

**Earthworks —
Part 1: Principles and general rules**

عملیات خاکی –
قسمت ۱: اصول و قواعد کلی

ویرایش اول
خرداد ۱۴۰۲

پیش‌گفتار صنعت نفت

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس‌کننده دیدگاه‌های وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز، فرآورده‌های نفتی و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی و داخلی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی به طور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها به صورت شماره‌گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، به شکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آن‌ها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه‌ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آن‌ها را تأمین می‌نماید تهیه و پیوست شوند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرار گرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استانداردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آن‌ها ملاک عمل می‌باشد.

در اجرای قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد ابلاغی ریاست محترم جمهوری، این استاندارد در تاریخ ۱۴۰۲/۰۳/۲۳ با شماره (INSO 23214-1) توسط سازمان ملی استاندارد ملی اعلام گردید.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادهای اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادهای دریافتی در کارگروه‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۷

استانداردها و ضوابط فنی

کدپستی: ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱

تلفن: ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵

دورنگار: ۸۸۸۱۰۴۶۲

پست الکترونیک: Standards@nioc.ir

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ شده در دی ماه ۱۳۹۶، وظیفه تعیین، تدوین، به روزرسانی و نشر استانداردهای ملی را بر عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود 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، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیردولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که در سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می شود به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری کند. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استانداردهای کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سامانه های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهی نامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، واسنجی وسایل 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 Legals)

4- Contact point

5- Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«عملیات خاکی – قسمت ۱: اصول و قواعد کلی»

رئیس:سمت و/یا محل اشتغال:

قهرمانی، ارسلان

(دکتری مهندسی عمران – ژئوتکنیک)

عضو هیئت علمی دانشگاه شیراز

دبیر:

شکرزاده، امیررضا

(دکتری مهندسی عمران – سازه)

شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

افشاریان زاده، امید

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه)

شرکت مهندسی و توسعه نفت

اکبری گرکانی، امیر

(دکتری مهندسی عمران – ژئوتکنیک)

پژوهشگاه نیرو

بزمی، محمد

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران – ژئوتکنیک)

شرکت طراحی و مهندسی صنایع پتروشیمی

تمدن، ابراهیم

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه)

شرکت طراحی و مهندسی صنایع پتروشیمی

توتونچی، علیرضا

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران – مهندسی برنامه‌ریزی

نظام فنی و اجرایی کشور

حمل و نقل)

حکیم‌وند، وحید

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه)

شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران

زینالی، احمد

(دکتری مهندسی عمران – ژئوتکنیک)

آزمایشگاه مکانیک خاک تهران

سلامت، وحید

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران – مدیریت مهندسی)

مهندسين مشاور آسیا پیشرو قرن

سلیلی، سهند

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران – سازه)

شرکت شالود پی

سمت و/یا محل اشتغال:

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت

مهندسین مشاور سازه

شرکت مهندسی و توسعه نفت

مهندسین مشاور سازه

شرکت ملی مهندسی و ساختمان نفت ایران

سازمان ملی استاندارد ایران

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

عبادی، مهدی

(دکتری مهندسی عمران - ژئوتکنیک)

علوی، عرفان

(دکتری مهندسی عمران - زلزله)

کمال، زهرا

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه)

محمد نژاد، غلامحسین

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه)

مهری، آمنه

(کارشناسی ارشد مهندسی عمران - ژئوتکنیک)

ویراستار:

فلاح، عباس

(کارشناسی ارشد زمین‌شناسی - زمین‌شناسی اقتصادی)

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ط	پیش‌گفتار
ی	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲	۲ مراجع الزامی
۳	۳ اصطلاحات و تعاریف، کوتاه‌نوشت‌ها و نمادها
۳	۳-۱ تعاریف
۱۱	۳-۲ کوتاه‌نوشت‌ها و نمادها
۱۴	۴ اصول طراحی و اجرای کارهای خاکی
۱۴	۴-۱ کلیات
۱۴	۴-۲ مراحل پروژه‌های عملیات خاکی
۱۵	۴-۳ دستورالعمل اجرای کارها
۱۷	۴-۴ رابطه بین عملیات خاکی و طراحی سازه‌های خاکی
۱۹	۴-۵ توسعه پایدار و ملاحظات محیط زیستی کارهای خاکی
۲۰	۴-۶ مدیریت ریسک
۲۱	۴-۷ انواع فرایندهای عملیات خاکی
۲۱	۵ بررسی ویژه ساختگاه، مواد و مصالح
۲۱	۵-۱ اطلاعات مورد نیاز برای طراحی عملیات خاکی
۲۲	۵-۲ سازماندهی شناسایی زمین
۲۴	۵-۳ استفاده از سامانه‌های طبقه‌بندی
۲۶	۶ طراحی عملیات خاکی برای مصالح پرکننده
۲۶	۶-۱ مقدمه
۲۷	۶-۲ رویه طراحی
۳۳	۶-۳ انتخاب خصوصیات مواد و مصالح پرکننده و فرایند تراکم
۴۳	۶-۴ جزئیات قسمت‌ها، مصالح و سازه‌های خاکی ویژه
۵۲	۷ طراحی عملیات خاکی در خاکبرداری‌ها
۵۲	۷-۱ کلیات
۵۳	۷-۲ مصالح درگیر در عملیات خاکی
۵۳	۷-۳ هندسه
۵۴	۷-۴ زهکشی

صفحه	عنوان
۵۴	۵-۷ پایداری کلی
۵۴	۶-۷ خصوصیات مرتبط اساس خاکبرداری (بستر)
۵۵	۸ طراحی کارهای خاکی متشکل از لایروبی و جای گذاری هیدرولیکی آکند
۵۶	۹ طراحی عملیات خاکی برای انباشت هیدرولیکی ضایعات
۵۷	۱۰ زهکشی کارهای خاکی
۵۷	۱-۱۰ زهکشی برای جمع آوری آب
۶۰	۲-۱۰ حفاظت شیبها در برابر فرسایش
۶۰	۱۱ زهکشی زیر سطحی
۶۰	۱-۱۱ هدف
۶۱	۲-۱۱ روشها
۶۱	۳-۱۱ شیب آب
۶۳	۴-۱۱ طرح زهکشی
۶۵	۱۲ بهینه سازی طراحی پروژه عملیات خاکی
۶۶	۱۳ ویژگی های فنی در عملیات خاکی
۶۶	۱-۱۳ کلیات
۶۸	۲-۱۳ ویژگی های محصول نهایی
۶۹	۳-۱۳ ویژگی های روش
۷۰	۴-۱۳ ویژگی های عملکردی
۷۱	۱۴ نظارت بر عملیات خاکی و پایش عملکرد سازه خاکی
۷۱	۱-۱۴ مقدمه
۷۱	۲-۱۴ نیازها و فنون پایش و نظارت عملیات خاکی
۷۳	۳-۱۴ بررسی عملکرد سازه خاکی
۷۳	۱۵ استفاده از تجربه ملی و ضوابط بدون تعارض
۷۴	پیوست الف (آگاهی دهنده) تعریف هندسه کارهای خاکی و سازه های خاکی
۷۵	پیوست ب (آگاهی دهنده) آیین کار ضوابط ملی کشور اتریش
۷۶	پیوست پ (آگاهی دهنده) آیین کار ضوابط ملی کشور فرانسه
۷۷	پیوست ت (آگاهی دهنده) آیین کار ضوابط ملی کشور آلمان
۷۸	پیوست ث (آگاهی دهنده) آیین کار ضوابط ملی کشور نروژ
۷۹	پیوست ج (آگاهی دهنده) آیین کار ضوابط ملی کشور اسپانیا
۸۰	پیوست چ (آگاهی دهنده) آیین کار ضوابط ملی کشور سوئد
۸۱	پیوست ح (آگاهی دهنده) آیین کار ضوابط ملی کشور بریتانیا

صفحه	عنوان
۸۲	پیوست خ (آگاهی دهنده) تغییرات اعمال شده در این استاندارد در مقایسه با استاندارد منبع
۸۴	کتابنامه

پیش‌گفتار

استاندارد «عملیات خاکی – قسمت ۱: اصول و قواعد کلی» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی/منطقه‌ای به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد پ، بند ۷، استاندارد ملی ایران شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در هزاروسومین اجلاس کمیته ملی استاندارد مصالح و فراورده‌های ساختمانی مورخ ۱۴۰۲/۰۳/۲۳ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۷ قانون تقویت و توسعه نظام استاندارد، ابلاغ‌شده در دی ماه ۱۳۹۶، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران – ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدیدنظر در کمیسیون فنی مربوط، مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد منطقه‌ای زیر به روش «ترجمه تغییر یافته» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی همراه با اعمال تغییرات با توجه به مقتضیات کشور است:

EN 16907-1: 2018, Earthworks — Part 1: Principles and general rules

مقدمه

این استاندارد یک قسمت از مجموعه استاندارد ملی ایران شماره ۲۳۲۱۴ با عنوان «عملیات خاکی» است. سایر قسمت‌های این استاندارد عبارتند از:

- قسمت ۲: طبقه بندی مواد و مصالح؛
- قسمت ۳: روش های اجرایی ساخت و ساز – آیین کار؛
- قسمت ۴ : بهبود خاک با آهک و/یا پیوندها هیدرولیکی – آیین کار؛
- قسمت ۵ : واپایش کیفیت – راهنما؛
- قسمت ۶ : عملیات خاکی احیا زمین با استفاده از آکند هیدرولیکی
- Part 7: Hydraulic placement of extractive waste.

عملیات خاکی – قسمت ۱: اصول و قواعد کلی

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، ارائه تعاریف، اصول و قواعد کلی برای برنامه‌ریزی، طراحی و ویژگی‌های فنی عملیات خاکی است. این استاندارد، قسمت‌های دیگر را نیز معرفی می‌کند، که همراه با این قسمت کاربرد دارند.

عملیات خاکی یک فرایند مهندسی است که هدف آن ایجاد سازه‌های خاکی از طریق تغییر هندسه سطح زمین برای ساخت‌وساز یا فعالیت‌های دیگر است. زمینه‌های کاربردی عملیات خاکی با موارد زیر مرتبط است:

- زیرساخت‌های حمل و نقل (جاده‌ها و بزرگراه‌ها، راه‌آهن، آبراه‌ها، فرودگاه‌ها)؛
- بستری برای ساختمان‌های صنعتی، تجاری و مسکونی؛
- مهندسی آب، محافظت در مقابل سیل و حفاظت از ساحل؛
- بندرگاه‌ها و مناطق فرودگاهی، از جمله ساخت خاکریزها در آب؛
- خاکریزها و بندهای رودخانه‌های و خاکریزهای دریایی برای احیای زمین و ایجاد اراضی جدید؛
- سدهای خاکی و سنگی؛
- خاکریز^۱های در خشکی، ساخته‌شده بوسیله آکندن هیدرولیک (خاکریزی هیدرولیک)؛
- موانع سر و صدا، مانع دیداری و سایر سازه‌های خاکی غیر باربر؛
- خاکریزهای محوطه‌سازی؛
- پُر کردن معادن و معادن روباز؛
- سدهای باطله^۲.

موارد بالا با نیازی که به کاربرد از مواد و مصالح طبیعی در دسترس یا بازیافتی و استفاده درست از آن‌ها به‌منظور دستیابی به خواص از پیش تعیین‌شده وجود دارد، مشخص می‌شوند.

این استاندارد برای انواع سازه‌های خاکی به‌جز موارد ذکر شده در زیر کاربرد دارد:

1- Fill

2- Tailing dams

- برخی از انواع خاص کارها مانند اجرای ترانشه‌ها و عملیات‌های خاکی در حجم‌های کوچک ممکن است با استفاده از قوانین ساده یا خاص سازمان‌دهی شوند؛
 - برخی از سازه‌ها مانند بندها و سدها که به یک عملیات خاکی دارای الزامات خاص طراحی و اجرا نیاز دارند، ممکن است فراتر از قواعد این استاندارد باشند.
- این استاندارد در بهسازی خاک با استفاده از روش‌هایی مانند شمع‌گذاری، تزریق پر فشار گروت^۱، اختلاط عمیق خاک، زهکش‌های قائم یا ستون‌های سنگی در زیر سازه خاکی، کاربرد ندارد.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به‌صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مراجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است:

2-1 EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical design — Part 1

2-2 EN 1997-2, Eurocode 7: Geotechnical design — Part 2

2-3 EN 16907-2, Earthworks — Part 2: Classification of materials

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۲-۲۳۲۱۴: سال ۱۴۰۱، عملیات خاکی - قسمت ۲: طبقه‌بندی مواد و مصالح با استفاده از استاندارد EN 16907-2: 2018 تدوین شده است.

2-4 EN 16907-3, Earthworks — Part 3: Construction procedures

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۳-۲۳۲۱۴: سال ۱۴۰۱، عملیات خاکی - قسمت ۳: روش‌های اجرایی ساخت‌وساز - آیین کار با استفاده از استاندارد EN 16907-3: 2018 تدوین شده است.

2-5 EN 16907-4, Earthworks — Part 4: Soil treatment with lime and/or hydraulic binders

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۴-۲۳۲۱۴: سال ۱۴۰۱، عملیات خاکی - قسمت ۴: بهبود خاک با آهک و/یا پیوندهای هیدرولیکی - آیین کار با استفاده از استاندارد EN 16907-4: 2018 تدوین شده است.

2-6 EN 16907-5, Earthworks — Part 5: Quality control

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۵-۲۳۲۱۴: سال ۱۴۰۲، عملیات خاکی - قسمت ۵: عملیات خاکی - قسمت ۵: واپایش کیفیت - راهنما با استفاده از استاندارد EN 16907-5: 2018 تدوین شده است.

2-7 EN 16907-6, Earthworks — Part 6: Land reclamation earthworks using dredged hydraulic fill

1- Jet grouting

یادآوری - استاندارد ملی ایران شماره ۶-۲۳۲۱۴: سال ۱۴۰۲، عملیات خاکی - قسمت ۶: علیات خاکی - قسمت ۶: عملیات خاکی احیای زمین با استفاده از آکند هیدرولیکی لایروبی شده - راهنما با استفاده از استاندارد EN 16907-6: 2018 تدوین شده است.

2-8 EN 16907-7, Earthworks — Part 7: Hydraulic placement of extractive waste

۳ اصطلاحات و تعاریف، کوتاه‌نوشت‌ها و نمادها

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف، کوتاه‌نوشت‌ها و نمادهای زیر به کار می‌رود^۱:

۱-۳ تعاریف

۱-۱-۳

محتوای هوای خاک

air void content

نسبت حجم هوا به کل حجم خاک است.

۲-۱-۳

پیونده

binder

فراورده یا ترکیبی از فراورده‌هایی که اگر با یک ماده مخلوط شود، باعث اصلاح کوتاه‌مدت یا بلندمدت خواص مواد و مصالح می‌شوند.

۳-۱-۳

حجم افزایی

bulking

تغییر حجم توده خاک به دلیل دست خوردگی است (به‌طور معمول تغییر افزایش حجم هنگام خاکبرداری).

۴-۱-۳

لایه پوشش نهایی

capping layer

لایه انتقالی^۲ قسمتی از ناحیه بالایی آکند (خاکریز) و با مشخصه‌های ویژه است که در زیر روسازه^۱ قرار می‌گیرد. لایه پوشش نهایی قسمتی از سازه خاکی است.

۱- اصطلاحات و تعاریف به کار رفته در استانداردهای ISO و IEC در وب‌گاه‌های <http://www.iso.org/obp> و <http://www.electropedia.org> قابل دسترسی است.

2- Transition layer

۵-۱-۳

طبقه‌بندی**classification**

تعریف طبقه‌ها (دسته‌ها) و نسبت دادن هر کدام از این طبقه‌ها به مواد با خصوصیات مشابه برای عملیات خاکی است.

۶-۱-۳

تراکم**compaction**

تراکم مواد و مصالح پرکننده به وسیله فرایند مکانیکی، برای رسیدن به خصوصیات تعیین شده است.

۷-۱-۳

تلاش تراکمی**compactive effort**

سنجه‌ای کلی جهت ارزیابی فشار فیزیکی اعمال شده برای تراکم یک لایه از آکند، که منعکس کننده: جرم غلتک بر مترمربع، تعداد دفعات عبور، سرعت غلتک، فرکانس لرزش و ضخامت لایه است.

۸-۱-۳

خاکبرداری**cut or cutting**

سازه خاکی^۲ با سطوح خطی که به وسیله عملیات خاکبرداری شکل گرفته است

۹-۱-۳

درجه تراکم آکند (خاکریز)**degree of compaction (of fill)**

نسبت چگالی خشک آکند متراکم درجا به بیشینه چگالی خشک حاصل از یک آزمون استاندارد تراکم آزمایشگاهی است.

۱۰-۱-۳

درجه اشباع**degree of saturation**

نسبت حجم آب منافذ به حجم حفره‌ها است.

1- Superstructure

2- linear earth-structure

۱۱-۱-۳

توصیف**description**

شناسایی و نام‌گذاری یک ماده و مصالح معین و خصوصیات مکانیکی و فیزیکی آن که به اهداف عملیات خاکی مرتبط هستند

۱۲-۱-۳

طراحی سازه خاکی**design of earth-structure**

تعریف و طراحی یک سازه خاکی تحت الزامات ژئوتکنیکی برای تأمین عملکرد مورد نیاز آتی است.

۱۳-۱-۳

طراحی عملیات خاکی**design of earthworks**

تعریف فرایند اجرایی احداث یک سازه خاکی مشخص است.

۱۴-۱-۳

لایروبی**dredging**

انجام فعالیت یا عملیات خاکبرداری که معمولاً حداقل قسمتی از آن در زیر آب، در دریا‌های کم‌عمق یا مناطق آب شیرین با هدف جمع‌آوری رسوبات کف و قرار دادن آن‌ها در مکان دیگری انجام می‌شود.

۱۵-۱-۳

چگالی خشک**dry density**

جرم ذرات جامد تقسیم بر حجم کل نمونه است.

۱۶-۱-۳

سازه خاکی**earth-structure**

نوعی از سازه‌های ساخته‌شده از خاک، سنگ، فراورده‌های جانبی یا مواد بازیافتی، ناشی از عملیات خاکی (خاکبرداری، خاکریزی، پُر کردن) در مهندسی عمران است.

۱۷-۱-۳

عملیات خاکی

earthworks

نوعی از عملیات در مهندسی عمران که هندسه سطح زمین را با ایجاد سازه‌های خاکی پایدار و با دوام تغییر می‌دهد.

۱۸-۱-۳

پیمانکار عملیات خاکی

earthworks constructor

شخص یا سازمانی که مسئول اجرای عملیات خاکی است.

۱۹-۱-۳

طراح عملیات خاکی

earthworks designer

شخص یا سازمانی که مسئول طراحی عملیات خاکی است.

۲۰-۱-۳

خاکریز

embankment

نام مشترک برای یک سازه خاکی که با فرایند پُر کردن تشکیل یک ساختار خاکی خودایستا را می‌دهد.

۲۱-۱-۳

ویژگی‌های فنی محصول نهایی

end product specification

ویژگی‌های مورد نیاز برای انجام کارهای خاکی جهت دستیابی به معیارهای مهندسی آکند متراکم است.

۲۲-۱-۳

خاکبرداری

excavation

اصطلاح عمومی که هم برای فرایند خاکبرداری از زمین و هم برای تغییر حاصل‌شده در سطح زمین یا برای خاکبرداری موقت یا سازه خاکی دائمی استفاده می‌شود.

۲۳-۱-۳

ضایعات استخراجی

extractive waste

ضایعات معدنی حاصل از عملیات استخراج مواد معدنی را می‌گویند.

۲۴-۱-۳

آکند

fill

اصطلاحی با معنایی جامع در این استاندارد برای توصیف تمام سازه‌های خاکی تشکیل شده به واسطه قرار دادن مصالح خاکریز به صورت کنترل شده برای یک هدف مهندسی (شامل خاکریز، پُر کردن (دراکنده)^۱، سکو و غیره) به کار می‌رود.

۲۵-۱-۳

مصالح آکندی

fill material

مصالح مورد استفاده برای ساخت یک آکند (خاکریز) است.

۲۶-۱-۳

ناحیه آکند

fill zone

قسمت‌های مختلف یک آکند (یا قسمتی از یک سازه خاکی)، مانند بنیان (بستر)^۲، هسته^۳، شانه‌ها^۴ و ناحیه بالایی است.

۲۷-۱-۳

آکندن

filling

فرایند قرار دادن مصالح آکند برای احداث یک سازه خاکی موقت یا دائمی است.

۲۸-۱-۳

سطح تشکیل (تراز پایانی کار)

formation level

سطح آماده شده که بر آن خاکریز و یا روسازه احداث می‌شود.

-
- 1- Infill
 - 2- Base
 - 3- Core
 - 4- Shoulders

۲۹-۱-۳

آکندن هیدرولیک (خاکریزی هیدرولیک)**hydraulic fill**

ریختن مواد و مصالح در شکل مایع، به صورت مخلوطی از ذرات خاک و آب، به روشی آگاهانه به طوری که ذرات خاک به عنوان رسوب جمع می شوند و با قرار گرفتن مقادیر بیشتری خاکریز در بالا، متراکم می شوند تا توده آکند را ایجاد کنند.

۳۰-۱-۳

در آکنده**infill**

سازه خاکی که با پُر کردن حفره یا فضای خالی به روشی کنترل شده برای تشکیل توده ای از آکند مهندسی ایجاد می شود که خودایستا نیست (از جمله پُر کردن محل های خاکبرداری شده، پُر کردن پشت یک خاکریز برای اهداف احیای زمین و ایجاد اراضی جدید، پُر کردن معدن و غیره).

۳۱-۱-۳

مواد و مصالح**materials**

خاک ها، سنگ ها، فراورده های جانبی صنعتی و مواد معدنی بازیافتی مورد استفاده در عملیات خاکی برای ساخت سازه های خاکی. اصطلاح مواد در این استاندارد، چسباننده ها، ژئوسنتتیک ها و دیگر موادی که با نام خود تعیین شده اند را شامل نمی شود.

۳۲-۱-۳

تشکی شدن**mattressing**

رفتاری که در خاک هایی که در هنگام تراکم، بیش از حد مرطوب باشند ایجاد می شود و این رفتار منجر به تشکیل موج، ایجاد بی ثباتی در محل تراکم و جلوگیری از تراکم بیشتر می شود.

۳۳-۱-۳

چگالی خشک بیشینه**maximum dry density**

بیشینه مقدار چگالی خشک به دست آمده در آزمون تراکم مرجع (پروکتور یا پروکتور اصلاح شده، تراکم چکش ارتعاشی^۱ یا هر آزمون تراکم دیگر) است. این مقدار همان درصد رطوبتی است که به عنوان مقدار درصد رطوبت بهینه نیز شناخته می شود.

۳-۱-۳۴

ویژگی های روش

method specification

ویژگی های فنی مورد نیاز برای احداث و قرار دادن سازه های خاکی با استفاده از مواد و مصالح مشخص، انواع ویژه تجهیزات و روش ها است.

۳-۱-۳۵

خاک یا سنگ طبیعی

natural soil or rock

خاک یا سنگی که در موقعیت ژئوتکنیکی اولیه خود است یا خاکبرداری شده است، اما به غیر از فرایندهای عملیات خاکی مانند خاکبرداری، غربالگری و خرد کردن، خشک کردن یا فرایندهای توصیف شده در این استاندارد توسط فعالیت های انسانی دچار دخل و تصرف و تغییری نشده است.

۳-۱-۳۶

آکند غیرسازه ای

non-structural fill

آکندی که قرار نیست تکیه گاه هیچ زیرساختی باشد.

۳-۱-۳۷

درصد رطوبت بهینه

optimum water content

درصد رطوبتی که در آن، یک تلاش تراکمی مشخص می تواند توده خاک را به میزان حداکثر چگالی خشک خود متراکم کند.

۳-۱-۳۸

بیش تراکم

over compaction

1- Vibrating hammer compaction

تراکم بیش از حد، به واسطه شدت یا مدت زمان اعمال بار، که منجر به فشار آب حفره‌ای بیش از حد شده و منتج به خواص غیرقابل قبول آکند (مانند تشکی شدن) شود.

۳-۱-۳۹

ویژگی‌های عملکردی

performance specification

ویژگی‌های فنی لازم برای کارها که باید مرتبط با نیازهای طولانی مدت پروژه تعریف شوند که این ویژگی‌ها معمولاً با سطوح کیفی نسبتاً بالایی تنظیم می‌شوند.

۳-۱-۴۰

خواص

properties

ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی یک ماده و مصالح است.

۳-۱-۴۱

تضمین کیفیت

quality assurance

اقدامات برنامه‌ریزی شده و نظام‌مند لازم برای تأمین اطمینان از عملکرد مطلوب یک سازه خاکی در مدت زمان خدمت‌دهی، یعنی در واقع با هدف این که ساخت آن سازه خاکی بر اساس الزامات مشخص باشد.

۳-۱-۴۲

واپایش کیفیت (کنترل کیفیت)

quality control

سامانه مورد استفاده برای پایش، ارزیابی و تنظیم فرایندهای ساخت یا اجرا برای حصول اطمینان از این که فراورده نهایی از سطح مشخص شده کیفیت برخوردار است.

۳-۱-۴۳

مواد و مصالح آکندی ثانویه

secondary fill material

مواد و مصالحی که به واسطه فعالیت‌های انسانی برای یک منظور به‌طور بنیانی تغییر کرده و سپس به‌عنوان ماده پرکننده عملیات خاکی مورد استفاده مجدد قرار گرفته‌اند (این ممکن است شامل مواد بازیافتی، فراورده‌های جانبی، توده‌های تجمعی^۱ ثانویه و غیره باشد).

1- Aggregates

۴۴-۱-۳

ویژگی‌ها (ویژگی‌های فنی)

specification (technical specification)

مدرک یا مجموعه بندهایی که الزامات فنی ساخت و کنترل عملیات خاکی را بیان می‌کند (مدارکی که همراه با نقشه‌های پروژه خوانده می‌شود).

۴۵-۱-۳

مواد و مصالح مناسب

suitable material

مواد و مصالح پرکننده موجود در منابع قرضه‌ای که خصوصیات خاک آن‌ها قبل از تراکم، نیازهای ویژگی‌های فنی عملیات خاکی مورد نظر را برآورده می‌کند و این مواد و مصالح در شرایطی هستند که می‌توان آن‌ها را در عملیات خاکی آماده برای تراکم قرار داد.

۴۶-۱-۳

روسازه (روبنّا)

superstructure

سازه مهندسی عمران که بر بالای خاکریز احداث می‌شود (نمونه‌هایی از روسازه‌ها عبارتند از: روسازی جاده، مسیر ریلی، ساختمان‌ها، جرثقیل‌های دروازه‌ای و غیره).

۴۷-۱-۳

ترددپذیری

trafficability

توانایی سطح یک ماده و مصالح برای تحمل عبور تجهیزات عملیات خاکی را می‌نامند.

۴۸-۱-۳

مواد و مصالح آکنده اصلاح شده

treated fill material

مواد و مصالح پرکننده‌ای که به وسیله افزودن ماده پیونده (چسباننده) به آن بهبود یافته است.

۴۹-۱-۳

مواد و مصالح نامناسب

unsuitable material

مواد و مصالح پرکننده‌ای که در وضعیت فعلی برای استفاده مناسب نباشد زیرا خصوصیات خاک قبل از تراکم، الزامات ویژگی‌های فنی عملیات خاکی را برآورده نمی‌کند. این مواد و مصالح ممکن است پس از اصلاح در راستای سازگارسازی خصوصیات خاک مناسب شوند.

۵۰-۱-۳

درصد رطوبت

water content

به نسبت وزن آب موجود در یک نمونه مشخص به وزن خاک خشک درصد رطوبت می گویند.

۲-۳ کوتاه نوشت ها و نمادها

کوتاه نوشت ها و نمادهای به شرح زیر است:

کوتاه نوشت ها

عنوان فارسی	عنوان انگلیسی	کوتاه نوشت یا نماد
آزمون CBR، آزمون نسبت باربری کالیفرنیا	CBR test, California Bearing Ratio test	CBR
آزمون CBR غوطه ور (خیس)	Immersed (soaked) CBR test	CBR _i
کنترل تراکم مداوم	Continuous compaction control	CCC
آزمون نفوذ مخروط استاندارد	Static cone penetrometer test	CPT
آزمون جدایش	Degradability test	DG
آزمون نفوذ مخروط دینامیکی	Dynamic cone penetration test	DPT
آزمون تکه تکه شدن	Fragmentability test	FR
آزمون IPI یا آزمون شاخص باربری آبی	IPI test or Immediate Bearing Index test	IPI
آزمون لس آنجلس	Los Angeles test	LA
آزمون رطوبت	Moisture condition value test	MCV
آزمون Micro-Deval	Micro-Deval test	MDE
آزمون نفوذ استاندارد	Standard penetration test	SPT

نماد پارامترها:

نسبت تخلخل هوا	a_v	بدون بعد
چسبندگی موثر	c'	kPa
ضریب انحنای (خمیدگی)	C_c	بدون بعد
مقدار کربنات کلسیم (%)	C_{CaCO_3}	بدون بعد
مقدار مواد آلی (%)	C_{OM}	بدون بعد
ضریب یکنواختی	C_U	بدون بعد
مقدار نمک های محلول (%)	C_{salt}	بدون بعد
درصد جرمی ذرات ریزتر از x میلی متر (%)	C_x	بدون بعد
بیشینه بُعد بزرگ ترین اجزای موجود در خاک	D_{max}	mm
درجه تراکم $\rho_d / \rho_{dmax} = \gamma_d / \gamma_{dmax}$	D_{Pr}	بدون بعد
اندازه ذراتی که x % ذرات از آن ریزتر است	D_x	mm
نسبت تخلخل	E	بدون بعد
ضریب کشسانی	E	MPa

ضریب کشسانی فشاری	E_c
ضریب کشسانی کشش غیرمستقیم	E_{it}
ضریب کشسانی کشش مستقیم	E_t
ضریب آزمون بارگذاری صفحه E_{v1}	$EV1 (M_1)$
ضریب آزمون بارگذاری صفحه E_{v2}	$EV2 (M_2)$
تورم حجمی	G_v
شاخص سازگاری	I_c
شاخص نسبت باربری، شاخص CBR	I_{CBR}
شاخص CBR غوطه‌ور یا خیس خورده	I_{CBRi}
شاخص چگالی	I_D
ضریب جدایش	I_{DG}
ضریب قابلیت تکه‌تکه‌شدن	I_{FR}
ضریب شکنندگی برای دانه‌های ریز	I_{FS}
شاخص باربری آبی، شاخص IPI	I_{IPI}
شاخص تورنویت ^۱	I_m
شاخص مقدار رطوبت	I_{MCV}
شاخص خمیری	I_p
نسبت مقاومت بعد از غوطه‌وری (R_i/R)	I_r
شاخص بار نقطه ای	I_{s50}
ضریب لس آنجلس	C_{LA} یا L_A
دامنه تورم (قالب CBR)	L_s
ضریب Micro-Deval	MDE یا C_{MDE}
پوکی	n
محتوای حجمی هوا = حجم هوا / حجم کل	n_a
درجه پودرشدگی	P
مقاومت فشاری یا کششی	R
مقاومت فشاری	R_c
مقاومت فشاری یا کششی غوطه‌ور	R_i
مقاومت کششی غیرمستقیم	R_{it}
مقاومت کششی	R_t
درجه اشباع	S_r
مقدار متیلن‌بلو (کسر ۰/۵۰ mm)	V_{BS}
سرعت موج فشاری	V_p
سرعت موج برشی	V_s
درصد رطوبت	W

حد روانی (مایع)	W_L
درصد رطوبت طبیعی	W_n
درصد رطوبت بهینه (آزمون پروکتور اصلاح شده)	W_{OPM}
درصد رطوبت بهینه (آزمون پروکتور)	W_{OPN}
حد خمیری (پلاستیک)	W_p
حد انقباض	W_s
کسر % X حداکثر چگالی خشک روی منحنی پروکتور مرجع	$X \%$
کرنش فروریزش یک بعدی (ادئومتر) ^۱	$\rho_{dmaxOPN}$ ϵ_{coll}
کرنش تورم خطی	ϵ_g یا ϵ_{sw}
کرنش تورم حجمی	ϵ_{vg} یا ϵ_{vsw}
وزن مخصوص	Γ
وزن مخصوص توده	γ_b
وزن مخصوص خشک	γ_d
وزن مخصوص خشک درجا	γ_{dn}
وزن مخصوص خشک بیشینه در درصد رطوبت بهینه در آزمون پروکتور اصلاح شده (OPM) ^۲	$\gamma_{dmaxOPM}$
وزن مخصوص خشک بیشینه در درصد رطوبت بهینه در آزمون پروکتور (OPN) ^۳	$\gamma_{dmaxOPN}$
ضریب پواسون	N
زاویه اصطکاک داخلی	ϕ'
چگالی	ρ
چگالی توده	ρ_b
چگالی خشک	ρ_d
چگالی خشک بیشینه در درصد رطوبت بهینه در آزمون پروکتور اصلاح شده (OPM)	$\rho_{dmaxOPM}$
چگالی خشک بیشینه در درصد رطوبت بهینه در آزمون پروکتور (OPN)	$\rho_{dmaxOPN}$
چگالی خشک درجا	ρ_{dn}

۴ اصول طراحی و اجرای کارهای خاکی

۱-۴ کلیات

عملیات خاکی شامل خاکبرداری، بارگیری، حمل (حمل مصالح خاکریز)، تبدیل یا بهسازی، قرار دادن^۴، تثبیت و تراکم مواد و مصالح طبیعی (خاکها، سنگها)، محصولات جانبی صنعتی یا مواد بازیافتی جهت دستیابی به خاکبرداریها یا آکندهای پایدار و پایا و با خصوصیات از پیش در نظر گرفته شده است. این

1- Oedometer
2- Modified Proctor test
3- Proctor test
3- Place

کارها ممکن است در زیر آب اجرا شوند. عملیات خاکی به برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و حفظ و نگهداری نیاز دارند. آن‌ها به خصوصیات مواد خاکریز، خصوصیات مورد نیاز سازه خاکی و شرایط محیطی و محیط زیستی بستگی دارند.

این استاندارد مربوط به سازماندهی پروژه‌های عملیات خاکی و طراحی و برنامه‌ریزی آن‌ها را ارائه می‌دهد.

۲-۴ مراحل پروژه‌های عملیات خاکی

هر پروژه عملیات خاکی شامل دو مرحله اصلی است:

- مطالعات پیش از ساخت، شامل:
 - برنامه‌ریزی سازه‌های خاکی که باید ساخته شوند؛
 - بررسی و مطالعه ساختگاه و طبقه بندی مواد و مصالح (به بند ۵ این استاندارد و بند ۵ استاندارد EN 16907-2: 2017 مراجعه شود)؛
 - ارزیابی سازگاری این مواد و مصالح با خصوصیات مورد نیاز سازه خاکی موردنظر (بند ۶ تا بند ۹ مراجعه شود)؛
 - انتخاب روش اجرای ساخت (به این استاندارد و استاندارد EN 16907-3، استاندارد EN 16907-6 و استاندارد EN 16907-7 مراجعه شود)؛
 - بهینه‌سازی عملیات خاکی در مقیاس کل پروژه (بند ۱۱)؛
 - ویژگی‌های فنی اجرای کارها (روش اجرای ساخت، پایش، واپایش کیفیت) (این استاندارد و استاندارد EN 16907-3، استاندارد EN 16907-5، استاندارد EN 16907-6 و استاندارد EN 16907-7 مراجعه شود).
- اجرای کارها (ساخت‌وساز):
 - ساخت سازه خاکی در محل ساختگاه^۱؛
 - بررسی فرضیات طراحی؛
 - اجرای کارها مطابق با آنچه از پیش مشخص شده است؛
 - پایش وضعیت زمین (به عنوان مثال پایداری شیب)؛
 - واپایش کیفیت یا تضمین کیفیت؛

- بررسی مشخصه‌های سازه خاکی تکمیل شده با توجه به احتیاجات پروژه. این بررسی‌ها منجر به پذیرش نتیجه نهایی عملیات خاکی انجام شده می‌شود.

۳-۴ دستورالعمل اجرای کارها

فرایند طراحی عملیات خاکی باید دستورالعمل‌های مفصل و دقیقی را ایجاد کند که در حین اجرای کارها رعایت شوند. این استاندارد الزامات طراحی عملیات خاکی مربوط به تعیین این الزامات را مشخص می‌کند. در فهرست زیر نمونه‌هایی از موارد یا الزامات اجرایی ساخت آورده شده است که ممکن است به‌عنوان قسمتی از فرایند طراحی عملیات خاکی تولید شوند. دستورالعمل‌ها متناسب با هر پروژه خاص تعیین می‌شوند (این فهرست جامع نیست):

- آماده‌سازی ساختگاه:
- جزئیات تاسیسات مدفون موجود، پی‌ها، سازه‌ها، ساختمان‌ها و موانعی که ممکن است تحت تأثیر عملیات خاکی قرار بگیرند، و محدودیت‌های مرتبط با آن‌ها؛
- محدودیت‌های مرتبط با آب‌های سطحی و زیرزمینی؛
- الزامات زهکشی عملیات خاکی.
- مواد و مصالح:
- توصیف و طبقه‌بندی خاک‌ها، سنگ‌ها و سایر مواد و مصالح. (طبق استاندارد EN 16907-2)؛
- خصوصیات و شرایط قابل قبول مصالح آکند برای استفاده در عملیات؛
- محدودیت‌های مربوط به استفاده از مواد و مصالح ویژه؛
- عمل‌آوری و اصلاح مواد و مصالح برای قابل استفاده کردن آن‌ها به‌عنوان مصالح آکند.
- برای خاکبرداری و خاکریزی:
- کمیت (حجم)، نوع، موقعیت، ابعاد و ساختار سازه‌های خاکی؛
- کمیت، نوع، موقعیت، ابعاد، سازندها و هدف از چاله‌های ساخت^۱، گودال‌های قرضه^۲ و ترانشه‌ها، شامل حداقل ابعاد فضای کار؛
- نصب ژئوسنتتیک‌ها؛
- آماده‌سازی سطوح قبل از اجرای آکند؛
- اقداماتی برای جلوگیری از زوال کارها از جمله زهکشی عملیات خاکی.

1- Construction pits
2- Borrow pits

- الزامات واپایش کیفیت و تضمین کیفیت:
- نیاز به تراکم و آزمون برای نشان دادن انطباق با ویژگی‌های فنی؛
- شناسایی رواداری‌های اجرایی مورد پذیرش برای سطوح تعریف شده (ترازهای تعریف شده) مانند سطح تشکیل^۱ و ضخامت لایه‌ها؛
- دستورالعمل‌های ناشی از گزارش‌ها و تجزیه و تحلیل‌های فنی و الزاماتی که باید در حین ساخت رعایت شود.
- اقدامات حفاظتی موقت و دائمی:
- حفاظت از چاله‌ها و ترانشه‌های ساخت، خاکریزها و شیب‌ها؛
- لایه محافظ^۲ واقع بر بالای تراز سطح تشکیل، ضخامت لایه محافظ و زمان حذف آن.
- جنبه‌های تدارکاتی:
- مسیرهای مجاز حمل و نقل، شرایط لازم و محدودیت‌های احتمالی؛
- محل‌های انبارش یا انبارهای در دسترس و هرگونه الزامات مورد نیاز برای شرایط انبارش؛
- محدودیت‌های زمانی اعمال شده بر روند ساخت، مانند درجه حرارت مجاز برای کار، ساعت کاری، سطح قابل قبول سرو صدا، دوره‌های قطع کار همراه با پایش.

۴-۴ رابطه بین عملیات خاکی و طراحی سازه‌های خاکی

طراحی عملیات خاکی وابسته به خصوصیات مواد و آکند^۳ انتخاب شده و همین‌طور ویژگی‌های فنی الزامات فرایند اجرای عملیات خاکی برای حصول اطمینان از تامین شدن اهداف طراحی ژئوتکنیکال در سازه خاکی نهایی است.

طراحی سازه‌های خاکی از نظر پایداری و تغییر شکل‌ها توسط مجموعه استاندارد EN 1997 و سایر استانداردهای معتبر مرتبط با موضوع انجام می‌شود. طراحی ژئوتکنیک و سازه‌ای، الزاماتی را که برای رسیدن به خصوصیات و عملکردهای سازه تکمیل شده در نظر بوده است، ایجاد می‌کند (به عنوان مثال: هندسه، سختی، ظرفیت باربری، نفوذپذیری). در تمامی استانداردهای مربوط به کارهای خاکی فرض می‌شود که سازه‌های خاکی در دست احداث به درستی طراحی شده‌اند.

در عملیات خاکی، «طراحی» به معنای «مشخص کردن فرایند کار» است که طی آن تبدیل زمین طبیعی درجا (خاک یا سنگ) و/یا محصولات جانبی یا مواد و مصالح بازیافتی، به آکند به خوبی تراکم یافته و پایا با

1- Formation level
2- Protective layer
3- Fill

مشخصه‌های مورد نیاز یا یک خاکبرداری پایدار، میسر می‌شود. این روند تصمیم‌گیری شامل مشخصه‌یابی زمین طبیعی و انتخاب تجهیزات و ماشین‌آلات و ضوابط برای برنامه‌ریزی استخراج، حمل، تراکم و کنترل مواد و مصالح است. خروجی‌های این طراحی شامل: ویژگی‌های فنی، نقشه‌ها، گزارش‌های ارزیابی ریسک، برنامه‌های اجرای کار، جدول‌های زمانی، نحوه گردش کار و غیره است. این شرایط ممکن است با تجویزهای مبتنی بر تجربه یا طراحی عملکردی^۱ تأمین شود.

طراحی کارهای خاکی باید شامل موارد زیر باشد:

- نوع ساختار (برش، خاکریز و غیره)؛
- هندسه و خصوصیات مورد انتظار از سازه تکمیل شده؛
- ماهیت و وضعیت مواد و مصالح مورد استفاده (مطابق با استاندارد EN 16907-2)؛
- زمینه‌های هیدرولوژیکی، هیدروژئولوژیکی و هواشناسی؛
- اهمیت سازه خاکی ساخته‌شده و عواقب خرابی آن؛
- نوع تجهیزات و ماشین‌آلات در دسترس برای انجام کارها (مطابق با استاندارد EN 16907-3)؛
- گزینه‌هایی که برای اصلاح خاک جهت ساخت آکند پیشنهاد شده‌اند (مطابق با استاندارد EN 16907-4)؛
- طراح عملیات خاکی ویژگی‌های فنی را برای اجرای کارها آماده می‌کند (مطابق با استاندارد EN 16907-3، استاندارد EN 16907-4، استاندارد EN 16907-6 و استاندارد EN 16907-7). ویژگی‌های فنی کارهای خاکی الزاماتی را که باید در طول ساخت، در موضوعات متفاوت (که می‌تواند شامل برخی از موارد زیر باشد) رعایت شود، مشخص می‌کند:
- رویه‌های پایش و واپایش کیفیت؛
- خصوصیات قابل قبول مصالح آکند و چگونگی ارزیابی آن‌ها در طول اجرای کارها؛
- فرایندهای مکانیکی مورد استفاده در استخراج، حمل، اجرای لایه‌ها و کوبش و در صورت نیاز؛ هر فرایند و عمل‌آوری لازم به‌منظور اصلاح خصوصیات مصالح آکند؛
- مناطقی که ممکن است آکند اجرا شود؛
- محل تخلیه موقت یا دائمی مصالح اضافی؛
- زمان‌بندی عملیات؛

- محدودیت‌های آب‌وهوایی، به‌عنوان مثال شرایط کار در دمای نزدیک انجماد، محدودیت‌های آب‌وهوای بارانی یا مرطوب؛
- رویه‌ها و برنامه‌ریزی پایش و کنترل فعالیت‌ها در مدت عملیات اجرایی کار؛
- موارد مورد نیاز برای محافظت از کارهای خاکی برای جلوگیری از زوال مصالح پرکننده یا بستر^۱؛
- طراحی سازه‌های خاکی به شدت وابسته به مصالح موجود و امکان دستیابی به نتایج موردنظر طراح از طریق عملیات خاکی است. در نتیجه، طراحان در حین طراحی سازه‌های خاکی باید به‌صورت کلی عملیات خاکی را در نظر داشته باشند. توجه به مصالح در دسترس، شرایط ساختگاه، شرایط و الزامات زمین پروژه شامل تمامی کارهای موقت و محدودیت‌های ناشی از عوامل محیط زیستی حین ساخت، بهره‌برداری و کارهای تعمیراتی آتی ضروری است.
- شرایط ساختگاه پروژه ممکن است شامل موارد زیر باشد:
- قیدهای طبیعی: انطباق با وضع فیزیکی موجود (توپوگرافی، زمین‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی؛ هیدروژئولوژی، اقلیم و تغییرات آن، کاربری زمین)، سیل، زمین لغزش، معادن قدیمی و غیره؛
- قیدهایی ناشی از: باستان‌شناسی، آثار تاریخی، محیط زیست، ملاکان زمین و ساکنان، مهمات منفجر نشده (بمب و مین) و غیره؛
- قیدهای مربوط به خطوط انتقال فعال (مانند خطوط انتقال برق، آب، نفت و گاز).
- این محدودیت‌ها عموماً در حیطه پروژه‌های مهندسی عمران بررسی می‌شود و خارج از بحث این استاندارد است.

۴-۵ توسعه پایدار و ملاحظات محیط زیستی کارهای خاکی^۲

- در طراحی عملیات خاکی بهتر است به اصول طراحی پایدار توجه ویژه داشت. در حیطه این استاندارد، توسعه پایدار عبارت است از: «رویکردی ماندگار و متعادل به فعالیت‌های اقتصادی، مسئولیت در قبال محیط زیست و پیشرفت اجتماعی». برخی جنبه‌های توسعه پایدار در سطح پروژه پوشش داده می‌شوند و مستقیماً ارتباطی با اجرای کارهای خاکی ندارند.
- مثال‌هایی از نقش عملیات خاکی در توسعه پایدار عبارتند از:
- حفظ منابع طبیعی به وسیله بهینه‌کردن مقدار مصرف مصالح از ساختگاه و در صورت لزوم، استفاده از مصالح بازیافتی؛
 - اعمال محدودیت برای وسائط نقلیه سنگین که کار جابه‌جایی مصالح به ساختگاه را بر عهده دارند؛

1- Subgrade

2- Earthworks

- اعمال محدودیت بر دیو کردن مصالح، منابع قرضه یا محل دفع ضایعات در خارج از سایت پروژه؛
- استفاده از روش‌هایی با کمترین میزان اثرات محیط زیستی نظیر هوادهی^۱ یا استفاده از تولیدهای فرعی^۲ صنعتی؛
- کاهش مصرف سوخت در حمل و کوبش مصالح و کاستن از گازهای خروجی (کربن دی‌اکسید)؛
- کاهش مصرف آب (محصولات و افشانه های آب رفع کننده گردوغبار^۳)
- بهینه‌سازی هزینه‌ها و مدت اجرای پروژه.
- ملاحظات محیط زیستی هم به سازه خاکی تمام شده توجه دارد و هم به اجرای آن. این استاندارد تنها به بررسی این اثرات در حین ساخت می‌پردازد. ملاحظات زیر باید مدنظر قرار گیرند:
- آلودگی صوتی و لرزش؛
- ترافیک جاده‌ای؛
- مدیریت پسماند و زمین آلوده؛
- تولید گرد و خاک مانند استفاده از مواد پیونده^۴ برای اصلاح مصالح پُرکننده؛
- آلودگی آب‌وهوا؛
- تخلیه مصالح نامناسب یا اضافی در داخل یا خارج از ساختگاه؛
- تنوع زیستی؛
- تمامی این سوالات محیط زیستی باید با توجه به ضوابط موجود، استانداردها و مراجع مناسب پاسخ داده شود.
- وجود خاک آلوده یا احتمال استفاده از مواد بازیافتی باید در مراحل اولیه شروع پروژه مورد توجه واقع شود تا شانس دوباره استفاده کردن از مصالح با توجه به ضوابط موجود افزایش یابد.

۶-۴ مدیریت ریسک

- مدیریت ریسک بهتر است بخشی کلیدی از پروژه‌های پیچیده عملیات خاکی به مانند تمامی دیگر فعالیت‌های اجرایی باشد. بخش‌هایی که ریسک در آن مدیریت شود شامل موارد زیر می‌شود:
- ریسک‌های برنامه، کیفیت و مالی به‌منظور حصول اطمینان از تحویل موفق پروژه؛
 - سلامت و ایمنی به همراه ریسک‌های محیط زیستی مطابق با الزامات قانونی؛

1- Aeration
2- By-Products
4- Ploughing sprinkler, dust fixing products
5- Binder

در پروژه‌های عملیات خاکی بزرگ یا پیچیده، مناسب است که هر تیم طراحی دفتر ثبت ریسکی را برای بخشی که در آن مسئولیت دارد، ساخته و تکمیل کند.

ریسک‌های خاصی در پروژه‌های عملیات خاکی مرتبط با ژئوتکنیک هستند. به عنوان مثال:

- شرایط نامعلوم یا غیرمنتظره پروژه؛
 - تاثیر بر روی سازه‌ها یا زیرساخت‌های مجاور؛
 - حساسیت خاک به همراه شرایط آب‌وهوایی در حین اجرای پروژه (و به صورت کلی‌تر، اقلیم)؛
 - ناتوانی سامانه‌های زهکشی یا خشک‌سازی؛
 - ایمنی سدها و شیب‌ها؛
 - محیط زیست (مثلا ساخت در مناطق حفاظت‌شده، استفاده از مواد خطرزا)؛
 - اثرات بلایای طبیعی (سیل، زلزله و غیره)؛
 - اثرات وضعیت غیرقابل پیش‌بینی ساختگاه (مانند چینه‌شناسی زمین‌شناسی^۱ و گسل‌ها)؛
 - وجود زمین آلوده.
- در موارد مرتبط با عملیات خاکی، ریسک‌ها می‌توانند در یک دفتر ثبت ریسک‌های ژئوتکنیکی ثبت شوند تا تیم طراحی بتواند آن را برای مدیریت یا کاهش برخی ریسک‌های بخش عملیات خاکی پروژه به کار گیرد. تمامی دیگر ریسک‌ها بهتر است در سطح کلان پروژه مدیریت شوند.

۷-۴ انواع فرایندهای عملیات خاکی

کارهای خاکی شامل فعالیت‌های زیادی می‌شود که نمی‌توان آن را با یک مجموعه ضوابط منحصر به فرد پوشش داد. این استاندارد راهنما و الزاماتی برای ۴ گروه از فعالیت‌های عملیات خاکی (به شرح زیر) ارائه می‌دهد:

- اجرای آکندها (مطابق با بند ۶ و استاندارد EN 16907-3، استاندارد EN 16907-4 و استاندارد EN 16907-5)؛
- اجرای برش‌ها (خاکبرداری‌ها) و حفاری‌ها (مطابق با بند ۷ و استاندارد EN 16907-3)؛
- قرار دادن هیدرولیک مواد لایروبی (مطابق با بند ۸ و استاندارد EN 16907-6)؛
- قرار دادن هیدرولیک خاک‌ها و ضایعات معدنی (مطابق با بند ۹ و استاندارد EN 16907-7).

1- Geological stratigraphy

۵ بررسی ویژه ساختگاه، مواد و مصالح

۵-۱ اطلاعات مورد نیاز برای طراحی عملیات خاکی

توصیف، تشخیص، طبقه‌بندی و مشخصه‌یابی خاک‌ها، سنگ‌ها و سایر مواد و مصالح پرکننده از جمله مراحل بسیار مهم طراحی عملیات خاکی هستند. این خصوصیات به اطلاعات ضروری‌ای منجر می‌شوند تا بتوان خصوصیات طبیعی هر کدام از مصالح، روش استحصال آن با حفاری یا برش (خاکبرداری)، شرایط نهایی آن بعد از کوبش و بهترین راه رسیدن به شرایط نهایی موردنظر را دریافت.

توصیف خصوصیات مصالح در عملیات خاکی بهتر است شامل موارد زیر باشد:

- شرایط وابسته به زمین‌شناسی (شامل لرزه‌خیزی) و نوع مصالح (خاک، سنگ یا انواع دیگر مواد و مصالح)؛
 - وجود آلاینده‌ها؛
 - وجود مواد آلی یا مصالح معدنی واکنش‌پذیر یا دگرگون‌شونده (مانند گچ، نمک‌های قابل انحلال، سولفور، سولفید و به‌ویژه سولفات)؛
 - تمام اطلاعات لازم برای طبقه‌بندی مواد و مصالح (مطابق با استاندارد EN 16907-2)؛
 - اطلاعاتی در خصوص حالت اولیه خاک‌ها و سنگ‌ها؛
 - تعیین خصوصیات تراکم بهینه مصالح آکند؛
 - در صورت نیاز، تخمینی از سختی، مقاومت و نفوذپذیری مواد و مصالح متراکم‌شده؛
 - هر اطلاعات دیگر مورد نیاز در پروژه.
- به‌علاوه، طراح به اطلاعاتی در خصوص وضعیت آب زیرزمینی و پتانسیل‌های جریان آب به داخل گودبرداری‌ها نیاز خواهد داشت (به زیربند ۵-۲-۳ مراجعه کنید).

۵-۲ سازمان‌دهی شناسایی زمین

۵-۲-۱ کلیات

الزامات استاندارد EN 1997-2 باید تامین شود. شناسایی زمین برای یک پروژه عملیات خاکی باید اطلاعات متناسب و کافی برای طراحی و اجرای کارهای خاکی مانند، شیب‌های موقت و هر سازه موقت ایجادشده در حین فرایند ساخت را در اختیار قرار دهد. مدل ژئوتکنیکی باید ناحیه تحت تاثیر سازه را هم به‌منظور تحلیل مکانیکی و هم به‌منظور تحلیل‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی تحت پوشش قرار دهد. این استاندارد تنها مشخصات زمین را که برای عملیات خاکی مورد نیاز هستند، موردتوجه قرار می‌دهد.

مراحل شناسایی‌های ژئوتکنیکی باید شامل مرحله مطالعه دفتری (که در آن تحقیقات اولیه برای توصیف کلی ساختگاه انجام می‌شود) و در صورت نیاز، فازهای تحقیقاتی طراحی دیگر به‌منظور فراهم کردن اطلاعات دقیق برای المان‌های خاص طراحی شود.

در صورت امکان، مطالعات دفتری برای عملیات خاکی باید اطلاعاتی در خصوص پروژه‌های گذشته و داده‌های منتشر شده در خصوص عملکرد مصالح پُرکننده استفاده‌شده در عملیات خاکی و احتمال تأثیرات مخرب شرایط زمین‌شناسی^۱ و هیدروژئولوژیکی بر اجرای عملیات خاکی در اختیار قرار دهد.

همچنین شناسایی زمین باید شامل شناسایی و توصیف محل‌های قدیمی دپوی زباله، معادن قدیمی و خاک‌های آلوده باشد.

اگر آلودگی یافت‌شده در حین اکتشافات مشکوک به آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسانی یا تجمع مواد طبیعی بود، پارامترهای محیط زیستی مرتبط باید تعیین شوند.

۵-۲-۲ شناسایی ساختگاه به‌منظور طراحی ژئوتکنیکی

عملیات خاکی به دو نوع اصلی از سازه‌های خاکی منتج می‌شود: خاکریزی و خاکبرداری. این سازه‌ها باید طبق قواعد استاندارد EN 1997-1 که پایداری، تغییرشکل‌ها و پایایی^۲ هر سازه را مدنظر قرار می‌دهد، طراحی شوند.

استاندارد EN 1997-2 نیاز به برنامه‌ریزی جهت تحقیقات برای کسب اطلاعات کافی در هر فاز طراحی را بیان می‌کند. در تمامی مراحل طراحی باید با مهندس خاک و پی (ژئوتکنیک) مشورت شود. وقتی یک فاز شناسایی زمین برنامه‌ریزی می‌شود توجه به نیازهای همه کسانی که از داده‌های به‌دست آمده در مرحله بعدی طرح استفاده خواهند کرد، بسیار مهم است.

ممکن است اندازه‌گیری‌های ژئوتکنیکی به‌منظور پایش پایداری، صحت‌سنجی مفروضات محاسبات پایداری زمین، به‌منظور مشاهده رفتار سازه‌ها و حفظ مستندات شرایط سازه‌های مجاور در هر مرحله از کار نیاز باشد.

بهتر است توجه کافی به این مهم مبذول داشت که هیچ مطالعه شناخت زمین هر چند هم دقیق، فقط می‌تواند یک ناحیه خیلی کوچک خاک را بررسی کند. بنابراین، شرایط خاک نمایان‌شده در حین پیشرفت خاکبرداری بررسی شود تا اطمینان حاصل شود که رفتار آن با مدل ژئوتکنیکی ساخته‌شده که اساس طراحی سازه خاکی است، هماهنگ باشد. ممکن است تحقیقات بیشتری برای تعیین میزان شرایط ناهم‌هنگ و غیرعادی لازم شود.

1- Geology
2- Durability

۳-۲-۵ مطالعات شناسایی زمین ویژه برای کارهای خاکی

طراحی عملیات خاکی نیازمند اطلاعاتی در خصوص طبیعت، حالت، هندسه و احجام خاک و سنگ و دیگر مواد و مصالحی است که قرار است خاکبرداری، لایروبی، حمل، اصلاح، دپو و نهایتاً به صورت لایه لایه قرار داده و کوبیده شوند. قسمتی از این اطلاعات در طراحی ژئوتکنیکی سازه نهایی و مراحل اصلی ساخت آن ضروری هستند. تحقیقات باید تمامی نواحی که ممکن است از آن ها مصالح استخراج شوند و محل های دپوی نهایی را پوشش دهند.

طبیعت مصالح با تحلیل های زمین شناسی و آزمون های نمونه های اخذ شده از گمانه ها^۱، گودال ها^۲ یا منابع قرصه^۳ مشخص می شود.

حالت مصالح با استفاده از مشاهدات میدانی یا اندازه گیری مشخصات خاک و سنگ در محل یا در آزمایشگاه و مطابق با زیربند ۳-۵ ارزیابی می شود.

هندسه و احجام لایه های طبیعی خاک بر اساس تحلیل های زمین شناسی و گمانه ها و سایر آزمون های درجا مانند آزمون های ژئوفیزیکی است.

برای ساخت خاکریز^۴، مشخصات تراکمی خاک بر اساس آزمون های فشرده سازی و تغییر شکل در آزمایشگاه حاصل می شود. برای آزمون، برداشت مقدار کافی از خاک الزامی است تا بتوان با تعداد کافی آزمون بازه درصد رطوبت مورد پذیرش مصالح را برای عملیات تراکم ارزیابی کرد. در این روش، به چاه کنی های آزمایشی برای استحصال نمونه های بزرگ دست خورده از لایه های زمین نیاز است. در صورتی که خاک در بازه قابل قبول درصد رطوبت قرار نگیرد، ممکن است مطالعات خاصی برای اصلاح خاک نیاز باشد. در صورتی که به علت اندازه بزرگ یک تکه از نمونه یا کل بلوک تحت آزمون، نتوان آن ها را به آزمایشگاه منتقل کرد، از آزمون در جای در ابعاد واقعی می توان^۵ استفاده کرد (به زیربند ۶-۱ مراجعه شود).

برای خاکبرداری، اطلاعاتی در خصوص مقاومت خاک یا سنگ مورد نیاز است که بر انتخاب ماشین آلات خاکبرداری مختلف تاثیر می گذارد. همچنین، به اطلاعاتی در خصوص طبیعت و ترک های سنگ نیاز است تا بتوان اندازه بلوک سنگ های استخراج شده و هوازدگی و تغییرات آن را در طی زمان متوجه شد. این اطلاعات را می توان با بررسی و تحلیل های ژئوتکنیکی (که شامل مطالعه ظاهر سنگ ها^۶ می شود) در کنار بررسی های ژئوفیزیکی به دست آورد. در صورت لزوم، سختی و تغییرپذیری زمین باید با آزمون های آزمایشگاهی یا ژئوفیزیک ارزیابی شود.

1- Boring

2- Pits

3- Stockpile

4- Embankment

5- In situ full scale compaction tests

6- Rock exposures

در خصوص لایروبی^۱، مطالعات ژئوتکنیکی باید به ترتیب محیط قرضه^۲ و در حال احیاء^۳ را پوشش دهد. از آنجایی که لایروبی عموماً منطقه وسیعی را پوشش می‌دهد، روش‌های ژئوفیزیکی اغلب در مطالعات شناسایی زمین گنجانده می‌شوند.

فاصله نقاط مورد بررسی و عمق آن‌ها باید مطابق با استاندارد EN 1997-2 باشد. طراح عملیات خاکی ممکن است این الزامات را با نیازهای خاص پروژه تطبیق دهد. عمق مورد مطالعه باید چنان اختیار شود که تمام لایه‌ها و شرایط زمین که بر عملیات خاکی موثر هستند، بررسی شوند.

مطالعات مربوط به عملیات خاکی و سایر سازه‌ها بهتر است به‌خوبی سازمان‌دهی شوند تا اطلاعات مورد نیاز هر جزء از پروژه کسب شود.

بررسی‌ها بهتر است آزمون‌های شیمیایی مربوط به پارامترهای محیط زیستی را شامل شود.

۴-۲-۵ گزارش‌دهی ژئوتکنیکی

گزارش‌دهی باید مطابق با روش ارائه‌شده در مجموعه استانداردهای EN 1997 باشد که شامل گزارش‌های فازهای مختلف مطالعات شناسایی زمین، طراحی و فرایند اجرا می‌شود.

در گزارش ژئوتکنیک، اطلاعات خاک، سنگ و سایر مواد و مصالح به همراه موارد استفاده احتمالی و همین‌طور تخمین مقادیر آن‌ها و اثر متقابل احتمالی آن‌ها با محیط زیست باید قید شود.

۳-۵ استفاده از سامانه‌های طبقه‌بندی^۴

مصالح مورد استفاده در عملیات خاکی باید طبقه‌بندی شوند تا:

- برنامه‌ریزی و روش اجرا و واپایش کیفیت امکان یابد؛
- از الزامات مواد و مصالح سازه خاکی برای رسیدن به اهداف طراحی مانند ظرفیت باربری، خدمت‌دهی و پایایی اطمینان حاصل کرد.

اهداف اصلی طبقه‌بندی برای عملیات خاکی عبارتند از:

- ۱- دسته‌بندی مصالح به دسته‌هایی که هریک مشخصات و رفتار مشابه دارند؛
- ۲- سهولت برقراری ارتباط شفاف با توصیف خاک، سنگ و سایر مواد و مصالح مطابق با دسته‌بندی توصیفی استاندارد.

1- Dredging
2- Borrow Area
3- Reclamation area
4- Classification systems

طبقه‌بندی در عملیات خاکی بهتر است مشخصات مربوط به خاک و سنگ مرتبط با خاکبرداری، حمل، دپو، اصلاح و تراکم را در برگیرد.

استاندارد EN 16907-2 قواعدی برای توصیف و طبقه‌بندی خاک و سنگ و سایر مواد و مصالح مورد استفاده در عملیات خاکی را ارائه می‌کند.

در استاندارد EN 16907-2 سه مرحله برای طبقه‌بندی عنوان شده است:

- توصیف بر اساس مشاهده چشمی: این مرحله می‌تواند به اطلاعاتی در خصوص نوع مصالح، هندسه و موقعیت مصالح در توده زمین، تنوع آن‌ها و چگونگی شکست آن‌ها و غیره منجر شود؛

- طبقه‌بندی بر اساس پارامترهای «خصوصیات ذاتی» مصالح که مشخصاتی هستند که به راحتی قابل تغییر و وابسته به شرایط حالت^۱ در مدت اجرا نیستند، مانند اندازه دانه‌ها، دانه‌بندی یا رفتار خمیری. آزمون‌های آزمایشگاهی برای طبقه‌بندی مصالح در گروه‌هایی با خواص مشابه انجام می‌گیرد، مانند رفتار مصالح در سازه خاکی پس از تراکم. در پروژه‌های عملیات خاکی، مشخصات فنی گروه‌های مصالح پُرکننده بر اساس خصوصیات ذاتی تعریف می‌شوند؛

- طبقه‌بندی بر اساس پارامترهای «خصوصیات حالت» که می‌توانند به راحتی در روند عملیات خاکی تغییر یابند. مانند: درصد رطوبت، چگالی، چسبندگی، مقاومت. این طبقه‌بندی برای تعیین مشخصه‌های مرتبط با کارایی مصالح در اجرای عملیات خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. طبقه‌های متناظر ممکن است به روند خاصی از عملیات خاکی شامل خاکبرداری، حمل و نقل، اصلاح، خاکریزی (آکندن) و تراکم یا استفاده در ناحیه خاصی از پروژه سازه خاکی (مانند آکند های عمومی^۲ یا لایه پوشش نهایی^۳) مرتبط شوند.

همان‌طور که در بند ۶ عنوان شده، طراحی عملیات خاکی یا بر اساس آزمایش است و یا بر مبنای آزمون‌های اولیه با ابعاد واقعی است.

آزمایش از دو راه می‌تواند استفاده شود:

- برای کارهای ساده، شناسایی طبیعت زمین می‌تواند برای اعمال فنون عملیات خاکی مشهور کافی در نظر گرفته شود؛

- برای کارهای پیچیده‌تر، انجام آزمون و استفاده از یک سامانه طبقه‌بندی مفصل‌تر برای انتخاب بهترین روش اجرا، لازم است.

آزمون‌های اولیه با مقیاس کامل برای ارزیابی مصالحی با رفتار ناشناخته یا استفاده از ماشین‌آلات یا رویه‌های جدید به کار می‌رود. این آزمون‌ها ممکن است به جای اتکای صرف به سامانه طبقه‌بندی موجود، بر

1- State conditions

2- General fill

3- Capping layer

روی طبیعت توده زمین و نحوه پاسخ مواد و مصالح پرکننده به تراکم تمرکز کنند. فهرستی از استانداردهای آزمون برای شناسایی و طبقه‌بندی مصالح پرکننده در استاندارد EN 16907-2 موجود است.

۶ طراحی عملیات خاکی برای مصالح پرکننده

۱-۶ مقدمه

در پروژه عملیات خاکی روند اجرای پروژه باید مشخص باشد (مانند استراتژی خاکبرداری، حمل و استفاده از خاک برداشت‌شده یا محصولات فرعی، ماشین‌آلات استخراج، حمل، پخش مواد و مصالح به صورت لایه به لایه و تراکم لایه‌ها، روند مناسب هر یک از مصالح پرکننده، واپایش کیفیت) تا بتوان به نتایجی منطبق با الزامات (یا فرضیات) پروژه سازه خاکی مورد نظر دست یافت.

از آنجایی که اجرای عملیات خاکی به کرات به وسیله چگالی خاک متراکم‌شده کنترل می‌شود، بنابراین لازم است که چگالی خاک با پارامترهای مکانیکی آکند مربوط نظیر پایداری (مقاومت برشی)، تغییر شکل‌ها (تغییر شکل‌پذیری) و مقاومت در مقابل عبور آب (نفوذپذیری) مرتبط شود. هنگام بیان الزامات چگالی، باید پایداری و پایداری بلندمدت توده مصالح آکند به صورت واضح موردتوجه قرار گیرد.

بنابراین، روند طراحی عموماً شامل موارد زیر است:

- ارزیابی ذات و خصوصیات خاک، سنگ و محصولات فرعی صنعتی یا مواد بازیافتی در دسترس؛
- ارزیابی خصوصیات مورد نیاز آکند تراکم‌یافته و چگونگی رسیدن به آن؛
- تعریف فرایند اجرا با در نظر گرفتن نوع فعالیت (خاکبرداری، حمل، اصلاح، پخش مصالح به صورت لایه به لایه، تراکم)، تجهیزات در دسترس، طبیعت و حالت اولیه خاک یا سنگ، اقلیم و حالت نهایی مطلوب؛
- بهینه‌کردن پروژه عملیات خاکی با توجه به قیودی مانند تجهیزاتی که می‌توانند استفاده شوند، محدودیت حمل، حفاظت از محیط زیست، توسعه پایدار، هزینه‌ها و مدت زمان انجام پروژه؛
- تعریف روش مناسب صحت‌سنجی کارها (روش‌های آزمون و پایش و توالی این آزمون‌ها در طول دوره اجرا) (مطابق با استاندارد EN 16907-5).

برای آکندها، رویه تراکم (تعداد و ضخامت لایه‌ها، تجهیزات و انرژی مورد استفاده در کوبش) به مواردی از قبیل مصالح در دسترس، وضعیت آب‌وهوایی و مشخصات مورد نیاز آکند نهایی بستگی دارد. ممکن است روش‌های ارتقاء و اصلاح مصالح از قبیل هوادهی^۱، رطوبت‌دهی^۲، ترکیب با مواد و مصالح دیگر یا استفاده از

1- Aeration
2- Humidification

چسباننده ها^۱ نیاز شود. احتمال رسیدن به خصوصیات نهایی مورد نیاز آکند ممکن است به روش‌های اصلاح زمین متکی باشد که در این استاندارد پوشش داده نمی‌شود.

به دلیل دشوار بودن استقرار کردن و رسیدن به فرایند بهینه اجرا در یک ساختگاه از اطلاعات حاصل از آزمون‌های آزمایشگاهی، آزمون‌های تراکم با مقیاس کامل برای ارزیابی کارایی فرایندهای اجرایی ممکن، ابزاری بسیار ارزشمند خواهد بود. تجربه‌های به دست آمده از این آزمون‌ها و پروژه‌های عملیات خاکی طی سال‌ها در مجموعه «طبقه‌بندی‌ها» جمع‌آوری شده اند (مطابق با استاندارد EN 16907-2) که می‌تواند به طراحان عملیات خاکی برای انتخاب فرایند ساخت کمک شایانی کند. استفاده از این طبقه‌بندی‌ها می‌تواند یکی از روش‌های اعمال استاندارد حاضر قلمداد شود.

پروژه‌های عملیات خاکی فرایندهای پیچیده مکانیکی هستند که نمی‌توان آن‌ها را به گونه‌ای شبیه‌سازی کرد که مدل تمام پیچیدگی‌های فرایند ساخت را منعکس کند. بنابراین، رویکرد مهندسی در این پروژه‌ها شامل ترکیبی از آزمون‌های آزمایشگاهی و آزمایش‌های با مقیاس کامل مانند آزمون‌های درجا (استاندارد EN 16907-3 جزئیات بیشتری در خصوص آزمایش‌های با مقیاس کامل ارائه می‌دهد) است. در زمینه پُرکننده‌های از نوع سنگ، آزمون‌های آزمایشگاهی و تراکم دشوارتر هستند و تصمیمات طراحی عموماً بر مبنای قضاوت مهندسی و تجربه در خصوص یک مصالح پُرکننده سنگی به خصوص صورت می‌گیرد.

۲-۶ رویه طراحی

۱-۲-۶ کلیات

آکندها با روش‌های شناخته‌شده عملیات خاکی ساخته می‌شوند تا پاسخگوی رفتار از قبل تعریف‌شده از قبیل مقاومت، تغییرشکل‌پذیری، نفوذپذیری و پایداری باشند. این روش‌های ساخت شامل موارد زیر می‌شوند:

الف- آماده‌سازی سطح تشکیل یا بستر برای جای دادن مصالح خاکریز (مطابق با استاندارد EN 16907-3)؛

ب- پخش و سپس تراکم مصالح خاکریز (مطابق با استاندارد EN 16907-3 و استاندارد EN 16907-4)؛

پ- قرار دادن مصالح درشت دانه مانند قلوه سنگ^۲ (مطابق با استاندارد EN 16907-3)؛

ت- قراردادن هیدرولیکی خاکریز (مطابق با استاندارد EN 16907-6 و استاندارد EN 16907-7).

تعیین خصوصیات مورد انتظار آکند با طراحی سازه خاکی صورت می‌گیرد. طراحی عملیات خاکی فرایندی است که روش مناسب اجرای عملیات خاکی را به جهت نیل به این خصوصیات مورد انتظار و خدمت مدنظر سازه خاکی و همین‌طور چگونگی تهیه ویژگی‌های فنی شامل نحوه پایش و واپایش کیفیت عملیات اجرایی را که باید حین اجرا تامین شوند، تعیین کنند. در موارد (پ) و (ت) بالا، خصوصیات آکند تکمیل‌شده می-

1- Bidders

2- Boulder

تواند با تقسیم آکند به نواحی مجزا (مطابق با زیربند ۶-۲-۲) و با الزامات متفاوت برای هر ناحیه حاصل شود.

۶-۲-۲ ناحیه بندی^۱ آکند

۶-۲-۲-۱ کلیات

مقطع یک آکند می‌تواند همگن یا در صورت نیاز به نواحی متفاوتی تقسیم شود. هر ناحیه باید از نظر هندسه، طبقه‌های قابل قبول مصالح، چگالی و سایر خصوصیات مکانیکی، فیزیکی و شیمیایی مصالح متراکم تعریف شود.

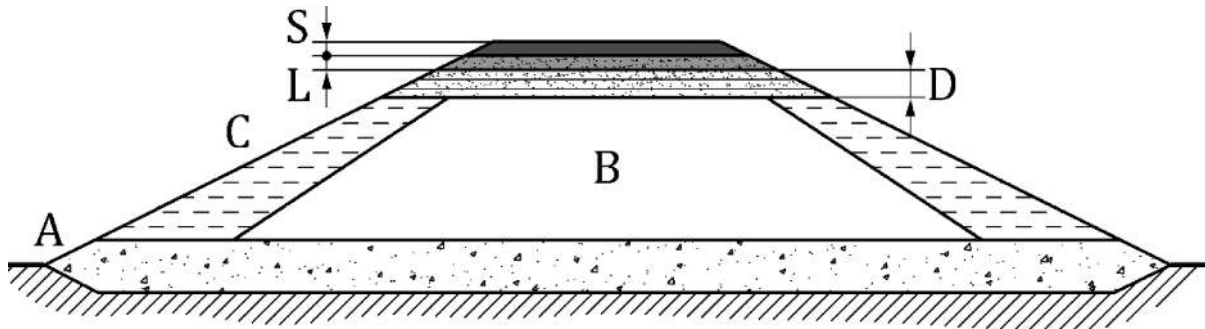
۶-۲-۲-۲ آکندهای زیرساختی

سطح مقطع خاکریزهای زیرساختی (آکندهایی برای بزرگراه‌ها، راه آهن، آبروها، سیل‌بندها، دایک‌ها^۲ و سدها) می‌تواند به قسمت‌های مختلفی که عموماً شامل نواحی زیر است، تقسیم شود (به شکل ۱ مراجعه شود). اگرچه بسته به نیازهای طراحی، می‌توان این تقسیمات را به نواحی یا زیربخش‌های بیشتری تقسیم کرد:

- بنیان (بستر)^۳ (A): ناحیه‌ای از آکند در تماس مستقیم با زمین موجود. این ناحیه ممکن است به لایه-هایی مثلاً برای زهکشی، سکوی کار، لایه محافظتی غیرقابل نفوذ تقسیم شود. اجرای این مرحله ممکن است شامل تعویض خاک تا یک عمق مشخص یا اصلاح زمین با مواد پیونده یا نصب ژئوسینتتیک‌ها^۴ باشد.
- هسته (B): به ناحیه‌ای از آکند که بین لایه بستر و ناحیه بالایی (که خاکریز در آن دارای ارتفاع کافی است) اطلاق می‌شود. هسته می‌تواند در مقابل آب محافظت شود یا برای جلوگیری از آلودگی محیط آن را ایزوله کرد.
- شانه (نواحی کناری) (C): نواحی جانبی آکند. این نواحی ممکن است کارایی‌های متفاوتی مانند ساخت شیب‌های تندتر، محافظت هسته، فیلتر، محافظ از فرسایش داشته باشند.
- ناحیه فوقانی (D): ناحیه‌ای که بین هسته و روسازه (کفسازی خیابان، ریل راه آهن) قرار گرفته است. این ناحیه می‌تواند شامل لایه‌های مختلفی مانند «قسمت بالایی آکند»، لایه پوشش «نهایی» و «لایه انتقالی» به منظور جداسازی آکند سنگی از لایه بالایی با مصالح دان‌های، لایه نفوذناپذیر و لایه‌های دیگر با کاربری‌های خاص باشد. این ناحیه شامل لایه‌های روسازه نمی‌شود.

1- Zone
2- Dykes
3- Base
4- Geosynthetics

مصالص آکند در نواحی A، B و C می توانند یکسال باشند به شرطی که این مصالص الزامات مربوط به تک تک نواحی را برآورده کنند (شکل ۲ نمونه ای از یک حالت عمومی است).



راهنما:

A بنیان (بستر)

B هسته

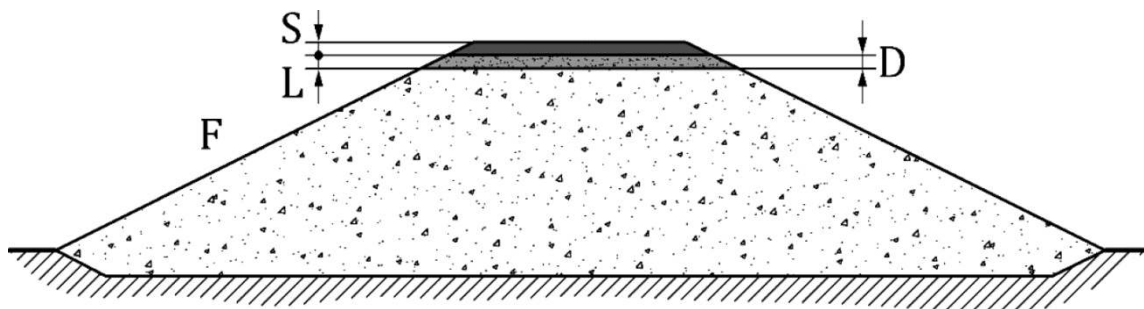
C شانه (نواحی کناری)

D ناحیه بالایی مشتمل بر چند لایه

L لایه پوشش نهایی (قسمتی از لایه بالایی)

S روسازه (کفسازی جاده یا ریل راه آهن) (بخشی از عملیات خاکی نیست)

شکل ۱- بخش های آکند زیرساختی: نمونه ای از حالت عمومی



راهنما:

D ناحیه بالایی به صورت تک لایه و متشکل از لایه پوشش نهایی

F آکند

L لایه پوشش نهایی

S روسازه (کفسازی جاده یا ریل راه آهن) (بخشی از عملیات خاکی نیست)

شکل ۲- بخش های یک آکند زیرساختی همگن (نمونه)

ابعاد نواحی مختلف و مشخصات مصالح مصرفی در هر یک از آن ها باید به نحوی انتخاب شود تا الزامات کلی پروژه عمرانی را برآورده کند. پروژه عمرانی مشخص می کند که الزامات سازه خاکی مدنظر در مواردی چون تغییر شکل پذیری، پایداری، مقاومت باربری، نفوذپذیری و دوام چه باشد. در استاندارد حاضر فرض بر این

است که عملکرد هر ناحیه از آکند بر اساس مصالح موجود در ساختگاه یا مناطق نزدیک پروژه برآورد شده است.

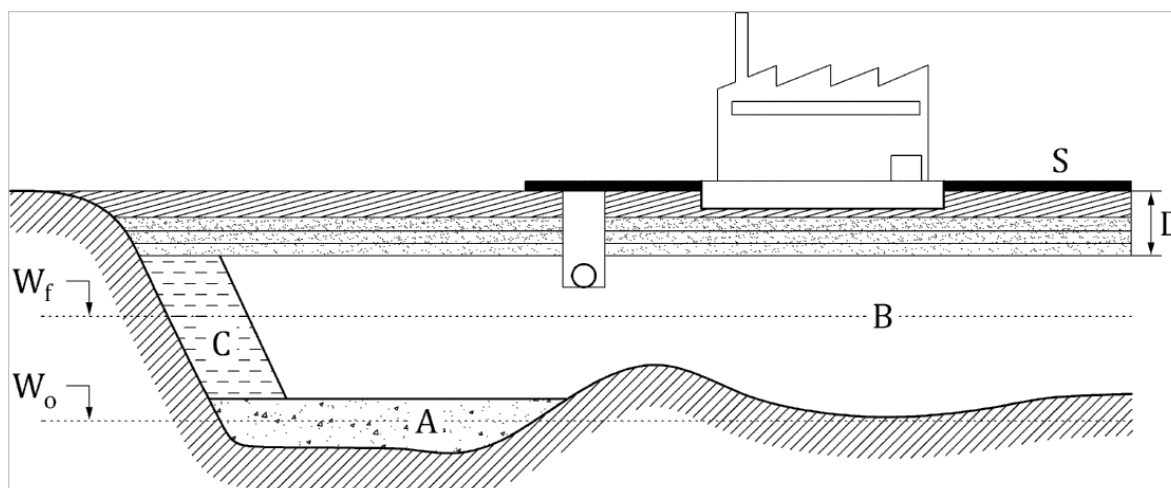
طراحی ناحیه‌های مختلف باید با توجه به همه جنبه‌های مرتبط با پروژه (مشمول بر موارد زیر) انجام شود:

- پتانسیل نشست زیر آکند یا پتانسیل تغییر حجم توده آکند بعد از ساخت؛
- محافظت از مواد و مصالح حساس به آب؛
- عایق‌بندی مواد آلوده به منظور جلوگیری از نشت آلودگی؛
- جدا کردن مواد و مصالحی که به خصوصیات شیمیایی لایه دیگر حساس هستند. به عنوان مثال جدا کردن مصالح هسته از لایه زیر آن؛
- اثر ترافیک اجرایی (بارگذاری‌ها و لرزش‌ها) بر روی خصوصیات زمین طبیعی و مصالح آکند؛
- اثرات رویه ساخت بر هندسه هسته و ناحیه‌های کناری.

۳-۲-۲-۶ پُر کردن گودبرداری‌ها و گودال‌های طبیعی بزرگ

آکندن در گودبرداری‌ها یا گودال‌های بزرگ می‌تواند به نواحی مشابه آکندن زیرساخت‌ها تقسیم شود (مثالی از آکندن در یک گودبرداری بزرگ در شکل ۳ نمایش داده شده است). علاوه بر اقدامات احتیاطی فهرست - شده در زیربند ۳-۲-۲-۶ باید تغییرات سطح آب زیر زمینی در طراحی این گونه از عملیات خاکی مدنظر قرار گیرد.

بهتر است طراح سازه خاکی در نظر داشته باشد که موقعی که ضخامت قابل توجهی از آکند در سطح وسیعی پخش می‌شود، بار ناشی از آکندن می‌تواند باعث نشست قابل ملاحظه‌ای هم در خود توده آکند و هم در زمین زیرین شود. به علاوه، پس از گذشت زمانی بعد از اتمام ساخت، اگر آکندی دارای میزان تخلخل هوای بالایی باشد، آکند می‌تواند دچار فروریزش ناشی از فشار تجمع بالای آب شود (مخصوصاً در مکان‌هایی که آکند در زیر سطح دائمی آب زیر زمینی واقع شود). در مواردی که مصالح ماسه‌ای سست با دانه‌بندی یکنواخت به عنوان مصالح پرکننده گودبرداری‌ها با سطح آب زیرزمینی بالا استفاده شده باشد باید خطر روانگرایی نیز بررسی شود. این علل احتمالی برای حرکت زمین باید حین طراحی عملیات خاکی مرتبط با آکندن داخل گودبرداری‌ها یا گودال‌های طبیعی مدنظر قرار گیرد. طراح باید مشخصات مصالح آکندن را هم از لحاظ مقاومت باربری لازم برای سازه بالایی و هم از نظر محدود کردن حرکت و نشست آن سازه مورد نظر داشته باشد. این مسئله می‌تواند باعث لزوم تنظیم الزامات تراکم خاک بیش از الزامات معمولی که برای آکند های زیرساخت‌ها لازم است، شود. همچنین، گاهی می‌توان نوع مصالح آکندی را که قرار است استفاده شود را برای محدود کردن حرکات جسم توده آکند محدود کرد.



راهنما:

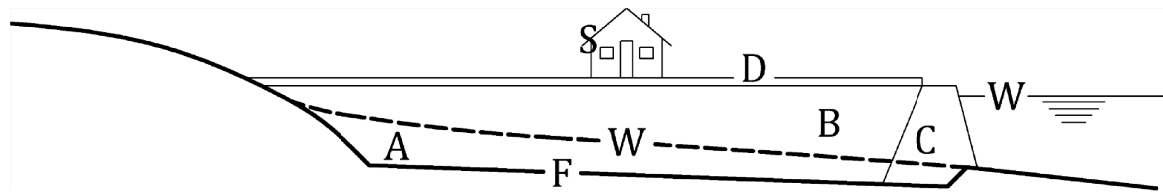
- | | |
|-------|--|
| A | بنیان (بستر) (در این مثال لایه بستر اجرا شده است تا امکان آکندن در قسمتی از گود که آبگیر است را فراهم کند) |
| B | هسته |
| C | شانه‌ها (نواحی کناری) |
| D | ناحیه بالایی |
| S | روسازه |
| W_0 | سطح آب زیرزمینی در شروع کار |
| W_f | سطح آب زیرزمینی در انتهای کار |

شکل 3- نمونه‌ای از ناحیه‌های یک آکندن در یک گودال طبیعی با محل گودبرداری شده

۴-۲-۲-۶ احیا و توسعه اراضی^۱ توسط خاکریزی هیدرولیک (آکندن هیدرولیک) مواد لایروبی^۲

کل بدنه آکند اراضی احیا شده یا توسعه یافته به روش قرار دادن هیدرولیک مواد لایروبی، معمولاً به چند ناحیه تقسیم‌بندی می‌شود (به روشی مشابه آنچه در زیربندهای ۲-۲-۲-۶ و ۳-۲-۲-۶ شرح داده شده است)، نمونه‌ای از چگونگی دستیابی به این تقسیم‌بندی در پروژه‌های آکندن هیدرولیک (برای اهداف توسعه و احیای زمین) در شکل ۴ نشان داده شده است. هسته ناحیه اصلی این نوع از آکند ها است. بنیان از زمین طبیعی کف دریا، دریاچه یا رودخانه تشکیل شده است، که در صورت لزوم از رسوبات قابل تراکم تمیز می‌شود. سازه‌های دیواره پیرامونی جانبی^۳ یا دایک‌ها معمولاً برای محصور و محدود کردن آکند، جلوگیری بیرون ریختن ناخواسته مصالح آکند هیدرولیک از محدوده موردنظر به محیط و همین‌طور امکان ساخت شیب‌های تندتر استفاده می‌شوند. ناحیه بالایی^۴ ممکن است شامل تعدادی لایه گذار باشد تا بستری برای سازه فراهم کند.

- 1- Land reclamation
- 2- Dredged hydraulic fill
- 3- Lateral bund structures
- 4- Upper zone



راهنما:

- A بنیان (خاک‌های طبیعی نرم موجود با لایروبی برداشته می‌شوند و با آکندن هیدرولیک جایگزین می‌شوند تا لایه بستر تشکیل شود)
- B هسته (آکند هیدرولیک)
- C دیواره پیرامونی^۱
- D ناحیه بالایی
- F سطح تشکیل^۲ (حد پایین ناحیه لایروبی)
- N سطح زمین اصلی قبل از لایروبی؛
- S روسازه
- W سطح آب (دریاچه، رودخانه یا دریا)

^۱ Bund

^۲ Formation

شکل ۴- نمونه‌هایی از ناحیه بندی آکند هیدرولیک برای احیا یا توسعه زمین

پروژه مهندسی عمران است که رفتار مورد انتظار سازه خاکی کامل شده را تعریف می‌کند. در استاندارد حاضر فرض بر این است که سازه خاکی با توجه به مواد و مصالح پُرکننده در دسترس، طراحی شده است. در اجرای آکند هیدرولیک با مواد لایروبی موارد زیر باید لحاظ شوند:

- وجود ذرات ریزدانه که ممکن است یا ممکن نیست آزادانه در محیط آبی ریخته شود؛
- نیاز به ایزوله‌سازی مواد آلوده برای جلوگیری از شسته شدن و نشت آلاینده‌ها؛
- هندسه نواحی لایروبی و پُر شده.

۵-۲-۲-۶ ساختمان‌ها و سازه‌های روی آکند

طراحی کارهای خاکی شامل در نظر گرفتن تمام جنبه‌هایی است که می‌تواند بر سازه‌هایی که بر رو یا داخل آکند ساخته می‌شوند تأثیر بگذارد، از جمله:

- نشست کلی و نشست‌های غیرهمسان پی‌های سطحی؛
- نیروی اصطکاک جدار منفی که بر روی انواع شمع‌ها و شفت‌ها به دلیل عملیات خاکریزی و پُر کردن اعمال می‌شود؛
- فشار جانبی ناشی از تراکم خاک روی سازه‌های مجاور چسبیده به آن (مانند کوله پل‌ها و دیواره‌های حائل)؛
- نشست غیرهمسان بین سازه‌های متکی بر شمع‌ها و المان‌ها و تاسیسات متکی بر زمین؛

- پایداری آکند تحت نیروهای لرزه‌ای و افزایش بیش از حد فشار آب حفره‌ای.
- میزان قابل قبول نشست‌های ناشی از وزن خود آکند (که در داخل بدنه مواد و مصالح پُرکننده ایجاد می‌شود) در حین و پس از ساخت بهتر است مورد توجه باشد (از جمله خطر فروپاشی در اثر آب گرفتگی به وسیله آب شرح داده شده در زیربند ۶-۲-۳). در زیر محل‌هایی از سازه خاکی که برای آن‌ها رواداری‌های سخت‌گیرانه نشست باید رعایت شود، طراح باید دقت لازم را در خصوص موارد زیر ملحوظ کند:
- ارتفاع مصالح پُرکننده؛
- مصالح و مواد و مصالح پُرکننده‌ای که مجاز است، استفاده شود؛
- تلاش تراکمی که باید به این مصالح اعمال شود؛
- مشخصات نهایی مواد و مصالح پُرکننده؛

خصوصیات مورد نیاز مصالح پُرکننده بهتر است از نظر چگالی و محتوای هوای حفرات آکند متراکم و همچنین سختی آکند بلافاصله پس از تراکم مورد توجه قرار گیرد. برای دستیابی به سختی لازم برای آکندهای زیر ساختمان‌ها و سازه‌ها اغلب به درجه تراکم بالاتری نسبت به آکندهای زیرساخت‌های سنتی نیاز است که ممکن است به مقادیر درصد رطوبت نسبتاً کمی در مصالح پُرکننده نیاز داشته باشد. در هر حال، طراح عملیات خاکی بهتر است اطمینان حاصل کند که درصد رطوبت در زمان جای‌گذاری^۱ مصالح آکند و همینطور تلاش‌های تراکمی^۲ مورد نیاز روی آن کافی باشد تا مطمئن شود که آکند متراکم‌شده تغییرات نامطلوب پس از ساخت را تجربه نخواهد کرد (مطابق با زیربند ۶-۳-۳ و ۶-۳-۴).

۶-۳ انتخاب خصوصیات مواد و مصالح پُرکننده و فرایند تراکم

۶-۳-۱ کلیات

طراحی مواد و مصالح پُرکننده مورد استفاده در کارهای خاکی، شامل شناسایی مواد و مصالح پُرکننده‌ای است که برای ساخت یک کار خاکی مشخص مناسب هستند و همینطور شامل تعیین خصوصیات مناسب برای مصالح پُرکننده و روند تراکم برای اطمینان از برآورده شدن نیازهای سازه خاکی تکمیل شده مورد نظر می‌باشد. زیربند ۶-۳ مسائلی را توصیف می‌کند که هنگام طراحی مصالح پُرکننده (مورد استفاده در عملیات خاکی) باید به آن‌ها پرداخته شود.

به دلایل اقتصادی، محیط زیستی و اجرایی^۳، معمولاً مواد و مصالح پُرکننده‌ای که برای ساختن یک کار خاکی استفاده می‌شوند، از مصالح در دسترس و به‌دست آمده از خاکبرداری‌ها یا حفاری گودال‌های قرضه‌ای که در خود ساختگاه یا نزدیکی ساختگاه پروژه هستند، انتخاب می‌شوند. ممکن است لازم باشد که

1- Placement
2- Compactive effort
3- Practical

مصالص حاصل از خاکبرداری، به جهت اطمینان از مناسب بودن برای استفاده، عمل‌آوری^۱ یا اصلاح^۲ شوند. هنگامی که پروژه نیاز به مواد و مصالح پُرکننده با ویژگی‌های خاص داشته باشد که این خصوصیات در مصالح موجود در محل ساختگاه وجود ندارد، در این صورت مصالح خاکی پروژه باید از سایر مناطق تامین شوند. در هر یک از این موارد، طراح کارهای خاکی باید مواد و مصالح پُرکننده را ارزیابی کرده تا مشخص کند آیا می‌توان به خصوصیات ضروری برای آکند مدنظر (منوط به استفاده از یک فرایند مناسب برای قراردادن و تراکم مصالح) دست یافت.

مواد و مصالح پُرکننده در ابتدا براساس خصوصیات طبقه ذاتی خود (رایج‌ترین این خصوصیات دانه‌بندی و شکل‌پذیری^۳ است. به زیربند ۵-۳ مراجعه کنید) به‌منظور بررسی پتانسیل بالقوه آن‌ها برای استفاده در کارهای خاکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در مرحله بعدی فرایند طراحی انتخاب بازه قابل قبول خواص حالت^۴ مصالح، برای مصالح پُرکننده موردنظر، براساس نتایج آزمون تراکم آزمایشگاهی انجام می‌شود (به استثنای پُرکننده‌هایی که برای انجام چنین آزمون‌هایی بیش از حد درشت هستند). برای آکندها، خصوصیات قابل قبول مواد معمولاً به درصد رطوبت، مقاومت برشی یا ضریب تغییر شکل^۵ (یا یک آزمون عملیات خاکی دیگر که مربوط به این خصوصیات است) مرتبط است. در ارتباط با مواد بازیافتی^۶ و محصولات جانبی^۷، تعیین خصوصیات باید شامل میزان مواد خطرناک و رفتار انتشار این مواد برای ارزیابی تأثیرات محیط زیستی در صورت استفاده از مواد بازیافتی و محصولات جانبی، باشد.

به طور کلی فرایند طراحی آکند در کارهای خاکی شامل شناسایی روشی برای استفاده از مواد طبیعی یا بازیافتی در دسترس جهت قراردادن مصالح آکند به‌طوری که پاسخگوی الزامات سازه خاکی نهایی موردنظر باشد، است. موفقیت این فرایند به فعالیت‌های مختلفی از جمله ارزیابی مواد، تعریف ویژگی‌های کار خاکی، انتخاب تجهیزات ساختمانی، انتخاب مراحل ساخت، و واپایش کیفیت در حین ساخت بستگی دارد.

شناسایی خصوصیات مناسب مصالح آکند و فرایند ساخت بهتر است در مرحله آماده‌سازی پروژه ارزیابی شود (یعنی قبل از شروع اجرای کارهای خاکی)، اما ماهیت پروژه‌های عملیات خاکی معمولاً حکم می‌کند که در مرحله اجرای پروژه، طراحی دائماً تطبیق داده شود تا با تنوع طبیعی مصالح که در حین اجرا با آن مواجه می‌شویم، وفق یابد. بنابراین جزئیات بیشتر در مورد جنبه‌های مربوط به طراحی در استاندارد EN 16907-3، استاندارد EN 16907-4، استاندارد EN 16907-5، استاندارد EN 16907-6 و استاندارد EN 16907-7 ارائه شده است، زیرا طراحی کارهای خاکی در تمام مدت اجرا ادامه دارد.

-
- 1- Treat
 - 2- Modify
 - 3-Plasticity
 - 4- State properties
 - 5- Deformation modulus
 - 6- Recycled materials
 - 7- By-products

این فرایند طراحی را می‌توان به عنوان یک سامانه کلی در نظر گرفت که شامل سه مرحله فعالیت زیر است (در هر مورد و در داخل پرانتزها به قسمت‌هایی از سری استاندارد های EN 16907 که ارتباطی وجود داشته اشاره شده است):

مرحله اول طراحی آکند- ارزیابی و توصیف مواد و مصالح در دسترس (به زیربند ۶-۳-۲ مراجعه شود)، که شامل موارد زیر است:

- طبقه‌بندی خاک و سنگ مصالحی که از خاکبرداری‌ها و برش‌ها به‌دست آمده است (مطابق با استاندارد EN 16907-2)؛

- شناسایی منابع تامین بالقوه دیگر (گودال‌های قرضه و مصالح پرکننده خارج ساختگاه) و طبقه‌بندی مواد و مصالح (مطابق با استاندارد EN 16907-2).

مرحله دوم طراحی آکند- ارزیابی رفتار آکند و محدودیت‌هایی که برای استفاده از هر ماده (مصالح) پُرکننده اعمال می‌شود (به زیربند ۶-۳-۳ تا زیربند ۶-۳-۵ مراجعه شود)، که شامل موارد زیر است:

- شناسایی معیارهایی^۱ که برای ارائه عملکرد مورد انتظار از سازه خاکی مورد نظر لازم است؛

- طبقه‌بندی خاک‌ها، سنگ‌ها و مواد بازیافتی در دسترس به‌عنوان طبقه‌هایی از مواد و مصالح پُرکننده (مطابق با استاندارد EN 16907-2 یا این استاندارد)؛

- ارزیابی رفتار تراکمی مواد و مصالح پُرکننده (مطابق با استاندارد EN 16907-1، استاندارد EN 16907-3، استاندارد EN 16907-4، استاندارد EN 16907-6 و استاندارد EN 16907-7)؛

- شناسایی درصد رطوبت و بازه چگالی قابل قبول برای برآورده‌شدن معیارهای لازم برای عملکرد سازه خاکی مدنظر؛

- تعریف ویژگی‌های فنی و الزامات کارهای خاکی پروژه.

مرحله سوم طراحی آکند انتخاب روش‌های مناسب اجرا و کنترل اجرای کارهای خاکی (به زیربند ۶-۳-۶ مراجعه شود)، که شامل موارد زیر می‌شود:

- در نظر گرفتن مناسب‌ترین روش‌ها و تجهیزات اجرایی (به استاندارد EN 16907-3، استاندارد EN 16907-4، استاندارد EN 16907-6 و استاندارد EN 16907-7 مراجعه شود)؛

- شناسایی مناسب‌ترین شکل وپایش کیفیت یا تضمین کیفیت (مطابق با استاندارد EN 16907-5)؛

- تأیید کفایت طراحی آکند که به‌وسیله آزمون‌های در ابعاد واقعی و یا سایر آزمون‌ها صورت می‌گیرد، و در صورت لزوم شفاف‌سازی.

با بررسی تجارب پروژه‌ها به این نتیجه می‌رسیم که فعالیت‌های صورت گرفته صراحتاً در سه مرحله طراحی به طور خلاصه ذکر شده در بالا تفکیک نمی‌شوند، با این حال مرور این تجارب نشان می‌دهد که هر یک از مراحل مذکور به نوعی در پروژه‌های مختلف تامین می‌شوند. بنابراین منطقی خواهد بود به طور خلاصه بیان کنیم که مراحل طراحی کارهای خاکی بهتر است به هر یک از این مراحل طراحی خاکریز بپردازد. در پروژه‌های مختلف، ارزیابی متفاوتی برای سازه‌های مختلف خاکی یا نواحی مختلف یک سازه خاکی انجام خواهد شد.

۲-۳-۶ تعیین مشخصه‌های مواد

شناسایی و تعیین مشخصه‌های مواد و مصالح در دسترس برای استفاده به عنوان مصالح پرکننده، اولین مرحله از تمامی مراحل طراحی کارهای خاکی است (به زیربند ۶-۳-۱ مراجعه کنید). شناسایی شامل توصیف ماهیت خاک و سنگ است. این شامل درصد رطوبت و برخی از خصوصیات ذاتی زیر است:

– توزیع اندازه دانه، کربنات‌ها، سولفات‌ها، میزان مواد آلی، حد خمیری و روانی، مقدار متیلن بلو برای خاک‌ها؛

– ضریب لس آنجلس، قابلیت تکه‌تکه شدن دینامیک^۱، شکنندگی^۲، تجزیه‌پذیری^۳، قابلیت تکه‌تکه شدن^۴، برای سنگ‌ها و آزمون‌های خاص برای سایر مصالح؛

اطلاعات بالا برای طبقه‌بندی مواد (مطابق با استاندارد EN 16907-2) استفاده می‌شوند.

۳-۳-۶ معیارهای ارزیابی مصالح خاکریز متراکم‌شده

شرایط و الزاماتی که یک سازه خاکی باید تامین کند به عنوان بخشی از خروجی طراحی ژئوتکنیکی یا سازه‌ای شناخته می‌شود. به عنوان مثال، خروجی این طراحی‌ها ممکن است منتج به سختی مورد نیاز در تراز تمام‌شده زمین و یا محدودیت‌هایی در نشست‌های مجاز، برای یک محدوده مشخص که بر آن باری تعریف شده، شود.

طراحی کارهای خاکی بهتر است معیارهای کار خاکی را که باید تامین شود تا بتواند الزامات سازه خاکی (مانند سختی) را برآورده کند، مشخص کند و همین‌طور از مشکلات در حین و بعد از اجرا جلوگیری کند. این معیارها بسته به شرایط خاص ساختگاه، مصالح در دسترس برای آکندن و کارکرد نهایی آکند متفاوت است و ممکن است شامل برخی یا همه موارد زیر باشد:

– معیارهای مربوط به آکند کامل‌شده؛

– حداقل مقدار ضریب تغییر شکل عمودی؛

1- Dynamic fragmentation
2- Friability
3- Degradability
4- Fragmentability

- حداقل مقدار مقاومت باربری (بر اساس روش آزمون مشخص شده)؛
 - حداکثر یا حداقل مقدار نفوذپذیری، در صورت لزوم؛
 - معیارهای مربوط به فازهای اجرایی؛
 - ترددپذیری^۱ (برای سهولت اجرا)؛
 - کیفیت تراکم یا الزامات روش کار، به عنوان مثال:
 - مواد و مصالح پرکننده نباید به دلیل افزایش بیش از حد فشار آب حفره ای حین عملیات تراکم ناپایدار شوند. این پدیده ناشی از بیش تراکمش است و منجر به تشکی شدن خواهد شد؛
 - تغییرات آکند پس از تراکم ناشی از خشک شدن و در نتیجه جدا شدن لایه ها و ترک خوردگی؛
 - کارایی (به عنوان مثال درصد رطوبت مصالح منبع قرضه نسبت به مقدار بهینه آن برای تراکم)؛
 - معیارهای مربوط به دوام:
 - پایداری طولانی مدت آکند متراکم شده، به ویژه مقاومت در برابر تغییرات درصد رطوبت (فروریزش محدود، بالازدگی و نشست)؛
 - مقاومت در برابر یخبندان؛
 - پتانسیل تجزیه پذیری.
- معیارهای بالا باید به یک مجموعه الزامات ویژگی های فنی برای مصالح پُرکننده بالقوه و همین طور ارائه فرایند اجرایی (روش تراکم و عمل آوری مصالح با شرایط خاص) منتج شود.
- در بیشتر موارد، قابلیت تراکم مواد و مصالح پُرکننده بالقوه ابتدا با استفاده از آزمون های تراکم استاندارد شده آزمایشگاهی (در صورتی که بر روی مصالح مورد نظر قابل انجام باشند. برخی از استثنائات معمول، آکندهای ساخته شده از بلوک های سنگی یا ساخته شده از مصالح بسیار درشت دانه هستند)، ارزیابی می شود. طراح باید ارزیابی هایی در راستای شناخت این امر که نتایج آزمون های تراکم فقط نمایشگر پاسخ آکند به تلاش های تراکمی استاندارد است، انجام دهد. انجام هر دو آزمون پروکتور و پروکتور اصلاح شده برای روشن شدن پاسخ مصالح به تغییرات تلاش تراکمی می تواند مفید باشد. خصوصیات مکانیکی و دوام مصالح پُرکننده خاکریز در یک فرایند تراکم معین پس از اتمام عملیات تراکم باید با آزمون های تراکم در مقیاس کامل (مطابق با زیربند ۶-۳-۷) یا انجام آزمون درجا از لایه های پایینی خاکریز (برای سنجش چگالی، سختی، تغییر شکل پذیری، مقاومت یا نفوذپذیری) بررسی شوند. این را می توان برای یک پروژه

1- Trafficability

عملیات خاکی معین یا سازمان‌دهی شده در مقیاس ملی یا بین‌المللی، برای تهیه ضوابطی مبتنی بر تجربه^۱، که می‌تواند در مرحله طراحی یا در مرحله اجرا مورد استفاده قرار گیرد، انجام داد.

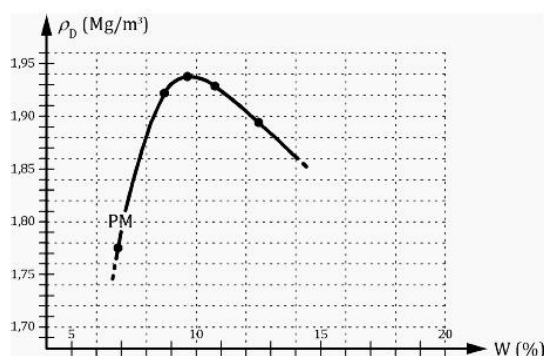
این آزمون‌ها یا ضوابط مبتنی بر تجربه شرط توصیه استفاده از چگالی خشک یا درجه تراکم هستند (بسته به این‌که کدام کاربرد داشته باشد)، برای مشخص کردن شرایط مطلوب مواد و مصالح پُرکننده پس از تراکم، برای جزئیات به زیربند ۶-۳-۴ مراجعه کنید.

۶-۳-۴ رفتار تراکمی مواد و مصالح پرکننده

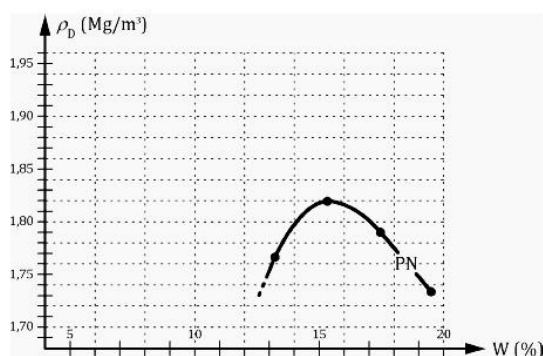
ارزیابی قابلیت تراکم هر یک از مواد و مصالح پرکننده موجود، مرحله دوم از رویه طراحی آکند (که در زیربند ۶-۳-۱ شرح داده شده است) است. هر کجا که ممکن است باید رفتار مواد و مصالح پُرکننده در آزمایشگاه آزمون شود. در مواردی که مواد و مصالح برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی بسیار درشت است، ارزیابی بر اساس تجربه و نتایج آزمون‌های تراکم در مقیاس کامل (مطابق با استاندارد EN 16907-3) انجام می‌شود. آزمون‌های تراکم آزمایشگاهی باید بر روی خاک‌هایی که برای استفاده به‌عنوان مصالح آکند پیشنهاد می‌شوند، انجام شود تا چگالی خشکی را که امکان رسیدن به آن در نتیجه اعمال تلاش‌های تراکمی استاندارد بر روی توده خاک با درصد رطوبتی مشخص وجود دارد، مشخص شود. نمونه‌های خاک بر روی طیف وسیعی از درصدهای رطوبت مختلف مورد آزمون قرار می‌گیرند تا بیشینه چگالی خشک و مقدار مطلوب آب برای تلاش تراکمی اعمال شده، تعیین شود. در صورتی که ماده پُرکننده خاک باشد، دو روش آزمایشی بیشتر معمول است که مورد استفاده قرار گیرد، آزمون‌های پروکتور و پروکتور اصلاح‌شده، که این دو آزمون از لحاظ انرژی ویژه تراکم اعمال شده، متفاوت هستند.

انتخاب روش آزمون بستگی به ماهیت و وضعیت خاک و سطح پیش‌بینی‌شده از تلاش تراکمی دارد که قرار است در ساختگاه اعمال شود. البته ممکن است این موضوع در سطح ملی یا منطقه‌ای یا در سطح پروژه تعریف شود.

نتایج نمونه برای آزمون‌های پروکتور و پروکتور اصلاح‌شده بر روی یک نوع خاک (نمونه برای یک نوع خاک در شکل آورده شده) در شکل ۵ نشان داده شده است. تلاش تراکمی بیشتر در آزمون پروکتور اصلاح‌شده منجر به درصد رطوبت بهینه کمتر و حداکثر چگالی خشک بیشتر می‌شود. البته یک استثناء قابل‌توجه مربوط به ماسه با دانه‌بندی یکنواخت و شن ریز است که در آن‌ها افزایش تلاش تراکمی اثرات جزئی دارد.



ب- آزمون پروکتور اصلاح شده (PM)



الف- آزمون پروکتور (PN)

شکل ۵- نمونه‌هایی از منحنی حاصل شده از آزمون‌های الف و ب

هنگامی که هر دو آزمون روی یک نوع خاک خاص انجام می‌شود، طراح عملیات خاکی باید داده‌های آزمون‌های آزمایشگاهی را بر روی یک نمودار مشترک ترسیم کند، این کار به ارزیابی بازه مناسب درصد رطوبت برای تراکم آکند و چگالی خشک موردنظر که بهتر است تحت عملیات تراکم در ساختگاه به‌دست آید، کمک می‌کند.

وضعیت مواد و مصالح پرکننده بهتر است با ترسیم خطوط میزان حفره‌های هوا^۱ و درجه اشباع آکند مشخص شود. این امر مستلزم تشخیص چگالی ذرات مواد و مصالح، چه با آزمون‌های آزمایشگاهی و چه بر اساس یک برآورد قابل اعتماد (به فرض مشخص بودن نوع ماده موردنظر)، است.

درصد رطوبت یک خاک در زمان خاکبرداری یا یک آکند در زمان ساخت آن، اغلب با درصد رطوبت بهینه^۲ متفاوت است. علاوه بر این، درصد رطوبت در داخل لایه خاک ممکن است تغییر کند و درصد رطوبت در زمان مطالعات با درصد رطوبت زمان عملیات اجرایی به دلیل تغییرات آب‌وهوایی فصلی، متفاوت باشد. بنابراین، توصیف مشخصه‌های تراکمی خاک باید شامل ارزیابی یک محدوده قابل پذیرش درصد رطوبت و همین‌طور چگالی خشک و رفتار مکانیکی و دوام مربوط به آن درصد رطوبت‌ها باشد. این گستره قابل قبول درصد رطوبت را می‌توان بر اساس حدود پذیرش پایین و بالا تعریف کرد، همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است.

بسیاری از مواد و مصالح پرکننده‌ای که با درصد رطوبت‌های خیلی کمتر از درصد رطوبت بهینه و درصد تخلخل هوای بالا متراکم شده‌اند، مستعد تغییرات حجمی و حرکات پس از اتمام عملیات تراکم^۳ آکند در صورت تغییر در درصد رطوبت هستند. رفتار احتمالی توده خاک پس از اتمام عملیات تراکم بستگی به عوامل مختلفی دارد، از جمله: دانه‌بندی مصالح پرکننده، درصد رطوبت هنگام استقرار آکند نسبت به درصد رطوبت بهینه، شکل‌پذیری، کانی‌شناسی، فشار لایه‌های بالایی خاک بر هر نقطه در درون سازه خاکی

1- Air voids content
2- Optimum water content
3- Post compaction changes in volume

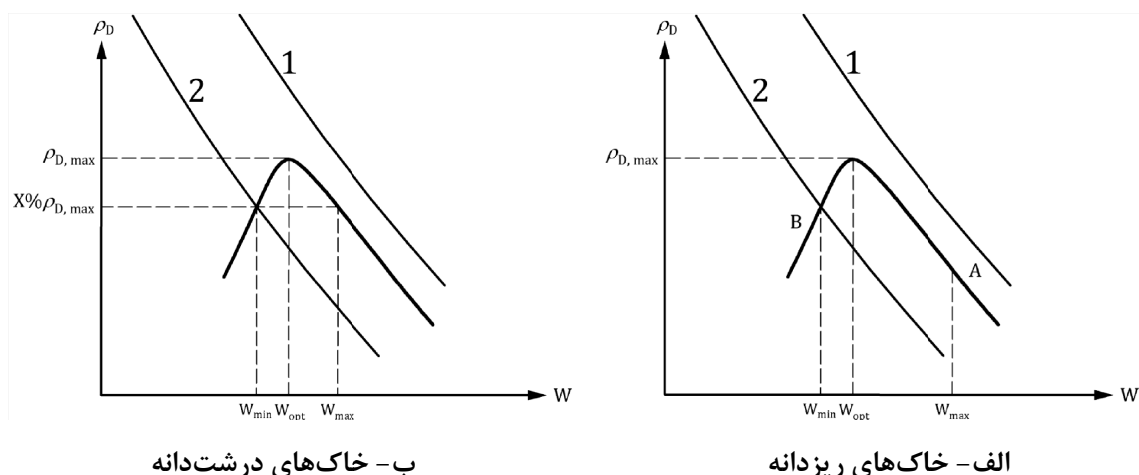
تکمیل شده و غیره. چنین عواملی باید برای خاک‌های موردنظر شناسایی شوند و این مطلب که آن خاک پس از اتمام عملیات تراکم، پتانسیل تغییر شکل دارد توسط طراح ارزیابی شود.

یک ناحیه (یا یک بازه) از درصدهای رطوبت قابل قبول که تراکم کافی ایجاد می‌کند بهتر است برای هر ماده و مصالح پرکننده تعریف شود (مطابق با شکل ۶). معیارها معمولاً با توجه به حداقل چگالی قابل قبول نهایی، و اغلب در تلفیق با انجام شده با بیشینه نسبت قابل پذیرش تخلخل نهایی هوا (یا درجه اشباع)، به علاوه با در نظر داشتن حدود پایینی و بالایی مجاز درصد رطوبت به منظور دستیابی به خواص مکانیکی قابل قبول و به حداقل رساندن تغییرات (حرکات) پس از اتمام عملیات تراکم، تعریف می‌شوند. این معیارها پس از مشخص شدن، امکان تهیه ویژگی‌های فنی^۱ عملیات خاکی را فراهم می‌کند (به بند ۱۲ مراجعه شود).

ارزیابی مصالح پرکننده درشت دانه (دانه‌های) بر مبنای درصد رطوبت نسبتاً آسان است، به مورد الف شکل ۶ مراجعه کنید:

- حد قابل قبول بالایی^۲ به طور معمول بر اساس درصد موردپذیرش از حداکثر چگالی خشک تعریف می‌شود؛
- حد قابل قبول پایینی^۳ باید بررسی شود که آیا معیارهای چگالی باید بر اساس حفره‌های هوا بیشتر محدود شوند تا از خطر درازمدت فروریزش ناشی از نشست جلوگیری شود.
- برای مصالح پرکننده ریز دانه (چسبنده) (مطابق با مورد ب شکل ۶)، طراح هنگام ارزیابی محدودیت‌های مقبولیت مربوط به درصد رطوبت باید به موارد زیر توجه کند:
- حد قابل قبول بالایی: طراح باید مقاومت/سختی موردپذیرش برای آکند پس از اتمام عملیات تراکم را در نظر بگیرد و همچنین حداقل مقاومت مورد نیاز آکند که اجازه عملیات اجرایی را خواهد داد و از ایجاد فشار آب منفذی اضافی در اثر تراکم جلوگیری می‌کند، مورد توجه قرار دهد (به عنوان مثال آکند در نقطه A در مورد ب شکل ۶ از تراکم بیشتر سودی نخواهد برد)؛
- حد قابل قبول پایینی: باید با توجه به تخلخل هوا (یا درجه اشباع) انتخاب شود تا احتمال ایجاد حرکت بیش از حد پس از ساخت و اجرا به حداقل برسد (به عنوان مثال یک آکند در نقطه B از مورد ب شکل ۶ نسبت تخلخل هوایی بیشتری خواهد داشت و در نتیجه تلاش‌های تراکمی بیشتری برای افزایش چگالی آکند به منظور دستیابی به یک آکند پایدار لازم است).

1- Specification
2- Upper acceptable limit
3- Lower acceptable limit



راهنما:

- 1 خط اشباع (درصد تخلخل هوا صفر درصد)
- 2 خط درصد تخلخل هوا a
- w درصد رطوبت
- PD چگالی خشک (Mg/m³)
- Wopt درصد رطوبت بهینه
- Wmin حد پایینی پذیرش درصد رطوبت
- Wmax حد بالایی پذیرش درصد رطوبت

شکل ۶- مثال هایی برای نشان دادن تعریف محدوده درصد رطوبت بر اساس منحنی تراکم الف و ب

در مواردی که یک ماده پُرکننده که بر اساس تجارب گذشته به خوبی شناخته شده است در یک عملیات خاکی که سابقه خوبی دارد، مورد استفاده قرار گیرد، ارزیابی طراحی می تواند بر اساس آزمون های آزمایشگاهی مربوط به توصیف مشخصه های مصالح و نتایج آزمون تراکم انجام شود. در این شرایط، طراحی را می توان بر اساس تجارب ملی رسمی و ثبت شده، در صورت امکان با استفاده از ارتباط تجربی خواص شاخص خاک^۱ با خواص مکانیکی^۲ مانند مقاومت یا سختی احتمالی آکند متراکم، پیش برد. با این حال، در مواردی که از مصالح آکنده که بر اساس تجارب گذشته خصوصیات آن به خوبی شناخته نشده، استفاده می شود، بهتر است رفتار مصالح آکند با آزمون های وابستگی که در آزمایشگاه انجام می شود تصریح شود (به زیربند ۶-۳-۵ مراجعه شود).

نشست های ناشی از آب گرفتگی از جمله اصلی ترین خطرات برای ساختمان ها و دیگر سازه هایی هستند که بر روی ضخامت های قابل توجه آکند بنا شده اند (مطابق با زیربند ۶-۲-۲-۵). ریسک این خطر در جایی که آکند در زیر تراز بالقوه آب های زیرزمینی بلندمدت قرار گرفته باشد (مانند پُر کردن معدن، به زیربند ۶-۲-۲-۳ مراجعه شود)، بسیار زیاد است، اما می تواند در موقعیت های مختلف دیگری نیز (به عنوان مثال در اطراف لوله شکسته آب) رخ دهد. در مواردی که ممکن است سازه ها تحت تأثیر منفی قرار بگیرند، معیارهای

1- Soil index properties
2- Mechanical properties

طراحی عملیات خاکی برای قرار دادن و تراکم باید تعیین شود تا از نشست‌های بعد از اجرای آکند و در داخل توده آکند جلوگیری شود. این باید شامل الزاماتی باشد که آکندهای زیر فونداسیون‌ها تا مقادیر محتوای هوای حفره‌های کوچکی متراکم شوند (به‌عنوان مثال کمتر از ۵٪ تخلخل هوا برای مصالح پُرکننده دانه‌های خوب دانه‌بندی شده). تثبیت خاک با استفاده از پیوندها یک گزینه احتمالی است.

اطلاعات خاص در مورد چگونگی پرداختن به این موضوعات برای انواع متداول مواد و مصالح پُرکننده و نمونه‌های مشابه بر اساس خطوط اشباع^۱، در استاندارد EN 16907-3 آمده است.

۵-۳-۶ آزمون وابستگی^۲ برای ارزیابی عملکرد آکند

اطلاعات منتج شده از آزمون تراکم برای یک ماده پُرکننده خاص می‌تواند با انجام آزمون‌های آزمایشگاهی اضافی بر روی هر یک از نمونه‌های متراکم‌شده، با فرایندی که به عنوان «آزمون وابستگی» شناخته می‌شود، به خواص مکانیکی آکند متراکم‌شده مرتبط شود. با این رویکرد، رابطه بین درصد رطوبت آکند و مقاومت/سختی یا نفوذپذیری مصالح متراکم‌شده را می‌توان تعیین کرد. آزمون وابستگی را می‌توان برای ارزیابی تغییرات احتمالی در مقاومت/سختی و حجم نمونه‌های آکند متراکم‌شده در نتیجه افزایش احتمالی درصد رطوبت پس از تراکم آکند، گسترش داد: این را می‌توان با انجام آزمون‌های (CBR)^۳ غوطه‌ور ارزیابی کرد.

نتایج حاصل از آزمون‌های مختلف آزمایشگاهی انجام‌شده بهتر است توسط طراح عملیات خاکی بر روی یک نمودار واحد یا مجموعه‌ای از نمودارها با محور مشترک (معمولاً از درصد رطوبت به عنوان محور x استفاده می‌شود)، برای بررسی تأثیر تغییرات در ویژگی‌های آکند برای میسر کردن تعیین محدوده مناسب درصد رطوبت آکند و چگالی خشک آن که آکند متراکم‌شده را قادر می‌سازد تا خصوصیات ضروری طراحی ژئوتکنیکی در نظر گرفته‌شده برای سازه خاکی نهایی را برآورده کند، ترسیم شود. این رویکرد همچنین طراح عملیات خاکی را قادر می‌سازد تا تشخیص دهد که آیا یک مصالح پُرکننده خاص برای استفاده نهایی موردنظر مناسب است یا خیر. این فرایند ارزیابی آزمایشگاهی مصالح پُرکننده بالقوه را کامل کرده و امکان توسعه و تهیه ویژگی‌های فنی عملیات خاکی را فراهم می‌آورد.

فرایند آزمون وابستگی به تعدادی نمونه فله از آکند نیاز دارد که در طول دوره شناسایی زمین گرفته شوند تا اطمینان حاصل شود که مصالح کافی برای انجام آزمون‌ها در دسترس است.

1- Saturation lines

2- Relationship testing

3- California Bearing Ratio

۶-۳-۶ ارتباط بین روش اجرا و طراحی عملیات خاکی آکند

تجهیزات ساختمانی عملیات خاکی که قرار است در پروژه برای خاکبرداری، عمل‌آوری، قرار دادن و تراکم مواد و مصالح پرکننده استفاده شوند بهتر است با توجه به نوع آکندی که قرار است استقرار یابد و شرایط ساختگاه به‌منظور اطمینان از برآورده‌شدن الزامات تراکم موردنظر انتخاب شوند.

مناسب بودن یک تجهیز معین برای متراکم‌سازی کافی یک آکند معلوم، بهتر است بر مبنای تجربیات قبلی باشد و می‌توان آن را با آزمون‌های تراکم در مقیاس کامل با استفاده از خاک یا سنگ منتخب و ابزارهای تراکم انتخاب‌شده، تأیید کرد (به زیربند ۶-۳-۷ مراجعه شود). این آزمون‌ها باید قبل یا در آغاز کارهای اصلی انجام شوند و در صورت قابل قبول بودن می‌توانند در کارها گنجانده شوند.

یک شیوه و روال خوب این است که مناسب‌بودن طراحی مواد و مصالح پرکننده و روش اجرایی پیشنهادی در حین عملیات اجرایی تأیید شود. این کار باید با بررسی نتایج آزمون‌ها درجا روی آکندهای جای‌گذاری و متراکم‌شده در ابتدای هر فاز عملیات خاکی انجام شود (به عنوان مثال در اولین استفاده از یک ماده پرکننده مشخص یا یک فرایند اجرایی). در صورت وجود اختلاف آشکار بین نتایج حاصل از آزمون درجا و هدف طراحی، بهتر است ارزیابی کرد که آیا مشکل از روش اجرایی است یا هدف طراحی. در بیشتر موارد، روش اجرایی باید برای استفاده از مصالح موجود تغییر کند. در برخی موارد نادر، طراحی سازه خاکی باید با توجه به مصالح در دسترس اصلاح شود.

۶-۳-۷ استفاده از آزمون‌های مقیاس کامل جهت ارزیابی فرایند تراکم برای یک مصالح پرکننده معین

فرایند تراکم مناسب برای هر ماده پرکننده بهتر است در مرحله طراحی پروژه انتخاب شود. آزمون‌ها در مقیاس کامل در بسیاری از موارد مفید است و معمولاً بهتر است برای آزمون مصالح پرکننده با رفتار ناشناخته یا تجهیزات جدید و یا فرایندهای محتمل برای متراکم‌سازی بهتر، مورد استفاده قرار گیرد.

در این آزمون‌ها لازم است موارد زیر ثبت شوند:

- خواص مواد و مصالح پرکننده و حالت اولیه آن‌ها؛
- هرگونه اصلاحی که قبل از متراکم‌سازی روی این ماده اعمال می‌شود؛
- ضخامت لایه؛
- تجهیزات تراکم مورد استفاده (اصول کارکرد، وزن، سرعت، ارتعاش)؛
- تعداد پاس‌های تراکم اعمال‌شده به مواد و مصالح؛
- نتایج (خواص مکانیکی لایه آکند متراکم).

هر یک از این عناصر باید ثبت شوند تا ارزیابی مواد و مصالح متراکم‌شده حاصل (با استفاده از معیارهای زیربند ۳-۳-۶) به یک فرایند تراکم مشخص مرتبط شود.

یادآوری- استاندارد EN 16907-3 نمونه‌ای از روش مورد استفاده برای اعتبارسنجی یک فرایند تراکم را به طور کامل شرح داده است، از جمله اطلاعات لازم در مورد مواد و مصالح و اصلاحاتی که روی آن‌ها انجام شده است، فرایند ایجاد یک لایه، اندازه منطقه آزمون، ضخامت لایه، تجهیزات مورد استفاده برای تراکم، نحوه انجام تراکم، آنچه بررسی شده است، معیارهای مورد استفاده برای ارزیابی نتایج و محتوای گزارش است.

فرایند تراکم صحیح مصالح پرکننده بهتر است به گونه‌ای انتخاب شود که منتج به نتایج آزمون‌ها در مقیاس کامل شرح داده شده در بالا باشد. انحراف مجاز از مواد و مصالح مورد آزمون بهتر است تعیین شود تا در صورت وجود تغییرات در زمین یا استفاده از سایر مصالح برای ساخت خاکریز، کارها پیش بروند.

ممکن است از تجربیات محلی برای برون‌یابی نتایج آزمون یا حتی جایگزینی آزمون‌ها در مواردی که قبلاً از خاک‌ها یا سنگ‌های یا سایر مصالح مشابه عملیات حاضر برای همین نوع کار و در شرایط مشابه (از نظر عملیات خاکی) استفاده شده باشد، به کار رود.

۸-۳-۶ طراحی سطح مقطع آکند

طراحی سطح مقطع، قسمتی از پروژه سازه خاکی است، (به زیربند ۲-۲-۶ مراجعه کنید). این طراحی باید خصوصیات ضروری خاکریز و مصالح در دسترس را در نظر بگیرد. همان‌طور که در زیربند ۲-۲-۶ ذکر شد، بهتر است احتیاط‌های لازم جهت محافظت از مواد و مصالح حساس به آب، جلوگیری از شسته شدن مواد آلوده و ممانعت از تماس بین مواد واکنش‌پذیر، صورت پذیرد.

۴-۶ جزئیات قسمت‌ها، مصالح و سازه‌های خاکی ویژه

۱-۴-۶ مقدمه

الزامات طراحی و ساخت ویژه‌ای به قسمت‌های ویژه‌ای از سازه‌های خاکی، در خصوص استفاده از مصالح ویژه یا در خصوص شرایط مرزی ویژه سازه خاکی (علاوه بر موارد عمومی که در این استاندارد شرح داده شده است) اعمال می‌شود. این موارد می‌توانند همزمان باشند. شایع‌ترین این موارد به شرح زیر در نظر گرفته شده است.

۲-۴-۶ لایه‌های پوشش نهایی^۱

اقدامات در نظر گرفته شده برای یک لایه پوشش نهایی نیاز به استفاده از مصالح پُرکننده با کیفیت مناسب را ضروری می‌کند. سطح بالایی لایه پوشش نهایی «پلتفرم (بنیاد و اساس)»^۲ یا سطح تشکیل است.

1- Capping layers

۲- سطحی آماده شده برای اجرای خاکریز یا روسازه - Formation یا Platform

- لایه‌های پوشش نهایی برای انجام دو مجموعه از وظایف در جایی که نیاز باشد، نصب می‌شوند:
- در طول عملیات اجرایی (اقدامات کوتاه مدت):
- تراز کردن دقیق پلتفرم به‌منظور تسهیل در اجرای روسازه؛
 - ارائه سختی یا ظرفیت باربری کافی، با وجود تغییرات آب‌وهوایی، برای اجرای صحیح تراکم لایه‌ها یا اجرای سازه‌های روی آن (اثر «سندان»^۱)؛
 - محافظت از بستر آکند یا خاکبرداری (برش)، در برابر عوامل آب‌وهوایی؛
 - اطمینان از شرایط خوب تردد برای تجهیزات مورد نیاز برای ساخت روسازه؛
 - در نهایت، تکیه‌گاهی برای ترافیک عملیات اجرایی سایر قسمت‌ها.
- برای برخی از انواع لایه‌های پوشش نهایی، ممکن است محدودیت‌های موقت یا دائمی تردد نیاز باشد که الزامی شود.
- پس از پایان ساخت‌وساز (اقدامات بلندمدت):
- یکنواخت کردن تغییر شکل‌های کف و بنیان (بستر) خاکریزها یا خاکبرداری‌ها، مطابق با چیزی که در طراحی روسازه مشخص شده است (تعریف مشخصه‌ها و/یا حداقل مقادیر)؛
 - اطمینان از این‌که حداقل سختی در طول زمان، با وجود نوسانات رطوبت در مصالح حساس به رطوبت در لایه‌های زیرین ثابت بماند و این سختی بتواند با درستی کافی برای طراحی روسازه تخمین زده شود؛
 - اصلاح ظرفیت باربری پلتفرم برای بهینه‌سازی هزینه‌های ترکیبی سامانه متشکل از «لایه پوشش نهایی/روسازه»^۲؛
 - ایجاد عایق حرارتی برای مصالحی از آکند که نسبت به یخ‌زدگی و ذوب‌شدن یا بالازدگی ناشی از یخ‌زدگی^۲ حساس هستند؛
 - مشارکت در زهکشی سازه تکمیل شده.
- بسته به شرایط ساختگاه (نوع خاک، آب‌وهوا، محیط هیدروژئولوژیکی، ترافیک و غیره)، لایه پوشش نهایی ممکن است شکل‌های متفاوتی داشته باشد. از جمله می‌تواند:
- وقتی مصالح خاکریز یا برش (محل خاکبرداری) دارای خصوصیات کافی باشند، کاهش یافته یا وجود نداشته باشد؛
 - محدود به یک لایه از مواد یا مصالح با مشخصات لازم شود؛

1- "Anvil" effect

2- Frost heave

- ساخته شده از لایه‌های روی هم از مواد و مصالح مختلف با عملکردهای متفاوت باشد، از جمله برای مثال یک لایه ژئوسنتتیک، یک لایه مصالح درشت‌دانه، یک لایه ترازکننده ریزدانه، یک لایه پوشش شن، یک لایه خاک با چسبندگی بهبودیافته. چنین ترکیبی از لایه‌های جداگانه ممکن است به گونه‌ای طراحی شود که یک لایه پوشش نهایی با خواص کافی را تشکیل دهد.

۳-۴-۶ ناحیه‌های انتقالی (گذار)^۱

۱-۳-۴-۶ مقدمه

خاکریزها ممکن است انواع مختلفی از نواحی گذار را شامل شوند: گذار طولی برای نیمرخ‌های^۲ نیمه‌برش/نیمه خاکریز^۳، گذار از خاکریزها به برش‌ها^۴، گذار از خاکریز به سازه‌ها، برهم‌کنش‌ها با سایر سازه‌های خاکی جایگزین شیب‌های جانبی معمول، برهم‌کنش با کالورت‌ها^۵ یا دیگر سازه‌های عبورکننده از هسته خاکریز.

همه ناحیه‌های انتقالی به طراحی خاصی نیاز دارند تا تغییرات کافی در سختی و نفوذپذیری، راه حل مشکلات زهکشی یا سایر الزامات، بسته به نوع زیرساخت مدنظر را تامین کنند.

۲-۳-۴-۶ نیمرخ‌های^۶ نیمه برش یا نیمه خاکریز

این نوع انتقال زمانی اتفاق می‌افتد که یک سطح مقطع از دو قسمت مختلف خاکریز و برش تشکیل شده باشد. پروفیل در امتداد زیرساخت ادامه می‌یابد و به‌طور تقریبی تقاطع بین خاکریز و زمین طبیعی را نشان می‌دهد تا زمانی که یک سطح مقطع کامل برش یا خاکریز به‌دست آید.

طراحی این سازه خاکی شامل ارزیابی پایداری مطابق با استاندارد EN 1997-1 و طراحی خاص برای ایجاد تورفتگی در بین هر دو نوع نیمرخ است. بیشتر طرح‌های معمولی شامل حالت پلکانی در زمین طبیعی (و زهکشی آن) و ناحیه‌بندی سطح مقطع خاکریز است.

زهکشی مناسب در محل تماس برش و خاکریز بهتر است در نظر گرفته شود.

۳-۳-۴-۶ گذار از خاکریز به برش

انتقال از خاکریزها به برش‌ها سازه‌های خاکی خاصی هستند که بهتر است برای جلوگیری از تغییرات ناگهانی در سختی و بالادگی ناشی از یخ‌زدگی از پایین برش تا به بالای خاکریز طراحی شوند. آن‌ها باید تا حد امکان کم شیب ساخته شوند، هم به‌صورت عرضی و هم به‌صورت طولی است.

1- Transition zones

2- Sections

3- Half cut/half fill

4- Cuts

5- Culverts

6- Profiles

انتقال‌هایی که در آن‌ها توالی از برش به خاکریز به صورت فرو شیب (فرو دامنه، به صورت شیبی به سمت پایین) است، باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که از ورود رواناب به بالای خاکریز از طریق لایه‌های بالایی آن به دلیل تماس مستقیم آن با کف برش جلوگیری شود، تا بتواند رواناب را از خود، دامنه‌ها و مناطق مجاور هدایت کند. بنابراین، به‌طور کلی بهتر است برخی ترانشه‌های عرضی یا سایر طرح‌های زهکشی خاص پیش‌بینی شوند، مگر این‌که رواناب‌های مورد انتظار بسیار کوچک باشند.

۴-۳-۴-۶ گذار از خاکریز به سازه

در نواحی انتقال بین عملیات‌های خاکی و سازه‌ها (به‌عنوان مثال در پل‌ها)، اقدامات مناسب هم برای کاهش نشست‌های غیرهمسان و هم برای اطمینان از گذار تدریجی در سختی تکیه‌گاه‌ها بهتر است انجام شوند. قسمتی از این اقدامات از طراحی سازه خاکی انتظار می‌رود.

در تعریف ناحیه انتقال، جنبه‌های زیر بهتر است در نظر گرفته شوند:

- نوع کوله زیرسازه (باز، بسته، زیرگذر، قاب، شمع و غیره)؛
 - فرایند ساخت و اجرا؛
 - ارتفاع خاکریز؛
 - سختی و مقاومت زیرسطحی خاک؛
 - سختی کوله در زیرسازه (بتن، خاک مسلح، تور سنگ^۱).
- هنگام بررسی بهره‌برداری نهایی از سازه خاکی، بهتر است جنبه‌های زیر در نظر گرفته شود:
- در عملیات تراکم، خصوصاً در مجاورت سازه و در کوله‌های باز باید دقت ویژه‌ای شود؛
 - باید از مواد و مصالح پُرکننده قابل تراکم منتخب مانند شن و ماسه خوب دانه‌بندی شده یا سنگ شکسته استفاده شود؛
 - برای خاک‌های ریزدانه، برای بهبود سختی باید عمل‌آوری با پیوندها در نظر گرفته شود (به استاندارد EN 16907-4 مراجعه شود)؛
 - از اختلاط عمیق خاک می‌توان به‌عنوان یک جایگزین برای دستیابی به سختی مناسب ناحیه انتقال استفاده کرد؛
 - اسلب‌های^۲ انتقال نیز می‌توانند تدبیر شوند؛
 - یک لایه زهکش باید در پشت سازه گنجانده شود؛

1- Gabion

2- Slabs

- ژئوگریدها^۱ می‌توانند برای کاهش نشست‌های غیرهمسان استفاده شوند و در برخی شرایط می‌توانند فشارهای جانبی خاک را کاهش دهند؛
- مواد پُرکننده سبک (خاکستر بادی، سنگدانه‌های رسی منبسط‌شده، بلوک‌های (EPS)^۲، و غیره) ممکن است برای کاهش نشست و فشار جانبی خاک استفاده شوند؛

۵-۳-۴-۶ نواحی انتقال جانبی و سازه‌های جانبی ویژه

در جاهایی که قرار است خاکریز موجود گسترش یا افزایش یابد (به صورت عرضی)، این گسترش و اتصال بهتر است با استفاده از برم‌ها^۳ یا سایر اقدامات مناسب به‌منظور دستیابی به اتصال مناسب با خاکریز جدید آماده شود. به چنین عملیات‌هایی باید در پروژه سازه خاکی اشاره شود.

برای اهداف خاص، مانند حفاظت در برابر سیل و فرسایش یا ساختن شیب‌های تندتر، به یک یا هر دو ناحیه جانبی خاکریز ممکن است سازه‌های ویژه اضافه شوند. وجود این نواحی قسمتی از پروژه سازه خاکی است. این‌ها ممکن است با اجرای عملیات خاکی تداخل ایجاد کنند.

۶-۳-۴-۶ اثر متقابل با سازه‌هایی که از خاکریز عبور می‌کنند

به‌عنوان اولین رویکرد، مسئله بهتر است تحت یک دیدگاه محدودتر و به‌عنوان یک مسئله انتقال از خاکریز به سازه (آنچه که در زیربند ۴-۳-۴-۶ بیان شد) موردتوجه قرارگیرد و با استفاده راه‌کارهایی از جمله ارائه طرح‌های خاص در بالا و کناره‌های سازه بررسی شود:

- به‌صورت عمودی: از بالای سازه زیرگذرنده^۴ تا روسازه^۵؛
 - به‌صورت افقی: از لبه‌های سازه زیرگذرنده به دو طرف.
- بسته به ابعاد و عمق سازه زیرگذرنده (عمق از زیر روسازه) و تغییرات سختی مرتبط با حضور سازه زیرگذرنده، رویکردهای مختلفی را می‌توان اتخاذ کرد. برای یک ابعاد برابر سازه زیرگذرنده هرچه سازه زیرگذرنده در عمق بیشتری واقع شده باشد، تأثیر آن بر روسازه کمتر است. بنابر این تقسیم‌بندی زیر را می‌توان انجام داد:
- سازه‌های زیرگذرنده عمیق: اگر تغییرات و گذار در سختی با استفاده از یک یا چند لایه مختلف، شرایط باربری همگن را برای روسازه واقع در ترازهای بالاتر فراهم کند؛
 - سازه‌های زیرگذرنده کم عمق: اگر تغییرات سختی قادر به ایجاد شرایط باربری همگن برای روسازه واقع بر ترازهای بالایی نباشد.

1- Geogrids

2- Expanded polystyrene blocks

3- Berms

4- Undercrossing structure

5- Superstructure

۴-۴-۶ خاکریزهای واقع بر روی شیبها

این نوع مقطع زمانی اتفاق می افتد که سطح مقطع^۱ سازه خاکی از آکندی تشکیل شده باشد که بر روی یک شیب، مستقیماً روی زمین طبیعی بنا شده است.

طراحی این سازه خاکی شامل ارزیابی پایداری مطابق با استاندارد EN 1997-1 و همچنین ارائه یک طراحی ویژه ای برای ایجاد حالت دندان های و تخریس^۲ آکند در زمین طبیعی است. در اغلب طرح ها و نقشه های معمول، ایجاد پله هایی در شیب (زمین طبیعی)، زهکشی آن و قسمت های مختلف مقطع خاکریز نشان داده شده است. زهکشی شیب های بالای آکند و احتمالاً جایگزینی خاک با مصالح دانه های در زیر پنجه^۳ از هر چیزی مهم تر است (به شکل ۱۰ مراجعه شود).

۵-۴-۶ مواد و مصالح ویژه

طراحی خاکریزهای ساخته شده از برخی از انواع مواد و مصالح، نیاز به تجویزهای ویژه ای دارد که فراتر از موارد رایج و نظریاتی است که در بیشتر موارد عمومی معتبر هستند.

مرحله اول آگاهی از خواص بلندمدت این مواد و مصالح و تأثیر آنها بر رفتار قابل پیش بینی سازه خاکی است. این مواد و مصالح می توانند خاک های طبیعی، محصولات جانبی یا ضایعات فرایندهای صنعتی یا معدنی یا حتی مواد مصنوعی خاص باشند. از این منظر برخی از ضوابط و اصول کلی مندرج در این استاندارد می تواند به گونه ای متفاوت اعمال شود یا حتی غیرقابل اجرا شود. معمولاً ضوابط خاصی در رابطه با جنبه های بهداشتی، زیست محیطی و سایر جنبه های بخشی بهتر است در نظر گرفته شود.

چارچوب کلی برای مصالح ویژه مورد استفاده برای ساخت سازه های خاکی باید جنبه های کلی زیر را در نظر بگیرد:

- بهداشت و ایمنی در طول ساخت و اجرا؛
- مسائل محیط زیستی؛
- ظرفیت باربری و رفتار بلندمدت، با توجه به اهداف سازه خاکی؛
- قابلیت ساخت و اجرا؛

بخش حاضر فقط اطلاعاتی در مورد خاک های طبیعی و مصالح سنگی ارائه می کند که در هنگام استفاده برای سازه های خاکی به طراحی خاصی نیاز دارند، اما نه در مورد هر ضایعات خاص، محصول جانبی یا مواد مصنوعی.

انواع اصلی خاک ها و سنگ های طبیعی که برای اهداف خاکی نیاز به تجویز خاصی دارند عبارتند از:

1- Cross section
2 -Indentation
3 -Toe

- گچ (به بند B.6 پیوست B استاندارد 2018: EN 16907-3 مراجعه شود)؛
 - خاک‌های خشک یا بیابانی (به بند B.7, Annex B استاندارد 2018: EN 16907-3 مراجعه شود)؛
 - خاک‌های باقیمانده گرمسیری (خاک‌های ناشی از هوازگی و تجزیه سنگ‌ها در مناطق استوایی) (به بند B.8, Annex B استاندارد 2018: EN 16907-3 مراجعه شود)؛
 - خاک‌های حاوی نمک‌های محلول (به بند B.9, Annex B استاندارد 2018: EN 16907-3 مراجعه شود)؛
 - رس‌های فعال (به بند B.10, Annex B استاندارد 2018: EN 16907-3 مراجعه شود)؛
 - پرمفرست^۱ (به بند B.11, Annex B استاندارد 2018: EN 16907-3 مراجعه شود).
- به‌طور کلی، این موارد عبارتند از:
- مواد و مصالح با ترکیبات خاص؛
 - مواد و مصالح بسیار خشک یا خیلی مرطوب؛
 - مواد و مصالح بسیار رسی؛
 - مواد و مصالح پُرکننده با دانه‌بندی یکنواخت؛
 - مواد و مصالحی که ناپایدار و قابل تغییر هستند یا قابل تکه‌تکه‌شدن (شکننده) هستند، علاوه بر آزمایشگاه ژئوتکنیک، آزمون درجا و جمع‌آوری داده، تجارب محلی در طراحی و آگاهی از ماهیت و شرایط زمین شناسی نیز باید در نظر گرفته شوند.
- نمونه‌هایی از خاکریزهایی که هسته آن‌ها از چنین مصالحی (مصالح حدی) ساخته شده است در شکل ۷ نشان داده شده است.

۶-۴-۶ خاکریزهای با ارتفاع زیاد

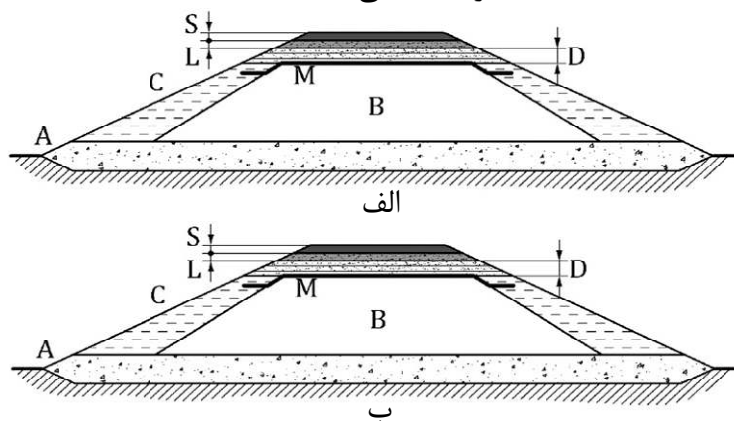
ریسک نشست پس از ساخت و اجرا با افزایش ارتفاع خاکریز افزایش می‌یابد. خاکریزهای با ارتفاع زیاد (به‌عنوان مثال ارتفاع بیش از ۱۵ m) ممکن است نیاز به مطالعات خاصی برای تراکم خاک داشته باشند. بهتر است در اجرای خاکریزهای با ارتفاع زیاد از خاک‌ها و سنگ‌های ضعیف و آن مصالحی که مستعد تخریب پس از ساخت هستند، اجتناب شود و در صورت استفاده، این موضوع فقط بهتر است تحت نسخه‌های طراحی سختگیرانه باشد. خاکریزهای با ارتفاع زیاد باید با روش‌های مکانیک خاک، کنترل پایداری شوند. به‌علاوه تغییر شکل خاک بنیان خاکریز نیز باید بررسی شود.

1- Permafrost

خودنشست^۱ خاکریزهای با ارتفاع زیاد، که اغلب بین ۰/۵٪ (در شرایط خوب مانند خاک‌های درشت‌دانه تراکم‌پذیر) تا ۱٪ (برای شرایط بد مانند خاک‌های ریزدانه با درصد رطوبت بالا) ارتفاع در نظر گرفته می‌شود، بهتر است کنترل شود. خودنشست را می‌توان با درجه تراکم بالاتر یا اصلاح خاک به ترتیب با آهک و چسباننده‌های هیدرولیکی^۲ کاهش داد.

برای خاکریزهای با ارتفاع زیاد، استفاده از مشخصات محصول نهایی EPS توصیه می‌شود. به علاوه، ممکن است لازم باشد یک دوره نگهداری جهت پایش کامل سازه خاکی و پس از رسیدن سازه خاکی به ارتفاع نهایی و قبل از تکمیل هر عنصر حساس از زیرساخت موردنظر بر روی عملیات خاکی صورت گرفته، در نظر گرفته شود.

نشست‌های بلندمدت پیش‌بینی نشده روی نیمرخ طولی و همچنین نیمرخ‌های عرضی تأثیر می‌گذارند و می‌توانند زهکشی را مختل کنند. اگر زنجیره زهکشی شکسته شود، آب اضافی به داخل خاکریز تزریق می‌شود و بنابراین اغلب به نشست‌های بیشتر کمک می‌کند.



راهنما:

- A فونداسیون
- B هسته (مصلح حدی حساس به رطوبت)
- B₁ قسمت بالایی هسته که از مصالح با نفوذپذیری کم (معمولاً خاک رسی) ساخته شده است که B₂ را از نفوذ آب از بالا ایزوله می‌کند و اگر B₂ خاک با قابلیت تورم باشد وزن این لایه نیز موثر است.
- B₂ مصالح حدی (حساس به آب)
- C ناحیه جانبی غیرقابل نفوذ (به عنوان مثال خاک رس یا خاک رس + آهک)
- D لایه‌های بالایی
- L لایه پوشش نهایی
- M ورق (لایه) غیرقابل نفوذ مصنوعی
- S روسازه

شکل ۷ - دو نمونه از استفاده از مصالح حدی خاکریزهای جاده یا راه آهن

1- Self-settlement
2- Hydraulic binders

۶-۴-۷ خاکریزهای واقع بر خاک‌های نرم یا مناطق مستعد سیل

طراحی آکندها روی خاک‌های نرم باید مطابق با استاندارد EN 1997-1 انجام شود. فنون خاصی (مانند بهسازی یا جایگزینی خاک، ستون‌های سنگی و غیره) می‌تواند برای ایجاد مقاومت کافی در خاک زیرین قبل از ساخت‌وساز عملیات خاکی مورد نیاز باشد.

هنگام انتخاب مواد و مصالح پُرکننده برای اجرای خاکریزها بر خاک‌های نرم یا مناطق مستعد سیل، طراح عملیات خاکی باید موارد زیر را در نظر بگیرد:

- پتانسیل آب‌های سیلاب برای اشباع کردن مواد و مصالح پُرکننده خاکریز. اگر در روبه چنین پتانسیلی یک ریسک قابل توجه باشد، پس توصیه نمی‌شود از مواد و مصالح پُرکننده‌ای که در آن‌ها احتمال تأثیرپذیری نامطلوب وجود دارد (مانند مواد و مصالح پُرکننده ریزدانه‌های که خشک‌تر از درصد رطوبت بهینه جای‌گذاری می‌شوند) زیر سطح آب سیل پیش‌بینی شده استفاده شوند؛
- نیاز به یک لایه آغازین دانه‌های^۱ به‌عنوان یک لایه زهکش و کمک به تشکیل یک سکوی پایدار که با اتکا بر آن می‌توان به تراکم کافی لایه‌های بعدی مصالح پُرکننده دست یافت. این لایه آغازین بهتر است به‌گونه‌ای طراحی شود که از پایداری آکند اطمینان حاصل شود، چیزی که ممکن است نیاز به ژئوسنتتیک تقویت‌کننده داشته باشد و اگر این لایه از مصالح پُرکننده درشت‌دانه با دانه‌بندی یکنواخت ساخته شده باشد، ممکن است جداکننده ژئوتکستایل در بالا و/یا پایین^۲ لایه آغازین لازم باشد؛
- سرعت آکندن باید سنجیده شود تا اطمینان حاصل شود که فشار آب منفذی اضافی ایجاد شده در خاک‌های نرم آکند می‌تواند با سرعتی زایل شود که پایداری آکند را در طول اجرا تضمین کند. بنابر این تعداد مراحل ساخت آکند باید تصمیم‌گیری شود (این قسمتی از طراحی ژئوتکنیکی سازه خاکی است).

۶-۴-۸ آکندهای ساخته‌شده در بالای حفره‌ها

در عملیات خاکی برای اجرای آکند باید وجود و نوع حفره‌های احتمالی در زیر بنیان آکندها باید در نظر گرفته شود. می‌توان تصمیم گرفت که:

- هیچ اقدام خاصی مورد نیاز نیست و می‌توان آکند را در زمین طبیعی ایجاد کرد؛
- زمین طبیعی باید تا عمق معینی حفر شود و جایگزین یا متراکم شود؛
- زمین طبیعی باید به‌منظور پر کردن حفره‌ها یا سوراخ‌ها اصلاح شود؛
- حفره‌ها یا سازه‌های ساخت انسان باید تعمیر یا حتی پُر شوند، یا برخی از سازه‌های جدید باید ساخته شوند تا امکان استقرار آکند فراهم شود؛

1- Granular starter layer
2- Base

- طرح‌های خاص دیگری نیز باید اتخاذ شود (به عنوان مثال: آکندهای سبک، سازه‌های متکی بر شمع، تشک‌های تقویت‌شده ژئوگریدی^۱).

۹-۴-۶ مواد و مصالح مازاد

توده‌های اضافی خاک، که نمی‌توانند برای اهدافی مانند آکندها، سدها یا به‌عنوان سنگدانه استفاده شوند، معمولاً در محل‌هایی به عنوان آکندهای محوطه‌سازی جای‌گذاری می‌شوند تا اثرات محیط زیستی محلی عملیات خاکی را بهبود بخشیده و محدود کنند و همین‌طور از دفع به خارج از محدوده ساختگاه جلوگیری شود. در بسیاری از موارد، این خاک‌ها از نظر استحکام یا میزان آلودگی از کیفیت پایین‌تری برخوردار هستند. حداقل الزامات تراکم باید برای جلوگیری از ناپایداری و تغییر شکل‌های غیرقابل قبول ارزیابی شوند. در صورت لزوم، محاسبات پایداری طبق استاندارد EN 1997 باید با در نظر گرفتن تغییرات بالقوه در خواص خاک که ممکن است پس از اجرا رخ دهد (شبیبه به تمام شیب‌های خاکی دیگر) انجام شود.

خاک‌های آلوده اغلب ریزدانه و دارای نفوذپذیری کم هستند. بنابراین خاک‌های با آلودگی کم را می‌توان در آکندهای محوطه‌سازی ساختگاه جای‌گذاری کرد زیرا فقط مقدار ناچیزی از آب تراوش پخش می‌شود. اگر این خاک‌ها به‌وسیله آب‌بند کردن با خاک‌های با نفوذپذیری کم یا پوشش‌های مصنوعی مانند پوشش‌های پلاستیکی پوشانده شوند، مقدار آب تراوش را می‌توان کاهش داد. توده‌های نهایی خاک‌های آلوده باید ضوابط محیط زیستی ملی را برآورده کنند.

در مورد خاک‌های حاصل از لایروبی، مکان‌های تخلیه بهتر است تایید شده و دارای زهکشی باشند، بنابراین خاک عمدتاً مرطوب و نرم را می‌توان آگیری کرده و در نهایت دوباره از آن استفاده کرد (به استاندارد EN 16907-6 مراجعه شود).

۷ طراحی عملیات خاکی در خاکبرداری‌ها^۲

۱-۷ کلیات

گودبرداری بهتر است به‌صورت نظام‌مند و برنامه‌ریزی‌شده پیش رود تا کیفیت خاک برداشت‌شده و سنگ مورد استفاده در خاکریزی‌ها حفظ شود. باران و آب زیرزمینی باید با مجموعه‌ای از شیب‌بندی‌ها، نهرهای باز و زهکش‌ها جمع‌آوری گردد. باید از گودبرداری بیش از حد یا ایجاد شیب‌های موقت تند و ناپایدار اجتناب شود. فرایند گودبرداری باید در سوابق ساختگاه مستند شود (به استاندارد EN 16907-3 مراجعه شود).

بسیاری از جنبه‌های مربوط به طراحی آکندها را می‌توان در طراحی خاکبرداری‌ها نیز اعمال کرد (برای مثال، پایداری شیب‌های موجود، حفره‌ها و زهکشی) (به زیربند ۴-۶ مراجعه شود). این ملزومات در این بند تکرار نشده‌اند.

1- Geogrid Reinforced Mattresses
2- Cutting

۲-۷ مصالح درگیر در عملیات خاکی

جدا از طبقه‌بندی‌های زمین‌شناسی، مصالح مربوط به خاکبرداری موجود را می‌توان مطابق رویه ساخت‌وساز لازم برای خاکبرداری طبقه‌بندی کرد. اولین رویکرد به این موضوع بدین صورت است (مطابق با استاندارد EN 16907-3):

- سنگ‌های سخت تا متوسط (انفجار، پیش جدایش)^۱؛
- سنگ‌های متوسط تا ضعیف (شکافتن)^۲، گودبرداری؛
- خاک (خاکبرداری با ماشین آلات مرسوم).

پتانسیل خاکبرداری را می‌توان ابتدا با بررسی ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی و آزمون‌های درجا تشخیص داد. این مرحله از بررسی باید متمرکز بر اطلاعاتی از خصوصیات مصالح داخل خاک باشد تا مشخص شود که آیا مصالح برای استفاده در آکند مناسب هستند یا خیر.

از منظر پی زیرساخت، مشخصه‌های بستر (کف خاکبرداری) نیاز است به صورت ویژه مورد توجه واقع شود.

۳-۷ هندسه

طراح عملیات خاکی باید مطمئن شود که پایداری شیب‌هایی که با استفاده از استانداردهایی چون استاندارد‌های مربوطه بررسی شده است، با روش‌های ساخت‌وساز یا شرایط اولیه زمین تحت تاثیر سوء قرار نمی‌گیرد. پایداری شیب‌ها در حین ساخت می‌تواند تحت تاثیر این عوامل باشد:

- ارتفاع و شیب خاکبرداری در هر مرحله از ساخت؛
- مصالح تحت تاثیر (به زیربند ۲-۷ مراجعه شود)؛
- ساختار زمین‌شناسی: شاکله کلی خاکبرداری و رفتار دقیق هر ساختار؛
- شرایط زهکشی (به زیربند ۴-۷ مراجعه شود)؛
- دپوی موقت مصالح آکند؛
- خاکبرداری‌های موقت؛
- زمین موجود برای ساخت؛
- محدودیت‌های محیط زیستی.

هر ساختار زمین‌شناسی دارای الگوهای پایداری مربوط به خود است که بسیار تحت تاثیر شرایط زهکشی قرار می‌گیرد. بنابراین، شیب‌های یک خاکبرداری، به‌خصوص گرادیان شیب ارتفاع کلی و زهکشی، می‌تواند

1- Pre-splitting
2- Ripping

یکنواخت یا متغیر باشد. طراحی می‌تواند شامل یک یا تعدادی هره خاکریز^۱ در میانه ارتفاع و در گرداگرد خاکریز یا محل‌های خاص باشد.

آکندها بهتر است به صورتی طراحی شوند که پایدار باشند و اجازه بازرسی و نگهداشت بر روی شیب را بدهند. بنابراین، حداقل ابعاد ماشین‌آلات، دانش مصالح تحت تاثیر و شرایط زهکشی باید تعریف شود.

۴-۷ زهکشی

شرایط زهکشی بسیار حائز اهمیت هستند چرا که نه تنها پایداری شیب‌ها را تامین می‌کنند بلکه عملکرد کافی سازند (بستر) را نیز از منظر خدمت‌پذیری زیرساخت تضمین می‌کند. اصول زهکشی در بند ۱۰ به‌طور کامل شرح داده شده است.

۵-۷ پایداری کلی

خاکبرداری‌ها باید به‌صورتی طراحی شوند که سازه‌های خاکی پایداری باشند. پایداری باید با استفاده از استانداردهایی چون استاندارد EN-1997-1 بررسی شود. همچنین، الزامات هندسی موضوع در زیربند ۳-۷ باید موردتوجه قرار گیرد.

یادآوری- هوازگی سازندها می‌تواند رفتار بلندمدت آن‌ها را در نحوه خاکبرداری، شیب، پایداری و خصوصیات مرتبط با آن‌ها تغییر دهد.

۶-۷ خصوصیات مرتبط اساس خاکبرداری (بستر)

کف خاکبرداری در واقع بستر «شکل‌گیری» روسازه‌ای است که بر آن قرار خواهد گرفت. خصوصیات مورد نیاز مصالح عملیات خاکی که کف خاکبرداری را تشکیل می‌دهند، عموماً با طراحی ژئوتکنیکی، سازه‌ای یا مهندسی روسازی انجام می‌پذیرد. طراحی ژئوتکنیک باید شرایط زمین مورد انتظار را مشخص سازد (به زیربند ۲-۵ مراجعه شود). طراح عملیات خاکی باید ارزیابی کند که آیا این خصوصیات مورد نیاز تامین می‌شوند یا خیر و در صورت نیاز، معیارهای تکمیلی برای اصلاح زمین را ارائه دهد (برای مثال، خاکبرداری و جابه‌جایی خاک نرم، خاک مستعد تورم یا خاک‌های حل‌شونده).

عملیات خاکی باید به‌صورتی برنامه‌ریزی شود تا از درجات نامطلوب زوال خاک بر اثر عملیات خاکی پرهیز شود. در خاکبرداری این مهم می‌تواند با توجه ویژه به نوع زهکشی مناسب اجرا شده در حین یا درست بعد از خاکبرداری تا سطحی مشخص حاصل شود. ممکن است یک لایه محافظ به‌منظور جلوگیری از صدمه به اساس خاکبرداری اجرا شود (برای مثال یک لایه فداشونده از آکند یا خاک).

طراح عملیات خاکی باید شرایط زمین را که می‌تواند منجر به ریسک ساخت‌وساز شود، تشخیص دهد (برای مثال فشار آب منفذی بالا در لای یا ماسه ریزدانه) و حداقل الزامات ساخت را بیان کند (به عنوان مثال،

1- Berm

الزامات اجرای زهکش پیش از اجرای اجزای مشخصی از آکند). برای جزئیات بیشتر به زیربند ۴-۶ مراجعه شود.

بهتر است توجه شود که انتقال از خاکبرداری به خاکریزی با ملاحظات خاصی نظیر مشکلات ذکر شده در بالا انجام شود چرا که زهکشی در این نقاط می‌تواند مشکل باشد (به زیربند ۶-۴-۳-۳ و بند ۱۰ مراجعه شود).

۸ طراحی کارهای خاکی متشکل از لایروبی و جای‌گذاری هیدرولیک آکند

طراحی و اجرای لایروبی برای احداث آکندهای هیدرولیک در استاندارد EN 16907-6 آمده است، اما طراحی آن‌ها ویژگی‌های مشترک بسیاری با خاکریزی و خاکبرداری در خشکی دارد.

مصالص از یک منبع قرضه برداشت شده و به محل نهایی حمل می‌شوند و نهایتاً به‌صورت هیدرولیکی جای‌گذاری می‌شوند تا اراضی جدیدی احیا و ایجاد گردد. این فرایند در استاندارد EN 16907-6 توضیح داده شده است.

ویژگی‌های مورد نیاز آکند تکمیل‌شده در صورتی که مصالح لایروبی شده دارای خواص مناسب باشد و ویژگی‌های فنی رعایت شود، می‌تواند بدون انجام عملیاتی حاصل شود. ممکن است وقتی که مصالح حاصل از لایروبی نامرغوب باشند یا ضوابط سختگیرانه باشد، نیاز به اصلاحاتی در خصوص سختی، پایداری، چگالی (به منظور جلوگیری از روان‌گرایی) یا مقاومت داشته باشند.

انتخاب مصالح آکند همواره «بدون محدودیت‌هایی» نیست و بستگی به هدف از لایروبی دارد که می‌تواند گودبرداری کف رودخانه یا دریا تا سطح مشخصی باشد و طبیعت زمین محل برداشت اهمیتی نداشته باشد، یا احیای اراضی جدید با مصالح انتخاب‌شده از منابع قرضه مشخص باشد.

ناحیه‌ای که در آن لایروبی انجام می‌شود نیازمند بازبینی دقیق است تا طبیعت و حالت خاک موجود و توانایی استفاده از آن خاک برای لایروبی و استفاده به‌عنوان مصالح آکند مشخص شود. پایداری شیب‌هایی که ناحیه لایروبی را محدود می‌کنند و همچنین امکان سرریز ذرات ریزدانه و احتمال وجود مواد آلوده‌کننده باید مشخص شود.

طراح بهتر است برای آکند هیدرولیک نشست شالوده بر اثر بار روی آکند و وزن خود آکند را مدنظر قرار دهد. حرکت‌های داخل آکند می‌تواند با کنترل محل انباشت مصالح آکند محدود شود. سختی و مقاومت مورد نیاز روی بستر را می‌توان با کوبش لایه‌های بالاتر از تراز آب و روش‌های اصلاح خاک در تراز زیر آب به‌دست آورد.

۹ طراحی عملیات خاکی برای انباشت هیدرولیکی ضایعات

استاندارد EN 16907-7 درباره انباشت هیدرولیکی خاک‌ها و ضایعات معدنی که اساساً از عملیات استخراج از زمین به‌دست آمده‌اند، است و به‌خصوص از آخرین تغییرات ضوابط برای مهندسی دیوهای محصور زباله منتج شده است، اگر چه استاندارد EN 16907-7 را می‌توان به صورت ضمنی در طیف گسترده‌تر علمی مانند خاکستر بادی، لجن فاضلاب و طیف‌های دیگری از انباشت هیدرولیکی محصولات فرعی تولید به‌کار برد.

انباشت هیدرولیکی به‌صورت گسترده در دفع بهینه خاک‌های نباتی و غیرنباتی و در طیف گسترده‌ای از موقعیت‌های صنعتی استفاده می‌شود. بنابراین، استاندارد EN 16907-7 دربرگیرنده بیشترین طیف کاربردهای مهندسی است. عناصر اصلی این مهم فقط انباشت، پایدارسازی، احیای اراضی و اصلاح آکند هیدرولیک ساخته‌شده از خاک فرآوری‌شده یا ضایعات معدنی نیست، بلکه علاوه بر آن، نیاز به هر دو آن‌ها است:

- محصور سازی^۱ ایمن و پایدار هنگام جایگذاری و استقرار مصالح؛
- پایدارسازی سطح هنگام توقف عملیات برای کمک به بهسازی.
- اگر چه محرک اصلی استاندارد EN 16907-7 عملیات معدنی یا استخراجی خواهد بود، به دلیل ماهیت همیشگی بودن و پایا بودن آن‌ها، سایر صنایع در محدوده آن قرار می‌گیرند. بنابراین، EN 16907-7 تمام جنبه‌های ژئوتکنیکی بررسی، طراحی، اجرا، پایش و احیای خاک‌های فرآوری‌شده و ضایعات معدنی دیو شده به‌وسیله فنون آکندن هیدرولیک و به‌طور خلاصه، این استاندارد مراحل زیر از فرایند را با توجه به تأثیر آن‌ها بر خواص ژئوتکنیکی سازه نهایی پوشش می‌دهد:
- گودبرداری: میزان تأثیر زمین شناسی، کانی شناسی و فرایند استخراج بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی و ژئوشیمیایی زباله های ذرات معلق
- فرایند: گستره‌ای که در آن خرد کردن و پردازش (هم فیزیکی و هم شیمیایی) ویژگی‌های پرکننده هیدرولیک را تغییر داده و تحت تأثیر قرار می‌دهد.
- حمل و نقل: تأثیر مشخصه‌های مصالح بر انتخاب گزینه‌های حمل و نقل برای آکند هیدرولیک؛
- جایگذاری و قرار دادن مصالح: تأثیر مشخصه‌های ژئوتکنیکی و ژئوشیمیایی بر روش‌های آکندن به روش هیدرولیک به‌منظور حصول بهره‌وری ذخیره‌سازی و بهینه‌کردن بهسازی؛
- سازه: گزینه‌های مهندسی سازه در دسترس برای محصور سازی، ذخیره‌سازی به‌منظور حصول انبارش ایمن، پایدار و منطبق بر الزامات محیط زیستی.

1- Confinement

بنابراین هدف اصلی این است که خاک ها و ضایعات معدنی را با قرار دادن و جایگذاری هیدرولیکی در یک مرکز ذخیره سازی سفارشی ساخته شده و به درستی طراحی شده، ذخیره کنیم. مخزن چنین موادی ممکن است در مساحتی از کمتر از 1000 m^2 تا چندین کیلومتر مربع متغیر باشد. همچنین، ارتفاع آن ها ممکن است تنها چند متر در لاگون های^۱ لای تا چند صد متر در تاسیسات مدیریت پسماند یک عملیات معدنی بزرگ و پیچیده چندفلزی^۲ باشد. استاندارد EN 16907-7 یک چارچوب برای استانداردهای لازم الاجرا در طراحی و ساخت تاسیسات ذخیره سازی و مطابق با تجربیات خوب پیشین ارائه می دهد.

۱۰ زهکشی کارهای خاکی

۱-۱۰ زهکشی برای جمع آوری آب

زهکشی موقت و دائمی یک بخش اصلی از عملیات خاکی برای گودبرداری، برش و آکندن است. زهکش، یک راه حل مهم است که تاثیر مستقیمی بر مشکلات متنوع عملیات خاکی از قبیل پایداری شیب ها و عملکرد مصالح آکند در حین و پس از ساخت، کف برش (خاکبرداری) و زیرساخت های روی آن دارد.

این استاندارد درباره ساخت موفق کارهای خاکی است، و در آن تنها زهکشی موقت حین اجرا بیان شده است. هرچند معمولاً مشکل می توان زهکش موقت را از دائمی تمیز داد. بسیاری از مسائلی که در خصوص زهکشی عملیات خاکی در این استاندارد عنوان می شود را می توان در بهره برداری و عملکرد سازه خاکی نیز بسط داد. همچنین، در برخی موارد زهکش دائمی یک قسمت می تواند در هنگام ساخت نقش زهکش موقت را نیز ایفا کند. در این صورت، طراح عملیات خاکی و تیم ساخت باید مطمئن شوند که خاکی که همراه آب است باعث مسدود شدن زهکش یا بدتر از آن، باعث تاثیر نامطلوب بلندمدت نشود. به علاوه، در حین انجام عملیات خاکی می توان این توفیق را داشت که کفایت زهکش دائمی مورد بحث را بررسی کرد.

دو نوع سامانه زهکشی قابل تصور است:

- زهکش سطحی که برای جمع آوری آب های سطحی ناشی از باران، آب شدن برف و سایر پدیده های جوی است؛
- زهکش زیرسطحی که برای جمع آوری آب های زیرزمینی از هر منبعی (نفوذ آب، سفره های آب زیرزمینی و غیره) استفاده می شود.

طراح عملیات خاکی بهتر است محل احتمالی عبور آب اصلی را که ممکن است اثر سوء بر عملیات خاکی داشته باشد، چه در حین و چه در انتهای عملیات ساخت، شناسایی (مطابق با شکل ۸) و اقدام مناسب را در خصوص زهکش موقت یا دائمی انجام دهد. هر پروژه نیازمند طراحی خاص خود است که بهتر است در آن مشکلاتی از قبیل ظرفیت جریان، نقاط تخلیه آب و تعمیر و نگهداری حین عملیات اجرایی دیده شود.

1- Lagoon

2- Polymetallic mining operation

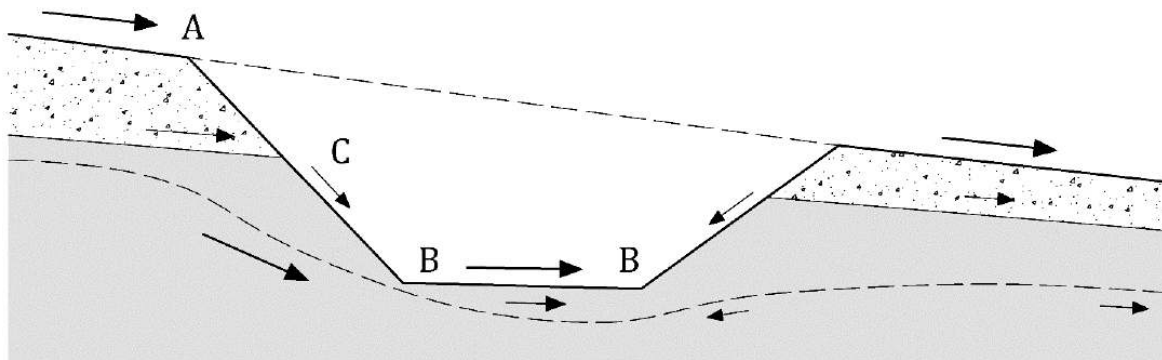
یادآوری- از آنجا که منابع وجود آب متنوع هستند، زهکش عموماً شامل موارد زیر است:

الف- زهکش تاج - آب سطحی (زهکش زمین)؛

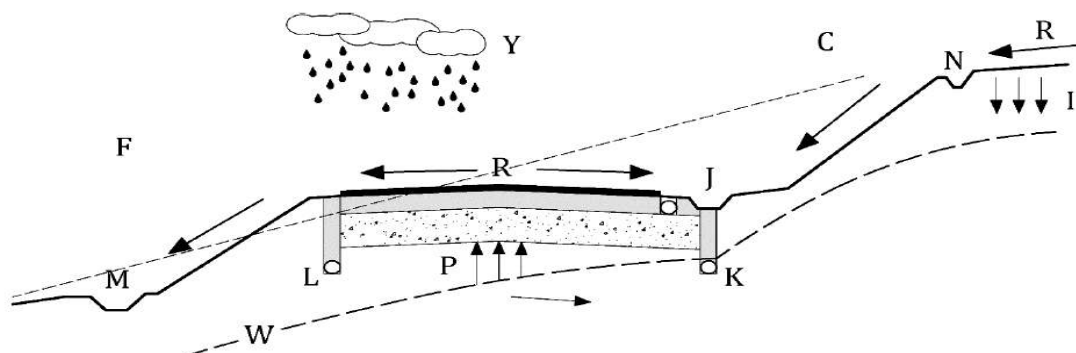
ب- زهکش پنجه - آب سطحی یا زهکشی آب زیرزمینی؛

پ- زهکش سطوح شیب‌دار برای قطع نشت آبهای زیرزمینی.

شکل ۹ مثالی را از سامانه زهکشی یک نیم‌رخ از یک نیم خاکریز را نشان می‌دهد.



شکل ۸- تشخیص جریان آب احتمالی یک برش خاک برای طراحی زهکش عملیات خاکی



راهنما:

C	برش (خط چین MN سطح خاک طبیعی را نشان می‌دهد)
F	آکند
I	نفوذ آب
J	زهکش سطحی
K	زهکش زیرسطحی
L	زهکش سطحی و زیرسطحی
M	پنجه گودال
N	تاج گودال
P	موئینگی
R	رواناب
Y	بارش
W	سطح آب زیرزمینی

یادآوری- گودال‌های V-شکل M و N معمولاً به عنوان زهکش‌های پیش از شروع عملیات خاکی ساخته می‌شوند تا راه آب سطحی یا آب زیرسطحی کم‌عمق را قطع و هدایت کنند. گودال‌های V-شکل J زهکشی است که معمولاً حین عملیات خاکی احداث می‌شود تا راهاب سطحی یا آب زیرسطحی کم‌عمق را قطع و هدایت کند و مانع زوال زمین شود.

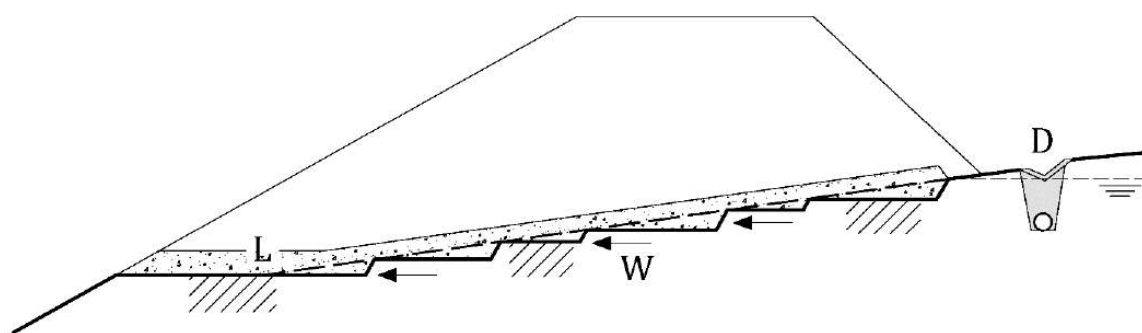
شکل ۹- مثالی از زهکش‌های سطحی و زیرسطحی برای یک نیم‌رخ شامل نیم خاکریز/نیم خاکبرداری

اگر درصد رطوبت مصالح آکند در داخل آکند به طور قابل ملاحظه ای از درصد رطوبت آن هنگام آکندن بیشتر شود، ممکن است مقاومت و حجم خاکریز کاهش یابد. بنابراین، خود سازه‌های خاکی یا روسازه (مانند مسیر راه آهن، جاده یا ساختمان های بنا شده بر روی آکند) ممکن است آسیب ببینند. نفوذ آب به داخل آکند یا بالا آمدن سطح آب به داخل کف خاکبرداری بهتر است محدود یا به حداقل رسانده شود یا در طراحی منظور شود (انتخاب مصالح پرکننده یا نحوه تراکم و پایداری سازی خاک).

وقتی سطح آب زیرزمینی بالاست، آب می تواند از زمین طبیعی به داخل لایه های پایینی خاکبرداری نفوذ کند. طراحی عملیات خاکی یا باید این شرایط را فراهم کند یا شامل الزامی باشد که لایه های پایینی آکند از مواد نفوذ پذیر تشکیل شده باشد که به آب منفذی اجازه دهد بدون فشار، وارد زهکش های کناری شود. زهکش ها را می توان از مواد ژئوسنتتیک یا سنگ دانه های معدنی (مصالح درشت دانه) ساخت. مصالح پرکننده ای که در زهکش استفاده می شوند یا لایه های پرکننده ای که نقش زهکش دارند، نباید در مواجهه با آب خاصیت تورم پذیری، فروریزی یا حل شوندگی داشته باشند.

نشت آب در داخل کارهای خاکی همواره قابل جلوگیری نیست. اگر آب عبوری از داخل خاک به روی شیب عملیات خاکی سرازیر شود، باید هر جا مناسب بود با زهکشی مسیر آن را قطع کرد تا از فرسایش خاک جلوگیری شود. در طراحی زهکش بهتر است ضوابط مناسب فیلتر در نظر گرفته شود تا از فرسایش تماسی ممانعت شود. در مواردی که آب ممکن است از داخل سازه خاکی جریان یابد، در طراحی بهتر است الزاماتی برای جلوگیری از تشکیل کانال آب اندیشیده شود.

شکل ۱۰ مثالی از یک سامانه زهکشی برای آکندن روی شیب را نمایش می دهد. طراحی عملیات خاکی بهتر است عواقب احتمالی خرابی سامانه زهکشی را بر سازه خاکی تکمیل شده در نظر بگیرد.



راهنما:

- | | |
|---|-------------------|
| 1 | محافظ فرسایش |
| 2 | لایه زهکش |
| 3 | نشت آب |
| 4 | کانال آب بندی شده |

شکل ۱۰- مثالی از لایه زهکش زیر خاکریز جاده یا راه آهن روی شیب

۲-۱۰ حفاظت شیب‌ها در برابر فرسایش

فرسایش شیب‌های آکندها و ترانشه‌ها به دلیل تماس مستقیم آن‌ها با هوا و آب (به شکل مایع، برف یا یخ) بهتر است کنترل شود.

مشکلات فرسایش روی آکندها مربوط به رفتار مصالح کوبیده شده در برابر باد، جریان سطحی آب و فعالیت‌های برف و یخ است.

بنابراین، وقتی فرسایش به عنوان یک مشکل قلمداد شد، بهتر است اقداماتی در خصوص جداسازی یا حذف اندرکنش‌های گفته شده فوق بین آن‌ها صورت پذیرد. برخی از اقدامات متداول بدین شرح است:

- ساخت یک حائل مصنوعی (نفوذپذیر یا نفوذناپذیر که عموماً از ژئوکامپوزیت‌ها^۱، پوشش گیاهی، لایه شنی و غیره استفاده می‌شود)؛
- ساخت حائلی کافی از گیاهان؛
- وقتی فرسایش شدید (یا حتی انحلال) به دلیل استفاده از مواد قابل انحلال متصور است، یک شیب دیگر که غیرقابل نفوذ است (از مصالح رسی) باید ساخته شود؛
- وقتی گردش آب روی نواحی کناری به دلیل سرریز آب از جاده متصور است، باید چاره اساسی اندیشید و در طراحی در نظر گرفت (مانند جدول‌بندی در بالای شیب یا زهکش روی شیب)؛
- اصلاح خاک با آهک یا پایدارساز هیدرولیکی به منظور ممانعت از فرسایش؛
- طراحی‌های خاص دیگر.

۱۱ زهکشی زیر سطحی [۱]

۱-۱۱ هدف

زهکشی زیرسطحی سطح آب را پایین می‌آورد. زهکش‌های عمیق یا آن‌هایی که در خاک متخلخل هستند، سطح مویینگی را نیز پایین می‌آورند.

خاک زمانی باید زهکشی شود که محتوای آب آن باعث ناتوانی در تحمل جاده‌ها یا سازه‌های دیگر روی خاک شود یا باعث یخ زدگی گردد.

زمین‌های بازی، زمین‌های گلف و سایر مناطق تفریحی نیز ممکن است نیاز به زهکشی داشته باشند تا نقاطی که مدت‌ها پس از باران مرطوب و نرم باقی می‌مانند خشک شوند.

زهکشی زمین های کشاورزی ممکن است برای از بین بردن نقاط مرطوبی که نمی توان در آن ها همزمان با زمین های اطراف کار کرد، لازم باشد. برای تسریع خشک شدن و گرم شدن خاک در بهار؛ تشویق گیاهان به تشکیل سامانه های ریشه ای عمیق و در نتیجه افزایش قدرت و مقاومت به خشکی و برای شسته شدن مواد مضرى که ممکن است در خاک انباشته شوند، زهکشی زمین های کشاورزی ضروری خواهد بود.

۱۱-۲ روش ها

سطح آب زیرزمینی ممکن است به طور مصنوعی توسط کانال های باز^۱ یا نهرهای روباز^۲، یا توسط لوله های مدفون یا مواد متخلخل کاهش یابد.

در خاک هایی که روی شیب های تند قرار می گیرند، خندق ها (نهرهای روباز) تا عمق چند متری مقرون به صرفه ترین ساخت و ساز هستند. هنگامی که برای ایجاد شیب های پایدار باید برش های گسترده ای انجام شود، یا زمانی که به عمق بیشتری نیاز است، نهر روباز ممکن است آنقدر نیاز به خاکبرداری داشته باشد که هزینه بیشتری نسبت به لوله های مدفون متخلخل داشته باشد.

نهرهای روباز، همراه با فضایی که برای ایجاد آن ها تخریب می شود، ممکن است نوارهای نسبتاً وسیعی از زمین را اشغال کنند. اگر در مزارع استفاده شوند، مزارع را قطع می کنند و بر هزینه کاشت و کشت می افزایند. آن ها در نزدیکی جاده ها خطرناک هستند.

برای عبور دادن آن ها گاها نیاز به مجرای آب زیرگذر^۳ یا پل ها می باشد.

نهرهای روباز معمولاً نیاز به تعمیر و نگهداری دارند. این ممکن است شامل حذف گل و لای، ترمیم آسیب های ناشی از فرسایش و پاکسازی پوشش گیاهی باشد.

غفلت از این موارد ممکن است منجر به خرابی عمومی، با توقف احتمالی خدمت دهی، یا خاکبرداری مجدد و پاکسازی های گران قیمت شود.

در مقابل زهکش های مدفون مزارع را قطع نمی کنند یا در کنار جاده ها خطر ایجاد نمی کنند.

با این حال، اگر در نتیجه طراحی ضعیف، نصب نامناسب یا تصادف، مسدود شوند، ممکن است تعیین محل مشکل دشوار و پرهزینه باشد. اگر این مسدود شدگی به دلیل رسوب گذاری باشد، احتمالاً گذاشتن یک خط جدید ارزان تر از خاکبرداری و تمیز کردن یا تعمیر خط قدیمی خواهد بود.

انتخاب نوع زهکشی به شرایط محلی و قضاوت فردی بستگی دارد.

1- Open channels
2- Open ditches
3- Culvert

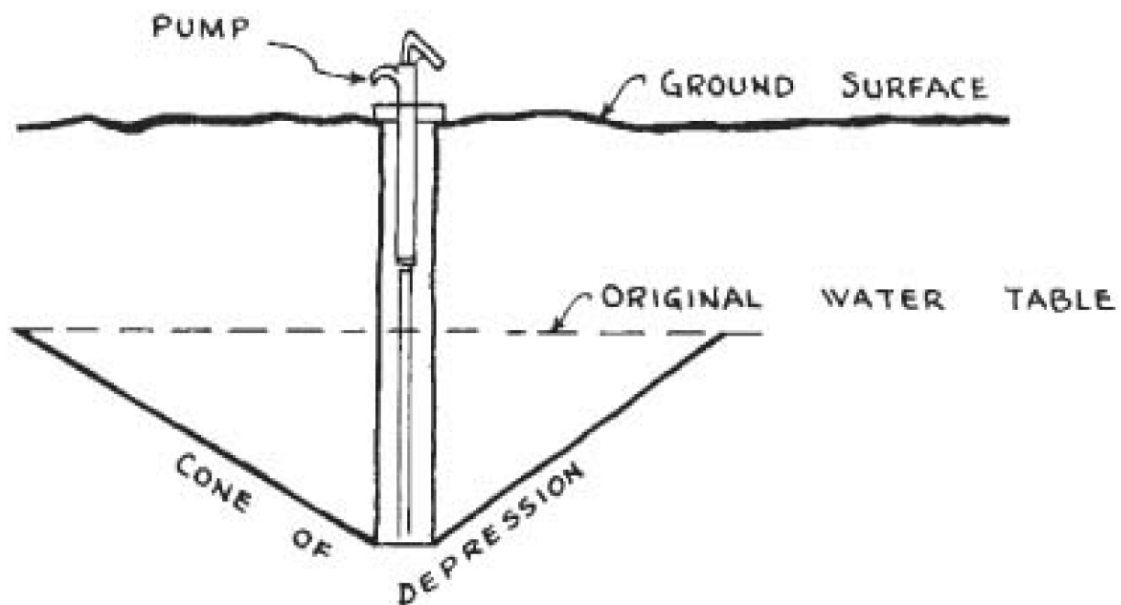
۳-۱۱ شیب آب

تخلخل و بستر خاک تا حد زیادی تعیین کننده عمق و فاصله و تا حدی اندازه زهکش‌های مورد نیاز برای یک پروژه است.

سطح آب را می‌توان سطح یک حوضچه زیرزمینی در نظر گرفت که در جریان آن توسط ذرات خاک انسداد ایجاد شده است. اگر این ذرات درشت دانه و با ترکم کم باشند، فضاها به اندازه کافی بزرگ خواهند بود تا آب مقداری آزادی جریان داشته باشد و شیب از خروجی سطح آب به سمت بالا دست تدریجی خواهد بود. اگر خاک ریزدانه و فشرده باشد، فضاها به قدری کوچک می‌شود که جریان تقریباً متوقف می‌شود و شیب در نزدیکی نقطه زهکشی بسیار تند می‌شود. به این شیب، گرادیان هیدرولیکی می‌گویند.

شیب‌ها معمولاً پس از بارندگی و در فصول مرطوب نسبت به زمانی که سطح خشک است، تندتر خواهند بود.

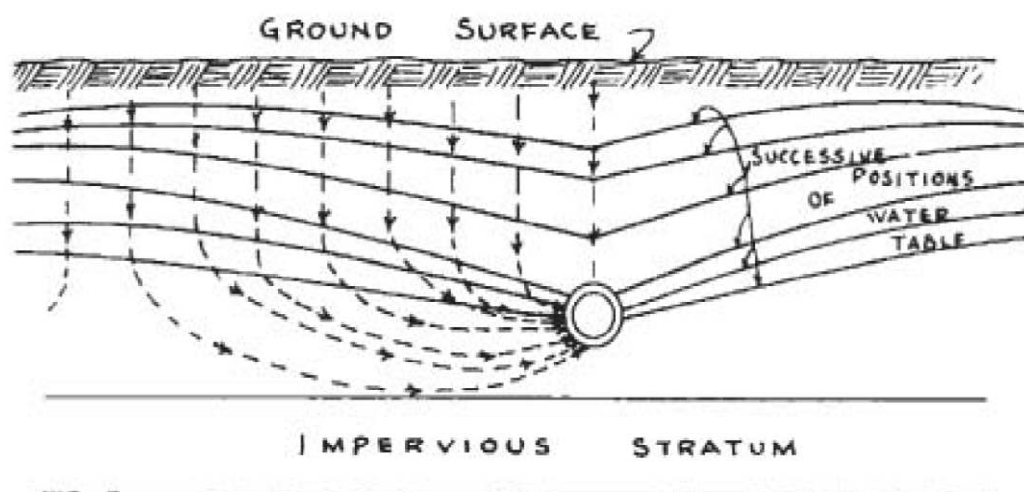
اگر زهکشی به سمت یک دهانه لوله و در خاک یکنواخت باشد، ناحیه زهکشی شده شکل یک مخروط معکوس به خود می‌گیرد که به آن مخروط افت^۱ می‌گویند. شکل ۱۱ را ببینید.



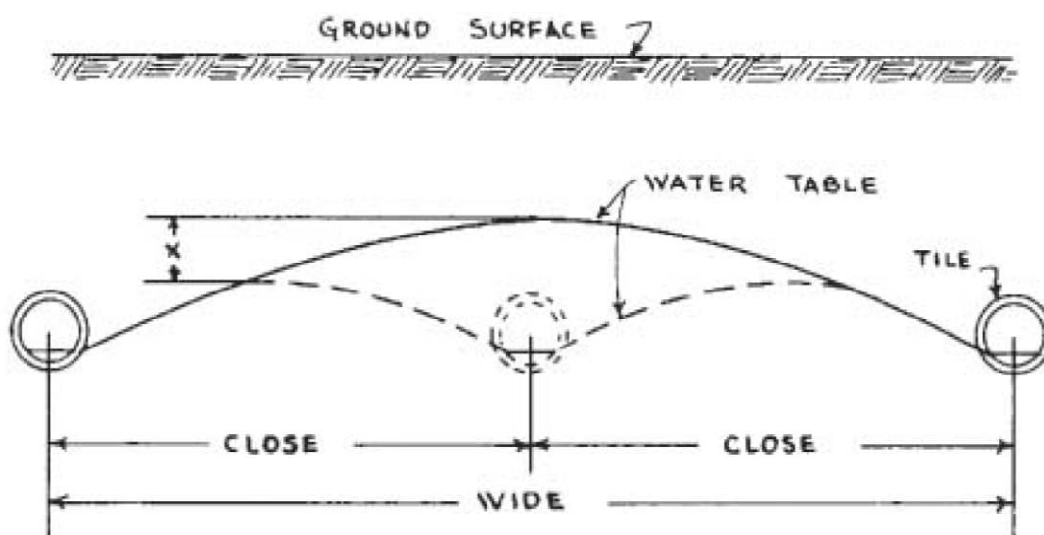
شکل ۱۱- مخروط افت در زهکشی با یک دهانه لوله و در خاک یکنواخت [۱]

اگر زهکشی به یک خندق یا لوله افقی متخلخل باشد، شکل یک فرورفتگی تقریباً مثلی خواهد بود. سطح آب و حرکت آن در شکل ۱۲ و اثرات نحوه فاصله گذاری در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

1- Cone of depression



شکل ۱۲- حرکت آب زیرزمینی در صورت زهکشی با لوله افقی متخلخل [۱]



شکل ۱۳- اثر فاصله لوله های افقی متخلخل بر سطح آب زیرزمینی [۱]

۴-۱۱ طرح زهکشی

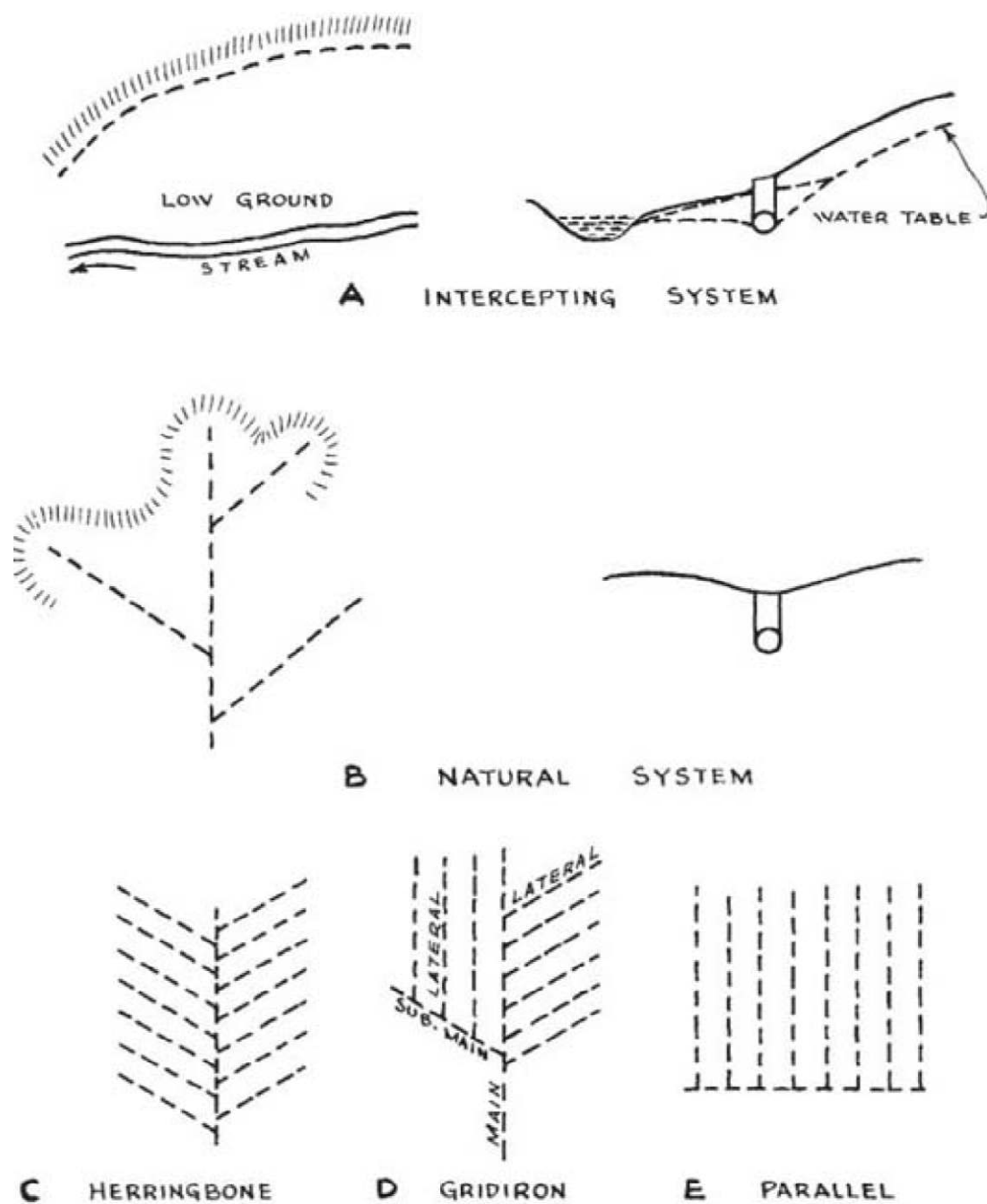
شکل ۱۴ الگوهای استاندارد مورد استفاده برای زهکشی زیرسطحی را نشان می دهد. در مواردی که عملی است، زهکش بالای خاکبرداری (قطع کننده) ^۱ یا زهکش پرده ای ^۲، مانند آنچه در مورد A نشان داده شده، مقرون به صرفه ترین است. شکل ۱۵ شرایطی را که از این نوع زهکش باید استفاده شود نشان می دهد.

- 1- Intercepting system
- 2- Curtain drain

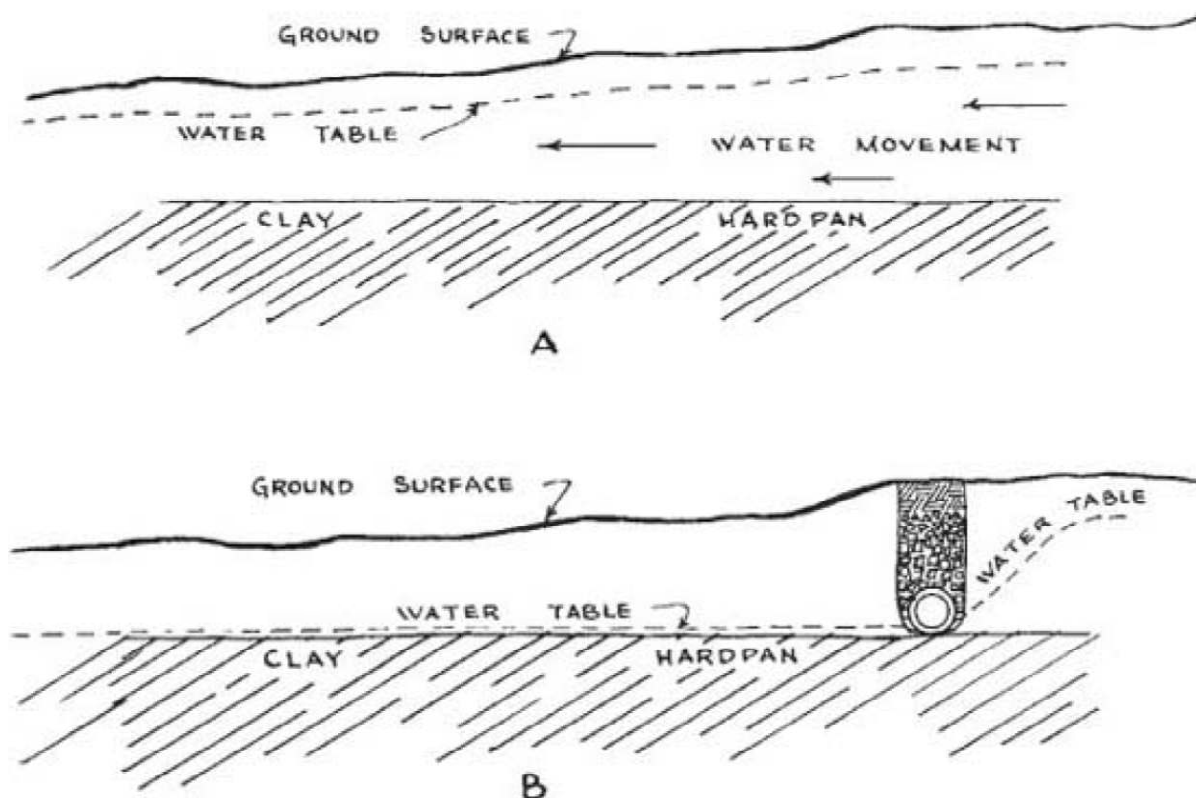
سامانه‌های طبیعی^۱ شامل استفاده از راه‌های زهکشی طبیعی برای خطوط نهرها است و حداقل خاکبرداری را شامل می‌شود. از جمله مشکلات ممکن است شرایط سطحی نامطلوب برای گودبرداری باشد.

سامانه‌های استخوان شاه‌ماهی^۲، تور فلزی مشبک^۳ و سامانه‌های موازی^۴ برای زمین‌های هموار یا با شیب یکنواخت مناسب‌تر هستند. انتخاب تا حد زیادی به این بستگی دارد که کدامیک به راحتی بهترین گرازیان‌ها را در خطوط ارائه دهد.

1- Natural systems
2- Herringbone
3- Gridiron
4- Parallel systems



شکل ۱۴- الگوهای مختلف زهکشی زیرسطحی [۱]



شکل ۱۵- زهکش بالای خاکبرداری (قطع کننده)^۱ [۱]

۱۲ بهینه‌سازی طراحی پروژه عملیات خاکی

زمانی که تمامی اطلاعات لازم درباره مصالح موجود، کاربردهای محتمل و فرایندهای مربوط به آن‌ها مشخص شد، باید یک ارزیابی کلی و بهینه‌سازی عملیات خاکی انجام پذیرد. بهینه‌سازی شامل جابه‌جایی خاک بین گودبرداری، منابع خارج از پروژه و خاکریزی و همچنین استفاده از تجهیزات برای اجرای پروژه است.

فرایند بهینه‌سازی بهتر است در برگیرنده اثرات سوء شرایط آب‌وهوایی نامساعد بر عملیات ساخت باشد. طراحی بهتر است با هدف کمینه‌کردن اثرات کوتاه‌مدت آب‌وهوایی باشد. روش ساخت بهتر است شامل برنامه‌ای برای شرایط محتمل در ساختگاه باشد، لیکن در شرایط شدیداً نامساعد ممکن است پروژه موقتاً متوقف شود.

بهینه‌سازی عملیات جابه‌جایی خاک باید با این اهداف صورت گیرد:

- کاهش فاصله انتقال بین محل برداشت و سایت خاکریزی در مقیاس کلی پروژه (و با در نظر گرفتن موانع موجود از قبیل راه آهن، رودخانه و غیره)؛

1- Intercepting drain

- استفاده مجدد از حداکثر مصالح ممکن برداشت شده از ساختگاه در ساخت سازه‌های خاکی، با در نظر گرفتن راه‌های استفاده مجدد، نهایتاً با اصلاح آن‌ها؛
- رسیدن به بیشینه کارایی تجهیزات در مراحل مختلف پروژه و در عین حال، تامین کردن شرایط مورد نیاز پروژه.
- بهینه‌سازی باید شرایط آب‌وهوایی و خطرات را به همراه تغییرات فصلی و تاثیر آن‌ها بر سناریوهای مختلف جابجایی خاک در نظر بگیرد.
- بهینه‌سازی عملیات خاکی باید با هدف محدود کردن تاثیر سوء عملیات بر محیط زیست و با توجه به معضلات محیط زیستی عنوان شده در زیربند ۴-۵ باشد.
- بهینه‌سازی نیازمند موارد زیر می باشد:
- توصیف مشخصه‌های دقیق مصالح ساختگاه و طبقه‌بندی منابع با توجه به نیازهای کلی پروژه؛
- تحلیل راه‌حل‌های فنی و اقتصادی و تاثیر آن‌ها بر سازه‌هایی که بر روی آن احداث خواهند شد (از قبیل لایه سرپوش و روسازی، ریل و پی ساختمان) از نظر عملکرد مکانیکی، هزینه نگهداری و پایداری؛
- در نظر گرفتن ضرایب تغییر حجم خاک که شامل ضرایب تغییر حجم قابل اعمال حین حمل و نقل (نسبت حجم خاک پس از خاکبرداری به حجم خاک درجا) و ضرایب تغییر حجم پس از کوبش (نسبت حجم خاک کوبیده شده به حجم خاک درجا) می‌شود؛
- برنامه‌ریزی انتقال خاک خاکبرداری شده از یک ترانشه تا یک خاکریز خاص؛
- بیان نحوه اصلاح مناسب مصالح خاص آکندن؛
- باید اقداماتی در خصوص الزامات ویژگی‌های فنی و فرایند تضمین کیفیت مربوط به پروژه صورت پذیرد.

۱۳ ویژگی‌های فنی در عملیات خاکی

۱-۱۳ کلیات

عملیات ساخت با ویژگی‌های فنی عملیات خاکی کنترل می‌شود که مدرکی تهیه‌شده برای آن پروژه است و جزئیات الزامات عملیات خاکی پروژه را بیان می‌کند. این مدرک بهتر است وقتی طراحی عملیات خاکی انجام شده و مشخصات مصالح پرکننده مورد نیاز تعیین شده است، آماده شود. ویژگی‌های فنی بهتر است شامل توصیف کافی الزامات طراحی مورد نیاز پروژه، قابل فهم برای تمامی طرف‌های درگیر در پروژه، قابل اجرا و همچنین الزام‌پذیر و قابل اندازه‌گیری باشد. همچنین در عمل بهتر است بیش از حد هزینه‌بر یا زمان‌بر نباشد. این ویژگی‌ها را بهتر است بتوان با یک فرایند موثر تضمین کیفیت پایش کرد (به استاندارد EN 16907-5 مراجعه شود).

الزامات طراحی سازه خاکی برای انجام عملیات خاکی مشتمل بر ویژگی‌های فنی و نقشه‌های ساخت تدوین می‌شوند. سه نوع ویژگی اصلی در عملیات خاکی متصور است:

- محصول نهایی؛

- روش؛

- عملکرد.

در ویژگی‌های فنی پروژه مفید خواهد بود که انواع مختلفی از ویژگی‌های عملیات خاکی برای انواع مصالح پرکننده بیان شود به‌عنوان مثال، روش کوبش برای پرکننده‌های عمومی و کوبش محصول نهایی برای پرکننده‌های درشت‌دانه. به‌علاوه، جنبه‌هایی از کنترل طرح ممکن است نیازمند ویژگی‌های متفاوتی باشند (به‌عنوان مثال، کنترل توپوگرافی سطح لایه‌ها در ویژگی‌های روش و بیشینه ضخامت لایه‌ها در ویژگی‌های محصول نهایی).

ویژگی‌های فنی باید شامل تمامی شرایط الزام‌آور حین ساخت باشد تا اطمینان حاصل شود که الزامات عمومی زیر تامین می‌شوند:

- مصالح مورد استفاده بهتر است دارای ترکیب شیمیایی مناسب آن محیط باشند. برخی مصالح ممکن است نیاز به اصلاح (مانند پایدارسازی و اصلاح) و کسب اجازه قبل از استفاده باشند؛

- مصالح مصرفی بهتر است پایا باشند (مستعد فرسایش نباشند) و زیست تخریب‌پذیر نباشند؛

- عملیات خاکی بهتر است یک سطح تمام‌شده پایدار ایجاد کند که دچار نشست نامتعارف پس از ساخت، یا دچار جابه جایی و تغییر شکل در داخل مصالح پرکننده نشود؛

- عملیات خاکی بهتر است به سطحی با سختی کافی (یا مقاومت برشی کافی) متناسب با مقدار مورد نیاز آن کاربری منتهی شود (اگر مقدار سختی که باید حاصل شود مشخص شده است، مقدار آن لازم است با در نظر گرفتن بار اعمالی و نشست ناشی از سطح بارگذاری شده به‌دست آید)؛

- عملیات را بهتر است بتوان به طور ایمن ساخت، نگهداری و تخریب کرد.

ویژگی‌های فنی بهتر است دارای حداقل اطلاعاتی مطابق با موارد زیر باشد:

الف- نوع مصالح مجاز برای استفاده در عملیات خاکی به همراه مشخصات مصالح؛

ب- الزامات عملکردی مورد نیاز (برای محصول نهایی و ویژگی‌های عملکردی)؛

پ- الزامات دورانداختن مصالح نامناسب؛

ت- الزامات ریختن، پخش کردن و کوبش مصالح عملیات خاکی؛

ث- الزامات اصلاح سطوح نمایان؛

ج- الزامات آزمون و تایید صحت؛

چ- ثبت سوابق کارهای اجرا شده که بهتر است شامل ثبت اتمام کارها باشد.

در بسیاری از پروژه‌ها، الزامات عملیات خاکی بر اساس مدرکی استاندارد است که پیشتر بر اساس تجربیات بسیار گردآوری شده است. در بیشتر کشورها، این مدارک به وسیله مسئولین در اداره راه، راه آهن، راهاب و فرودگاه تهیه می‌شود تا پاسخگوی نیازهای مهندسی خاص آن صنعت و شرایط زمین‌شناسی و آب‌وهوایی آن منطقه باشند. سطح جزئیات بیان شده در این مدارک متغیر است و در بیشتر حالت‌ها، طراح خود به تهیه الزامات خاص پروژه اقدام می‌کند.

در پروژه‌هایی که هیچ ویژگی استاندارد موجود نیست، طراح عملیات خاکی می‌تواند خود الزامات خاص پروژه را از استاندارد موجود اقتباس کند. وقتی نیاز است که از یک مدرک موجود اقتباس صورت گیرد، بهتر است آن مدرک روشی اثبات شده و مناسب طبیعت، آب‌وهوا و نوع پُرکننده در پروژه حاضر ارائه دهد که بر پایه آزمون‌های بسیار و آزمون‌های درجا است.

هنگام انتخاب و آماده‌سازی ویژگی‌های فنی پروژه، طراح عملیات خاکی باید مشکلات متعددی را در نظر گیرد. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مشخص کردن این موضوع که ویژگی‌ها موجود مناسب نوع عملیات خاکی پروژه مذکور هستند یا خیر؟ به عنوان مثال آیا بارگذاری پروژه حاضر، از بارگذاری مشخص شده در آن استاندارد فراتر می‌رود؟
- آکندهای مهندسی که در ساخت زمین‌های با شکل مناسب برای مقاصد سازه‌ای استفاده می‌شوند، بهتر است با استاندارد بالایی ساخته شوند تا ریسک حرکت زمین و به تبع آن آسیب به سازه‌ای که روی شالوده سطحی ساخته شده است، به حداقل برسد. ویژگی‌هایی که بر پایه توسعه خاکریز بزرگراه‌ها است الزاما مناسب استفاده برای آکندهی که قرار است یک ساختمان بر آن بنا شود، نیست، چرا که نشست مجاز در یک ساختمان به صورت محسوسی پایین‌تر از نشست مجاز یک جاده است. در نتیجه ویژگی‌های سختگیرانه‌تری برای مقاصد ساختمانی نسبت به ساخت راه باید اتخاذ شود؛
- طرح‌های بزرگراهی عموماً پروژه‌های عظیم مهندسی عمران هستند. در مقابل، طرح‌های مربوط به ساختمان‌هایی که روی آکند مهندسی بنا می‌شوند، معمولاً نسبتاً کوچک هستند. رویه‌های کنترلی بهتر است مناسب مقیاس پروژه و حساسیت طرح به تغییرات نشست باشند. رویه‌های کنترلی برای بزرگراه‌های بزرگ را عموماً نمی‌توان برای مقاصد کوچک، برای مثال آکندهی برای توسعه یک منزل، استفاده کرد؛
- موارد خاص مانند آکند هیدرولیک نیازمند ویژگی‌هایی هستند که به صورت ویژه برای آن پروژه تعریف شده‌اند.

۱۳-۲ ویژگی‌های محصول نهایی

در این مورد، مشخصات فنی درجه تراکم لازم، و در صورت نیاز سختی مناسب، را برای مصالح موجود با ارجاع به معیارهای مرتبط با قابلیت سرویس یا حالت های حدی نهایی تعریف می کند. سطح تراکم مورد نیاز معمولاً بر حسب خصوصیات ژئوتکنیکی انتخاب شده بیان می شود، به عنوان مثال. درصد بیشینه چگالی خشک یا حداقل سختی تجویز شده و توسط آزمایش های صحرایی در محل پروژه پشتیبانی می شود.

زمانی که ویژگی‌های محصول نهایی استفاده می‌شود، آن ویژگی‌ها عموماً به تعریف هدف کلی نهایی و بدون پرداختن به جزئیات روش اجرا می‌پردازد. ویژگی‌های فنی باید بیانگر الزامات مورد نیاز سازه خاکی در کل و همچنین چند هدف جزئی در صورت نیاز باشد (همانند حداقل الزامات یک لایه قبل از گستردن لایه بعد).

در جایی که از ویژگی‌های محصول نهایی استفاده می‌شود، الزامات معمولاً اهداف کلی را که باید به‌دست بیایند (بدون ریز شدن در جزئیات روش هایی که برای دستیابی به اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرند)، مشخص می‌کند. ویژگی‌های فنی بهتر است الزاماتی را که باید توسط سازه خاکی به طور کلی برآورده شوند و همچنین ممکن است شامل اهداف جزئی مختلفی باشد که باید صحت سنجی شوند، (به عنوان مثال حداقل الزامات برای یک لایه قبل از پخش نمودن لایه بعدی) را شرح دهد.

ویژگی‌های محصول نهایی را می‌توان در عملیات خاکی استفاده کرد بدان شرط که این رویکرد بتواند مشکلات حین عملیات خاکی را کنترل کند.

معیارهای بالا بر این اساس هستند که نشان دهند پروژه بهتر است طوری ساخته شود که پاسخگوی هدف نهایی باشد. برای رسیدن به این نتیجه، پیمانکار عملیات خاکی و طراح بهتر است طیفی از مشکلات را مدنظر قرار دهند و برای رفع این مشکلات، آن‌ها بهتر است فرایند یا استانداردی در اجرا پی بگیرند. (کسی که این مدرک را تهیه کند، به صورت موثر طراح عملیات خاکی پروژه می‌شود. به زیربند ۶-۳ مراجعه شود). در بیشتر مواقع، نیاز است که سامانه واپایش کیفیت (کنترل کیفیت) عملیات خاکی در حین ساخت، اجرا شود (حتی اگر در الزامات نیامده باشد) تا این اطمینان حاصل شود که آکند در حال ساخت به الزامات محصول نهایی خواهد رسید و در بلندمدت پایدار است (برای مثال این اطمینان حاصل شود که تغییرات رطوبت پس از کوبش روی فرسایش غیرقابل قبول یا نشست مصالح پرکننده تاثیر نخواهد گذاشت).

۱۳-۳ ویژگی‌های روش

ویژگی‌های روش بیان می‌کند که تراکم با توجه به انواع غلتک، روش اجرا، تعداد عبور غلتک و ضخامت نهایی لایه کوبیده شده چگونه بهتر است انجام شود. این ویژگی‌های فنی پس از آزمون‌های آزمایشگاهی با مقیاس واقعی توسعه یافته‌اند و بهتر است کامل استفاده شوند یا اصلاً مورد استفاده قرار نگیرند. اگر طراح عملیات خاکی انتخاب کند که از ویژگی‌های روش موجود منتشر شده استفاده کند، آنگاه در پروژه باید از

سامانه طبقه‌بندی‌ای که ویژگی‌های روش بر آن اساس است، استفاده شود (به بند ۹ و استاندارد EN 16907-5 برای طبقه‌بندی‌ها و استاندارد EN 16907-3 برای روش‌های تراکم مراجعه شود).

وقتی ویژگی‌های روش در پروژه استفاده می‌شود، این ویژگی‌ها بهتر است بر اساس روش‌هایی به خوبی تعریف شده و مناسب طبیعت پروژه، آب‌وهوا و نوع مصالح پرکننده و همچنین بر پایه آزمون‌های آزمایشگاهی وسیع و آزمون‌های صحرایی باشند. این ویژگی‌ها بهتر است شامل تعداد محدودی آزمون صحرایی چگالی باشند تا رسیدن به سطح تراکم موردنظر تایید شود.

در صورتی که روش تایید شده مناسبی بر پایه تجربه موجود نباشد، می‌توان یک روش مناسب تراکم را با تلاش‌های به خوبی کنترل شده در ساختگاه پروژه بر اساس مصالح پرکننده و ماشین آلات مورد استفاده (مانند غلتک) ارزیابی کرد. این رویکرد به پیمانکار این امکان را می‌دهد که کار در ساختگاه پروژه را به طور موثر مدیریت کند. با این حال، در این شرایط احتمالا باید پروژه را به وسیله ویژگی‌های محصول نهایی تایید کرد.

۴-۱۳ ویژگی‌های عملکردی

ویژگی‌های عملکردی الزاماتی هستند که پروژه را با رویکرد الزامات بلندمدتی که معمولاً از سطح بالایی برخوردارند، تعریف می‌کنند. برای مثال، معیارها ممکن است بر اساس سلامت بلندمدت ساختمانی باشند که بر روی آن آکند اجرا خواهد شد. یک محدودیت این روش آن است که هرگونه ضعفی در برآورده کردن معیارها تنها پس از اتمام ساخت نمایان خواهد شد که عموماً برای اقدامات اصلاحی بسیار دیر است. ویژگی‌های عملکردی عموماً برای خاکریزهای تشکیل‌شده از لایروبی استفاده می‌شود (به استاندارد EN 16907-6 مراجعه شود) چرا که آزمون مصالح پرکننده در حین آکندن امری دشوار است. از طرفی، برای خاکریزهای ساخته‌شده در شرایط خشک، معمولاً ترجیح بر آن است که مدیریت پروژه با روش محصول نهایی یا روشی که کنترل‌های واضحی در مقطع ساخت دارد، انجام شود.

اگر نیاز باشد که ویژگی‌های عملکردی تهیه شود، این ویژگی‌ها بهتر است بر اساس حالت حدی خدمت‌دهی تهیه شوند. برای مثال، بیشینه جابه‌جایی مجاز زمین در یک مدت مشخص ممکن است به صورت یک اختلاف نشست بر پایه گرادیان قابل تحمل در یک طول مشخص و تحت بیشینه نشست مجاز در هر نقطه تعریف شود. در عین حال که ویژگی‌های عملکردی ممکن است تنها سطح تمام شده عملیات خاکی را رصد کند، طراح عملیات خاکی ممکن است نیاز به در نظر گرفتن رفتار توده خاکریز (که در حیطه این استاندارد بررسی می‌شود) و زمین زیر آن (که خارج از حیطه این استاندارد است) داشته باشد.

ممکن است این ویژگی‌ها از منظر قراردادی طاقت‌فرسا به نظر برسد چرا که تمامی ریسک‌های اتفاقات آینده را بر دوش پیمانکار می‌گذارد و ممکن است بازرسی آن در عمل ممکن نباشد. بنابراین، وقتی این نوع از ویژگی‌ها استفاده می‌شود، تیم عملیات خاکی بهتر است روش مدونی برای واپایش کیفیت داشته باشد، حتی اگر این موضوع مطابق با قرارداد و بر اساس زیربند ۱۳-۲ نباشد.

لازم به ذکر است که این موضوع در استاندارد EN 16907-5 ذکر نشده است چرا که این آزمون مربوط به کنترل تراکم نیست.

۱۴ نظارت بر عملیات خاکی و پایش عملکرد سازه خاکی

۱-۱۴ مقدمه

پایش و نظارت باید از بدو شروع عملیات خاکی در ساختگاه پروژه آغاز شود که هدف آن بدین شرح است:

- کنترل پیشرفت کارهای پروژه؛
 - صحت‌سنجی مفروضات ژئوتکنیکی که در حین طراحی سازه خاکی و عملیات خاکی مرتبط با آن انجام شده بودند؛
 - جمع‌آوری اطلاعات برای نشان دادن عملکرد قابل قبول سازه خاکی.
- حیطه پایش و نظارت فعالیت‌ها بهتر است مطابق با وسعت پروژه و سطح ریسک آن باشد. بسیاری از این موارد با انتشار یک سامانه QA/QC حل می‌شوند که بهتر است یک جزء مهم از طراحی عملیات خاکی باشد. برای جزئیات به استاندارد EN 16907-5 مراجعه شود.

۲-۱۴ نیازها و فنون پایش و نظارت عملیات خاکی

- ماهیت زمین (توصیف)؛
 - رفتار مکانیکی زمین و مصالح پُرکننده (برای توجیه ژئوتکنیکی مطابق با استاندارد EN 1997-1)؛
 - درصد رطوبت و اقلیم؛
 - کارایی مراحل گودبرداری، اصلاح و کوبش (تجهیزات و روش‌ها)؛
 - نظارت باید در تمام مراحل طراحی ساخت‌وساز انجام شود. در مورد:
 - حالت نهایی آکند کوبیده‌شده؛
 - رفتار ژئوتکنیکی سازه‌های کامل شده (توانایی پذیرش تغییر شکل، نفوذپذیری، مقاومت)؛
 - هندسه نهایی سازه؛
 - کارایی زهکش.
- این مرحله می‌تواند با مشاهدات انجام شده بر روی تغییرشکل‌ها و پایداری سازه، در طول عملیات ساخت‌وساز و دوره بهره‌برداری (نظارت بلند مدت) هم راستا شود.

این را می توان با مشاهدات انجام شده بر روی تغییر شکل ها و پایداری سازه، در طول عملیات ساخت و ساز و دوره بهره برداری (نظارت بلند مدت) هماهنگ کرد.

فنون^۱

فنون استفاده شده در نظارت و پایش شامل این موارد است:

- مشاهده ها و آزمونهای توصیف زمین؛
- مشاهده های بارش و اقلیم و آزمون های مربوط به درصد رطوبت؛
- کنترل تراکم (ضخامت لایه ها، اندازه گیری چگالی با روش های مختلف)؛
- مشاهده ایرادها (لغزش، تشک شدگی، فروریزش مصالح آکند، نشست، انواع قبلا مشاهده نشده خاک و سنگ)؛
- اندازه گیری ضرایب و مقاومت ها با استفاده از آزمون های بارگذاری صفحه^۲، فشارسنج^۳ و آزمون نفوذ^۴؛
- آزمون نفوذپذیری^۵؛
- اندازه گیری های هندسی (روش های توپوگرافیک، نشست و فنون اندازه گیری جابه جایی افقی)؛
- اندازه گیری فشار آب منفذی؛
- فنون خاص (مانند اندازه گیری کرنش در مسلح کننده های ژئوسنتتیک).

معیارها

پایش بر عملیات خاکی در این موارد استفاده می شود:

- تشخیص تا حد ممکن زود هنگام هرگونه انحرافی از طراحی پروژه؛
 - صحت سنجی پایان موفق هر مرحله از ساخت.
- معیارها وابسته به نوع سازه خاکی (گودبرداری ها و شیب ها، توده های خاکریز، آکندهای هیدرولیک ساخته شده با لایروبی و غیره) و استفاده آینده آنها (ساخت ساختمان، جاده، راه آهن، کانال، محوطه سازی و غیره) هستند. این معیارها بهتر است در حین طراحی عمرانی پروژه (سازه خاکی) تعریف شوند و یک جزء از الزامات اجرای عملیات خاکی و در نتیجه جزئی از پروژه عملیات خاکی باشند.

1- Techniques
2- Plate load test
3- Pressuremeter test
4- Penetration test
5- Permeability tests

بهتر است به مزایایی که می‌توان با تهیه گزارش تا انتهای فاز ساخت به‌دست آورد، توجه کرد. این گزارش را که گاهی با عنوان «گزارش بازخورد ژئوتکنیکی» از آن یاد می‌شود، می‌توان در خلاصه‌سازی اطلاعات مهم مربوط به ساخت سازه خاکی و یافته‌های نظارت استفاده کرد. این مدرک می‌تواند بسیار در مدیریت ارزیابی (بهره برداری و نگهداری) سازه خاکی مفید واقع شود.

۱۴-۳ بررسی عملکرد سازه خاکی

بررسی برای ارزیابی انطباق سازه ساخته شده با ویژگی‌ها انجام می‌شود:

- الزامات تراکم؛
 - رفتار مکانیکی مورد نیاز؛
 - هندسه؛
 - تغییر شکل به صورت حرکت‌های پس از ساخت زمین یا سازه های مرتبط؛
 - دوام (حفاظت در برابر آب، یخ زدگی).
- معیارها وابسته به نوع سازه خاکی (گودبرداری‌ها و شیب‌ها، توده های خاکریز، آکندهای هیدرولیک ساخته شده با لایروبی و غیره) و استفاده آینده آن‌ها (ساخت ساختمان، جاده، راه آهن، کانال، محوطه‌سازی و غیره) هستند. این معیارها بهتر است در حین طراحی عمرانی پروژه (سازه خاکی) تعریف شوند و یک جزء از الزامات اجرای عملیات خاکی و در نتیجه جزئی از پروژه عملیات خاکی باشند.

۱۵ استفاده از تجربه ملی و ضوابط بدون تعارض

ضوابط عملیات خاکی و رویه‌های توصیه‌شده که قلب قسمت‌های مختلف این استاندارد هستند را می‌توان در دو دسته جای داد:

- اصول: که قابل بسط به هر موضوعی هستند؛
 - ضوابط: که بر پایه تجربه هستند و معمولاً با تغییر مصالح و اقلیم تغییر می‌کنند و می‌توانند از تجربیات ملی یا محلی، شامل راه‌های جمع‌آوری اطلاعات منتج شده باشند.
- وجود استانداردهای ملی یا رویه‌های منتشر شده و پذیرفته‌شده که تکمیل‌کننده این استاندارد هستند و ضوابط بدون تعارض دارند، قابل استفاده هستند.

پیوست الف

(آگاهی دهنده)

تعریف هندسه کارهای خاکی و سازه‌های خاکی

این پیوست در کشور کاربرد ندارد.

پیوست ب

(آگاهی دهنده)

آیین کار ضوابط ملی کشور اتریش

این پیوست در کشور کاربرد ندارد.

پیوست پ

(آگاهی دهنده)

آیین کار ضوابط ملی کشور فرانسه

این پیوست در کشور کاربرد ندارد.

پیوست ت

(آگاهی دهنده)

آیین کار ضوابط ملی کشور آلمان

این پیوست در کشور کاربرد ندارد.

پیوست ث

(آگاهی دهنده)

آیین کار ضوابط ملی کشور نروژ

این پیوست در کشور کاربرد ندارد.

پیوست ج**(آگاهی دهنده)****آیین کار ضوابط ملی کشور اسپانیا**

این پیوست در کشور کاربرد ندارد.

پیوست چ

(آگاهی دهنده)

آیین کار ضوابط ملی کشور سوئد

این پیوست در کشور کاربرد ندارد.

پیوست ح

(آگاهی دهنده)

آیین کار ضوابط ملی کشور بریتانیا

این پیوست در کشور کاربرد ندارد.

پیوست خ

(آگاهی‌دهنده)

تغییرات اعمال‌شده در این استاندارد در مقایسه با استاندارد منبع

الف-۱ بخش‌های اضافه‌شده

- بند ۱۱ جهت تکمیل مباحث زهکشی زیر سطحی بر مبنای بخش‌هایی از مرجع [۱] کتاب‌نامه اضافه شده است.

الف-۲ بخش‌های حذف‌شده

- بند هدف و دامنه کاربرد: در مقایسه با منبع این استاندارد پاراگراف زیر حذف شد.
Due to the variable subsoil and climate conditions within Europe and to the different national contract conditions, national sets of rules have been established in several European countries which could not be harmonized within a short period by a European Standard. This European Standard gives therefore basic rules to reach the aims described above. Informative Annexes B to H of this document give examples of national practices following these rules
- زیربند ۶-۳-۸: در مقایسه با منبع استاندارد عبارت زیر حذف شد:
and Annex A for examples.
- زیربند ۷-۱: در مقایسه با منبع استاندارد عبارت زیر حذف شد:
Terminology for elements of cuttings are shown in Annex A.
- زیربند ۱۳-۱: در مقایسه با منبع استاندارد عبارت زیر حذف شد:
Examples of good practice are included in informative Annexes B to H.
- زیربند ۱۳-۳: در مقایسه با منبع استاندارد عبارت زیر حذف شد:
Examples of good practice are included at informative Annexes C to H.
- زیربند ۱۵-۱: با توجه به حذف زیربند ۱۴.۲ از منبع و مغایرت وجود شماره زیربند آویزان شماره زیربند ۱۵-۱ نیز حذف شد.
- زیربند ۱۴.۲ منبع در این استاندارد به شرح زیر حذف شد:
14.2 Informative examples of experience-based national practices
Existing practices cover the whole process of design, execution and control of earthworks, to transform materials from different sources into earth-structures with specified properties. This process consists of three successive, though interrelated stages:

- Stage 1: Based on the available information, selection of the materials which can be used to meet the needs (in terms of volumes and required properties) of the earth-structure:
 - classification (assignment) of materials into groups based on intrinsic properties;
 - definition of possible uses without and with treatment (experience based classification or new tests);
 - choices and preliminary optimization (volumes and destination).
- Stage 2: Organization (design) of earthworks (including extraction, transport, eventual treatment, compaction):
 - further specific classification including state and other parameters;
 - definition of the compaction process as a function of initial state, climate, treatment, preferred or available equipment, etc.;
 - final optimization (equipment, schedule), which produces the “earth movement” and optimal use of equipment.
- Stage 3: Organization of the control of earthworks:
 - selection of tools (method and equipment);
 - definition of acceptance criteria for the completed earth-structure.

The detailed implementation of these staged practices, which cover the contents of EN 16907-2, EN 16907-3, EN 16907-4, EN 16907-5 and EN 16907-6, has been described in different ways.

Informative Annexes B to H explain how these practices have been organized in different European countries.

– پیوست‌ها منبع در این استاندارد به شرح زیر حذف شد:

Annex A (informative) Geometry definitions for earthworks and earth-structures

Annex B (informative) Summary of national practice — Austria

Annex C (informative) Summary of national practice — France

Annex D (informative) Summary of national practice — Germany

Annex E (informative) Summary of national practice — Norway

Annex F (informative) Summary of national practice — Spain

Annex G (informative) Summary of national practice — Sweden

Annex H (informative) Summary of national practice — United Kingdom

کتابنامه

- [1] MOVING THE EARTH: The Workbook of Excavation, Herbert L. Nichols, David A. Day, Sixth Edition, McGraw-Hill, 2010.