شود، اما هنوز می‌تواند به‌صورت بالقوه خطرناک باشد.

1 - Supply Ventilation

2 - Local Refuges

۱-۷-۳ تهويه مکشي^۱

برای حذف گردوغبار خطرناک ایجاد شده در حین تونل سازی و هرگونه دود ناشی از کاربرد مواد منفجره، ممکن است مستقیماً از یک مجرای مکش هوا در نقطه‌ای نزدیک سینه‌کار استفاده شود. فرآیند مکش، هوای درون طول تونل را می‌مکد، اما این سامانه ممکن است موجب انباشتگی آلودگی‌هایی مانند گردوغبار و گرما و نیز باعث افزایش رطوبت در حین عبور آن شود.

تهويه مکشي تنها برای مسافت‌های کوتاه اطراف ورودی مجرای تهويه مناسب است و بنابراین بهتر است ورودی مجرای تهويه در نزدیکی نقطه‌ای که مکش آلودگی‌ها نیاز است، قرار داده شود. توصیه می‌شود در صورت نیاز برای نزدیک کردن مجرای مکشی به منبع آلودگی و سینه‌کار، محل آن تغییر داده شود. بهتر است این مجراهای که در فشار کاهش یافته ساخته شده‌اند، ساختار صلب یا انعطاف‌پذیر مارپیچ مسلح داشته باشند. سامانه مکش می‌تواند مقدار افزایش یافته متن را از منبع آن مکش کند و زمانی که افزایش متن قابل پیش‌بینی باشد، بهتر است بهمنظور مطمئن شدن از عدم تشکیل ترکیب گازی بالقوه انفجاری، هوا در مجاری مورد پایش قرار گیرد. یادآوری - ممکن است قرار دادن فن در تونل و نزدیک به سینه‌کار و راندن هوا از فن به سمت سطح زمین، موثرتر باشد.

۱-۷-۴ تهويه تناوبی^۲

سامانه تهويه مکشی و دهشی را می‌توان با استفاده از فن‌های دارای مکانیزم قابل برگشت، ترکیب نمود و در نتیجه گردوغبار و دود برای مدتی بعد از انفجار از سینه‌کار مکیده شود، و سپس در بقیه چرخه کاری هوای تازه به سینه‌کار دمیده شود.

این سامانه پیچیده و ناکارآمد است و بهتر است فقط در تونل‌های کوتاه استفاده شود.

۱-۷-۵ سامانه‌های همزمان

در برخی موارد استفاده از سامانه‌های همزمان یا ترکیب چرخشی از سامانه تهويه مکشی و دهشی لازم است و به طور معمول بهتر است برای حذف گردوغبار در مجرای مکشی، سامانه به فیلتر مجهز باشند. توصیه می‌شود جانمایی مجراهای به‌گونه‌ای طراحی شوند که چرخش هوا در کلیه سینه‌کارها وجود داشته باشد. بهتر است برای کنترل جریان هوا این سامانه همراه با استفاده از پرده، مورد بررسی قرار گیرد. بهتر است جایی که متن حضور دارد، توجه ویژه‌ای به کار گرفته شود، زیرا در اثر عوامل زیر ممکن است خطرهای اضافی به وجود آید:

1 - Extraction Ventilation

2 - Alternating Ventilation

۱- سامانه‌های خارج کننده هوا؛

۲- لایه‌ای شدن جریان هوا به دلیل سرعت پایین آن؛

۳- تخلیه الکتریسیته ساکن.

یادآوری- بندهای ۲-۱۵، ۳-۷-۱۵ و ۹-۷-۱۵ را ببینید.

۶-۷-۱۵ فنون چرخشی کنترل شده

توصیه می‌شود سامانه تهویه به‌گونه‌ای طراحی شود که از چرخش دوباره هوا جلوگیری کند. هر چند هنگام وجود گردوغبار در تونل‌های طویل و در مواردی که مقدار زیادی از گردوغبار در ماشین‌های تونل‌سازی وجود دارد، می‌توان از سامانه کنترل شده چرخش دوباره هوا استفاده کرد. بهمنظور حذف گردوغبار در مجرای مکشی، بهتر است فیلترهایی نصب شود.

۷-۷-۱۵ سایر سامانه‌ها

بهتر است زمانی که سامانه تونل‌سازی پیچیده است، بهمنظور تامین هوای تازه برای کلیه نواحی کاری، به‌طور کامل و در هر مرحله برنامه‌ریزی، مطالعاتی انجام شود.

یادآوری- گاهی اوقات و در برخی موارد برای کنترل جریان هوا، هر دو نوع فن‌های مکشی و دهشی در سطح، همراه با فن‌های تقویت کننده در سامانه و دیواره‌ها یا درب‌های هوایی مورد نیاز است.

۸-۷-۱۵ استقرار فن‌ها

توصیه می‌شود ورودی فن‌های هوا در سطح زمین، به دور از منابع آلودگی و فن‌های هوای خروجی به دور از سینه‌کارها قرار داده شوند.

۹-۷-۱۵ اتصال به زمین

توصیه می‌شود کلیه مجراهای هوایی، بدن فن‌ها، ساختارهای پوششی و نگهدارنده، به‌طور مناسب به همدیگر و به زمین متصل شوند. بهتر است محرک‌های هوا و وسائل تهویه نیز همیشه، اتصال به زمین داشته باشند. یادآوری- جایجایی گردوغبار و گازها در سامانه تهویه ممکن است باعث تولید الکتریسیته‌های ساکن خطرناک شود.

۱۰-۷-۱۵ گاز متان در مجرای هوا

در مواردی که سامانه تهویه مکشی در حال استفاده است و خطر رویارویی با گاز متان وجود دارد، بهتر است طراحی و ساخت سامانه، با در نظر گرفتن خطرهای عبور گاز متان از درون فن‌ها و موتورهای فن، انجام شود. توصیه می‌شود به‌طور پیوسته غلظت گاز متان در مجراهای هوا مورد بررسی قرار گیرد. در صورتی که غلظت

گاز متان در حجم کلی هوا، بیش از ۰/۲۵ درصد حجمی (۵٪ حد پایین انفجار) باشد، بهتر است فن‌ها در مقابل انفجار محافظت شوند (بند ۱۲-۵ را ببینید).

یادآوری ۱- زمانی که سامانه تهویه خاموش است، ممکن است غلظت گاز متان در تونل افزایش یابد.

یادآوری ۲- سامانه‌های مکشی مقاوم در برابر انفجار، اکثراً شامل استفاده از فن‌های دوشاخه با حلقه‌های پره دوار ضدا تشکیل می‌نمایند.

۱۶ گردوغبار

۱-۱۶ کلیات

توصیه می‌شود گردوغبار ایجاد شده، در حداقل فاصله ممکن از منبع، فرونشانده شود. بهتر است گسترش گردوغبار، با استفاده از روش‌هایی مانند پاشش آب، ریختن آب و تهویه مکشی، کنترل شود. گردوغبارهای ویژه مانند گرد زغال، زمانی که با هوا ترکیب شود به صورت بالقوه انفجاری می‌شوند و بهتر است همه وسایل الکتریکی مطابق با استاندارد بند ۱۴-۲ ساخته و انتخاب شوند.

یادآوری- گردوغبار تولید شده در تونل‌سازی، ناشی از شکسته شدن سنگ و لاینینگ‌های بتون پاششی است.

۲-۱۶ منابع گردوغبار

۱-۲-۱۶ کلیات

گردوغبار ممکن است مستقیماً در اثر حفاری و شکستن سنگ، حتی زمانی که مرطوب باشد، در سینه کار تونل ایجاد شود. جایی که چالزنی و آتشباری انجام می‌شود، به طور متناوب گردوغبار تولید خواهد شد. ماشین‌های حفاری به صورت پیوسته، گردوغبار را تولید می‌کنند. تولید مستقیم گردوغبار در زمین‌های نرم، کم است، اما خاک رس و ماره که خشک شود، می‌تواند موجب تولید گردوغبار شود. بارگیری، حمل و دپو خاک احتمالاً موجب تولید گردوغبار بیشتری خواهند شد. سیمان خشک که برای ایجاد روان‌ملات، بتون-سازی، شاتکریت و درزبندی استفاده می‌شود، ممکن است هنگام استفاده گردوغبار تولید کند. بهتر است زمانی که به صورت دستی، پودر به سیمان اضافه می‌شود اقدام‌های احتیاطی ویژه در نظر گرفته شود.

۲-۲-۱۶ آزبست (پنبه نسوز)^۱

در صورت مواجه شدن با مصالح حاوی آزبست در طی کارهایی مانند تعمیرات یا نگهداری، بهتر است این مواد توسط پیمانکار حذف آزبست دارای مجوز از واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست، حذف شوند.

زمانی که در تونل تحت هوای فشرده آزبست وجود داشته باشد، بهتر است یک واحد ضدغوفونی کننده اصلی در فضای کاری ایجاد شود. در حالی که توصیه می‌شود معدنکاران در مورد نحوه کار با مصالح آزبستی آموزش داده شوند، بهتر است برای نظارت بر عملیات کار با مصالح آزبستی، حداقل یک نفر دارای تجربه کار با آزبست، در فضای کاری حضور داشته باشد.

یادآوری ۱- بهتر است به آیین‌نامه کنترل آزبست سال (۲۰۰۶)، که استفاده از آزبست و مصالح آزبستدار را ممنوع کرده است، توجه شود [۳۸].

یادآوری ۲- بسیاری از تونل‌های دارای لاینینگ سگمنتی که قبل از سال ۱۹۸۰ ساخته شده‌اند، عملیات آببندی را با مصالح حاوی آزبست انجام داده‌اند.

۳-۱۶ اثرات گردوغبار

۱-۱۶ اثرات فیزیکی

اثرات فیزیکی گردوغبار شامل موارد زیر هستند:

۱. کاهش دید، که خطر تصادف مربوط به جابجایی ماشین‌آلات و تجهیزات را افزایش می‌دهد.
۲. افزایش فرسودگی و گسیختگی ماشین‌آلات و تجهیزات.

گرد زغال موجب بروز خطرهای ویژه‌ای می‌شود، زیرا زمانی که در هوا انتقال می‌یابد، ممکن است به صورت انفجاری عمل کند، در نتیجه بهتر است در مسیرهایی که گرد زغال تجمع می‌کند مطابق با عملیات معدن-کاری موانعی سر راه پودر سنگ و گردوغبار نصب شود.

۲-۱۶ اثرات فیزیولوژیکال گردوغبار مصالح معدنی

قرارگیری افراد در معرض انواع مختلفی از گردوغبارهای مصالح معدنی، می‌تواند شرایط متفاوتی برای شش انسان ایجاد کند. یکی از این خطرهای جدی، بیماری پنوموکنیوسیس^۱ است. این اصطلاح به هرگونه بیماری شش که حالت وخیم داشته و مواردی که بخشی از الیاف شش از بین می‌رود (یعنی قدرت ارتجاعی خود را از دست داده و ناکارا باشد)، اطلاق می‌شود.

یکی از عوامل جدی ایجاد بیماری پنوموکنیوسیس، سیلیس است و بیماری ایجاد شده ناشی از سیلیس، سیلکوسیوز^۲ نامیده می‌شود؛ در نتیجه توصیه می‌شود گردوغبار حاوی سیلیس، به عنوان یک خطر جدی در نظر گرفته شود، بهخصوص در مواردی گردوغبار حاوی بیش از ۱٪ کانی سیلیس باشد.

1 - Pneumoconiosis

2 - Silicosis

یادآوری ۱- بخشی از گردوغبار قابل استنشاق (به طور گسترده ذرات دارای اندازه موثر کمتر از ۵µm، که می‌توانند از مسیرهای هوای نازک شش‌ها عبور کنند)، می‌تواند در فرآیندهای طبیعی بدن حذف شوند. هر چند که ادامه یافتن قرارگیری در معرض غلظت‌های شدید گردوغبار، ممکن است خطرهای دائمی به دنبال داشته باشد.

یادآوری ۲- شیوع بیماری برونشیست، با کار در هوای دارای گردوغبار افزایش می‌یابد.

یادآوری ۳- مضرات بهداشتی تنفس گردوغبار آزبست شامل آزبستوسمیس (که یکی از شکل‌های پنوموکنبوسیس است) سرطان‌های مختلف شامل سرطان گلو و گسترش مزوتلیوما^۱ است.

۳-۳-۱۶ استانداردهای قرارگیری در معرض آلودگی شغلی

بهتر است محدودیت قرارگیری در معرض هرگونه گردوغبار قابل تنفس دارای خطر ناشناخته، شامل گردوغبار دارای سیلیس بلورین کمتر از یک درصد، میزان پنج میلی‌گرم در هر مترمکعب باشد. توصیه می‌شود حداکثر حد قرارگیری بلندمدت در معرض گردوغبار حاوی سیلیس بلورین، ۰/۱ میلی‌گرم در هر مترمکعب باشد.

یادآوری- برای کنترل خطرهای مواد، به آیین‌نامه سلامت (۱۹۹۴) [۳۴] و دستورالعمل EH40 [۳۵] توجه شود، برای این- که قرارگرفتن هر فرد در معرض جریان گردوغبار هوا، بیش‌تر از استانداردهای حدود قرارگیری در معرض آلودگی شغلی نباشد.

۴-۱۶ نمونه‌برداری

در عملیات چرخه‌ای تونل‌سازی، ممکن است دسترسی به متوسط قرارگیری در معرض آلودگی مشکل باشد. بنابراین توصیه می‌شود در یک دوره زمانی، با نمونه‌گیرهای شخصی ویژه، قرارگیری افراد در معرض آلودگی به صورت انفرادی اندازه‌گیری شود. در این نمونه‌گیرها به وسیله پمپ‌های کوچک که با باطری کار می‌کنند، هوا با نرخ جریان معلوم به درون ناحیه تنفسی لباس مکیده می‌شود و این وسیله بر روی کمربند یا قلاب ویژه‌ای بر روی لباس نصب می‌شود. توصیه می‌شود پس از آتشباری تا زمانی که غلظت آلاینده‌های اتمسفر و گردوغبار در هوا به حد قابل قبولی نرسد، به هیچ فردی اجازه بازگشت به سینه کار داده نشود. این کار بهتر است با پایش اتمسفر تونل انجام شود. توصیه می‌شود در شرایط گردوغبار دائمی، نمونه‌گیری منظم انجام شود تا بتوان از قرارگیری بیش از حد در معرض آلودگی جلوگیری کرد.

یادآوری- شرایط سینه کار، بی‌درنگ بعد از آتشباری غیرقابل قبول است اما در آن زمان پرسنل در آن جا حضور ندارد.

۵-۱۶ کنترل و حذف گردوغبار

توصیه می‌شود به منظور فرونšاندن گردوغبار در محل شکستن سنگ، از جت آب با فشار بالا استفاده شود.

۱- توموری که از بافت مزوتلیوم (برون شامه روده‌ها، شش شامه) ایجاد می‌شود؛ دو نوع خوش خیم و بدخیم دارد (Mesothelioma).

بهتر است کله‌های حفار که از اجزا ماشین‌های تونل‌سازی هستند به جت‌های آب فشار بالا با نرخ از پیش تعیین شده، مجهز شوند.

یادآوری ۱- این جت‌ها با این‌که می‌توانند گردوغبار قابل مشاهده را کاهش دهند، اما الزاماً گردوغبار قابل تنفس را کاهش نمی‌دهند.

یادآوری ۲- در برخی موارد افشهنهای مخروطی صلب بر جت‌ها ارجحیت داشته و اضافه کردن عامل‌های امولسیون‌کننده و مرطوب کننده به آب ممکن است کارایی آن را افزایش دهد. ممکن است در شرایط وخیم، استفاده از پرده‌های آب مناسب باشد.

یادآوری ۳- گردوغبار قابل استنشاق وارد شده به هوا را نمی‌توان با استفاده از جت آب کنترل کرد. در حالی که می‌توان از این وسیله برای فرونشاندن گردوغبار، بهمنظور جلوگیری از وارد شدن آن به هوا، استفاده کرد.

توصیه می‌شود در شرایط گردوغبار، تهویه مکشی و در صورت امکان فیلتر کردن هوا، به‌طور ضروری مورد بررسی قرار گیرد. بهتر است نقاط مکش در نزدیکی سینه‌کار قرار داده شود و به‌منظور کنترل موثر همزمان با پیشروی سینه‌کار، مکان آن‌ها به جلو رانده شود. به احتمال زیاد هوای حاوی گردوغبار خاصیت انفجری دارد و بهتر است پروانه‌ها و مجراهای متناسب با این موضوع طراحی شده و تعمیر و نگهداری مناسی بر روی آن‌ها انجام شود. توصیه می‌شود دودکش‌های گردوغبار، به شکل محفظه‌های مکشی، در محل‌های تولید گردوغبار، مانند نقاط انتقال در نوار نقاله و ماشین‌های شاتکریت‌پاشی، نصب شوند.

برای جلوگیری از انتقال ذرات گردوغبار در خلاف جهت جریان اصلی هوا، بهتر است در هر مقطع تونل سرعت جریان هوا کمتر از ۵ متر بر ثانیه نباشد. توصیه می‌شود این مقدار در محاسبات تهویه، به‌عنوان سرعت حداقل در نظر گرفته شود. بهتر است کارایی سامانه تهویه به‌طور متناوب آزمون شده و هرگونه نقص در عملکردن آن بر طرف شود. در مواردی که برای کنترل گسترش گردوغبار و گاز متان به تهویه مکشی نیاز است، بهتر است مطابق با دستورالعمل بند ۱۵-۷-۱۰ عمل شود.

یادآوری ۱- بهتر است در ماشین‌های حفاری تونل، محل‌های مکش هوا تعییه شود.

یادآوری ۲- در حفاری و آتشباری، ممکن است یک دوره تهویه مکشی بعد از آتشباری، در کاهش غلظت گردوغبار جمع شده در تونل موثر باشد.

۱۶-۶ تجهیزات محافظ تنفس

توصیه می‌شود از تجهیزات محافظ تنفس برای محافظت دائمی در مقابل خطرهای تنفسی استفاده شود. بهتر است این وسایل در مواردی که اقدام‌های کنترلی نتواند در محل‌هایی که نیاز است افراد در آنجا کار کنند، به‌طور موثر میزان گردوغبار را کنترل کند، به‌صورت کوتاه مدت و به‌عنوان حداقل عامل محافظت‌کننده مورد استفاده قرار گیرند. توصیه می‌شود در جاهایی که خطر وجود دارد، این تجهیزات تهییه

شده و همراه افراد باشد. بهتر است این تجهیزات مطابق با استاندارد بند ۵۹-۲ انتخاب شوند و بر اساس دستورالعمل‌های کارخانه سازنده استفاده شده و در مورد انبارش، تعمیرات و تمیزکاری آن‌ها دقت ویژه‌ای به خرج داده شود و به استفاده کنندگان آموزش مناسب داده شود.

یادآوری- به آیین‌نامه کنترل خطرهای تهدیدکننده سلامت (۱۹۹۴) [۳۴] و آیین‌نامه تجهیزات حفاظت شخصی در کار سال ۱۹۹۲ [۳۹]، که نیاز به تجهیزات محافظه تنفس را الزام کرده است، توجه ویژه‌ای شود.

۱۷ کیفیت روشنایی

۱-۱۷ کلیات

روشنایی مناسب باعث ایمنی در زمان ساخت، نگهداری، نوسازی و تعمیرات می‌شود و بهتر است سطح روشنایی به گونه‌ای باشد که در مسیرهای عبور افراد و ماشین‌آلات، خطرها به آسانی دیده شوند. توصیه می‌شود پرسنل کاری لباس‌های دارای دید بالا بپوشند. بهتر است در بعضی نقاط به خصوص در ماشین‌های حفاری تونل، سینه‌کارها و سایر نواحی کاری، به صورت موضعی سطح روشنایی بالایی ایجاد شود.

به طور معمول به یک سامانه روشنایی ثابت نیاز است و در موارد استثنایی که به روشنایی ثابت نیازی نباشد، بهتر است لامپ‌های دستی یا لامپ‌های روی کلاه‌ها تهیه شود.

در مواردی که ورود گازهای با پتانسیل انفجاری به داخل تونل قابل پیش‌بینی باشد، توصیه می‌شود تاسیسات روشنایی در مقابل انفجار مقاوم باشند تا در صورت نیاز تخلیه تونل به دلیل وجود هوای دارای قابلیت انفجار، عملیات تخلیه زیر سامانه روشنایی اصلی تونل انجام شود (بند ۵-۱۲ را ببینید).

یادآوری ۱- به آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) ۲۰۰۷ و آیین‌نامه ۴۴ توجه شود.

یادآوری ۲- بسته به اندازه و کاربرد تونل، ممکن است روشنایی عمومی برای مسیرهای عبور افراد پیاده به صورت روشنایی دائمی مناسب باشد. طراحی و نصب روشنایی در بندهای ۲-۱۷، ۳-۱۷، ۴-۱۷، ۵-۱۷ و ۶-۱۷ پوشش داده شده است، در حالی که دستورالعمل برای کارهای الکتریکی و بسته به روشنایی، در بند ۲۵-۷ آمده است.

۲-۱۷ سطح روشنایی

سطح روشنایی در سطوح برحسب لوکس بیان می‌شود. در یک تونل، اساساً سطح روشنایی تابعی از بازده خروجی و موقعیت تاسیسات روشنایی (نورافکن‌ها^۱)، ابعاد تونل، قابلیت جذب نور محیط اطراف و شرایط اتمسفر تونل است. جذب نور در تونل دارای سطح صاف و رنگ روشن نسبت به تونل دارای دیوارهای تیره و غیرصاف کمتر است.

۱- دستگاه نورافکن مرکب از حباب و دستگاه انکاس نور و غیره (Luminaires).

سطح روشنایی به وسیله نورسنچ^۱ قابل اندازه‌گیری است و توصیه می‌شود با در نظر گرفتن عملیاتی که باید در آن ناحیه انجام شود، مقدار آن تا حدی بالا باشد که امکان انجام عملیات باشد. توصیه شده است سطوح متوسط روشنایی مطابق با جدول ۸ باشند. توصیه می‌شود نسبت حداکثر شدت روشنایی (برحسب لوکس) که مستقیماً زیر نورافکن اندازه‌گیری می‌شود به حداقل شدت روشنایی (برحسب لوکس) که در وسط دو نورافکن اندازه‌گیری می‌شود، بیشتر از ۳ به ۱ نباشد.

حضور گردوغبار یا مه در هوا ممکن است تاثیر چشم‌گیری بر میزان روشنایی داشته باشد. در چنین شرایطی بهتر است تعداد نورافکن‌ها تا میزانی که سطح روشنایی به مقدار اشاره شده در جدول ۸ برسد، افزایش داده شود. به طور معمول در جایی که تغییرات فشار وجود داشته یا زمانی که هوای سرد با هوای گرم نمناک سامانه تهویه برخورد می‌کند، هوای مه آلود ایجاد می‌شود. این اتفاق در کار تحت هوای فشرده و چاههای عمیق معمول است.

به منظور حفظ خروجی روشنایی و سطح روشنایی محیط، بهتر است به طور منظم تعییر و نگهداری وسایل روشنایی شامل تمیز کردن نورافکن‌ها انجام شود. بنابراین تا جایی که ممکن است باید نورافکن‌ها قابل دسترس باشند.

جدول ۸ - سطوح متوسط اندازه‌گیری

سطح روشنایی	ناحیه
۳۰ لوکس در سطح پیاده‌رو	قدمروها (پیاده‌روها) و مسیرهای تردد افراد
۱۰۰ لوکس در سطح کاری	نواحی کاری عمومی
۱۰۰ لوکس روشن شده از حداقل دو منبع مجزا برای اجتناب از ایجاد سایه	سینه‌کار تونل، نواحی استخراجی، نقاط جرثقیل بلندکننده

۳-۱۷ انواع روشنایی

توصیه می‌شود طرح روشنایی به گونه‌ای طراحی شود که روشنایی خیره‌کننده را کاهش دهد. نورافکن‌های فلورسانس و مهتابی خیره کننده‌گی کمتری نسبت به نورافکن‌های معمولی ایجاد می‌کنند. در مواردی که به صورت منطقی عملی باشد، به منظور کاهش خطر آتش‌سوزی بهتر است نوعی از روشنایی انتخاب شود که در آن از نورافکن‌های سرد استفاده می‌شود.

زمانی که شناسایی رنگ عامل مهمی است، باید نوع منبع نور به دقت مورد بررسی قرار گیرد.

توصیه می‌شود پوشش لامپ محافظت شود، به خصوص لامپ‌های جیوهای که در صورت آسیب دیدن ممکن است حجم بالایی از اشعه فرابنفش ساعت کند. زمانی که در مسیر دسترسی افراد پیاده به محل کار هیچ یک

از انواع روشنایی وجود ندارد، باید این مسیرها به روشنایی قابل حمل مناسب مجهز شوند (بند ۱۷-۶ را ببینید). بهتر است برای کارهای درازمدت، روشنایی موقت نصب شده در نظر گرفته شود.

به طور خاص، در مقاطعی از تونل در حال ساخت که عبور افراد پیاده ممنوع است و کلیه حمل و نقل‌ها توسط وسایل نقلیه صورت می‌گیرد، می‌توان از روشنایی ثابت چشمپوشی کرد و در قسمت جلویی وسایل نقلیه نورافکن تعابیه کرد. هر چند که بهتر است حداقل روشنایی اضطراری در نظر گرفته شود. توصیه می‌شود در محل‌های کاری در تونل که افراد کار بازرسی ضروری، نگهداری، نوسازی و تعمیرات را انجام می‌دهند و به سیستم روشنایی دائمی مججهز نیستند، روشنایی موقت مناسب فراهم شود. بهتر است به منظور هشدار دادن به راننده‌ها در مورد وجود افراد، از چراغ‌های هشداردهنده‌ای در کنار ماشین‌ها یا دیده‌بان استفاده شود. **یادآوری** - لامپ‌های سدیمی مشکلاتی در تفکیک‌پذیری رنگ‌ها ایجاد می‌کنند.

۴-۱۷ جانمایی نورافکن‌ها

بهتر است کلیه نورافکن‌ها به گونه‌ای نصب شوند که بیشترین روشنایی یکنواخت، کمترین حساسیت به آسیب، سازگار نسبت به هدف نصب آن‌ها و دسترسی برای نصب، نگهداری و تعمیر منظم را داشته باشند (بند ۲۵-۳-۷ را ببینید).

توصیه می‌شود با جانمایی مناسب و استفاده از پخش‌کننده و تورها، تابش خیره‌کننده ناشی از شدت بالای منابع روشنایی کاسته شود. بهتر است نورافکن‌ها در ارتفاع مناسب نصب شده تا محیط را از بالا روشن کنند. توصیه می‌شود به صورت افقی نصب نشوند و موقعیت آن‌ها به گونه‌ای تنظیم شود که مناطق تحت پوشش، هر کدام با یکدیگر همپوشانی داشته باشند. بهتر است نورافکن‌های مسیرهای دسترسی مخصوص افراد پیاده و وسایل نقلیه به گونه‌ای باشند که سایه ایجاد شده به وسیله ماشین‌آلات و وسایل نقلیه، بر روی مسیر حداقل باشد.

۵-۱۷ روشنایی اضطراری

به دلیل اینکه روشنایی تونل به طور کامل به صورت روشنایی مصنوعی است، توصیه می‌شود سامانه روشنایی تا حد امکان ایمن باشد و با باتری‌های پشتیبان یا منابع عرضه انرژی دائمی پوشش داده شود. اگر از قبل انرژی پشتیبان (برق اضطراری) به سامانه روشنایی متصل نشده است، توصیه می‌شود روشنایی اضطراری مجرای مناسب با مقیاس و فضای پروژه فراهم شود.

یادآوری - نورافکن‌های اضطراری که با باتری کار می‌کنند می‌توانند یک روشنایی جایگزین را ایجاد کنند. دستورالعمل‌ها در مورد نصب و استفاده از چنین سامانه‌هایی در استاندارد بند ۲-۶۳ ارایه شده است.

ظرفیت باتری‌ها باید به اندازه‌ای باشند که بتوانند برای مدت زمان کافی روشنایی را برای افرادی که در ناحیه کاری قرار دارند، ایجاد کند تا آن‌ها اقدام‌های مناسب را بدون خطر انجام دهند.

توصیه می‌شود روشنایی اضطراری در فواصل کمتر از ۵۰ متر در تونل نصب شوند تا یک خروجی ایمن از تونل را ایجاد کند. توصیه می‌شود روشنایی اضطراری به‌گونه‌ای نصب شود که در محل نورافکن اضطراری حداقل دیدن دو ایستگاه اضطراری ممکن باشد. بهتر است نورافکن‌ها همواره در موقعیت‌های زیر نصب شوند:

- مکان‌های وجود کمک‌های اولیه و آتش‌نشان‌ها؛
- مسیرهای فرار؛
- خروجی‌های اضطراری؛
- محل‌های دسترسی تونل؛
- ایستگاه‌های فرعی تونل؛
- محل‌های الکتریکی و ارتباطی؛
- محل‌هایی که خطرهای خاصی (مانند پله‌ها) وجود دارد.

بهتر است شرایط نورافکن‌های اضطراری به‌طور منظم بررسی شده و هرگونه نقص بلافارسله بطرف شود. توصیه می‌شود به‌طور مناسب شرایط کار سامانه روشنایی اضطراری در فواصل زمانی کمتر از ۳ ماه، در شرایط در حال کار آزمون شود. باستی اجازه داده شود باتری‌ها بعد از مدت زمان طولانی که برق قطع بوده است، طی زمان خاصی شارژ مجدد شوند. زمانی که وجود اتمسفر منفجرشونده محتمل است، باید روشنایی اضطراری در مقابل انفجار مقاوم‌سازی شده باشند.

یادآوری ۱ - در موقع آتش‌سوزی، شعله، دود و گازهای داغ به سمت تاج تونل حرکت می‌کنند و می‌توان با نصب تاسیسات روشنایی اضطراری در ارتفاعی کوتاه‌تر از تاج تونل، خسارت وارد بر آن‌ها را کاهش داد.

یادآوری ۲ - تامین‌کننده یا تولیدکننده‌های نیروی برق آماده به کار می‌تواند برای ایجاد روشنایی اضطراری استفاده شوند (بعضی اوقات چنین تامین‌کننده‌هایی در موارد قطع نیروی برق، برای برقراری خدمات ضروری، مورد نیاز است).

در مواردی که روشنایی اضطراری به تامین‌کننده‌ها و تولیدکننده‌های آماده به کار وابسته است، بهتر است سیم‌کشی به طرز مناسبی محافظت شده باشد. این موضوع باید مطابق با استاندارد بند ۴۳-۲، برآوردکننده حداقل دسته‌بندی AWZ (یعنی دسته پایین‌ترین عملکرد برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی (A)، مقاومت در برابر آتش‌سوزی با آب (W)، دسته بالاترین عملکرد برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی با شوک الکتریکی (Z)) تایید شود. بهتر است همواره سیم‌کشی‌ها در مقابل آسیب‌های مکانیکی محافظت شده باشند (بند ۵-۴-۲۵ را ببینید).

۶-۱۷ لامپ‌های دستی^۱ و لامپ روی کلاه^۲

در مواردی که از لامپ‌های دستی و لامپ‌های روی کلاه استفاده می‌شود، بهتر است فرآیندهای مدیریتی در مورد آنها اجرا شود و بهمنظور انبارش، شارژ، توزیع و استفاده و نگهداری مناسب آنها امکاناتی ایجاد شود. در مواردی که اتمسفر منفجرشونده محتمل باشد باید لامپ‌های دستی و لامپ‌های روی کلاه در مقابل انفجار مقاوم باشند.

۱۸ ارتباطات عملیاتی

۱-۱۸ کلیات

بهمنظور ایمنی و کارایی کلیه جنبه‌های پروژه تونل، ایجاد و برقراری یک ارتباط خوب در سراسر سایت، بهخصوص در انتقال اطلاعات و دستورالعمل‌ها، پایش سامانه‌ها، کنترل عملیات بالابری، انتقال افراد، مصالح و ماشین‌آلات و نیز مدیریت در زمان‌های اضطراری، یک امر اساسی است.

بهتر است سامانه ارتباطی، محل‌های اصلی کار، ماشین حفر تونل، ورودی‌های تونل یا بالا و پایین چاه، پناهگاه، دفاتر اداری در محل سایت و محل‌های بحرانی ایمنی مانند اتاق کمک‌های اولیه و اتاق کنترل اضطراری را به هم مرتبط کند. توصیه می‌شود همیشه تجهیزات تماس از سایت با خدمات اضطراری در دسترس باشد.

برای کارها در مقیاس کوچک‌تر و ساده‌تر، ممکن است به کارگیری تعداد کمتری از پرسنل بدون کمک گرفتن از ارتباط صوتی کافی باشد، ولی به طور معمول بهمنظور ایمنی، بهتر است ترکیب برخی سامانه‌های هشداردهنده، تلفن، رادیو و دوربین مدار بسته (CCTV) فراهم شود.

یادآوری - در بیش‌تر پروژه‌های پیچیده تونل‌سازی، برای انتقال اطلاعات کنترل، پایش و هشدار مابین اتاق کنترل مرکزی و مکان‌های مختلف تونل از سامانه‌های انتقال داده دیجیتالی مانند^۳ SCADA استفاده می‌شود. این اطلاعات شامل موارد مختلف مربوط به ایمنی مانند پایش شرایط ماشین، پایش ابزار دقیق، پایش اتمسفر و ردیابی و هشدارهای آتش‌سوزی هستند.

۲-۱۸ سامانه‌های ارتباطی

۱-۲-۱۸ کلیات

توصیه می‌شود در محل کار تجهیزاتی وجود داشته باشد تا فرد بتواند مواد و تجهیزات مورد نیاز خود را اعلام کند، خطرهای غیرمنتظره را هشدار دهد و آموزش‌های لازم را دریافت کنند. با توجه به این که سامانه به کارگرفته شده به مقیاس، طول و پیچیدگی تونل، تعداد افراد درون تونل، سامانه تونل‌سازی به کارگرفته

1 - Hand Lamps

2 - Cap Lamps

3 - Supervisory, Control And Data Acquisition (SCADA)

شده، خطرهای احتمالی تونل و سرعت عملیات وابسته است، بهتر است سامانه ارتباطی به صورت یک اصل اساسی مد نظر قرار گیرد.

یادآوری ۱- بهمنظور دستورالعمل در مورد ارتباطات به کار گرفته شده در کار با هوای فشرده، بایستی به سند L96 انتشارات واحد سلامت، ایمنی و محیطزیست توجه کرد [۲۵].

یادآوری ۲- استفاده از علامت دادن بهوسیله زنگ یا چراغهای رنگی برای ارتباطات عادی مانند کنترل جابجایی قطار یا درخواست برای سگمنت‌های لاینینگ و فرستادن سایر مواد به جلو، مورد استفاده قرار گیرد.

توصیه می‌شود جزیيات هرگونه کد هشداردهنده دیداری و شنیداری به کار گرفته شده در بالا و پایین چاه نصب شود و در میدان دید واضح کاربر قرار داشته باشد. توصیه می‌شود سامانه ارتباط شنیداری به‌گونه‌ای مقاوم باشد که در محیط تونل پایدار بوده و در یک محدوده کاری مناسب قرار داشته باشد. این سامانه بهتر است با پیشروی سینه کار به جلو برد شود. بهتر است برای مطمئن شدن از انتقال واضح پیام‌ها و محافظت موثر در مقابل صدای محیطی، آزمون‌ها و تنظیمات لازم انجام شود. توصیه می‌شود این سامانه از برق عرضه شده به تونل مستقل باشد و به‌گونه‌ای نصب شود که خرابی یک واحد، استفاده از سایر واحدها را مختل نکند. بهتر است کلیه سیم‌کشی‌ها به‌خصوص آنهایی که برای انتقال هشدارها در موارد ضروری استفاده شده‌اند، در مقابل آتش‌سوزی مقاوم بوده و در برابر ضربات مکانیکی محافظت شوند. بهتر است تمامی کابل‌های ارتباطی مطابق بند ۴-۲۵ نصب و محافظت شوند.

توصیه می‌شود کابل‌هایی که برای انتقال هشدار در موقع اضطراری استفاده می‌شوند، مقاومت در برابر آتش‌سوزی بیشتری داشته باشند و مطابق با استاندارد بند ۴۳-۲، برآورده کننده حداقل دسته‌بندی AWZ (یعنی دسته پایین‌ترین عملکرد برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی (A)، مقاومت در برابر آتش‌سوزی با آب (W)، دسته بالاترین عملکرد برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی با شوک الکتریکی (Z)) باشند.

به‌منظور انتشار سیگنال در تونل‌ها، بهتر است ارتباطات رادیویی با استفاده از سامانه‌های کابلی مشبك تغذیه‌کننده^۱ مورد استفاده قرار گیرد. توصیه می‌شود سامانه مشبك تغذیه‌کننده به‌گونه‌ای طراحی شود که کل تونل را تحت پوشش قرار دهد. بهتر است این سامانه قابلیت اتصال به سامانه اضطراری عادی سایت را داشته باشد.

در مواردی که سامانه کابلی تغذیه‌کننده نصب شده است، توصیه می‌شود پیمانکار در مورد پتانسیل سازگاری سامانه با نیازهای آن‌ها، با خدمات اضطراری مشورت کند (بند ۲-۱۴ را ببینید). این سامانه به‌خصوص برای ارتباط دائمی بین نقاط کنترل، افراد و تجهیزات در محدوده کابل مفید است.

۱- سامانه کابلی مشبك تغذیه‌کننده سامانه‌ای است که از یک کابل هم‌محور تشکیل شده و می‌تواند در امتداد تونل امواج رادیویی را ساعت و دریافت کند (Leaky Feeder Cable System).

بهتر است در مورد فرآیندهای ارتباط رادیویی و علایم تماس و تخصیص کanal، توافق انجام شده باشد. بهتر است در تمام چاههای کاری، وسایل ارتباطی آماده به کار برای ارتباط سطح زمین و کف چاه موجود باشد.

۲-۲-۱۸ اقدام‌های احتیاطی در جاهایی که مواد منفجره استفاده می‌شود

بهتر است در سایت‌هایی که آتشباری انجام می‌شود، تجهیزات ارتباط رادیویی مطابق یک فرآیند از قبل تعیین شده مورد استفاده قرار گیرند. توصیه می‌شود به منظور بررسی تاثیر خطرهای احتمالی بر وسایل الکتریکی-انفجاری، تمامی تجهیزات ارتباطی رادیویی مد نظر برای استفاده در سایت، مطابق با استاندارد بند ۴۴-۲، مورد ارزیابی قرار گیرند؛ این تجهیزات ممکن است شامل تلفن‌های سیار یا هر وسیله‌ای که ماشین آلات متحرک به سایت می‌آورند، باشد.

بهتر است سامانه در محلی نصب شود که مطمئن شد کلیه تجهیزاتی که به سایت آورده می‌شوند و موج‌های الکترومغناطیسی ساعت می‌کنند، بر عملکرد تجهیزات الکتریکی، الکترونیکی و موارد مشابه موجود در سایت تاثیر نداشته باشند. جزئیات مربوط به فرکانس‌ها و توان چنین تجهیزاتی باید موجود باشد.
توصیه می‌شود اصلاح تجهیزات رادیویی سایت بدون بررسی اولیه خطرها و مطمئن شدن از ایمنی کار، مطابق با دستورالعمل ارایه شده در استاندارد بند ۴۴-۲ انجام شود.

۳-۲-۱۸ استفاده از تلفن‌های سیار (قابل حمل) زیرزمینی

تلفن‌های سیار، تجهیزات رادیویی هستند که وقتی قادر به پیدا کردن ایستگاه مرکزی نباشند، سینگال‌های قوی زیادشونده‌ای ساعت می‌کنند که احتمال چنین رخدادی در زیرزمین وجود دارد. شواهدی مبنی بر تداخل این سامانه با سامانه کنترل بی‌سیم یا سامانه‌های ارتباطی مورد استفاده در زیرزمین وجود دارد. در برخی پروژه‌ها برای تسهیل استفاده از تلفن‌های سیار، ایستگاه‌های تقویت‌کننده^۱ نصب می‌شود.

بهتر است پیمانکار فرآیند و سیاست لازم برای استفاده از تلفن‌های سیار زیرزمینی را مد نظر داشته باشد.

۳-۱۸ علایم (سینگال‌ها)

۱-۳-۱۸ کلیات

یادآوری- توصیه می‌شود در این مورد به آیین‌نامه ایمنی و سلامت (علایم و نشانه‌های ایمنی) سال ۱۹۹۶ توجه شود [۴۰] که کارفرما را الزام می‌کند که در جاهایی که خطر بالای سلامت و ایمنی با به کارگیری کنترل‌های مهندسی اجتناب‌ناپذیر است، از علایم ایمنی استفاده کند.

۲-۳-۱۸ علایم شنیداری

توصیه می‌شود در عملیات‌های عادی مانند بالابری و پایین‌بری در چاه، عملیات جرثقیل در شبکه‌ها، علایم شنیداری به‌وسیله زنگ، سوت، شیپور و سایر تجهیزات در نظر گرفته شود.

کلیه علایم باید مجزا بوده و به‌طور موثری صدای بیشتری داشته باشد که در میان سایر صدای اتفاقی و تصادفی قابل تشخیص باشد. بهتر است کدهای اخطاری توصیه شده به‌صورت زیر باشند:

- توقف: یک علامت؛

- پایین‌روی: دو علامت؛

- بالابری: سه علامت؛

- بالابری افراد: چهار علامت؛

- اضطرار: به‌صورت مداوم.

بهتر است تمامی کدهای علایم دیداری و شنیداری، در موقعیت‌های راهبردی برای کاربرها و فرد راهنمای علایم، عرضه شود.

۳-۳-۱۸ علایم دیداری

توصیه می‌شود علامت دادن به کاربرهای ماشین‌آلات فقط توسط مسئول علامت دادن یا افراد مجاز به انجام این کار، انجام شود و کلیه افراد درگیر عملیات، به‌وسیله آموزش‌های اولیه یا سایر روش‌ها مانند (تابلوها)، با قوانین آشنا شوند.

هنگامی که جرثقیل در شرایطی کار می‌کند که کاربر آن قادر به دیدن واضح علایم مسئول علامت دادن است، بهتر است علایم مطابق با استاندارد بند ۲-۸۱ به کار گرفته شوند. هرچند باید یادآور شد که ممکن است در چاه مشکلات خاصی وجود داشته باشد (برای اطلاعات بیشتر بند ۲۰ را ببینید).

اگر از علایم چراغ استفاده می‌شود باید تعدادی لامپ به کار گرفته شود و کدهای علامت مشابه کدهای علایم شنیداری استفاده شود (بند ۲-۳-۱۸ را ببینید).

یادآوری - در بیشتر مواقع ممکن است از لامپ‌های با سه رنگ با کدهای تعریف شده مناسب یا روشن کردن مستقیم کلمات کلیدی در پانل علایم، استفاده شود.

۴-۱۸ دوربین مدار بسته (CCTV)

توصیه می‌شود به‌منظور کمک به کاربر برای پایش یا کنترل عملیات از راه دور یا از یک محل ایمن، از دوربین مدار بسته با یا بدون صدا استفاده شود. توصیه می‌شود در لوکوموتیوها، سامانه دوربین مدار بسته، ظرفیت کار در دو حالت رنگی و فروسرخ را داشته باشد.

یادآوری- استفاده‌های معمول از دوربین مدار بسته در تونل‌سازی بر روی ماشین‌های حفاری تونل، لوکوموتیوها، جرثقیل‌ها و ته چال است.

۱۹ سروصدا و لرزش

۱-۱۹ کلیات

اثرات سروصدا که توصیه می‌شود مورد بررسی قرار گیرند شامل موارد زیر است:

الف) اثرات فوری بر شنوازی، برای مثال تغییر موقتی آستانه شنوازی افراد، زنگ زدن گوش و از دست دادن دائمی قوه شنوازی؛

ب) ناتوانی در شنیدن برخی صداها به دلیل آسیب قوه شنوازی، که باعث فهم ضعیف گفتار می‌شود؛

ج) زیان رساندن به ارتباطات و فهم علایم هشداردهنده؛

د) منحرف کردن افراد از تبعیت کردن از سامانه ایمن کار.

یادآوری ۱- باید به آیین‌نامه کنترل صدا در کار سال ۲۰۰۵ توجه شود [۶] که کارفرما را مجبو می‌کند که خطرهای آسیب شنوازی ناشی از قرارگیری در معرض صدا را در کمترین سطح منطقی عملی کاهش دهد.

یادآوری ۲- به آیین‌نامه تامین ماشین‌آلات (ایمنی) سال ۲۰۰۸ توجه شود [۴۱] که اطلاعاتی در مورد محدودیت صدا (در تجهیزات نمایش داده شده است) و سطح صدای منتشر شده را بیان می‌کند.

یادآوری ۳- به دلیل این‌که فضای محدود باعث می‌شود انعکاس میدان صدای ایجاد شده در اثر عملیات ماشین‌آلات، تجهیزات، ابزارها و فرآیندهای پر صدا افزایش یابد، تاثیر صدا در تونل تشدید می‌شود. این مسئله زمانی مشکل‌ساز خواهد بود که افراد مجبور به کار یا استفاده از چنین ابزارهایی مانند چکش پنوماتیکی هستند.

یادآوری ۴- دستورالعمل در مورد این‌که صدای ایجاد شده در محل کار افراد و سایر افرادی که در مجاورت سایت زندگی و کار می‌کند، چگونه آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، در استاندارد بند ۶۱-۲ آمده است. این استاندار شامل اطلاعاتی در مورد انتشار صدا از ابزارها و تجهیزات است که برای مرحله برنامه‌ریزی در کاهش صدا و فرآیند کنترل صدا، با ارزش است.

یادآوری ۵- دستورالعمل در مورد قانون حاکم بر کنترل صدا و لرزش در استاندارد بند ۶۲-۲ ارایه شده است و هم‌چنین پیشنهاداتی در مورد کنترل صدا و لرزش، که به‌طور خاص در عملیات شمع‌کوبی به کار گرفته می‌شود، را ارایه کرده است.

۲-۱۹ انتشار سروصدا و قرارگیری در معرض آن

۱-۲-۱۹ کلیات

توصیه می‌شود به‌طور صحیح، یک ارزیابی مناسب سروصدا اجرا شود و اطلاعات سودمندی تهیه شود که بتوان با توجه به آن، طرح سلامت و ایمنی مرحله ساخت را بر اساس معیارهای مهندسی تعریف شده برای کنترل منابع سروصدا تهیه کرد. توصیه می‌شود این برنامه در ابتدای کار، راههای کاهش سروصدا را با استفاده از ابزارها و فرآیندهای کم‌صدا تعیین کند، چرا که ممکن است بعداً نصب آن‌ها غیرممکن باشد.

در موقعیت‌هایی که کنترل سروصدا در منبع آن غیرممکن است، مانند استفاده از ابزارهایی چون صدای خفه‌کن‌ها، چکش‌های کم‌صدا یا کاربرها، بهتر است بسته به سطح صدای موجود و میزان نیاز، از محافظه‌ای شناوی شخصی به عنوان ابزاری مؤقتی برای کاهش سطح صدا استفاده شود. توصیه می‌شود این ابزار، سطح سروصدا را تا کمتر از حدی که در سطح عملیات ثانویه (SAL)^۱ تعیین شده است، کاهش دهند.

یادآوری - دستورالعمل در مورد انتخاب و نگهداری از محافظه سروصدا در سند L96-۲۶۹ استشارات واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست [۲۵] و همچنین استاندارد بند ۲۶۹-۲ ارایه شده است.

۲-۲-۱۹ سینه‌کار تونل

توصیه می‌شود تمام ماشین‌آلات و ابزارها با در نظر گرفتن مهارت کاربرها و دیگر پرسنل، انتخاب شوند تا کمترین انتشار صدا را داشته باشند.

۳-۲-۱۹ مسیرهای دسترسی

در صورت امکان توصیه می‌شود کلیه ماشین‌آلات و تجهیزات پر سروصدا، به دور از مسیرهای دسترسی تونل و محلهای کاری قرار داشته باشند، در غیر این صورت درون یک محوطه صدایی مناسب قرار داده شوند. بهتر است ارزیابی‌های سروصدا، موضوع سروصدا حمل و نقل با نفربر را نیز در برگیرد.

۴-۲-۱۹ منابع صدا

منابع اصلی صدا که بهتر است مورد بررسی قرار گیرند شامل ماشین‌آلات، ابزار و تجهیزات تهويه و نشت‌های هوا است. توصیه می‌شود انتشار صدا در منبع به وسیله صدا خفه‌کن‌ها یا کاهنده‌های صوتی کاسته شود. بهتر است ابزارهای خفه‌کننده صدا شامل استفاده از نقاط مرطوب دمپ صوت، مورد بررسی قرار گیرند.

یادآوری ۱ - منابع اصلی سروصدا در تونل، بر اساس روش کار و مرحله چرخه عملیات، متغیر است.
یادآوری ۲ - سایر منابع سروصدا شامل هوای فشرده فشار بالا، لوله‌های تخلیه دریچه هوابند، پمپ‌ها، انتقال مواد، نوار نقاله، بالابرها، وینچ‌ها، ماشین‌آلات دیزلی، لوکوموتیو دیزلی، پمپ بتن و کمپرسورها است.

یادآوری ۳ - در تونل‌سازی دستی، تجهیزات پنوماتیکی منبع اصلی تولید سروصدا هستند.
یادآوری ۴ - در تونل‌های سنگی، حفاری، آتشباری و استخراج مواد حفاری، همگی بر اساس ویژگی‌های خودشان تولید صدا می‌کنند. عملیات آتشباری فشارهای پیک صوتی ایجاد می‌کند که ممکن از حد حداکثر سطح عملیاتی^۲ فراتر رود.

1 - Second Action Level (SAL)

2 - Peak Action Level

توصیه می‌شود در صورت وجود سروصدا در محیط کاری، برای این‌که مشخص شود افراد از سینه‌کار تخلیه شوند یا استفاده از محافظه‌های صدا می‌تواند سطح صدا را تا کمتر از حد حداکثر سطح عملیاتی کاهش دهد، اندازه‌گیری فشار پیک صوتی انجام شود.

به این نکته توجه شود که در ماشین‌های تونل‌سازی، صدا از چندین منبع ساعت می‌شود.

الف) در ماشین‌های تونل‌سازی (۴-۶-۷)، عملیات حفاری زمین همواره سطح بالایی از صدا را تولید نمی‌کند و اغلب عملیات خود ماشین منبع تولید سروصدا است. توصیه می‌شود در داخل ماشین‌های حفاری تونل، راه‌کارهای کاهنده صدا مانند حصارکشی اطراف مولفه‌های تولیدکننده صدا که شامل پمپ‌ها و موتورها هستند، ایزوله کردن لرزش‌ها بهمنظور کاهش صدای متشعشع شده و سطوح بزرگ میراکننده انعکاس‌ها، به کار برد شود.

ب) در ماشین‌های حفاری تونل مخصوص سنگ‌های سخت (۴-۶-۷)، حفر زمین سطح بالایی از سروصدا را تولید می‌کند. توصیه می‌شود بهمنظور کاهش انتشار صدا و انعکاس آن از چارچوب ماشین، ملاحظاتی برای ایزوله کردن لرزش‌ها یا استفاده از چارچوب ساخته شده از فلز کاهنده صوت (در مواردی که امکان‌پذیر باشد) یا استفاده از هر دو، بررسی شود. توصیه می‌شود در مواردی که فضای ماشین اجازه دهد، در طراحی ماشین تونل‌سازی یک محفظه محافظت در برابر سروصدا برای کاربر ماشین تونل‌سازی طراحی و تعبیه شود.

ج) در ماشین‌های حفار سینه‌کار، مانند حفارهای بازویی یا سپرهای حفار مکانیکی (بند ۲-۶-۷ را ببینید)، حفاری بهوسیله اجزا برشی کوچک در طول سینه‌کار انجام می‌شود که بهطور معمول امکان محصور کردن آن، بهمنظور کاهش سروصدا برش، وجود ندارد. حتی اگر ماشین دارای کابین کنترل سروصدا باشد، کارگران در سینه‌کار باید از محافظه‌های صدا استفاده کنند.

یادآوری - الزامات کاهش سروصدا در ماشین‌های حفاری تونل، در استاندارد بندهای ۷۰-۲ و ۷۱-۲ آمده است. اطلاعات سطوح سروصدا برای ماشین‌های ویژه را می‌توان در هندبوک آموزشی همان ماشین یافت.

۵-۲-۱۹ کاهش سروصدا

توصیه می‌شود سروصدا، با استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزاتی که برای کاهش یا حذف صدا در منبع طراحی شده‌اند، کنترل شود. بهتر است این موضوع بخشی از راهبرد برنامه‌ریزی اولیه پروژه باشد و در ویژگی‌های خرید قرار گیرد. توصیه می‌شود بهمنظور حداقل کردن عملیات پرهزینه، طراحی سنتی استفاده شود و هنگام انجام کار کنترل مناسب سروصدا، این شیوه پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرد.

توصیه می‌شود بهمنظور بررسی موارد زیر، ارزیابی صدا انجام شود:

- کافی بودن اقدامهای در نظر گرفته شده برای کنترل صدا را تصدیق کند؛
- شناسایی منابع سروصدای باقیمانده که به طور چشمگیری در قرار دادن افراد در معرض سروصدا دخیل هستند.

بهتر است بازرسی‌های تعمیراتی و نگهداری منظمی در مورد تجهیزات انجام شود تا بخش‌های معیوب یا پر سروصدا، تعمیر یا عوض شوند.

۱۹-۲-۶ ارتباط^۱

توصیه می‌شود به منظور استفاده از ترکیب هدفون- محافظ صدا، که قابلیت مکالمه در محیط‌های پر سروصدا بدون نیاز به در آوردن محافظ صدا را دارد، ملاحظاتی در نظر گرفته شود. بهتر است موثر بودن عالیم شنیداری و سیگنال‌های هشداری با استفاده از استاندارد بند ۱۶-۲، ارزیابی شود.

این عالیم و هشدارها موقعی که از محافظ صدا استفاده می‌شود، باید قابل شنیده شدن باشند.

یادآوری ۱- محیط پر سروصدا ممکن است در سامانه این ارتباطی اتلال ایجاد کند. ویژگی‌های فرکانسی و سطح سروصدای محل کار، برای مثال تداخل سروصدا با صحبت‌ها یا با محدود کردن عالیم هشدار، می‌تواند ارتباطات را دچار مشکل کند.

یادآوری ۲- بندهای ۱۸، ۲۰ و ۲۱ را نیز ببینید.

۱۹-۳ لرزش

۱۹-۳-۱ کلیات

قرارگیری تمام بدن یا بازوها در معرض لرزش ناشی از استفاده یا کار کردن با ابزارها و ماشین‌آلات، ممکن است خطرهای چشمگیری بر سلامت انسان داشته باشد. توصیه می‌شود منبع لرزش، با استفاده از ماشین‌آلات و تجهیزاتی که برای کاهش یا حذف لرزش در منبع آن طراحی شده‌اند، کنترل شود. بهتر است این موضوع بخشی از راهبرد برنامه‌ریزی اولیه پروژه باشد و در ویژگی‌های خرید قرار گیرد. توصیه می‌شود به منظور حداقل کردن عملیات پر هزینه طراحی سنتی و کنترل مناسب سروصدا هنگام انجام کار، این شیوه پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرد.

یادآوری- باید به آین‌نامه کنترل لرزش در کار (۲۰۰۵) توجه شود [۷] که کارفرما را مجاب می‌کند خطرهای قرارگیری بازوها یا کل بدن در معرض لرزش، تا حد امکان کنترل شود. آین‌نامه میزان محدودیت قرارگیری روزانه در معرض لرزش را $5\text{m/s}^2 \text{ A(8)}$ و مقدار محدودیت عملیاتی قرارگیری بازوها در معرض لرزش را $2.5\text{m/s}^2 \text{ A(8)}$ بیان کرده است. محدودیت قرارگیری روزانه کل بدن در معرض لرزش، برابر $1.15\text{m/s}^2 \text{ A(8)}$ و مقدار عملیاتی قرارگیری در معرض لرزش روزانه $0.5\text{m/s}^2 \text{ A(8)}$ است.

۲-۳-۱۹ انتشار لرزش و قرارگیری در معرض لرزش

۱-۲-۳-۱۹ سطح لرزش

سطح لرزش اعلام شده توسط سازنده ممکن است کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده در شرایط کاری باشد. بنابراین بهتر است دقت شود که استفاده از اطلاعات سازنده برای ارزیابی لرزش، ممکن است سطح خطر را کمتر از مقدار واقعی تخمین بزند.

۲-۲-۳-۱۹ قرارگیری تمام بدن در معرض لرزش

شایان ذکر است که قرارگیری تمام بدن در معرض لرزش^۱ (WBV)، ممکن است اثرات جدی بر سلامت را به دنبال داشته باشد.

یادآوری ۱- هر قسمتی از بدن ممکن است در نتیجه قرارگیری در معرض یک مقدار موثر لرزش آسیب ببیند. قسمت‌هایی از بدن که هنگام قرارگیری کل بدن در معرض لرزش، احتمال آسیب دیدگی در آن‌ها بیشتر است، به توزیع حرکت/انرژی در داخل بدن بستگی دارد و خود این عامل به فرآکنس لرزش، راستای حرکت و نزدیگی بدن به منبع لرزش، بستگی دارد. هنوز برقراری ارتباط (مقدار لرزش- تاثیر لرزش) بین لرزش ایجاد شده و میزان آسیب و خسارت وارد بر سلامت، غیرممکن است. داده‌های ذهنی در مورد مقادیر لرزش که باعث ایجاد ناراحتی و درد می‌شوند، می‌توانند علایمی از احتمال آسیب را برای شرایط مختلف بدهد، اگرچه این قانون که احساس همواره با خسارت آسیب‌شناختی هم‌بستگی ندارد، صحیح است.

یادآوری ۲- روش‌های کمی کردن لرزش‌های موجود و دستورالعمل‌هایی در مورد ارتباط شوک‌های تکرارشونده با سلامت افراد، تداخل با فعالیت‌ها، ناراحتی‌ها، احتمال درک لرزش و گسترش بیماری حرکتی، در استاندارد بند ۶۷-۲ ارایه شده است.

۳-۲-۳-۱۹ سطح قرارگیری بازوها در معرض لرزش^۲

زمانی که افراد با ابزارهای لرزشی، ماشین‌آلات لرزشی یا در محل‌های لرزشی کار می‌کنند، لرزش به بازوهای آن‌ها منتقل می‌شود. افرادی که به‌طور منظم از ابزارهایی با سطح لرزش بالا استفاده می‌کنند، در نتیجه قرارگیری در معرض سطح بالای لرزش، ممکن است انواع ناراحتی‌های دست و بازو مانند رنگ‌پریدگی انگشتان، احساس بی‌حسی و خارش، آسیب مج دست، که به مجموع آن‌ها بیماری‌های لرزش دست و بازو^۳ (HAVS) گفته می‌شود، را متحمل شوند. بیماری لرزش دست و بازو، ناراحتی است که در ارتباط با بیماری لرزش سپیدانگشت (VWF)^۴ بوده و بر اساس آیین‌نامه گزارش جراحت، بیماری و وقوع خطر سال ۱۹۹۵، یک ناراحتی دردناک و قابل گزارش است.

یادآوری- آیین‌نامه ۲۰۰۵ کنترل لرزش در کار و استاندارد HSG61. اطلاعاتی در مورد ارزیابی سطح لرزش و طراحی سامانه مراقبت از سلامت ارایه می‌کند.

1 - Whole-Body Vibration (WBV)

2 - Level of Hand-Arm Vibration Exposure

3 - Hand-Arm Vibration Syndrome (HAVS)

4 - Vibration White-Finger (VWF)

زمانی که در ارزیابی‌ها این نیاز احساس شود، توصیه می‌شود برای کاهش لرزش اقدام‌های زیر انجام شود:

- چرخش کار؛
- خرید و استفاده از ابزارها و تجهیزات با لرزش کم؛
- محدود کردن مدت زمان قرارگیری در معرض لرزش با چرخش کار؛
- نظارت بر سلامت.

۲۰ چاه‌ها، گودال‌ها و شمع‌ها^۱

۱-۲۰ کلیات

به دلایل زیر توصیه می‌شود ساخت چاه به عنوان یک جنبه ایمنی- بحرانی تونل‌سازی، در نظر گرفته شود:

- چاه‌ها نسبت به عمق‌شان سطح مقطع نسبتاً کوچکی دارند؛
- عمق چاه‌ها باعث می‌شود که حتی سقوط کوچک‌ترین شی مانند کلاه ایمنی، باعث جراحت جدی شود؛
- تداخل کاری پرسنل مجبور به کار در چاه، در حالی که عملیات بالابری انجام می‌شود؛
- کمبود فضا به منظور ایجاد محافظت موثر در برابر سقوط اشیا؛
- دور بودن از چیزهایی که عملیات سطح زمین را کنترل می‌کنند؛
- نداشتن آگاهی از آسیب‌پذیری آن‌چه در سطح زمین است از عملیاتی که در چاه انجام می‌شود؛
- در برخی موارد بار سنگین منتقل می‌شود که نمی‌توان هیچ ساختار محافظی برای آن ایجاد کرد.

یادآوری ۱- در این بخش، گودال‌های چهارگوش و شمع‌های حفاری شده دستی، به عنوان چاه در نظر گرفته می‌شوند.

یادآوری ۲- طبقه‌بندی چاه شامل:

- الف- چاه دائمی، منحصرأ برای برآورده کردن الزامات کاری دائمی طراحی و ساخته می‌شوند.
- ب- چاه دائمی، برای برآورده کردن الزامات کاری دائمی طراحی شده است ولی قبل از اتمام ساخت آن، با اضافه کردن کارهای موقت یا تغییر جزئیات آن، شرایط را برای ساخت کارهای زیرزمینی آتی فراهم می‌کند (مانند چاه دسترسی برای لوله‌رانی).

ج- چاه موقتی، تنها به منظور تسهیل ساخت کارهای زیرزمینی آتی طراحی و ساخته شده که در انتهای نیز پر می‌شوند.

د- چاه در ابتدا به منظور ساخت کارهای زیرزمینی آتی طراحی و ساخته می‌شود ولی طراحی آن به گونه‌ای است که اجازه ایجاد ساختارهای دائمی بعدی در داخل آن را می‌دهد (برای مثال چاه کاری بعداً به ایستگاه پمپاژ تبدیل می‌شود).

یادآوری ۳- برای چاه‌های قائم و شیبدار طبقه‌بندی یکسانی به کار برده می‌شود (بند ۳-۲۰ در مورد چاه‌های پله برقی^۲ را ببینید).

1 - Piles

2 - Escalator Shafts

۲-۲۰ طراحی

در ملاحظات طراحی چاهها بهتر است موارد ذکر شده در بند ۱-۲۰، مد نظر قرار داده شود. در چاههای با قطر شش متر یا کمتر (یا چاه دارای مساحت سطح مقطع مشابه)، مشکلاتی خاصی در مورد محافظت در برابر سقوط اشیا وجود دارد. به همین دلیل توصیه می‌شود چاه با قطر شش متر یا کمتر، به صورت پوشش لوله‌ای درون چاه^۱ ساخته شوند. (بند ۳-۲۰-۱-۳ را ببینید).

چاه ممکن است دائمی یا موقت، قائم یا شیبدار باشد. بهتر است برای طراحی آن‌ها، تمام بارگذاری‌های موقتی و دائم در نظر گرفته شود؛ این بارها مانند فشار اعمالی از طرف ماشین حفاری تونل هنگام آغاز حفاری، اضافه بار ناشی از ماشین‌آلات ساخت، تغییر بارگذاری هیدرواستاتیک ناشی از زهکشی هستند.

ممکن است شرایط بارگذاری موقتی بیشتر از شرایط دائمی باشد که در این صورت بهتر است چاه بر اساس شرایط بارگذاری موقتی طراحی شود. وقتی چاه با استفاده از نگهداری سازه‌ای موقت ساخته می‌شود، توصیه می‌شود این کار همانند بند ۶ و ۷، به صورت کار موقتی در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود طراحان در ملاحظات طراحی، فضای مورد نیاز برای نوع ماشین‌آلاتی که برای حفر چاه نیاز خواهد بود و نیز شرایط زمین را در نظر بگیرند.

اگر ضروری است کف چاه بهوسیله بتن پوشیده شود یا در صورت لزوم تقویت شود، بهتر است بالازدگی هیدرولیکی یا هرگونه بالآمدگی سازند یا وجود مواد متورم‌شونده در حضور آب، به طور کامل مورد بررسی قرار داده شود.

توصیه می‌شود برای دستورالعمل در مورد ساخت گودال جمع‌آوری آب، به بند ۹ مراجعه شود.
یادآوری ۱- این موضوع به طور خاص برای چاههای تا قطر شش متر ضروری است.

یادآوری ۲- دستورالعمل‌هایی در مورد طراحی چاه و بارهای فشاری وارد بر لاینینگ‌ها، در دستورالعمل طراحی (PJA) [۱۸] و همچنین در دستورالعمل طراحی لاینینگ تونل انجمن تونل ارایه شده است [۲۴].

۳-۲۰ حفر چاه

۳-۲۰-۱ فنون ساخت

۳-۲۰-۱-۱ کلیات

توصیه می‌شود در طراحی و جانمایی چاهها به منظور کاهش آشفتگی‌های بیرون سایت، دقت ویژه‌ای شود. همچنین عوامل ایمنی و محیط زیستی در نظر گرفته شود.

یادآوری ۱- چاه ممکن است بر اساس سطح مقطع، شرایط زمین و عمق آن، به روش‌های مختلفی حفر شود.

یادآوری ۲ - عملیات حفر چاه ممکن است بر مردم عادی بازخورد داشته باشد و سازه‌های مجاور بالا و زیرزمین را تحت تأثیر قرار دهد.

۲-۱-۳-۲۰ زیربندی^۱

زیربندی یک فن اثبات شده در خاک و سنگ‌های خودنگهدار مستحکم است. در کف چاه، با اجرای سامانه نگهداری زمین، حفاری ادامه می‌یابد. نگهداری ممکن است با استفاده از سگمنت‌های پیش‌ساخته بتنی یا اجرای بتن پاششی انجام شود (بند ۷-۱۰ را ببینید). حجم حفاری که قبل از نصب سامانه نگداری تحمل می‌شود به شرایط زمین بستگی داشته و بهتر است تعیین شود. در صورت نیاز و بر اساس شرایط زمین بهتر است روان‌ملات‌ریزی انجام شود، اما به صورت حداقل مقدار در پایان هر نوبت کاری اجرا شود.

یادآوری - در رابطه با حفر چاه، بیش‌تر گرایش به واحدهای با عمق ۱ یا ۱/۵ متری است که قبل از روان‌ملات‌ریزی، مقدار بیش‌تری از زمین بدون نگهداری را باقی می‌گذارد و ریسک ریزش از دیواره‌ها افزایش می‌یابد.

۳-۱-۳-۲۰ ساخت پوشش لوله‌ای درون چاه

به منظور نگهداری پیوسته در زمین‌هایی که خودپایدار نیستند یا زمین‌های حاوی آب، نوعی از ساختار پوشش لوله‌ای فلزی به کار گرفته می‌شود. در این روش ممکن است از بتن بر جا یا المان‌های بتنی پیش-ساخته استفاده شود.

در شرایط مناسب زمین، ممکن است این پوشش‌ها به وسیله بیل‌های حفار و بدون نیاز به حضور افراد در داخل چاه در حین ساخت، حفر شود. به همین خاطر بهتر است این روش حفر چاه برای چاه‌های با قطر شش متر و کمتر استفاده شود (بند ۲-۲۰ را ببینید). توصیه می‌شود در زمین‌های حاوی آب، به منظور جلوگیری از جابجایی زمین به سمت چاه، تعادل هیدرواستاتیکی برقرار شود.

توصیه می‌شود در مورد چگونگی قرارگیری واحدهای جدید در بالای چاه و هم‌چنین چگونگی نگهداری و محافظت از دور تا دور لبه چاه، بررسی‌هایی انجام شود. بهتر است از سگمنت‌های پیچ‌شده از بیرون یا رینگ‌های لاینینگ تک‌قطعه‌ای استفاده شود. توصیه می‌شود در جاهایی که لازم است برای دسترسی مناسب به مفصل‌های پیچ شده از داخل، از قفسه‌های مخصوص در داخل چاه استفاده شود.

بهتر است چهارچوب جک و تکیه‌گاه آن در برابر بارهای پیش‌بینی شده برای آن، طراحی شود و فشار وارد بر جک در حدی باشد که برای چهارچوب جک و تکیه‌گاه آن تعیین شده است. اگر از کفشک‌ها یا جداکننده‌ها استفاده می‌شود، بهتر است آن‌ها به گونه‌ای ایمن‌سازی شوند تا در زمانی که جک‌ها شل می‌شوند، به داخل

چاه سقوط نکنند. زمانی که سامانه ترکیبی ساخت پوشش درون چاه با روش زیربندسازی (پی‌بندی) ادامه داده می‌شود، بهتر است قبل از شروع ساخت زیربند پوشش درون چاه محکم و ایمن شود. توصیه می‌شود در زیر لبه برشی فعالیتی انجام نشود، مگر این که لاینینگ چاه محکم شده باشد.

یادآوری ۱ - برای نفوذ لبه حفار در زمین به بارگذاری اضافی نیاز است، مگر این که لاینینگ اولیه بسیار سنگین باشد. استفاده از وزنه‌های آهنی قرار گرفته در چهارچوب فلزی، یک سامانه سنتی حفر است که قرار دادن و برداشتن چنین وزنه‌هایی ممکن است برای افراد خطرساز باشد. یک روش جایگزین ساخت پوشش درون چاه، استفاده از جکها است.

یادآوری ۲ - سیالی مانند سوسپانسیون بنتونیت می‌تواند برای نگهداری زمین استفاده شود و در حین عملیات حفاری درون چاه، اصطکاک را کاهش دهد.

۴-۱-۳-۲۰ چاه‌های دارای لاینینگ‌های از پیش نصب شده

توصیه می‌شود اگر در طراحی الزام شده است با پیشروی حفاری، نگهداری اضافی نصب شود. توصیه می‌شود برای اجتناب از حرکت مواد حفاری شده در اثر لرزش یا خشک شدن آن‌ها در اثر قرارگیری در معرض هوا، مواد شل از سطح داخلی لاینینگ برداشته شوند.

در اصل بهتر است، ورق شمع‌ها، شمع‌های متقطع و دیوارهای دیافراگمی، یک لاینینگ ضدآب برای چاه تشکیل دهند. به منظور مطمئن شدن از پایداری کف حفریه، بهتر است در طراحی یک زاویه انحنا (زاویه تو-این) مناسب ایجاد شده باشد.

یادآوری - در برخی موارد نصب لاینینگ چاه قبل از حفاری، دارای مزیت است. انواع لاینینگ شامل شمع‌های بتونریزی شده و شمع کوبی، ورق شمع‌ها، دیوارهای دیافراگمی و شمع‌های متقطع هستند.

۵-۱-۳-۲۰ چالزنی و آتشباری^۱

به طور معمول برای حفاری سنگ از روش چالزنی و آتشباری استفاده می‌شود که ممکن است در نواحی شهری مشکلات زیستمحیطی را به همراه داشته باشد. بهتر است خطر لرزش و پرتاب مواد خرد شده در ارتباط با خسارات سازه‌ای و جراحت افراد ذکر شود. شایان ذکر است که خدمات زیرزمینی بیشتر در معرض خطر خسارت قرار دارند (بند ۸-۷ را ببینید).

بهتر است چاشنی‌ها و مواد منفجره استفاده شده برای حفر چاه، با نوع زمین، شرایط آب زیرزمینی و جریان‌های الکتریکی ولگرد، متناسب باشند. توصیه می‌شود قبل از انفجار، گازهای مستعد انفجار به دقت مورد بررسی قرار گیرند.

یادآوری - استفاده از چاشنی با تاخیر نیم‌ثانیه‌ای در حفر چاه‌ها، به دلیل فرآیند تراکم مجدد، مناسب نیست.

۶-۱-۳-۲۰ چاههای حفر شده از پایین به بالا

چاههای حفر شده از پایین به بالا نیازی به لاینینگ ندارند. زمانی که بررسی‌های زمین نیاز به لاینینگ را مشخص کرد، بهتر است روش‌های ساخت مختلفی مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۳-۲۰ چاههای در حال ساخت

به طور معمول بهتر است از دستگاه‌ها مکانیکی برای حفاری استفاده شود و از اینمی کلیه پرسنل اطمینان حاصل شود. توصیه می‌شود در زمان‌هایی که عملیات حفاری در حال اجرا است، تعداد افراد حاضر در کف چاه به کمترین تعداد برسد. بهتر است فرآیندها به گونه‌ای باشند که در هر جای ممکن، از حضور افراد در زیر بارهای معلق پرهیز شود. در چاههای با قطر کوچک‌تر به دلیل وجود فضای محدود برای فرار، دقت باید ویژه‌ای به خرج داده شود و هنگام پایین فرستادن هر محموله به پایین، به تمامی افراد خبر داده شود (بند ۸-۲۰ را ببینید).

توصیه می‌شود از ساخت چاههای با قطر کمتر از شش متر که با ماشین‌های مکانیکی قابل حفر نیستند، پرهیز شود. در چاههای با قطر کمتر از شش متر که حفاری دستی عملی است، بهتر است از ابزارهای مناسب برای کاهش خطر جابجایی‌های دستی، تنفس حرارتی، سروصدای سروصدای و لرزش استفاده شود. بهتر است واگن‌های صندوقهای بالارو^۱ که در چاه استفاده می‌شوند دارای گیره‌های ساده باشند تا در هنگام بالا کشیدن واژگون نشوند. توصیه می‌شود سایر خطرها مانند سقوط مواد از بالای واگن‌ها به دلیل پرکردن زیاد مواد یا سقوط مواد سست، مورد بررسی قرار گرفته و به حداقل رسانده شوند.

به طور معمول چاههای با قطر بیشتر از شش متر با استفاده از حفارهای هیدرولیکی ۳۶۰ درجه، که در داخل چاه کار می‌کنند، حفاری می‌شوند و بهتر است برای کمتر کردن خطر ضربه خوردن افراد یا به دام افتادن درون ماشین‌آلات متحرک، اقدام‌هایی انجام شود. در بسیاری از چاهها برای تامین کیفیت مناسب هوا و نیز در جاهایی که کیفیت هوا قابل اطمینان نباشد، به سامانه تهویه نیاز است.

در زمان جابجایی بارها به وسیله جرثقیل یا بالابرها، بهتر است مطمئن شد که:

الف) بار یا واگن صندوقهای بالارو نوسان نمی‌کند، زیرا در اثر نوسان ممکن است با لاینینگ یا سایر سازه‌ها برخورد کند.

ب) بار یا واگن صندوقهای بالارو در هنگام بالا یا پایین رفتن با لبه‌ها برخورد نکند زیرا در اثر برخورد کج شده و محتوای آن به بیرون خواهد ریخت (ممکن است افراد یا مواد باشند).

ج) زمانی که بار در پایین چاه یا در طبقات نگه داشته شده، بهتر است برای اجتناب از گیرکردن طناب به سایر ساختارهای چاه، طناب آویزان و رها شده نباشد، چون در هنگام سفت شدن باعث ایجاد خسارت خواهد شد.

توصیه می‌شود تمامی ماشین‌آلاتی که به‌طور منظم به پایین چاه فرستاده می‌شوند، برای عملیات بالابری طراحی شده باشند و برای چنین هدفی مورد آزمون و ارزیابی قرار گیرند.

مطابق فرآیند استاندارد بالابری، بهتر است بار به فاصله کوتاهی بالا برده شده و متوقف شود، سپس قبل از بالابری پیوسته، آن را متعادل کرده و مورد بازرسی قرار داد.

توصیه می‌شود همگام با پیشروی حفاری، چاه به صندوق‌های بالارو پیشاهنگ یا جرزبندهای (دیوارهای کوتاه) محافظ افراد، مانند نرده‌بان درون محفظه محافظ، مجهز شوند.

۳-۳-۲۰ چاه‌های شب‌دار و چاه‌های پله برقی

توصیه می‌شود برای حداقل کردن خطرهای ناشی از شب‌های زیاد، توجه ویژه‌ای معطوف جلوگیری از حرکات غیررادی ماشین‌آلات و تجهیزات در شب‌های معکوس شود.

بهتر است، در طراحی سامانه نگهداری سینه‌کار و طبقات دسترسی توجه ویژه‌ای معطوف این موضوع شود که انتقال بار سینه‌کار به درستی انجام می‌شود. بهتر است، توضیحات تفصیلی در مورد روش و آموزش همگانی پرسنل، در دهانه ورودی چاه انجام شود.

یادآوری - به دلیل این‌که برای حفاری چاه‌های شب‌دار پله برقی، شب زیادی در نظر گرفته می‌شود، همواره آن‌ها را جزو چاه‌ها طبقه‌بندی می‌کنند تا این‌که آن‌ها را در دسته راه‌های دسترسی طبقه‌بندی کنند. سامانه‌های حفاری، نگهداری زمین و سامانه حمل و نقل، همگی به عملیات تونل‌سازی مشابهت و تمایل دارند.

در صورت امکان بهتر است چاه، از بالا به پایین شب‌حفاری شود. اگر در ابتدای مرحله ساخت، مجبور به حفاری چاه‌ها از پایین به بالا باشیم، توصیه می‌شود ابتدا یک چاه پیشاهنگ برای سامانه حمل و نقل حفاری شود، سپس عملیات افزایش قطر چاه از بالا از درون چاه پیشاهنگ^۱ انجام شود.

بهتر است حفاری به سمت بالا به گونه‌ای طراحی شود که خطر سقوط زمین کمر بالا حداقل شود. توصیه می‌شود در سامانه حفاری به سمت بالا، سامانه ترابری از نوع بالاسری (مونوریل^۲) باشد تا امکان استفاده از طناب، قلاب^۳ یا سامانه‌های اصطکاکی فراهم شود.

1 - Pilot

2 - Monorail

3 - Rack

بهتر است در حین ساخت چاه، از روش‌های حفاری خیلی دقیق استفاده شود؛ زیرا نیاز است که الزامات ایمنی همگام با پیشروی سینه‌کار متحرک باشند، همانگونه که در ساخت چاه این‌گونه است. بهتر است دسترسی پرسنل از طریق پله‌ها یا قدمروهای دارای کناره محافظ، فراهم شود.

۴-۳-۲۰ سامانه حمل و نقل برای حفاری به سمت پایین

۱-۴-۳-۲۰ مونوریل

در یک سامانه ترابری مونوریل، بار تیر به سقف آویزان شده و بهوسیله محرک‌های چرخ دنده و قلاب، طناب‌های باربری یا چرخ‌های اصطکاکی^۱ حرکت می‌کند. بهتر است برای جلوگیری یا کاهش وقایع غیرقابل کنترل، یک سامانه ایمن از خرابی^۲ در محل استقرار داده شود.
یادآوری - سامانه‌های مورد استفاده ممکن است شامل چنگک‌های دارای سرعت عمل بالا^۳، طبلک دوتایی، وینچ‌های دارای ترمز دوگانه همراه با طناب‌های دوگانه و هرزگردها یا ضامن‌های منظم باشند، که به صورت دستی فعال می‌شوند.

۲-۴-۳-۲۰ سامانه ریلی معکوس

توصیه می‌شود هنگام استفاده از سامانه ترابری، به منظور علامت دادن به کارگران در حال کار در سینه‌کار، از سامانه‌های هشداردهنده شنیداری یا دیداری استفاده شود. بهتر است انتخاب وینچ بر اساس عملکرد مناسب آن تحت حداکثر بار انجام شود تا از عملکرد قابل اطمینان طناب‌ها و سامانه‌های ترمز مطمئن شد. بهتر است سامانه ترمز به صورت ایمن از خرابی نصب شود. توصیه می‌شود اتصال طناب به واگن‌ها ایمن باشد تا از شل‌شده‌گی آن جلوگیری شود و بهتر است برای این کار از تجهیزات مخصوص اتصال طناب استفاده شود.
توصیه می‌شود در نواحی شیبدار ورودی‌های ایمن قرار داده شده و بهتر است ورودی‌های متوالی به صورت به هم قفل شده نصب شوند و یکی از آن‌ها همواره بسته باشد.

یادآوری ۱ - در سامانه ریلی معکوس، واگن‌ها توسط واحدهای جرثقیل دارای سامانه ایمن از خرابی مستقر در بالای چاه، که در ناحیه جمع‌آوری و تجمیع قرار دارند، کشیده می‌شوند.

یادآوری ۲ - با پیشروی چاه، ممکن است برای محدود کردن حداکثر انرژی غیرقابل کنترلی که باید توسط ورودی‌ها کنترل شود، نیاز به ایجاد تعداد بیشتری ورودی باشد.

1 - Friction Wheel

۲ - سامانه‌ای است که به یک سامانه ثانویه‌ای مجهز بوده که در صورت خرابی سامانه عملیاتی اول، ادامه عملیات را به صورت ایمن تضمین می‌کند (سامانه‌ای که برای جلوگیری از خرابی طراحی شده است) (Fail-Safe System).

3 - Speed-Applied Grips

توصیه می‌شود در مراحل اولیه که فضای موثری برای نصب کامل ورودی وجود دارد، دقت ویژه‌ای صرف این موضوع شود. بهتر است کاربرهای بالابرها آموزش دیده باشند و مدارک مجاز مربوطه را اخذ نمایند. توصیه می‌شود تمام ماشین‌آلات و مکانیزم‌های ایمنی در سامانه‌های ترابری، به‌طور منظم بررسی و تعمیر و نگهداری شده و گزارشات آن‌ها نگه داشته شوند.

۴-۲۰ چاه‌های متروکه

۱-۴-۲۰ چاه‌های متروکه دائمی

زمانی که یک چاه بعد از استفاده کامل از آن، سرپوش گذاشته می‌شود، بهتر است سرپوش‌گذاری استفاده شده، به‌صورت ویژه برای هدف مورد نظر طراحی شده و نصب شود. بهتر است دسترسی به چاه‌ای موقتاً متروکه، به‌منظور مدیریت ارزیابی و اهداف تعمیراتی، کماکان برقرار باشد. توصیه می‌شود گزارش‌های قابل جستجو، که جزیيات مربوط به چاه‌ها و تونل‌ها، روش‌های سرپوش‌گذاری و پرکردن در آن‌ها ارایه شده است، نگهداشته شوند.

۲-۴-۲۰ چاه‌های متروکه موقتی

توصیه می‌شود چاه‌هایی که به دلیل ادامه حفاری به‌طور موقتی بلااستفاده می‌مانند، برای جلوگیری از دسترسی غیرمجاز برای مثال توسط کودکان، به‌طور ایمن پوشانده شوند. همچنین بهتر است برای اهداف فرار یا دسترسی به‌منظور اهداف نظارتی، یک دهانه دارای قابلیت قفل‌شوندگی در لاینینگ تعییه شود. بهتر است لاینینگ دارای دریچه باشد.

۵-۲۰ دهانه تونل

چاهی که از طریق آن هرگونه حفریه ساخته می‌شود، بهتر است طوری طراحی شود که عملیات ساخت و استفاده ایمن از آن حفریه را تسهیل کند. توصیه می‌شود به‌منظور تسهیل خروج از چاه، استفاده از دهانه‌های صیقلی یا تقویت‌کننده‌های الیاف شیشه‌ای در لاینینگ چاه مورد بررسی قرار گیرد. بهتر است قبل از خروج، سطح آب زیرزمینی و سطح فشار بیرون چاه بررسی شود.

هنگام ساخت دهانه ورودی تونل، که از طریق آن باید تونل یا پیشانی تونل ساخته شود، بهتر است چاه نیز همانند دهانه تونل تقویت شود (بند ۴-۸ را ببینید).

بهتر است عملیات خروج از چاه با حداکثر دقت انجام شود زیرا به دلیل حفر چاه، زمین دچار آشفتگی شده و با وجود این که روان ملات‌ریزی با دقت انجام شده است ولی احتمال جریان یافتن آب اطراف چاه وجود دارد. بنابراین بهتر است بستن فوری حلقه نگهداری برای کل زمین، به طور ضروری مد نظر قرار داده شود.

در جاهایی که ماشین‌های حفاری تونل از دهانه تونل وارد می‌شوند (سپرهای متعادل‌کننده فشار زمین یا سپرهای دوغابی)، توصیه می‌شود دهانه تونل به منظور جلوگیری از افت زمین و دوغاب، به طور مناسب درزبندی شود. سامانه‌های درزبندی که همواره استفاده می‌شوند می‌تواند حاوی روان‌کننده و روان ملات‌ریزی حلقوی، به منظور استفاده در سامانه‌های لوله‌رانی باشد. توصیه می‌شود در مورد سامانه مشابه، در اتاق پذیرش ملاحظاتی در نظر گرفته شود. بهتر است در شرایط بد زمین، قطعه اول پیشانی تونل تحکیم و تقویت شده یا اولین حلقه آهن یا بتون درون چاه ساخته شود.

یادآوری - روش جایگزین این است که یک پیشانی کوچک به سمت بیرون از چاه حفر شود که از آن، یک حفریه برای تونل دسترسی با بعد اصلی و با فاصله ایمن از زمین آشفته ساخته شود، سپس مقطع پیشانی یا تونل به سمت چاه بزرگ شود.

۶-۲۰ جانمایی قسمت بالای چاه

توصیه می‌شود جانمایی و جزئیات بالای چاه به گونه‌ای طراحی شود که ارسال، بارگیری و حمل و نقل مواد را آسان کند و هم‌چنین از سقوط ناگهانی افراد، ماشین‌آلات و مواد به داخل چاه جلوگیری شود. بهتر است ناحیه پیرامون اطراف هر چاه، مسطح و عاری از موانع و به صورت زهکشی شده باشد. توصیه می‌شود این ناحیه، یک ناحیه کاری ایمن بوده و دارای روشنایی کافی باشد (بند ۱۷ و جدول ۸ را ببینید). توصیه می‌شود انبارش و جمع کردن مواد در یک فاصله مناسب از چاه انجام شود تا از وارد آمدن فشار زیاد به چاه جلوگیری شود.

توصیه می‌شود چاه به وسیله حلقه‌های سگمنتی^۱، ورقه‌های فولادی محکم و تور فولادی، که تا ارتفاع ۱,۲m از سطح زمین مجاور نصب شده‌اند، حفاظ شود. بهتر است از موانع صلب که تا ارتفاع ۲۲۵mm سطح زمین بالا آمده‌اند، استفاده شود. توصیه می‌شود امکانات بالای چاه، از یک مکان ایمن امکان دید مناسب داخل چاه برای کاربر چاه را فراهم کند.

بهتر است آب‌های سطحی به وسیله ایجاد موانع، یا در صورت نیاز به وسیله زهکشی یا پمپاژ، از چاه دور شوند. توصیه می‌شود اقدام‌های احتیاطی ویژه‌ای در مقابل سیلاب در نظر گرفته شود (بند ۳-۱۰ را ببینید).

ماشین‌آلات متحرک خطرهای ویژه‌ای را ایجاد می‌کنند، حتی اگر از کار کردن فیزیکی آنها در نزدیک چاه جلوگیری شود یا موانع مقاوم و محکمی برای جلوگیری از سقوط تجهیزات به داخل چاه نصب شده باشند،

احتمال وقوع این خطرها وجود دارد. توصیه می‌شود خدمات داخل چاه که از سطح زمین تغذیه می‌شوند، به دیواره چاه محکم شده و در مقابل ضربات بارهای در حال نوسان محافظت شوند.

۷-۲۰ دسترسی پرسنل

بهتر است دسترسی افراد در چاه بهوسیله تجهیزات ثابت مانند بالابرهای بالا رونده از دکل یا جرثقیل‌های نفربر انجام شود، البته در جاهایی که به‌طور منطقی بتوان چنین تجهیزاتی را فراهم کرد.

بهتر است جایی که روش‌های عادی دسترسی، توسط ماشین‌آلات مکانیکی (بالابر یا جرثقیل) انجام می‌شود، تجهیزات ثانویه‌ای، برای پوشش دادن دستگاه‌های از کار افتاده وجود داشته باشد. توصیه می‌شود که تجهیزات ثانویه در یک بازه زمانی معقول تهیه شوند، که این زمان به سطح خطر هر کار وابسته است.

بادآوری - این موضوع اجازه استفاده از جرثقیل ثانویه‌ای را می‌دهد، که احتمالاً در فاصله کمی از محل مورد نظر قرار گرفته باشد یا در صورت عدم وجود جرثقیل ثانویه در سایت، استفاده از بالابرها کوچک را مجاز می‌داند. استفاده از جرثقیل و بالابرها در بند ۲۱ پوشش داده شده است.

توصیه می‌شود هر چه سریع‌تر برای هر چاه یا مورد در حال تکمیل، راه‌های دسترسی ثابت ایجاد شود، مگر این‌که مسیرهای جایگزین، راه‌های دسترسی ایمنی، برای افراد پیاده به سمت کف چاه ایجاد کنند. توصیه می‌شود راه‌های دسترسی ثابت که شامل مسیرهای پلکانی، مسیر نرdbانی یا نرdbان قائم دارای حلقه محافظ هستند، بر اساس استانداردهای بندۀای ۲۸-۲، ۲۹-۲، ۳۰-۲، ۳۱-۲ و ۳۷-۲ طراحی شوند.

بهتر است مسیرهای پلکانی به‌عنوان یک گزینه مناسب، در هر جایی که امکان آن وجود داشته باشد، ایجاد شوند، چون در چنین مسیرهایی کارگران قادر به حمل تجهیزات دستی و موارد مشابه هستند. در جاهایی که مسیرهای نرdbانی چوبی استفاده شده است، بهتر است این مسیرها مطابق استاندارد بند ۲۶-۲ باشند و به شکل یک مسیر نرdbانی شبیه‌دار نصب و محکم شوند.

توصیه می‌شود هر نرdbانی در پایه و قسمت بالایی آن، به‌طور محکم نصب شود. نرdbان باید در قسمت بالایی آن حداقل 1.1m ارتفاع بیشتری نسبت به محل تکیه‌گاه بالایی خود داشته باشد مگر در مواردی که دستگیره کافی و مناسب تعییه شده باشد.

توصیه می‌شود نرdbان‌های قائم محکم شده به دیواره چاه، از فولاد (به جای آلیاژهای سبک و چوب) ساخته شوند. نرdbان‌های قائم بایستی بهوسیله حلقه‌هایی محافظت شوند و این حلقه‌ها حداقل تا ارتفاع 2.5m از تکیه‌گاه بالایی ادامه داشته باشند.

بهتر است جای پا در هر پله تمامی نردهان، تمیز باشد. حداکثر فاصله محل‌های تکیه‌گاه نردهان به دیواره چاه نباید بیش از شش متر باشد. بهتر است این تکیه‌گاه‌ها به وسیله جان‌پناه^۱، نرده و تخته پنجه^۲ به صورت محکم ساخته شوند. بهتر است دهانه‌ها برای نردهان، تا جایی که امکان دارد، کوچک ساخته شود و در جایی قرار داده شوند که پایه‌های نردهان بالایی وجود نداشته باشد. هر پاگرد برای نردهان باید تمیز باشد (بند ۱۷ را ببینید). توصیه می‌شود قسمت‌های کناری پلکان‌ها و نردهان‌های نصب شده در چاه، به وسیله مواعظ محکمی در برابر بارهای در حال نوسان که در چاه حمل و نقل می‌شود، محافظت شوند.

توصیه می‌شود کلیه راه‌های دسترسی که شامل بالابرها نیز می‌شوند، به صورت هفتگی مورد بازرسی قرار گرفته و در صورت لزوم عملیات تعییر و نگهداری انجام شود. بهتر است برای ایمنی افرادی که در ارتفاع بالا کار می‌کنند، اقدام‌های استاندارد در نظر گرفته شود. بهتر است برای موارد بازیابی برانکار یا در قفسه‌های آمبولانس، به وسیله تسمه‌های اضطراری ویژه تمهیدات اضافی ایجاد شود.

۲۰ ارتباطات

توصیه می‌شود یک راه ارتباطی بین افراد بالای چاه و افراد درحال کار درون چاه ایجاد شود که در موقع مشکلات ناشی از سروصدای محیط، اختلال در دید و غیره، ارتباط برقرار باشد.

- یادآوری ۱- یک ارتباط شنیداری توسط سیگنال‌های رادیویی یا دیداری می‌تواند تمام نیازها را پوشش دهد.
یادآوری ۲- همچنین بندهای ۱۸، ۱۹ و ۲۱ را ببینید.

۲۱ تجهیزات بالابری

۱-۲۱ کلیات

توصیه می‌شود تمامی طرح‌های آزمون آماده شده بر اساس آیین‌نامه‌ها، شرایط خوردگی شدید که در کارهای زیرزمینی اتفاق می‌افتد، را مد نظر قرار دهنند.

بهتر است برای نصب، کاربرد و پیاده‌سازی قطعات جرثقیل، از استاندارد بند ۴۶-۲ پیروی شود که توصیه‌های اساسی نصب در مورد نگهداری و مهار کردن ایمن، فرود ایمن و دید واضح را ارایه کرده است.

- یادآوری ۱- توصیه می‌شود به آیین‌نامه عملیات و تجهیزات بالابری سال ۱۹۹۸ [۴۲] و همچنین قوانین تصویب شده حمایتی، که اطلاعاتی در مورد تجهیزات بالابری در تونل‌سازی و عملیات وابسته بیان می‌کنند، توجه شود. در این بند همه آن آیین‌نامه‌ها در نظر گرفته خواهند شد. آیین‌نامه‌ها شامل الزامات بازرسی و آزمون جامع هستند که با آزمون کردن تجهیزات بالابری و متعلقات وابسته بالابری سروکار دارد.

- یادآوری ۲- همچنین به مقررات و کاربرد تجهیزات کاری سال ۱۹۹۸ توجه شود [۴۳].

1 - Hand Rail
2 - Guard Rails

۲-۲۱ جرثقیل‌ها

۱-۲-۲۱ جرثقیل در چاه

مناسب‌ترین جرثقیلی که برای ساخت تونل و چاه در نظر گرفته می‌شود، جرثقیل زنجیری^۱، جرثقیل سیار^۲ و جرثقیل دروازه‌ای^۳ است. موارد ذکر شده برای چاه‌های کم‌عمق نسبت به چاه‌های عمیق مناسب‌تر هستند زیرا کنترل مشکلات مربوط به آن‌ها در چاه‌های عمیق بیش‌تر است. به دلیل این‌که به مقداری طناب بالابری نیاز است، بهتر است برای چاه‌های عمیق از جرثقیل‌های استاندارد استفاده نشود.

توصیه می‌شود جانمایی سطحی به‌گونه‌ای طراحی شود که مطمئن شد موقعیت جرثقیل کم‌ترین اثر نامطلوب بر سایر فعالیت‌های سایت یا بر محیط شهری اطراف داشته باشد و بهتر است در صورت امکان، شرایط کاری ۲۴ ساعته در نظر گرفته شود.

در جانمایی جرثقیل در مجاورت چاه باید دقت شود که نیروهای القا شده توسط جرثقیل، بر چاه مجاور و کارهای تونل اثر نامطلوب نداشته باشد و حفاری چاه نیز بر پایداری جرثقیل اثر منفی نداشته باشد. بهتر است به‌منظور حداقل کردن میزان نشست، توزیع حتی‌الامکان گسترده‌تر بارهای جرثقیل و هم‌چنین برای اجتناب از وارد آمدن گشتاورهای جانبی بیش از حد از طرف زمین بر لاینینگ چاه، یک سکو یا پی برای سوار شدن جرثقیل روی آن، طراحی و ساخته شود. برای جرثقیل‌های سیار که در یک موقعیت از قبل تعیین شده و ثابت قرار ندارند، بهتر است بار اعمالی بر سطح زمین در یک محدوده ایمن نگه‌داشته شوند. توصیه می‌شود برای اطمینان از این‌که هنگام قرار گرفتن قلاب در کف چاه، حداقل دو دور طناب به دور استوانه بالابری مانده باشد، طول طناب‌ها مورد بررسی قرار گیرند.

یادآوری - عملیات جرثقیل شامل عملیات بالابری عادی و هم‌چنین بالابری بارهای سنگین مانند قسمت‌هایی از ماشین حفاری تونل یا دستگاه‌های حفاره‌ای تونل است.

۲-۲-۲۱ فضای خالی اطراف محل فرود

در جایی که پرسنل کافی در اطراف محل فرود جرثقیل در نظر گرفته نشده است، توصیه می‌شود هنگامی که جرثقیل در حال کار است، از دسترسی به نواحی محصور شده محل فرود جلوگیری شود.

۳-۲-۲۱ عملیات بالابری بارهای طویل یا عملیات بالابری پیچیده

برای چنین عملیات باربری، توصیه می‌شود ترتیب بالابری بررسی شود تا از ایمنی و پایداری بار مطمئن شد.

1 - Crawler Cranes

2 - Mobile Cranes

3 - Gantry Cranes

توصیه می‌شود در صورت امکان، این عملیات با ایجاد نقاط بالابری طراحی شده انجام شود. بهتر است برای جلوگیری از نوسانات غیر قابل کنترل بار، بار آویزان در همه حال ایمن شده و سرعت بالابری کنترل شود.
یادآوری - ممکن است بارهای طویل را به دلیل فضای محدود، بهصورت قائم بالا برد.

بهتر است هنگام بالابری، کلیه افراد به جز کسانی که برای عملیات بالابری لازم هستند، از چاه بیرون بروند. بهتر است این افراد در موقعیت‌های ایمن حضور داشته باشند. توصیه می‌شود عملیات بالابری پیچیده مانند پایین بردن ماشین حفاری تونل، که شامل بالابری دوگانه است، بهصورت ویژه برنامه‌ریزی و نظارت شود.

۴-۲-۲۱ متعلقات بالابری

توصیه می‌شود زنجیرها، تسمه‌ها، اتصالات و تجهیزات بالابری بهطور مناسب (مطابق با الزامات تجهیزات و عملیات بالابری LOLER)^۱ گواهی تایید داشته باشند و بار کاری ایمن برای این وسایل، روی آن‌ها نشانه‌گذاری شود، همچنین این‌که از قلاب‌های نوع ایمن استفاده شود. بهتر است کپی مدارک مربوط به گواهی‌های آزمون‌های رایج در محل سایت نگهداری شود.

توصیه می‌شود متعلقات مناسب بالابری برای تمامی بارها فراهم شود. بهتر است این سامانه‌ها برای جابجایی سگمنت‌ها، لوله‌ها، ریل‌ها و غیره، بدون خطر جابجایی بار، توسعه داده شوند.

۳-۲۱ وینچ‌ها^۲ (جرثقیل طبلکی)

بهتر است تنها وینچ‌های مخصوص بالابری و مجهز به ترمزهای خاموش‌کننده دستگاه، برای بالابری بارها استفاده شوند.

یادآوری - وینچ‌ها بهطور گسترده برای علیات تونل‌سازی استفاده می‌شوند، برای مثال برای بالابری واگن‌های صندوقه‌ای.

در جایی که از وینچ‌ها یا قرقره‌های فلزی چفت‌دار^۳ استفاده می‌شود، بهتر است بارهای کاری ایمن آن‌ها و متعلقات نصب شده روی آن‌ها به وضوح مشخص و نشانه‌گذاری شده و اکیداً پذیرفته و رعایت شوند. بهتر است متعلقات نصب شده روی آن‌ها یا نقاط مهار کننده، بهطور ویژه طراحی و آزمون شوند.

توصیه می‌شود یک سامانه برای بازررسی و نگهداری وینچ‌ها و تجهیزات وابسته برقرار شود و گزارش‌های مربوط به این بازررسی‌ها نگه داشته شود.

1 - Lifting Operations and Lifting Equipment Regulations

2 - Winches

3 - Snatch Blocks

بهتر است از مهارهای مورد استفاده در لاینینگ تونل و حفره مربوط به آن‌ها، به عنوان نقاط مهارکننده استفاده شود، مگر این‌که ظرفیت حمل بار ایمن آن‌ها، به طور ویژه مشخص شده باشد.

۴-۲۱ بالابری‌های مصالح

توصیه می‌شود سامانه تمام خودکار بالابری مصالح در تمام مسیر بالابری‌شان، جایی که در دسترس افراد است یا با قسمت‌های متحرک تاسیسات یا مصالح سقوط کرده برخورد می‌کند، به وسیله حفاظتها یا موانعی محصور و محافظت شوند. توصیه می‌شود در تمام پاگردها، ورودی‌های دارای قفل‌های درونی ایجاد شود. توصیه می‌شود برای جلوگیری از مسدود شدن مسیر بالابری توسط ریل‌ها، لوله‌ها یا سایر مصالحی که در مجاورت آن جابجا می‌شوند، اقدام‌های محافظت کننده بیشتری ایجاد شود.

در سامانه بالابری که توسط کاربر کنترل می‌شود، بهتر است کاربر بار را در همه مسیر مشاهده کند. یادآوری - ممکن است شخص راهنمای عالیم به کاربر یا وسایل دیداری نیاز باشد. این موارد ممکن است استفاده از کلیدهای کنترل کننده آویزان^۱ را شامل شود.

۵-۲۱ ارتباطات

توصیه می‌شود به منظور کنترل کلیه عملیات بالابری و پایین‌بری و همچنین برای تبادل اطلاعات در مورد بار در حال حمل، ارتباط مناسبی بین سطح زمین و سطح کاری برقرار باشد.

توصیه می‌شود یک مسئول عالیم تعیین شود و تحت آموزش‌های ویژه‌ای قرار گیرد. بهتر است جابجایی بارها در هر مرحله به وسیله تجهیزات بالابری (غیر از سامانه باربری خودکار)، تحت کنترل یک فرد خاص انجام شود. به دلیل این‌که ممکن است کاربر ماشین‌آلات دید پیوسته‌ای نسبت به بار درون چاه نداشته باشد، بهتر است در این موارد دقت لازم به خرج داده شود. یادآوری - بند ۸، ۱۹ و ۲۰ مطالعه شود.

بهتر است یک سامانه کاری ایمن در محل وجود داشته باشد تا به کاربر امکان دید و کنترل بار را بدهد و در مورد جابجایی بار، به کاربر آموزش داده شود.

یادآوری ۱ - این سامانه ایمن کاری ممکن است شامل استفاده از موارد زیر باشد:

- رادیوهای؛
- شخص راهنمای عالیم به کاربر؛
- دوربین مدار بسته؛

- چراغ‌های هشداردهنده؛
- هشدارهای شنیداری؛
- کنترل از راه دور جرثقیل توسط کاربر.

یادآوری ۲ - برای برخی بخش‌های عملیات بالابری روزانه در تونل‌سازی، ممکن است شخص راهنمای عالیم به کاربر، برای این قسمت از عملیات نیاز نباشد.

زمانی که بیش از یک شخص راهنمای عالیم به کاربر، برای هدایت عملیات بالابری مسئول است، توصیه می‌شود که انتقال مسئولیت به صورت واضح تعریف شده باشد.

بهتر است سامانه دیداری هشدارهای جرثقیل که در استاندارد بند ۴۶-۲ آمده است، به طور معمول استفاده شود، مگر این‌که شخص راهنمای عالیم در موقعیتی است که در میدان دید است یا این‌که هشدارهای عادی جرثقیل قابل فهم نباشد (مثالاً توسط افراد قرار گرفته در کف چاه).

در چنین موقعیت‌هایی بهتر است کدهای واضح در برگیرنده انتقال مسئولیت و سازگار با سایت‌های خاص، تعریف شود و به کلیه مسئول‌ها معرفی شود. بهتر است سامانه‌های ایمن از خرابی، مطابق استاندارد بند ۴۶-۲ باشند. در جاهایی که کدها به صورت شنیداری هستند، بهتر است که مطابق بند ۳-۱۸ باشند.

یادآوری - استفاده از دوربین‌های مدار بسته که کاربر ماشین‌آلات در سطح زمین را به کف چاه مرتبط می‌کند، می‌تواند باعث افزایش ایمنی شده و کاربر را قادر سازد که قلاب و بار را مشاهده کند.

توصیه می‌شود در صورتی که بار در محدود خارج از میدان دید دوربین جابجا می‌شود، در جاهایی که مناسب است ارتباط بین کاربر هشداردهنده در سطح زمین و کف چاه با استفاده از عالیم دستی برقرار شود.

توصیه می‌شود دوربین‌های مدار بسته به منظور تقویت دید کاربر مورد استفاده قرار گیرند، تا این‌که جایگزین بررسی‌های دیداری عادی عملیات‌های چاه توسط کاربر علامت‌دهنده چاه شود.

دستگاه‌های رادیویی هندرزفری (گوشی به همراه میکروفون ثابت) ممکن است یک راه ارتباطی موثر بین کاربر ماشین‌آلات ایجاد کند و بهتر است در موقعیت‌های شلوغ مورد استفاده قرار گیرد.

توصیه می‌شود که آموزش‌های شفاهی در سطح صدای عادی داده شود تا مسئول هشداردهنده قادر باشد وظیفه راهنمایی پیوسته و هشداردادن در مورد بار در موقعیت را انجام دهد.

۶-۲۱ حمل و نقل افراد^۱ افراد

۱-۶-۲۱ کلیات

توصیه می‌شود فقط در صورتی که جرثقیل و بالابر برای حمل و نقل افراد ساخته شده باشند، برای این هدف مورد استفاده قرار گیرند.
یادآوری - به بند ۱-۲۱ توجه شود.

۲-۶-۲۱ استفاده از جرثقیل

زمانی که جرثقیل برای حمل افراد استفاده می‌شود، باید مطابق استاندارد بند ۴۶-۲ باشد.
بهتر است قفسه‌های مورد استفاده جهت حمل و نقل افراد به‌گونه‌ای ساخته شوند که تمامی مسافران را محصور کرده و یک ورودی که به سمت داخل باز می‌شود، داشته باشد. بهتر است قفس نسبت به حداکثر بار، آزمون شده و مورد ارزیابی قرار داده شود و هشدارهای واضح (نشان‌دهنده تعداد افرادی که همزمان می‌توانند از آن استفاده کنند)، در آن نصب شود.

در موارد استثنایی، واگن صندوقهای یا جعبه نفربر سر باز ساخته شده برای کار در چاه، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بهتر است که چنین واگن‌های صندوقهای یا جعبه‌ها، به‌طور ویژه به‌منظور نفربری طراحی و ساخته شوند. بار کاری ایمن^۲ (SWL) و بیشترین تعداد افراد بایستی مشخص شود.

۳-۶-۲۱ استفاده از بالابر

اگر به هر دلیلی درب‌های ورودی قفس عمل نکنند، توصیه می‌شود قفس‌ها دارای پنل‌های بازشونده برای فرار اضطراری یا سایر تجهیزات برای استفاده در شرایط اضطراری باشند. بهتر است درب‌های ورودی به‌صورت مکانیکی و الکتریکی قفل شوند.

۴-۶-۲۱ افراد مجروح

بهتر است وسایل ایمن و مطمئن برای بالا کشیدن افراد مجروح فراهم شود، مانند برانکارهای جعبه‌ای که قابلیت بالا بردن افراد در حالت افقی را دارند. توصیه می‌شود به‌منظور ایمن‌سازی بیماران بدون بدتر کردن اوضاع آن‌ها و ایجاد هرگونه جراحة، از تسممه‌ها تحت کنترل پرسنل کمک‌های اولیه آشنا با سامانه، استفاده شود.

1 - Carriage of Persons

2 - Safe Working Load (SWL)

۱-۲۲ پیاده‌روها

راه‌های دسترسی افراد پیاده بهوسیله مسیرهای پیاده‌رو در داخل تونل، باید به‌طور مناسبی تعیین و آماده شود. بهتر است هر تونل دارای یک مسیر پیاده‌رو ایمن، از سینه‌کار تا کف چاه باشد و در این مسیر، محل‌های فرار به‌طور مناسبی نشانه‌گذاری شده باشند و از سمتی دیگر بهوسیله نردبان یا پلکان به سطح زمین راه داشته باشد.

یادآوری ۱ - در چاه‌ها و تونل‌هایی که از نفربرها استفاده می‌شود، ممکن است از مسیرهای پیاده‌رو فقط به عنوان دسترسی برای تعمیر و نگهداری یا به‌منظور تخلیه در موقع اضطراری استفاده شود.

یادآوری ۲ - توصیه می‌شود به آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) سال ۲۰۰۷ [۱] و آیین‌نامه اصلاح شده کار در ارتفاع سال (۲۰۰۵) [۴۴]، توجه شود.

یادآوری ۳ - بند ۶-۱۳ را ببینید.

توصیه می‌شود که مسیر افراد پیاده به‌طور واضح مشخص و علامت‌گذاری شود. بهتر است در صورت امکان، یک مسیر پیاده‌رو با حداقل فضای موثر با ارتفاع ۲۰۰ mm و عرض ۹۰ mm ایجاد شود به‌طوری که عرض سطح قدم‌رو این مسیر کمتر از ۴۳۰ mm نباشد. در جاهایی که به‌طور منطقی امکان‌پذیر است، بهتر است پیاده‌رو به‌طور فیزیکی از مسیر ترافیکی مجاور مجزا باشد، در غیر این صورت برای محافظت از اشخاص پیاده در حین عبور وسایل نقلیه، اقدام‌های احتیاطی انجام شود، مگر این که از تردد هم‌زمان پیاده‌ها و ماشین‌آلات جلوگیری شود. بهتر است برای تاب خوردن وسایل نقلیه به کناره‌ها و جلو و عقب، یک فضای خالی اضافی در نظر گرفته شود.

زمانی که ایجاد فضای خالی پیوسته با حداقل ابعاد توصیه شده عملی نباشد، بهتر است در فواصل معین پناهگاه‌هایی ایجاد شود که فاصله این پناهگاه‌ها به میدان دید، انحصار و شیب تونل و سرعت ترافیک بستگی دارد.

توصیه می‌شود زمانی که دید رانندگان وسایل نقلیه و افراد پیاده، تحت تاثیر نامطلوب وجود گردوغبار و رطوبت در هوای محیط است، دقت لازم به خرج داده شود. در نتیجه بهتر است که پناهگاه‌ها به‌طور واضح روشن شده و شامل موارد زیر باشند:

الف- محفظه‌های جان‌پناه حفاری شده به سمت خارج از محور اصلی حفاری؛

ب- موانع مستحکم میان موقعیت امن و مسیر ترابری؛

ج- پایه‌های قرار گرفته در سطح بالاتر، عاری از هرگونه خطر احتمالی.

توصیه می‌شود همواره در جاهایی که هیچ فضای جدا شده‌ای برای مسیرهای پیاده‌رو و نفربر استفاده نشده است نیز پناهگاه ایجاد شود. علاوه بر این، یک سامانه کاری ایمن شامل «مجوز شروع به کار» ایجاد شود تا ایمنی افراد مورد نیاز در تونل و همچنین افراد مجاز به کار در داخل تونل را، در قبال خطرهای سامانه ترابری تونل، تامین کند.

سطح مسیر پیاده‌رو که توصیه می‌شود در شرایط مناسبی نگهداری شود، بایستی محل مناسبی را تامین کند که عاری از خطرهایی مانند ناهمواری‌ها، تغییرات ناگهانی سطح، سطح سست، موانع و غیره باشد که ممکن است باعث لغزش، واژگونی یا از دست دادن تعادل شوند.

در مسیرهای پیاده‌رو که در ارتفاع هستند و احتمال سقوط وجود دارد، توصیه می‌شود که مسیرها به نرده و زیرپایی‌های محافظ، مجهر شوند. بهتر است در مسیرهای پیاده‌رو شیبدار، نرده، حفاظ و موارد مشابه ساخته شود. توصیه می‌شود تمام مسیرهای پلکانی به نرده‌های محافظ و زیرپایی مجهر شوند.

بهتر است در هیچ نقطه‌ای از سطح مسیر پیاده‌رو یا بالای آن، اجازه حضور و انباشتگی آب داده نشود. توصیه می‌شود که هرگونه ریزش ناگهانی سنگریزه‌ها یا مواد دیگر بر مسیر پیاده‌رو، به‌طور سریع جمع‌آوری شود. یادآوری ۱- ممکن است مسیر پیاده‌رو در شرایطی که دید صفر است، برای خدمات اضطراری مورد استفاده قرار گیرد.

یادآوری ۲- سطوح روشنایی توصیه شده، در بند ۱۷ ارایه شده است.

در طول مسیر پیاده‌رو، باید روشنایی به‌گونه‌ای ایجاد شود که علاوه بر کمک به افراد پیاده برای دید بهتر، باعث شود که رانندگان وسایل باربری به‌طور واضح افراد پیاده را ببینند. چراغ‌ها بایستی در محل‌هایی نصب شوند که با عبور وسایل نقلیه محو نشوند. در تونل‌های معمولاً تاریک و نیز در جاهایی که فقط برای بازرسی و نگهداری، گاهگاهی به‌دسترسی‌ها نیاز است، بهتر است پناهگاه‌ها با مواد انعکاس دهنده (صیقلی) مشخص شوند. توصیه می‌شود که در صورت نیاز، عالیم انعکاسی نشان‌دهنده مسیرهای فرار، نصب شوند. بهتر است افرادی که وارد تونل‌های تاریک می‌شوند، به چراغ‌های دستی و وسایل ارتباطی مناسب مجهز باشند (بند ۱۸ را ببینید). توصیه می‌شود در تونل‌هایی که سامانه ترابری وینچی (جرثقیل طبلکی) فعال است، از دسترسی افراد پیاده جلوگیری شود، مگر این‌که حفاظهای کافی برای مسیرهای پیاده‌رو وجود داشته باشد.

۲-۲۲ دسترسی برای تعمیر و نگهداری

جایی که برای اهداف تعمیر و نگهداری در تونل یا حمل تجهیزات ساخت به درون تونل، به‌دسترسی نیاز است، بهتر است سامانه ایمن کاری موارد زیر را تعیین کند:

الف- حداقل ابعاد برای دسترسی. توصیه می‌شود این موضوع مطابق جدول ۵ سند BTS/PJA/HSE باشد (همچنین بندهای ۱-۲۲ و ۱-۱۴-۷ را ببینید)؛

ب- تهويه مناسب و کافی؛

ج- تجهيزات شناسایي گاز؛

د- فرآيندهای نجات همراه با کاهش تعداد افراد در سايت و موانع در تونل؛

۵- تجهيزات ضروري نجات همراه با در دسترس بودن دستگاههای خودنجات، تجهيزات تنفسی و قابلیت دسترسی به برانکار؛

و- اجتناب از کار کردن تنهايی و انفرادي؛

ز- تجهيزات ارتباطی.

توصيه می شود به منظور انتقال ماشینآلات به سطح زمین، ساخت چاههای مخصوص نگهداری یا حفاری اتاقک زیرزمینی تعمیر و نگهداری اختصاصی، ملاحظههای کلی تعمیر و نگهداری در نظر گرفته شود.

۳-۲۲ شيب‌ها

توصيه می شود برای تونل‌های دسترسی با شيب بيشتر از ۳۰ درجه، تجهيزات ويژه مانند نوار نقطه سطلي^۱ استفاده شود. بهتر است در تونل‌های با شيب بيشتر، محافظهایي در مقابل مواد سقوط كرده ايجاد شود.

يادآوري - توصيه می شود در شيب‌های بالاي ۳۰ درجه، راههای دسترسی افراد پياده توسط مسیرهای پلکاني که به طور مناسبی ايجاد شده‌اند، فراهم شود.

۴-۲۲ تونل‌های موقتی^۲

تونل‌های موقتی که به طور خاص برای اهداف دسترسی ساخته می شوند، بهتر است مانند تونل‌های دائمي ايمن باشند.

۵-۲۲ کار در ارتفاع در داخل تونل و چاهها

بهتر است در جاهایي در داخل تونل يا چاه که نياز به کار در ارتفاع است، سامانه مورد استفاده برای هدف مورد نظر مناسب باشد. توصيه می شود برای کارهایي مانند نصب مهاری‌ها در لاینينگ تونل يا نصب تور سیمي در لاینينگ‌های بتن پاششي، از تجهيزات مکانيكي برای دسترسی استفاده شود.

توصيه می شود در جاهایي که به طور منظم، کار در ارتفاع در يك موقعیت خاص مورد نياز است، مانند نصب و سفت کردن مهاری‌های لاینينگ تونل در ماشین‌های حفاری تونل، از نرdban‌های ثابت يا سکوهای

1 - Bucket Conveyor

2 - Temporary Tunnels

دسترسی یا سکوهای متحرک نصب شده دائمی، استفاده شود. به دلیل این که دکلهای دسترسی سیار محیط تونل را می‌لرزاند، بهتر است برای کار در ارتفاع از آن‌ها استفاده نشود.

یادآوری - برای کارهای کوتاه‌مدت در ارتفاع، استفاده از نردبانی که به طور مناسب ایمن و به زمین متصل شده باشد، قابل قبول است.

۲۳ حمل و نقل و بارگیری^۱

۱-۲۳ ترابری (باربری) ریلی^۲

۱-۱-۲۳ کلیات

توصیه می‌شود استفاده از ماشین‌آلات ریلی برنامه‌ریزی شود و فرآیندهای ایمن عملیاتی انتخاب شود. شایان ذکر است که عوامل موثر در انتخاب سامانه عبارتند از:

- شیب‌ها؛

- طول کلی باربری؛

- سرعت برداشت و انتقال سنگ‌های خرد شده؛

- فضاهای خالی برای مانور؛

- وزن کلی قطارها؛

- الزام وجود نقاط عبور؛

- اندازه و قابلیت در دسترس بودن سامانه باربری؛

توصیه می‌شود برای تمامی عملیات ریلی، ارزیابی ریسک انجام شود. توصیه می‌شود ارایه آموزش در مورد حداکثر باری که می‌تواند حمل شود و حداکثر سرعت مجاز در شیب‌های تونل، یکی از وظایف مدیریت سایت باشد. بهتر است رانندگان لوکوموتیو بعد از گذراندن دوره آموزشی و آزمون و اخذ گواهی تایید آموزش، اجازه کتبی از طرف مدیریت سایت برای این کار را دریافت کنند.

یادآوری - عملکرد ترمز سامانه ترابری (لکوموتیو یا استفاده از نیروی انسانی برای کشیدن طناب)، وزن قطار یا واگن‌های صندوقهای که می‌تواند به صورت ایمن جابجا شود، را تعیین می‌کند.

شتاب منفی توصیه شده برای لوکوموتیوهای دارای چرخ فولادی برابر دو درصد شتاب گرانش زمین ($0,196\text{m/s}^2$) است. در مواردی که دستیابی به این مقدار ممکن نباشد، بایستی حداقل قدرت مطلق عملیاتی سامانه ترمز، برابر ۱۶ درصد وزن لوکوموتیو باشد. بهتر است مقدار بار باربری لوکوموتیو به سمت بالای شیب،

1 - Transport and Loading

2 - Rail Haulage

از باری که لوکوموتیو به صورت ایمن و بدون استفاده از ترمز موتور در سرازیری با همان شب می‌تواند متوقف کند، بیشتر نباشد. توصیه می‌شود در شرایط بد، امکان توقف لوکوموتیو در محدوده دید راننده وجود داشته باشد. بهتر است این مسافت بیش از ۶۰ متر نباشد.

بهتر است برای هر کاربردی، بر اساس محاسبات دقیق با استفاده از فرمول‌های ارایه شده توسط سازنده، لوکوموتیو مناسب انتخاب شود. توصیه می‌شود با شرکت‌های سازنده و کرایه دهنده ماشین‌آلات مشورت شود. بهتر است اولویت با لوکوموتیوهای دارای ترمزهای بادی جزیی یا کامل باشد زیرا نسبت به لوکوموتیوهایی که تنها به ترمز کردن توسط لوکوموتیو تکیه می‌کنند، به طور ذاتی ایمن‌تر هستند. در عمل بهتر است شرایط شروع حرکت به سمت بالا و ترمز کردن مورد تحلیل قرار داده شود. چسبندگی بین ریل و چرخ ممکن است از ۲۵ درصد در شرایط خشک تا ۱۵ درصد یا کمتر در شرایط نامناسب ناشی از آلودگی مواد و روغن، متغیر باشد.

سرازیری یا مسیرهای شبیدار طولانی، برای جلوگیری از حادثه نیاز به اقدام‌های پیشگیرانه اضافی دارند. جایی که واگن‌ها، سامانه ترمز مجزا ندارند و در مسیر شبیدار پشت سر لوکوموتیو قرار دارند، بهتر است اتصال‌ها یا زنجیرهای ایمنی ثانویه داشته باشند. توصیه می‌شود لوکوموتیوهای مجهز به ترمز موتور که به صورت ایمن از خرابی نیستند، سامانه ترمز دستی ثانویه‌ای داشته باشند.

یادآوری - زمانی که راننده از سرعت مجاز تخطی کرده یا بارگیری اضافی نسبت به بار مجاز لوکوموتیو در شب انجام شود، احتمال خطر وجود دارد.

جایی که پیامد تخطی از سرعت شناسایی شده به وسیله تحلیل ریسک(تصادم یا از خط خارج شدن لکوموتیو)، جدی است، توصیه می‌شود تجهیزات خودکار هشداردهنده نصب شود. بهتر است در سرازیری پرشیب، برای سرعت‌های بالا ترمزهای خودکار در نظر گرفته شود. زمانی که قطار باید در مسیرهای پرشیب (شبی دو درصد یا بیشتر و طول بیش از ۵۰ متر) عملیات کند، توصیه می‌شود کارایی ترمزها هم‌زمان با پیشروی تونل به وسیله آزمون‌های ایمن مورد بررسی قرار داده شود. بهتر است مهندسان کارآزموده و تایید شده، مسئولیت‌های ویژه عملیات ایمن پیوسته سامانه ریلی را بر عهده گیرند. این مسئولیت‌ها شامل موارد زیر است:

- انتخاب و آموزش رانندگان؛
- انجام فرآیندهای ایمنی سایت؛
- رسیدگی منظم به فرآیند نگهداری خطوط و لکوموتیوهای روی خط ریل، نگهداشتن گزارش‌های تعمیر و نگهداری؛
- تعیین و بررسی سامانه باربری نسبت به بارها، فواصل و شبیه‌ها.

توصیه می‌شود در مورد سامانه ریلی عملیاتی، توصیه‌های متخصص‌های راه آهن مد نظر قرار داده شوند.
یادآوری - به آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) سال ۲۰۰۷ [۱]، که الزامات قانونی برای حمل و نقل در طول فرآیند ساخت را ارایه می‌کند، توجه شود.

۲-۳ فضای مرده در سطح مقطع تونل

توصیه می‌شود روش کار به‌گونه‌ای اتخاذ شود که در حین عملیات قطار، از قرارگیری افراد در نواحی خطرناک جلوگیری شود؛ برای مثال، ممنوع کردن پیاده‌روی و کار در تونل، ایجاد یک مسیر پیاده‌رو که به‌وسیله نرده‌هایی از عملیات قطار مجزا شده باشد یا ایجاد جان‌پناه برای افراد پیاده در فواصل کمتر از ۵۰m دسترسی محدود به ماشین‌آلات، مهیا کردن واگن‌های نفربر و ایجاد مسیرهای دسترسی مناسب. در بیش‌تر موارد توصیه می‌شود دسترسی افراد به سینه کار در طول ریل، به صورت ایمن فرض نشود.

بهتر است نگهداری ریل‌ها فقط در زمان‌های عملیات قطار صورت نگیرد. در موارد استثنایی که نیاز است در کنار عملیات قطار، کارهای دیگری در تونل انجام شود، توصیه می‌شود که یک سامانه کاری ایمن شامل ایجاد فضای کافی در پناهگاه، قرار دادن چند نفر به عنوان دیده‌بان و چراغ‌های هشداردهنده در انتهای هر مقطعی که ریل وجود دارد، برقرار شود. رانندگان لوکوموتیو باید از کارهای در حال انجام با خبر باشند.

توصیه می‌شود لوکوموتیوهای مورد استفاده برای تونل‌های با سطح مقطع کوچک‌تر (قطر کمتر از ۲۵m) به‌گونه‌ای انتخاب شوند که در سطح مقطع تونل، برای افراد فضای خالی ایجاد شود و همچنین فضایی برای مانور برانکار در پشت واگن‌های ثابت باقی بماند.

یادآوری ۱ - اطلاعات بیش‌تر در مورد روشنایی و ارتباطات به ترتیب در بندهای ۱۷ و ۱۸ بیان شده است.

یادآوری ۲ - نواحی خاص در گیر شامل سامانه عقبه ماشین حفاری تونل، نقاط بارگیری نوار نقاله، ماشین‌آلات و تجهیزات فرعی که خیلی نزدیک به کشنده قطار قرار داده شده‌اند، هستند.

۳-۱ پیش‌برنده^۱

توصیه می‌شود به دلیل دید ضعیف راننده هنگام هل دادن قطار (در مواردی که لوکوموتیو از پشت قطار را هل می‌دهد)، خطرهای اضافی برای افراد داخل تونل مورد بررسی قرار گیرد.

علاوه بر چراغ‌های لوکوموتیو (بند ۱-۴-۱-۲۳ را ببینید)، بهتر است قطارها برای اطلاع دادن به وسائل نقلیه جلویی، به چراغ‌های هشداردهنده مجهز باشند. بهتر است قطار فقط زمانی به جلو رانده شود که یا راننده دید کافی نسبت به ریل جلوی رو داشته باشد تا بتواند قطار را در میدان دید خود متوقف کند (بند ۱-۱-۲۳ را ببینید) یا قطار تحت کنترل مسئول عالیم باشد و او هم در یک موقعیت ایمن قرار داشته باشد.

توصیه می‌شود که راندن قطارها به طرف تجهیزات عقبه ماشین حفاری تونل، تحت کنترل سامانه هشداردهنده کنترل شده انجام شود و افراد در حین حرکت قطارها، از مسیر ریل‌ها خارج شود.

یادآوری - زمانی که قطار برای بارگیری هدایت می‌شود، ممکن است برای فراهم کردن دید رو به جلوی مناسب برای راننده، از دوربین‌های مدار بسته استفاده شود.

بهتر است از درون کابین راننده، دید موثری وجود داشته باشد تا از خم شدن راننده به سمت بیرون و خطر برخورد با موانع برجسته درون تونل، جلوگیری شود (بند ۴-۱-۲۳ را ببینید).

زمانی که در دو انتهای قطار، لوکوموتیو وجود دارد، بهتر است سامانه کاری به‌گونه‌ای انتخاب شود که تضمین کند قطار فقط تحت کنترل لوکوموتیو جلویی است. راننده بهتر است بعد از کنترل فاصله ایمن تمامی افراد از قطار، حرکت کند.

۴-۱-۲۳ لوکوموتیوها

۱-۴-۱-۲۳ کلیات

بهتر است هرگونه وسیله نقلیه خودپیشران به عنوان لوکوموتیو طبقه‌بندی شود. توصیه می‌شود تمامی لوکوموتیوهای جدید مطابق استاندارد بند ۶۶-۲ باشند.

یادآوری - آیین‌نامه تهیه و استفاده از تجهیزات کار (Puwer)^۱ الزام کرده است که راننده در مقابل جراحت‌های برخوردی ناشی از تماس تصادفی با اشیاء خارجی محافظت شود.

بهتر است طراحی کابین یا محفظه محافظه‌گونه‌ای باشد که راننده امکان جابجایی‌های منطقی را داشته باشد. توصیه می‌شود برای رانندگی مطمئن، دید کافی وجود داشته باشد. توصیه می‌شود در قسمتی از تونل که یک یا هر دو طرف قطار متصل به لوکوموتیو، مجاور به دیواره است، برای راننده امکان ترک لوکوموتیو وجود داشته باشد.

بهتر است بررسی روزانه عملکرد ترمزاها به‌وسیله کادر رانندگان مکمل برای آزمون ترمزاها، در فواصل زمانی مشخص و مطابق با برنامه نگهداری، براساس وظایف و خطرهای خاص پروژه، انجام شود.

زمانی که لوکوموتیو در حال کار است، بهتر است حداقل به صورت هفتگی مورد بازرسی قرار گرفته و در صورت نیاز سرویس شود. بهتر است این کار مطابق طرح سرویس کارخانه سازنده انجام شود و از سرعت کارها کاسته شود.

علاوه بر الزامات بیان شده در استاندارد بند ۲-۶۶ برای چراغ‌های لوکوموتیو، توصیه می‌شود بعد از مشخص شدن جهت حرکت، چراغ‌ها به صورت خودکار در جهت حرکت قطار دارای نور سفید بوده و در پشت لوکوموتیو رنگ قرمز ساعت کنند.

۲-۴-۱-۲۳ سوخت‌گیری^۱

بهتر است طراحی لوکوموتیو به گونه‌ای باشد که مخزن سوخت حتی‌الامکان از اجزا گرم موتور دور باشد و هم‌چنین در زیر پمپ سوخت (به منظور جلوگیری از سرریز شدن در موقع نشت سامانه لوله‌کشی) قرار بگیرد.

بهتر است مقدار سوخت ذخیره شده به حداقل مقدار ممکن برسد، طوری که برای مصرف یک روز کافی باشد. توصیه می‌شود تمامی اتصالات سوخت با کیفیت خوبی، به سامانه لوله‌کشی متصل باشند. زمانی که نشت پرفشار سوخت ممکن است بر روی سامانه داغ اگزوز پاشیده شود، بهتر است شیرهای تنظیم‌کننده^۲ نصب شود. توصیه می‌شود عملیات سوخت‌گیری حتی‌الامکان در بیرون توفل انجام شود، اما در مواردی که سوخت‌گیری در زیر زمین غیر قابل اجتناب باشد، بهتر است توجه ویژه‌ای به زهکشی موضعی و تعییه آتش خاموش‌کن در مجاورت ناحیه سوخت‌گیری معطوف شود. جوشکاری، برشکاری و هرگونه عملیات گرمaza نباید در فاصله کمتر از ۱۰ m از محل سوخت‌گیری یا در هیچ محلی در بالای آن انجام شود.

توصیه می‌شود ناحیه انجام عملیات سوخت‌گیری به گونه‌ای طراحی شود که محدود کردن و یا حذف سوخت‌های سرریزشده را تسهیل کرده و عاری از مواد زاید قابل احتراق باشد. بهتر است مخزن سوخت از موادی ساخته شود که تحت آزمون مطابق با استاندارد بند ۲-۱۹، قابل احتراق نباشد و توصیه می‌شود پارچه‌های‌های مندرس و کاغذها به سرعت از محل جمع‌آوری و خارج شوند. بهتر است تمامی مخزن‌ها محصور شده باشند. بهتر است تجهیزات سوخت‌گیری فقط توسط افراد تعیین شده، مورد استفاده قرار گرفته و حداقل یک نفر به عنوان مسئول ناحیه سوخت‌گیری و برای پایش استفاده اینم از آن، در نظر گرفته شود. یادآوری - انبارش و حمل سوخت دیزل، خطر آتش‌سوزی را زیاد می‌کند (بندهای ۱-۱۳، ۳-۱۳، ۳-۴-۱۵ و ۹-۳-۴ را ببینید).

۳-۴-۱-۲۳ لکوموتیوهای باطری‌دار

بهتر است برای شارژ اینم باطری‌ها (به منظور پراکنده کردن هیدروژن ساعت شده در حین شارژ باطری‌ها)، ناحیه دارای تهویه مناسب و نزدیک به منبع آب تمیز (برای شستن اسیدهای سرریز شده)، در نظر گرفته

1 - Fuelling

2 - Baffle

شود. اطلاعاتی در مورد حداقل الزامات برای تهويه موضعی در استاندارد «عملیات ایمن باطری سرب- اسید» ارایه شده است [۶۶].

در موقعي که، اصول طراحی اجازه انباشتگی هيدروژن درون جعبه را داده است، بهتر است درپوش آن بالا آورده شود. بهمنظور جلوگیری از هرگونه گرمایشی یا انفجار احتمالی در باتریها، توصیه می‌شود که از شارژکننده‌های مناسب برای هر باتری، استفاده شود. بهتر است شارژ کننده‌های معیوب به محض این که عیب آن‌ها ظاهر شد، توسط متخصصان برق تعمیر شوند. بهتر است اجازه سیگار کشیدن و ایجاد شعله آتش در فاصله کمتر از ۱۰ m محل شارژ داده نشود و نیز روشنایی از نوع ذاتاً ایمن باشد.

هنگامی که لکوموتیوهای باطری‌دار بدون مراقب و نگهبان رها می‌شوند، بهتر است با قطع کردن دوشاخه باتری اصلی، لکوموتیو بهطور کامل ایزوله شود، زیرا این کار از جوش آوردن^۱ و گاززدگی^۲ باتری ناشی از اتصال به زمین دوگانه بر روی لکوموتیو، جلوگیری می‌کند.

يادآوري - توصیه‌های مفید بیشتر در سند INDG139 HSE انتشارات واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست ارایه شده است.

۴-۴-۱-۲۳ لوكوموتيوهای برقی با جريان بيرونی

توصیه می‌شود هنگام استفاده از لوكوموتيوهای برقی با جريان بيرونی، اقدام‌های احتیاطی ویژه‌ای در مورد سیم‌های آویزان، ریل کنتاکت و یا میله‌های رسانای دارای ولتاژ بیشتر از ۱۱۰V، انجام شود. بهتر است این اقدام‌های احتیاطی (مثلًاً با استفاده از باتری‌ها، با قرار دادن کنداکتورها دور از دسترس یا در مسیر جدا از مسیر عادی عبور و مرور یا با نصب دائمی علایم هشداردهنده)، از افراد در برابر تماس فیزیکی آن‌ها با رساناهای محافظت کند یا این‌که یک سامانه نشت جريان زمین قابل قبول داشته باشد.

يادآوري - در موارد استثنایی، لوكوموتيوهای برقی با جريان بيرونی مورد استفاده قرار می‌گيرد.

۵-۴-۱-۲۳ اتمسفر دارای قابلیت انفجار

جایی که خطر کمتر است، توصیه می‌شود بهمنظور توقف عملیات لوكوموتیو قبل از رسیدن غلظت گازهای دارای قابلیت انفجار به مقدار پنج درصد حد پایین انفجار، از نمایشگرهایی که قابلیت تشخیص سطوح پایین‌تر گازهای دارای قابلیت انفجار را دارند، استفاده شود (بند ۱۲-۵ را ببینید).

يادآوري - استاندارد بند ۲-۶۶، الزاماتی در مورد لوكوموتيوهای مورد استفاده در اتمسفر حاوی گازهای دارای قابلیت انفجار (مانند گاز متان و هیدروکربن) ارایه می‌کند. دستورالعمل‌های بیشتر در استانداردهای بندهای ۲-۶ و ۲-۷۵ بیان شده است.

1 - Overheating

2 - Gassing

۵-۱-۲۳ گردونه‌ها یا تون‌های روی خط آهن^۱

زمانی که واگن صندوقه‌ای بالا برد می‌شود، بهتر است واگن به عنوان قطعه‌ای از تجهیزات بالابری در نظر گرفته شده و طراحی شود و مطابق آن مورد استفاده قرار گیرد. توصیه می‌شود تجهیزات بالابری به صورت دوره‌ای، مورد بازررسی و آزمون قرار گیرند. توصیه می‌شود به منظور جلوگیری از واژگون شدن واگن صندوقه‌ای در هنگام انتقال آن، اقدام‌هایی انجام شود.

بهتر است واگن صندوقه‌ای ساخته شده برای اهداف خاص و صندوقه‌های حمل مصالح را با هم ترکیب کرده تا بار مورد نظر را حفظ کنند و از لغزش و سقوط یک جعبه یا دسته‌ای از قطعات و افتادن بر مسیرهای پیاده‌رو، جلوگیری شود. بهتر است وسیله نقلیه در زمانی که بارگیری شده است، حتی بر روی ریل‌های ضعیف و با انجام حمل و نقل نامناسب، پایدار باشد.

یادآوری- معمولاً واگن‌های صندوقه‌ای انبارهای، برای حمل بار و بالابری طراحی شده‌اند.

توصیه می‌شود در صورتی که از واگن‌های ساخته شده برای نفربری استفاده می‌شود، از آن برای انتقال افراد استفاده شود. این واگن‌ها بهتر است حتی‌الامکان نزدیک به لوکوموتیو و به وسیله زنجیرهای اطمینان مازاد بر اتصالات، به آن متصل شوند. بهتر است واگن‌های نفربر دارای صندلی‌های مناسب، میله‌های کناری و محفظه‌های محافظ باشند. این‌ها بهتر است به‌گونه‌ای ساخته شوند که در هنگام حرکت یا خارج شدن از ریل، مسافران را با کمترین جراحت در داخل خود نگه دارند. توصیه می‌شود در واگن‌های نفربر، از بزرگ‌ترین چرخ‌ها و سامانه تعليق استفاده شود.

۶-۱-۲۳ بوشن‌ها و واسطه‌ها (بافرها)

توصیه می‌شود بوشن‌های حلقه‌ای شکل به‌گونه‌ای باشند که امکان پیشرانی ایمن قطار بدون نزدیک و دور شدن‌های متوالی را فراهم کند. بهتر است حلقه‌ها، پین‌های یدکی واگن صندوقه‌ای را به بیرون پرتاپ نکنند. در مواردی که به جای بوشن‌های سه حلقه‌ای عادی از نوع بوشن‌های حلقه‌ای مستحکم دارای سوراخ‌های چفت شده طویل استفاده می‌شود، برای جلوگیری از متراکم شدن نباید آن‌ها به هم جفت شوند.

توصیه می‌شود بوشن‌ها برای پذیرش بارهای ضربه‌ای در حین شروع حرکت یا در حال ترمز کردن طراحی شوند. بهتر است به ازای سایش ناشی از استفاده بلندمدت، مقدار سایش مجاز کافی در نظر گرفته شود. با استفاده از بوشن‌های حلقوی ساخته شده به منظور رعایت قوانین بالابری دنده‌ای، بهتر است امکان انتخاب طراحی‌های ایمن وجود داشته باشد.

یادآوری ۱- نوع مناسب بوشن‌هایی که باید استفاده شود به ترکیب وسایل نقلیه بستگی دارد و ممکن است از نوع اتصالات میله صلب همراه با پین باشند یا از نوع بوشن‌های حلقه‌ای شکل، که تنها در کشش عمل می‌کنند، باشند.

یادآوری ۲- تجهیزات خود اتصال خودکار در بیشتر وسایل نقلیه ریلی بزرگ نصب می‌شوند که یک سامانه ایمن اتصالی را ایجاد می‌کند و بهتر است در صورت امکان، از آن‌ها استفاده شود.

توصیه می‌شود از بوشن‌های نوع میله صلب برای وسایل نقلیه دارای فاصله زیاد از نزدیک‌ترین محور^۱، استفاده شود تا هنگام پیشرانی در مسیرهای منحنی یا ریل‌های ناهموار، از مشکلات میان‌گیری (واسطه کنندگی) اجتناب شود.

بهتر است از توصیه‌های سازندگان پیروی شود. هنگام پیشرانی با استفاده از بوشن‌های حلقوی، توصیه می‌شود واسطه‌ها یا میله‌های متصل‌کننده به گونه‌ای به وسیله نقلیه مجاور وصل شوند که ارتفاع آن‌ها یکسان بوده و فاصله آن‌ها از نزدیک‌ترین محور یکسان باشد. بهتر است بین لکوموتیو و وسایل نقلیه‌ای که فاقد ترمز هستند، از بوشن‌های ثانویه و یا زنجیرهای اطمینان استفاده شود. توصیه می‌شود برای شناسایی سایش بیش از حد، خمش و یا بیش بارگذاری، تمامی بوشن‌ها تحت بازرگانی و نگهداری دوره‌ای قرار گیرند.

یادآوری- عدم چفت‌شدنی در اثر متراکم شدن و گشتاورهای جانبی در مسیرهای منحنی، عوامل احتمالی خارج شدن از لکوموتیوها از ریل هستند.

۷-۱-۲۳ ریل^۲

توصیه می‌شود خطوط راه آهن برای جابجایی در تونل ایمن و تقویت شوند، ریل‌ها دارای مقطع مناسب بوده، بر روی سطوح هموار خوابانده شده و به وسیله بغل‌بندها یا سایر وسایل مناسب بهم متصل شوند.

یادآوری- فهرست زیر مقاطع مناسب ریل دارای تراورس با فاصله‌داری کمتر از ۹۰۰ mm را ارایه می‌کند:

الف- ۹/۹۲ kg/m (۲۰ lb/yard)- بار محوری ۱/۵ تن؛

ب- ۱۷/۳۶ kg/m (۳۵ lb/yard)- بار محوری ۳ تن؛

ج- ۲۴/۸۰ kg/m (۵۰ lb/yard)- بار محوری ۴/۵ تن.

بهتر است برای محل‌های اتصال کیپ و صاف، از پیچ‌ومهره و بغل‌بندهای با گوشه‌های پخ شده دارای چهار پیچ استفاده شود. توصیه می‌شود انتهای ریل با اره بریده شده و سوراخ‌های متناظر با بغل‌بند ایجاد شود. بنابراین توصیه می‌شود از هرگونه برشکاری و جوشکاری پرهیز شود و برش با اره و سوراخ‌کاری به روش سرد و استفاده از اتصال‌های گیره مانند، جایگزین آن‌ها شوند.

1 - Overthrow

2 - Track

یادآوری ۱- به دلیل مشخصات فلز ریل، هرگونه برشکاری و جوشکاری ریل ممکن است باعث ایجاد ترک‌های جزئی انقباضی شود که در صورت قرار گرفتن تحت تنش، این ترک‌ها گسترش یافته و در نهایت منجر به گسیختن آن خواهد شد.

یادآوری ۲- ریل‌بندی ضعیف ممکن است باعث گسترش ترک‌ها، گسیختن مفصل‌ها و آماش‌های شدید شود. در تونل‌های بدون لاینینگ کف، مسیر ریلی ممکن است تحت تأثیر فرونشست و پیچش شود. این مشکلات می‌تواند با فراهم کردن مصالح کف مناسب، که امکان ریل‌بندی ایمن، تعمیر و نگهداری مسیر ریلی را فراهم می‌کند، برطرف شود.

بهتر است یک فرد مشخص، مسئول نگهداری از مسیر ریلی باشد.

توصیه می‌شود برای جلوگیری از خارج شدن از ریل، دوراهی‌ها^۱ و تقاطع‌ها^۲ بر روی یک کف هموار قرار گیرند تا مسیر را تصحیح کرده و همراه با ریل‌های کمکی و تیغه‌های خط عوض کن مناسب، که خیلی نزدیک بسته شده‌اند، نگهداری شوند. بهتر است شعاع‌های مسیر به‌گونه‌ای باشد که امکان عبور وسایل نقلیه بزرگ بدون متراکم و بلند شدن لبه ریل را فراهم کند.

توصیه می‌شود برای نگهداری صندوقه‌ای بدون ترمز، پهلوی‌هایی در سطح تراز ایجاد شود و برای جلوگیری از جابجایی‌های تصادفی، لبه‌های گوهای^۳ تعییه شود.

۸-۱-۲۳ باربری با استفاده از وینچ

در مواردی که به علت شیب مسیر، باربری با استفاده از وینچ ضروری است، بهتر است اقدام‌های احتیاطی در مورد اتصال ایمن وینچ، کنترل سیم‌بکسل و بازرسی عملکرد ترمز وینچ انجام شود. بهتر است وسایل نقلیه و مسیرهای ریلی به تجهیزاتی مانند ترمزهای خودکار، محل‌های محافظ^۴ و دروازه‌های محافظ (مانند دروازه منچستر) مجهز باشند، تا وسایل نقلیه از کنترل خارج شده را، متوقف کنند (بند ۲۰-۳-۴-۲ را ببینید).

۲-۲۳ وسایل نقلیه چرخ‌لاستیکی

بهتر است وسایل نقلیه چرخ‌لاستیکی مطابق استاندارد بند ۶۵-۲ باشند و ماشین‌آلات حمل خاک یا وسایل نقلیه دیزلی جاده‌ای، مطابق استاندارد بند ۵۸-۲ (کلیه قسمت‌ها)، باشند.

یادآوری- ممکن است در تونل‌های بزرگ برای حمل مواد از ماشین‌آلات چرخ‌لاستیکی (که با نام وسایل نقلیه بدون مهار^۵ شناخته می‌شوند) استفاده شود.

1 - Turnouts

2 - Crossings

3 - Scotche

4 - Catch Points

5- وسیله نقلیه بدون مهار: وسایل نقلیه چرخ‌لاستیکی هستند که به هیچ مسیر ثابتی وابسته نبوده و ریل ثابتی نیز آن‌ها را محدود به حرکت در محدوده خاصی نمی‌کند. از انواع آن می‌توان کامیون‌ها و لودرهارا نام برد (Free-Steered Vehicles).

بهتر است بین وسایل نقلیه و افراد و تجهیزات یا بین دیوار تونل نسبت به وسایل نقلیه ریلی، فضای خالی مناسب و کافی وجود داشته باشد.

واژگون شدن و پیچش وسایل نقلیه ممکن است خطرهایی برای افراد پیاده ایجاد کند و بهتر است در مسیرهای با شیب زیاد، قیل از ارزیابی مسیر و امکانات وسیله نقلیه، اجازه عملیات داده نشود.

بهتر است برنامه ریزی بهره‌برداری با مشورت تامین‌کننده‌ها همراه باشد. وسایل نقلیه نباید در شیب بیشتر از ۱۲,۵ درصد استفاده شوند، مگر این‌که آن‌ها برای هدف مورد نظر، مناسب ارزیابی شده باشند.

بهتر است محل‌های بارگیری و تخلیه در سطوح هموار قرار گرفته باشد و برجستگی‌هایی برای قرار گرفتن چرخ‌ها و همچنین موانع متوقف‌کننده در محل تخلیه وجود داشته باشد.

توصیه می‌شود کلیه وسایل نقلیه در تمامی زمان‌ها، به تجهیزات زیر مجهز باشند:

الف- یک وسیله هشداردهنده شنیداری؛

ب- دو چراغ جلویی که از ۶۰ متری قابل دیدن باشند؛

ج- دو چراغ به رنگ قرمز در عقب که از ۶۰ متری قابل دیدن باشند؛

د- سامانه ترمز و در صورت امکان از نوع ترمز ایمن از خرابی باشد که راننده بتواند فوری آن را به کار اندازد؛

۵- ترمز دستی^۱ که توانایی نگهداشتن کامل وسیله نقلیه در حداکثر شیب محتمل را داشته باشد؛

و- آبپاش برای تمیز کردن شیشه جلویی (در صورتی که شیشه جلویی وجود داشته باشد).

توصیه می‌شود یک سامانه ایمن کاری در زیر زمین ایجاد شود به‌گونه‌ای که این کار تحت مسئولیت یک چند نفر از اعضای تیم مدیریتی سایت باشد. بهتر است فرآیندی شامل آموزش، علامت‌گذاری واضح و اخطار در زیرزمین انجام شود. زمانی که چندین وسیله نقلیه در حال کار باشند، بهتر است تنظیم جابجایی‌ها بر عهده افراد نظارت و سرپرستی باشد و هر کدام از آن‌ها در موقعیت خاصی مستقر شوند.

یادآوری- به آیین‌نامه مدیریت طراحی و ساخت سال ۲۰۰۷، که برای حفاظت افراد در برابر وسایل نقلیه متحرک، فرآیند جداسازی (در حد امکان) را الزام می‌کند، توجه شود.

۳-۲۳ وسایل نقلیه چرخزنگیری^۲

توصیه می‌شود برای استفاده، ساخت و کنترل وسایل نقلیه چرخزنگیری، از توصیه‌های عمومی بیان شده برای وسایل نقلیه چرخ‌لاستیکی، استفاده شود. بهتر است هنگام کنترل فضاهای دسترسی پیاده‌رو، توانایی وسایل نقلیه چرخزنگیری برای دور زدن (مثلاً قفل کردن یک چرخ به‌منظور دور زدن در یک نقطه) مد نظر

1 - Parking Brake

2 - Crawler-Tracked Vehicles

قرار داده شود، زیرا ایستادن جلوی وسایل نقلیه چرخزنگیری که در حال دور زدن هستند، ممکن است در اثر لغزش آنها به کناره‌ها، خطر برخورد یا گیر افتادن به وجود آید. توصیه می‌شود برای جلوگیری از عبور وسایل نقلیه چرخزنگیری برقی از روی کابل‌های منبع برق خودشان، اقدام‌های احتیاطی ویژه‌ای در نظر گرفته شود زیرا لبه‌های این وسایل تیز بوده و به راحتی عایق کابل‌ها را قطع می‌کند یادآوری - در جاهایی که کف زمین نرم است و همچنین در جاهای که خطر ناپایداری برای وسایل نقلیه چرخ‌لاستیکی وجود دارد، استفاده از وسایل نقلیه چرخزنگیری برای عملیات خاکبرداری مناسب است.

۴-۲۳ واگن صندوقهای چرخدار و یا بارکش‌ها در لوله‌رانی

بهتر است وینچ‌ها در فواصل زمانی مشخص شده براساس وظایف و خطرهای مخصوص پروژه، مورد بررسی قرار گیرند، تا این‌که مطمئن شد سیم‌بکسل وینچ‌ها در شرایط خوبی قرار داشته و به طرز مناسبی محافظت شده‌اند. بهتر است واگن‌های صندوقهای چرخدار به‌طور منظم بازرسی شوند، به‌دلیل این‌که سایش و از محور خارج شدن چرخ‌ها به‌طور غیرمنتظره در واگن‌های صندوقهای چرخدار باعث می‌شود آن‌ها بر یک طرف لوله سوار شده و واژگون شوند. توصیه می‌شود از ورود افراد به ناحیه‌ای که چنین واگن‌های صندوقهای چرخداری در حال جابجایی است، جلوگیری شود.

یادآوری - به‌دلیل این‌که لوله‌های مورد استفاده در عملیات لوله‌رانی، دارای سطح داخلی صافی هستند، واگن‌های صندوقهای و یا بارکش‌های مجهز به چرخ می‌توانند مستقیماً عملیات کرده و به‌وسیله وینچ قرار گرفته شده در گودال رانش^۱، در آن‌ها تردد کنند.

۵-۲۳ نقاله‌ها (تسممه‌ها)^۲

۱-۵-۲۳ نوار نقاله‌ها^۳

نوار نقاله‌ها ممکن است برای کاهش ترافیک تردد و همچنین کاهش اندازه قطرار مورد استفاده قرار گیرند. نقاله‌ها در فضای محدودی مانند تونل، ممکن است برای کارگران در حال کار در امتداد آن، خطرهایی را ایجاد کند مگر این‌که به‌صورت ایمن جانمایی و محافظت شده باشد.

هنگام استفاده از نوارنقاله‌ها، بهتر است به‌منظور حداقل کردن خطر برای افراد نزدیک به آن، کلیه زنجیرها، چرخ‌دهنده‌ها، نقاله‌ها و قرقره‌های در حال کار به‌طور کامل محافظت شوند. به ویژه توصیه می‌شود از گیر افتادن دست بین نوار نقاله و استوانه جداً محافظت شود.

1 - Trust Pit

2 - Conveyors

3 - Belt Conveyors

یادآوری- گیر افتادن دست لای نوار نقاله، در محل‌های بارگیری و تخلیه و نیز در جاهای که تجهیزات کششی نصب شده است، اتفاق می‌افتد. در استاندارد «تجهیزات باربری مکانیکی پیوسته» [۶۴] الزامات و در مراجع [۷۰] و [۷۱] دستورالعمل-هایی در مورد استانداردهای اینمنی قابل کاربرد، ارایه شده است.

در صورتی که فرقه‌های زیر نقاله در دسترس افراد عبوری از کنار نقاله هستند، بهتر است آن‌ها محافظت شوند. در صورت نیاز توصیه می‌شود در دو طرف نوار نقاله و در طول آن، طناب‌های بیرونی کشیده شود. بهتر است این‌ها به‌طور منظم بازرسی شده و تحت شرایط تعمیرپذیری نگه‌داری شوند. توصیه می‌شود که کلیدهای توقف اضطراری، در فواصل نزدیک به هم، به‌صورت قابل دسترس و در طول نوار نقاله ایجاد شود. توصیه می‌شود شروع به کار نوار نقاله فقط از یک موقعیت منفرد و یا به‌طور معمول از موقعیت کاربرهای اصلی امکان‌پذیر باشد. اما این موضوع می‌تواند تحت امر کاربر نقاله نیز باشد. توصیه می‌شود قبل از شروع به کار یک هشدار شنیداری داده شده و پس از هشدار اجازه داده شود مدت زمانی اینم بگذرد.

یادآوری- استاندارد بند ۲-۷۱، الزاماتی برای هشدارهای شنیداری ارایه می‌کند.

بهتر است به‌طور ویژه در تمامی موقعیت‌های راندن، انتقال و قسمت‌های انتهایی، تجهیزات ضدآتش‌سوزی تعییه شود، تهويه مناسبی برای موتورهای الکتریکی انجام شود و موتورها در برابر نشت محافظت شوند. در صورت امکان بهتر است از نوارهای نقاله ضدآتش استفاده شود و در نزدیکی نوار نقاله آتش خاموش‌کن‌هایی قرار داده شوند.

بهتر است نوار نقاله دارای کناره‌های بلندتر باشد تا از سرریز خاک جلوگیری شود. توصیه می‌شود در مورد سرریز ناشی از محل کار نامرتب و همچنین در مورد اشیا بزرگ بارگیری شده روی نوار نقاله، که ممکن است با افراد برخورد کرده و موجب ایجاد جراحت برای افراد و همچنین آسیب به تجهیزات شود، اقدام‌های مراقبتی انجام شود. توصیه می‌شود به‌وسیله تجهیزات قیفمانند، از عبور مواد درشت دانه بر روی نوار جلوگیری شود.

بهتر است در نوار نقاله‌های شیبدار به غیر از آنهایی که دارای طول‌های کوتاه هستند، برای جلوگیری از برگشت به عقب نوار در زمان قطع برق، از تجهیزات ضد برگشت به عقب^۱ استفاده شود.

بهتر است اجازه نفربری با استفاده از نوار نقاله داده نشود. شایان ذکر است در برخی ماشین‌های حفاری تونل، دسترسی به کله حفار توسط نوار نقاله ممکن می‌شود و توصیه می‌شود این کار مطابق با دستورالعمل‌های سازندگان دستگاه انجام شود. زمانی که در اثر حمل و جابجایی خاک‌های خشک، مشکل ایجاد گردوغبار وجود دارد، بهتر است از تجهیزات کنترل گردوغبار استفاده شود (بند ۱۶ را بینید).

استفاده ایمن از نوار نقاله بستگی زیادی به بازرسی (حداقل یک بار در هر دوره کاری) و نگهداری دارد و بهتر است قسمت‌های سایش یافته و پاره شده (در کمترین زمان عملی ممکن) تعویض شوند. بهتر است بارگیری زیاد روی نوارها و غلطک‌ها کنترل شود، زیرا احتمالاً این موضوع باعث سرریز مصالح و بیش‌بارگذاری روی موتور می‌شود. عملیات نگهداری مانند گریس‌کاری یاتاقان‌ها، تنظیم موقعیت نوار، تمیز کردن نوار و غیره نباید در زمانی که نوار نقاله در حال حرکت است، انجام شود. بهتر است در چنین موقعی از کلیدهای دارای قفل بیرونی استفاده شود.

۲-۵-۲۳ توزین کننده‌های پیوسته نوار نقاله^۱

زمانی که مواد حفاری شده به‌وسیله نوار نقاله به خارج از تونل منتقل می‌شود، یک یا چند قسمت توزین‌کننده پیوسته نوار نقاله، بر روی نوار نقاله درون ماشین حفاری تونل و نوار نقاله داخل تونل، به عنوان بخشی از سامانه اصلاح حجم مصالح حفاری نصب شود (بند ۷-۱۷ را ببینید).
توصیه می‌شود دقت توزین‌کننده‌های پیوسته نوار نقاله $5 \pm 0,5$ درصد وزن بار باشد.
یادآوری - بهتر است تجهیزات توزین پیوسته نوار نقاله با دقت رده $0,5$ مطابق استاندارد OIML R 50-1 باشند [۴۶].

۳-۵-۲۳ نقاله‌های قائم

بهتر است زمانی که مواد حفاری شده به بیرون تونل منتقل می‌شود، ملاحظاتی برای استفاده از نقاله‌های قائم برای برابری مواد حفاری شده در چاه در نظر گرفته شود، در نتیجه عملیات برابری مورد نیاز کاهش خواهد یافت. نقاله‌های قائم باید به گونه‌ای طراحی و ساخته شوند که اجازه سقوط مواد در حال انتقال، به داخل چاه را ندهند.

۶-۲۳ پمپاژ دوغاب

۱-۶-۲۳ کلیات

پمپاژ دوغاب برای اهداف عمومی تونل‌سازی شامل استفاده از سیال مخلوط با مواد حفاری شده به‌وسیله سپر تونل‌سازی است که از خارج تونل پمپاژ می‌شود (بند ۶-۴-۲ را ببینید).
توصیه می‌شود سامانه دوغایی حداقل شامل موارد زیر باشد:

- اختلاط که اجزا دوغاب را مخلوط می‌کند؛

- تجهیزات تزریق برای تزریق دوغاب به داخل ماشین تونل‌سازی؛

- پمپ تخلیه برای پمپاژ دوغاب از ماشین؛

- سامانه لوله‌کشی برای هدایت دوغاب به محل تخلیه؛
- ماشین‌آلات جدایش برای جداسازی مواد باطله از دوغاب.

توصیه می‌شود تمام برق تامین شده برای ماشین‌آلات مخلوط کننده و دوغاب‌ریزی، مطابق با الزامات ایمنی معمول برای تجهیزات مکانیکی کنترل از راه دور باشد (بند ۲۵ را ببینید).
یادآوری- به آیین‌نامه کنترل مواد خطرناک برای سلامت سال ۲۰۰۲ توجه شود [۳۴].

۲-۶-۲۳ سامانه اختلاط

بهتر است توصیه‌های مربوط به انبارش و جابجایی مواد رعایت شوند. بهتر است افراد در تماس با دوغاب، به‌طور مناسبی آموزش ببینند. توصیه می‌شود ایستگاه شستشوی چشم در نزدیکی ماشین‌آلات اختلاط وجود داشته باشد و امکاناتی برای شستشو و تعویض لباس‌ها فراهم شود.
یادآوری- دوغاب، مخلوطی از آب، بنتونیت، پلیمرهای با زنجیره‌های بلند و احتمالاً سایر مواد افزودنی است.

بهتر است سامانه اختلاط به‌گونه‌ای طراحی شود تا از تماس دستی به قسمت‌های متحرک آن جلوگیری شود. در صورت وجود احتمال ریزش، بهتر است مخزن‌ها سرپوش داشته باشند. به‌منظور جلوگیری از آلودگی محیط کار، بهتر است هرگونه سرریزی سریعاً پاک شود.
یادآوری- توصیه می‌شود هنگام جابجایی بنتونیت و سایر مواد شیمیایی افزودنی سوزش‌آور، به آیین‌نامه کنترل مواد خطرناک برای سلامت سال ۲۰۰۲ توجه شود [۳۴].

۳-۶-۲۳ سامانه پمپاژ دوغاب

در مواردی که فشار بالا وجود دارد، بهتر است برای هدایت یک عملیات کاری ایمن، علایم هشداردهنده‌ای برای نشان دادن اطلاعات موثر درباره فشارها، وجود داشته باشد.
بهتر است در مورد فشار مجاز کاری، با عرضه کننده تجهیزات مشورت شود و این‌که در چه فشارهایی نیاز به توجه ویژه وجود دارد، از او سوال شود.
یادآوری- ممکن است در سامانه پمپاژ دوغاب، فشار پمپاژ بالا بوده و جابجایی‌هایی کوچکی در اتصال بین سامانه لوله‌کشی و پمپ ایجاد شود.

توصیه می‌شود زمانی که پمپ‌ها در یک فضای بسته یا در جایی که از ورود افراد به آن ممانعت می‌شود، قرار دارند، برق تامین شده به‌طرز مناسبی عایق شود. بهتر است علایمی برای مشخص کردن مناطق عایق شده نصب شود. توصیه می‌شود قبل از آغاز هرگونه کار نگهداری، سامانه «مجوز شروع به کار» همراه با فرآیند

عایق کاری مناسب و فرآیند از کار انداختن ماشین‌آلات اجرا شود. در مواردی که برای نصب لوله یا سگمنت‌ها، باید کابل برق پمپ به طور متناوب قطع و وصل شود، توصیه می‌شود برای جلوگیری از آلوده شدن اتصالات به سیالات موجود در تونل و یا چاههای دسترسی، کابل‌ها محافظت شوند. بهتر است سامانه واضحی وجود داشته باشد که قطع شدن و وصل شدن دوباره خطوط را نشان دهد تا به طور تصادفی، تماسی با کابل متصل به برق صورت نگیرد.

توصیه می‌شود بر روی کلیدهای برق و متصل‌کننده‌ها، یک سامانه پایش استفاده شود تا در موقع قطعی تصادفی برق، سامانه را عایق کند.

۴-۶-۲۳ شبکه لوله‌گذاری^۱

بهتر است سامانه لوله‌کشی قادر به تحمل فشارها و سایش ناشی از حمل مواد باطله موجود در دوغاب باشد. زمانی که سامانه لوله‌کشی به دیواره تونل و چاه متصل می‌شود، بهتر است بسته‌های حمال به اندازه کافی مستحکم باشند که بتوانند دو برابر بارگذاری پیش‌بینی شده برای آن‌ها، که ممکن است در اثر مشکلات عدم همترازی بسته‌ها بر روی آن‌ها اعمال شود، را تحمل کنند.

بهتر است لنگرگاه‌ها به گونه‌ای طراحی شوند که در مقابل بارهای موجی ناشی از باز و بسته شدن دریچه‌ها (مخصوصاً در زانوبی‌ها)، مقاوم باشند. جایی که از لوله‌های تلسکوپی در مجاورت ماشین‌های حفاری تونل استفاده شده است، بهتر است طراحی به گونه‌ای باشد که اجازه نیروی‌های فعل و انفعالی در برابر بارهای موجی را بدهد.

توصیه می‌شود هنگام استفاده از شلنگ‌های انعطاف‌پذیر، این‌ها به گونه‌ای طراحی شوند که در برابر فشار مقاوم باشند و در موقعیتی قرار داده شوند که هنگام ترکیدن، جراثتی ایجاد نکنند. بهتر است تمامی سامانه لوله‌کشی دوغاب، برای اثبات مناسب بودن آن، مورد بازرسی قرار گیرد و توجه ویژه‌ای معطوف اتصال لوله‌ها شود.

توصیه می‌شود تمام اتصالات دریچه‌ها و تاسیسات لوله‌کشی چندگانه مانند سامانه‌های فرعی (کمکی)، محافظهای طراحی شده مناسبی داشته باشند. بهتر است هنگام گسترش و طویل‌تر کردن سامانه لوله‌کشی یا باز بودن لوله‌ها به منظور اجرای عملیات لوله‌رانی، برای کاهش سریز محتوای لوله، یک سامانه آماده به کار وجود داشته باشد زیرا این موضوع می‌تواند باعث ایجاد تصادفات ناشی از لغزش و همچنین آلوده و کثیف شدن تجهیزات شود. توصیه می‌شود در فواصل منظم در سامانه لوله‌کشی در حال پیشروی، دریچه‌هایی نصب شود. بهتر است قبل از باز شدن مفصل‌ها، پرسنل تمام فشار در خط لوله را آزاد کنند.

یادآوری- توصیه می‌شود در لوله‌های بزرگ، در برخی موارد امکان وارد کردن متوقف‌کننده‌های متورم‌شونده در درون سوراخ‌های لوله، وجود داشته باشد.

۵-۶-۲۳ فرآیندهای نفوذ

در ماشین‌های حفاری تونل دارای امکانات ورود عادی افراد به محفظه پر از دوغاب، بهتر است فرآیند مستند شده گسترده‌ای برای اطمینان از ایمنی افراد وجود داشته باشد. بهتر است برای حفظ پایداری سینه‌کار، هوای فشرده به کار گرفته شود (بند ۱۱ را ببینید). توصیه می‌شود موارد زیر به عنوان اقدام‌های احتیاطی اضافی اجرا شوند:

الف- یک کیک صافی^۱ (لایه‌ای از مصالح دوغاب) توسط هوای فشرده بر روی سینه‌کار ایجاد و نگهداشته شود.

ب- هنگام کار ماشین حفاری تونل، بهتر است یک نظارت پیوسته برای یافتن هرگونه تخریب در سینه‌کار وجود داشته باشد.

ج- توصیه می‌شود کمترین فشار هوای لازم برای پایداری سینه‌کار اعمال شود.

د- در شرایط نامناسب، بهتر است افراد از محفظه تخلیه شده و محفظه دوغاب از دوغاب خالی شود.

۵- توصیه می‌شود برای ایمنی افراد، تجهیزات کنترلی و متوقف‌کننده ریزش تعбیه شود.

و- توصیه می‌شود برای بیرون بردن افراد زخمی جلوی ماشین از طریق دریچه‌های هوابند، یک روش مناسب وجود داشته باشد.

بهتر است به صورت همزمان در سایر بخش‌های سامانه، عملیات تعمیر و نگهداری انجام نشود. برای این‌که عملیات تونل‌سازی بتواند دوباره سریعاً آغاز شود، بهتر است ماشین‌آلات دوغاب ریزی، سامانه پمپاژ و ماشین حفاری تونل در حال آماده به کار باشند به‌گونه‌ای که بلا فاصله قادر به حفاری یک چرخه عملیاتی باشند.

۶-۶-۲۳ فرآیندهای عملیاتی عمومی

توصیه می‌شود به منظور تشخیص وقوع خطر در اثر فشار بالا در جلوی ماشین، فرآیندی وجود داشته باشد تا بر اساس آن، اقدام‌های احتیاطی مناسب در رابطه با فشار دوغاب در سینه‌کار انجام شود.

توصیه می‌شود برای جلوگیری از افت دوغاب و خاک به داخل محفظه رانش، سامانه عایق بندی چاه ایجاد شود.

یادآوری ۱- ممکن است فشارهای بالا در جلوی ماشین حفاری تونل در طی حفاری، ناشی از فشارهای بالا در پشت سپر دستگاه باشد. این موضوع ممکن است بر نصب سگمنت‌ها اثر گذاشته و خطرهایی برای افراد حامل ایجاد کند.

یادآوری ۲- در زمان شروع به کار سپر از داخل چاه، فشار بالای دوغاب ممکن است باعث تخلیه به داخل چاه شود.

یادآوری ۳- ممکن است یک سامانه مشابه برای اتفاق پذیرش، مورد نیاز باشد.

۷-۶-۲۳ جداسازی دوغاب

جداسازی دوغاب می‌تواند به وسیله ماشین‌آلات جداکننده، مخزن‌های تهنشینی و یا تالاب‌ها انجام شود. توصیه می‌شود ماشین‌آلات جداسازی و مخازن تهنشینی، از لحاظ پی و حفاظت ایمن سازی شوند. در مواردی که خطر سقوط به داخل مخزن وجود دارد، بهتر است مخزن به وسیله شبکه فلزی^۱ پوشانده شود.

در مواردی که ماشین‌آلات جداکننده بکار گرفته می‌شود، توصیه می‌شود علاوه بر محافظت از امکانات مخزن، کلیه تجهیزات متحرک نیز محافظت شوند و برای این‌که کاربر ذی‌صلاح قادر به خاموش کردن تجهیزات باشد، بهتر است کلید ترنر (فیوز کلی) نصب شود. هنگام جابجایی سیالات، ممکن است به‌طور سریع اتفاق‌های اشتباہی رخ دهد، بهتر است از قبل اقدام‌های اضطراری در نظر گرفته شود.

توصیه می‌شود کلیه عملیات نگهداری و تنظیمات، براساس توصیه‌های سازندگان انجام شود. بهتر است زمانی که از تالاب استفاده می‌شود، تالاب حصارکشی شود و علایم نشان‌دهنده ماهیت و طبیعت محتوای تالاب، نصب شود. توصیه می‌شود خروج دوغاب از سایت با شناخت صحیح ماهیت محتوی آن دوغاب مدیریت شود. بهتر است دوغاب به درون مخزن‌های مناسب پمپاژ شده و از سایت خارج شوند.

۸-۶-۲۳ تجهیزات حفاظت فردی

بهتر است در هر سایتی که از دوغاب استفاده می‌شود، حداقل امکاناتی برای شستشوی چشم و مایعی برای تمیز کردن پوست و چشم‌ها، در صورت آلوده شدن به دوغاب، وجود داشته باشد. بهتر است در جایی که نیاز است، تجهیزات شامل ماسک، عینک ایمنی، دستکش و لباس کار مخصوص مهیا باشد.

۷-۲۳ حمل و دفع ضایعات

موقعیت هر منطقه حمل و دفع در سایت، بایستی به دقت انتخاب شود و الزامات مهندسی برای جانمایی و ساخت محل دفع مانند روش ساخت، زهکشی و متراکم‌سازی در نظر گرفته شود. توصیه می‌شود که این محل در جایی نباشد که بار اضافی بر تونل حفاری شده اعمال کند، مگر این‌که سنگ و یا خاک قادر به تحمل بارهای اضافی باشند.

توصیه می‌شود در نواحی دفع، در صورت لزوم با استفاده از بالاست و مصالح زیرسازی، یک مسیر دارای سطح قابل قبول و با نگهداری خوب ایجاد شود تا اصطکاک و پایداری وسایل نقلیه باربری و دفع، فراهم شود.

توصیه می‌شود در صورتی که عملیات دفع با هدایت مواد به پایین شیب انجام می‌شود، برای جلوگیری از سقوط وسایل نقلیه باربری موانع مستحکمی ساخته شود.

بهتر است هنگام دفع و انتشار خاک و مواد حفاری شده، برای حداقل کردن مخاطرات سلامت و زیستمحیطی، معیارهای کنترل گردوغبار رعایت شوند (بند ۱۶ را ببینید).

از آنجا که خطر احتمالی پیش رو در عملیات انتشار دوغاب پمپاژ شده، وقوع سیلاب است، توصیه می‌شود در هر چاه بالاتر از تراز تالاب دوغاب ممکن، حفاظهایی در برابر سیلاب ساخته شود.

یادآوری ۱- دفع مواد استخراج شده به خارج از سایت، تحت کنترل مقررات دفع زباله ملی و محلی است.

یادآوری ۲- برای دفع به خارج از سایت، به آیین‌نامه ترافیک جاده‌ای توجه شود. توصیه می‌شود قبل از وارد شدن وسایل نقلیه به جاده‌های عمومی، تجهیزاتی برای تمیز کردن لاستیک و غیره ایجاد شود. الزامات قانونی برای این موضوع، عموماً تحت کنترل قوانین محلی است.

۲۴ ماشین‌آلات تونل

۱-۲۴ کلیات

قبل از مبادرت به انجام هر کاری بر روی ماشین‌آلات برقی، بهتر است منبع برق قطع شود (بند ۲۵ را ببینید)، مگر در جایی که کار کردن قسمت‌هایی از ماشین‌آلات، برای وضعیت تعمیر و نگهداری انتخاب شده، ضروری باشد. بهتر است این موضوع به طور یکسان برای تمام ماشین‌آلات الکتریکی، مکانیکی و پنوماتیکی اجرا شود و با انجام یادداشت‌هایی در توصیه‌نامه‌های ماشین‌آلات در مورد گام‌هایی که باید انجام دهنده، دستورالعمل‌ها و آموزش‌های لازم داده شود.

یادآوری- زمانی که مخاطره‌ای رخ می‌دهد، احتمالاً شدت نتیجه آن به دلیل فضای محدود تونل، زیاد خواهد شد. جنبه‌های ایمنی مربوط به تونل در بندۀای ۲-۲۴، ۳-۲۴، ۴-۲۴، ۵-۲۴، ۶-۲۴ و ۷-۲۴ و ۸-۲۴ ارایه شده است.

۲-۲۴ ماشین‌آلات پنوماتیکی یا بادی

بهتر است به شلنگ‌ها و اتصالات انعطاف‌پذیر توجه ویژه‌ای شود، زیرا اگر آن‌ها به علت اثر شلاقی شدید ناشی از فرار هوا از کار بیفتند، خطرناک خواهند بود. توصیه می‌شود این وسایل محافظت شده و در مسیری قرار داده شوند که در مقابل خسارت‌های ناشی از ضربه و بریده شدن محافظت شوند.

یادآوری- ماشین‌آلات پنوماتیکی شامل ماشین‌آلات خلا هستند.

توصیه می‌شود شلنگ‌ها و اتصالات به طور منظم از نظر سایش و خسارت بازرگانی شده و در صورتی که برای استفاده مناسب نباشند، حذف شوند.

یادآوری- تعمیرات سایت در صورتی می‌تواند انجام شود که، از بستهای پیچ‌دار مناسب استفاده شود.

شایان ذکر است که به ازای یک قطر داخلی مشخص برای شلنگ، چندین شلنگ با قطر خارجی متفاوت وجود دارد که برای هر کدام بایستی بست متفاوت به کار برد. توصیه می‌شود در صورتی که قطر داخلی شلنگ ۱۹mm یا بیشتر است، حلقه‌های سیمی شلاقی محصور کننده در دو انتهای آن نصب شود.

بهتر است صدای ماشین‌آلات دارای مکانیزم حفاری باشد، تجهیزات دستی ضربه‌ای، موتورهای بادی، پمپ‌های پیستونی، قطع شود. توصیه می‌شود زمانی که صدای ماشین‌آلات بادی به گونه‌ای است که مانع ارتباطات موثر بوده و برای سلامت مضر است، اقدام‌های احتیاطی در نظر گرفته شود.

بهتر است صدا خفه‌کن‌ها از نوعی باشند که مانع شدیدی در برابر جریان هوا ایجاد نمی‌کنند. توصیه می‌شود هوای خارج شده از اگزوز، به نقطه‌ای دور از کاربر هدایت شود. زمانی که هوای عرضه شده دارای رطوبت زیاد است، توصیه می‌شود برای کاهش رطوبت در طول خط لوله تغذیه‌کننده هوای ماشین‌آلات، سرندهای آب کار گذاشته شود. بهتر است ماشین‌آلات بالابری بادی مطابق الزامات استاندارد بند ۷۱-۲ باشند.

۳-۴۴ ماشین‌آلات هیدروليکي

توصیه می‌شود تا آنجا که امکان دارد، اقدام‌های احتیاطی زیر در نظر گرفته شود:

الف- بهتر است در سامانه از سیالات مقاوم در برابر آتش یا با قابلیت اشتعال پذیری کم استفاده شود.

ب- بهتر است برای نگهداری دمای روغن زیر ۷۰°C، سامانه‌های خنک‌کننده روغن نصب شود. بهتر است کلیدهای حرارتی، به طور خودکار مدارهای دارای حرارت بالا را خاموش کنند.

ج- توصیه می‌شود سامانه‌های آتش خاموش کن ثابت به گونه‌ای نصب شوند که سامانه اصلی مانند مخزن روغن، پمپ، موتور و غیره را تحت پوشش داشته باشد.

د- مسیردهی لوله‌ها باید به گونه‌ای باشد که احتمال پاشش روغن روی اشیا گرم، به حداقل برسد.

توصیه می‌شود به منظور جلوگیری از نشت، سامانه‌های هیدروليکي به طور منظم و در فواصل زمانی مشخص شده بر اساس وظایف خاص پروژه، تعمیر و نگهداری شوند. بهتر است قسمت‌های آسیب دیده تعویض شوند. توصیه می‌شود شلنگ‌ها از نظر فشار ارزیابی شده باشند، تا فشارهای شدید گذرا را تحمل کنند. بهتر است نصاب سگمنت مطابق با استاندارد بند ۷۱-۲ باشد.

توصیه می‌شود در طی راندن سپر، برای اجتناب از اعمال فشار اضافی بر سیلندرهای سینه‌کار و سیلندرهای میخ‌کوبی، آن‌ها قادر به آزاد کردن خودکار فشار هیدروليکي باشند.

یادآوری- بهتر است این توصیه‌ها برای تمامی ماشین‌آلات حتی ماشین‌آلات موقتی به کار گرفته شود.

۴-۲۴ موتورهای احتراق داخلی

۱-۴-۲۴ موتورهای دیزلی

توصیه می‌شود بهمنظور برآورده کردن محدودیت‌های شدید در مورد غلظت اکسیدهای نیتروژن در اتمسفر، از دستورالعمل‌های بیان شده در سند «قرارگیری در معرض مونواکسید کربن در محیط تونل: بهترین دستورالعمل عملی» انتشارات انجمن تونل تبعیت شود [۵۵].

بهتر است موتورها با توان بیش از $37kW$ ، مطابق با استاندارد بند ۲-۲ باشند. توصیه می‌شود در این موتورها از انتشار گازهای اگزو، که باعث توده‌های بیشتری از ذرات در اتمسفر می‌شود، جلوگیری شود و اطمینان حاصل شود که موتور به‌گونه‌ای طراحی شده که خطر آتش‌سوزی را حداقل می‌کند.

بهتر است هوای تهویه کننده، گازهای سمی را تا سطح ایمن قابل قبولی رقیق کند و همچنین میزان دود و طعم آن‌ها را تا حد قابل قبولی کاهش دهد (بند ۱۵ را ببینید).

برای اجتناب از سطوح خطرناک غلظت موضعی آلودگی‌ها، بهتر است بر روی موتورهایی که با استانداردهای یورو^۳ یا بالاتر ساخته نشده‌اند، اصطلاحاتی روی خروجی اگزو،ها تعییه شود. بهتر است توصیه‌ها در مورد تطابق صحیح هر وسیله اصلاح کننده روی موتور، از عرضه کننده آن پرسیده شود.

یادآوری ۱- ممکن است این اصلاحات به صورت رقیق کردن دود و یا تبدیل تحریک کننده‌ها باشد.

یادآوری ۲- فیلترهای ذرات دیزلی می‌تواند استفاده شود، اما در چرخه‌های کاری لوکوموتیوها ممکن است دچار خرابی شوند.

یادآوری ۳- موتورهایی که مطابق یورو^۳ و بالاتر هستند، قبل اصلاحات خروجی اگزو را رعایت کرده‌اند.

بهتر است موتورهای استفاده شده در زیرزمین از نوع «احتراق پاک^۱» باشند تا حداقل انتشار ذرات و خروجی غیرقابل دید را تولید کنند. به علاوه، توصیه می‌شود برای انبارش و جابجایی سوخت، اقدام‌های مناسبی انجام شود (بندهای ۱-۱۳ و ۲-۲۳ و ۴-۱-۳ را ببینید). توصیه می‌شود در صورت احتمال حضور گازهای دارای قابلیت انفجار، از تجهیزات مقاوم در برابر انفجار استفاده شود.

۲-۴-۲۴ موتورهای بنزینی^۲

توصیه می‌شود در زیر زمین از کاربرد موتورهای بنزینی اجتناب شود، مگر در موقع اضطراری که راه جایگزینی برای آن وجود ندارد. در این موارد بهتر است اقدام‌های زیر اجرا شود:

الف- توصیه می‌شود تعداد افراد در زیر زمین به حداقل مقدار مورد نیاز، محدود شود؛

ب- تهویه برای رقیق کردن گازها، کافی باشد؛

1 - Clean Burn

2 - Petrol Engines

ج- زمان عملیات به حداقل رسانده شود؛

د- توصیه می‌شود بلا فاصله بعد از تمام عملیات اضطراری، تجهیزات به سطح زمین آورده شوند؛

ه- برای اطمینان از عدم بالا رفتن غلظت مونواکسید کربن از حد مجاز، عملیات پایش گاز انجام شود.

۳-۴-۲۴ جانمایی موتورها

توصیه می‌شود موتورهای احتراق داخلی، روی سطح زمین در جایی قرار داده شوند که دود اگزوز آن‌ها نتواند وارد سامانه تهویه یا ورودی هوای فشرده شود یا از طریق چاه یا هر ورودی دیگری وارد تونل شود.

بهتر است حتی الامکان ماشین‌آلات ایستا مورد استفاده در زیر زمین، از نوع برقی باشند. اگر دارای موتور دیزلی هستند، بهتر است در قسمت سطح پایین جریان هوا، قرار گیرند.

۵-۲۴ ماشین‌آلات بتن‌ریزی

۱-۵-۲۴ پمپ‌های بتن

بهتر است عملیات پمپاژ مطابق با استاندارد بند ۵۲-۲ انجام شود. توصیه می‌شود لوله‌های انتقال بتن بر اساس دستورالعمل‌های سازنده پمپ، نگهداری و نصب شوند.

یادآوری- این گونه لوله‌ها در اثر ضربات ایجاد شده در پمپ ممکن است جابجا شده و نیروهای عکس العمل بر زانوها وارد شود.

علاوه براین، توصیه می‌شود کل خط لوله مخصوصاً در چاه، که ممکن است سنگین باشد، محافظت شود. ممکن است در اثر سایش در زانوها و کاهنده‌ها، در اثر وارد آمدن فشار، گسیختگی کامل رخ دهد و توصیه می‌شود این نواحی به طور منظم بررسی شوند. بهتر است در صورت امکان، خطوط پمپاژ به وسیله پمپاژ آب، تمیز شود. هنگام تمیز کردن پمپ بتن به وسیله هوای فشرده (خارج کردن مواد با استفاده از فشار هوا^۱، ممکن است توب تمیزکننده با سرعت بسیار زیادی خارج شود که باستی به وسیله یک سبد در انتهای مسیر آن را گیر انداخت.

توصیه می‌شود قبل از خارج کردن مواد با استفاده از فشار هوا، برای جلوگیری از ضربات شلاقی شلنگ انتقال، آن را به جایی محکم کرد. بهتر است سامانه‌های لوله‌کشی که در ماشین‌آلات بتن‌ریزی استفاده می‌شود، با عملکرد پمپ سازگار بوده و شرایط آن مورد بازرگانی قرار داده شود. بهتر است به لوله‌ها و اتصالات معیوب، که ممکن است در حال استفاده گسیخته شوند، توجه ویژه‌ای شود. بهتر است از قبل برای چگونگی برخورد با خطوط لوله مسدود شده، فرآیندهایی در نظر گرفته شود، زیرا این موضوع مستلزم باز کردن لوله‌ها

(که ممکن است تحت فشار باشند) و سپس خارج کردن مواد به صورت قسمت به قسمت، با استفاده از فشار هوا است.

۲-۵-۲۴ ماشین‌آلات شاتکریت

بهتر است ماشین‌آلات اختلاط به گونه‌ای استقرار یابند که قرارگیری در معرض مواد خطرناک ناشی از عملیات آن‌ها، به حداقل برسد. توصیه می‌شود ماشین‌آلات اختلاط، پمپ و خطوط انتقال در شرایط خوبی نگهداری شوند تا انتشار گردوغبار در هوای تونل، کاهش یابد.

۶-۲۴ پمپ‌های زهکشی آب

بهتر است برای ایمنی افراد در مکان‌های داری احتمال سیلاب، قابل اعتماد بودن سامانه زهکشی و همچنین مناسب بودن پمپ‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

بهتر است برای افزایش پمپ‌ها و سامانه لوله‌کشی، همراه با سامانه منبع برق پشتیبان مستقل و برای دسترسی مناسب به پمپ‌ها به منظور سرویس کردن یا تغییر رویه آن‌ها، ملاحظاتی در نظر گرفته شود. توصیه می‌شود پمپ‌های غرقابی (شناور) آویزان شوند، برای این‌که بتوان به منظور تمیز کردن گل‌ولای در مکنده پمپ، آن‌ها را به طور متناوب بالا آورد. توصیه می‌شود به منظور شناسایی سایش و انسداد، عملکرد پمپ به طور منظم مورد بازرگاری قرار گیرد.

یادآوری - سامانه لوله‌کشی در تونل‌ها، در زمان کار به طور فزاینده مستعد گرفتگی گل‌ولای است. می‌توان برای امکان پذیر کردن تمیزکاری لوله‌های مسدود شده، از خط پمپاژ ثانویه استفاده کرد.

۷-۲۴ متدهای حفاری و شمع‌ریزی

۱-۷-۲۴ کلیات

توصیه می‌شود کلیه متدهای حفاری و شمع‌ریزی که در عملیات‌های مرتبط با ساخت تونل استفاده می‌شوند، به ترتیب مطابق با استاندارد بند ۶۲-۲ و استاندارد «تجهیزات شمع‌ریزی- الزامات ایمنی» [۸۵] باشند.

یادآوری - تجهیزات حفاری معمول در تونل‌ها شامل موارد زیر هستند:

- دستگاه حفار چندبازویی (جامبو) برای حفاری چاههای آتشباری و یا نصب پیچ‌سنگ؛
- حفار نصب شده بر روی ماشین حفاری تونل برای اهداف اکتشافی و نصب پیچ‌سنگ؛
- سکوهای حفاری ژئوتکنیکی (ماشین‌های Pt2) که در تونل به کار گرفته می‌شود؛
- دکل حفاری نصب شده بر روی حفارهای ۳۶۰ درجه‌ای؛
- حفاری‌های دستی برای حفاری چالهای آتشباری و پیچ‌سنگ؛
- متدهای میخ‌کوبی/نصب پیچ‌سنگ سینه‌کار.

۲-۷-۲۴ عملیات

توصیه می‌شود عملیات متنهای حفاری و شمع‌ریزی و تجهیزات فرعی آن‌ها، مطابق با عملیات کاری ایمن منتشر شده در استناد زیر انجام شود:

- آیین‌کار حفاری ایمن [۵۶]؛

- یادداشت‌های راهنمای برای حفاظت افراد در برابر قسمت‌های دورانی و مواد ریزشی و بیرون

آمده در فرآیند حفاری [۵۷]؛

- دستورالعمل‌های آیین‌نامه تهیه و استفاده از تجهیزات کاری (آیین‌نامه ۱۱ و ۱۲) در مورد

حفظ و تمیز کردن متنهای مارپیچی در عملیات شمع‌ریزی [۵۸]؛

- دستورالعمل برای بازرسی ایمن حفاری خاکریزها و مناطق آلوده [۵۹].

توصیه می‌شود متنهای حفاری و شمع‌ریزی مطابق با توصیه‌های ارایه شده در دستورالعمل‌های سازندگان آن‌ها، نگهداری شوند.

۳-۷-۲۴ توصیه‌های ویژه در مورد ابزارهای طراحی

توصیه می‌شود که متنه و تجهیزات درون چاه انتخاب شده برای عملیات خاص، برای کاربرد مدد نظر مناسب باشند. بهتر است در مورد شرایط سایت، شرایط عملیاتی و شرایط محیط اطراف، ملاحظاتی در نظر گرفته شود. در برخی عملیات حفاری، نیاز است به نواحی اطراف ساقه حفاری چرخشی^۱ دسترسی وجود داشته باشد، که در این صورت توصیه می‌شود حفاظت یا تجهیزات محافظی به اطراف سامانه حفاری متصل شود تا از دسترسی افراد در حال کار نزدیک به ساقه حفاری چرخشی، به نواحی خطرناک آن جلوگیری شود.

توصیه می‌شود قدرت ماشین با شرایط حفاری مورد انتظار مطابقت داشته باشد تا از بیش‌بارگذاری روی ماشین اجتناب شود.

بهتر است متنهای حفاری به‌گونه‌ای استقرار یابند که پایدار باشند و یک سکوی حفاری ایمن همراه با فضای کاری کافی برای کاربر، فراهم شود.

باید به کلیه محدودیت‌های دمایی که ابزار برای آن طراحی شده‌اند، توجه شود.

توصیه می‌شود یکی از معیارهای انتخاب تجهیزات حفار، حداقل سروصدا و لرزش باشد.

۱- ساقه حفاری چرخشی: اصطلاحی که در حفاری چرخشی به مجموعه گمانه لوله حفاری، طوفه‌های حفاری، سرمته حفاری و محفظه مغزه‌گیری (در صورت استفاده) اطلاق می‌شود که کل مجموعه در سطح زمین متصل شده و می‌چرخد (Rotating Drill String).

۸-۲۴ تجهیزات روان‌ملات‌ریزی

توصیه می‌شود مخلوط‌کننده‌های روان‌ملات دارای پاروهای دورانی، به‌گونه‌ای طراحی شوند که بخش‌های خطرناک آن، محافظت شده باشند. توصیه می‌شود که در صورت برداشته شدن حفاظها، منبع برق به‌طور خودکار قطع شود.

بهتر است پمپ‌های روان‌ملات مورد استفاده برای انتقال روان‌ملات حجمی یا تزریق در محل کاربرد، با روش کاری مطابقت و سازگاری داشته باشند.

یادآوری - فشار احتمالی برخی از پمپ‌های پیستونی بسیار بالا است (۱۰۰ بار)، در حالی که پمپ‌های دیافراگمی بادی فشارهای پایین‌تری ایجاد می‌کنند (۶ بار).

توصیه می‌شود فشارها پایش شوند و تمامی شلنگ‌ها، اتصالات لوله‌ها و نازل‌های تزریق (تفنگ‌های روان‌ملات‌ریزی) با حداکثر نرخ فشار پمپ سازگار باشند و برای تشخیص خرابی و سایش، به‌طور منظم بازرسی شوند. توصیه می‌شود در مورد نشت روان‌ملات‌های فشار بالا دقیق شود زیرا ممکن است باعث جراحت‌های شدید و خسارت به ماشین‌آلات درون تونل شود. در مواردی که فاصله انتقال زیاد است، بهتر است ابزارهای ارتباطی مناسبی بین منبع و محل تحویل روان‌ملات ایجاد شود.

توصیه می‌شود تمامی تجهیزات روان‌ملات‌ریزی به‌طور منظم بازرسی و نگهداری شوند و هرگونه روان‌ملات سفت شده درون آن‌ها حذف شود. بهتر است به شلنگ تغذیه‌کننده هوا و شلنگ انتقال روان‌ملات، حلقه‌های مهاری سیمی شلاقی وصل شود.

یادآوری - خطرهای احتمالی ناشی از تجهیزات روان‌ملات به شرح زیر است:

- گسیختگی شلنگ تغذیه‌کننده روان‌ملات در اثر آسیب، نگهداری ناکافی یا اتصالات نامناسب یا سفت شدن روان‌ملات. بنابراین به نگهداری و تمیزکاری در حد استانداردهای بالای نیاز است؛
- انفجار در محل تزریق، در جایی که اتصالات پیچی و یا سایر تجهیزات نگهدارنده فشار به کار برده شده است؛
- برگشت رو به عقب جریان پس از تزریق. ممکن است برای نگه داشتن روان‌ملات برگشتی تا زمان تزریق دوباره آن، یک دریچه توقف نیاز باشد؛
- آسیب دیدن ناشی از افزایش فشار بر لاینینگ تونل یا تاسیسات سطحی تونل.

۲۵ سامانه الکتریکی

۱-۲۵ برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل سامانه الکتریکی

به‌طور کلی چالش‌های محیط‌زیستی مربوط به کارهای ساخت‌وساز و نیاز به کاربرد این سامانه‌های الکتریکی مستلزم این است که تاسیسات الکتریکی به‌طور مناسبی برنامه‌ریزی، مدیریت و کنترل شوند. بهتر است این

موضوع به طور ویژه در عملیات تولید سازی، جایی که شرایط محیط‌زیستی ممکن است خیلی سخت باشد یا جایی که توزیع قدرت الکتریکی و لتاژ بالا^۱ به طور متناوب باید استفاده شود، مورد بررسی قرار گیرد.

یادآوری - در خصوص تعیین پرسنل عملیات الکتریکی، به الزامات آیین‌نامه الکتریسیته در کار (۱۹۸۹) توجه شود [۴۷] که کلیه افراد برای انجام وظایف‌شان بدون ایجاد خطر برای خود و دیگران و در ارتباط با دستیابی به اهداف مد نظر مانند هدف‌گذاری اصلی، دارای صلاحیت باشند (بند ۶-۵-۷ را نیز ببینید). این موضوع کلیه مراحل فرآیند برنامه‌ریزی، مدیریت، عملیات و نگهداری را شامل می‌شود.

شایان ذکر است که افرادی که صلاحیت کار با سامانه‌های ولتاز پایین^۲ را دارا هستند، بدون داشتن آگاهی‌های لازم اضافی، آموزش و تجربه، صلاحیت کار با سامانه‌های ولتاز بالا را ندارند.

بهتر است یک سامانه مجوز شروع به کار، همراه با ارایه گواهی‌نامه‌های مجاز صادر شده برای افراد دارای صلاحیت کار با تجهیزات الکتریکی، در محل مستقر شود که به طور واضح گستره تجهیزات الکتریکی که اشخاص صلاحیت‌دار مجاز به کار کردن با آن‌ها هستند و نیز گستره وظایف این اشخاص در آن تعریف شده باشد.

بهتر است به هیچ فردی که صلاحیت و اجازه کار با هر نوع سامانه و تجهیزات را ندارد، اجازه کار کردن با آن سامانه‌ها یا تجهیزات داده نشود.

بهتر است یک سامانه ایمن کاری، حداقل موارد زیر را اداره کند:

- مجوز شروع به کار؛
- تایید رسمی آزمون؛
- برنامه‌ریزی سویچینگ؛
- محدودیت‌های دسترسی.

به طور ذاتی، خطرهای مربوط به سامانه‌های ولتاز بالا نسبت به سامانه‌های ولتاز پایین بزرگ‌تر هستند و بنابراین بهتر است مدیریت و کنترل آن‌ها با قیود بیشتر و نظام‌مندتر انجام شود. سامانه «مجوز شروع به کار»، یک فرآیند مهم کنترلی است که بهتر است برای حذف یا کنترل و حداقل کردن خطرها، همراه با فرآیندهای عملیاتی بر روی سامانه‌های ولتاز بالا مورد استفاده قرار گیرد. در طی فاز برنامه‌ریزی و قبل از شروع به کار در سایت، بهتر است یک مسئول ایمنی تجهیزات الکتریکی^۳ برای پروژه تعیین شود.

یادآوری - مسئول ایمنی تجهیزات الکتریکی کسی است که باید اطمینان حاصل کند که ایمنی و استانداردهای مناسب برای پروژه (مثلًاً سامانه ایمن الکتریکی در کار) رعایت شده است.

1 - High-Voltage (HV)

2 - Low-Voltage (LV)

3 - Electrical Duty Holder

به منظور استقرار و نگهداری سامانه ایمن الکتریکی، توصیه می شود فرآیندهایی برای اداره کردن اهداف زیر تنظیم و اجرا شود.

- قوانین ایمنی تجهیزات الکتریکی؛
- ارایه گواهی های صلاحیت کار؛
- سامانه «مجوز شروع به کار»؛
- آموزش همراه با فنون نجات؛
- آزمون، نگهداری و بازرگانی، همراه با مستندسازی مناسب؛
- برقراری ارتباط با شرکت های الکتریکی منطقه ای مناسب؛
- آماده سازی ترسیم ها و نقشه های سامانه؛
- به روز کردن یادداشت ها و ثبت ها؛
- رسیدگی به اورژانس.

یادآوری - دستورالعمل های بیشتر در مورد جنبه های کار ایمن با سامانه های الکتریکی در سند HSG85 انتشارات واحد سلامت، ایمنی و محیط زیست یافت می شود [۴۹] که نمونه هایی از فرم های «مجوز شروع به کار» را ارایه کرده است.

توصیه می شود تاسیسات الکتریکی سایت مطابق با استاندارد بند ۲ ۴۹-۲ باشند. بهتر است کلیه کارها تا جریان متناوب ۷۰۰۰، مطابق با استاندارد بند ۲ ۴۹-۲ با توجه ویژه به بند ۷ ۴-۷ انجام شوند.

یادآوری ۱ - موسسه مهندسین برق (IEE)^۱ یک سری نکات راهنمای ارایه کرده است که حاوی نظرات مفصلی برای تطابق با استاندارد بند ۲ ۴۹-۲ است.

یادآوری ۲ - استانداردهای بند های ۲ ۴۸-۲ و ۴۹-۲ برای کارهای سطحی شامل دفاتر سایت و ماشین آلات و تجهیزات ساخت، نیز قابل کاربرد هستند.

یادآوری ۳ - هنگام طراحی و نصب شبکه توزیع تولید سازی، جایی که سایر استانداردها و شرایط اعمال می شود (مانند آیین نامه اتمسفر انفجاری دارای مواد خطرناک) [۳۰]، چالش های ویژه ای اتفاق می افتد.

یادآوری ۴ - استاندارد بند ۲ ۴۸-۲ دستورالعمل ها و توصیه های بیشتری در مورد ارتباط ویژه تاسیسات الکتریکی در محل های ساخت و ساز ارایه می دهد.

۲-۲۵ انشعاب منبع تامین شبکه

توجه داشته باشد که ایمنی افراد و کارها به خصوص نسبت به کارهای زیر، به پیوستگی و تداوم تامین برق وابسته است:

الف- روشنایی؛

ب- پمپاژ؛

ج- تجهیزات پایش اتمسفر و تهویه؛

د- کارهای هوای فشرده؛

ه- علامت دادن و ارتباطات؛

و- سامانه‌های هشدار و توقف کار.

توصیه می‌شود اهمیت هر یک از این موارد و مدت زمانی که می‌توانند قطع جریان برق را تحمل کنند، تعیین شود. این موضوع به نوع تونل‌های مخصوص و روش‌های ساخت آن بستگی دارد.

توصیه می‌شود در برنامه‌ریزی جریان تغذیه اصلی برق، این موارد به دقت مورد بررسی قرار گرفته و با کاربر توزیع شبکه در مورد آن‌ها بحث شود.

بهتر است یک برق اضطراری با انشعاب شبکه یا ژنراتور مستقل، فراهم شود. توصیه می‌شود کلیدهای اتصال شبکه و مدارها به گونه‌ای برنامه‌ریزی شوند که هنگام قطع یا خرابی مدارها، مدارهای اضطراری قطع نشوند. در بعضی موارد بحرانی اینمی، بهتر است برای برقرار نگهداشت نیروی برق در کلیه اوقات، دو مجموعه از تاسیسات خدمات اضطراری فراهم شود.

بهتر است محافظ الکتریکی به گونه‌ای باشد که حتی‌الامکان در هنگام وقوع خرابی‌ها، فقط مدار معیوب قطع شود. هم‌چنین توصیه می‌شود با عایق‌کاری کلیه مدارها، اینمی آن‌ها فراهم شود که می‌تواند شامل محافظت مناسب ابزار سویچینگ باشد، به گونه‌ای که قابل بسطدادن باشند و بتوان نگهداری و تعمیر تجهیزات الکتریکی خراب را با ایجاد حداقل قطعی در سایر مدارها، انجام داد.

۳-۲۵ تاسیسات سایت

۱-۳-۲۵ کلیات

توصیه می‌شود تاسیسات محل‌های ساخت‌وساز برای توزیع الکتریسیته در محل سایت و ساختمان، مطابق با استاندارد بند ۲-۴۸ و برای واحدهای توزیع مطابق، با استاندارد بند ۲-۲۷ باشد.

شایان ذکر است که در تاسیسات تونل‌سازی ممکن است به دلایل زیر، به حفاظها و محل‌های اینمی نیاز باشد:

الف- سامانه‌های ولتاژ بالا به طور متناوب به توزیع برق اقتصادی نیاز دارند؛

ب- فضای تونل محدود است؛ الزام این است که تاسیسات الکتریکی باید تا حد امکان جمع‌وجور باشند تا دسترسی مناسب به آن‌ها فراهم شود و وجود اتفاقی برای نصب، عملیات و نگهداری الزامی است؛

- ج- شرایط خیس و رطوبت بالای هوا محيط، که ممکن است به طور متناسب با آن مواجه شد؛
- د- خطرهای دود و مه که در خطرهای آتش‌سوزی شدید است؛
- ه- احتمال وجود اتمسفرهای دارای قابلیت انفجار؛
- و- کابل‌های تامین برق برای سینه‌کار که به دلیل پیشروی سینه‌کار باید به طور مداوم افزایش طول داده شوند؛
- ز- وجود ریسک بالای وارد آمدن آسیب‌های مکانیکی به تجهیزات؛
- ح- امکان مواجهه با اتمسفرهای غنی از اکسیژن.

۲-۳-۲۵ ولتاژ

استاندارد بند ۲-۷۸ را ببینید.

۱-۲-۳-۲۵ ولتاژ بالا

از آن جا که ضرورتاً تونل‌سازی نسبت به سایر قسمت‌های صنعت ساخت‌وساز، از حجم بیشتری از تجهیزات توزیع فشار بالا استفاده می‌کند، توصیه می‌شود ریسک بیشتر ناشی از این موضوع، با کنترل شدید کارهای نصب، عملیات و نگهداری سامانه‌های ولتاژ بالا توسط اشخاص دارای صلاحیت کار با این ولتاژ، مدیریت شود (بند ۱-۲۵ را ببینید).

در حالی که بهتر است ولتاژها برای سامانه مورد بحث تا حد امکان عملیاتی پایین نگهداشته شوند، ولتاژ اسمی سامانه‌های ولتاژ بالا، احتمالاً باید $11kV$ یا بیشتر، 50 Hz سه‌فاز باشند.

یادآوری- ممکن است از تجهیزات ولتاژ بالا، مانند تجهیزات با جریات متناسب بالای $7000V$ ، برای انتقال اقتصادی برق به ایستگاه ترانسفورماتور^۱ یا تجهیزات الکتریکی خیلی فشار بالا استفاده شود.

۲-۲-۳-۲۵ ولتاژ پایین

بهتر است ولتاژهای اسمی توصیه شده برای سامانه‌های ولتاژ پایین، مقدار $V = 550V$ یا $400V$ ، 50 Hz سه‌فاز ($V = 550V$ به طور گسترده برای ماشین‌آلات معدن‌کاری استفاده می‌شود) باشند. توصیه می‌شود از برق $V = 230V$ تک‌فاز استفاده نشود، مگر این‌که برای تغذیه تجهیزات ثابت از طریق کابل‌های محافظت شده استفاده شود.

یادآوری ۱- به طور کلی برای تامین برق اکثر ماشین‌آلات الکتریکی تونل، از تجهیزات ولتاژ پایین مانند تجهیزات با جریان متناسب بین $700V$ تا $5000V$ استفاده می‌شود.

یادآوری ۲- ممکن است در تونل‌های بلند، سامانه‌های ولتاژ پایین تا $700V$ مورد نیاز باشد.

۱- به دستگاه تبدیل‌کننده برق ضعیف به برق قوی اطلاق می‌شود (Transformer)

۳-۲-۳-۲۵ ولتاژ پایین کاهش یافته

توصیه می‌شود از نسخه تک‌فاز استفاده شود به خاطر این‌که نسخه تک‌فاز، ولتاژ ورودی به زمین را به ۵۵V محدود می‌کند در حالی که در حالت سه‌فاز، ولتاژ ورودی به زمین $63/57$ V است. بهتر است در هر قطب خروجی تجهیزات، محافظ متناسب با شرایط اوضاع نصب شود.

یادآوری - تجهیزات ولتاژ پایین کاهش یافته، مانند تجهیزات با جریات متناوب 110V ، 50Hz ، برای روشنایی یا وسائل سیار دستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این وسائل از اتصال به زمین میانی (CTE)^۱، ترانسفورماتور تک‌فاز یا سه‌فاز منشعب شده‌اند.

جایی که سامانه روشنایی یا وسائل در شرایط مرطوب، محصور یا رساناً مورد استفاده قرار می‌گیرند (مثلًاً درون یک لوله فلزی)، توصیه می‌شود ضرورتًاً یک سامانه با ولتاژ بسیار پایین در نظر گرفته شود (بند ۴-۲-۳-۲۵ را ببینید).

یادآوری ۱ - سامانه‌های ولتاژ پایین کاهش یافته، به خصوص هنگامی که برای محافظت در برابر نشت زمین به دستگاه‌های پسماند جریان تجهیز شده‌اند، تقریباً در اکثر شرایط خط‌رانک (در صورت نگه‌داری مناسب) ایمن هستند.

یادآوری ۲ - وسائلی که با باتری کار می‌کنند، جایگزینی امن برای استفاده در محیط‌های ناسازگار هستند.

۴-۲-۳-۲۵ ولتاژ بسیار پایین

تجهیزات با ولتاژ بسیار پایین مانند تجهیزات با حداقل ولتاژ 50V (جریان مستقیم یا متناوب)، بین کنداکتورها یا بین کنداکتور و زمین، برای موارد زیر استفاده می‌شوند:

- وسائل سیار و وسائل روشنایی در محل‌های مرطوب و محصور شده. در این شرایط برق خروجی به

25V محدود می‌شود و از یک ترانسفورماتور متصل به سامانه، اتصال به زمین میانی گرفته می‌شود؛

- مدارهای کنترلی برای ماشین‌آلات الکتریکی. این وسائل برای مدارهای کنترل باید از یک ترانسفورماتور تک‌فاز منشعب شود که یک قطب آن به زمین اتصال داده شده و قطب دیگر آن به ابزار محافظ مانند یک فیوز مجاز مناسب متصل شده باشد.

توصیه می‌شود برای ایجاد مدارهای کنترل، از ترانسفورماتور متصل به سامانه اتصال به زمین میانی استفاده نشود، زیرا ممکن است هنگام وقوع خرابی اتصال به زمین در مدارهای کنترل، منجر به وقوع عیوب‌های فنی خط‌رانک در ماشین‌آلات شود.

۳-۳-۲۵ درجه‌بندی خرابی‌ها

توصیه می‌شود تجهیزات الکتریکی مطابق با سطح خرابی مدار انتخاب شوند و در کلیه موارد قادر باشند حداقل درجه خرابی را به مدت سه ثانیه تحمل کنند.

بهتر است به طور ایده‌آل سطوح خرابی^۱ واقعی، با استفاده از ترانسفورماتورهای امپدانس بالا^۲ و مقاومت‌های سامانه اتصال زمین خنثی به انضمام محافظهای پرسرعت، کاهش داده شوند.
یادآوری - به طور معمول سطوح خرابی اسمی زیر برای تجهیزات صنعتی است:

۱۱kV	-	۲۵۰MVA
۶/۶kV	-	۱۵۰MVA
۳/۳kV	-	۵۰MVA
۱/۱kV	-	۵۰MVA
۴۰۰V	-	۳۰MVA

۴-۳-۲۵ سامانه اتصال به زمین

۱-۴-۳-۲۵ کلیات

بهتر است کلیه تاسیسات و تجهیزات الکتریکی به زمین اتصال داده شوند و به منظور کاهش احتمال خطرهای ولتاژ بالا، نوار پیچی شوند و به سرعت هر خرابی توسط محافظ مدار نصب شده تشخیص داده شود.
یادآوری - توصیه‌های بیشتر در مورد اتصال به زمین را در استانداردهای بندهای ۱-۲ و ۴۹-۲ ببینید.

توصیه می‌شود برای درجه‌بندی و تنظیم وسایل محافظ الکتریکی، به توصیه‌های طراحان و سازندگان و انجام عملیات صنعتی صحیح، توجه کافی شود. بهتر است سطوح واقعی خرابی به عنوان یک اساس برای اتصال به زمین، محافظت مدار و تفرق مدار به حساب آورده شوند.

یادآوری - در استاندارد بند ۴۹-۲، بند ۶۰، الزامات اتصال به زمین و محافظت الکتریکی ارایه شده است. هر چند این الزامات بیشتر مربوط به شرایط تجاری هستند تا این‌که مربوط به واحدهای صنعتی باشند.

۲-۴-۳-۲۵ اتصال به زمین سامانه

در صورتی که اتصال خنثی به زمین، با استفاده از یک وسیله محدود‌کننده انجام شده است، توصیه می‌شود به طور پیوسته، با استفاده از هشدارها و توابع شناسایی مناسب، سالم بودن وسیله محدود‌کننده پایش شود. در غیر این‌صورت از کار افتادن وسیله محدود‌کننده می‌تواند موجب نادیده گرفتن مدام شرایط نایمن شود.
یادآوری - در هر دو سامانه‌های ولتاژ بالا و ولتاژ پایین، ممکن است اتصال خنثی در منبع تامین برق یا به صورت صلب یا با استفاده از یک وسیله محدود‌کننده مناسب، که می‌تواند برای محدود کردن جریان اتصال به زمین تصادفی نصب شود، متصل شده باشد.

1 - Fault Levels
2 - High-Impedance

۳-۴-۳-۲۵ کنترل کننده‌های محافظه مدار

بهتر است نقاط اتصال به زمین اضافی در نظر گرفته شود، بهخصوص برای توزیع ولتاژ بالا به ولتاژ پایین درون تونل، جایی که اتصال به زمین چندگانه محافظه (PME)^۱ یا اتصال به زمین نوع (TNCS) مفید است. به علاوه توصیه می‌شود هر زمانی که یک کابل گسترش داده شده و طویل‌تر یا تعویض می‌شود، برای اطمینان از این‌که مجزاسازی مناسبی برقرار شود، مقاومت در برابر خرابی اتصال به زمین مورد بررسی قرار گیرد.

یادآوری- این موضوع برای استفاده کابل‌های محافظه شده برق به عنوان کنداکتورهای محافظه مدار، یک فن عادی است. در تونل‌های طولانی‌تر ممکن است برای محدود کردن مسیر مقاومت کلی زمین نیاز باشد کنداکتورهای مجزای اتصال به زمین اضافی با کابل تکرشته‌ای مسی نصب شود، بنابراین بالا رفتن ولتاژ، که ممکن است در شرایط خرابی سامانه اتصال به زمین اتفاق افتد، در یک سطح ایمن محدود می‌شود.

۴-۴-۳-۲۵ برق‌گیر و محافظه در برابر الکتریسیته ساکن

برای اجتناب از خطرهای لمس ولتاژهای بالارونده در نتیجه اصابت به برق‌گیر، توصیه می‌شود کارهای فرعی فلزی مانند ریل‌ها و خطوط لوله، نوارپیچی شود و این‌که سامانه الکتریکی اتصال به زمین در دهانه ورودی تونل استفاده شود و در فواصل منظم در امتداد تونل، کنداکتور محافظه مدار به کار گرفته شوند.

یادآوری- برای دستورالعمل بیشتر در مورد محافظه در برابر برق‌گیر و الکتریسیته ساکن به ترتیب استانداردهای بندهای ۶۵-۲ و ۷۹-۲ را ببینید.

۵-۴-۳-۲۵ محافظه مدارها در برابر شوک و اضافه جریان^۲ الکتریکی

توصیه می‌شود محافظه اصلی در برابر شوک و اضافه جریان الکتریکی، با ترکیب موارد زیر مطابق با استانداردهای بندهای ۱-۲، ۴۸-۲ و ۴۹-۲، فراهم شود:

- ولتاژ مناسب؛
- محصور کردن مناسب و کافی قسمتهای دارای جریان؛
- قطع کننده‌ها و فیوزهایی که به‌طور صحیح مدار را قطع می‌کنند؛
- اتصال به زمین دارای طراحی مناسب؛
- تجهیزات قادر به تحمل شرایط سخت.

1 - Protective Multiple Earthing (PME)

2 - به جریان زیاد به علت خطای الکتریکی یا اتصال کوتاه اطلاق می‌شود (Overcurrent)

توصیه می‌شود محافظت اضافی در برابر شوک الکتریکی با استفاده از وسایل پسماند جریان^۱ (RCDs) فراهم شود (بند ۳-۲۵ را ببینید).

۵-۳-۲۵ وسایل پسماند جریان (RCDs)

۱-۵-۳-۲۵ کلیات

وسایل پسماند جریان معمولاً برای محافظت تکمیلی در برابر مدارهای نشت جریان استفاده می‌شوند. این وسایل در مقایسه با قطع‌کننده‌ها و فیوزها، می‌توانند سطوح بسیار پایین‌تری از جریان اتصال به زمین تصادفی را شناسایی کرده و به سرعت خرابی‌ها را ایزوله کنند.

به هر حال با توجه به این‌که این‌که این وسایل نه به‌شکل ایمن از خرابی بوده و نه به‌طور ویژه قوی هستند، بهتر است از این وسایل فقط برای تکمیل و کمک به سایر وسایل محافظ، استفاده شود و به تنها‌یی مورد استفاده قرار نگیرند.

به‌منظور تضمین عملیات قابل اطمینان، بهتر است این وسایل در محفظه‌های درزبندی شده مطابق با توصیه سازند آن‌ها قرار داده شوند و به‌طور منظم از دکمه فشاری (شستی) «test» استفاده شود؛ توصیه می‌شود آزمون منظم وسایل پسماند جریان، به‌عنوان بخشی از طرح برنامه‌ریزی شده نگهداری، انجام شود و نتایج این آزمون‌ها یادداشت و نگهداری شوند.

بهتر است وسایل پسماند جریان با استانداردهای به رسمیت شناخته شده، از قبیل ۸۰-۲ ۱۲-۲ یا ۱۵۰ MA، در استانداردهای مرتبط، مطابقت داشته باشند.

۲-۵-۳-۲۵ حساسیت و مجازاسازی وسایل پسماند جریان

برای محافظت افراد در برابر شوک الکتریکی تماس مستقیم، بهتر است پسماند جریان عملیاتی مجاز وسیله پسماند جریان ۳۰ MA و حداکثر زمان عملیات آن در مواجهه با جریان اتصال به زمین تصادفی ۱۵۰ MA، در حدود ۴۰ ms باشد.

توصیه می‌شود این سطح از محافظت در مدارهای کم‌توان تغذیه‌کننده وسایل سیار، روشنایی دستی و ماشین آلات متحرک استفاده شود.

در تابلوهای اصلی شبکه کلید تغذیه‌کننده نقاط ثابت از طریق کابل‌های ثابت، بهتر است وسایل پسماند جریان دارای تاخیرهای زمانی قابل تنظیم تا ۲۸ بر روی مدار ورودی و/یا هر یک از مدارهای خروجی نصب

۱- دستگاه سوئیچینگ مکانیکی یا مجموعه‌ای از دستگاه‌ها است که در شرایط مشخصی سبب بازنگه‌داشتن اتصالات در موقعی می‌شوند که پسماند جریان به مقدار معینی رسیده باشد (Residual Current Devices).

شود، اما توصیه می‌شود کلیه مدارهای نهایی تغذیه‌کننده ماشین‌آلات ثابت، ماشین‌آلات متحرک، تجهیزات سیار و کلیه دوشاخه‌ها و پریزها^۱، با وسایل پسماند جریان بدون تاخیر زمانی عمدی، محافظت شوند.

هر جا عملی است توصیه می‌شود از وسایل با تنظیمات حساس‌تر استفاده شود، اما توصیه می‌شود خطرهای اضافی که ممکن است با لغش نادرست به وجود آید، به حساب آورده شوند.

یادآوری ۱- وسایل پسماند جریان می‌توانند یک محافظ اضافی برای محافظت در برابر موارد زیر ایجاد کنند:

- در برابر شوک الکتریکی جریان مستقیم در اثر لمس افراد با کنداکتورهای دارای جریان؛

- در برابر تماس غیرمستقیم ناشی از لمس قسمت‌های فلزی مانند پوشش تجهیزات الکتریکی توسط افراد، که در اثر خرابی عایق‌بندی یک مولفه الکتریکی درون تجهیزات، جریان‌دار شده است.

یادآوری ۲- وسایل پسماند جریان مورد استفاده برای محافظت در برابر تماس غیرمستقیم، می‌توانند حساسیت کمتری داشته باشند و برای فراهم آوردن مجازاسازی رضایت‌بخش، تاخیرهای زمانی کمتری داشته باشند. در هر دو مدار ولتاژ بالا و ولتاژ پایین، برای اطمینان از داشتن حداقل قطعی تغذیه مدارهای سالم در حادث خرابی الکتریکی، عملیات مجازاسازی مهم است. هنگامی که وسایل پسماند جریان نصب شده‌اند، با انتخاب زمان‌های عملیاتی مناسب برای وسایل، می‌توان مجازاسازی سری (زنجرهای) بر روی اتصال به زمین تصادفی را بهبود بخشید. این موضوع مستلزم فراهم کردن وسایل پسماند جریان با تاخیرهای زمانی قابل تنظیم در بعضی مدارها است.

یادآوری ۳- در عملیات ایمن عادی، باید حساسیت‌های ارایه شده در جدول ۹ رعایت شوند.

۶-۳-۲۵ عایق‌بندی در برای آب و گرد و خاک

هنگام انتخاب مواد مورد استفاده برای ساخت شبکه کلیدهای اتصال، دستگاه کنترل، موتورها و سایر تجهیزات، بهتر است شرایط محیط کاری مورد انتظار را در نظر داشت. بهخصوص در شرایط وجود نمک، بهتر است از آلیاژهای آلومینیومی استفاده نشود مگر این که آلیاژهای آلومینیوم به‌طور مناسبی در برابر خوردگی محافظت شده باشند. توصیه می‌شود در وضعیت‌هایی که تضمین شده‌الزاماً از محفظه‌های دارای پوشش ضد انفجار استفاده شود، از آلیاژهای آلومینیومی استفاده نشود.

ورود آب و گردوغبار به درون محفظه‌های تجهیزات الکتریکی می‌تواند عملیات و ایمنی تجهیزات را خراب کند، بنابراین به‌منظور محافظت تجهیزات و جلوگیری از هرگونه اثرات مخرب گردوغبار، بهتر است محفظه‌ها محصور و عایق‌بندی شوند.

یادآوری- سامانه طبقه‌بندی درجات حفاظت، در استاندارد بند ۱۰-۲ ارایه شده است.

برای تجهیزات الکتریکی که باید در تونل‌های دارای اتمسفر غیرانفجاری ولی دارای گردوغبار و نمناک مانند عملیات کار در هوای فشرده مورد استفاده قرار گیرند، در صورت امکان بهتر است حفاظت تجهیزات مطابق با

استاندارد بند ۲-۱۰، حداقل کد IP65 فراهم آورده شود. مشخص شده است که در شرایط خاصی این موضوع غیرعملی است (مثلاً برای ترانسفورماتورهای که با هوا خنک می‌شوند)، در چنین شرایطی بهتر است برای محافظت تجهیزات در این شرایط، اقدام‌های جایگزین بیرونی انجام شود.

جدول ۹- محافظت نشت زمین

ولتاژ مدار	محافظ نشت زمین	ویژگی تاخیر زمانی
بالا (جريان متناوب ۷۰۰V و بیشتر)	ابزار محافظ با جریان مجاز حداقل ۵A یا ۱۵٪ بخشی از طراحی شبکه در نظر گرفته شده و یک برآورد درجه‌بندی وسایل محافظ ولتاژ بالا، توسط یک مهندس برق انجام شود.	بهتر است تاخیر زمانی حدود ۰.۴S به عنوان
پایین (جريان متناوب ۵۰V تا ۱۰۰V)	وسایل پسماند جریان با حداقل جریان مجاز: ۷۵۰MA در مدار ورودی ۳۰۰MA برای مدارهای خروجی برای تجهیزات ثابت ۱۰۰MA برای تجهیزات متحرک ۱۰۰MA برای روشنایی ثابت ۳۰MA برای دوشاخه‌های برق ۱۶A	بله بله خیر خیر خیر
ولتاژ کاهش یافته (جريان متناوب ۱۱۰V)	۳۰MA برای روشنایی سیار و وسایل دستی	خیر

۷-۳-۲۵ اتمسفرهای دارای پتانسیل اشتعال‌پذیری و انفجار

بهتر است طبقه‌بندی نواحی خطرناک، برای گازهای دارای قابلیت انفجار، مطابق با استاندارد بند ۲-۷۵ و برای محیط‌های دارای گردوغبار قابل اشتعال، مطابق با استاندارد بند ۲-۷۶ انجام شود.

یادآوری ۱ - هنگام عملیات در اتمسفرهای انفجاری، بهتر است برای جلوگیری از خطر، از تجهیزات محافظت شده در برابر انفجار استفاده شود.

یادآوری ۲ - الزامات عمومی برای تجهیزات محافظت شده در برابر انفجار در استاندارد بند ۲-۷۴ ارایه شده است.

سه دسته‌بندی که توصیه می‌شود در تونل‌سازی استفاده شوند، شامل موارد زیر هستند:

- تجهیزات «ذاتاً ایمن^۱» به گونه‌ای طراحی شده‌اند که انرژی جرقه احتراق را که موجب اشتعال گازهای دارای قابلیت انفجار می‌شود، محصور می‌کند. این دسته برای تجهیزات کم‌توان مانند تلفن‌ها، علایم، ارتباطات، اندازه‌گیری‌ها، کنترل و پایش استفاده می‌شوند و می‌توانند در منطقه

محیط‌های صفر، که اتمسفرهای انفجاری به‌طور پیوسته و بلندمدت (بیش‌تر از ۱۰۰۰ ساعت در

سال) وجود دارد، مورد استفاده قرار گیرند.

یادآوری - برای جزیيات بیش‌تر استاندارد بند ۲-۷۷ را ببینید.

- تجهیزات «ایمنی افزایش یافته^۱» به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که از وقوع هرگونه احتراق جلوگیری می‌کنند. در این تجهیزات از هیچ مولفه جرقه‌زای استفاده نمی‌شود یا در سایر مولفه‌ها نیز خطر ناشی از خرابی که ممکن است ایجاد جرقه نماید، کاهش داده شده است. بهتر است این دسته برای تجهیزات کم‌توان که در دسته‌بندی تجهیزات ذاتاً ایمن در بالا فهرست شد، استفاده شوند و هم‌چنین می‌توانند در منطقه محیط‌های یک، که اتمسفرهای انفجاری احتمالاً به مدت ۱۰ ساعت تا ۱۰۰۰ ساعت در سال اتفاق می‌افتد، مورد استفاده قرار گیرند.

یادآوری - برای جزیيات بیش‌تر استاندارد بند ۲-۷۶ را ببینید.

- تجهیزات «ضدآتش^۲» به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که قسمت‌های الکتریکی آن‌ها درون محفظه‌های ضدآتش قرار داده شده‌اند که از تولید شعله یا گاز داغ، برای شروع اشتعال اتمسفر بیرونی، جلوگیری می‌کند. توصیه می‌شود این دسته برای تجهیزات با توان خیلی بالا، که باید به صورت ذاتاً ایمن یا به صورت ایمنی افزایش یافته باشند، استفاده شوند و هم‌چنین می‌توانند در منطقه محیط‌های یک، مورد استفاده قرار گیرند.

یادآوری - برای جزیيات بیش‌تر استاندارد بند ۲-۷۵ را ببینید.

جایی که احتمال مواجهه با سطوح خطرناکی از گاز متان یا سایر گازهای دارای قابلیت اشتعال و انفجار وجود دارد، بهتر است از تجهیزات الکتریکی ضد انفجار استفاده شود (بندهای ۵-۱۲ و ۷-۱۲ را ببینید). تجهیزات الکتریکی غیر مقاوم در برابر انفجار می‌توانند در صورت برآورده کردن شرایط زیر موارد استفاده قرار گیرند:

- از عملیات تهویه همراه با پایش اتمسفر، برای کنترل غلظت گاز انفجاری در حجم کلی هوا استفاده شود و برای محافظت در برابر انفجار غلظت آن زیر پنج درصد حد پایین انفجار باشد.

- یک قفل داخلی بر قی بین سامانه تهویه و تجهیزات غیر مقاوم در برابر انفجار نصب شود تا در موقع ضروری برق تجهیزات غیر مقاوم در برابر انفجار را قطع کند، مگر این‌که سامانه تهویه و سامانه پایش

1 - Increased Safety

2 - Flameproof

اتمسفر در حال عملیات بوده و غلظت گاز در سطح ایمن باشد (بند ۱۲-۵ را ببینید). کلید قطع کننده جریان برق یا از نوع ضدآتش باشد یا در صورتی که در برابر انفجار غیر مقاوم است، آن را در محیط اتمسفر ایمن قرار داد.

- هر خرابی در تجهیزات پایش اتمسفر یا سامانه تهويه، به طور خودکار برق تجهیزات قطع شود. کلیه تجهیزات الکتریکی شامل روشنایی، تابلو کلید شبکه، تجهیزات کنترل و پایش، تلفنها و موتورهای تهويه، که ایمن فرض شده‌اند، بهتر است از نوع مقاوم در برابر انفجار (ضد انفجار) باشند مگر این که آن‌ها در هر زمانی در شرایط اتمسفر ایمن قرار داشته یا در حال کار باشند. توصیه می‌شود هنگامی که غلظت گاز دارای قابلیت اشتعال و انفجار در محیط به ۲۵ درصد حد پایین انفجاری برسد، تامین برق تجهیزات غیر مقاوم در برابر انفجار قطع شود.

یادآوری - اطلاعات مغاید در مورد عملیات خوب می‌تواند از منبع L128 انتشارات واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست به دست آید.

۸-۳-۲۵ تجهیزات مقاوم در برابر انفجار در هوای فشرده

جایی که در کار با هوای فشرده، اتمسفرهای انفجاری اتفاق می‌افتد، ضرورتاً استفاده از تجهیزات مقاوم در برابر انفجار مناسب نیست؛ برای دستورالعمل در مورد مناسب بودن، باید با سازندگان تجهیزات مشورت شود.

۴-۲۵ کابل‌ها

۱-۴-۲۵ کلیات

بهتر است پس از برسی کامل شرایطی که کابل‌ها در معرض آن قرار می‌گیرند و کاربردهایی که کابل برای آن نیاز است شامل اثرات سیالات هیدرولیکی، روغن‌ها، گریس‌ها و آب، کابل‌ها انتخاب شوند.

یادآوری - پوشش‌های آلومینیومی به درجه بالایی از محافظت در برابر خوردگی در محیط‌های مرطوب و احتمالاً نمکدار در تونل‌ها، نیاز دارند.

بهتر است کابل‌های برق از انواعی باشند که دودکنندگی و انتشار گاز کمی داشته باشند. به دلیل قابلیت اشتعال‌پذیری بالای پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) و ماهیت سمی فرآورده‌های ناشی از احتراق آن‌ها، توصیه می‌شود از کابل‌های برق با پوشش پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) استفاده نشود.

برای سالم ماندن طولانی مدت در طی شرایط آتش‌سوزی، بهتر است کابل‌های هشدار آتش و کابل‌های روشنایی اضطراری، مطابق با استاندارد بند ۴۳-۲ باشند و حداقل رتبه‌دسته‌بندی AWZ (یعنی پایین‌ترین

دسته عملکردی برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی (A)، مقاومت در برابر آتش‌سوزی با آب (W) و بالاترین دسته عملکردی برای مقاومت در برابر آتش‌سوزی با شوک مکانیکی (Z) را داشته باشند.

۲-۴-۲۵ کابل‌های تامین برق

توصیه می‌شود کابل‌های تامین برق از نوع کاهنده اشتعال باشند و هنگام آتش‌سوزی دود و گاز کمی (به ویژه گازهای هالوژنی) تولید کنند.

یادآوری - اسمی متنوعی برای مشخص کردن دود و گاز کم (به ویژه گازهای هالوژنی) متصاعد از کابل‌های درگیر در آتش استفاده شده است شامل LFS، LSHF، LSOH و LSHZ.

برای اطمینان از این‌که نوع کابل انتخاب شده برای هدف مد نظر مناسب‌ترین است، توصیه می‌شود با سازندگان/تامین‌کنندگان کابل‌ها مشورت و بحث شود.

بهتر است متعلقات کابل مانند دوشاخه‌ها، اتصالات، سرپیچ کابل و غیره در برابر آتش‌سوزی، مشابه کابلی که به آن متصل هستند دارای دوام در برابر آتش بوده و انتشار دود و گاز آن‌ها در وقایع آتش‌سوزی نیز مشابه با همان کابل باشد.

برای جریان برق ولتاژ بالا و ولتاژ پایین، توصیه می‌شود از کابل‌های زیر استفاده شود:

الف - برای ولتاژهای بالای $3/3kV$: نوع کم‌دود و کم‌گاز، سه شته‌ای، دارای یک لایه محافظ مشبك و عایق پلی‌اتیلن دارای اتصال عرضی^۱ (شبکه‌ای شده) (XLPE)، مطابق با استاندارد بند ۵۰-۲.

ب - برای ولتاژهای $3/3kV$ و کم‌تر: نوع کم‌دود و کم‌گاز، سه‌شته‌ای یا چهار رشته‌ای، دارای یک لایه محافظ مشبك و عایق پلی‌اتیلن دارای اتصال عرضی (شبکه‌ای شده) (XLPE)، مطابق با استاندارد بند ۴۵-۲.

یادآوری - ممکن است این کابل‌ها در وضعیتی استفاده شوند که کابل به‌طور پیوسته کشیده شده است، اما برای جابجایی پیوسته نمی‌تواند یک تکه و بدون اتصال به کابل دیگر باشد. مثلاً ممکن است این کابل‌ها به عنوان کابل تغذیه برق ماشین حفاری تونل در پشت ماشین به شکل 8 (عدد هشت انگلیسی) ذخیره شده باشند و هنگامی که ماشین حفاری تونل پیشروی می‌کند بر روی بسته‌هایی روی دیواره تونل قرار داده می‌شود. هنگامی که کل طول کابل به پایان می‌رسد، یک کابل جدید به ماشین تحویل داده شده و در پشت ماشین به شکل 8 (عدد هشت انگلیسی) قرار داده شده و بین ماشین و انتهای کابل قبلی اتصال ایجاد می‌کند و با پیشروی ماشین حفاری به جلو، این عملیات تکرار خواهد شد.

توصیه می‌شود از کابل‌های زره‌دار استفاده نشود.

کلیه کابل‌های تغذیه برق که در بالای ولتاژهای پایین کاهش یافته عملیات می‌کنند، بهتر است از نوع دارای پوشش فلزی و/یا مشبک، پیوسته و دارای اتصال به زمین موثر باشند.

یادآوری - هنگامی که حداقل شعاع خمشی کابل‌های برق انعطاف‌پذیر مورد ارزیابی قرار گرفته باشد، ممکن است از آن‌ها استفاده شود.

۳-۴-۲۵ کابل‌های برق روکش‌دار و انعطاف‌پذیر

توصیه می‌شود برای موارد زیر از کابل‌های برق روکش‌دار و انعطاف‌پذیر استفاده شود:

الف - برای ماشین‌آلات سنگین سیار مانند رودهدرها، کابل‌های سه‌رشته‌ای، کنداکتورهای پایلوت و اتصال به زمین، عایق‌بندی نوع EPR/CSP، مشبک، پوشش داخلی PCP، زره‌های قابل انعطاف، پوشش پیروزی PCP، مطابق با انواع ۳۲۱ یا ۳۳۱ در استاندارد کابل‌های انعطاف‌پذیر برای استفاده در معادن و معادن سنگ ساختمانی [۸۴].

ب - برای ماشین‌آلات مانند تجهیزات روان‌ملات‌ریزی یا شاتکریت‌پاشی، کابل‌های سه‌رشته‌ای، کنداکتورهای پایلوت و اتصال به زمین، عایق‌بندی نوع EPR/CSP، مشبک، پوشش PCP، مطابق با انواع ۷، ۱۴ یا ۱۶ در استاندارد کابل‌های انعطاف‌پذیر برای استفاده در معادن و معادن سنگ ساختمانی [۸۴].

توصیه می‌شود به دلیل این‌که مواد عایق‌بندی جدید در دسترس قرار می‌گیرند، هر چند وقت یکبار انواع کابل‌ها به دقت مورد بررسی قرار گیرند. برای اثبات قابلیت استفاده از کابل‌ها و این‌که آن‌ها آسیب ندیده‌اند، توصیه می‌شود کلیه کابل‌های مورد بازرگانی قرار گیرند.

۴-۴-۲۵ کابل‌های درگیر با خطرهای آتش‌سوزی

بهتر است به آسیب‌پذیری ویژه کابل‌های گروهی در چاههای عمودی اشاره شود و در صورت امکان برای کاهش خطر و پیامدهای ناشی از آتش‌سوزی، مدارهای ضروری مانند مدارهای هشدار آتش‌سوزی و روشنایی اضطراری (بندهای ۳-۱۴ و ۴-۱۷ را ببینید) از سایر مدارها جدا شوند. در چاههای عمودی بهتر است کابل‌ها الزامات استاندارد بند ۹-۲ (کلیه قسمت‌ها) را برآورده کنند.

یادآوری ۱ - در حوادث آتش‌سوزی، عایق کابل ممکن است موجب آغاز و گسترش آتش‌سوزی شده و از سوختن آن دود و گاز تولید شود.

یادآوری ۲ - عایق آسیب دیده ممکن است موجب ایجاد قوس یا جرقه زدن و در نتیجه آتش‌سوزی و خطرهای شوک الکتریکی شود.

یادآوری ۳ - دستورالعمل نکات ۴ سند IEE:s را ببینید [۵۱].

شایان ذکر است که اضافه‌باری مدارها یا اتصالات ضعیف می‌تواند موجب گرمایی همراه با آسیب به عایق شوند که پیامد آن خرابی مدار است.

بهتر است کلیه کابل‌ها به دور طبلک پیچیده شوند یا در صورت عدم دسترسی به طبلک به شکل ۸ (عدد هشت انگلیسی) پیچیده و ذخیره شوند. توصیه می‌شود جایی که جریان از طریق کابل پیچیده شده عبور می‌کند، به محافظت آن در برابر اثرات گرمایی توجه ویژه‌ای شود (بند ۳-۱۳ را ببینید). بهتر است در مورد نکات بیشتر با سازنده کابل مشورت شود.

۵-۴-۲۵ نصب کابل‌ها

توصیه می‌شود کابل‌ها بر روی دیوار تونل و در یک موقعیت مرتفع قرار داده شوند تا از آب و ضربات تصادفی وسایل نقلیه عبوری در امان باشند. بهتر است این کابل‌ها در برابر آسیب‌های شیمیایی، آتش و آب محافظت شوند. هنگام استفاده از کابل‌های ولتاژ بالا، توصیه می‌شود ضرورتاً استانداردهای بالایی از عایق و محافظت مکانیکی و نیز استانداردهای بالایی از مهارت نصب آن‌ها در نظر گرفته شود.

بهتر است کابل‌ها به دور از ترافیک عبوری نصب شده و هنگام استفاده، بهطور کافی نگهداری و ایمن شوند؛ همچنین بهتر است در موقعیتی باشند که توسط افراد در حال کار نزدیک به آن دیده شوند. جایی که باید عملیات برشکاری یا جوشکاری در نزدیکی کابل‌ها انجام شود، بهتر است پوشش مشبک برای آن‌ها تهیه شود (بند ۲-۱۳ را ببینید).

توصیه می‌شود کابل‌ها در جایی که احتمال غرق شدن شان وجود دارد، نصب نشوند (تا جایی که عملیاتی باشد). بهتر است جایی که کابل‌ها به یک محفظه مکعبی یا سایر محفظه‌ها وارد می‌شوند، برای جلوگیری از ورود آب به محفظه، محل ورود در زیر محفظه قرار داده شود.

توصیه می‌شود ورود کابل‌ها به محفظه از سمت بالای محفظه انجام نشود زیرا ممکن است آب به محفظه وارد شود یا این‌که تجهیزاتی از بالا بر روی آن سقوط کند.

بهتر است فرآیندهای رسمی جابجایی کابل، برای ماشین‌آلات سیار در محل استقرار داده شود و تجهیزات و کابل‌های تامین‌کننده برق ماشین‌آلات سیار (هنگامی که جریان دار هستند)، توسط اشخاص حرکت داده نشده و جابجا نشوند. بهتر است این کابل‌ها فقط زمانی حرکت داده شوند و جابجا شوند که قطع بودن و عایق بودن مدارهای مربوط به آن‌ها ثابت شود.

بهتر است کلیه کابل‌های بدون استفاده وارد شده به تجهیزات الکتریکی، برای جلوگیری از ورود آب، گردوغبار و سایر مواد، عایق شوند.

توصیه می‌شود کابل‌های تامین برق که باید برای تطبیق با پیشروی عملیات تونل‌سازی، به‌طور دوره‌ای گسترده شده و افزایش طول داده شوند و همچنین فاصله بین اتصالات، تا حد امکان بزرگ باشد. بهتر است اتصالات در برابر آتش‌سوزی، مشابه کابلی که به آن متصل هستند دارای دوام در برابر آتش بوده و انتشار دود و گاز آن‌ها در وقایع آتش‌سوزی نیز مشابه با همان کابل باشد.

یادآوری - به آیین‌نامه الکتریسیته در کار سال (۱۹۸۹) توجه کنید که الزام کرده است اتصالات و پایانه‌ها باید به‌طور الکتریکی و مکانیکی مناسب باشند [۴۸].

بهتر است بخش‌ها کابلی با استفاده از موارد زیر به هم متصل شوند:

- به کارگیری مناسب بسته‌های اتصالات که به صورت برجا در تونل نصب شده و اتصالات دائمی را تشکیل می‌دهند.

- استفاده از متصل‌کننده‌های نیم‌بوشن^۱ نوع استوانه‌ای پیچ‌دار، که با خارهای متصل‌کننده، واشرها و پیچ‌های متصل‌کننده کامل می‌شود.

یادآوری - اخیراً روشی توصیه شده است که بر اساس آن، قبل از فرستادن کابل جدید به تونل، کابل باید در محیط تمیز و خشک به یک متصل‌کننده نیم‌بوشن منتهی شود.

سپس بهتر است با بستن ساده نیم‌بوشن به کابل موجود و کابل جدید، جریان برق گسترش داده شود. یادآوری - این روش هم‌چنین این مزیت را برای کابل‌ها دارد که به کابل‌ها اجازه می‌دهد برای عیب‌یابی به آسانی درون قسمت‌ها وارد شوند و هم‌چنین باعث سهولت بازیابی کابل و استفاده مجدد در پایان کار می‌شود.

توصیه می‌شود پیوستگی کنداکتور محافظ اتصال به زمین، در سرتاسر اتصالات و متصل‌کننده‌های کابل حفظ شود. بهتر است کلیه کابل‌های برق در فواصل زمانی سه ماهه و هم‌چنین بلافاصله پس از تعویض، گسترش یا آسیب به کابل رابط، تحت آزمون پیوستگی اتصال به زمین قرار گیرند.

بهتر است جزیيات کلیه آزمون‌های انجام شده شامل تاریخ آزمون و ولتاژهای ثبت شده، یادداشت و نگهداشته شود. بهتر است پیوستگی اتصال به زمین در سرتاسر بوشن‌های بسته شده، با استفاده از یک رابط اتصال به زمین بیرونی حفظ شود و به حفاظ فلزی در یک طرف بوشن محکم شود.

بهتر است متصل‌کننده‌های مورد استفاده برای کابل‌های غیرمنعطف ولتاژ بالای سه‌رشه‌ای، نوع کم دود و کم گاز^۲ SWA/XLPE، دارای پوشش زرهی باشند که به‌طور محکم به پوسته فلزی بیرونی آن متصل شده

1 - Half Couplers

2 - Steel Wire Armour Cable (SWA)

باشد. بهتر است متصل کننده‌های مورد استفاده برای کابل‌های ۳۲۱ و ۳۳۱ منعطف و کابل دارای روکش زره‌دار انعطاف‌پذیر، یک اتصال به زمین داخلی متصل به پایانه شبکه اتصال به زمین، داشته باشند. در اتمسفرهای دارای قابلیت اشتعال و انفجار، بهتر است کلیه متصل کننده‌ها از نوع ضدآتش باشند (بند ۷-۳-۲۵ را ببینید).

در عملیات لوله‌رانی، بهتر است کابل‌های عملیاتی درون گودال رانش^۱، به طور متناوب متصل و قطع شوند، تا اجازه دهد قسمت‌های بعدی لوله نصب شوند. بهتر است متصل کننده‌های کابل و سامانه کاری استفاده شده به‌گونه‌ای باشد که به‌طور ایمن و آسان انجام این کار را ممکن سازد.

توصیه می‌شود از مدارهای عملیاتی آزمایشی استفاده شود و متخصصین برق صلاحیت‌دار، این کار را انجام دهند. در مورد کابل‌هایی که در مدار جریان بالای ۱۰۰۰ آمپر می‌کنند، بهتر است افراد مسئول برای این کار، مجاز به کار با سامانه‌های ولتاژ بالا باشند.

۷-۴-۲۵ پایانه‌های کابل^۲

توصیه می‌شود اتصالات کابل ولتاژ پایین مطابق با استاندارد بند ۴۸-۲ باشند. بهتر است کابل‌ها با به‌کارگیری سرپیچ‌های مناسب به تجهیزات الکتریکی متصل شوند، به‌گونه‌ای که یک نصب مکانیکی یک‌پارچه را برقرار ساخته و سالم بودن سامانه اتصال به زمین را فراهم آورد. توصیه می‌شود از پوشش لاستیکی برای سرپیچ‌ها استفاده نشود مگر این‌که برای حفاظت محیط‌زیست، اضافه کردن آن‌ها الزام شده باشد، به خاطر این‌که بازرسی دیداری منظم از محل اتصال محافظ زرهی/سرپیچ/تجهیزات، ضروری است.

بهتر است انواع سرپیچ‌های استفاده شده، یک‌پارچگی درجه‌بندی IP وسایل را حفظ کنند (بند ۶-۳-۲۵ را ببینید) و با درزگیرها و واشرهای صحیح نصب شوند و همچنین برای جلوگیری از نفوذ آب به درون آن‌ها، (در صورت لزوم) پوشش‌دار شوند.

در صورت امکان بهتر است کلیه رشته‌های یدکی در کابل، به زمین متصل شوند. بهتر است جعبه تقسیم‌های ویژه و جعبه تقسیم‌های پایانه‌ها به کابل‌های محافظ تغذیه‌کننده مجهز باشند. بهتر است از رشته‌های کابل محافظ درون کابل‌های برق، اجتناب شود. یادآوری - این موضوع برای اجازه دادن به اتصال متقاطع رشته‌ها، برای حداقل کردن مقاومت کور حاذنی است.

1 - Trust Pit
2 - Cable Terminations

۸-۴-۲۵ موقعیت هنگام استفاده از مواد منفجره

برای جانمای ایمن ماشین‌آلات و تاسیسات الکتریکی، به منظور جلوگیری از تحریک الکتریکی سامانه‌های آغازگر عملیات انفجار توسط جریان‌های سرگردان، بهتر است از توصیه‌های جامع ارایه شده در استاندارد بند ۳۸-۲ پیروی شود.

۵-۲۵ ترانسفورماتورها و تابلوهای شبکه کلید در تونل‌ها

۱-۵-۲۵ انواع ترانسفورماتورهای استاندارد

استفاده فزاینده از ماشین‌آلات ساخت تونل بسته به قدرت الکتریکی تامین شده توسط ترانسفورماتورها و قرارگرفتن هر چه نزدیک‌تر به ماشین‌آلات، به این معنی است که دامنه استانداردی از مناسب‌ترین نوع ایمنی اعمال شده است. هنگام انتخاب ترانسفورماتور، بهتر است ماهیت موقتی بودن عملیات تونل‌سازی و فضاهای در دسترس خیلی محدود، مد نظر قرار داده شوند.

توصیه می‌شود ترانسفورماتورها در تونل در مکان‌های زیر قرار داده شوند:

- در ایستگاه‌های ثابت، عموماً از نواحی کاری برداشته شوند;
- به صورت تاسیسات موقتی برای وفق یافتن با ماشین‌های سیار؛
- به یک ماشین متصل شوند یا به صورت یک قسمت داخلی از یک ماشین باشند.

بهتر است در تونل‌ها، فقط از ترانسفورماتورهای دارای خنک‌کننده هوا (ترجیحاً)، یا دارای مایعات عایق‌کننده/خنک‌کننده سینتیکی مقاوم در برابر آتش، استفاده شود. توصیه می‌شود این مایعات دارای پلی‌کلرینیتید با فنیل‌ها^۱ یا سایر عامل‌های شیمیایی خطرناک نباشند و در حوادث آتش‌سوزی، مقدار و نوع دود و گازی که برای افراد خطرناک است، منتشر نکنند.

بهتر است مایعات از نوع استرهای آلی سینتیکی تعیین شده در استاندارد بند ۱۳-۲ یا سیالات بر پایه سیلیکون ساخته شده مطابق با استاندارد بند ۱۱-۲ باشند.

بهتر است در هر موقعیت زیرزمینی از ترانسفورماتورهای روغنی استفاده نشود. توصیه می‌شود این ترانسفورماتورها مطابق با استاندارد بند ۴-۲ باشند.

بهتر است ترانسفورماتورها به گونه‌ای طراحی شوند که سیم‌پیچی فازهای آن به صورت تفکیک شده باشند و برای کاهش احتمال خرابی‌های جدی، برای فازهای داخلی پوشش‌هایی نصب شود. اگر ترانسفورماتورها باید از نوع خشک‌رزینی^۲ باشند، بهتر است یک ارزیابی در مورد بارهای وارد برآن انجام شود، به دلیل این‌که این نوع از ترانسفورماتورها قادر به تحمل اضافه بارهای خیلی زیاد نیستند. بهتر است در مرحله طراحی، این

1 - Polychlorinated Biphenyls (PCBs)

2 - Cast Resin Transformer

موضوع در نظر گرفته شود و برای تامین ایمنی آتی، از تجهیزات محافظه کننده که با طراحی درست استفاده شود. بهتر است در موقعیت‌هایی که احتمال خطر احتراق گردوغبار وجود دارد، از ترانسفورماتورهای خشک رزینی استفاده نشود.

جایی که محافظت در برابر دخول آب یا گردوغبار ضروری است و در وضعیت‌هایی که رطوبت بالا ممکن است موجب مشکلات ناشی از چگالش شود، توصیه می‌شود استفاده از ترانسفورماتورهای نوع خشک، دارای درزبندی محکم و ترانسفورماتورهای نیتروژنی مورد بررسی قرار گیرد.

توصیه می‌شود برای عایق کردن سمت اولیه (سمت ورودی) ترانسفورماتورهای برق، از تابلو کلیدهای شبکه اتصال قطع‌شونده هوایی^۱، خلا^۲ یا گازی^۳ استفاده شود که ترجیحاً به ترانسفورماتور متصل باشند یا از تابلو کلیدهای شبکه اتصال مشابه، مجزا و بلا فاصله نزدیک استفاده شود.

بهتر است در طی طراحی طرح توزیع الکتریکی برای موارد زیر، دسته‌بندی ترانسفورماتورهای ولتاژ بالا/ولتاژ پایین (جزییات آن‌ها در استاندارد بند ۲- ارایه شده است)، مورد بررسی قرار گیرد:

- ایجاد تمهداتی برای سامانه اتصال به زمین در نقاط مناسب به منظور جلوگیری از افزایش خطرناک ولتاژها در هر قسمتی از سامانه نسبت به ولتاژ زمین؛
 - اجتناب از جریان‌های چرخشی؛
 - ایجاد یک نقطه «star» بر روی سمت بار ترانسفورماتور؛
 - تاثیر عملیات موازی ایمن؛
 - در صورت لزون، خنثی کردن هارمونی‌های ایجاد شده توسط موتورهای کنترل شده با تاریستور.
- بهتر است هر کلید انتخاب‌کننده تغییر اتصال^۴ (تپ چتجر) بیرونی، دارای امکانات قفل‌کننده باشد و به طور محکم در موقعیت انتخاب شده قفل شود. بهتر است فقط برای ترانسفورماتورهایی که در سطح زمین قرار داده شده‌اند، از کلیدهای تغییردهنده اتصال خودکار استفاده شود.

۲-۵-۲۵ جانمایی ترانسفورماتورها

توصیه می‌شود ترانسفورماتورها جایی قرار داده شوند که خطر آسیب دیدن آن‌ها حداقل شده و در برابر اشیا متحرک، آب و آوار محافظت شوند. بهتر است برای بازرسی، تعمیر و نگهداری و برای اهداف اضطراری، راههای دسترسی ایمن و فضا و روشنایی کافی برای آن‌ها تامین شود (بند ۱۷ را ببینید).

1 - Air Break Switchgear

2 - Vacuum Switchgear

3 - Gas-Filled Switchgear

4 - Tap Change Selector Handle

۳-۵-۲۵ تابلو شبکه کلید اتصال

در صورت لزوم، توصیه می‌شود برای عایق کردن و محافظت کابل‌های جریان‌دار، ترانسفورماتورها، سایر واحدهای توزیع و تجهیزات و ماشین‌آلاتی که به برق نیاز دارند، تابلو شبکه کلیدهای اتصال ایجاد شود. بهتر است کلیه تابلوهای شبکه کلید اتصال مطابق با استانداردهای مناسب با ولتاژ سامانه و بارگذاری‌های مدار باشند و به طور کامل در برابر ریسک‌های قابل پیش‌بینی و خطرهای مورد انتظار به خصوص برای وضعیت آن، محافظت شوند. خطرهای مورد انتظار می‌تواند شامل موارد زیر باشند.

الف- مدارهای خراب؛

ب- ورود آب و گردوغبار؛

ج- گاز متان یا سایر گازهای دارای قابلیت اشتعال؛

د- آسیب ناشی از ماشین‌آلات و وسایل نقلیه یا سایر منابع مکانیکی؛

ه- آسیب ناشی از عملیات آتشباری.

بهتر است در زیرزمین به خاطر ریسک آتش‌سوزی، از تابلوهای شبکه کلید روغنی استفاده نشود و از تابلو کلیدهای شبکه اتصال قطع‌شونده هوایی، خلا یا گازی استفاده شود.

۶-۲۵ دوشاخه و پریزهای الکتریکی

بهتر است این امکان فراهم شود که جریان برق کابل‌های روکش‌دار انعطاف‌پذیر مورد استفاده برای ماشین‌آلات توان بالای سیار مانند لوذرها برقی، رودهدرها و غیره، به آسانی و سریعاً قطع شود. توصیه می‌شود سامانه دوشاخه و پریز مورد استفاده بر روی کابل‌ها از نوع ثابت و مهار شده باشند که از بیرون کشیده شدن تصادفی دوشاخه از پریز دارای جریان برق، جلوگیری شود و به اندازه‌ای محکم باشند که بتوانند در جابجایی‌های نادرست سالم بمانند. بهتر است دوشاخه و پریزها با رشته‌های کابل برق، سامانه اتصال به زمین و (در صورت لزوم) رشته‌های پایلوت کابل انعطاف‌پذیر سازگار باشند.

بهتر است مدارهای کنترل مرتبط با تابلو شبکه کلید، یک‌پارچگی رشته‌های پایلوت/اتصال به زمین را پایش کرده و هنگام وقوع اتصال باز خرابی مدار کوتاه در این رشته‌ها، جریان برق را قطع کند. اگر فردی سعی کند دوشاخه را با اعمال نیرو بر آن جدا کند، بهتر است قبل از باز شدن مدار برق، ابزار پایش به طور خودکار جریان کابل‌ها را ایزوله کند.

برای کاربردهای ولتاژ پایین نرخ ۱۲۵A یا کمتر، بهتر است دوشاخه و پریزها مطابق با استاندارد بند ۸-۲ باشند و برای ولتاژهای عملیاتی بالای ۷۱۰ و نرخ جریان بالای ۱۶A، برای جلوگیری از قطع شدن هنگام کار، دوشاخه و پریزها به قفل‌های الکتریکی یا مکانیکی مجهز باشند.

توصیه می‌شود در اتمسفرهای دارای قابلیت اشتعال یا انفجار، دوشاخه و پریزها از نوع مقاوم در برابر انفجار باشند (بند ۷-۲۵-۳-۲۵ را ببینید).

۷-۲۵ تاسیسات روشنایی

۱-۷-۲۵ کلیات

توصیه می‌شود در ساخت تونل از روشنایی با استفاده از نیروی برق استفاده شود.

۲-۷-۲۵ ولتاژها

توصیه می‌شود مدار روشنایی از سایر مدارهای برقی موجود در تونل جدا باشد و مطابق با توصیه‌های بند ۳-۲۵ باشد. بهتر است ولتاژ عملیاتی ترجیحی برای روشنایی تونل، به برق تکفاز با ولتاژ ۱۱۰ ولت کاهش داده شود (بند ۳-۲-۳-۲۵ را ببینید).

توصیه می‌شود فقط هنگامی که برق مدار روشنایی از یک نقطه ثابت تامین می‌شود و جایی که تاسیسات روشنایی در موقعیتی خارج از دسترسی عادی نصب شده است و خطر آسیب احتمالی ناشی از عملیات کاری به وضوح قابل پیش‌بینی است، از روشنایی تکفاز با ولتاژ ۲۳۰ ولت استفاده شود.

در مکان‌های با قابلیت رسانایی محدود مانند تونل‌های با دهانه اسمی کوچک‌تر از ۱/۵ متر، بهتر است برق تاسیسات روشنایی با ولتاژ خیلی کم تامین شود (بند ۴-۲-۳-۲۵ را ببینید).

۳-۷-۲۵ نورافکن‌ها

توصیه می‌شود در صورت امکان، نورافکن‌ها دارای یک محفظه محافظ باشند که دارای نسبت کد IP 54 مطابق با استاندارد بند ۱۰-۲ باشد. در صورت الزام، بهتر است عایق‌بندی در برابر آب و گردوغبار برای نورافکن‌ها، مطابق با بند ۶-۳-۲۵ باشد.

برای مکان‌های زیرزمینی دارای احتمال حضور گاز متان، بهتر است استفاده از نورافکن‌های مقاوم در برابر انفجار، مانند نوع مجاز (e) یا (d)، مورد بررسی قرار گیرد.

توصیه می‌شود از نورافکن‌های با ولتاژ پایین و همراه با تجهیزات ترانسفورماتور، فقط در موقعیت‌های ثابت استفاده شود و فقط در دسترس افراد مجاز باشند.

به علاوه بهتر است هر لامپ با یک محافظ مکانیکی یا پوشش مناسب محافظت شود یا این‌که در مکانی دور از دسترس قرار داده شود.

یادآوری ۱- برای روشنایی عمومی تونل بهتر است از روشنایی فلورسنت استفاده شود. قابلیت دسترسی و ایجاد روشنایی نورافکن‌ها مناسب‌تر است، به ویژه هنگامی که لازم است ناحیه بزرگی روشن شود.

یادآوری ۲- برای نورافکن‌های مسیرهای دسترسی، می‌توان از اتصالات لاستیکی همراه با لامپ‌های تنگستنی که در ولتاژ کم عملیات می‌کنند، استفاده کرد مشروط بر این‌که سرپیچ لامپ با استفاده از مواد عایق پوشانده شود و پوشش کابل با روش مشابه به‌طور دائمی قالب‌ریزی شده یا نواربندی شده باشد.

۴-۷-۲۵ کابل‌های روشنایی

توصیه می‌شود کابل‌های برق که برای تامین برق تاسیسات روشنایی با ولتاژ کم استفاده می‌شوند، دارای غلاف فلزی و/یا تور سیمی حفاظتی باشند که نیاز است پیوسته و بدون بریدگی بوده و به‌طور موثری به زمین اتصال داده شوند.

۵-۷-۲۵ روشنایی اضطراری

بهتر است روشنایی اضطراری مطابق با بند ۱۷-۵، ایجاد شود.

۸-۲۵ موتورهای الکتریکی

۱-۸-۲۵ انواع

توصیه می‌شود از موتورهای دارای فن خنک‌کننده درون محفظه، مطابق با استاندارد بند ۳-۲ استفاده شود. بهتر است از موتورهای دارای تهویه باز استفاده نشود.

۲-۸-۲۵ کنترل و محافظت از موتورها

توصیه می‌شود از موتورهای دارای دستگاه محافظ و تکفاز استفاده شود، در مورد آغازگر موتورهای ولتاژ بالا (HV)، بهتر است این موتورها دارای محافظ اتصال به زمین آنی باشند. توصیه می‌شود جایی که اتصال به زمین اجازه دهد، محافظت در برابر اتصال کوتاه در موتور دارای توان قطع‌کنندگی بالا، با استفاده از فیوزهای درجه‌بندی شده یا استفاده از قطع‌کننده‌های مدار جعبه‌ای اجرا شود.

بهتر است کابل قطع‌کننده تجهیزات سویچینگ (که می‌تواند بخشی از آغازگر باشد) جریان ساکن موتور، در موقعیتی نصب شود که دسترسی آن برای کاربر ماشین راحت و آسان باشد. هنگامی که تجهیزات سویچینگ متصل به آغازگر استفاده می‌شوند، بهتر است برای جلوگیری از دسترسی به قسمت‌های روشن دستگاه، یک قفل داخلی به کار گرفته شود، اما توصیه می‌شود برای توانایی آزمون کردن مدارهای کنترلی، در حالتی که تجهیزات سویچینگ در وضعیت خاموش هستند، تمهیداتی فراهم شود.

بهتر است مدارهای موتور کنترل، با کمترین ولتاژ عملیاتی ممکن کار کنند، اما توصیه می‌شود چنین مدارهایی هرگز از سامانه اتصال به زمین میانی ساپورت نشوند.

یادآوری- قسمت ب بند ۷۸-۲ و استاندارد بند ۴-۲-۳-۲۵ را ببینید.

بهتر است مدارهای کنترل دارای کنترل دستی از قبیل مدارهای آویزان، با حداکثر ولتاژ ۵۰ ولت کار کنند. اکثر ماشینهای حفاری تونل به کنترل کننده‌های قابل برنامه‌ریزی منطقی^۱ مجهز شده‌اند و برای اطمینان از این‌که در صورت خرابی یا قطع برق در سامانه کنترل، اینمی آن به خطر نمی‌افتد، توصیه می‌شود در طراحی مدارهای کنترل دقیق ویژه‌ای به خرج داده شود.

توصیه می‌شود برای جلوگیری از وقوع خطر در هنگام قطع یا برقراری مجدد جریان برق، مدارهای کنترل با مکانیزم تخریب امن^۲ طراحی شوند. بهتر است اتصال داخلی بین کنترل کننده منطقی قابل برنامه‌ریزی و مدارهای کنترلی از نوع اتصالات عایق‌بندی‌شده با ولتاژ آزاد باشند. توصیه می‌شود منبع ولتاژ کنترل توسط کنترل کننده منطقی قابل برنامه‌ریزی، همیشه از مدار کنترل موتور باشد.

توصیه می‌شود مدارهای کنترل به‌گونه‌ای طراحی شوند که خطر جابجایی‌های غیرعمدی هر مولفه به خاطر خرابی مدار کنترل، به حداقل برسد. بهتر است کابل‌های کنترلی در برابر خطر آسیب‌های مکانیکی محافظت شوند و در محیط‌های متخاصل، از کابل‌های کنترل دارای پوشش تور سیمی محافظت استفاده شود. بهتر است کلیه رشته‌های استفاده نشده در کابل‌های چند رشته‌ای که در سامانه‌های کنترل استفاده می‌شود، به زمین اتصال داده شوند، به خصوص در جاهایی که این کابل‌ها در معرض جابجایی‌های دائمی هستند.

یادآوری- استانداردهای بندۀ ۷۸-۲ و ۸۱ را ببینید.

۳-۸-۲۵ توقف‌های اضطراری

توصیه می‌شود کلیه ماشین‌آلات به بخش کنترل‌های توقف اضطراری، که به آسانی در دسترس کاربر و دیگران باشد، مجهز باشند. بهتر است برای جلوگیری از شروع به کار مجدد موتور هنگام توقف اضطراری، کلیدهای توقف‌های اضطراری همراه با امکانات راهاندازه مجدد درون مدار کنترل موتور باشند.

یادآوری- استانداردهای بندۀ ۷۸-۲ و ۸۱ را ببینید.

۹-۲۵ تجهیزات لیزری

۱-۹-۲۵ کلیات

به دلیل دامنه گسترده طول موج‌های ممکن، محتوى انرژی و طول ضربان^۳ پرتوهای لیزری، خطرهای مرتبط با استفاده از لیزر بسیار متنوع است.

1 - Programmable Logic Controller (PLC)

2 - Fail-Safe

3 - Pulse

بنابراین از نظر عملیاتی غیرممکن است که لیزر را به عنوان گروه منفرد در نظر گرفت که بتوان استانداردهای رایج را در مورد آن به کار گرفت.

توصیه می شود به عنوان یک راه عملی برای ارزیابی و کنترل خطرهای تشعشع لیزر، از دستورالعمل ها و طبقه بندی های سازنده تبعیت شود. بهتر است یک ارزیابی خطر انجام شده و سامانه ایمن کاری توسعه داده شود. توصیه می شود به جز برای تجهیزات نقشه برداری، به طور عمومی در عملیات ساخت و ساز از دو رده فرآورده لیزری RDE ۲ و RDE ۳A استفاده شود.

یادآوری ۱ - تجهیزات لیزری با تعلق داشتن به یکی از پنج رده خطر، مشخص کننده حد انتشار قابل دسترس لیزر، تضمین شده اند. توصیه ها در مورد ایمنی لیزر، بر اساس رده فرآورده لیزر مورد استفاده متفاوت است.

یادآوری ۲ - در استاندارد بند ۱۱-۲ رده های ۲M و ۳R اصلاح شده اند.

۲-۹-۲۵ تجهیزات لیزری RDE ۲

تجهیزات لیزری RDE ۲، ابزاری بدون ضربان و با توان کم پرتوافکنی در ناحیه مریبی (مثلًا ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm) هستند. توان خروجی این رده از تجهیزات لیزری به ۱mW (که از یک روزنه محدود کننده ۵۰ mm جمع شده است) محدود می شود. این تجهیزات لیزری را می توان توسط پاسخ ناسازگار چشم شامل عکس العمل چشمک زدن در برابر لیزر برآورد کرد.

در صورت عملیاتی بودن، بهتر است پرتو لیزر در انتهای مسیر مفید آن قطع شود. بهتر است لیزر به سمت افراد یا ماشین آلات نباشد و در سطحی بالاتر از سطح ارتفاع چشم قرار داده شود. توصیه می شود در صورت امکان مسیرهای گسترش پرتو لیزر نشانه گذاری شود و به کاربران آموزش داده شود، که هرگز به صورت تعمدی به درون پرتو لیزر خیره نشوند. بهتر است افرادی که دارای سابقه آسیب دیدگی پاسخ ناسازگار چشم هستند، بدون کنترل و بررسی های لازم از لیزر RDE ۲ استفاده نکنند. بهتر است در مورد افراد دارای انواع مشخص درمان دارویی عکس العمل چشمک زدن یا درمان دارویی تحت تاثیر الکل، این موضوع اعمال شود.

۳-۹-۲۵ تجهیزات لیزری RDE ۳

تجهیزات لیزری RDE ۳، همان ابزاری هستند که در ناحیه مریبی (مثلًا ۴۰۰ nm تا ۷۰۰ nm نانومتر) با توان خروجی حداکثر به ۵mW (که از یک روزنه محدود کننده ۵۰ mm جمع شده است) عملیات می کنند و نوعاً امواج پیوسته تری نسبت به ابزار دارای ضربان های تکرار شونده دارند. چگالی توان پرتو (از یک روزنه محدود کننده ۵۰ mm) حداکثر به $25W/m^2$ محدود می شود. محدودیت چگالی توان، تضمین می کند که چشم هرگز نمی تواند بیش از پنج بار در معرض لیزر دارای محدودیت RDE ۲ قرار گیرد، حتی زمانی که از تجهیزات کمک کننده محافظ استفاده می شود.

تماشای مستقیم درون پرتو لیزر با تجهیزات نوری، ممکن است خطرناک باشد و در نتیجه بهتر است همیشه سامانه کاری به‌گونه‌ای اطمینان حاصل کند که از این موضوع اجتناب می‌شود.

۴-۹-۲۵ استفاده از تجهیزات لیزری

توصیه می‌شود در صورت امکان، در عملیات تولید سازی از تجهیزات لیزری رده ۲ استفاده شود. هر چند در بعضی اوقات به علت سطح بالای نور محیط لازم است که از تجهیزات لیزر با قدرت بیشتر از تجهیزات رده ۲ استفاده شود؛ در نتیجه می‌تواند از تجهیزات لیزری رده ۳A استفاده کرد، که توصیه می‌شود در این موارد اقدام‌های اضافی زیر انجام شوند:

- الف- هنگام استفاده لیزر بالاتر از رده ۲، بهتر است که یک مسئول ایمنی برای کاربرد لیزر تعیین شود.
- ب- توصیه می‌شود یک فرد آموزش دیده به‌طور اختصاصی و مناسب، برای نصب، تنظیم و عملیات تجهیزات لیزری تعیین شود.
- ج- بهتر است نواحی که از چنین لیزرهایی استفاده می‌شود، به عنوان نواحی لیزری کنترل شده در نظر گرفته شده و با عالیم استاندارد هشدار لیزر علامت‌گذاری شوند و توصیه می‌شود دسترسی به این نواحی فقط برای افرادی مجاز باشد که مسئول اقدام‌های پیشگیرانه هستند.
- د- توصیه می‌شود در هر جای ممکن، برای کمک به تنظیم تجهیزات لیزر، از وسایل مکانیکی و الکتریکی استفاده شود.

ه- خیره شده طولانی و مستقیم درون پرتو لیزر (۰/۲۵s) ممکن است خطرناک باشد و بهتر است برای اجتناب از نگاه مستقیم افراد درون پرتو لیزر یا برخورد غیرعمدی چشم با پرتو لیزر، تمھیداتی در نظر گرفته شود. نگاه مستقیم با ابزار نوری به پرتو لیزر می‌تواند خطرهای ویژه‌ای داشته باشد (مگر این‌که به فیلترهای خاصی مجهر باشند) و توصیه می‌شود از این کار اجتناب شود، مگر این‌که پس از ارزیابی دقیق توسط مسئول ایمنی لیزر، به‌طور ویژه‌ای ایمنی این کار تایید شده باشد.

و- اگر تابش پرتو در مرزهای نواحی کنترل شده بیشتر از حد اکثر سطح مجاز قرار گیری در معرض لیزر^۱ (MPE) باشد، تحت هر شرایط دید (از جمله استفاده از تجهیزات نوری دید 8mm)، بهتر است پرتو لیزر در درون ناحیه کنترل شده محدود شود.

ز- بهتر است برای اجتناب از این‌که پرتو لیزری به‌طور مستقیم بر سطوح انعکاس دهنده مانند آینه‌ها، لنزها و غیره بتابد، اقدام‌های پیشگیرانه‌ای انجام شود. توصیه می‌شود از قرار گیری تصادفی چنین سطوح انعکاس دهنده‌ای در مسیر پرتوهای لیزری، جلوگیری شود.

ح- توصیه می‌شود در صورت امکان موقعیت کلیه پرتوهای لیزری، بالاتر یا پایین‌تر از سطح چشم باشد.
ط- هنگامی که از لیزر استفاده نمی‌شود، بهتر است که به‌طور ایمن پنهان شود (برای این‌که افراد غیرمجاز نتوانند به تجهیزات آن دسترسی داشته باشند).

۲۶ نگهداری، نوسازی و تعمیر

۱-۲۶ کلیات

بهتر است بسیاری از توصیه‌های ارایه شده در سایر بخش‌های این استاندارد ملی برای نگهداری، نوسازی و تعمیر تونل‌ها در نظر گرفته شوند.
به علاوه بهتر است گزارش PR712 [N6] در دستورالعمل^۱ CIRIA نیز در نظر گرفته شود.

۲-۲۶ مدیریت تجهیزات

بهتر است برای کلیه تونل‌ها یک سامانه مدیریت تجهیز رسمی برقرار شود. توصیه می‌شود بازرگانی‌های دقیق و ثبت معايب در لاینینگ تونل در دوره‌های زمانی منظم و از پیش تعیین‌شده، همزمان با آغاز رسمی بازرگانی تحويل تکمیل ساخت تونل، انجام شود.

بهتر است یک فرآیند گزارش‌نویسی استاندارد همراه با بازبینه‌هایی^۲ برای قادر ساختن تصحیحات در بازرگانی‌های بعدی استقرار یابد. قبل از هر بازرگانی بهتر است برای یافتن یادداشت‌های بازرگانی‌های قبلی منابع را جستجو کرد و از آن‌چه در سایت نگهداری شده و در دسترس است رونوشت تهیه شود.
توصیه می‌شود برای شناسایی و اولویت‌بندی کارهای باقیمانده و برای ثبت تعمیرات قابل توجه در لاینینگ تونل، تمهیداتی در سامانه مدیریت تجهیز در نظر گرفته شود.

یادآوری- در اکثر موارد سرعت تخریب تونل‌ها آهسته است و افزایش عیوب همراه با علایم دیداری از تنفس‌زایی، اتفاق می‌افتد. این‌می و نگهداری، نوسازی و تعمیر موفق تونل‌ها به فهم درست طراحی اصلی، تشخیص صحیح علت عیوب، انجام مناسب‌ترین درمان و تصمیم‌گیری در مورد چگونگی انجام کار، بستگی دارد.

شایان ذکر است نکاتی که نیاز است به آن‌ها توجه شود شامل موارد زیر است:

- تخریب و پوسته شدن مصالح لاینینگ یا سطح نمایان سینه‌کار؛
- افت ملات در مصالح لاینینگ؛
- تغییرشکل یا ترک‌خوردگی؛

- میزان ورود آب و مواد جامد؛

- اثرات شیمیایی و حرارتی.

در تونل‌های ویژه‌ای که حضور گاز خطرساز است، بهتر است یک برنامه برای ارزیابی گازها ترسیم و طراحی شود (بندهای ۱۵-۴ و ۱۵-۵ را ببینید).

یادآوری- اطلاعات درباره این موضوع در دستورالعمل واحد سلامت، ایمنی و محیط‌زیست و سایر منابع در دسترس هستند.

توصیه می‌شود قسمت‌هایی از لاینینگ تونل که دارای زوال و خرابی بیشتری هستند، تحت بازرسی و پایش دقیق‌تری قرار گیرند.

یادآوری ۱- علاوه بر فرآیندهای پایش عادی، فنون و ابزار ویژه‌ای که می‌تواند به کار برده شوند شامل موارد زیر هستند:

- بازرسی با استفاده از دوربین مدار بسته (CCTV)؛

- بازرسی نقاط پایش برای اندازه‌گیری صحیح تغییرشکل‌ها؛

- کرنش‌سنجهای؛

- مقطع عرضی زدن مانند فتوگرامتری^۱، فنون اندازه‌گیری لیزری؛

- نمونه‌برداری آب؛

- مطالعات ژئوفیزیکی مانند رادار نفوذ در زمین^۲، دمانگاری^۳.

یادآوری ۲- برای تحلیل و مدیریت داده‌های پروفیل، یک سامانه مبتنی بر رایانه می‌تواند مفید و مطلوب باشد.

یادآوری ۳- به جای این مرحله، می‌توان بعضی بررسی‌های دیگر ارایه شده در بند ۳-۲۶ را انجام داد.

۳-۲۶ آماده شدن برای نوسازی و تعمیر

۱-۳-۲۶ بررسی روزانه

توصیه می‌شود برای شناسایی جنبه‌های ویژه ساخت اصلی و کارهای موقت مرتبط مانند چاهها و گالری‌های دسترسی، تحقیقات مفصلی در مورد پیشینه پروژه انجام شود. این تحقیق هم‌چنین هر فرآیند ساخت بعدی یا اصلاحات انجام شده را مشخص می‌کند. اسنادی که توصیه می‌شود تهیه و مطالعه شوند شامل موارد زیر هستند:

- گزارش‌های ژئوتکنیکی و گزارش بررسی‌های برجا قبل از اجرای کار ساخت پروژه اصلی؛

- هر یادداشت معدن کاری؛

- گزارش‌های نوشته شده توسط مهندسین اولیه؛

۱- مبحث اندازه‌گیری و مساحی از روی عکس‌های هوایی (Photogrammetry)

2 - Ground Penetrating Radar (GPR)

3 - Thermography

- نقشه‌های کارهای اجرا شده، گزارش‌ها و دفاتر روزانه نگهداری شده توسط مهندسین مشاور اصلی مقیم در کارگاه؛
 - اوراق و نوشتة‌های مهندسین و گزارش‌های قدیمی‌تر؛
 - یادداشت‌های نگهداری شده توسط کتابخانه‌های محلی؛
 - پرونده سلامت و ایمنی.
- یادآوری- آیین‌نامه ساخت (طراحی و مدیریت) سال ۲۰۰۷ [۱] و بند ۴ را ببینید.

تهیه این گزارش‌ها و ترسیم‌ها ممکن است در طول زمانی طولانی انجام شده باشد، به‌طوری که در طول سال‌ها به آن‌ها نیازی نبوده است و ممکن است از مالک اصلی به مالکین بعدی انتقال داده شده باشد. با این وجود توصیه می‌شود برای پیدا کردن این اسناد هر تلاشی انجام شود، به خاطر این‌که این اسناد می‌توانند تا حدودی به عنوان جایگزینی برای بررسی‌های برجا در نظر گرفته شوند.

یادآوری- نقشه‌های کارهای اجرا شده به‌طور ویژه با ارزش هستند (اغلب آن‌ها به صورت میکروفیلم در آورده شده‌اند). علاوه بر این، اطلاعات بیشتری که از تحقیقات در مورد پیشینه محل به دست می‌آید، ممکن است برای بررسی‌های برجا بعدی کمتر مورد نیاز باشند (بند ۵ را ببینید).

۲-۳-۲۶ بررسی‌های برجا

توصیه می‌شود برای شناسایی شرایط زمین‌شناسی (اگر این موضوع شناسایی نشده است) و گستردگی حفره‌ها و نقص‌ها در پشت یا درون لاینینگ تونل، یک بررسی برجا انجام شود.

تعیین موقعیت و شرحی از حفرات پشت لاینینگ تونل حیاتی است و بهتر است انجام شود.

یادآوری- ممکن است در بعضی موارد، مثلاً برای بررسی یک پارچگی کلی لاینینگ تونل در ناحیه کاری پیشنهادی، یا این‌که آیا کف سازه‌ای اجرا شده است یا تعیین وضعیت رژیم آب زیرزمینی پشت لاینینگ تونل، به حفر گمانه‌های آزمایشی نیاز باشد.

از جمله فرآیندهایی که بهتر است بررسی شوند، معزه‌گیری و نمونه‌برداری از خاک، حفاری گمانه‌ها برای استفاده از آندوسکوپ‌ها^۱، پنجره‌های دستری^۲ و بررسی‌های ژئوتکنیکی یا فنون تصویربرداری^۳ هستند.

بهتر است برای شناسایی عیوب ذاتی و ماندگار در سازه‌های موجود، چاههای قدیمی و درزهای طولی بین کار در تونل‌های آجری قدیمی، دقت ویژه‌ای به خرج داده شود.

1 - Endoscopes

2 - Cutting Access Windows

3 - Imaging Techniques

۳-۳-۲۶ طراحی

فعالیت‌هایی که موجب انجام کارهای تعمیراتی در سازه می‌شود (مانند نشت آب، انتقال مواد جامد و اثرات عمومی هوازدگی)، ممکن است خود ویژگی‌های مهندسی زمین یا سازه را دستخوش تغییر کند و این موضوع می‌تواند بر رفتار سازه‌ای و ظرفیت باربری مجموعه زمین/سازه تاثیر بگذارد.

ممکن است خود عملیاتی که باید انجام شود، بار خود را به صورت موضعی یا بارگذاری گستردۀ بر روی سازه (مانند فشارهای روان‌ملات‌ریزی) تحمیل کند. حتی دخالت‌های خیلی کوچک مانند حفاری برای روان‌ملات‌ریزی، ممکن است بر رفتار سازه‌ای تاثیر داشته باشد. احتمالاً دخالت‌های بزرگ مانند نوسازی‌های جزئی، اثرات بزرگ‌تری خواهند داشت. توصیه می‌شود به منظور بررسی هرگونه تغییر ایجاد شده در زمین یا لاینینگ تونل، از زمانی که ساخته می‌شوند، طراحی سازه‌های موجود مورد ارزیابی قرار گیرد.

توصیه می‌شود فرضیات در نظر گرفته شده برای طراحی و محدودیت‌های اجرای کار، به وضوح در طرح سلامت و ایمنی بیان شوند و بهتر است پیمانکار از خطرها آگاه شود و قادر باشد کارهای موقتی مناسب و فرآیندهای اضطراری را طراحی کند.

۴-۳-۲۶ اطلاعاتی که باید در اسناد مناقصه وجود داشته باشد

توصیه می‌شود اطلاعات زیر برای وارد کردن در اسناد مناقصه، در دسترس باشند:

- نتایج هرگونه تحقیقات پیشینه محل یا تجربیات محلی مربوط؛
- نقشه‌های مطابق ساخت؛
- پروندهای سلامت و ایمنی برای کارهای پیشین؛
- گزارش‌های بررسی زمین؛
- تجربیات داخلی قبلی.

در صورتی که سامانه «مجوز شروع به کار» الزام کرده باشد، بهتر است جزئیات نیز وارد شود. بهتر است سایر مقدمات پیمانکاری در راستای تهیه اطلاعات مشابه باشند. اگر مشتری الزاماتی برای عملیات کاری و فرآیندهای ایمنی دارد، توصیه می‌شود این موارد در طرح سلامت و ایمنی تنظیم شوند.

۵-۳-۲۶ آماده‌سازی سامانه ایمن کار

توصیه می‌شود برای کار تونل‌سازی، یک توصیف دقیق از روش، که از طرح سلامت و ایمنی گرفته شده است، آماده شود.

بهتر است در مورد اختیارات قانونی و سایر بخش‌ها، به نحو مناسبی رایزنی شده و در صورت الزام در مورد آن‌ها توافق حاصل شود.

۴-۲۶ فرآیندهای داخل سایت برای نوسازی و تعمیر

۱-۴-۲۶ اسنادی که باید در سایت نگهداری شود

بهتر است پیمانکار اصلی این اطمینان را ایجاد کند که کلیه نمایندگان تمام طرفین دعوی در سایت، به اسناد زیر دسترسی داشته باشند:

- طرح سلامت و ایمنی و دستورات روش همراه با دسترسی به پروندهای سلامت و ایمنی؛
- نقشه‌های مطابق ساخت مربوطه؛
- جزیيات شرایط آخرین پیمايش‌ها؛
- گزارش بررسی سایت؛
- فرم‌های «مجوز شروع به کار» به‌طور مناسب؛
- بخش‌های مربوط از هرگونه حکم و قرارداد حق انشعاب‌ها و غیره.
- سایر گزارش‌ها، ترسیم‌ها و غیره، که در طول تحقیقات پیشینه محل به‌دست آمده است.

۲-۴-۲۶ فرآیندهای اضطراری

قبل از آغاز کار نوسازی و تعمیر، بهتر است به‌منظور بحث در مورد فرآیند اضطراری، جلسه‌ای بین کلیه طرفین برگزار شود (بند ۶ را ببینید). بهتر است در صورت نیاز جلسات بیشتر، در جریان کار برگزار شود.

۳-۴-۲۶ تهویه و آزمون‌هایی برای گازها

توصیه می‌شود تهویه مطابق بند ۱۵ انجام شود.

فرآیند تهویه طی ساخت، به‌طور مشابه برای نگهداری، نوسازی و تعمیر تونل‌ها قابل کاربرد است.
یادآوری ۱ - گازها، به‌خصوص متان، می‌تواند حفرات پشت لاینینگ تونل را پر کند یا به‌صورت حل‌شده درون آب‌های زیرزمینی به تونل وارد شود.

یادآوری ۲ - به تمهیدات مربوطه در «دستورالعمل در مورد خطرهای سلامت در کارهای با قرارگیری در معرض فاضلاب» توجه شود [۳۵].

۴-۴-۲۶ اقدام‌های پیشگیرانه در برابر آتش‌سوزی

بهتر است توصیه بندهای ۱۳ و ۱۴، به‌طور مشابه برای نگهداری، نوسازی و تعمیر تونل به‌کار برده شوند.

۵-۲۶ کار در چاهها

۱-۵-۲۶ عملیات بالابری

ممکن است برای بالا و پایین بردن قفسه‌های بازرسی، از جرثقیل‌ها استفاده شود اما توصیه می‌شود از این محفظه‌ها به عنوان سکوهای نگهدارنده کاری استفاده نشود. بهتر است برای جلوگیری از جابجایی‌های ناگهانی جرثقیل‌ها احتیاط شود.

یادآوری - توصیه می‌شود به آیین‌نامه عملیات و تجهیزات بالابری سال ۱۹۹۸، توجه شود [۴۲].

۲-۵-۲۶ محیط

به دنبال تکمیل کار انجام شده در داخل چاه و قبل از ورود دوباره، بهتر است برای اطمینان از ایمن بودن محیط داخل چاهها و تونل زیر آن، بررسی‌هایی انجام شود.

توصیه می‌شود جمع شدن آب و واریزه‌های حفاری بر روی لاینینگ موقتی و سطح پوشاننده کار یا سکوی کاری، تحت کنترل باشد.

یادآوری ۱ - بسته شدن چاه می‌تواند موجب تغییر هوای محیط داخل تونل شود و در نتیجه بهتر است برای انجام تهويه، در نظر گرفتن اثرات فشار هوا و تجهیزات فرار و غیره ملاحظاتی انجام شود.

یادآوری ۲ - این موضوع (بسته شدن چاه) هم‌چنین می‌تواند چاه را به یک فضای محدود شده تبدیل کند.

۳-۵-۲۶ کنترل دستری

بهتر است در بالای چاه به منظور کنترل دستری و جلوگیری از ریزش مصالح و واریزه‌ها بر روی پرسنل در حال کار در چاه، موانع با نقاط دستری اختصاصی نصب شوند.

برای کار تحت زمان محدود شده در داخل چاه، بهتر است دستری به تونل در پایین چاه محدود شده باشد.

یادآوری ۱ - در کارهای بلندمدت یا در مواردی که ماهیت عملیات در حال انجام ایجاب کند، ممکن است لازم شود در داخل چاه، پوشش‌های موقتی، سطوح و سکوی کاری نصب شود. این کار عموماً ناحیه داخل تونل در کف چاه را محافظت می‌کند.

یادآوری ۲ - در جایی که مناسب است می‌توان برای دستری در داخل چاه، از روش‌های دستری به وسیله طناب استفاده کرد. اطلاعات مهمی در «دستورالعمل استفاده از روش‌های دستری با استفاده از طناب برای اهداف صنعتی» در انتشارات IRATA ارایه شده است.

۴-۵-۲۶ سکوی‌های کاری

بهتر است هر سکوی کاری یک سقف محکم دارای یک دریچه داشته باشد.

یادآوری - این کار موجب می‌شود در مقابل شرایط خیس و سقوط اشیا کوچک به پایین چاه محافظت صورت گیرد.

توصیه می‌شود هنگام استفاده، سکوی کاری به دیوارهای چاه محکم شده و حداکثر ظرفیت بارگذاری سکو به طور واضح نمایش داده شود. بهتر است سامانه‌های آویزان سکو برای تحمل سنگین‌ترین بارگذاری که سکو تجربه خواهد کرد، طراحی شود.

بهتر است تمهیدات کمکی فرار از سکو، فراهم شود. توصیه می‌شود در تمامی اوقات راههای ارتباطی به سکوی کاری یا محفظه‌های بازرگانی، برقرار باشد. توصیه می‌شود در صورت امکان، ارتباطات به دو صورت گفتاری و دیداری باشد.

توصیه می‌شود برای کار روی سکو، طناب‌های مهاری ایمنی انفرادی پوشیده شود، مگر این‌که سکوی کاری به‌طور مناسب محافظت و محکم شده باشد.

۶-۲۶ کارهای موقتی

قبل از شروع کار در سایت، توصیه می‌شود پیمانکار برای تایید کلیه جزئیات کارهای موقتی از جمله روش‌های کاری پیشنهادی، با مشاورین حرفه‌ای کارفرما مشورت کند.

۷-۲۶ ثبت کارها

بهتر است کلیه کارهای انجام شده در مورد سلامت و ایمنی یادداشت و ثبت شوند؛ به گونه‌ای‌که این اسناد برای بازرگانی و کارهای تعمیراتی بعدی در دسترس باشند.

پیوست الف
(اطلاعاتی)
کتابنامہ

- [1] GREAT BRITAIN. The Construction (Design and Management) Regulations 2007. London: The Stationery Office.
- [2] GREAT BRITAIN. The Work in Compressed Air Regulations 1996. London: The Stationery Office.
- [3] BTS/ABI. Joint code of practice for risk management of tunnel works in the UK. London: BTS/ABI, 2003.
- [4] GREAT BRITAIN. Management of Health and Safety at Work Regulations 1999. London: The Stationery Office.
- [5] HSE. Health surveillance at work [HSG61]. Bootle: HSE, 1999.
- [6] GREAT BRITAIN. The Control of Noise at Work Regulations 2005. London: The Stationery Office.
- [7] GREAT BRITAIN. The Control of Vibration at Work Regulations 2005. London: The Stationery Office.
- [8] GREAT BRITAIN. The Manual Handling Operations Regulations 1992. London: The Stationery Office.
- [9] SITE INVESTIGATION STEERING GROUP. Site investigation in construction – Part 3: specification for ground investigation. London: ICE, 1993.
- [10] CIRIA. CIRIA Research Project RP 732 – A client's guide for assessing the potential risks posed by Unexploded Ordnance (UXO). London: CIRIA, 2007.
- [11] CIRIA. Report C562 – Geophysics in engineering investigations. London: CIRIA, 2002.
- [12] GREAT BRITAIN. The Health and Safety at Work etc. Act 1974 (Application to Environmentally Hazardous Substances) (Amendment) Regulations 2009. London: The Stationery Office.
- [13] GREAT BRITAIN. The Reporting of Injuries, Diseases and Dangerous Occurrences Regulations 1995. London: The Stationery Office.
- [14] GREAT BRITAIN. The Health and Safety (First Aid) Regulations 1981. London: The Stationery Office.
- [15] HSE. The Health and Safety (First-Aid) Regulations 1981 – Approved code of practice and guidance [L74]. Bootle: HSE, 2009.
- [16] HSE. Safety of new Austrian tunnelling method (NATM) tunnels – A review of sprayed concrete lined tunnels with particular reference to London clay. Bootle: HSE, 1996.
- [17] ICE. Sprayed concrete linings (NATM) for tunnels in soft ground. London: ICE, 1996.
- [18] PJA/BTS/HSE. Tunnelling and pipejacking – Guidance for designers (internal dimensions for pipejacks and tunnels below 3 m diameter and indicative drive lengths). www.pipejacking.org
- [19] PIPE JACKING ASSOCIATION (PJA). An introduction to pipe jacking and microtunnelling design. London: PJA, 2007.
- [20] MARSHALL ROBINSON ROE. Guide to best practice for the installation of pipe jacks and microtunnels. London: PJA, 1995.
- [21] D. ALLENBY and J.W.T. ROPKINS. Jacked box tunnelling – Using the Ropkins system, paper presented at the Institution of Mechanical Engineers, London, 17 October 2007.

- [22] BTS/ICE. Closed-face tunnelling machines and ground stability – A guideline for best practice. London: Thomas Telford, 2005.
- [23] HSE. The risk to third parties from bored tunnelling in soft ground (RR 453). Bootle: HSE, 2006.
- [24] BTS/ICE. Tunnel lining design guide. London: BTS/ICE, 2004.
- [25] HSE. A guide to the Work in Compressed Air Regulations 1996 [L96]. Bootle: HSE, 1996.
- [26] GREAT BRITAIN. The Pressure Systems Safety Regulations 2000. London: The Stationery Office.
- [27] GREAT BRITAIN. The Explosives Act 1875 etc. Regulations (as amended) 1984. London: HMSO.
- [28] GREAT BRITAIN. The Equipment and Protective Systems Intended for Use in Potentially Explosive Atmospheres Regulations 2005 (as amended). London: The Stationery Office.
- [29] GREAT BRITAIN. Mines and Quarries Act 1954. London: HMSO.
- [30] GREAT BRITAIN. Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations 2002. London: The Stationery Office.
- [31] FPA. Fire prevention on construction sites – The joint code of practice on the protection from fire of construction sites and buildings undergoing renovation. Moreton in Marsh: FPA, 2010.
- [32] HSE. The safe use of compressed gases in welding, flame cutting and allied processes [HSG139]. Bootle: HSE, 1997.
- [33] GREAT BRITAIN. Regulatory Reform (Fire Safety) Order 2005. www.legislation.gov.uk
- [34] GREAT BRITAIN. The Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2004. London: The Stationery Office.
- [35] HSE. Workplace exposure limits [EH40]. Bootle: HSE, 2005.
- [36] GREAT BRITAIN. The Ionising Radiation (Medical Exposure) (Amendment) Regulations 1999. London: The Stationery Office.
- [37] HSE. Work with ionising radiation [L121]. Bootle: HSE, 2000.
- [38] GREAT BRITAIN. The Control of Asbestos Regulations 2006. London: The Stationery Office.
- [39] GREAT BRITAIN. The Personal Protective Equipment at Work Regulations 1992. London: The Stationery Office.
- [40] GREAT BRITAIN. The Health and Safety (Safety Signs and Signals) Regulations 1996. London: The Stationery Office.
- [41] GREAT BRITAIN. The Supply of Machinery (Safety) Regulations 2008. London: The Stationery Office.
- [42] GREAT BRITAIN. The Lifting Operations and Lifting Equipment Regulations 1998. London: The Stationery Office.
- [43] GREAT BRITAIN. The Provision and Use of Work Equipment Regulations 1998. London: The Stationery Office.
- [44] GREAT BRITAIN. The Work at Height Regulations 2005 (as amended). London: The Stationery Office.
- [45] HSE. Using electric storage batteries safely [INDG139]. Bootle: HSE, 2006.
- [46] ORGANISATION INTERNATIONALE DE MÉTROLOGIE LÉGALE (OIML). Document OIML R 50-1 –Continuous Totalizing Automatic Instruments (Belt Weigher) – Part 1: Metrological and Technical Requirements – Tests. Paris: OIML, 1997.

- [47] EUROPEAN COMMISSION. Mechanical engineering – Emissions from non-road mobile machinery [97/68EC]. Brussels: EUROPEAN COMMISSION, 1997.
- [48] GREAT BRITAIN. The Electricity at Work Regulations 1989. London: HMSO.
- [49] HSE. Electricity at work – Safe working practices [HSG85]. Bootle: HSE, 2003.
- [50] HSE. The use of electricity in mines – Electricity at Work Regulations 1989 [L128]. Bootle: HSE, 2001.
- [51] ELLIOTT J. Guidance Note 4 – Protection against fire. Stevenage: IEE, 2009.
- [52] IEC. Safety of laser products – Part 1: Equipment classification and requirements. Geneva: IEC, 2001.
- [53] HSE. Guidance on the health hazards of work involving exposure to sewage. Bootle: HSE, 2006.
- [54] Industrial Rope Access Trade Association (IRATA). Guidelines on the use of rope access methods for industrial purposes. Bordon: IRATA, 2000.
- [55] BTS. Occupational exposure to nitrogen monoxide in a tunnel environment – Best practice guide. London: BTS, 2008.
- [56] BRITISH DRILLING ASSOCIATION. Codes of safe drilling practice. Daventry: British Drilling Association, 2002.
- [57] BRITISH DRILLING ASSOCIATION. Guidance notes for the protection of persons from rotating parts and ejected or falling material involved in the drilling process. Daventry: British Drilling Association, 2000.
- [58] FEDERATION OF PILING SPECIALISTS/HSE. Notes for the guidance on PUWER (Regulations 11 and 12) in relation to guarding and cleaning of augers on piling operations. Beckenham: Federation of Piling Specialists, 2010.
- [59] SITE INVESTIGATION STEERING GROUP. Site investigation in construction – Guidelines for the safe investigation by drilling of landfills and contaminated land. London: Thomas Telford, 1993.
- [60] CIRIA. Tunnels – Inspection, assessment and maintenance [RP712]. London: CIRIA, 2004.
- [61] BS 5228-1, Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites –Part 1: Noise
- [62] BS 5228-2, Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Part 2: Vibration
- [63] BS 5266-1, Emergency lighting – Part 1: Code of practice for the emergency lighting of premises
- [64] BS 5667 (all parts), Specification for continuous mechanical handling equipment
- [65] BS 5958-1, Code of practice for control of undesirable static electricity – Part 1: General considerations
- [66] BS 6133, Code of practice for safe operation of lead-acid stationary batteries
- [67] BS 6841, Guide to measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock
- [68] BS 8081, Code of practice for ground anchorages
- [69] BS EN 458, Hearing protectors – Recommendations for selection, use, care and maintenance – Guidance document
- [70] BS EN 618, Continuous handling equipment and systems – Safety and EMC requirements for equipment for mechanical handling of bulk materials except fixed belt conveyors
- [71] BS EN 620, Continuous handling equipment and systems – Safety and EMC requirements for fixed belt conveyors for bulk materials

- [72] BS EN 1127-1, Explosive atmospheres – Explosion prevention and protection – Part 1: Basic concepts and methodology
- [73] BS EN 13157, Cranes – Safety – Hand powered lifting equipment
- [74] BS EN 60079-0, Explosive atmospheres – Part 0: Equipment – General requirements
- [75] BS EN 60079-1, Explosive atmospheres – Part 1: Equipment protection by flameproof enclosures “d”
- [76] BS EN 60079-7, Explosive atmospheres – Part 7: Equipment protection by increased safety “e”
- [77] BS EN 60079-11, Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety “i”
- [78] BS EN 60204-1, Safety of machinery – Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements
- [79] BS EN 62305 (all parts), Protection against lightning
- [80] BS EN ISO 11612, Protective clothing – Clothing to protect against heat and flame (ISO 11612:2008)
- [81] BS EN ISO 13850, Safety of machinery – Emergency stop – Principles for design (ISO 13850:2006)
- [82] BS 8500-1, Concrete. Complementary British Standard to BS EN 206-1. Method of specifying and guidance for the specifier
- [83] BS 8500-2, Concrete. Complementary British Standard to BS EN 206-1. Specification for constituent materials and concrete
- [84] BS 6708:1998 Flexible cables for use at mines and quarries
- [85] BS EN 996:1995+A3:2009: Piling equipment. Safety requirements