

راهنمای طراحی و انتخاب مواد و مصالح برای زهکش‌های زیرزمینی

نشریه شماره ۸ ۳۶

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران
دفتر استانداردها و معیارهای فنی
<http://www.wrm.ir/standard>

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور
معاونت امور فنی
دفتر امور فنی ، تدوین معیارها و
کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله
<http://tec.mporg.ir>

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

راهنمای طراحی و انتخاب مواد و مصالح برای زهکش‌های زیرزمینی

نشریه شماره ۳۶۸

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران
دفتر پژوهشها و استانداردها

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و
کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

فهرست برگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
راهنمای طراحی و انتخاب مواد و مصالح برای زهکشی‌های زیرزمینی / معاونت امور فنی،
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب
ایران، دفتر پژوهشها و استانداردها. - تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و
منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات، ۱۳۸۵.

۱۷، ۷۷ ص: جدول، نمودار، مصور. - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها
و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ نشریه شماره ۳۶۸) انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛
(۸۵/۰۰/۱۷۰)

ISBN 978-964-425-901-2

مربوط به بخشنامه شماره ۱۶۹۱۷۸/۱۰۰ مورخ ۱۳۸۵/۱۰/۱۱
کتابنامه: ص. ۷۵-۷۷

۱. زهکشی زیرزمینی - مواد صنعتی - دستنامه‌ها. الف. شرکت مدیریت منابع آب ایران. دفتر پژوهشها و
استانداردها. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات. ج. عنوان.
د. فروست.

۱۳۸۵ ش. ۳۶۸ / س ۲۴ / TA ۳۶۸

ISBN 978-964-425-901-2

شابک ۹۷۸-۹۶۴-۴۲۵-۹۰۱-۲

راهنمای طراحی و انتخاب مواد و مصالح برای زهکشی‌های زیرزمینی

تهیه‌کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک
علمی، موزه و انتشارات

چاپ اول، ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۱۰۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۵

لیتوگرافی: قاسملو

چاپ و صحافی: چاپ زحل

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رییس سازمان

شماره:	۱۰۰/۱۶۹۱۷۸
تاریخ:	۸۵/۱۰/۱۱

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران

موضوع:

راهنمای طراحی و انتخاب مواد و مصالح برای زهکش‌های زیرزمینی

به استناد این‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران به پیوست نشریه شماره ۳۶۸ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «**راهنمای طراحی و انتخاب مواد و مصالح برای زهکش‌های زیرزمینی**» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتری در اختیار داشته باشند، جایگزین کنند.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، ارسال دارند.

امیر منصور برقی

معاون رییس جمهوری و رییس سازمان

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

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

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

<http://tec.mporg.ir>

صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

باتوجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای صنعت آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است. استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است :

- استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیت‌های کشور تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

حبیب امین فر - معاون امور فنی

پاییز ۱۳۸۵

ترکیب اعضای تهیه کننده : کمیته و ناظر(ان) تخصصی

این استاندارد در دانشگاه تربیت مدرس توسط افراد زیر به ترتیب حروف الفبا تهیه شده است:

مجتبی اکرم	شرکت مهندسين مشاور آبساران	فوق لیسانس آبیاری و زهکشی
مجتبی رضوی نبوی	دفتر توسعه شبکه‌های آبیاری و زهکشی	فوق لیسانس آبیاری و زهکشی
کوروش محمدی	دانشگاه تربیت مدرس	دکتری آبیاری
محمد حسین مهدیان	مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری	دکتری آبیاری و زهکشی
محمد باقر نحوی	شرکت مهندسين مشاور آبکاووش سرزمین	فوق لیسانس آبیاری و زهکشی

گروه نظارت که مسئولیت نظارت تخصصی بر تدوین این استاندارد را به عهده داشته اند، به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

ابراهیم پذیرا	دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات و فناوری	دکتری منابع آب
انسیه محرابی	شرکت سهامی مدیریت منابع آب	فوق لیسانس مهندسی تأسیسات آبیاری
احمد لطفی	شرکت مهندسين مشاور پندام	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و آبادانی

اسامی اعضای کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی دفتر استانداردها و معیارهای فنی که بررسی و تأیید استاندارد حاضر را

بعهده داشته اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

اسدا... اسدالهی	شرکت سهامی مدیریت منابع آب	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
ابراهیم پذیرا	دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات و فناوری	دکتری مهندسی منابع آب
احمد پورزند	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	لیسانس مهندسی آبیاری
محمدصادق جعفری	شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
سید مجتبی رضوی نبوی	شرکت سهامی مدیریت منابع آب	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
سید رحیم سجادی	معاونت فنی و زیربنایی وزارت جهاد کشاورزی	لیسانس مهندسی آبیاری
محمد کاظم سیاهی	شرکت مهندسين مشاور پندام	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی و مهندسی عمران
محمدحسن عبدا... شمشیرساز	شرکت مهندسين مشاور پژوهاب	فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
انسیه محرابی	شرکت سهامی مدیریت منابع آب	فوق لیسانس مهندسی تأسیسات آبیاری
محمدجواد منعم	دانشگاه تربیت مدرس	دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۱	۱- هدف
۱	۲- دامنه کاربرد
۱	۳- مواد پوششی و ضرورت استفاده از آنها
۱	۱-۳ کلیات
۲	۲-۳ مواد پوششی
۳	۱-۲-۳ پوشش‌های معدنی دانه‌های
۳	۲-۲-۳ پوشش‌های آلی
۴	۳-۲-۳ پوشش‌های مصنوعی
۴	۳-۳ ضرورت استفاده از پوشش
۵	۱-۳-۳ روش رس و نسبت جذب سدیم
۵	۲-۳-۳ روش رس
۵	۳-۳-۳ روش شاخص پلاستیسیته و ضریب یکنواختی خاک
۵	۴-۳-۳ روش گرادیان شکست هیدرولیکی
۹	۴-۳ معیارهای قابل پیش‌بینی
۱۱	۴- انتخاب مواد پوششی
۱۱	۱-۴ نحوه دسترسی و هزینه مواد پوششی
۱۱	۲-۴ بار پیش‌بینی شده برای تحمل لوله
۱۲	۳-۴ گرفتگی شیمیایی
۱۳	۱-۳-۴ کلسیم و اسیدیته (pH) خاک
۱۴	۲-۳-۴ روش‌های تنظیم واکنش‌های شیمیایی
۱۵	۵- طراحی پوشش‌های زهکشی
۱۵	۱-۵ بررسی‌های مورد نیاز
۱۵	۱-۱-۵ بررسی‌های مکانیکی
۱۵	۲-۱-۵ جنبه‌های هیدرولیکی
۱۶	۳-۱-۵ پایداری ساختاری
۱۷	۱-۳-۱-۵ هدایت هیدرولیک در عمق کارگذاری زهکشها

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۷	عمق لایه محدودکننده ۲-۳-۱-۵
۱۷	خصوصیات شیمیایی خاک ۴-۱-۵
۱۹	ظرفیت تبادل کاتیونی ۱-۴-۱-۵
۱۹	شوری خاک ۲-۴-۱-۵
۱۹	سدیمی بودن خاک ۳-۴-۱-۵
۲۰	۲-۵ روش طراحی پوشش
۲۰	روش شاخصهای آزمایشگاهی ۱-۲-۵
۲۰	آزمایشهای آبگذری در واحد ضخامت ۱-۱-۲-۵
۲۱	آزمایش نسبت گرادیان ۲-۱-۲-۵
۲۱	آزمون جریان طولانی مدت ۳-۱-۲-۵
۲۱	آزمایش نسبت هدایت هیدرولیک ۴-۱-۲-۵
۲۲	روش معیارهای عمومی ۲-۲-۵
۲۲	۳-۵ پوششهای شنی - ماسهای
۲۳	معیارهای ولاتمن و همکاران ۱-۳-۵
۲۳	معیار ترزاقی ۲-۳-۵
۲۶	معیارهای اداره احیای اراضی ایالات متحده ۳-۳-۵
۲۷	معیارهای سرویس حفاظت منابع طبیعی ۴-۳-۵
۲۸	۴-۵ پوششهای مصنوعی
۲۸	معیارهای نگهداری ۱-۴-۵
۲۹	معیارهای هیدرولیکی ۲-۴-۵
۲۹	معیارهای جلوگیری از انسداد ۳-۴-۵
۲۹	معیارهای مکانیکی ۴-۴-۵
۲۹	۵-۵ پوششهای پیشتافته
۲۹	وزن واحد سطح پوشش پیش تافته ۱-۵-۵
۳۰	معیارهای نگهداری ۲-۵-۵
۳۱	هدایت هیدرولیکی پوشش ۳-۵-۵
۳۱	خصوصیات مکانیکی ۴-۵-۵
۳۲	ضخامت پوشش مصنوعی ۵-۵-۵

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳۳	۶-۵ پوششهای آلی
۳۳	۷-۵ جمع‌بندی
۳۵	۶- لوله‌ها و مصالح زهکشی
۳۵	۱-۶ لوله‌های سفالی و بتنی
۳۵	۲-۶ لوله‌های پلاستیکی
۳۶	۳-۶ عوامل مورد آزمایش برای لوله‌های زهکشی
۳۶	۱-۳-۶ لوله‌های رسی و بتنی
۳۶	۲-۳-۶ لوله‌های پلاستیکی
۳۶	۱-۲-۳-۶ وضعیت ظاهری
۳۷	۲-۲-۳-۶ طول لوله و ابعاد حلقه
۳۷	۳-۲-۳-۶ قطر اسمی
۳۸	۴-۲-۳-۶ حداقل قطر داخلی
۳۸	۵-۲-۳-۶ تغییرات متوسط قطر خارجی
۳۸	۶-۲-۳-۶ مدور بودن
۳۹	۷-۲-۳-۶ سوراخها
۴۰	۳-۳-۶ طول قطعات لوله برای آزمایش
۴۰	۴-۶ خصوصیات مصالح قرضه برای پوششهای معدنی
۴۱	۵-۶ دانه‌بندی
۴۱	۶-۶ شاخصهای مورد نیاز
۴۱	۱-۶-۶ شاخص دوام
۴۱	۲-۶-۶ صیقلی و زبری ذرات
۴۱	۳-۶-۶ پوشش سطحی ذرات
۴۱	۴-۶-۶ بررسیهای مورد نیاز برای مصالح قرضه
۴۳	پیوست الف - دستورالعمل نصب و نگهداری مصالح زهکشی
۵۳	پیوست ب - جریان به طرف زهکشهای دارای پوشش
۶۱	پیوست ج - تعاریف
۶۵	پیوست د- مثالهای حل شده
۷۵	منابع و مراجع

مقدمه

زهکشی، پیشینه‌ای چند هزار ساله دارد اما شاید بتوان گفت که از عمر زهکشی به شیوه امروزی بیش از دو سده نمی‌گذرد. پیدایش لوله‌های پلاستیکی در دهه ۱۹۶۰ و رواج استفاده از ماشینهای زهکشی در دهه ۱۹۷۰، شتابی چشمگیر به توسعه زهکشی زیرزمینی داد و از اواسط دهه ۱۹۸۰، در کشورهای هلند و آمریکا، استفاده از زهکشهای زیرزمینی به منظور بهبود شرایط خاکهای کشاورزی و کشت گیاهان زراعی شتابی بی‌سابقه گرفت. لیکن از همان ابتدا، مشکل رسوب‌گذاری در خطوط زهکشی نمایان گردید. به همین دلیل، انواع مختلف پوشش مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که کاربرد هر یک از آنها با درجات مختلف با موفقیت همراه است. در این رابطه، از موادی مانند خاک سطحی، چمن، علف، کاه، ساقه‌های ذرت، تراشه‌های چوب، ماسه و شن برای جلوگیری از انسداد زهکشها، استفاده شده است.

۱- هدف

هدف از تهیه این استاندارد، بررسی روشهای موجود و مرسوم در بین مهندسان زهکشی برای طراحی و اجرای پوششهای زهکشی زیرزمینی می‌باشد.

۲- دامنه کاربرد

دامنه کاربرد این نشریه به زهکشهای زیرزمینی در سطح مزرعه و یا شبکه آبیاری و زهکشی در داخل ایران محدود می‌شود.

۳- مواد پوششی و ضرورت استفاده از آنها

۱-۳ کلیات

در ۵۰ سال گذشته، عبارتهای زیادی برای تعریف پوشش زهکشی به کار رفته است. دیلمان و ترافورد [۹] از عبارتهای پوشش^۱، فیلتر^۲ و محاط کننده^۳ استفاده کرده‌اند تا مواد پوششی را براساس کاربرد آنها مشخص سازند. عبارت پوشش به عنوان یک نام کلی برای هر ماده مصنوعی که به منظور بهبود عملکرد لوله‌های زهکشی به کار می‌رود، استفاده شده است. بر اساس تعریف، ماده پوششی زهکش، به ماده متخلخلی گفته می‌شود که به منظور بهبود شرایط هیدرولیکی لوله زهکش و محافظت آن در برابر ورود مواد رسوبی، در اطراف آن نصب می‌گردد. از میان این مواد، شن، الیاف آلی پیش‌تافته^۴ و الیاف مصنوعی (مانند ژئوتکستایلها)^۵ به عنوان مهم‌ترین مواد پوشش برای جلوگیری از ورود مواد رسوبی و انسداد خطوط لوله زهکش مطرح می‌باشند. از آنجا که اغلب، کلمه فیلتر به نادرست به جای پوشش استفاده می‌شود، لازم است در اینجا فیلتر نیز تعریف شود.

1- Envelope

2- Filter

3- Surround

4- Pre Wrapped Organic Fibres

5- Geotextiles

فیلتر ماده متخلخلی است که از میان آن گاز و یا مایعی عبور داده می‌شود تا مواد معلق آن جدا گردد [۷]. در نتیجه، فیلتر کردن عملی است که در آن خاک و یا مواد در اثر عبور جریان روی فیلتر باقی می‌ماند اما به مایع اجازه عبور داده می‌شود [۲۵]. با این تعریف، اگر فیلتر به عنوان پوشش زهکش استفاده شود، به تدریج مسدود شده و در فاصله زمانی کوتاه کارایی خود را از دست می‌دهد. دلیل آن این است که مواد معلق در سطح و یا درون آن رسوب کرده و در نتیجه باعث کاهش آبگذری آن می‌گردد. به دلیل اینکه در موقع ورود آب به زهکش، بیشتر انرژی پتانسیل آب در نزدیکی زهکش در اثر همگرایی جریان به سمت منافذ ورودی مستهلک می‌شود، بنابراین با استفاده از مواد پوششی که دارای آبگذری بالایی هستند، کارایی زهکشی بهبود می‌یابد. مواد پوششی باعث می‌شوند تا شعاع مؤثر زهکشی افزایش یابد. با کاربرد یک لایه ضخیم از مواد پوششی در اطراف لوله زهکش، گردان خروجی آب از داخل خاک نیز کاهش پیدا می‌کند. به‌طور کلی اهداف عمده استفاده از پوشش اطراف زهکشهای زیر زمینی به شرح زیر است:

- ایجاد بستری مناسب برای تثبیت خاک در محل تماس لوله زهکش و خاک،
 - جلوگیری و یا محدود کردن حرکت ذرات خاک به درون زهکش که زمینه انسداد زهکش را فراهم می‌سازد،
 - ایجاد محیطی متخلخل با آبگذری نسبتاً زیاد در محل و یا نزدیک سوراخهای زهکش به منظور کاهش مقاومت ورودی،
 - ایجاد بستری پایدار برای محافظت لوله در برابر جابه‌جاییهای ناشی از وزن خاک در حین و بعد از عملیات اجرایی،
 - ایجاد بستری مناسب برای لوله به منظور جلوگیری از انحراف لوله و خسارتهای ناشی از وزن خاک.
- پوشش زهکشی، وظیفه بهبود شرایط هیدرولیکی اطراف لوله را برعهده دارد و به عنوان ماده‌ای با قابلیت آبگذری مناسب به گونه‌ای عمل می‌کند که ذرات ریز خاک، زبانی برای لوله زهکش نداشته باشند. مواد پوششی به گونه‌ای عمل می‌کنند که ذرات ریز خاک و مواد آلی به راحتی بتوانند از درون آن عبور کنند، بدون اینکه سبب گرفتگی آن شوند. همچنین مواد پوششی درشت دانه اطراف لوله زهکش نصب می‌شوند تا خاک را از نظر مکانیکی و هیدرولیکی تثبیت کنند.
- وقتی که از لوله‌های پلاستیکی انعطاف‌پذیر به عنوان لوله زهکشی استفاده می‌شود، توجه به وظیفه مکانیکی پوشش زهکش از اهمیت زیادی برخوردار است. به عبارت دیگر، پوشش زهکشی می‌تواند بستر را تثبیت و پایداری آن را افزایش دهد. این وظیفه در ارتباط با مواد پوششی شن و ماسه مطرح است که در خاکهای ناپایدار سبب بهبود شرایط بستر می‌شود. شن سبب بهبود شرایط مکانیکی خاک و زهکش شده و به عنوان بستر، از دو طرف مهار لوله را نیز انجام می‌دهد.

۲-۳ مواد پوششی

مواد پوششی که برای محافظت زهکشهای زیرزمینی استفاده می‌شوند شامل مواد متخلخلی است که مصالح آن به اندازه مورد نیاز در دسترس بوده و کاربرد آنها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. این مواد به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- پوششهای معدنی دانه‌ای،
- پوششهای آلی،
- پوششهای مصنوعی.

۳-۲-۱ پوششهای معدنی دانه‌ای

پوششهای معدنی دانه‌ای شامل شن درشت، شن ریز، ماسه و سنگ شکسته است که در زمان اجرا در اطراف لوله زهکشی ریخته می‌شود. اگر این مواد پوششی به درستی طراحی و اجرا شوند، خوب عمل کرده و عملکرد سامانه زهکشی را بهبود می‌بخشند. از مزایای این مواد این است که به مقدار زیادی می‌توان آنها را ذخیره کرد بدون اینکه ویژگیهای آنها تغییر کند. معمولاً مخلوط شن درشت یا ریز که دارای حداقلی از مواد ریز دانه باشند، به عنوان پوشش مورد استفاده قرار می‌گیرد و عمر این مواد نسبت به دیگر مواد پوششی بیشتر است.

شن و ماسه دانه‌بندی شده باید همگن بوده و ذرات آن خوب مخلوط شوند. در ضمن عاری از مواد ریز دانه مانند سیلت، رس و مواد آلی باشد. این مواد زاید، باعث کاهش ضریب آبگذری پوشش می‌شوند. در مواد پوششی طراحی شده نباید آهک زیادی وجود داشته باشد که زمینه رسوب در درون و یا روی پوشش را فراهم کند.

ابهاماتی در استفاده از شن و ماسه به عنوان پوشش مطرح شده است. این نوع پوشش اگر خوب طراحی و اجرا نشود، به مرور زمان حالت فیلتر به خود می‌گیرد و در نتیجه مواد ریزی که باید به داخل زهکش هدایت شوند، در میان پوشش رسوب می‌کنند. اصولاً کارشناسانی که با مواد پوششی مصنوعی آشنا نیستند، رغبتی به استفاده از این مواد نداشته و شن و ماسه را ترجیح می‌دهند. در بسیاری از مناطق، امکان دسترسی به شن و ماسه به عنوان پوشش وجود دارد که در نتیجه هزینه آنها نسبت به مواد مصنوعی خیلی کمتر است، اما در مناطقی که دسترسی کافی به این نوع مواد وجود ندارد، استفاده از آنها مقرون به صرفه نیست.

۳-۲-۲ پوششهای آلی

مواد آلی همان مواد زاید کشاورزی هستند که در برخی از کشورها با شرایط ویژه به صورت موفقیت‌آمیزی به عنوان ماده پوششی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مواد آلی شامل کاه، بقایای برنج، بقایای گندم، بقایای کتان، برگ گیاه سدر، نی، چوب بلال، تراشه چوب، جارو، کتان خردشده، ساقه‌های کتان، پیت، الیاف و پوسته نارگیل و کاکائو است. از این نوع مواد می‌توان در حین اجرا استفاده کرد و یا اینکه قبلاً به دور لوله زهکش پیچیده شوند.

در شمال اروپا، در کشورهای بلژیک، آلمان و هلند، مواد پوششی آلی که بیشتر مصرف دارد از نوع پیت، بقایای کتان و پوسته‌های کاکائو است. استفاده از پیت به عنوان پوشش زهکشهای سفالی تا قبل از دهه ۱۹۵۰ مرسوم و رایج بوده است. هدایت هیدرولیک پیت به دلیل تورم در شرایط رطوبتی دائم به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد [۱۳]. به طور کلی استفاده از کاه به عنوان ماده پوششی موفقیت‌آمیز نبوده است. زیرا معمولاً در عمل، کاه پوسیده شده و به لایه‌هایی با آبگذری کم در اطراف لوله تبدیل می‌شود. در اواخر دهه ۱۹۶۰ استفاده از پوسته‌های کاکائو رایج شد اما موضوع تخمیر بیولوژیکی آن مطرح شد. در شرایطی که اسیدیته خاک (pH) بیشتر از ۶ باشد، بعد از گذشت ۲ تا ۵ سال، تخمیر کامل آن صورت می‌گیرد [۱۵ و ۱۱۹]. تحقیقات زیادی برای جلوگیری از تجزیه پوششهای آلی به عمل آمده اما موفقیت چندانی نداشته است.

پوششهای آلی در کشورهای مناطق خشک نتایج رضایت‌بخشی نداشته است. در این مناطق دمای بالا باعث تسریع فعالیتهای میکروبیولوژیکی شده و در نتیجه تخمیر و تجزیه مواد آلی را شتاب می‌بخشد [۳۸]. کاربرد موفقیت‌آمیز پوششهای

آلی در کشورهای اسکانندیناوی گزارش شده که دلیل آن پایین بودن دمای خاک این کشورها است. اکثر پوششهای آلی پس از چند سال تجزیه می‌شوند. البته پس از مدتی که از نصب زهکشها می‌گذرد، خاکها پایدار می‌شوند و اگر هدف از کاربرد پوشش، تثبیت پایداری خاک باشد، پوسیدگی پوشش مشکلی به‌وجود نخواهد آورد [۳۹].

۳-۲-۳ پوششهای مصنوعی

مواد پوششی مصنوعی شامل مواد مختلف پلیمری هستند. این مواد می‌تواند از جنس پلی‌آمید^۱، انواع پلی‌استر^۲، پلی‌اتیلن^۳ و پلی‌پروپیلن^۴ باشند. مواد پوششی از جنس پلی‌پروپیلن به‌طور وسیعی در کشورهای شمال اروپا و مناطقی که استفاده از شن و ماسه در آن مناطق گران تمام می‌شود، مورد استفاده قرار گرفته است. مواد مصنوعی معمولاً توسط شرکتهای تخصصی و یا کارخانه سازنده، اطراف لوله‌های زهکش پیچیده می‌شوند. این نوع تولیدات، باید به اندازه کافی در مقابل حمل و نقل و نصب مقاومت داشته باشد به گونه‌ای که هیچ‌گونه آسیبی به آنها وارد نشود.

مواد پوششی مصنوعی از جنس پلی‌پروپیلن در کشور بلژیک به مقدار زیادی استفاده شده است. به علت بالا بودن هزینه لیاف پلی‌پروپیلن، از لیاف پلی‌آمید نیز استفاده می‌شود. این لیاف بر خلاف لیاف پلی‌پروپیلن، آب جذب می‌کنند و باعث افزایش وزن کلاف می‌شود. به‌علاوه به علت وجود الکتریسته ساکن، پیچیدن لیاف پلی‌آمید به‌صورت همگن و یکنواخت به دور لوله مشکل است.

مواد پوششی مصنوعی در مقابل اشعه خورشید صدمه می‌بینند. تحقیقاتی که توسط دیریکس [۱۱] صورت گرفته، نشان می‌دهد که لیاف پلی‌پروپیلن در شرایط مزرعه و در معرض نور مستقیم خورشید بعد از ۳ سال از بین می‌رود. سرعت تخریب این مواد در مناطق نیمه‌خشک که دمای هوا دو برابر مناطق معتدل است، دو برابر است. البته شرایط محل کارگذاری و نصب آنها در زیر زمین با هوای آزاد کاملاً متفاوت بوده و نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه است.

۳-۳ ضرورت استفاده از پوشش

ضرورت استفاده از پوشش عمدتاً به ویژگیهای خاک در منطقه‌ای که زهکش زیرزمینی در آن اجرا می‌شود، بستگی دارد. اصولاً به‌کارگیری و تعمیم تجربیات حاصل از یک منطقه به صورت مستقیم در منطقه دیگر پیشنهاد نمی‌شود. در حال حاضر دستورالعمل جامعی که ضرورت استفاده از پوشش را تعیین کند، وجود ندارد. بهترین روش تعیین ضرورت استفاده از پوشش، احداث خطوط زهکش آزمایشی برای انواع خاکهای موجود در یک منطقه (مزرعه آزمایشی) است. این روش نیاز به صرف وقت و هزینه زیاد دارد. حتی اگر برای جلوگیری از ورود رسوبات ریزدانه به داخل لوله‌های زهکش، استفاده از پوشش ضرورت نداشته باشد، ممکن است شرایط ویژه دیگری استفاده از پوشش را اجتناب‌ناپذیر نماید که از جمله آنها می‌توان به شرایط هیدرولیکی،

1- Polyamide (PA)

2- Polyethylene Terephthalate (PETP)

3- Polyethylene(PE)

4- Polypropylene (PP)

اجرا و نصب اشاره کرد. برای تشخیص ضرورت استفاده از یک نوع پوشش، پنج روش زیر وجود دارد که در شکل ۱-۱ ارائه شده‌اند. در صورتی که از یک روش استفاده می‌شود، نیازی به کاربرد روشهای دیگر نیست.

۱-۳-۳ روش رس و نسبت جذب سدیم^۱

در این روش در صورتی که میزان رس خاک بیشتر از ۴۰ درصد و نسبت جذب سدیم (SAR) کمتر از ۸ تا ۱۲ باشد، نیازی به کاربرد پوشش نخواهد بود [۲۴].

۲-۳-۳ روش رس^۲

براساس این روش، در صورتی که درصد رس خاک اطراف زهکش بیشتر از ۲۵ تا ۳۰ درصد باشد، نیازی به پوشش نیست. ذکر این نکته ضروری است که خاکها در مناطق آب و هوایی خشک نسبت به مناطق مرطوب ناپایدارترند و مقادیر رس نمی‌تواند تنها شاخص پایداری خاک باشد، در نتیجه پیشنهاد می‌گردد که از روش گرادیان شکست هیدرولیکی^۳ (HFG) که در صفحات بعد توضیح داده می‌شود و معیار SAR نیز استفاده شود.

۳-۳-۳ روش شاخص پلاستیسیته و ضریب یکنواختی خاک^۴

در صورتی که شاخص پلاستیسیته (PI) بیشتر از ۱۲ و ضریب یکنواختی خاک (C_u) بیشتر از ۱۵ باشد، نیازی به کاربرد پوشش نخواهد بود.

۴-۳-۳ روش گرادیان شکست هیدرولیکی

در روش گرادیان شکست هیدرولیکی (HFG)، با تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک، گرادیان واقعی جریان در پیرامون زهکشها و محاسبه گرادیان شکست هیدرولیکی، نیاز یا عدم نیاز به پوشش مشخص می‌شود. در صورتی که گرادیان هیدرولیکی واقعی کمتر از گرادیان شکست هیدرولیکی باشد، نیازی به پوشش احساس نمی‌شود. گرادیان شکست هیدرولیکی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$HFG = e^{0/332-0/132 K_s + 1/07 \times \ln(PI)} \quad (1-3)$$

که در آن:

HFG = گرادیان شکست هیدرولیکی،

K_s = هدایت هیدرولیک اشباع (متر بر روز)،

-
- 1- Clay & SAR Method
 - 2- Clay Method
 - 3- Hydraulic Failure Gradient
 - 4- Plasticity Index & Coefficient of Uniformity Method

PI = شاخص پلاستیسیته،

e = پایه لگاریتم طبیعی.

گرادبان واقعی با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

$$I_x = \frac{q_{d \max}}{K_s \times A_{pu}} \quad (2-3)$$

$$q_{l \max} = q_{d \max} \times S = \frac{Q_{d \max}}{L} \quad (3-3)$$

$$Q_{d \max} = q_{d \max} \times S \times L = \frac{8K_1 \times d_e (h + d_{wtd}) + 4K_2 (h + d_{wtd})^2}{S} \times L \quad (4-3)$$

که در آنها:

I_x = گرادبان واقعی،

$q_{d \max}$ = بده در واحد عرض (متر مکعب بر روز بر متر)،

A_{pu} = سطح واقعی جریان یا مساحت سوراخهای روی لوله زهکش (متر مربع بر متر)،

$Q_{d \max}$ = حداکثر بده ممکن تحت شرایط جریان آزاد (متر مکعب بر روز)،

$q_{l \max}$ = حداکثر بده ورودی در واحد طول زهکش (متر مکعب بر روز بر متر)

S = فاصله زهکشی (متر)،

L = طول زهکش (متر)،

d_e = عمق معادل هوخهات (متر)،

h = بار آبی طراحی (متر)،

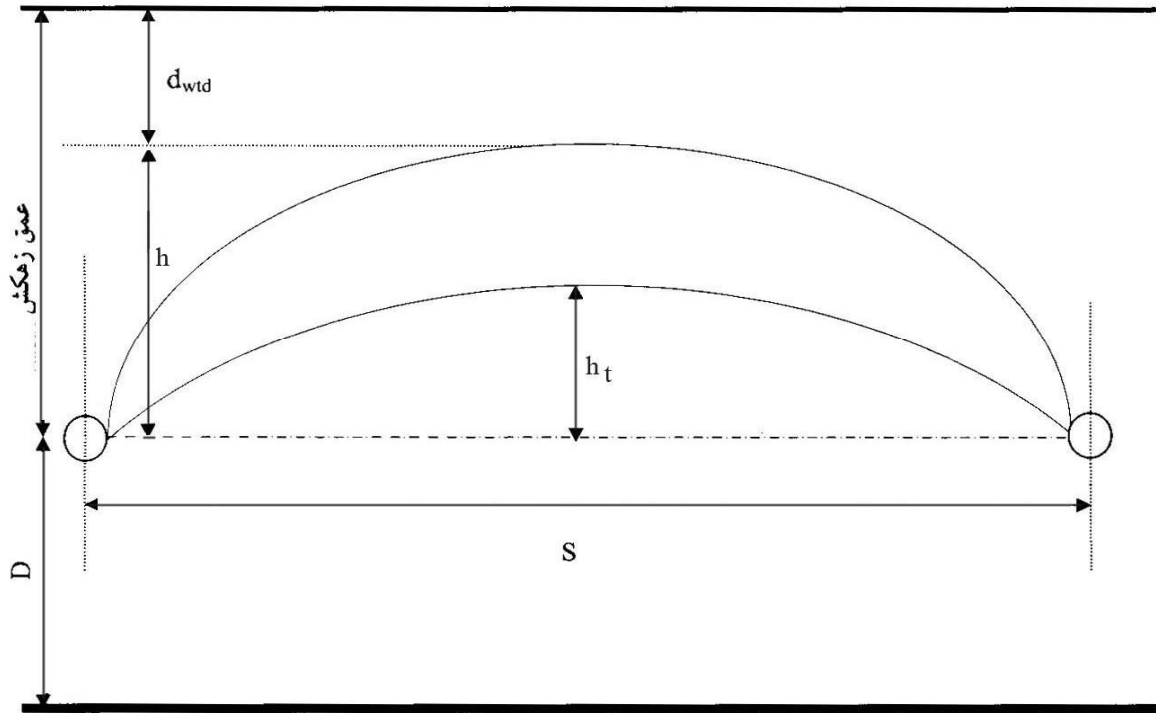
d_{wtd} = عمق سطح ایستابی تا سطح زمین (متر)،

K_1 = هدایت هیدرولیک لایه‌های خاک زیر زهکش (متر بر روز)،

K_2 = هدایت هیدرولیک لایه‌های خاک بالای زهکش (متر بر روز).

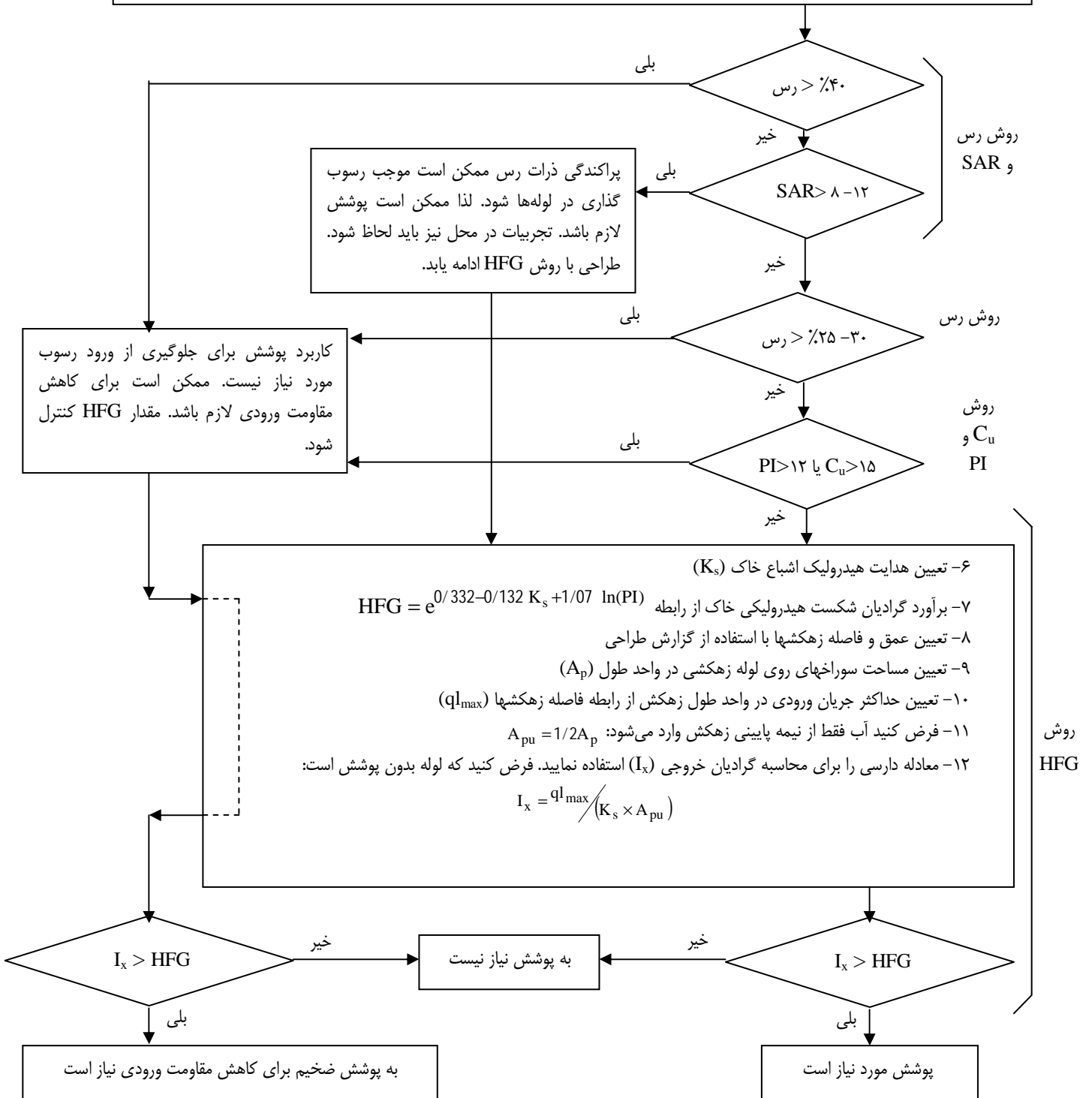
عوامل معادله‌های فوق در شکل ۳-۱ ارائه شده است.

به‌طور کلی، روش رس، تنها معیار اولیه‌ای را برای ضرورت استفاده از پوشش ارائه می‌دهد. با استفاده از نتایج آزمایش شیمیایی خاک و کیفیت آب، مشخص می‌شود که آیا مقادیر زیاد SAR می‌تواند باعث پراکندگی ذرات خاک شود؟ شاخص پلاستیسیته (PI) به تنهایی کاربرد نداشته و همین موضوع در مورد ضریب یکنواختی (C_U) نیز صادق است، لیکن ترکیب این دو شاخص، نشانه‌هایی کلی در رابطه با نیاز به پوشش زهکشی در اختیار می‌گذارد. روش گرادبان شکست هیدرولیکی آثار وجود رس، شاخص پلاستیسیته و هدایت هیدرولیک اشباع خاک را تلفیق می‌نماید. روشهای یادشده در شکل ۳-۲ ارائه شده است.



شکل ۳-۱- جریانهای مختلف در زهکشی زیرزمینی

- ۱- دانه‌بندی خاک بستر زهکش و تهیه منحنی دانه‌بندی خاک و هیستوگرام آن
- ۲- تعیین درصد رس، سیلت و ماسه
- ۳- به‌دست آوردن مقادیر شاخص از منحنی دانه‌بندی شامل d_{90} ، d_{60} ، d_{10} ، d_0 و ضریب یکنواختی در صورت لزوم
- ۴- تعیین شاخص پلاستیسیته (PI)
- ۵- تعیین مقدار SAR عصاره اشباع خاک



شکل ۳-۲- مراحل تشخیص ضرورت استفاده از پوشش [۴۲]

۴-۳ معیارهای قابل پیش‌بینی

نیاز به مواد پوششی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، آب کاربردی (آبیاری) و شرایطی که زهکشهای زیرزمینی نصب می‌شوند، بستگی دارد. به‌طور معمول آگاهی از خصوصیات خاک برای اظهار نظر قطعی در مورد ضرورت کاربرد، عدم نیاز به استفاده از مواد پوششی همواره امکان‌پذیر نیست. در عین حال با توجه به تجارب موجود جهانی، در شرایط شرح داده شده زیر می‌توان لزوم و یا عدم لزوم کاربرد مواد پوششی را پیش‌بینی کرد:

- در خاکهای ریزی و ناپایدار، استفاده از پوشش زهکشی برای عملیات زهکشی زیرزمینی ضروری است.
- در خاکهای ماسه‌ای ریز، کاربرد مواد پوششی در همه شرایط لازم است.
- خاکهایی که شاخص پلاستیسیته آنها بیشتر از ۱۲ است، گرایشی به ایجاد رسوب ندارند و در نتیجه نیازی هم به کاربرد مواد پوششی نیست. بیان این نکته ضروری است که با رعایت این شاخص، مشکل ورود ذرات ریز به درون پوشش و در نتیجه به درون زهکش در نظر گرفته شده است. بدیهی است در مواردی که کاهش مقاومت ورودی جریان مورد نظر باشد، کاربرد مواد پوشش بایستی مورد توجه قرار گیرد.
- خاکهایی که ضریب یکنواختی آنها بیشتر از ۱۵ است و خاکهای درشت دانه‌ای که ۹۰ درصد ذرات تشکیل‌دهنده آن بزرگ‌تر از قطر سوراخهای (روزنه‌های) لوله‌های زهکشی زیرزمینی است نیز نیازی به کاربرد مواد پوششی وجود ندارند.
- میزان رس موجود در خاک، بایستی همراه با عامل SAR در نظر گرفته شود. به‌گونه‌ای که در مناطق معتدل هرگاه خاک بین ۲۰ تا ۳۰ درصد رس داشته باشد، نیازی به استفاده از مواد پوششی نیست. در اراضی تحت آبیاری، هرگاه میزان رس خاک بیش از ۴۰ درصد و مقدار SAR کمتر از ۸ باشد، نیازی به استفاده از مواد پوششی وجود ندارد. پس در این‌گونه خاکها که میزان رس آنها بین ۲۰ تا ۴۰ درصد است، در شرایطی که مقدار SAR آن کمتر از ۸ باشد، نیاز به استفاده از پوشش نیست. ولی در حالتی که این نسبت بزرگ‌تر از ۱۳ باشد، به‌دلیل احتمال تخریب ساختار خاک و گسیختگی خاک‌دانه‌ها، ممکن است نیاز به کارگیری مواد پوششی باشد.
- تذکر: از آنجاکه رابطه‌ای بین نسبت جذب سدیم (SAR) و درصد سدیم قابل تبادل خاک (ESP) وجود دارد، بنابراین در مقادیر ESP کمتر از ۱۰، مشکلات فیزیکی در خاک انتظار نمی‌رود و در مقادیر ESP زیادتر بخصوص بیشتر از ۱۵، امکان تخریب ویژگیهای فیزیکی و مکانیکی خاک وجود خواهد داشت که به‌دلیل موارد گفته شده، علاوه بر میزان رس، نسبت جذب سدیم خاک (SAR) نیز لحاظ شده است.
- سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا نیز خاکهای مختلف را بررسی و بر اساس طبقه‌بندی یونیفاید^۱ نیاز خاکها را به مواد پوششی مشخص کرده که نتیجه آن در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

جدول ۳-۱ - طبقه‌بندی خاکها از نظر نیاز به پوشش [۹]

نیاز به پوشش	خاک	طبقه بندی یونیفاید
به پوشش نیاز دارد	ماسه با دانه‌بندی ضعیف، ماسه شنی	SP (Fine)
	ماسه سیلتی، ماسه با دانه‌بندی ضعیف مخلوط با سیلت	SM(Fine)
	سیلت غیر آلی، ماسه ریز، ماسه ریز سیلتی، رس و یا سیلت رسی همراه با کمی پلاستیسیته	ML
	سیلت غیر آلی، خاکهای سیلتی یا ماسه ای، سیلت کشسان ^۱	MH
به صورت موردی در محل باید تصمیم‌گیری شود	شن یا مخلوط شن و ماسه با دانه‌بندی نامناسب همراه با مقدار خیلی کم مواد ریزدانه	GP
	ماسه رسی، مخلوط ماسه و رس	SC
	شن سیلتی، شن با دانه بندی ضعیف	GM
	مخلوط ماسه و سیلت، ماسه سیلتی، ماسه با دانه‌بندی ضعیف مخلوط با سیلت	SM (Coarse)
به پوشش نیاز نیست	شن رسی، مخلوط شن، ماسه و رس	GC
	رس غیر آلی با پلاستیسیته کم تا متوسط، رس شنی، رس ماسه ای، رس سیلتی	CL
	همانند SP و GP	SP, GP (Coarse)
	شن با دانه‌بندی خوب، مخلوط شن و ماسه همراه با کمی مواد ریزدانه	GW
	ماسه با دانه‌بندی خوب، ماسه شنی با مقدار خیلی کم مواد ریزدانه	SW
	رس غیر آلی با پلاستیسیته زیاد	CH
	سیلت آلی و رس سیلتی آلی با پلاستیسیته کم	OL
	رس آلی با پلاستیسیته متوسط تا زیاد، سیلت آلی	OH
پیت، سایر خاکهای آلی	PT	

۴- انتخاب مواد پوششی

بعد از اینکه ضرورت استفاده از پوشش محقق شد، باید ملاحظاتی در انتخاب نوع پوشش که شرح آنها در زیر می‌آید، مد نظر قرار گیرد. در شرایطی که ایجاد شرایط مناسب هیدرولیکی در حد فاصل خاک و لوله مورد نظر باشد، سطح سوراخهای لوله‌های زهکشی معمولاً در حدود ۱ تا ۲ درصد سطح جانبی لوله بدون پوشش را تشکیل می‌دهد. البته در مواردی سطح سوراخها تا ۵ درصد [۳۵] و حتی تا ۹ درصد [۱۶] نیز توصیه شده است. ابعاد سوراخها (قطر یا اندازه ضلع بزرگ شکافهای ایجادشده) معمولاً ۰/۸ تا ۳ میلی‌متر است. تخلخل پوشش در تعیین میزان گرادیان خروجی اهمیت زیادی دارد. تخلخل ذرات شن از ۳۰ تا ۴۰ درصد متغیر است. تخلخل مواد پوششی مصنوعی رشته‌ای (بافته‌شده) بین ۶ تا ۱۲ درصد و تخلخل مواد پوششی مصنوعی غیر رشته‌ای^۱ که با سوزن مشبک شده باشد از ۵۰ تا ۸۵ درصد متغیر است. مواد نرم پیش تافته^۲ (PLM) نیز تخلخل بالایی در حدود مواد ذکرشده دارند.

برای انتخاب مواد پوششی نحوه دسترسی به مواد، هزینه تهیه، حمل و نقل و نصب اهمیت دارد. برای یک ماده پوششی از ابعاد مختلف، خصوصیات انتظار می‌رود که در پروژه مورد نظر باید درجه‌بندی و رتبه‌بندی شوند. در عمل، رفتار هیدرولیکی، مکانیکی و بسترسازی برای این مواد مطرح است و به موارد زیر باید توجه کرد:

۴-۱ نحوه دسترسی و هزینه مواد پوششی

در انتخاب مواد پوششی ابتدا باید فهرستی از همه موادی که قابل دسترس هستند، تهیه و منبع تأمین آنها و فاصله آن تا محل اجرا تعیین شود. در بسیاری از مناطقی که اجرای پروژه زهکشی مطرح است، معادن مواد دانه‌ای وجود دارد که برای پوشش زهکشی مناسب می‌باشد. نکته مهمی که در رابطه با پوششهای معدنی مطرح است، هزینه حمل و نقل و نیروی انسانی مورد نیاز برای تهیه آن است که در بسیاری از مناطق از پوششهای مصنوعی گران‌تر می‌شود. برای پوشش‌های دانه‌ای، دستورالعملی به منظور جلوگیری از مجزا شدن دانه‌ها^۳ در حین حمل و نقل و جابه‌جایی نیاز است، در صورتی که برای پوشش‌های مصنوعی، معیارهای حفظ کیفیت و مقاومت مهم است.

۴-۲ بار پیش‌بینی شده برای تحمل لوله

هنگام تصمیم‌گیری، باید به شرایط بارگذاری خاک (مقدار بار وارده و نحوه اعمال آن به لوله زهکش) توجه شود. این موضوع به دلایل زیر اهمیت زیادی دارد:

- ممکن است به‌منظور نگهداری لوله‌های پلاستیکی در محل خود در حین اجرا، در شرایطی که لوله زهکش در شرایط استغراق نصب می‌شود و فشار آب از پایین به بالا وجود دارد، به پوشش شن و ماسه‌ای نیاز باشد.
- تقویت مقاومت لوله در شرایطی که بار اضافی وجود دارد.
- اگر از مواد پوششی آلی و یا مصنوعی استفاده می‌شود، باید به تراکم‌پذیر بودن آنها توجه شود.

1- Non -woven needle-punched synthetic fabric

2- Prewrapped loose materials

3- Segregation

۳-۴ گرفتگی شیمیایی

مواد زیادی می‌تواند باعث گرفتگی و انسداد لوله‌ها و یا پوشش لوله‌های زهکشی شود. این ترکیبها شامل سولفید آهن، اکسید منگنز، و گل آخرا است. در مناطقی که مواد آلی زیادی در خاک وجود دارد، این مواد سبب تحریک فعالیتهای بیولوژیکی شده و در نتیجه تخریب مواد پوششی آلی تشدید می‌شود و عمر پوششهای آلی را متأثر می‌سازد. خاکهایی که از نظر کلسیم نیز غنی هستند، تخریب مواد آلی در آنها سریع‌تر است. از این رو کاربرد مواد پوششی آلی در این نوع خاکها توصیه نمی‌شود.

گل آخرا رایج‌ترین نوع ترکیبی است که در پروژه‌های زهکشی بخصوص در مناطق مرطوب مسئله‌ساز است. این نوع ترکیبهای آهن، ترکیبهای ژلاتینی از اکسید آهن، مواد آلی و میکروارگانیزمهای گیاهی هستند [۱۸]. برای ارزیابی پتانسیل گرفتگی مواد پوششی و لوله‌های زهکشی ناشی از ترکیبهای آهن، دو راه حل زیر قابل بررسی است:

- تعیین مقدار آهن دو ظرفیتی در آب زهکشی که با دانستن مقدار آهن و اسیدیته (pH) آن، خطر گرفتگی با استفاده از جدول ۱-۴ قابل ارزیابی است. براین اساس باید تمهیدات لازم برای سیستم بهره برداری و نگهداری اندیشیده شود.
- بدون عملیات آزمایشگاهی و با استفاده از جدول ۲-۴ نیز می‌توان به ارزیابی خطر گرفتگی ناشی از عنصر آهن پرداخت.

در مجموع خطر گرفتگی در اثر گل آخرا بستگی به موارد زیر دارد:

- مقدار آهن حلشده در جریان زهکش،
 - مقدار مواد آلی در نزدیکی زهکش، این مواد انرژی لازم را برای باکتریایی که آهن دو ظرفیتی را به سه ظرفیتی تبدیل می‌کنند، فراهم می‌آورند.
 - بافت خاک، خطر گرفتگی در خاکهای سنگین بیشتر از خاکهای سبک است.
 - دما،
 - خشک و غرقاب شدن متناوب شبکه زهکشی که خطر گرفتگی را تشدید می‌کند.
- در مناطقی که وجود ترکیبهای آهن در آن مطرح است، باید این موضوع با دقت بررسی و راهکارهای مناسب برای آنها اندیشیده شود. در این نوع اراضی، آهن دو ظرفیتی به همراه آب زهکشی وارد لوله زهکش می‌شود. اگر در داخل لوله، شرایط تهویه مناسب باشد و یا اینکه باکتریهای تولیدکننده اکسیژن وجود داشته باشد، در اثر عمل اکسایش، آهن دو ظرفیتی به آهن سه ظرفیتی تبدیل می‌شود. آهن سه ظرفیتی انحلالپذیر نبوده و در نتیجه در لوله زهکشی و یا در داخل مواد پوششی رسوب می‌نماید. در ضمن باید موارد زیر رعایت گردد تا گرفتگی لوله‌ها رخ ندهد:

- شستشوی لوله‌ها حتماً در هنگام طراحی در نظر گرفته شود،
- در این نوع خاکها، از مواد مصنوعی نازک، پشم شیشه و یا مواد مشابهی که سوراخهای ریز دارند، استفاده نشود،
- از لوله‌های زهکش با حداکثر تعداد سوراخ مجاز در واحد طول استفاده شود،
- به مواد پوششی، اسید تانیک^۱ اضافه شود. باید توجه کرد که این راه‌حل می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی ایجاد کند،
- عمق نصب زهکشها زیاد انتخاب شود تا در اکثر مواقع غرقاب باشند،
- ابتدا زهکشها به صورت روباز اجرا شوند و پس از ۲ الی ۳ سال به زهکش زیرزمینی تبدیل شوند.

جدول ۴-۱- خطر گرفتگی لوله توسط گل اخرا بر اساس آهن حلشده و اسیدیته (pH) [۴۲]

درجه خطر	اسیدیته (pH)	غلظت Fe^{++} در pH=۷ (mg/l)
صفر	<۱	<۰/۵
کم	۳-۱	۱/۰-۰/۵
متوسط	۶-۳	۳/۰-۱/۰
زیاد	۹-۶	۶/۰-۳/۰
خیلی زیاد	>۹	>۶/۰

جدول ۴-۲ تشخیص خطر گرفتگی آهن بر اساس علائم مشاهده‌ای [۴۲]

میزان آهن در آب زیرزمینی	علائم موجود در آب	علائم موجود در کف نهر	علائم موجود در نیمرخ خاک
کم	شفاف	قهوه ای تیره / سیاه	رنگ یکنواخت، بدون نشانه زنگار
متوسط	قرمز روشن، لکه های روغن مانند روی سطح آب	قرمز متمایل به قهوه ای	خاک رس: رسوبات ژلاتینی خاک شنی: ترکیب سفت شده آهن
زیاد	آب تیره، لکه های روغن مانند قهوه ای روی سطح آب	رسوبات ژلاتینی قرمز رنگ به خوبی قابل رؤیت است	رسوبات ژلاتینی همراه با ترکیب سفت شده آهن

۴-۳-۱ کلسیم و اسیدیته (pH) خاک

در شرایطی که اسیدیته خاک از ۵/۸ کمتر باشد، گچ محلول ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) یا آهک ($CaCO_3$) در پوششهای سنگریزه‌ای مشکل‌زا هستند. آهک باعث می‌شود که دانه‌های سنگریزه اطراف لوله به هم بچسبند و ماده سختی را به وجود بیاورند. اداره احیای اراضی ایالات متحده^۱ (۱۹۸۹) توصیه می‌کند که میزان کربنات خاک باید کمتر از ۵ درصد باشد. کربنات می‌تواند با کاتیونهای Na^+ ، Ca^{++} ، K^+ و Mg^{++} همراه باشد. در ضمن آنیونهای Cl^- ، SO_4^{2-} ، HCO_3^- و NO_3^- نیز می‌توانند در واکنش بالا ایجاد گرفتگی کنند.

۴-۳-۲ روشهای تنظیم واکنشهای شیمیایی

مکنزی [۲۵] برای مناطقی که گرفتگی شیمیایی ایجاد انسداد می کند، دو راه حل پیشنهاد کرده است. اولین راه حل اضافه کردن ماده شیمیایی به مدت ۲۴ ساعت به درون زهکش است در حالی که ابتدا و انتهای زهکش بسته باشد. در این رابطه استفاده از ماده شیمیایی اسید سولفوریک ۰/۳ درصد و بیوسولفید ۰/۲ درصد معمول است. این روش گران تمام می شود و دارای آثار زیست محیطی منفی نیز هست. دومین روش، استفاده از گاز دی اکسید گوگرد (SO_2) است که انجام آن ساده تر می باشد اما همچنان به عنوان ماده ای که کاربرد آن گران تمام می شود، مطرح است. در شرایطی که میزان مواد آلی خاک بیش از ۲۰ درصد باشد، این روش مؤثر نیست [۲۵].

۵- طراحی پوششهای زهکشی

مراحل مختلف طراحی و انتخاب پوشش لوله‌های زهکش در شکل ۵-۱ ارائه شده است. در هنگام طراحی اولیه، کارشناسان باید از ویژگیهای پوشش مناسب اطلاع داشته باشند. عموماً مواقعی که مطالعات تفصیلی صورت می‌گیرد، بررسیهای دقیق ویژگیهای خاک درباره نیاز به پوشش انجام می‌شود. در زیر به‌طور خلاصه این بررسیها آمده است.

۱-۵ بررسیهای مورد نیاز

۱-۱-۵ بررسیهای مکانیکی

بررسیهای مکانیکی لازم برای تعیین نیاز به پوششهای زهکشی شامل برداشت نمونه خاک از عمق کارگذاری زهکشهای زیرزمینی به تعداد و حجم کافی برای انجام اقدامات زیر است:

- الک کردن نمونه‌ها: این نوع آزمایش به منظور تعیین مقدار تجمعی ذرات عبور کرده از برخی الکهای استاندارد است،
- تعیین شاخص پلاستیسیته: این شاخص به منظور تعیین پایداری خاک و تعیین گراذبان شکست هیدرولیکی بدون انجام عملیات آزمایشگاهی مستقیم قابل استفاده است،
- تعیین بافت خاک: بافت خاک، شاخص مهمی برای پایداری خاک‌دانه‌هاست. بافت خاک معمولاً با روش هیدرومتری با هدف مشخص کردن درصد ذرات رس، سیلت و شن تعیین می‌شود. درصد رس شاخص مهمی برای تعیین نیاز و یا عدم نیاز به پوشش است. از طرفی دانستن محدوده ذرات ریز خاک برای طراحی پوشش زهکشی مورد نیاز است. ذرات خاک تحت تأثیر جریان آب، با سرعتهای معینی جابه‌جا می‌شوند. این موضوع مبین این مطلب است که ذرات با ابعاد و اندازه‌های مختلف نیاز به سرعتهای متفاوتی برای جابه‌جا شدن دارند. ذرات درشت شن و ماسه برای جابه‌جایی نیاز به سرعت بالای جریان آب دارند. اگر به همراه چنین ذراتی، کانیهای رس وجود داشته باشد، دیگر جابه‌جایی، تابع اندازه ذرات خاک نخواهد بود. به‌طور کلی ذرات سیلت درشت و ماسه ریز (ذرات بین ۲۰ تا ۱۵۰ میکرون) در اثر نیروی حرکت آب به راحتی جابه‌جا می‌شوند. در برخی منابع، از نسبت رس به سیلت برای برآورد رسوب‌دهی استفاده می‌کنند. اگر این نسبت از ۰/۵ بیشتر باشد مشکلی پیش نخواهد آمد.

۲-۱-۵ جنبه‌های هیدرولیکی

اصولاً جنبه‌های هیدرولیکی سامانه زهکشی زیرزمینی و مواد پوششی باید هنگام بررسی و برنامه‌ریزی برای انتخاب مواد پوششی مد نظر باشد. با توجه به مشخصات لوله زهکشی، هر چه قطر لوله بیشتر باشد، سرعت جریان در آن و به دنبال آن سرعت جریان آب از خاک پیرامون به درون لوله کمتر شده که مسئله‌کننده‌شدن و حمل ذرات خاک به داخل زهکش کمتر خواهد بود. از طرفی هرچه تعداد سوراخهای روی لوله بیشتر و توزیع آنها همگن‌تر باشد، همگرایی جریان در مجاورت لوله زهکش کمتر شده که خود باعث کاهش سرعت جریان آب می‌شود. بنابراین در مجموع می‌توان گفت که افزایش قطر لوله از یک طرف و افزایش تعداد و اندازه سوراخهای روی محیط لوله زهکش از طرف دیگر باعث کاهش سرعت جریان در مجموعه خاک، ترانشه و لوله زهکش می‌شود که در نتیجه باعث پایداری بیشتر خاک‌دانه‌ها و اجزای پوشش لوله زهکش می‌شود.

در زهکشی فرض بر این است که مجرای ایده‌ال وجود دارد که کار زهکشی را بدون مقاومت انجام می‌دهد، اما در عمل به دلیل تعداد محدود سوراخهای روی لوله، مقاومت اضافی در مقابل جریان به وجود می‌آید. این مقاومت اضافی با مقاومت ورودی^۱ بیان می‌شود. برای کاهش مقاومت ورودی از پوشش استفاده می‌شود. مواد پوششی از طریق افزایش شعاع منطقه نفوذپذیر با آبگذری زیاد، یعنی حد فاصل بین زهکش و مواد بستر و ایجاد سهولت برای ورود جریان به درون لوله، باعث کاهش مقاومت ورودی جریان می‌شود.

۵-۱-۳ پایداری ساختاری^۲

تجربیات موجود نشان می‌دهد که ساختار خاک با بافت آن ارتباط مستقیمی ندارد. در هر حال، به راحتی نمی‌توان تأثیر ساختار خاک را بر انسداد پوشش زهکش تفسیر کرد. ساختار خاک، نحوه قرار گرفتن ذرات را در کنار یکدیگر نشان می‌دهد. در این مورد، مواد آلی و موادی که نقش پیوند دادن ذرات را به عهده دارند، مهم هستند. خاکهای شنی فاقد ساختار بوده در صورتی که خاکهای رسی می‌تواند دارای ساختمان مناسبی باشند.

استحکام پیوند بین ذرات خاک، چسبندگی^۳ نامیده می‌شود. پایداری خاک با رفتار آن در رطوبتهای مختلف تبیین می‌شود که به چسبندگی بستگی دارد. حدود اتربرگ یعنی حد روانی^۴ و حد پلاستیسیته^۵ به عنوان حدود پایداری شناخته می‌شوند و تفاوت این دو حد، شاخص پلاستیسیته را نشان می‌دهد. این شاخص، معیاری برای استحکام پیوند بین ذرات خاک است. این شاخص، برای پیش‌بینی استعداد خاک برای ایجاد گرفتگی و رسوب‌گذاری در لوله زهکش، استفاده می‌شود.

توصیه می‌شود در شرایطی که خاک خیس است، ترانسه زهکشها پرنشود. این موضوع بخصوص در خاکهایی که پایداری ساختار آنها پایین می‌باشد، بیشتر مطرح است [۹]. در شرایطی که درون ترانسه آب وجود داشته باشد، نباید ترانسه‌ها پر شوند بلکه این کار باید به فصل خشک موکول شود. دیالمن و ترافورد [۹] خاکها را از نظر رسوبگذاری به سه دسته کاملاً مستقل تقسیم‌بندی کرده‌اند که نتیجه آن در جدول ۵-۱ ارائه شده است.

جدول ۵-۱- استعداد رسوب گذاری بر اساس ضریب یکنواختی و شاخص پلاستیسیته [۴۲]

رسوبگذاری	C_u	PI
پتانسیل رسوبگذاری زیاد است	>5	≤ 6
پتانسیل رسوبگذاری کم است	۵-۱۵	۶-۱۲
پتانسیل رسوبگذاری وجود ندارد	>15	>12

- 1- Entrance Resistance
- 2- Structural Stability
- 3- Cohesion
- 4- Liquid Limit
- 5- Plastic Limit

۱-۳-۱-۵ هدایت هیدرولیک در عمق کارگذاری زهکشها

معمولاً باید یک آزمایش در هر ۱۰ تا ۲۵ هکتار انجام شود. گالیچاند و دیگران^۱ [۱۷] پیشنهاد کرده‌اند که در بررسیهای مقدماتی برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک، شبکه‌ای به ابعاد ۹۰۰×۹۰۰ متر و در شرایط بهینه، شبکه‌ای به ابعاد ۴۰۰ تا ۶۰۰ متر در نظر گرفته شود. در ایران بسته به مرحله مطالعاتی ابعاد شبکه متفاوت است، به گونه‌ای که ۲۰۰۰×۲۰۰۰، ۱۰۰۰×۱۰۰۰ و ۵۰۰×۵۰۰ متر به ترتیب برای مراحل مطالعاتی شناخت، یک (توجیهی) و دو (طراحی) استاندارد شده است. پایداری چاهکهایی که به منظور نمونه‌برداری حفر شده‌اند، شاخص کیفی مناسبی برای اظهار نظر در رابطه با نیاز یا عدم نیاز به پوشش زهکشی است.

۱-۳-۲-۵ عمق لایه محدودکننده

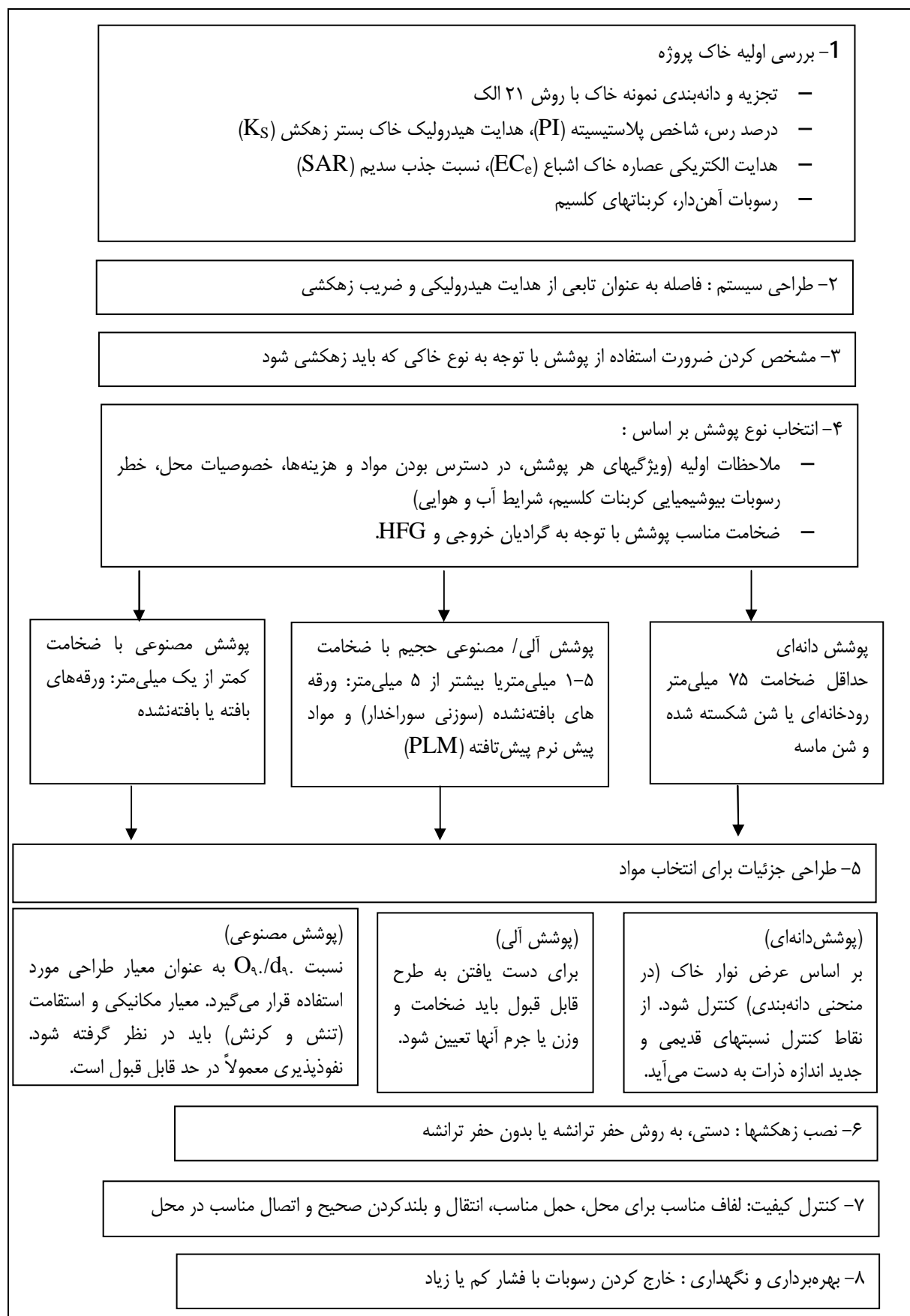
اطلاع از عمق لایه محدودکننده برای تعیین گرادیان مورد نیاز در زهکشی و مقایسه آن با گرادیان شکست هیدرولیکی لازم است. دقت در تعیین عمق لایه محدودکننده در مقایسه با هدایت هیدرولیک اهمیت کمتری دارد. بنابراین باید با استفاده از روش مناسب نسبت به تعیین آن اقدام کرد.

۱-۴-۱-۵ خصوصیات شیمیایی خاک

پایداری ساختار خاک تحت تأثیر مقدار املاح و سدیم موجود در آن می‌باشد. به علاوه، آهک موجود در شن و سیلت و اکسیدهای آهن و آلومینیم نیز باعث پایداری ساختار خاک می‌شوند. افزون بر این، مواد آلی نیز نقش مهمی در نگهداری ذرات خاک دارند. خصوصیات شیمیایی خاک ارتباط نزدیکی با خطر گرفتگی لوله‌های زهکش دارد. موادی مانند ترکیبهای آهن، آهک، و سولفات باعث گرفتگی می‌شوند. بررسی خطر گرفتگی مواد پوشش زهکشها با مواد معدنی در اثر ترکیبهای شیمیایی خاک نیاز به دانستن ظرفیت تبادل کاتیونی^۲ (CEC)، شوری و سدیمی بودن خاک دارد.

1- Gallichand et al.

2- Cation Exchange Capacity



* در این شکل O_{90} اندازه خلل و فرجی است که ۹۰ درصد خلل و فرج ماده پوشش مصنوعی از آن کوچکتر بوده و d_{90} مربوط به خاک اطراف پوشش می‌باشد.

شکل ۵-۱- مراحل طراحی، اجرا و نگهداری پوشش لوله‌های زهکشی [۴۲]

۵-۱-۴-۱ ظرفیت تبادل کاتیونی

ذرات رس و هوموس خاصیت جذبی دارند. ذرات رس، کلویید هستند و به اندازه‌ای کوچک می‌باشند که سطح ویژه آنها بسیار زیاد است. پدیده‌هایی مانند پراکنده شدن، تورم، انقباض، دانه‌ای شدن، چسبندگی، و پلاستیسیته خاک، متأثر از کلوییدی بودن ذرات رس هستند. ذرات رس دارای بار منفی هستند، در نتیجه کاتیونهای با بار مثبت مانند سدیم، پتاسیم، هیدروژن، کلسیم، و منیزیم را جذب می‌کنند. اگر خاک کلوییدی دارای مقدار زیادی یون دو ظرفیتی کلسیم باشد، ساختار پایداری برای خاک شکل خواهد گرفت. خاکهایی که یون سدیم آنها غالب است، پایدار نخواهند بود. مقدار کاتیونی که یک خاک می‌تواند جذب کند به وسیله بارهای منفی رس و هوموس تعیین می‌شود. این مقدار به ظرفیت تبادل کاتیونی معروف است و معمولاً بر حسب میلی اکی والان در یکصد گرم خاک خشک بیان می‌شود.

۵-۱-۴-۲ شوری خاک

تجزیه شیمیایی خاک به منظور تعیین حساسیت آن نسبت به پراکنده شدن مهم است. شوری خاک و وجود موادی مانند کربنات کلسیم که می‌توانند همانند سیمان باعث چسبندگی ذرات خاک گردند، اهمیت زیادی دارند. خاکها معمولاً حاوی مقادری نمکهای با حالیت کم مانند آهک، گچ و نمکهای با حالیت زیاد مانند کلرور سدیم و سولفات سدیم هستند. در خاکهای شور با اسیدیته بین ۶ تا ۸، آنیونهای غالب معمولاً Cl^- ، SO_4^{2-} و HCO_3^- هستند. کاتیونهای غالب معمولاً Na^+ ، K^+ ، Ca^{++} و Mg^{++} هستند. مجموع نمکهای محلول را به طور تقریبی می‌توان با استفاده از هدایت الکتریکی خاک، از رابطه (۱-۵) محاسبه کرد [۴]:

$$\begin{aligned} TDS &= 640 \times EC & EC < 5 \text{ dS/m} \\ TDS &= 800 \times EC & EC > 5 \text{ dS/m} \end{aligned} \quad (1-5)$$

که در آن:

TDS = مجموع املاح محلول (میلی گرم بر لیتر)،

EC = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (دسی زیمنس بر متر).

۵-۱-۴-۳ سدیمی بودن خاک

سدیمی بودن خاک نیز عامل مهمی است که بررسی آن از اهمیت خاصی برخوردار است. مقدار نسبی یون سدیم جذب شده در مقایسه با کل کاتیونهایی که خاک می‌تواند جذب کند، درصد سدیم تبدیلی^۱ نامیده می‌شود که با استفاده از رابطه ۵-۲ تعیین می‌شود. درصد سدیم تبدیلی، سدیمی بودن خاک را نشان می‌دهد که نقش مهمی در میزان گسیختگی، ناپایداری ساختار خاک و نفوذ آب در آن دارد.

$$ESP = \frac{Na_{ex}^+}{CEC} \times 100 \quad (2-5)$$

1- Exchange Sodium Percentage (ESP)

که در آن:

Na^+_{ex} = مقدار سدیم تبادلی (میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک)،

CEC = کل کاتیونهایی که خاک می تواند جذب کند (میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم خاک)،

ESP = درصد سدیم تبادلی (درصد).

۲-۵ روش طراحی پوشش

دو روش برای طراحی پوشش زهکشی وجود دارد که یکی روش تعیین شاخص آزمایشگاهی و دیگری معیارهای عمومی حاصل از مشاهدات همزمان آزمایشگاهی و مزرعه‌ای است. تفاوت این دو روش در این است که آزمایشهای شاخص آزمایشگاهی، برای هر ماده پوششی و موقعیتی خاص انجام می شود در صورتی که معیارهای عمومی همانند دستورالعملی است که بدون انجام آزمایشهای آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می گیرد.

۱-۲-۵ روش شاخصهای آزمایشگاهی

آزمون شاخصها در زمینه پوششهای زهکشی در آزمایشگاه و به منظور شبیه سازی شرایط مزرعه انجام می شود. شبیه سازیهای آزمایشگاهی و نتایج آنها اغلب به صورت مستقیم قابل انتقال و تعمیم به شرایط مزرعه نیستند. چهار آزمایش مقدماتی وجود دارد که می تواند در این مورد انجام شود.

۱-۱-۲-۵ آزمایشهای آبگذری در واحد ضخامت

آبگذری در واحد ضخامت با استفاده از رابطه زیر تعیین می شود:

$$\psi = \frac{K_n}{T_g} \quad (۳-۵)$$

که در آن:

ψ = آبگذری در واحد ضخامت پوشش (s^{-1})،

K_n = سرعت جریان آب در درون پوشش در شرایطی که گرادیان هیدرولیکی برابر با یک باشد،

T_g = ضخامت پوشش.

مقادیر ψ بین ۰/۰۲ تا ۲/۲ بر ثانیه تغییر می کند که معادل آن برحسب نفوذپذیری بین ۰/۰۰۰۸ تا ۰/۲۳ سانتی متر بر ثانیه است. این نوع آزمایشها، خصوصیات هیدرولیکی ماده پوششی را تعیین می کند. برای پوششهای دانه‌ای، روشهای اندازه گیری با

بار ثابت^۱ و بار افتان^۲، روشهای متداول هستند. در این آزمایشها هیچ تمایزی بین آبگذری افقی و عمودی در نظر گرفته نشده و از این نظر تفاوتی با خاکهای دست خورده، شن و ماسه ندارد.

۵-۲-۱-۲ آزمایش نسبت گرادیان^۳

آزمایش نسبت گرادیان به منظور اندازه‌گیری پتانسیل گرفتگی موادی است که برای پوشش در نظر گرفته شده و برای آنها استانداردهای زیادی وجود دارد. زمان آزمایش در حدود ۵۰۰ ساعت طول می‌کشد. دستورالعملهای استاندارد، برای مقایسه نتایج آزمایش، معیار خاصی را پیشنهاد نکرده‌اند. این آزمایش، گرادیان هیدرولیکی خاک همراه با ژئوتکستایل را با خاک بدون ژئوتکستایل مقایسه می‌کند. نسبت گرادیان بالاتر از ۳ به عنوان عملکرد غیر قابل قبول مجموعه "خاک-پوشش" تلقی شده و گرادیان کمتر از ۳ به عنوان نتیجه قابل قبول به شمار می‌رود.

۵-۳-۱-۲ آزمون جریان طولانی مدت^۴

این آزمایش پتانسیل گرفتگی مواد پوششی، بخصوص مواد مصنوعی که خلل و فرج ریزی دارند را در دراز مدت نشان می‌دهد. در این مورد هیچ گونه شاخصی گزارش نشده است و قضاوت و داوری بر اساس تفسیر شکلهایی که آبگذری را در طول زمان نشان می‌دهد، انجام می‌گیرد. در این آزمایش، نفوذسنج با جریان از پایین به بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد و هدف از انجام آن پیش‌بینی رفتار درازمدت مجموعه خاک و ژئوتکستایل است. زمان انجام آزمایش بین ۱۰۰۰-۵۰۰ ساعت است. بر اساس نتایج به دست آمده، منحنی جریان خروجی بر حسب زمان رسم می‌شود و روند کاهش جریان، نشانگر گرفتگی رو به افزایش پوشش در زمان آزمایش خواهد بود. طول زمان و پتانسیل رشد جلبکها از مهم‌ترین مشکلات این آزمایش است.

۵-۴-۱-۲ آزمایش نسبت هدایت هیدرولیک^۵

در این آزمایش از نسبتهای هدایت هیدرولیک به منظور بررسی پتانسیل گرفتگی استفاده می‌شود. مقادیر زیاد نسبت هدایت هیدرولیک نشان‌دهنده از دست رفتن و عبور خاک از میان پوشش و مقادیر کم بیان‌کننده گرفتگی پوشش و بالاخره مقادیر متوسط نشان‌دهنده تعادل بین ماده پوشش و خاک است. در منابع مختلف مقدار متعادل این نسبت در حدود ۰/۲ پیشنهاد شده است. نسبت هدایت هیدرولیک با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$HCR = \frac{K_{es}}{K_s} \quad (۴-۵)$$

-
- 1- Constant Head
 - 2- Falling Head
 - 3- Gradient Ratio Test
 - 4- Long-Term Flow Test
 - 5- Hydraulic Conductivity Ratio Test

که در آن:

HCR = نسبت هدایت هیدرولیک،

K_{es} = هدایت هیدرولیک مجموعه خاک با پوشش،

K_s = هدایت هیدرولیک خاک.

با توجه به توضیحات ارائه شده، به نظر می‌رسد که استفاده از شاخصهای آزمایشگاهی روش آسان و سریعی برای تعیین ترکیب مناسب پوشش نیست. محققین زیادی سعی کرده‌اند که براساس آزمایشهای چهارگانه و ترکیب نتایج آنها بتوانند پوشش مناسب را تعیین کنند [۲۲]. به‌هرحال، به‌دلیل وقت‌گیر بودن این آزمایشها، استفاده از آنها زمانی توصیه می‌شود که روش معیارهای عمومی نتواند نتیجه رضایت‌بخشی به دست دهد.

۲-۲-۵ روش معیارهای عمومی

دومین روش در طراحی پوشش زهکشی، استفاده از معیارهای عمومی است که در مراجع مختلف براساس تجربه‌های قبلی ارائه شده است. ترزاقی^۱ (۱۹۲۲) معیارهای تعیین فیلتر برای کنترل نشت از زیر سد را تدوین کرد [۴۲]. این معیارها از نظر کاربرد برای پوشش اطراف زهکشهای زیرزمینی نیز آزمایش و بررسی شده است. وی توصیه کرده که آبگذری فیلتر باید چند برابر خاک متخلخل باشد و از طرفی آن قدر درشت دانه باشد که مواد ریز دانه بتوانند از داخل آن عبور نمایند. این ایده ترزاقی در طراحی مواد پوششی نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

وان سمرن^۲ [۳۵] گزارشی از نتیجه تحقیقات و دستورالعملهای انتخاب مواد پوششی را در کشورهای مختلف ارائه داده است. در کشورهای بلژیک و هلند تلاشهایی به منظور تعیین شاخص برای طراحی مواد نرم از پیش‌تافته شده به عمل آمده است. شاخصهای طراحی براساس مدلهای فیزیکی در آزمایشگاه که بر گرفته از ملاحظات نظری و ارزیابی در مزرعه می‌باشد، تعیین شده است. مطالعه جریان آب و جابه‌جایی ذرات خاک در اطراف لوله زهکش در مزرعه به راحتی امکان‌پذیر نمی‌باشد. از طرفی داده‌ها به یک محل بخصوص وابسته بوده و نتایج به دست آمده در یک محل، ضرورتاً در محل دیگر کاربرد ندارند. اگر از بهترین مواد پوشش استفاده شده و همه مشخصات فنی نیز در نظر گرفته شود، اما نکات لازم در موقع حمل و نقل، جابه‌جایی و اجرا رعایت نگردد، ممکن است سامانه زهکشی نتواند به خوبی عمل نماید.

بسته به نوع پوشش انتخابی، معیارهای توصیه شده، متفاوت بوده که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

۳-۵ پوششهای شنی - ماسه‌ای

در صورتی که ماده پوششی با هدف ایجاد یک محیط متخلخل و نفوذپذیرتر از خاک در اطراف لوله زهکش اجرا شود، هر نوع ماده معدنی نفوذپذیری می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین در زهکشی زیرزمینی هدف این است که ذرات ریز همانند رس و یا برخی از بقایای گیاهی تجزیه‌شده نیز بتوانند داخل لوله زهکش شوند. از این‌رو، پوشش معدنی با دانه‌بندی متناسب با خاک

1- Terzaghi

2- Van Someren

ضرورت پیدا می‌کند و لازم است به منحنی دانه بندی خاک که از تجزیه مکانیکی به دست می‌آید، توجه شود. پوشش‌های شنی ماسه‌ای به طور موفقیت‌آمیزی در شبکه‌های زهکشی استفاده شده است [۶]. برای این نوع پوششها، منحنی دانه‌بندی شن و ماسه باید با خاک اطراف زهکش و همچنین سوراخهای لوله زهکش متناسب باشد [۴۲]. درعین حال، پوشش باید آنقدر پایدار باشد که فرسایش در آن رخ ندهد. روش کلی برای طراحی پوشش شنی ماسه‌ای به شرح زیر است:

- تجزیه مکانیکی خاک اطراف زهکش و پوشش شنی ماسه‌ای پیشنهادی انجام شود،
- منحنی دانه‌بندی خاک و پوشش، رسم و مقایسه شوند،
- در رابطه با تناسب پوشش برای خاک مورد نظر اظهار نظر شود.

برای بررسی تناسب پوشش پیشنهادی در خاک مورد نظر، روشهای مختلفی ارائه شده که برخی از آنها به شرح زیر می‌باشد:

۱-۳-۵ معیارهای ولاتمن و همکاران

ولاتمن و همکاران [۴۳] مجموعه ضوابط برای طراحی پوشش‌های دانه‌ای را بررسی، بازننگری و ارزیابی کردند. نتیجه بررسی این محققان برای اراضی کشاورزی در جدول ۲-۵ ارائه شده است. با استفاده از منحنی دانه‌بندی خاک، معیارهای جدول مذکور و قضاوت کارشناسی، امکان تعیین منحنی دانه‌بندی پوشش وجود خواهد داشت. در جدول ۲-۵، پسوندهای c و f به ترتیب نشان‌دهنده دامنه درشت و ریز در منحنی دانه‌بندی هستند. همچنین D_n و d_n به ترتیب نشان‌دهنده قطر ذرات پوشش و خاک بوده به‌گونه‌ای که n درصد ذرات دارای قطر کمتر و یا مساوی آن هستند.

استفاده از سنگ خردشده نیز می‌تواند به جای شن و ماسه مورد قبول باشد. در این حالت باید موارد زیر را در نظر گرفت:

- ابعاد دانه‌های پوشش باید متناسب باشد به گونه‌ای که اندازه طول هر دانه در یک جهت از دو برابر کوچک‌ترین بعد همان ذره کوچک‌تر باشد تا از جدا شدن ذرات از یکدیگر و ایجاد فضای بزرگ بین ذرات جلوگیری شود.
- باید به تعداد کافی از سنگهای شکسته‌شده نمونه‌برداری کرد و نمونه‌ها با مجموعه کامل الکهای استاندارد (روش ۲۱ الک) دانه‌بندی شوند تا آن دسته از ذرات با قطر معین که در دانه‌بندی وجود ندارند، مشخص شوند.
- هدایت هیدرولیک سنگهای خردشده در آزمایشگاه تعیین شده و حداکثر آن باید کمتر از ۳۰۰ متر بر روز باشد.

۲-۳-۵ معیار ترزاقی

اولین معیاری که ترزاقی برای طراحی فیلتر پیشنهاد کرده و برای پوشش نیز قابل استفاده است، رعایت هر دو شرط زیر می‌باشد:

$$D_{15} \geq 4 \times d_{15} \quad (۵-۵)$$

$$D_{15} \leq 4 \times d_{85} \quad (۶-۵)$$

که در آنها:

D_{15} = قطری از الک که ۱۵ درصد ذرات مواد پوششی از آن عبور نماید،

$d_{15} =$ قطری از الک که ۱۵ درصد ذرات خاک از آن عبور نماید،

$d_{85} =$ قطری از الک که ۸۵ درصد ذرات خاک از آن عبور نماید،

رعایت اولین معیار سبب می‌شود که آبگذری مواد پوششی در حدود ۱۰ برابر آبگذری خاک باشد. رعایت رابطه دوم به منظور جلوگیری از شسته شدن ذرات ریز خاک پیشنهاد شده است.

جدول ۵-۲- معیارهای طراحی پیشنهادی برای پوششهای دانه‌ای [۴۳]

ملاحظات	معیارها	شرح
نقاط کنترل در محدوده ذرات درشت پوشش		
	$D_{15c} < 7d_{85f}$	۱- معیار پایداری پوشش ^۱
	$D_{60c} < 5d_{15f}$	۲- راهنمای منحنی دانه‌بندی
	میلی متر $D_{100} < 9/5$	۳- معیار پراکنش ذرات ^۲
نقاط کنترل در محدوده ذرات ریز پوشش		
$Cu \leq 6$ و نسبت عرض دامنه ≥ 5	$D_{15f} < 4d_{15c}$ $D_{15f} < D_{15c} / 5$	۴- الف) معیار هیدرولیکی ۴- ب) منحنی دانه‌بندی
میلی متر $D_5 < 0/074$		۵- معیار هیدرولیکی
	$D_{60f} < D_{60c} / 5$	۶- راهنمای منحنی دانه بندی
	قطر سوراخها $D_{85} >$	۷- معیار نگهداری
معیارهای اضافی		
مواد پوشش بایستی همه سوراخها را با ضخامت حداقل ۷۵ میلی‌متر ببوشاند. پوشش نباید مواد زیان-آور داشته باشد.		ضابطه اجرا
طول هیچ ذره‌ای نبایستی از دو برابر عرض آن بیشتر باشد. روش تجزیه ۲۱ الک باید برای تشخیص قطر ذراتی که در دانه‌بندی پوشش وجود ندارد مورد استفاده قرار گیرد و شرط (روز/متر) $K_{env} < 300$ باید صادق باشد.		مواد خرد شده

* اندیس c نشاندهنده حد ذرات درشت و اندیس f حد ذرات ریز را نشان می‌دهد.

$K_{env} =$ هدایت هیدرولیک پوشش

1- Retention criterion
2- Segregation criterion

جدول ۵-۳- رابطه بین قطر ذرات خاک و قطر مواد پوششی دانه‌ای [۳۵]

d ₆₀ خاک (میلی‌متر)	محدوده دانه بندی مواد پوشاننده (قطر ذرات)											
	حد بالایی درصد عبور کرده از الک برای پوشش (میلی‌متر)						حد پایینی درصد عبور کرده از الک برای پوشش (میلی‌متر)					
	۱۰۰	۶۰	۳۰	۱۰	۵	۰	۰	۵	۱۰	۳۰	۶۰	۱۰۰
۰/۰۲-۰/۰۵	۹/۵۲	۲/۰	۰/۸۱	۰/۳۳	۰/۳	۰/۰۷۴	۰/۵۹	-	۲/۵	۸/۷	۱۰/۰	۳۸/۱
۰/۰۵-۰/۱۰	۹/۵۲	۳/۰	۱/۰۷	۰/۳۸	۰/۳	۰/۰۷۴	۰/۵۹	-	۳/۰	۱۰/۴	۱۲/۰	۳۸/۱
۰/۱۰-۰/۲۵	۹/۵۲	۴/۰	۱/۳۰	۰/۴۰	۰/۳	۰/۰۷۴	۰/۵۹	-	۳/۸	۱۳/۱	۱۵/۰	۳۸/۱
۰/۲۵-۱/۰۰	۹/۵۲	۵/۰	۱/۴۵	۰/۴۲	۰/۳	۰/۰۷۴	۰/۵۹	-	۵/۰	۱۷/۳	۲۰/۰	۳۸/۱

۳-۳-۵ معیارهای اداره احیای اراضی ایالات متحده

جدول ۳-۵ دانه‌بندی پیشنهادی را بر اساس معیارهای بیان‌شده توسط اداره احیای اراضی ایالات متحده نشان می‌دهد. در کشور پاکستان برای خاک‌های ریزدانه‌ای که مشکل شوری داشته‌اند، این اداره پوششی را طراحی کرد که اجازه می‌داد تا مقدار زیادی از مواد ریزدانه از داخل آن عبور کنند. ضخامت پوششی که توسط این اداره توصیه شده برابر حداقل ۱۰ سانتی‌متر است. در ضوابط تدوین شده رعایت نکات زیر ضروری اعلام شده است:

- در شن و ماسه پوشش مورد نظر نباید گل ولای و بقایای گیاهی وجود داشته باشد،
- عیار دانه‌بندی مطلوب با استفاده از ضریب یکنواختی (C_u) و ضریب انحنا (C_c) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_u = D_{60} / D_{10} \quad (۷-۵)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{10})} \quad (۸-۵)$$

در شرایطی که ضریب یکنواختی ماسه بزرگ‌تر از ۴، شن بیشتر از ۶ و ضریب انحنا برای این دو ماده بین ۱ تا ۳ باشد، پوشش «دانه بندی شده»، و در غیراین صورت «یکنواخت» فرض می‌شود.

در این رابطه پیشنهادات زیر ارائه شده است:

- پوشش یکنواخت طبیعی:

$$D_{50} / d_{50} = 5 - 10 \quad (۹-۵)$$

- پوشش دانه‌بندی شده طبیعی مدور:

$$D_{50} / d_{50} = 12 - 58 \quad (۱۰-۵)$$

$$D_{15} / d_{15} = 12 - 40 \quad (۱۱-۵)$$

- پوشش دانه‌بندی شده سنگ شکسته (غیر مدور):

$$D_{50} / d_{50} = 9 - 30 \quad (۱۲-۵)$$

$$D_{15} / d_{15} = 6 - 18 \quad (۱۳-۵)$$

- و به‌طور کلی:

$$D_{100} \leq 80 \text{ (میلی‌متر)} \quad (14-5)$$

$$D_5 \geq 0/07 \text{ (میلی‌متر)} \quad (15-5)$$

$$D_{\text{opening}} \leq 0/5 D_{85} \quad (16-5)$$

که در آنها:

$$D_{\text{opening}} = \text{قطر سوراخ روی لوله زهکش}$$

توصیه اداره احیای اراضی ایالات متحده برای ضخامت پوشش حداقل ۱۰ سانتی‌متر است.

۴-۳-۵ معیارهای سرویس حفاظت منابع طبیعی^۱

سرویس حفاظت منابع طبیعی کشور آمریکا در سال ۱۹۷۱، مشخصاتی را برای پوشش‌های شنی ماسه‌ای ارائه کرد که در سال ۱۹۸۸ مورد تجدید نظر قرار گرفت. در ویرایش جدید، فیلتر از پوشش کاملاً تفکیک شده است. بر اساس معیارهای مذکور، پوششها به دو دسته «دانه بندی شده» و «یکنواخت» تقسیم می‌شوند [۳۳].

- پوشش دانه‌بندی شده:

$$D_{50} / d_{50} = 12 - 58 \quad (17-5)$$

$$D_{10} \geq 0/25 \quad (0/25 \text{ میلی‌متر، الک شماره } 60) \quad (18-5)$$

$$D_{15} / d_{15} = 12 - 40 \quad (19-5)$$

- پوشش یکنواخت:

$$D_{85} \geq 0/5 D_{\text{opening}} \quad (20-5)$$

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} < 5 \quad (21-5)$$

$$D_{100} < 38 \text{ (میلی‌متر)} \quad \text{تمام نمونه باید از الک } 1/5 \text{ اینچ عبور کند} \quad (22-5)$$

$$D_{30} > 250 \text{ (میکرومتر)} \quad \text{درصد عبوری از الک } 60 \text{ کمتر از } 30 \text{ درصد} \quad (23-5)$$

$$D_5 > 74 \text{ (میکرومتر)} \quad \text{درصد عبوری از الک } 200 \text{ کمتر از } 5 \text{ درصد} \quad (24-5)$$

حداقل ضخامت پوشش توصیه شده توسط این سازمان برابر ۸ سانتی‌متر است.

۴-۵ پوشش‌های مصنوعی

بر اساس نتایج تحقیقات ولاتمن و همکاران [۴۳] در استفاده از پوشش‌های مصنوعی، چهار معیار کلی زیر باید مد نظر باشد:

- معیارهای نگهداری،
- معیارهای هیدرولیکی،
- معیارهای جلوگیری از انسداد سوراخ‌های پوشش و
- معیارهای مکانیکی.

۱-۴-۵ معیارهای نگهداری

این عامل مؤثر بودن ماده پوششی را در نگهداری خاک اطراف پوشش تعیین می‌کند. در نتیجه، یکی از مهم‌ترین معیارهای انتخاب پوشش است. نگهداری ذرات خاک معمولاً مشکل نیست زیرا پوشش‌های با الیاف خیلی ریز در بازار موجود است. بررسیها و تحقیقات به عمل آمده، نشان می‌دهد که پوشش‌های ریز نسبت به گرفتگی و انسداد حساس هستند. با گذشت زمان، گرفتگی و انسداد باعث کاهش تعداد خلل و فرج می‌شود که دلیل آن رسوب مواد معلق در داخل و یا روی ماده پوششی است. بنابراین خصوصیات ماده پوششی باید معیار نگهداری خاک و معیار جلوگیری از انسداد ماده پوششی را بصورت همزمان تامین نماید.

قابلیت یک ماده پوششی برای نگهداری ذرات خاک با استفاده از نسبتی بیان می‌شود که اندازه خلل و فرج ماده پوششی را به اندازه خلل و فرج ذرات خاک نشان می‌دهد. در بسیاری کشورها، O_{90} به عنوان مشخصه اندازه خلل و فرج برای مواد آلی، مواد پوششی مصنوعی و ژئوتکستایل استفاده می‌شود. O_{90} مواد پوششی، اندازه خلل و فرجی است که ۹۰ درصد خلل و فرج ماده پوششی از آن کوچک‌تر هستند.

برای اینکه معیار نگهداری در نظر گرفته شود، باید به موارد زیر در طراحی توجه کرد:

برای پوشش‌های مصنوعی با ضخامت مساوی و یا کمتر از یک میلی‌متر:

$$O_{90}/d_{90} \leq 2/5 \quad (25-5)$$

برای پوشش‌های مصنوعی با ضخامت مساوی و یا بیشتر از پنج میلی‌متر:

$$O_{90}/d_{90} \leq 5 \quad (26-5)$$

برای پوشش‌های مصنوعی با ضخامت ۱ تا ۵ میلی‌متر، پیشنهاد شده است که نسبت‌های فوق درون‌یابی شود.

۵-۴-۲ معیارهای هیدرولیکی

ماده پوششی باید دارای O_{90} مساوی و یا بزرگتر از ۲۰۰ میکرون باشد. استفاده از ژئوتکستایلهایی که دارای Q_{90} بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون هستند، باید با توجه به شرایط خاک (پایداری، ساختمان و دانه‌بندی) مد نظر قرار گیرد. ضریب هدایت هیدرولیک ژئوتکستایل باید حداقل ۱۰ برابر هدایت هیدرولیک خاک باشد.

۵-۴-۳ معیارهای جلوگیری از انسداد

در شرایطی که O_{90} ژئوتکستایل حداقل ۲۰۰ میکرون باشد، نسبت O_{90}/d_{90} می‌تواند مساوی و یا کمتر از یک باشد. در این صورت O_{90} باید بیش از ۲۰۰ میکرون باشد (خاکهای درشت دانه). در شرایطی که O_{90} ژئوتکستایل بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ میکرون باشد، فقط معیار حداقل (میکرومتر) $O_{90} = 200$ پیشنهاد می‌شود. در این رابطه کورنر^۱ [۲۲] نسبت یادشده را کمتر از یک برای آمریکا و برخی از نقاط دیگر دنیا پیشنهاد کرده است.

۵-۴-۴ معیارهای مکانیکی

از آنجاکه عوامل محیطی بر روی مواد پوششی تأثیر می‌گذارد، بنابراین باید از خصوصیات آن کاملاً آگاهی داشت. ضخامت ورقه‌های ژئوتکستایل، سطح مخصوص، مقاومت مواد تشکیل‌دهنده، مقاومت به سوراخ‌شدن، قابلیت تراکم‌پذیری و مقاومت به ساییدگی باید بررسی شوند. معیارهای چهارگانه در جدول ۴-۵ خلاصه شده‌اند.

۵-۵ پوشش‌های پیش‌تافته

پوشش‌های پیش‌تافته می‌تواند آلی، مصنوعی و یا ژئوتکستایل باشد. برای این مواد، باید به خصوصیات فیزیکی مانند ضخامت و وزن واحد سطح به منظور کنترل یکنواختی مواد پوششی و انطباق آن با استانداردهای طراحی توجه کرد. مشخصات اندازه سوراخ‌های لوله زهکشی، هدایت هیدرولیک خاک و عمق بحرانی آب، خصوصیات هیدرولیکی این مواد پوششی را تعیین می‌کند. برای ارزیابی این مواد دانستن خصوصیتی مانند تراکم‌پذیری، خسارتهای ناشی از فرسایش‌پذیری، مقاومت تنشی و مقاومت در مقابل پاره‌شدگی لازم است.

۵-۵-۱ وزن واحد سطح پوشش پیش‌تافته

وزن واحد سطح، معیاری برای انتخاب مواد پوششی نیست اما به عنوان کنترل یکنواختی می‌توان از آن استفاده کرد. بر اساس استاندارد که قبلاً ارائه شد، وزن واحد سطح نباید بیشتر از ۲۵ درصد آن مقداری که کارخانه سازنده مشخص کرده تغییر کند. در چنین شرایطی پوشش یکنواخت تلقی خواهد شد.

۲-۵-۵ معیارهای نگهداری

در سال ۱۹۹۴، یک گروه کاری از کارشناسان اروپایی، یک نوع تقسیم بندی جدید برای مواد نرم پیش تافته ارائه نمودند که در جدول ۵-۵ آمده است. در سیستم EN-Standard فقط دو کلاس PLM-F و PLM-S پذیرفته شده است. در کشور هلند، در دستورالعملهای عملی برای کاربرد مواد پوششی، سه مقدار برای O_{90} در نظر گرفته شده است: ۴۵۰، ۷۰۰ و ۱۰۰۰ میکرومتر. از پوششهای با مقدار ۴۵۰ میکرومتر به صورت وسیعی استفاده شده و خاکهای زیادی را تحت پوشش قرار داده است. در کشور بلژیک، O_{90} مواد پوششی بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرومتر در نظر گرفته می شود.

جدول ۴-۵- معیارهای طراحی برای پوششهای مصنوعی [۴۳]

ملاحظات	معیار	ژئوتکستایل
معیار نگهداری	$O_{90}/d_{90} < 2/5$	نازک، ضخامت کمتر از ۱ میلی متر
معیار نگهداری	$O_{90}/d_{90} < 5$	حجیم، ضخامت بیشتر از ۵ میلی متر
معیار نگهداری	میانبایی	متوسط، ضخامت بین ۱ و ۵ میلی متر
معیار هیدرولیکی و جلوگیری از انسداد	$O_{90} < 200\mu\text{m}$	
معیار هیدرولیکی چنانچه $a=0/1$ باشد نامطمئن، $a=1$ برای شرایط غیر بحرانی و $a=10$ برای جریانهای بحرانی	$K_e \geq aK_s$	
معیار ضد انسداد	$O_{90}/d_{90} > 1$	-
معیار ضد انسداد	$O_{90} > 100-200\mu\text{m}$	-

K_s و K_e به ترتیب هدایت هیدرولیک مواد پوششی و خاک می باشند.

جدول ۵-۵- تقسیم بندی اروپایی برای مواد نرم پیش تافته [۴۲]

PLM-xF	خیلی ریز	$100 \leq O_{90} \leq 300$ (میکرومتر)
PLM-F	ریز	$300 \leq O_{90} \leq 600$ (میکرومتر)
PLM-S	استاندارد	$600 \leq O_{90} \leq 1100$ (میکرومتر)

براساس مطالعات آزمایشگاهی با مدل‌های فیزیکی، معیارهای زیر برای زهکشی زیرزمینی به عنوان معیار نگهداری تعریف شده است [۱۵].

برای ضخامتهای بین ۱ تا ۳ میلی‌متر $O_{90}/d_{90} \leq 1$

برای ضخامتهای بین ۳ تا ۴ میلی‌متر $O_{90}/d_{90} \leq 4$

با ملحوظ داشتن معیار نگهداری برای یک پوشش نازک، اغلب در نظر گرفتن $O_{90} \geq 200\mu\text{m}$ ، از بروز مشکلات زهکشی زیرزمینی جلوگیری می‌نماید. معیارهای نگهداری برای ژئوتکستایل و مواد نرم پیش‌تافته مطابق با جدول ۵-۶ توصیه شده است. بایستی $O_{90}/d_{90} > 1$ باشد تا گرفتگی معدنی به حداقل برسد.

جدول ۵-۶ معیارهای نگهداری برای ژئوتکستایل و مواد نرم پیش‌تافته [۴۳]

معیار	شرح
$1 \leq O_{90}/d_{90} \leq 2/5$	برای پوشش با ضخامتهای کمتر از ۱ میلی‌متر
$1 \leq O_{90}/d_{90} \leq 3$	برای پوشش با ضخامتهای بین ۱ تا ۳ میلی‌متر
$1 \leq O_{90}/d_{90} \leq 4$	برای پوشش با ضخامتهای بین ۳ تا ۵ میلی‌متر
$1 \leq O_{90}/d_{90} \leq 5$ $O_{90} \geq 200$ (میکرون)	برای پوشش با ضخامتهای بیشتر از ۵ میلی‌متر

۵-۳ هدایت هیدرولیکی پوشش

هدایت هیدرولیک پوششها باید بیشتر از هدایت هیدرولیک خاک باشد تا مقاومت ورود جریان به زهکش کاهش یابد. در این‌صورت، هیچ فشار هیدرولیکی خارج از لوله زهکش به وجود نخواهد آمد. براساس تحقیقات به‌عمل آمده، برای اینکه کاهش اساسی در مقاومت ورودی وجود داشته باشد، لازم است رابطه زیر صادق باشد [۱۰ و ۲۹]:

$$\frac{K_e}{K_s} \geq 10 \quad (۲۷-۵)$$

که در آن K_e هدایت هیدرولیک پوشش می‌باشد.

۵-۴ خصوصیات مکانیکی

خصوصیات مکانیکی پوششها در درجه دوم اهمیت قرار دارد. ژئوتکستایلهایی که به عنوان پوشش زهکشی استفاده می‌شوند، با مسائل خاصی مواجه نیستند زیرا این مواد برای همین منظور طراحی شده‌اند. تراکم‌پذیری برخی پوششها تأثیر بسزایی بر روی اندازه منافذ و هدایت هیدرولیک آنها دارد. اندازه سوراخها معمولاً در حالتی که وزنی بر آنها تحمیل می‌شود، کاهش می‌یابد. از

این رو به طور معمول، ضریب اطمینانی ضمن ساخت در نظر گرفته می‌شود. افزون بر این، قابلیت تراکم‌پذیری پوشش‌های درشت که از الیاف درشت‌تر ساخته شده‌اند، کوچک است. از پوشش‌های نازکی که به راحتی متراکم می‌شوند و تشکیل لفاف نازکی می‌دهند نباید به عنوان پوشش زهکش استفاده شود.

سایش پوشش در اثر تماس با ماده دیگر به وجود می‌آید. ممکن است در زمان حمل و نقل و نصب، در اثر تماس لوله‌های زهکشی دارای پوشش پیش‌تافته با مواد دیگر، ساینده‌گی پوشش پیش‌باید. در این صورت، باید به این نکته توجه کرد و در زمان نصب برای تعمیر آنها اقدام نمود.

۵-۵-۵ ضخامت پوشش مصنوعی

ضخامت مواد پوششی پیش‌تافته به عنوان معیاری برای یکنواختی و سازگاری آنها با شرایط خاک محل نصب زهکش، استفاده می‌شود. علاوه بر دیدگاه نظری، ضخامت، عامل مهمی است که در ظرفیت نگهداری خاک، مقاومت ورودی جریان به زهکش و گرادیان خروجی در فضای بین خاک و پوشش نقش دارد. وظیفه اصلی یک ماده پوششی، نگهداری ذرات خاک است. مواد پوششی ضخیم‌تر، دارای تخلخل بیشتری هستند که می‌تواند در محل‌هایی که مشکل گرفتگی شیمیایی وجود دارد کاربرد بهتری داشته باشد. بنابراین، در روند انتخاب پوشش، ضخامت عامل مهمی است.

در شرایطی که کاهش مقاومت ورودی مد نظر باشد ضخامت پوشش نیز عامل تعیین‌کننده‌ای است. اگرچه یک پوشش نازک می‌تواند مقاومت ورودی را کاهش دهد، معمولاً کاهش بهینه آن در ضخامت ۵ میلی‌متر حاصل می‌شود. در این مورد، هدایت هیدرولیک نباید عاملی محدودکننده باشد که عملاً هم این‌گونه نیست [۲۹]. هر چند شعاع مؤثر با جایگزینی خاک با مواد پوششی افزایش می‌یابد، اما افزایش بیشتر ضخامت تأثیری در مقاومت ورودی ندارد. بررسی‌هایی که توسط ولاتمن و همکاران صورت گرفته نشان می‌دهد که ضخامتهای کمتر از ۱ میلی‌متر می‌تواند گرادیان خروجی را در محل تماس خاک و پوشش به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. در قطرهای بزرگ‌تر، گرادیان هیدرولیکی نزدیک زهکش کمتر خواهد بود. از این رو، پوشش‌های ضخیم یا حجیم (بزرگ‌تر از ۵ میلی‌متر) از نوع نازک آن مطمئن‌تر هستند.

برای مواد پوششی نرم پیش‌تافته، حداقل ضخامت به منظور همگنی بیشتر در نظر گرفته می‌شود. بر اساس EN-Standard حداقل ضخامت مورد نیاز به شرح جدول ۷-۵ می‌باشد.

جدول ۷-۵- حداقل ضخامت مواد پوششی مصنوعی [۴۲]

شکل و نوع ماده شیمیایی	حداقل ضخامت (میلی‌متر)	نوع پوشش	نوع
الیاف پلی پروپیلن	۳	الیاف مواد نرم از پیش‌تافته	مصنوعی
دانه‌های ساچمه‌ای پلی استیرن ^۱	۸	مواد نرم دانه‌ای	مصنوعی

1- Polystyrene beads

۵-۶ پوششهای آلی

معیارهای زیادی برای طراحی پوششهای آلی وجود ندارد. از طرفی تعیین نفوذپذیری و تخلخل مواد آلی به سهولت امکان پذیر نیست. برای مواد آلی، تعیین نفوذپذیری و ابعاد سوراخهای پوشش ضروری نیست. فرض بر این است که ضخامت مواد آلی استفاده شده به اندازه کافی زیاد بوده و از تخلخل مناسبی نیز برخوردار است. در طراحی پوششهای آلی، علاوه بر قضاوت ظاهری بر روی کیفیت مواد، جرم و ضخامت مواد نیز برای پوشش مواد آلی پیش تافته^۱ به عنوان دو عامل طراحی در نظر گرفته می شوند. مواد آلی معمولاً حجیم بوده و با حداقل ضخامتی به اندازه ۴ میلی متر استفاده می شوند. در جدول ۵-۸ ضخامت مواد پوشش مختلف بر اساس استانداردهای آمریکایی و اروپایی، درج شده است.

جدول ۵-۸- ضخامت پیشنهاد شده برای پوششهای آلی [۴۳]

شرح	حداقل ضخامت (میلی متر)	ملاحظات
مواد گیاهی	۱۵۰	انجمن مهندسان کشاورزی آمریکا کاربرد این مواد را فقط برای لوله هایی که انعطاف پذیر نیستند، توصیه می کند.
مواد نرم پیش تافته (PLM)	۴	CEN/TC 155N1261, 1994 ضخامت پوشش استفاده شده بایستی حداکثر ۲۵ درصد
	۸	با مقداری که کارخانه در کاتالوک آن ذکر کرده، متفاوت باشد.
	۴	الیاف کاکائو
	۸	تراشه های چوب
الیاف نارگیل	۶	نوع ۷۵۰ (مترمربع/گرم > ۷۵۰ جرم)
	۸/۵	نوع ۱۰۰۰ (مترمربع/گرم > ۱۰۰۰ جرم)

۵-۷ جمع بندی

بررسی منابع موجود نشان می دهد که برای طراحی پوشش زهکشی، یک توصیه مشخص و قطعی وجود ندارد. در عین حال، در ایران نیز تحقیقاتی که منجر به توصیه شده باشد، به چشم نمی خورد. بنابراین، به طور کلی می توان گفت دو روش اداره احیای

1- Prewrapped organic envelope

اراضی ایالات متحده و سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا، از جمله روشهایی هستند که در سطح دنیا برای پوششهای شن و ماسه‌ای به طور گسترده استفاده می‌شوند. تفاوت اساسی که بین این دو روش وجود دارد، در ابعاد دانه‌بندی آنهاست. دانه‌بندی محاسبه‌شده به روش اداره احیای اراضی ایالات متحده نسبت به روش سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا، اندازه‌های بزرگ‌تری را برای پوشش ارائه می‌دهد.

دو روش یادشده نتایج رضایت بخشی را برای خاکهای درشت بافت ارائه می‌دهند [۴]. در خاکهای ریزبافت روش سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا، پوشش با دانه بندی ریزتری را دارد که ممکن است از نفوذ پذیری کمتری برخوردار باشد. این موضوع بخصوص در شرایطی که هدایت هیدرولیک خاک پایین است، بیشتر باید مورد توجه قرار گیرد. در این نوع خاکها استفاده از پوشش به عنوان کنترل ذرات خاک، کمتر مطرح بوده بلکه کاهش مقاومت ورودی اهمیت بیشتری دارد. بنابراین در این نوع خاکها، روش اداره احیای اراضی ایالات متحده ترجیح داده می‌شود. در عین حال روش سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا نیز باید بررسی شود.

اصولاً پوششهای مصنوعی در مناطق معتدل که دما به عنوان یک عامل محدودکننده مطرح نیست و همچنین هزینه پوششهای شن و ماسه‌ای زیاد است، قابل توصیه هستند. در این حالت، می‌توان از روش ولاتمن و همکاران [۴۳] استفاده کرد. در عین حال کنترل‌های قبل از نصب و رعایت معیارهای کارخانه سازنده با تأکید توصیه می‌گردد. به دلیل عدم وجود تجارب مناسب و جمع‌بندی شده و با توجه به اینکه اکثر خاکهای ایران از تواتر لایه‌بندی برخوردار هستند، استفاده از مزرعه آزمایشی می‌تواند کمک بسیار مؤثری باشد.

۶- لوله‌ها و مصالح زهکشی

لوله‌های مختلفی در زهکشی زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل لوله‌های سفالی، بتنی و پلاستیکی هستند. لوله‌های پلاستیکی، به طور معمول از پی وی سی (P.V.C) و پلی اتیلین (PE) ساخته می‌شوند که می‌توانند از نوع ساده و یا کنگره‌دار (مواج سوراخدار) باشند. نوع کنگره‌دار این لوله‌ها رواج بیشتری دارد. در حال حاضر، در ایران معمولاً کارخانه‌های سازنده لوله‌های پلاستیکی از استاندارد DIN آلمان استفاده می‌کنند.

۱-۶ لوله‌های سفالی و بتنی

لوله‌های سفالی از خاک رس تهیه شده و در کوره‌های سفال‌پزی ساخته می‌شوند، اما لوله‌های بتنی را در کارگاه‌های احداث شبکه زهکش نیز می‌توان ساخت. این نوع لوله‌ها معمولاً دارای طولهای نسبتاً کوتاه بین ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌باشند. قطر این نوع لوله‌ها اغلب از ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر متفاوت است اما برای زهکشهای حائل تا قطر ۴۵ سانتی‌متر نیز ساخته می‌شوند. در این لوله‌ها، از اتصال بخصوصی استفاده نمی‌شود و در عمل به صورت نر و ماده در امتداد یکدیگر قرار می‌گیرند. این لوله‌ها در مقابل واکنشهای شیمیایی از مقاومت خوبی برخوردار می‌باشند اما یون سولفات (SO_4^{2-}) باعث خوردگی لوله‌های سیمانی می‌شود. در چنین شرایطی، برای تهیه لوله‌های سیمانی از سیمان ضد سولفات استفاده می‌شود. لوله‌های سیمانی که از سیمان معمولی ساخته شوند، در صورت کاربرد در زمینهای گچدار به تدریج در اثر سولفات موجود در خاک از بین خواهند رفت. لوله‌های رسی و بتنی توسط ماشین و یا بوسیله کارگر در ترانشه‌های زهکشی کارگذاری می‌شوند.

۲-۶ لوله‌های پلاستیکی

لوله‌های پلاستیکی معمولاً از پلی اتیلین (P.E) یا پلی وینیل کلراید (P.V.C) ساخته می‌شوند. بر عکس لوله‌های سفالی و بتنی که بیشتر جریان از محل اتصال دو لوله مجاور هم وارد لوله‌ها می‌شود، در لوله‌های پلاستیکی آب از محل منافذ و یا سوراخهایی که در محیط لوله ایجاد می‌شود، وارد آن می‌شود. لوله‌های پلاستیکی عموماً به صورت کنگره‌دار (خرطومی) ساخته می‌شوند تا ضمن صرفه‌جویی در مصرف مواد اولیه، انعطاف‌پذیر شده و مقاومت لازم را در مقابل تحمل بارهای وارده داشته باشند. در شرایط یکسان، لوله‌های کنگره‌دار به دلیل بیشتر بودن میزان ضریب زبری، باید از قطر بزرگ‌تری نسبت به لوله‌های صاف برخوردار باشند. قطر لوله‌های خرطومی باید حدوداً ۲۰ درصد از لوله‌های صاف بزرگ‌تر باشد تا بتوانند همان مقدار جریان را از خود عبور دهند [۴].

لوله‌های خرطومی تا قطر ۲۰۰ میلی‌متر به صورت کلاف بسته‌بندی می‌شوند، اما لوله‌های با قطر بیشتر به صورت شاخه‌های ۶ یا ۱۲ متری به بازار عرضه می‌شوند. سوراخهای روی لوله‌های خرطومی در محل فرورفتگیهای لوله‌ها ایجاد می‌شوند و دارای اقطاری بین ۰/۶ تا ۲ میلی‌متر هستند. مجموع مساحت سوراخهای روی سطح جانبی لوله‌های خرطومی در واحد متر لوله در حدود ۸۰۰ میلی‌متر مربع است [۳].

۳-۶ عوامل مورد آزمایش برای لوله‌های زهکشی

به رغم استفاده از لوله‌های سفالی و بتنی در برخی از کشورها، عملاً لوله‌های پلاستیکی جایگزین لوله‌های سفالی و بتنی شده است. از این رو، استاندارد برای لوله‌های سفالی و بتنی چندان گسترده نیست. اصولاً برای لوله‌های زهکشی، بسته به نوع آنها، عوامل زیر باید بررسی و ارزیابی شوند:

۱-۳-۶ لوله‌های رسی و بتنی

- انحنا^۱ و بیضوی^۲ لوله
- شکل مقطع لوله
- عمود بودن قسمت انتهایی
- مقاومت به هوازگی و تخریب
- مقاومت در برابر تغییرات دمای محیط (یخ زدگی و ذوب آب یخ بسته^۳)
- چگالی
- جذب آب
- مقاومت در برابر شکنندگی^۴
- برای لوله‌های بتنی مقاومت در برابر سولفات و اسید نیز باید مد نظر قرار گیرد.

۲-۳-۶ لوله‌های پلاستیکی

- مقاومت در برابر سختی^۵ و کشیدگی^۶
 - استحکام^۷ و شکنندگی
 - انعطاف‌پذیری و کلاف‌پذیری^۸
 - شکل و اندازه سوراخها و خصوصیات هیدرولیکی لوله
 - تجهیزات حمل و نقل و نصب
- برای لوله‌های پلاستیکی باید موارد کلی زیر مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد:

۱-۲-۳-۶ وضعیت ظاهری

با بررسی ظاهری قطرهای داخلی و خارجی لوله، باید اطمینان حاصل شود که لوله عاری از خراشیدگی و عیوب سطحی است. انتهای لوله باید کاملاً مدور و صاف بریده شود. تغییررنگ لوله‌های پلاستیکی می‌تواند ناشی از آفتاب زدگی، خشک شدگی و شکنندگی باشد.

-
- 1- Curvature
 - 2- Ovality
 - 3- Thawing
 - 4- Crushing Resistance
 - 5- Stiffness
 - 6- Elongation
 - 7- Strength
 - 8- Flexibility and Coilability

۲-۲-۳-۶ طول لوله و ابعاد حلقه

لوله با قطر کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر با طول بیش از ۲۰ متر و به صورت حلقه با قطر ۵ متر ارائه می‌شود. لوله‌های با قطر بیشتر از ۲۰۰ میلی‌متر به صورت شاخه‌ای تحویل می‌شوند. معمولاً لوله‌های با طول بیشتر از ۳ متر بصورت مضرپی از ۱ متر ساخته می‌شوند.

۳-۲-۳-۶ قطر اسمی

قطرهای اسمی لوله‌های زهکشی از جنس PVC در جدول ۱-۶ آمده و اندازه قطرها بر اساس اندازه قطر داخلی در جدول ۲-۶ ارائه شده است.

جدول ۱-۶- قطر اسمی لوله‌های پلاستیکی موج‌دار (خرطومی) زهکشی (PVC) [۳۸]

۲۵۰	۲۰۰	۱۶۰	۱۲۵	۱۰۰	۸۰	۶۵	۶۰	۵۰
	۶۳۰	۵۶۰	۵۰۰	۴۵۰	۴۰۰	۳۵۵	۳۱۵	۲۸۰

جدول ۲-۶- اندازه قطر خارجی لوله‌های پلاستیکی موج‌دار (خرطومی) PVC بر حسب

قطر داخلی آنها [۳۸]

قطر داخلی متوسط D_i (میلی‌متر)	انحراف مجاز (میلی‌متر)	قطر خارجی متناظر D_o (میلی‌متر)
۵۰	+۲ -۰	۵۸
۶۵	+۲ -۰	۷۵
۸۰	+۳ -۰	۹۲
۱۱۳	+۳ -۰	۱۲۷
۱۴۵	+۵ -۰	۱۶۰
۱۸۰	+۵ -۰	۲۰۰

۴-۳-۶ حداقل قطر داخلی

وقتی که اندازه گیری قطر با دقت ۰/۱ میلی متر و یا ۵ درصد (هر کدام که بیشتر باشد) انجام می شود، قطر داخلی نباید از مقادیر مندرج در جدول ۳-۶ کمتر باشد.

۵-۳-۶ تغییرات متوسط قطر خارجی

متوسط قطر خارجی لوله نباید از مقادیر انحراف مجازی که در جدول ۴-۶ آمده است، بیشتر باشد.

جدول ۳-۶ - حداقل قطرهای توصیه شده برای لوله های موج دار (خرطومی) PVC [۳۸]

حداقل قطر داخلی	قطر اسمی یا خارجی	حداقل قطر داخلی	قطر اسمی یا خارجی
(میلی متر)			
۴۳	۵۰	۲۸۰	۳۱۵
۵۲	۶۰	۳۱۵	۳۵۵
۵۷	۶۵	۳۱۵	۳۷۵
۷۰	۸۰	۳۵۵	۴۰۰
۹۰	۱۰۰	۴۰۰	۴۵۰
۱۱۳	۱۲۵	۴۱۷	۴۷۰
۱۴۳	۱۶۰	۴۰۰	۴۷۵
۱۸۰	۲۰۰	۴۵۰	۵۰۰
۲۲۴	۲۵۰	۵۰۰	۵۶۰
۲۵۰	۲۸۰	۵۰۰	۵۸۰
۲۵۰	۲۹۶	۵۳۰	۶۳۰

۶-۳-۶ مدور بودن^۱

برای اینکه لوله ای مدور باشد، عامل O باید کمتر از مقادیر ارائه شده در جدول ۵-۶ باشد یا معادل ۱۰ درصد قطر اسمی باشد.

$$O = D_{O \max} - D_{O \min} \quad (۱-۶)$$

1- Out of roundness

که در آن:

$D_{o\max}$ = حداکثر قطر خارجی (میلی متر)، و

$D_{o\min}$ = حداقل قطر خارجی (میلی متر).

جدول ۶-۴- انحراف مجاز قطر خارجی لوله‌های PVC [۳۸]

قطر اسمی نسبی DN/D_o^*	انحراف مجاز از قطر متوسط	
	- mm	+ mm
≥ 50 و ≤ 100	۱/۰	۱/۵
≥ 125 و ≤ 200	۱/۵	۱/۵
≥ 250 و ≤ 400	۱/۵	۲/۰
≥ 450 و ≤ 630	۱/۵	۴/۰

* DN : قطر اسمی

۶-۳-۲-۷ سوراخها

با انتخاب یک متر از طول لوله زهکش، کنترل موارد زیر ضروری است:

- توزیع سوراخها: سوراخها می‌تواند به هر فرمی در محیط لوله وجود داشته باشند لیکن باید در آن خوب توزیع شده باشند. تعداد ردیفها نباید از ۴ کمتر باشد و نیز در هر ۱۰۰ میلی‌متر طول لوله حداقل ۲ سوراخ وجود داشته باشد.
 - عرض اسمی سوراخها: عرض اسمی سوراخها باید بین ۱/۰ تا ۲/۳ میلی‌متر (با فواصل ۰/۱ میلی‌متر) باشد. متوسط انحراف عرض سوراخها از مقادیر اسمی نباید از ۰/۲ میلی‌متر بیشتر باشد. عرض یک سوراخ نباید از مقدار اسمی آن بیشتر از ۰/۴ میلی‌متر انحراف داشته باشد.
 - مساحت سوراخها: مساحت سوراخها به‌طور معمول بایستی ۱ تا ۲ درصد مساحت جانبی لوله باشد. حداقل مساحت سوراخها ۸۰۰ میلی‌متر در یک متر طول لوله ذکر شده [۴۳] و در مورد لوله‌های خرطومی حداقل ۲۱۱۵ میلی‌متر مربع در هر متر لوله و یا ۱ اینچ در هر فوت است.
- در صورتی که ابعاد سوراخها شرایط بالا را پوشش ندهد، لوله معیوب و غیر قابل قبول به شمار می‌رود. در مجموع باید گفت که تعداد سوراخهای ناقص و معیوب نباید از ۱۰ درصد تعداد کل سوراخها بیشتر باشد.

جدول ۵-۶ معیار مدور بودن لوله [۳۸]

قطر اسمی نسبی DN/D ₀	O (میلی متر)	قطر اسمی نسبی DN/D ₀	O (میلی متر)
۵۰	۳۱/۵	۵۰	۳۱/۵
۶۰	۳۵/۵	۶۰	۳۵/۵
۶۵	۳۷/۵	۶۵	۳۷/۵
۸۰	۴۰/۰	۸۰	۴۰/۰
۱۰۰	۴۵/۰	۱۰۰	۴۵/۰
۱۲۵	۴۷/۰	۱۲۵	۴۷/۰
۱۶۰	۴۷/۵	۱۶۰	۴۷/۵
۲۰۰	۵۰/۰	۲۰۰	۵۰/۰
۲۵۰	۵۶/۰	۲۵۰	۵۶/۰
۲۸۰	۵۸/۰	۲۸۰	۵۸/۰
۲۹۶	۶۳/۰	۲۹۶	۶۳/۰

۳-۳-۳ طول قطعات لوله برای آزمایش

برای انجام آزمایش مدور بودن لوله، طولهای زیر (بر حسب متر) توصیه شده است [۳۸]:

برای لوله‌های با قطر اسمی کمتر و یا مساوی ۲۰۰ میلی‌متر $L = 0/2 \pm 5\%$

برای لوله‌های با قطر اسمی بزرگ‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر $L = 0/4 \pm 5\%$

۴-۶ خصوصیات مصالح قرضه برای پوشش‌های معدنی

در طرح‌های زهکشی، توجه به خصوصیات مصالح قرضه به‌منظور تضمین کارایی سامانه زهکشی از اولویت خاصی برخوردار است. عدم توجه به مشخصات فنی و ارزیابی اولیه مصالح قرضه، سبب بروز مشکلات زیادی در جریان بهره‌برداری شده و عملکرد شبکه زهکشی را کاهش می‌دهد. در سطح کشور به دلیل سهولت دسترسی به مصالح معدنی و طولانی کردن عمر بهره‌برداری، و همچنین ارزان شدن آنها، توجه به این نوع از مصالح از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. از این‌رو، مطالعه خصوصیات فیزیکی-شیمیایی مصالح قرضه و شرایط عمومی آن اصولی است. از مشخصه‌های مهم این نوع مواد پوششی، قطر ذرات، میزان مقاومت و شاخص دوام مصالح قرضه می‌باشد. از نظر اندازه، مصالح معدنی شامل ماسه ریزدانه، درشت دانه و سنگریزه است. این گونه مصالح باید دارای خصوصیتی مانند پایداری، بالا بودن شاخص دوام، نفوذپذیری مناسب خاک بستر، حداقل ذرات ریز و حداقل حساسیت در مقابل تأثیر نمک‌های محلول می‌باشند. در زیر به اختصار هر یک از این خصوصیات توضیح داده می‌شود [۴].

۵-۶ دانه‌بندی

نحوه و معیار انتخاب دانه‌بندی متناسب با خصوصیات خاک محل استقرار لوله‌های زهکشی زیرزمینی قبلاً بیان شده است. ذرات مواد معدنی برای مواد پوششی شامل دامنه گسترده‌ای از ماسه دانه‌ریز تا ذرات درشت است. هنگام انتخاب معدن قرصه باید به این نکته توجه کرد که مصالح قرصه عاری از ذرات سیلت و رس باشد و یا اینکه این مواد در جریان آماده سازی مصالح قرصه حذف شوند.

۶-۶ شاخصهای مورد نیاز

۱-۶-۶ شاخص دوام

از جمله موارد مهم در ارزیابی مصالح قرصه، بالا بودن شاخص دوام مصالح معدنی است. خصوصیات این مصالح باید به گونه‌ای باشد تا در محیط آب و خاک خصوصیات خود را از دست ندهد و به ذرات ریزتر و یا درشت‌تر تبدیل نشوند.

۲-۶-۶ صیقلی و زبری ذرات

از عوامل تأثیرگذار بر کاهش یا افزایش عملکرد شبکه زهکشی زیرزمینی، زبری یا صیقلی بودن سطح خارجی ذرات تشکیل‌دهنده مصالح قرصه است. در عین حال، این خصوصیت نمی‌تواند تأثیری در حجم توده پوششی داشته باشد. در شرایطی که هدف اصلی گرفتن ذرات خاک و جلوگیری از ورود آنها به داخل لوله زهکشی است، مصالح با پوشش زبر توصیه می‌شود. همان‌گونه که قبلاً گفته شد، به‌طور معمول توصیه می‌شود که طراحی پوشش زهکشی به نحوی انجام شود که ذرات بسیار ریز بتوانند از پوشش عبور کرده و به داخل لوله زهکش راه یابند.

۳-۶-۶ پوشش سطحی ذرات

مصالح طبیعی معمولاً دارای پوشش سطحی حاصل از عوامل فرسایش (هوازدگی) است که در مراحل ابتدایی کاربرد، از سطح ذرات جدا می‌شوند. پوشش چسبیده به مصالح طبیعی اغلب از نوع ترکیبهای رسی، سیلتی، کربنات کلسیم، اکسیدهای آهن و سیلیکاتها می‌باشند. بنابراین باید با انجام عمل شستشوی اولیه این پوشش را از سطح مصالح قرصه برداشت تا باعث کاهش کیفیت مصالح نگردد.

۴-۶-۶ بررسیهای مورد نیاز برای مصالح قرصه

به منظور انتخاب مصالح مورد قبول و اجتناب از کاهش عملکرد شبکه زهکشی، رعایت موارد زیر ضروری است:

- قابلیت جذب آب مصالح از ۳ درصد وزن آن نباید بیشتر باشد،
- وزن مخصوص حقیقی مواد پوششی دانه‌ای از ۲/۵۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب کمتر نباشد،
- درجه ناخالصی از طریق آزمایشهای لازم کنترل شود. ناخالصیهای ممکن اغلب شامل میکا، زغال، کلوخه‌های رس، گچ و آهک است.

پیوست الف

دستورالعمل نصب و نگهداری مصالح زهکشی

شیوه نصب

موفقیت یک سامانه زهکشی فقط به طراحی و خصوصیات خاک و پوشش استفاده شده بستگی ندارد، بلکه به شرایط رطوبتی خاک در حین نصب زهکش، نحوه پر کردن ترانشه و کیفیت کلی کار نیز بستگی دارد. نحوه پر کردن و فرایند تحکیم نقش مهمی در عملکرد شبکه زهکشی دارد. توصیه می‌شود که نصب زهکشها در شرایطی صورت گیرد که خاک خیس نباشد و تا قبل از شروع فصل بارندگی ترانشه‌ها پر شوند. چنانچه زهکشی خاکهای پایدار با ساختار مناسب در شرایط خیس انجام شود، امکان تخریب ساختار خاک وجود دارد و لایه‌ای با آبگذری کم در ترانشه ایجاد می‌کند. افزون بر این، اجرای زهکشها در شرایطی که خاک خیس است، سبب گرفتگی لوله‌های زهکش و پوشش زهکشی می‌شود. با تنظیم سرعت پیشروی ماشین می‌توان تخریب ساختار خاک را محدود کرد. مشاهده شرایط حفاری خاک می‌تواند راهنمای خوبی برای تنظیم سرعت ماشین باشد. ماشین باید با سرعتی حرکت کند که ساختار خاک را حفظ کند [۳۶].

پوشش زهکشی می‌تواند به صورت دستی (در مزارع با ابعاد کوچک) و یا با استفاده از ماشین اجرا شود. اصولاً دو نوع ماشین ترنچلس^۱ و ترنچر^۲ وجود دارد که می‌تواند به صورت همزمان لوله و پوشش را داخل خاک قرار دهد. ماشینهای ترنچلس یکی از کاراترین وسایل نصب زهکش زیرزمینی هستند که به کمک آنها می‌توان لوله‌هایی تا قطر ۳۰۰ میلی‌متر را بدون حفر ترانشه در زیر زمین نصب کرد [۳]. خیش دستگاه بدون خاکبرداری، زمین را می‌شکافد و لوله زهکش را به همراه پوشش آن در زیر سطح خاک قرار می‌دهد.

به غیر از شرایطی که زهکش روی یک لایه با نفوذ پذیری کم قرار می‌گیرد، با هر شیوه نصب، پوشش باید به طور کامل اطراف لوله را احاطه کند. کارگذاری پوشش صرفاً روی قسمت بالای زهکش کفایت نمی‌کند زیرا بخش عمده ورود آب از بخش پایین لوله صورت می‌گیرد.

اگر لوله زهکش با وسایل دستی در کف ترانشه قرار گیرد و ماده پوششی اطراف آن ریخته شود، ابتدا پوشش در کف ترانشه قرار داده شده و تراز می‌شود. سپس لوله روی آن قرار داده می‌شود و پوشش حجیم تا ضخامت مورد نیاز روی آن ریخته می‌شود. این موضوع برای نصب ماشین زهکش همراه با پوششهای حجیم نیز صادق است. پوششهای نواری که به صورت کلاف هستند نیز باید زیر و بالای زهکش قرار گیرند. موادی که در زیر ریخته می‌شود لازم نیست که با موادی که روی زهکش قرار می‌گیرد، مشابه باشد.

حتی اگر ماده پوششی خوب انتخاب شده باشد، هنگامی نصب آن موفقیت آمیز خواهد بود که در شرایط مناسب خاک و آب و هوا نصب شده باشد. وجود گل و لجن در کف زهکش به هنگام نصب لوله و پوشش سبب می‌شود که عملکرد زهکش و مواد پوششی با شکست مواجه شود.

از دیدگاه مکانیزه کردن و نصب صحیح و بدون اشکال، استفاده از پوششهای شن و ماسه رو به کاهش است. پوششهای آلی و مصنوعی که از قبل به دور لوله‌های زهکش کنگره دار پیچیده شده است، می‌تواند به دقت با ماشینهای با و یا بدون ترانشه زنی استفاده شوند. اما، این مواد مستعد آسیبهایی هستند که می‌تواند ناشی از حمل و نقل، نصب سریع با ماشین به‌ویژه

1- Trenchless
2- Trencher

هنگامی که از مواد با کیفیت پایین استفاده شود و یا عدم دقت در پیچیدن پوشش در اطراف لوله باشد. ژئوتکستایلهایی که به عنوان پوشش استفاده می‌شوند، معمولاً به صورت کلاف هستند. این کلافها باید به اندازه کافی عریض باشند تا همپوشانی مناسبی در اطراف لوله ایجاد کنند به گونه‌ای که تمام لوله بدون اینکه محل اتصالات باز بماند، پوشیده شود.

کنترل کیفیت مواد پوششی

در پروژه‌های بزرگ، بررسی عملکرد مواد پوششی مورد توجه کارشناسان، مهندسان و بهره‌برداران است تا تطابق مواد استفاده شده با خصوصیات که قبل از اجرا پیش بینی شده است را بررسی نمایند.

عوامل کنترل کیفیت

- عواملی که در ارزیابی کیفیت مواد پوششی باید بررسی شوند، بر حسب نوع به شرح زیر است:
- مواد دانه‌ای: توزیع اندازه ذرات، آگذری و ترکیب شیمیایی،
 - مواد نرم پیش‌تافته: وضعیت ظاهر، ضخامت، وزن واحد سطح، اندازه خلل و فرج، و
 - ژئوتکستایل: وضعیت ظاهری، ضخامت، وزن واحد سطح، اندازه خلل و فرج، آگذری و قابلیت جذب آب.

کنترل کیفیت در زمان ساخت

کنترل کیفی ساخت پوششهای زهکشی بسته به نوع پوشش متفاوت است. نقطه آغاز کنترل کیفی برای پوششهای دانه‌ای در معدن و برای پوششهای مصنوعی در کارخانه است. کنترل برای پوشش دانه‌ای شامل بررسی موارد زیر است:

- کلیه دانه‌بندیهای پیش‌بینی شده برای ذرات خاک در پوشش وجود داشته باشد، و
- بررسی پتانسیل از هم جدا شدن ذرات پوشش با دانه‌بندیهای مختلف ضمن حمل و نقل.

در زمان ساخت پوششهای مصنوعی، کنترل O₉₀ با گرفتن نمونه‌هایی به صورت تصادفی و بر اساس روش استاندارد برای الیاف، و مواد پیش‌تافته مورد نیاز است. علاوه بر طراحی خوب و متناسب، موارد دیگر مانند کیفیت مصالح، کیفیت پیچیدن، همپوشانی داشتن و کیفیت بافت مواد پوشش مصنوعی نیز اهمیت دارند. برای بررسی کیفیت ساخت، نمونه‌هایی به صورت تصادفی انتخاب و بررسی می‌شوند. کیفیت ضعیف ماده پوششی معمولاً با چشم قابل تشخیص است، اما در برخی موارد به آزمایشهای بیشتری نیاز است. همچنین به منظور جلوگیری از بروز خسارت به الیاف، باید توجه لازم را در هنگام حمل و نقل به عمل آورد.

نگهداری

نگهداری، نقشی اساسی در دوام و عملکرد شبکه زهکشی دارد. بازرسی منظم، ارزیابی نتایج عملکرد زهکشها و برنامه منظم نگهداری، سرمایه‌گذاریهای انجام شده در زمینه زهکشی را تضمین می‌کند. سازه‌ها و ابزارهای بازدید و اندازه‌گیری که در

سامانه زهکشی ساخته می‌شوند و یا مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند به بازرسی صحیح و نگهداری زهکشها کمک نمایند [۶]. این امکانات شامل ابزار بازرسی ویدیویی، ابزار میله‌ای^۱ و ابزار شستشو^۲ هستند که می‌توانند از طریق دهانه خروجی، آدم‌روها و یا ساختمانهای مخصوص دسترسی وارد لوله‌های زهکشی شوند. طبیعتاً وقتی مسئله مبهمی وجود داشته باشد، آخرین راه حل، بازرسی، حفاری و شکافتن زهکش است. نصب چاهکهای مخصوص مشاهده‌ای در یافتن مکان دارای مشکل، می‌تواند کمک کند. اصولاً از این چاهکها برای پایش درازمدت شبکه و اهداف تحقیقاتی استفاده می‌شود.

در یک شبکه زهکشی که خوب طراحی شده باشد، دو شاخص می‌تواند در شناسایی بروز مشکل زهکشی به کارشناس کمک کند. این شاخصها شامل رشد ضعیف گیاه در برخی از قسمتهای مزرعه و مرطوب بودن قسمتهایی از زمین در مقایسه با دیگر بخشها است که کاملاً خشک می‌باشد. در مناطق خشک، وقتی که زهکشها خوب عمل نمی‌کنند، زمین از یک لایه نمکی پوشیده می‌شود، به گونه‌ای که فقط گیاهان مقاوم به شوری می‌توانند رشد و نمو کنند. تشخیص عدم کارایی زهکش در مراحل اولیه اهمیت زیادی دارد. این معضل باید قبل از اینکه به گیاه و یا خاک صدمه بزند، رفع شود. شستشوی زهکشها یک راه حل اقتصادی برای بازیابی عملکرد آنهاست.

شستشو با فشار آب^۳

شستشو یکی از روشهای معمول برای نگهداری زهکشها است. فراوانی دفعات شستشو بستگی زیادی به شرایط محلی دارد که می‌تواند از چند بار در سال تا یک بار در ۲ یا ۳ سال متغیر باشد [۴۰]. شستشو با فشار آب به منظور رسوب زدایی از داخل لوله، خارج ساختن ریشه‌ها، رفع گرفتگی موضعی ایجادشده توسط رسوبات، برداشتن رسوبات شیمیایی و باز کردن سوراخهایی است که احتمال باز شدن آنها وجود دارد.

شستشو با فشار آب از قسمت پایین دست زهکش با پمپ و یا دستگاهی که تأمین فشار آب را ممکن می‌سازد، صورت می‌گیرد. با فشار آب موجود در داخل لوله، رسوبات معلق به بیرون رانده می‌شوند. معمولاً بده بین ۳ تا ۴ لیتر بر ثانیه برای این کار توصیه می‌شود [۶].

تجهیزات شستشو با فشار آب معمولاً به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- تجهیزات با فشار بالا: برای این نوع تجهیزات فشار در محل پمپ بیشتر از ۶۰ بار است،
- تجهیزات با فشار متوسط: برای این نوع تجهیزات، فشار در محل پمپ بین ۲۰ تا ۴۰ بار است، و
- تجهیزات با فشار کم: در این نوع تجهیزات، فشار در محل پمپ کمتر از ۲۰ بار است.

فشار در محل نازل به دلیل افت اصطکاکی در لوله لاستیکی تقریباً ۵۰ درصد فشار در محل پمپ است. لوله‌های لاستیکی معمولاً لاستیکهای تقویت شده‌ای هستند که حالت ارتجاعی داشته و تا فشار ۱۰۰ بار را تحمل می‌کنند و یا اینکه از جنس پلی اتیلن ساخته می‌شوند که می‌توانند تا فشارهای ۳۵ تا ۵۰ بار را تحمل نمایند.

1- Rodding Device
2- Flushing Equipments
3- Flushing

جت آب با فشار بالا معادل ۸۰ تا ۱۲۰ اتمسفر، یک روش مطمئن برای خارج ساختن خاک و ریشه درختان از درون لوله زهکش است. لوله لاستیکی با فشار بالا و نازل جت از دهانه خروجی زهکش به درون لوله هدایت می‌شوند. سر لوله لاستیکی دارای یک سوراخ به سمت جلو و ۳ تا ۶ سوراخ به سمت عقب^۱ است که هر یک از آنها زاویه‌ای بین ۱۵ تا ۴۵ درجه با محور طولی لوله لاستیکی می‌سازد. لوله‌های زهکشی تا طول ۲۰۰ متر می‌توانند به خوبی با این روش تمیز شوند. لوله‌های زیرزمینی تا ۷۰۰ متر را نیز با صرف هزینه زیاد برای تأمین فشار نازل می‌توان با این شیوه شستشو کرد. با استفاده از جت آب امکان بهبود عملکرد مواد پوششی نیز وجود دارد. بدین ترتیب که آب با فشار از سوراخهای لوله زهکش خارج شده و موجب شستشوی پوشش نیز می‌شود. در حقیقت، این روش مشابه روش توسعه چاه است. باید دقت شود که جت آب به‌طور یکنواخت در داخل لوله حرکت نماید تا باعث صدمه زدن به لوله و پوشش اطراف زهکش نشود.

روش فشار کم تا متوسط که در حدود ۲۰ اتمسفر است، بتدریج به عنوان روشی جا افتاده در کشورهای اروپایی مطرح شده است و روش فشار زیاد برای حذف رسوبات و آن هم در شرایطی خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۰]. فشارهای متوسط در حدی نیست که لوله لاستیکی را به داخل لوله زهکشی هدایت کند، بنابراین تجهیزات جتی ساخته شده، تا عمل راندن لوله لاستیکی را به داخل لوله ممکن سازد. به دلیل این محدودیت، حداکثر طول لوله لاستیکی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر می‌باشد. با کمک فشار آب، حتی رسوبات سخت‌شده لای (سیلت) را می‌توان شستشو کرد. انتقال ماسه، کاری دشوار است. دستگاههای با فشار کم، معمولاً برای این کار مناسب نیستند. در خاکهای ماسه‌ای، دستگاههای با فشار زیاد از طریق به حرکت در آوردن ماسه می‌تواند اثر معکوس و مخرب از خود به جا گذارد. آب مورد نیاز برای تمیز کردن لوله‌ها را می‌توان به وسیله مخزن آب و یا مستقیماً از طریق کانالها و نهرچه‌های روباز تأمین کرد.

اگر در منطقه مورد نظر شرایط رسوبگذاری وجود داشته باشد، لازم است برنامه‌های منظم سالانه و یا چند بار در سال برای عملیات رسوب زدایی پیش‌بینی شود. زمان مناسب رسوب زدایی وقتی است که رسوبات به‌صورت یکپارچه و سفت‌شده در آیند. در عمل زمان مناسب، بین دو دوره خشک و تر است. روش شستشو با جت آب با فشار زیاد، در شرایطی که بین لوله‌های زهکشی فاصله وجود داشته باشد (تنبوشه‌های زهکشی) و یا اینکه سوراخهای لوله‌های زهکش بزرگ باشند، توصیه نمی‌شود. به‌علاوه در سامانه‌های زهکشی قدیمی که از تنبوشه‌های رسی و یا سیمانی استفاده شده، کاربرد آب با فشار بالا سبب جمع شدن رسوب در محل اتصالات دو لوله می‌شود. ورود ریشه‌های درختان به داخل لوله باعث گرفتگی آن می‌شود. بنابراین، باید لایروبی زهکش زمانی صورت گیرد که ریشه‌ها هنوز خشبی و سخت نشده باشند.

تمیز کردن شیمیایی^۲

در مناطقی که مقدار زیادی نمکهای آهن در آب وجود دارد، گرفتگی بیولوژیکی زهکشها مطرح می‌شود. در این موارد، گل اخرا به صورت اکسید آهن رسوب می‌کند که از روی رنگ قرمز تا زرد آن به‌خوبی قابل تشخیص است. اکسید آهن با استفاده از فشار آب و یا ماده شیمیایی قابل برطرف کردن می‌باشد. گراس و همکاران [۱۹] نحوه حذف اکسیدهای آهن (رنگ قرمز تا زرد

1- Backward jets
2- Chemical Cleaning

و قهوه‌ای روشن) و منگنز (رسوب سیاه رنگ) با استفاده از اسید سولفوریک را در لوله‌های زهکشی توصیف کرده‌اند. این اسید از ترکیب دی اکسید گوگرد (SO_2) و آب در داخل زهکش ایجاد می‌شود. برای استفاده از این اسید انتهای زهکش بسته شده و سپس از قسمت بالادست با این اسید پر می‌گردد و اجازه داده می‌شود که این اسید به مدت ۴۸ ساعت داخل لوله زهکش باقی بماند و سپس تخلیه می‌شود. بعد از این دو روز، اسید خنثی می‌شود که در نتیجه کمترین آثار زیست محیطی منفی را خواهد داشت.

در برخی شرایط ممکن است برنامه دوره‌ای برای مقابله با گل اخرا مورد نیاز باشد. اگر مسئله گل اخرا با زهکشی ضعیف در نیمرخ خاک به دلیل گرفتگی موقتی زهکش، همراه باشد، با تمیز کردن زهکش، گرفتگی رفع می‌گردد. اگر منبع گل اخرا آب زیرزمینی باشد، تمیز نمودن ادواری آن لازم است.

پایش و ارزیابی عملکرد پوشش

پایش و ارزیابی عملکرد پوشش زهکشی ابزار مفیدی برای قضاوت در مورد عملکرد شبکه زهکشی است. شاخص اولیه‌ای که در این مورد می‌تواند مفید باشد، نوسانات سطح ایستابی است. بنابراین پایش منظم سطح سفره در طول زمان و در سطح مزرعه ضروری می‌باشد. از سوی دیگر، اندازه‌گیری بده زهکشها و هدایت هیدرولیک خاک نیز برای ارزیابی پوششها مورد نیاز است. تعداد اندازه‌گیریها به اهداف مورد نظر بستگی دارد که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

- برای پایش بلندمدت (۳ تا ۵ سال و یا بیشتر) اندازه‌گیریهای ماهانه و یا مشاهدات دو هفته یک بار مناسب است،
- اندازه‌گیریهای روزانه و یا حتی اندازه‌گیریهای مداوم افت و مقاومت ورودی جریان برای انجام مطالعات و یا تحقیقات خاص مورد نیاز است.
- شبکه چاهکهای مشاهده‌ای که به منظور بررسیهای قبل از اجرای سامانه یا شبکه زهکشی استفاده می‌شوند، معمولاً برای قضاوت در مورد پوشش زهکشی مناسب نیستند. به جای آن چاهکهای مشاهده‌ای که در اطراف زهکشها حفاری می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پرسشهایی که در مورد عملکرد یک قسمت از سامانه مطرح است، از طریق اندازه‌گیری مزرعه‌ای کوتاه مدت (حداکثر یک فصل زراعی)، قابل ارزیابی و بررسی است. به هر حال، هدف از بررسی نتایج و شاخصهایی که استفاده خواهند شد باید قبلاً روشن باشد. در این مورد، مقاومت ورودی، شاخص مناسبی برای تشخیص عملکرد پوشش زهکشهاست. از افت بار نسبی^۱ (h_e / h_f) به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی عملکرد پوشش زهکشها استفاده شده است. جدول الف-۱ عملکرد پوشش زهکشی را با توجه به این نسبت مشخص می‌سازد.

جدول الف-۲ عملکرد زهکشی را برای شرایطی که عمق زهکش معادل ۱/۸ متر، فاصله زهکشی ۵۰ متر و سطح ایستابی بعد از آبیاری ۱/۰ متر و ضریب زهکشی ۴ میلی‌متر بر روز باشد، تعیین شده است [۵].

بر اساس فرضیات استفاده شده در طراحی زهکشی، a_e تقریباً برابر 0.40 در نظر گرفته می‌شود [۶]. جدول (الف-۳) عملکرد زهکش‌ها را برای شرایطی که عمق طراحی زهکش بین 0.5 تا 1.4 متر و عمق سطح آب زیرزمینی به ترتیب 0.2 و 1.0 متر باشد را نشان می‌دهد.

جدول الف - ۱ - شاخص ارزیابی مقاومت ورودی به زهکش [۹]

عملکرد زهکشی	h_e / h_t
خوب	< 0.20
متوسط	$0.20 - 0.40$
ضعیف	$0.40 - 0.60$
خیلی ضعیف	> 0.60

جدول الف-۲ - شاخص ارزیابی مقاومت ورودی برای مناطق خشک تحت آبیاری [۹]

عملکرد زهکشی	افت بار ورودی h_e (متر)	مقاومت ورودی r_e (روز بر متر)
خوب	< 0.15	< 0.75
متوسط	$0.15 - 0.30$	$0.75 - 1.50$
ضعیف	$0.30 - 0.45$	$1.50 - 2.25$
خیلی ضعیف	> 0.45	> 2.25

جدول الف-۳ - عملکرد زهکشی بر اساس مقاومت ورودی [۳۷]

عملکرد زهکشی	مقاومت ورودی	عامل ارزیابی	
		h_e / h_t (متر/متر)	$a_e = \frac{K_s W_e}{S}$
خوب	متوسط	$< 0.2 - 0.3$	< 0.4
متوسط تا ضعیف	زیاد	$0.3 - 0.6$	$0.4 - 1.5$
خیلی ضعیف	بیش از حد	> 0.6	> 1.5

- r_e = مقاومت ورودی در واحد بده جریان زهکش (روز بر متر)
- a_e = ثابت همگرایی جریان هنگام ورود آب به زهکش لوله‌ای (بدون بعد)
- h_e = افت بار که از اختلاف بین سطح آب در مجاورت پوشش و سطح آب در داخل لوله زهکش به دست می‌آید (متر)
- h_t = بار آبی در فاصله بین دو زهکش (متر)
- K_s = هدایت هیدرولیک اشباع خاک (متر بر روز)
- S = فاصله زهکشها (متر)
- W_e = مقاومت ورودی کل (روز)

پیوست ب

جریان به طرف زهکشهای دارای پوشش

مقاومت ورودی

با نصب لوله زهکشی در عمق خاک، جریان درون خاک نزدیک زهکش به صورت شعاعی به طرف لوله هدایت شده و با یک همگرایی ثانویه^۱ در نزدیکی سوراخهای لوله وارد آن می‌شود. از نقطه نظر محاسباتی، فرض می‌گردد که آب به طور یکنواخت از تمامی سطح لوله وارد آن شده و به عبارت دیگر لوله زهکش، ایده‌آل فرض می‌شود. یک لوله ایده‌آل، لوله‌ای است که کاملاً نفوذپذیر بوده و هیچ افت ورودی یا همگرایی ثانویه‌ای ایجاد نکند. در پوششهای شنی و ماسه‌ای با آبگذری زیاد، جریان همگرایی ثانویه در داخل پوشش رخ داده، بنابراین لوله و پوشش مجموعه‌ای را تشکیل می‌دهند که همانند یک لوله ایده‌آل عمل می‌کند. در پوششهای مصنوعی نیز ممکن است که جریان همگرایی ثانویه در داخل پوشش رخ دهد، بنابراین بسته به ضخامت آن می‌تواند به صورت یک لوله ایده‌آل عمل کرده و یا اینکه این‌گونه عمل ننماید.

جریان در خاک اطراف یک زهکش ایده‌آل، یکنواخت فرض می‌شود که به دلایل زیر در واقعیت چنین نمی‌باشد:

- خاک محیطی پویا بوده و تغییرات طبیعی در آن وجود دارد،
 - ناپیوستگی و عدم یکنواختی شرایط خاک طبیعی در اثر حفاری و یا پرکردن ترانشه همواره وجود دارد،
 - کاربرد مواد پوششی در اطراف لوله زهکش آن را غیر یکنواخت می‌کند،
 - همگرایی خطوط جریان به سمت سوراخهای زهکش آن را از حالت یکنواخت خارج می‌کند.
- افت بار ورودی^۲ (h_e) مجموع افت بار همگرایی ثانویه (h_c) و افت بار شعاعی در خاک، ترانشه و پوشش (h_r) بوده که به صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$h_e = h_c + h_r \quad (\text{ب-۱})$$

در مزرعه امکان اندازه‌گیری h_c و h_r به طور جداگانه وجود نداشته و مقادیر اندازه‌گیری شده نمایانگر افت بار کل (h_e) است. مقدار h_e برابر اختلاف پیزومتريک بين سطح آب درون لوله و محیط خاک مجاور آن (سطح تماس بين پوشش و خاک) است. مقاومت ورودی کل با استفاده از معادله زیر تعریف می‌شود:

$$W_e = h_e / q \quad (\text{ب-۲})$$

که در آن:

$$W_e = \text{مقاومت ورودی کل که برابر } W_c + W_r \text{ است (روز)،}$$

$$W_r = \text{مقاومت ورودی ناشی از همگرایی شعاعی (روز)،}$$

$$W_c = \text{مقاومت ورودی ناشی از همگرایی ثانویه (روز)،}$$

1- Secondary Convergence
2- Entrance Head Loss

h_e = افت بار (متر)،

q = ضریب زهکشی (متر بر روز).

ضریب بدون بعد دیگری که به عنوان معیاری برای مقاومت ورودی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ثابت همگرایی جریان (a_e) است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$a_e = \frac{W_e K_s}{S} = \frac{h_e K_s}{qS} \quad (\text{ب-۳})$$

که در آن:

a_e = ثابت همگرایی مقاومت ورودی،

هدایت هیدرولیک خاک (K) در اطراف زهکش با مقداری که در خاک دست نخورده اطراف زهکش اندازه‌گیری می‌شود، به اندازه قابل ملاحظه‌ای متفاوت است. اگر مقدار K اطراف زهکش از مقدار مربوط به خاک دست نخورده بیشتر باشد، کاهش مقاومت جریان می‌تواند مقاومت همگرایی را جبران کند که تأییدکننده فرضیه زهکش ایده‌آل است. اگر مقدار هدایت هیدرولیک مواد داخل ترانشه حداقل ۱۰ برابر خاک دست نخورده باشد، افت بار اضافی به دلیل مقاومت ورودی می‌تواند در محاسبات زهکشی ناچیز فرض شود [۶ و ۲۴]. معمولاً مقدار هدایت هیدرولیک داخل ترانشه در ابتدای کار زیاد است و به مرور زمان کاهش پیدا می‌کند به گونه‌ای که تغییرات بعدی آن خیلی کند می‌شود.

جریان آب از میان سوراخهای زهکش وارد آن می‌گردد. مساحت ورودیهای آب و یا سوراخها در حد ۱ تا ۲ درصد کل سطح جانبی لوله زهکش بوده و حداقل ۸۰۰ میلی‌متر مربع در هر متر لوله می‌باشد. همگرایی خطوط جریان به سمت سوراخهای لوله زهکش بستگی به نوع، فاصله، مساحت سوراخهای زهکش و هدایت هیدرولیک مواد پوششی آن دارد که در آنها همگرایی رخ می‌دهد. افت بار ثانویه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$h_c = q \times W_c = (q \times S \times a_c) / K_s \quad (\text{ب-۴})$$

که در آن:

h_c = افت بار ناشی از مقاومت همگرایی (متر)،

a_c = ضریب بدون بعد همگرایی ثانویه

مقادیر a_c بر حسب نوع لوله زهکشی در جدول ۶-۱ ارائه شده است.

مقادیر جدول ب-۱ برای لوله بدون پوشش ارائه شده است. بدیهی است در شرایطی که از پوشش استفاده می‌شود، مقاومت ورودی کاهش پیدا می‌کند. همانطور که نتایج این جدول نشان می‌دهد، ثابت همگرایی لوله کنگره‌دار از انواع دیگر به مراتب کمتر می‌باشد.

جدول ب-۱ ضریب بدون بعد همگرایی ثانویه (a_c) برای بعضی انواع لوله‌های مختلف زهکشی [۴۲]

نوع لوله	a_c
رسی و سیمانی	۱ - ۳
پلاستیک صاف	۰/۶ - ۱
پلاستیک کنگره دار	۰/۳ - ۰/۶

افت بار ورودی شعاعی برای یک زهکش ایده‌ال پر و در خاکهای یکنواخت به صورت زیر می‌باشد [۶]:

$$h_r = qW_r = q \frac{S}{2\pi K_r} \ln \left(\frac{R}{r_0} \right) \quad (\text{ب-۵})$$

که در آن:

K_r = هدایت هیدرولیک شعاعی (متر در روز)،

R = شعاع تأثیر جریان شعاعی (متر)

r_0 = شعاع زهکش ایده‌ال (متر).

شعاع تأثیر جریان شعاعی عملاً ۰/۲ تا ۰/۳ متری از مرکز لوله زهکش است. وقتی که زهکش نیمه‌پر باشد، W_r دو برابر بزرگ‌تر می‌شود، لذا بر این اساس، محیط خیس شده u باید در محاسبه W_r لحاظ گردد:

$$W_r = \frac{S \times r_0}{K_r \times u} \ln \left(\frac{R}{r_0} \right) \quad (\text{ب-۶})$$

که در آن:

u = محیط خیس شده واقعی درون لوله زهکش (متر).

دیریکس [۱۰] گزارش نموده که افت بار ورودی لوله زهکش (h_e) با افزایش ضخامت پوشش تا ۵ میلی‌متر کاهش پیدا می‌کند. پوشش‌های با ضخامت بیشتر، مقاومت ورودی را در حد معنی‌داری کاهش نمی‌دهند، لیکن به سبب بیشتر شدن ضخامت با آبگذری زیاد، گرادیان خروجی آب کاهش می‌یابد.

جریان به داخل زهکشها

در شرایطی که جریان آرام باشد، از رابطه داری می‌توان برای محاسبه بده جریان زهکشهای زیرزمینی به شرح زیر استفاده نمود:

$$q = K_s \times A \times H / L \quad (\text{ب- ۷})$$

که در آن:

q = بده جریان در واحد طول (مترمربع بر روز)،

A = سطح مقطع (متر مربع)،

H = بار آبی (بدون بعد)،

L = طولی که جریان طی می‌کند (متر)،

K_s = ضریب هدایت هیدرولیک اشباع (متر بر روز)

از این رابطه، سرعت متوسط جریان بدست می‌آید که با سرعت واقعی آب در خلل و فرج محیط متخلخل متفاوت می‌باشد. با دانستن تخلخل^۱ سرعت واقعی را می‌توان محاسبه نمود:

$$V_n = \frac{Q}{nA} = \frac{K_s}{n} \left(\frac{H}{L} \right) \quad (\text{ب- ۸})$$

که در آن:

V_n = سرعت خطی متوسط جریان در داخل خلل و فرج (متر بر روز و یا متر بر ثانیه)،

n = تخلخل ماده مورد نظر، و

Q = بده جریان (مترمکعب بر روز و یا مترمکعب بر ثانیه)

همانطور که گفته شد، معادله داری در شرایطی در سامانه زهکشی قابل استفاده است که جریان آرام باشد. در این رابطه، عدد رینولدز می‌تواند به کمک گرفته شود. در شرایطی که این عدد کمتر از ۱ باشد، از رابطه داری می‌توان استفاده نمود. عدد رینولدز بصورت زیر قابل محاسبه است:

$$R_N = (\rho_w \times V \times d_e) / \tau_t \quad (\text{ب- ۹})$$

که در آن:

$$R_N = \text{عدد رینولدز (بدون بعد)},$$

$$d_e = \text{قطر موثر خلل و فرج مواد مورد نظر (متر)},$$

$$\rho_w = \text{وزن مخصوص آب در دمای استاندارد (کیلوگرم بر متر مکعب)},$$

$$V = \text{سرعت جریان (متر بر ثانیه)},$$

$$\tau_t = \text{گرانروی دینامیکی آب در دمای استاندارد (کیلوگرم بر متر بر ثانیه)}.$$

از سوی دیگر، جریان به سمت زهکشهای زیرزمینی می‌تواند با جریان عمودی، جریان شعاعی، جریان افقی و جریان به داخل زهکش بیان شود. در نتیجه مجموع مقاومت شامل مقاومتهای عمودی، افقی، شعاعی و ورودی است. رابطه بین افت بار و مقاومت به شرح زیر است:

$$q = h / (L \times W) \quad (\text{ب} - 10)$$

که در آن:

$$h = \text{بار آبی و یا اختلاف ارتفاع (متر)},$$

$$L = \text{فاصله زهکشها (متر)},$$

$$q = \text{میزان جریان از واحد سطح در واحد زمان (متر بر روز)}$$

$$W = \text{مقاومت (روز بر متر)}.$$

مقاومت برحسب هدایت هیدرولیک و مقدار ثابت a به شرح زیر است:

$$W = \frac{a}{K_s} \quad (\text{ب} - 11)$$

که در آن:

$$a = \text{ثابت هندسی (بدون بعد)}.$$

بنابراین با توجه به مطالب ارائه شده، افت بار کل به صورت زیر در می‌آید:

$$h_t = q \times L (W_v + W_h + W_r + W_e) = q \times S (a_v / K_v + a_h / K_h + a_r / K_r + a_e / K_e) \quad (\text{ب} - 12)$$

در این رابطه اندیسهای v, h, r, e به ترتیب مربوط به مقاومت ورودی، شعاعی، افقی و قائم هستند. معمولاً فرض می‌شود که آبدگزی مواد پوششی در مقایسه با خاک دست‌نخورده خیلی زیاد باشد به گونه‌ای که مقاومت ورودی قابل صرف نظر است.

پیوست ج

تعاریف

ج-۱- نسبت جذب سدیم (SAR)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

که در آن: غلظت کاتیونها بر حسب میلی گرم بر لیتر است.

ج-۲- درصد سدیم تبادلی (ESP)

$$ESP = \frac{Na_{ex}^+}{CEC} \times 100$$

که در آن Na_{ex}^+ مقدار یون سدیم تبادلی بر حسب میلی گرم در ۱۰۰ گرم خاک خشک است. از سوی دیگر، با استفاده از رابطه تجربی زیر می توان ESP را بر حسب SAR به شرح زیر محاسبه کرد:

$$ESP = \frac{100 (-0/0126 + 0/01475 \times SAR)}{1 + (-0/0126 + 0/01475 \times SAR)}$$

ج-۳- ضریب یکنواختی (C_u)

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

که در آن:

d_{60} = قطری از ذرات که ۶۰ درصد ذرات پوشش از آن کوچکتر هستند،

d_{10} = قطری از ذرات که ۱۰ درصد ذرات پوشش از آن کوچکتر هستند.

ج-۴- شاخص پلاستیسیته

$$PI = \theta_{LL} - \theta_{PL}$$

که در آن:

PI = شاخص پلاستیسیته (درصد)،

θ_{LL} = رطوبت خاک در حد روانی (درصد)،

θ_{PL} = رطوبت خاک در حد پلاستیک (درصد).

$$\theta_{LL} = \frac{W_{LL} - W_{DS}}{W_{DS}} \times 100$$

$$\theta_{PL} = \frac{W_{PL} - W_{DS}}{W_{DS}} \times 100$$

که در آنها:

W_{LL} = جرم خاک در حد روانی (گرم)،

W_{DS} = جرم خاک کاملاً خشک (گرم)،

W_{PL} = جرم خاک در حد پلاستیک (گرم).

ج-۵- تخلخل ژئوتکستایل

$$\varepsilon = 1 - \frac{\mu}{\rho_f \times T_g}$$

که در آن:

μ = جرم در واحد سطح (گرم بر مترمربع)،

ρ_f = چگالی الیاف (گرم بر مترمکعب)،

T_g = ضخامت متوسط ژئوتکستایل (متر).

پیوست د
مثالهای حل شده

مثال ۱- برای خاکی با دانه‌بندی شکل ۱، حدود پایین و بالای پوشش مناسب زهکشی را براساس روشهای NRCS و USBR مشخص کنید.

راه حل:

الف) روش NRCS

$$d_{15} = 0/047 \quad \text{میلی متر}$$

$$d_{50} = 0/095 \quad \text{میلی متر}$$

$$D_{85} = 0/65 \quad \text{میلی متر}$$

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} = 12-40 \quad \Rightarrow \quad D_{15} = 0/56 \text{ تا } 1/88 \text{ میلی متر} \quad (1)$$

$$\frac{D_{50}}{d_{50}} = 12-58 \quad \Rightarrow \quad D_{50} = 1/14 \text{ تا } 5/51 \text{ میلی متر} \quad (2)$$

$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad \Rightarrow \quad D_{15} \leq 3/25 \text{ میلی متر} \quad (3)$$

مقایسه روابط ۱ و ۳ نشان می‌دهد که رابطه ۳ در رابطه ۱ صادق است. بنابراین، حد بالای d_{15} برابر ۱/۸۸ میلی متر است.

$$D_{100} \leq 38 \text{ میلی متر} \quad (4)$$

$$D_{90} \leq 20 \text{ میلی متر} \quad (5)$$

با توجه به روابط ۱ تا ۵، حدود پایین و بالای پوشش مناسب زهکش روی شکل ۱ نشان داده شده است.

ب) روش USBR

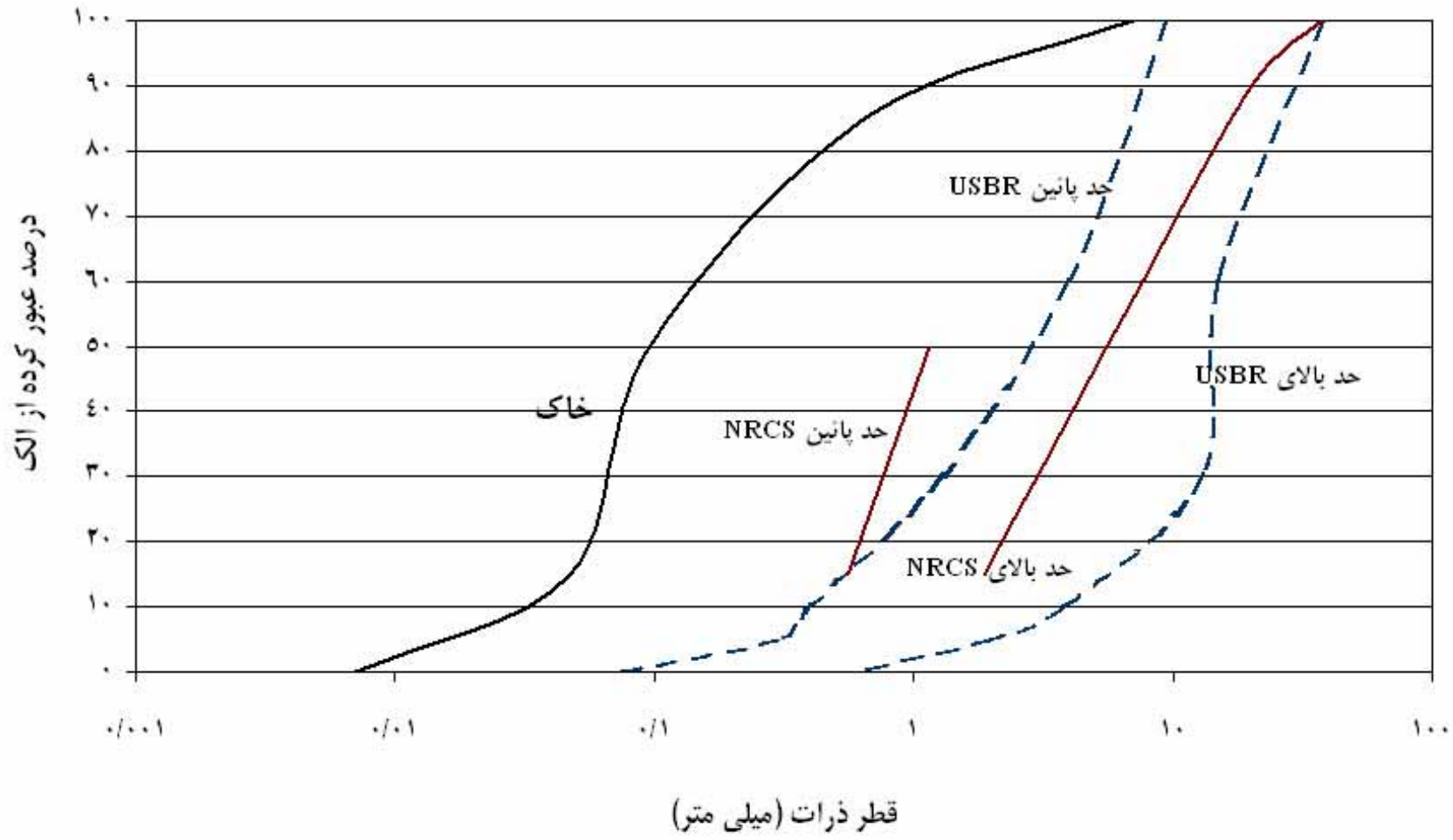
بر اساس مندرجات جدول ۳-۳، حد پایین و بالای پوشش مناسب به شرح جدول ۱ است.

$$D_{60} = 0/13 \text{ میلی متر}$$

به گونه‌ای که ملاحظه می‌شود، در این مثال، پوششهای طراحی شده به روش USBR درشت تر از پوششهای NRCS است.

جدول د-۱ - حد پایین و بالای پوشش مناسب بر اساس روش USBR

در صد عبور کرده	حد پایین (میلی متر)	حد بالا (میلی متر)
۱۰۰	۹/۵	۳۸/۱
۶۰	۴/۰	۱۵/۰
۳۰	۱/۳	۱۳/۱
۱۰	۰/۴	۳/۸
۵	۰/۳	-
۰	۰/۰۷۴	۰/۵۹



شکل د-۱- منحنی دانه‌بندی خاک و پوشش به دو روش مختلف

مثال ۲- یک نمونه خاک و دو نمونه پوشش زهکش، تجزیه مکانیکی شده‌اند که نتایج آنها به شرح جدول ۲ است. بر اساس استاندارد NRCS کدامیک از پوششها برای خاک مورد نظر مناسب هستند؟

جدول د-۲- نتایج تجزیه مکانیکی خاک و دو نمونه پوشش

هیدرومتری (دقیقه)	شماره الک	اندازه سوراخ (میلی‌متر)	خاک		پوشش شماره ۱		پوشش شماره ۲	
			درصد ورنی	درصد تجمعی	درصد ورنی	درصد تجمعی	درصد ورنی	درصد تجمعی
۸۰		۰/۰۰۶	۰	۰				
۱۹		۰/۰۱۰	۳	۳				
۴		۰/۰۱۸	۳	۶				
۱		۰/۰۳۵	۵	۱۱				
۰/۵		۰/۰۵۰	۲۲	۳۳				
	۲۰۰	۰/۰۷۵	۳۰	۶۳	۰	۰		
	۱۷۰	۰/۰۹۰	۱۲	۷۵	۱	۱		
	۱۴۰	۰/۱۰۶	۶	۸۱	۱	۲		
	۱۲۰	۰/۱۲۵	۵	۸۶	۱	۳	۰	۰
	۱۰۰	۰/۱۵۰	۲	۸۸	۲	۵	۱	۱
	۸۰	۰/۱۸۰	۱	۸۹	۲	۷	۱	۲
	۷۰	۰/۲۱۰	۰	۸۹	۳	۱۰	۱	۳
	۶۰	۰/۲۵۰	۰	۸۹	۳	۱۳	۳	۶
	۵۰	۰/۳۰۰	۲	۹۱	۵	۱۸	۳	۹
	۴۰	۰/۴۲۵	۲	۹۳	۵	۲۳	۴	۱۳
	۳۰	۰/۶۰۰	۲	۹۵	۵	۲۸	۱۰	۲۳
	۲۰	۰/۸۵۰	۲	۹۷	۴	۳۲	۱۵	۳۸
	۱۰	۲/۰۰	۲	۹۹	۳۰	۶۲	۳۵	۷۳
	۵	۴/۰۰	۱	۱۰۰	۳۰	۹۲	۲۷	۹۰
		۸/۰۰			۴	۹۶	۱۰	۱۰۰
		۱۶/۰۰			۲	۹۸		
		۲۰/۰۰			۱	۱۰۰		

راه حل:

منحنیهای دانه‌بندی برای خاک و پوششها در شکل ۲ ارائه شده است. بنابراین با استفاده از این شکل، مشخصات خاک به

شرح زیر است:

$D_{15} = 0/036$ میلی‌متر

$D_{50} = 0/066$ میلی‌متر

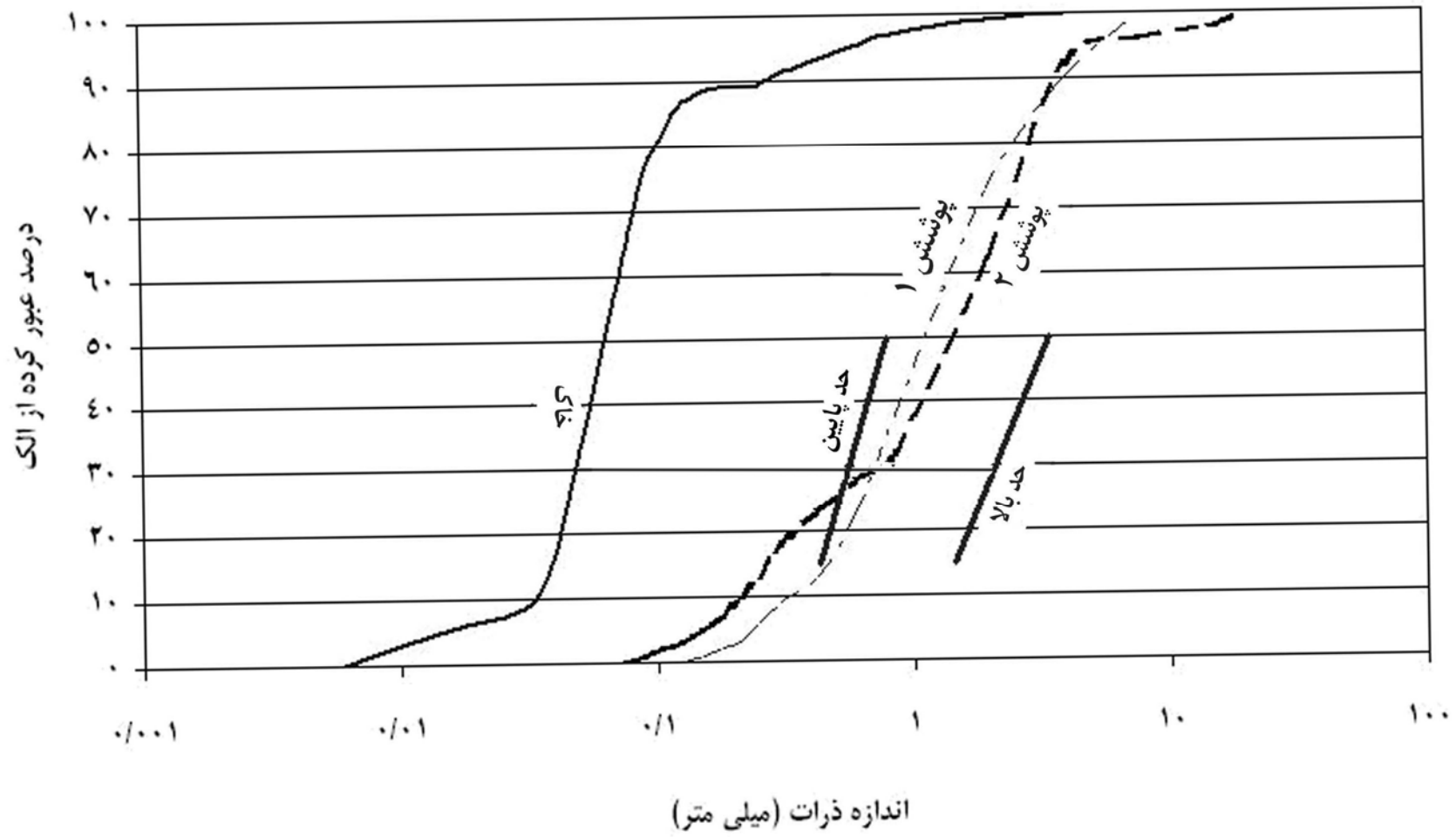
$D_{85} = 0/12$ میلی‌متر

لذا بر این اساس مشخصات پوشش به شرح زیر است:

$D_{15} = 0/43$ تا $1/44$ میلی‌متر

$D_{50} = 0/79$ تا $3/43$ میلی‌متر

به‌گونه‌ای که ملاحظه می‌شود، پوشش شماره ۲ کاملاً در محدوده مجاز قرار می‌گیرد، بنابراین توصیه می‌شود که از این پوشش استفاده شود. پوشش شماره ۱ نیز می‌تواند با تمهیداتی مورد استفاده قرار گیرد. این پوشش مواد ریز بیش از حد دارد و چنانچه این مواد را بتوان با شستشو کاهش داد، می‌تواند قابل استفاده قلمداد شود.



شکل د-۲- منحنی دانه بندی خاک و دو نوع پوشش پیشنهادی

اندازه‌های الک براساس استانداردهای انگلستان و آمریکا

نزدیک‌ترین فاصله‌ای که قبلاً تخصیص داده شده بود		معادل تقریبی انگلیسی (اینچ)	اندازه سوراخ (میلی متر یا میکرون)
A.S.T.M.	B.S.		
اینچ ۵	-	۵/۰۰	۱۲۵ میلی متر
اینچ ۴/۲۴	اینچ ۴	۴/۲۴	۱۰۶ میلی متر
اینچ $3\frac{1}{2}$	اینچ ۳/۵	۳/۵۰	۹۰ میلی متر
اینچ ۳	اینچ ۳	۳/۰۰	۷۵ میلی متر
اینچ $2\frac{1}{2}$	اینچ ۲/۵	۲/۵۰	۶۳ میلی متر
اینچ $2\frac{1}{2}$ ۲/۱۲ ۳/۲	اینچ ۲/۰	۲/۱۲	۵۳ میلی متر
اینچ $1\frac{3}{4}$	اینچ $1\frac{3}{4}$	۱/۷۵	۴۵ میلی متر
اینچ $1\frac{1}{2}$	اینچ $1\frac{1}{2}$	۱/۵۰	۳۷/۵ میلی متر
اینچ $1\frac{1}{4}$	اینچ $1\frac{1}{4}$	۱/۲۵	۳۱/۵ میلی متر
اینچ ۱/۰۶	اینچ ۱	۱/۰۶	۲۶/۵ میلی متر
اینچ $\frac{7}{8}$	اینچ $\frac{7}{8}$	۰/۸۷۵	۲۲/۴ میلی متر
اینچ $\frac{3}{4}$	اینچ $\frac{3}{4}$	۰/۷۵۰	۱۹/۰ میلی متر
اینچ $\frac{5}{8}$	اینچ $\frac{5}{8}$	۰/۶۲۵	۱۶/۰ میلی متر
اینچ ۰/۵۳۰	اینچ $\frac{1}{2}$	۰/۵۳۰	۱۳/۲ میلی متر
اینچ $\frac{7}{16}$	-	۰/۴۳۸	۱۱/۲ میلی متر
اینچ $\frac{3}{8}$	اینچ $\frac{3}{8}$	۰/۳۷۵	۹/۵ میلی متر
اینچ $\frac{5}{16}$	اینچ $\frac{5}{16}$	۰/۳۱۲	۸/۰ میلی متر

ادامه اندازه‌های الک بر اساس استانداردهای انگلستان و آمریکا

نزدیک‌ترین فاصله‌ای که قبلاً تخصیص داده شده بود		معادل تقریبی انگلیسی (اینچ)	اندازه سوراخ (میلی متر یا میکرون)
A.S.T.M.	B.S.		
۰/۲۶۵ اینچ	۱/۴ اینچ	۰/۲۶۵	۶/۷ میلی متر
نمره ۳ ۱/۲	-	۰/۲۲۳	۵/۶ میلی متر
نمره ۴	۳/۸ اینچ	۰/۱۸۷	۴/۷۵ میلی متر
نمره ۵	-	۰/۱۵۷	۴/۰۰ میلی متر
نمره ۶	نمره ۵	۰/۱۳۲	۳/۳۵ میلی متر
نمره ۷	نمره ۶	۰/۱۱۱	۲/۸ میلی متر
نمره ۸	نمره ۷	۰/۰۹۳۷	۲/۳۶ میلی متر
نمره ۱۰	نمره ۸	۰/۰۷۸۷	۲/۰۰ میلی متر
نمره ۱۲	نمره ۱۰	۰/۰۶۶۱	۱/۷۰ میلی متر
نمره ۱۴	نمره ۱۲	۰/۰۵۵۵	۱/۴۰ میلی متر
نمره ۱۶	نمره ۱۴	۰/۰۴۶۹	۱/۱۸ میلی متر
نمره ۱۸	نمره ۱۶	۰/۰۳۹۴	۱/۰۰ میلی متر
نمره ۲۰	نمره ۱۸	۰/۰۳۳۱	۸۵۰ میکرون
نمره ۲۵	نمره ۲۲	۰/۰۲۷۸	۷۱۰ میکرون
نمره ۳۰	نمره ۲۵	۰/۰۲۳۴	۶۰۰ میکرون
نمره ۳۵	نمره ۳۰	۰/۰۱۹۷	۵۰۰ میکرون
نمره ۴۰	نمره ۳۶	۰/۰۱۶۵	۴۲۵ میکرون
نمره ۴۵	نمره ۴۴	۰/۰۱۳۹	۳۵۵ میکرون
نمره ۵۰	نمره ۵۲	۰/۰۱۱۷	۳۰۰ میکرون
نمره ۶۰	نمره ۶۰	۰/۰۰۹۸	۲۵۰ میکرون
نمره ۷۰	نمره ۷۲	۰/۰۰۸۳	۲۱۲ میکرون
نمره ۸۰	نمره ۸۵	۰/۰۰۷۰	۱۸۰ میکرون
نمره ۱۰۰	نمره ۱۰۰	۰/۰۰۵۹	۱۵۰ میکرون
نمره ۱۲۰	نمره ۱۲۰	۰/۰۰۴۹	۱۲۵ میکرون
نمره ۱۴۰	نمره ۱۵۰	۰/۰۰۴۱	۱۰۶ میکرون
نمره ۱۷۰	نمره ۱۷۰	۰/۰۰۳۵	۹۰ میکرون
نمره ۲۰۰	نمره ۲۰۰	۰/۰۰۲۹	۷۵ میکرون
نمره ۲۳۰	نمره ۲۴۰	۰/۰۰۲۵	۶۳ میکرون
نمره ۲۷۰	نمره ۳۰۰	۰/۰۰۲۱	۵۳ میکرون
نمره ۳۲۵	نمره ۳۵۰	۰/۰۰۱۷	۴۵ میکرون
نمره ۴۰۰	-	۰/۰۰۱۵	۳۸ میکرون

منابع و مراجع

- ۱- بای بوردی، م، ۱۳۶۵. اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- علیزاده، ا، ۱۳۶۶. زهکشی اراضی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۱۳۷۶. راهنمای احداث زهکشهای زیرزمینی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی، وزارت نیرو.
- ۴- کمیته ملی آبیاری و زهکشی، نشریه شماره ۲۲
- ۵- وطنزاده، م، ۱۳۷۲. طراحی فیلترها و مقایسه ضوابط طراحی فیلترها در زهکشی. پایان نامه فوق لیسانس، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۱۳۰ صفحه.
- 6- Antheunisse, J. 1979. Observations on the decomposition of coconut fibers. *J. Gen. Appl. Microbio.* 25, 273-277.
- 7- Cavelaars, J.C. W.F. Vlotman, and G. Spoor. 1994. Subsurface drainage systems. In: *Drainage Principles and Applications*. H.P. Ritzema (ed.) Publ. 16, 2nd ed. ILRI, Wageningen, The Netherlands, pp. 827-929.
- 8- CEN/TC155/WG18. 1994. Plastic piping systems for agricultural land drainage (PVC-U). CEN, Brussels.
- 9- De La Torre, A.A. 1987. Drainage and land reclamation in Peru. In: *Proc. Symp. 25th Internat. Course on land drainage. Twenty-five years of drainage experience*. J. Vos (ed.), Publ. 43, ILRI, Wageningen, The Netherlands, pp. 268-277.
- 10- Dieleman, P.J. and B.D. Trafford. 1976. *Drainage Testing*. FAO Irrigation and Drainage Paper 28. Rome, Italy.
- 11- Dierickx, W. 1980. Electrolytic analog study of the effect of openings and surrounds of various permeabilities on the performance of field drainage pipes. Rep. 77, Natl. Inst. Agric. Eng., Merelbeke, Belgium, 238p.
- 12- Dierickx, W. 1987. Field experience and laboratory research on drainage envelopes. In: *Proc. of International Seminar on Land Drainage*. J. Saavalainen and P. Vakkilainen (eds.) Helsinki University of Technology, Finland, pp.51-60.
- 13- Dierickx, W., Bhutta, M.N., Shafiq-ur-Rehman and W. Ratiq. 1995. Laboratory evaluation of synthetic drain envelope. Publication 145, IWASRI, Lahore, Pakistan.
- 14- Dierickx, W. 1992. Research on synthetic envelope for subsurface drainage in Egypt. Pilot areas and drainage technology Project. Drainage Research Institute, El-Kanater, Cairo.
- 15- Dierickx, W. and L. Van der Sluys. 1990. Research into the functional hydraulic properties of geotextiles. In: *Proc. 4th Internat. Conf. on Geotextiles, geomembranes and related products*. G. des Hoedt (ed.), A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 1, 285-288.
- 16- Dierickx, W. 1996. Field research on drainage envelope materials. Internat. Report 96/5, IWASRI, Lahore, Pakistan.

- 17- Framji, K.K., BC. Garg and S.P. Kaushish. 1987. Design practices for covered drains in an agricultural land drainage system: a world-wide survey. International Commission on Irrigation and Drainage/ICID, New Delhi, India. 438 p.
- 18- Gallichand, J., D. Marcotte, S.O. Prasher and R.S. Broughton. 1992. Optimal sampling density of hydraulic conductivity for subsurface drainage in the Nile Delta. *J. Agricultural Water Management*. 20:299-312.
- 19- Gameda, S. 1981. The nature of ochre deposition and drain blockage in a fine sandy loam soil. M.S. Thesis, Department of Agricultural Engineering, McGill University, Montreal, Canada.
- 20- Grass, L.B., A.J. Mackenzie and L.S. Willardson. 1975. Inspecting and cleaning subsurface drainage systems. USDA, ARS Farmers Bulletin No. 2258, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- 21- Huinink, J.T.M. 1992. Revision of selection criteria for envelope materials. *Landinrichting* 32(3), 31-33.
- 22- ISO 10318. 1990. Geotextiles-Vocabulary. ISO, Geneva, Switzerland.
- 23- Koerner, R.M. 1994. *Designing With Geotextiles*, 3rd edition, Prentice-Hall. Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- 24- Kumbhare, P.S., K.V. Rao, K.V.G.K. Rao, H.S. Chauhan and R.J. Oosterbaan. 1992. Performance of some synthetic drain filter materials in sandy loam soils. In: *Proceedings 5 th International Drainage Workshop, Volume III*, W.F. Vlotman (ed.), February 8-15 , Lahore, Pakistan.
- 25- Lennoz-Gratin, C. 1992. Envelopes to prevent pipe mineral clogging of subsurface drainage systems: a review of French standards. In: *Proc 5th International Drainage Workshop*. W.F. Vlotman (ed.). Lahore, Pakistan. Vol. III, 5.18-5.25.
- 26- Mackenzie, A. J. 1962. Chemical treatment of mineral deposits in drain tile. *Journal of Soil and Water Conservation*.
- 27- Mckyes, E., R.B. Bonnell and R.S. Broughton. 1992. A study on the application of synthetic fabric instead of gravel drainage envelopes to increase the longevity and effectiveness of drainage systems. Report to CIDA. Center for drainage studies, McGill University, Macdonald Campus, Ste-Anne-de-Bellevue, Quebec, Canada, 34 p.
- 28- Merriam-Webster. 1993. *Collegiate Dictionary* 10th ed. Merriam-Webster Inc., Springfield, MA, USA.
- 29- Murillo, J.L. 1987. Land drainage in the Atlantic region of Costa Rico, In: *Proc. Symp. 25th International Course on Land Drainage. Twenty-five years of drainage experiences*. J. Vos (ed.). Publ. 43, ILRI, Wageningen, The Netherlands, 286-290.
- 30- Nieuwenhuis, G.J.I. and J. Wessleing. 1979. Effect of perforation and filter material on entrance resistance and effective diameter of plastic drain pipe. *Agric. Water Management*, 2:1-9.
- 31- Rajed Project Staff. 1995. Analysis of subsurface design criteria. *Agricultural Drainage Research (RAJED)*, Chambal command area development, Rajasthan, India, pp. 1-11.

- 32- Rozendaal, H. and J. Scholten, 1980. The risk of wrapping drains with peat litter envelope material in case of subirrigation in sandy soils. *Cult. Techn. Tijdschr.* 19(6), 327-334.
- 33- Singh, P.K., O.S, Singh and C.S Jaiswal. 1992. Field performance of subsurface drain envelope materials. In: *Proceedings 5th International Drainage Workshop, Volume III*, W.F. Vlotman (ed.). February 8-15 , Lahore, Pakistan.
- 34- Skaggs, R.W. and J. van Schiefgaarde. 1999. *Agricultural Drainage*. ASA, CSA and SSSA, Agronomy No. 38, Madison, Wisconsin, USA.
- 35- Smedema, L.K. and D. W. Rycroft. 1983. *Land drainage: planning and design of agricultural drainage systems*. Batsfords, London, 376p.
- 36- van Someren, C.L. 1972. Drainage materials, synthesis. In: *FAO irrigation and drainage materials 9: Drainage Materials*. FAO, Rome, Italy, 1-25.
- 37- Stuyt, L.C.P.M. and L. S. Willardson. 1999. Drain envelopes. In: *Agricultural drainage*. R.W. Skaggs and J. Van Schilfgaarde (eds.) *Agronomy Monograph 38*, ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI, United States, 927-962.
- 38- Stuyt, L.C.P.M., W. Dierickx, and J. Martinez Betran. 2000. Materials for subsurface land drainage systems. *FAO Irrigation and Drainage Papers*, No. 60, Rome, Italy.
- 39- Van der Molen, W. H. and C.L. van Someren. 1987. Comment made during discussion in session 1 in ILRI Symposium. In: *Proc. Symp. 25th Internat. Course on Land Drainage. Twenty five years of drainage experiences*. J. Vos (ed.), Publ. 42, ILRI, Wageningen, The Netherlands.
- 40- Van Zeijts, T.E.J. 1992. Recommendations of the use of envelopes, based on experiences in the Netherlands. In: *Proc 5th International Drainage Workshop*, W.F. Vlotman (ed.), Lahore, Pakistan, Vol. II, 5.88-5.96.
- 41- Van Zeijts T.E.J. and A. Bons. 1993. Effects of jet flushing on drain performance and sustainability. *Proc. 15th International Congress on Irrigation and Drainage, ICID*, New Delhi, 437-450.
- 42- Vlotman, W.F. 1990. *Proceedings Workshop on Drain Envelope Testing, Design and Research*. IWASRI Publ. 49, IWASRI/NRAP, Lahore, Pakistan.
- 43- Vlotman, W.F., L.S. Willardson and W. Dierickx. 1999. Envelope design for subsurface drains. *International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI*, No. 60, Wageningen, The Netherlands.
- 44- Vlotman, W.F. 1997. Drain envelope. *Proc. of the 7th International Drainage Workshop on "Drainage for the 21st Century"*, 17-21 Nov, 1997, Penang, Malaysia, pp.22.1-22.16.
- 45- Woudeneh, T. 1987. The Melka Sadi pilot drainage scheme. In: *Proc. Symp. 25th International Course on Land Drainage. Twenty-five years of drainage experiences*. J. Vos (ed.) Publ. 42, ILRI, Wageiningen, The Netherlands, 261-267.

In the Name of God
Islamic Republic of Iran
Ministry of Energy
Iran Water Resources Management CO.
Deputy of Research
Office of Standard and Technical Criteria

***Guidelines on Design and Selection of
Materials for Subsurface Drainage***

این نشریه

راهنمای طراحی مواد و مصالح برای زهکشهای
زیرزمینی را ارائه می‌نماید.

مواد و مصالح مورد بحث در این نشریه
شامل پوششهای دانه‌ای و مصنوعی بوده و
لوله‌های سفالی، بتنی و پلاستیکی را در
برمی‌گیرد.

این نشریه می‌تواند راهنمای مناسبی برای
مهندسان طراحی شبکه‌های زهکشی باشد تا
بتوانند بسته به شرایط منطقه بهترین مواد و
مصالح را انتخاب نمایند.

معاونت امور اداری ، مالی و منابع انسانی
مرکز مدارک علمی ، موزه و انتشارات

978-964-425-907-2



9789644259072