بررسی عملکرد فنی لوله‌های زهکش ژئوتکستایل (زمین‌بافت) در مقایسه بالوله‌های زهکش رایج در مدلهای آزمایشگاهی

حسن رحیمی و علیرضا حسن‌اقلی

بترتیب استاد و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران -- کرج

تاریخ پذیرش مقاله ۷۸/۷/۲۱

خلاصه

استفاده از ژئوتکستایل بعنوان لوله‌های زهکش زیرزمینی در سالهای اخیر رواج یافته است. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق سعی گردیده تا ویژگیهای هیدرولیکی و مکانیکی یکنوع مصالح ژئوتکستایل بعنوان لوله زهکش زیرزمینی بی‌نیاز از فیلتر در مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرارگیرد. ژئوتکستایل مورد استفاده از نوع بافته بوده که از تارهای پلی‌استر و پودهایی از جنس نی‌های توخالی پلی‌پروپیلن تشکیل شده وسایر مشخصات آن به قرار زیر است : ضخامت متوسط ۳/۵ میلی‌متر، وزن واحد سطح ۸۱۶ گرم بر متر مربع، اندازه ظاهری روزنه‌ها یا قطر متوسط خلل و فرج ۰/۱۰۵ میلی‌متر (قابل تغییر بر حسب تراکم بافت) و مقاومت کششی ۸۰۰ کیلوگرم بر متر عرض (بر طبق نظر سازنده). این نوع ژئوتکستایل در یکی ازکارخانه‌های داخلی و بصورت ورقهایی با عرض ۹۰ سانتی‌متر و طول نامحدود (بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر) تولید می‌گردد. برنامه آزمایشها مشتمل بر سه قسمت : ارزیابی آبگذری و قدرت زهکشی، قدرت تصفیه و رسوبگذاری لوله زهکش ژئوتکستایل در مقایسه با لوله زهکش رایج از جنس PVC، ارزیابی مقاومت و تغییر شکل پذیری آنها تحت فشار خاک، و بررسی پتانسیل گرفتگی و انسداد معدنی منافذ این ماده تحت شرایط جریان یکبعدی می‌باشد. برای انجام آزمایشها از دو نوع خاک، یکی با بافت سنگین (رس سیلتی و با طبقه بندی CL-ML در سیستم یونیفاید) و دیگری متوسط (ماسه سیلتی با طبقه بندی SM-SC) استفاده گردید. جهت بررسی توان زهکشی لوله‌های ژئوتکستایل در مقایسه با لوله‌های زهکش رایج به همراه فیلتر شنی، از دو مخزن مدل استفاده شد. بعلاوه بررسی تغییر شکل‌پذیری لوله ژئوتکستایل علاوه بر مخازن فوق الذکر در مزرعه نیز صورت پذیرفته است. در مرحله سوم، بر اساس استاندارد ASTM D-5101 یک دستگاه نفوذ سنج از جنس پلکسی‌گلاس جهت "اندازه‌گیری پتانسیل گرفتگی سیستم خاک - ژئوتکستایل بر اساس نسبت گرادیان" مورد استفاده قرار گرفت. مجموعه نتایج حاصل از آزمایشها نشان می‌دهند که آبدهی لوله زهکش رایج در خاک CL-ML بین ۴/۹ تا ۵/۵ برابر لوله زهکش ژئوتکستایل و در خاک SM-SC بین ۲/۱ تا ۲/۷ برابر می‌باشد. بعلاوه خیز سطح ایستابی از محور لوله در مجاورت زهکش و در وسط طول لوله ژئوتکستایل ۱/۷ تا ۱/۹ برابر لوله رایج است که دلالت بر مقاومت بیشتر لوله ژئوتکستایل به ورود آب دارد. تغییر شکل پذیری لوله ژئوتکستایل در خاک CL-ML بین ۷/۸ تا ۳۱/۶ درصد و در خاک SM-SC به ۱۰۰ درصد قطر لوله ژئوتکستایل (بهم رسیدن کامل دیواره‌های فوقانی و تحتانی آن) بالغ می‌گردد. نسبت گرادیان هیدرولیکی حاصل از آزمایشهای مرحله سوم در خاک CL-ML از حداقل ۸ در ابتدای آزمایش تا حداکثر ۸۰ در انتها و در خاک SM-SC از ۶/۳ تا ۸۶ تغییر نموده که چون از یک بزرگتر است، بر پتانسیل بالای انسدادپذیری ورقه ژئوتکستایل دلالت دارد. آبگذری مجموعه "خاک - ژئوتکستایل" در نمونه CL-ML بطور متوسط $1/53\times10^{-5}$ متر بر ثانیه در ابتدا و $4/35\times10^{-6}$ متر بر ثانیه در انتهای آزمایش و برای خاک SM-SC از $4/74\times10^{-5}$ در ابتدا به $1/06\times10^{-5}$ متر بر ثانیه در انتهای آزمایش تغییر می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ژئوتکستایل، زهکش ، مدل، نفوذ سنج، بافته، سنتتیک.

مقدمه

زهکشی در مناطقی نظیر ایران که تولید محصولات کشاورزی در آنها بستگی به آبیاری دارد، امری اجتناب ناپذیر بوده و با توجه به نقش و اهمیت زهکشی زیر زمینی و توجه ویژه به آن در جهت کنترل سطح ایستابی، تحقیقات گسترده‌ای برای یافتن راه حلهای جدید و اقتصادی تر، خصوصاً در رابطه با انواع لوله، مواد پوششی اطراف آنها و تکنیکهای نصب و کارگذاری هریک در حال اجرا می‌باشد. انواع لوله‌ها و مواد پوششی یا به اصطلاح فیلتر، در پروژه‌های زهکشی کاربرد وسیعی داشته و پوششهای شن و ماسه‌ای که رایج‌ترین نوع پوشش لوله‌ها است، بیشترین هزینه اجرایی یک طرح را بخود اختصاص می‌دهد، زیرا گاهی منابع قرضه صدها کیلومتر از محل پروژه فاصله داشته و مشکلات عدیده‌ای را در تأمین آن فراهم می‌آورد. بنابراین راه حلهایی که بتواند در عین کارایی، این مشکل و مشکلات مشابه را حل نماید از بالاترین اولویتها برخوردار است (۱و۲).

تحقیق حاضر از جمله تحقیقاتی است که در همین راستا گام بر می‌دارد. لوله‌هایی که جدیداً تحت عنوان لوله‌های زهکش زمین بافت (ژئوتکستایل) در ایران معرفی گردیده، لوله‌ای انعطاف پذیر، ساخته شده از تارهای پلی‌استر و پودهایی از جنس نی‌های توخالی پلی‌پروپیلن می‌باشد. البته ژئوتکستایلها مواد ناشناخته‌ای در عرصه مهندسی نبوده و امروزه به صورتی گسترده و به عنوان پوشش لوله‌های زهکش رایج کاربرد دارند، لیکن نوع ارائه شده در ایران به عنوان لوله و فیلتر عمل نموده و در عین دارا بودن خصوصیات فنی و هیدرولیکی مناسب از نظر زهکشی، باید بتواند در مقابل بارهای وارده از طرف خاک و ادوات کشاورزی مقاومت کرده و تغییر شکل آن از حد مجاز تجاوز ننماید. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی عملکرد فنی لوله‌های زهکش جدید از نظر خصوصیات هیدرولیکی (میزان تراوایی، رسوبگذاری، مقاومت به گرفتگی معدنی و احتمالاً بیولوژیکی) و مکانیکی (مقاومت در برابر بارهای وارده و میزان تغییر شکل‌پذیری) آن در شرایط آزمایشگاهی و مقایسه با لوله‌های زهکش رایج و استانداردهای موجود در رابطه با آنهاست.

سابقه ساخت و استفاده از ژئوتکستایلها

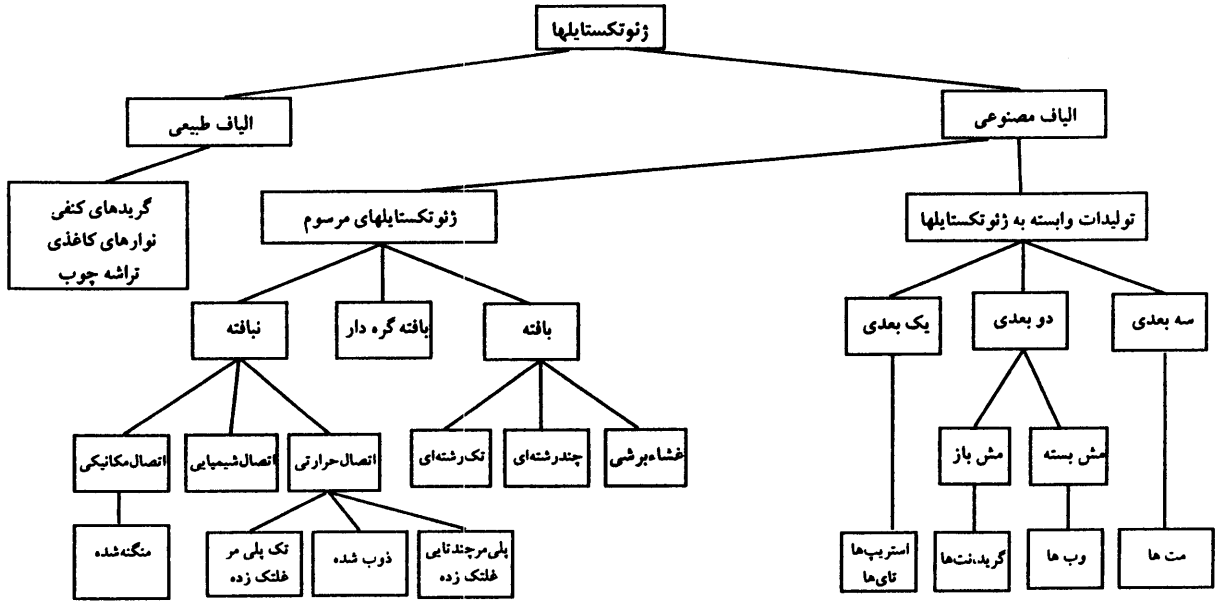
تعاریف و مشخصات عمومی

ژئوسنتیک عنوان و عبارتی فراگیر برای صفحات نازک و انعطاف‌پذیر ساخته شده از موادی است که در داخل خاک و یا در ارتباط با ان و در اجرای پروژه‌ها و سازه‌های مهندسی، خصوصاً در مهندسی عمران و ژئوتکنیک بکار برده می‌شوند. از نظر کلی، ژئوسنتیکها را می‌توان به دو گروه ژئوتکستایلها و ژئوممبرانها تقسیم نمود. پیشوند ژئو (geo بمعنای زمین) دلالت بر نوع و محل استفاده از این مواد دارد که همانا خاک است و پسوند سنتیک نشان میدهد که ژئوسنتیکها از پلی‌مرهای ساخته بشر (مصنوعی) تولید می‌گردند، اگرچه ژئوتکستایلهای معین و ویژه‌ای ممکن است از الیاف طبیعی ساخته شده یا بعضی از ژئوممبرانها دارای ماده اولیه از جنس مواد طبیعی باشند (۹و۱۱).

ژئوتکستایلها منسوجاتی الیافی می‌باشند که نسبت به عبور سیالاتی از قبیل آب و گازها نفوذپذیرند. در مقابل، ژئوممبرانها غشاءهای نفوذناپذیری هستند که آنها نیز همانند ژئوتکستایلها در ارتباط باکارهای خاکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حقیقت تأکید بر نفوذپذیری یا فقدان آن بعنوان صفات مشخصه، به تمایز و جداسازی وظایف این دو گروه از مواد کمک می‌نماید. ورقه‌های بافته شده، نبافته یا بافته گره‌دار ژئوتکستایل آشکارا نفوذپذیر می‌باشند که این امر حتی با چشم غیر مسلح قابل رویت است. گریدها (رشته‌های درهم مشبک)، نت‌ها (توری‌ها)، وبها (بافته‌های تار عنکبوتی)، استریپ‌ها (نوارهای باریک)، تایها (بندهای گره‌دار) و کمپوزیتها (مواد ترکیبی) ممکن است همیشه بطور کامل تراوا نباشند اما هنوز می‌توانند در گروه ژئوتکستایلها طبقه‌بندی شوند، چراکه در عمل بطور مجزا در خاک جایگذاری شده و بصورت سد و مانعی نفوذناپذیر در مقابل جریان آب عمل نمی‌نمایند (۱۱). ژئوتکستایلها را می‌توان بر اساس روش تولید آنها، به چندین زیرگروه مختلف تقسیم‌بندی نمود که این امر در شکل ۱ نشان داده شده است (۵و۱۱).

بطور کلی مواد ژئوسنتیک قابلیت‌های تسلیح یا مسلح سازی، جداسازی، تصفیه و زهکشی را دارا بوده و در بسیاری از موارد، ممکن است بگونه‌ای طراحی و انتخاب گردند که ترکیبی از این وظایف را انجام دهند (۷،۸،۹، ۱۰و۱۱). جدول شماره ۱ اهمیت نسبی وظایف اصلی ژئوتکستایلها را در کاربردهای گوناگون این مواد نشان می‌دهد (۵و۱۱).

خصوصیات یک ژئوسنتیک تابع نوع پلیمری است که از



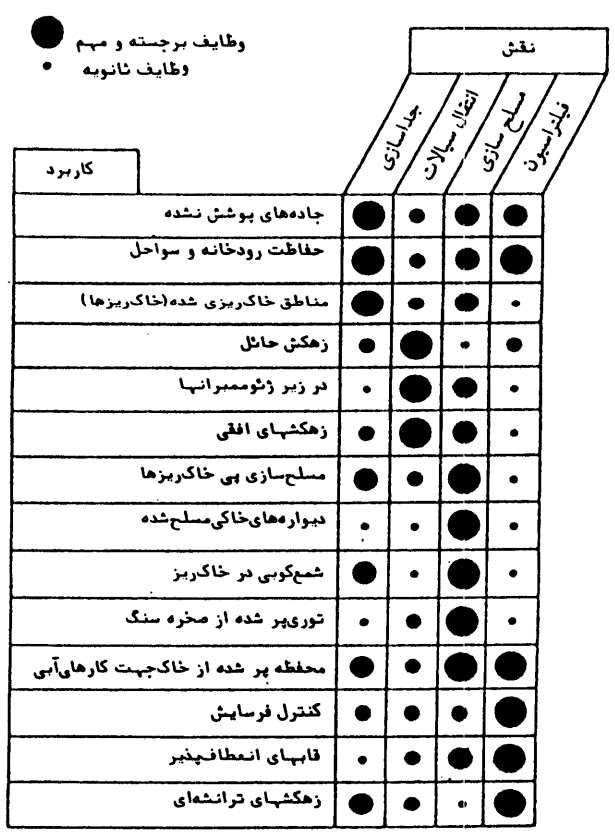
شکل ۱ - طبقه بندی ژئوتکستایلها (۵ و ۱۱)

آن ساخته شده و فرآیند تولیدی است که شکل فیزیکی نهایی ژئوسنتیک را تعیین می‌نماید. بیشترین پلی‌مرهای مورد استفاده، پلی‌مرهای مصنوعی می‌باشند که از نفت خام مشتق شده‌اند. مهمترین آنها پلی‌پروپیلن است که در حدود ۶۵ درصد تمامی ژئوتکستایلها با استفاده از آن تولید می‌شود، سپس پلی‌استر به میزان ۳۰ درصد، و در مراتب بعدی پلی‌اتیلن و پلی آمید هر یک با میزان حدوداً یک درصد قراردارند (۹).

طبقه بندی خصوصیات اصلی ژئوسنتیکها

خصوصیات ژئوسنتیکها همانند هر ماده دیگری که در فعالیتهای مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به مواد بکار برده شده در تولید آنها، چگونگی ساخت و شکل فیزیکی محصول نهایی بستگی دارد. طبقه بندیهای متفاوتی برای ویژگیهای فنی این مواد ارائه گردیده، لیکن خصوصیات اصلی آنها را می‌توان تحت سه گروه به شرح زیر تقسیم‌بندی نمود:

- خصوصیات فیزیکی: وزن مخصوص، وزن (جرم) واحد سطح، ضخامت، انعطاف پذیری.
- خصوصیات مکانیکی : دوام، مقاومت کششی، مقاومت به سوراخ شدگی و شکافتگی، مقاومت به گسیختگی و خصوصیات اصطکاکی.
- خصوصیات هیدرولیکی: اندازه خلل و فرج، نفوذپذیری، قابلیت



جدول ۱ - اهمیت نسبی وظایف اصلی ژئوتکستایل ها در کاربردها- گوناگون (۱)

انتقال.

از روی این خصوصیات و با توجه به شرایط و محل استفاده ، می‌توان نوع ژئوتکستایل مناسب را جهت هر فعالیت مهندسی معین انتخاب نمود.

توسعه و تکامل ژئوتکستایلها

مسلح سازی از ابتدایی‌ترین موارد کاربردی موادی است که نیای ژئوتکستایلهای مدرن امروزی بحساب می‌آیند. در حدود پنج هزار سال پیش از میلاد، خاک متراکم شده و مسلح گردیده با قطعات نی جهت ساخت اماکن مسکونی درفلات ایران و ساخت عبادتگاههایی همچون برج بابل در هزاره اول پیش از میلاد مورد استفاده قرار می‌گرفت (۹). سپس کاربرد بوریاهای بافته شده از نی در ایتالیا و دسته‌های چوب استوانه‌ای و نیز صفحات کرباس درهلند، انگلستان و امریکا جهت تقویت خاکریزهای کناری رودخانه‌ها و جاده‌ها ابداع گردید (۹و۱۱).

استفاده از اولین نسل ژئوتکستایلهای پلی‌مری از اواخر دهه پنجاه میلادی و هنگامی آغاز شد که از آنها بعنوان فیلترهای جدید و بجای فیلترهای شن و ماسه‌ای مرسوم استفاده گردید. سپس آگرشو (۱۹۶۱) و بارت (۱۹۶۶) ویژگیهای اساسی آنها نظیر نفوذپذیری مناسب فیلتر، نسبت سطح روزنه و نیاز به خلل و فرج کوچک جهت اطمینان به ممانعت از عبور ذرات ریز خاک را تعیین نمودند. بعلاوه درهلند از سال ۱۹۵۶ کاربرد الیاف مصنوعی پهن دست بافته ساخته شده از نوارهای نایلونی در کارهای دلتایی متداول گردید (۹و۱۱).

دوره شکوفایی استفاده از این مواد از اواخردهه ۶۰ میلادی آغاز شده و روند استفاده از ژئوتکستایلهای بافته بصورت پوشش فیلتری و انواع نبافته در کاربردهای جداسازی ، تقویت و مسلح سازی جاده‌ها، خطوط آهن، فرودگاهها، دیواره‌های ساحلی، سدها و ... سیری صعودی را طی نموده‌است. امروزه در احداث سازه‌های مختلف و بویژه سازه‌های هیدرولیکی از ژئوتکستایلها بمیزان قابل ملاحظه‌ای استفاده می‌شود و این امر خصوصاً در ۳۰ سال اخیر روند سریع و روبه رشدی را بخود گرفته است (۹و۱۱).

مواد و روشها

مراحل اصلی تحقیق حاضر را میتوان در چهار بخش، بشرح زیر خلاصه نمود :

I- بررسی خصوصیات زهکشی لوله ژئوتکستایل در مقایسه با لولهٔ زهکش رایج در مدلهای آزمایشگاهی. در این بخش، آبدهی لوله‌های مذکور بصورت همزمان در عمق خاک، همچنین وضعیت مقاومت ورودی آب به لوله‌ها و نیز تغییر شکل لوله ژئوتکستایل در زیر بار خاک و میزان رسوبات ورودی به لوله‌ها در مدلهای مربوطه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است .

II- بررسی خصوصیاتی از قبیل قدرت تصفیه، آبگذری مجموعه خاک - ژئوتکستایل، میزان گرفتگی و انسداد روزنه‌های ژئوتکستایل تحت شرایط جریان یکبعدی ، در دستگاه نفوذسنج و در شرایط توصیه شده استاندارد.

III - بررسی میزان تغییر شکل پذیری لوله ژئوتکستایل در عمق ترانشه‌های زهکشی حفر شده واقعی در شرایط مزرعه (علاوه بر نتایج مشاهدات در مرحله اول).

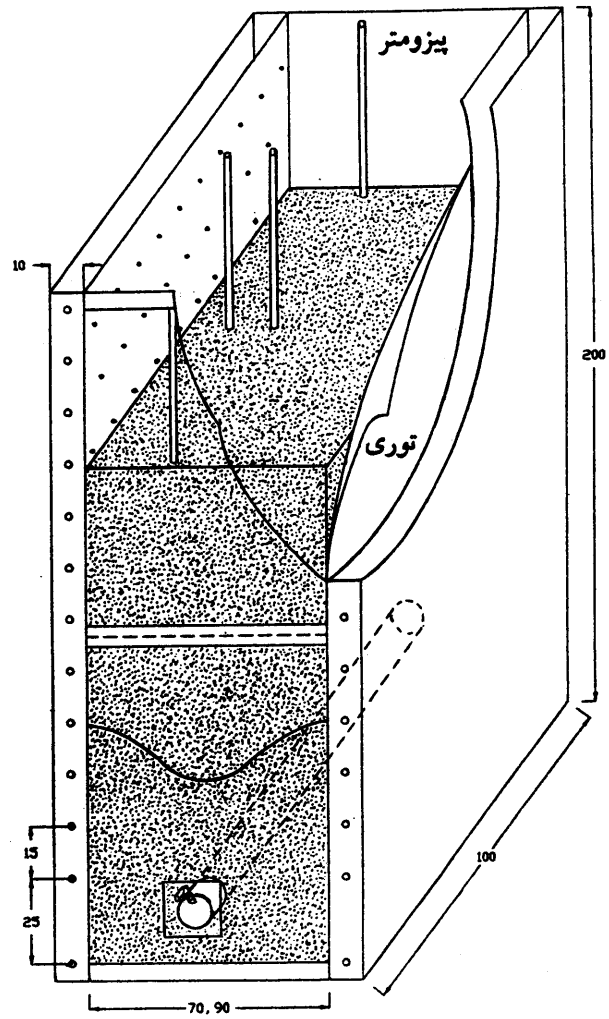
IV- تعیین خصوصیاتی از قبیل وزن مخصوص ، وزن واحد سطح ، ضخامت، اندازه ظاهری خلل و فرج و ... که بر اساس معیارها و توصیه‌های موجود در استانداردهای مربوطه صورت می‌پذیرد.

مدل آزمایشگاهی

برای شبیه سازی ترانشه های زهکشی ، دو مخزن خاک و آب با دیواره‌های جانبی دو جداره بگونه‌ای ساخته شد که در ابعاد واقعی، بخشی از یک ترانشه زهکشی و لوله و فیلتر نصب شده در آنرا بازسازی نمایند. مدلهای مذکور بگونه‌ای طراحی گردیده‌اند که شرایط مرزی جهت هر دو نوع لوله زهکش (لوله ژئوتکستایل و لوله زهکش رایج از جنس PVC به همراه فیلتر شنی آن) تا حد امکان همانند یکدیگر باشد.

مصالح مورد استفاده در ساخت مدل، ورق سفید گالوانیزه با ضخامت ۲/۵ میلی‌متر می‌باشد و دیواره جلویی هر دو مخزن (جهت قابل رویت بودن درون آنها) از جنس شیشه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر ساخته شده‌است. جزئیات بیشتر مدل در شکل ۲ نشان داده شده است.

مخزن ساخته شده جهت آزمایش لوله ژئوتکستایل دارای ارتفاع ۲ متر، طول یک متر و عرض بیرونی ۹۰ سانتی‌متر بوده و دیواره‌های جانبی آن بصورت دو جداره طراحی گردیده‌است. سطح ایستابی در این قسمتهای دو جداره کنترل شده و آب از طریق روزنه‌هایی که در فواصل ۱۰×۱۰ سانتی‌متر و با قطر ۴ میلی‌متر در



شکل ۲ - جزئیات مدل آزمایشگاهی (ابعاد به سانتیمتر است)

دیواره مخزن تعبیه شده‌اند، از هر دو طرف بداخل خاک جریان می‌یابد که شرایطی شبیه به شرایط جریان آب در داخل زمین بطرف لوله‌های زهکش را بازسازی می‌نماید. باتوجه به وجود بخش دو جداره، عملاً عرض قسمتی از مدل که با خاک پر می‌شود برابر ۷۰ سانتی‌متر است که شبیه به شرایط حفرترانشه زهکشی با استفاده از بیل مکانیکی (توسط باکت ۶۰ سانتی‌متری) می‌باشد. بنابراین در هر طرف لوله (که قطری در حدود ۱۰ سانتی‌متر را داراست) حدوداً ۳۰ سانتی‌متر خاک تا دیواره داخلی مخزن قرار دارد. جهت امکان برقراری جریانات شعاعی، محور لوله زهکش در فاصله ۲۵ سانتی‌متر از کف مخزن قرار داده شد و با شیب یک درصد بطرف انتهای مخزن امتداد یافت. ورود آب بداخل بخش دوجداره از طریق شیرهای موجود در پائین‌ترین قسمت آن امکانپذیر بوده و با ورود آب از این نقطه و افزایش تدریجی عمق آن، عملاً امکان اشباع هر چه بهتر خاک از پائین بطرف بالا و خروج حبابهای محبوس هوا فراهم می‌گردد. بعلاوه در دیواره جلویی بخش دو جداره، سرریزهایی به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر نصب گردید که امکان کنترل سطح ایستابی را در ارتفاع دلخواه ممکن می‌سازد. ویژگیهای مخزن ساخته شده جهت آزمایش لوله‌های زهکش رایج نیز همانند لوله‌های زهکش ژئوتکستایل است، با این تفاوت که چون ضخامت لایه فیلتر شن و ماسه‌ای عملاً جزء قطر مؤثر لوله زهکش به حساب می‌آید، جهت یکسان بودن شرایط مرزی و قرارگرفتن ۳۰ سانتی‌متر خاک مابین لوله (وفیلتر) و جداره داخلی بخش دو جداره، عرض مدل بزرگتر و برابر ۱۱۰ سانتیمتر و عرض بخش داخلی حاوی خاک برابر ۹۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و از یک لوله PVC به قطر ۱۰ سانتیمتر، بعنوان لوله زهکش استفاده گردید.

با در نظر گرفتن طول کوتاه لوله زهکش در مخازن (۱۰۰سانتیمتر) طبیعتاً آب در آنها با عمق کمی جریان می‌یابد، به همین دلیل و جهت باز سازی شرایط زهکشهای فرعی موجود در مزرعه که گاهاً دارای طولی تا حدود ۵۰۰ متر بوده (۶) و در قسمت اعظم طول خود دارای جریانی از آب در تمام مقطع لوله و بدون وجود سطح آزاد می‌باشند، تمهیداتی بعمل آمد. برای این منظور لوله‌ای از جنس PVC در خروجی دستگاه نصب گردید، سپس جهت ایجاد جریان پر در لوله، صفحه‌ای از جنس طلق شفاف، عمود بر دهانه خروجی لوله نصب و سرریزی از جنس لوله پلاستیک شفاف به قطر ۲ سانتی‌متر، بر روی آن قرار داده شد. حداکثر ارتفاع سرریز بگونه‌ای تنظیم گردید که انتهای لوله زهکش، واقع در دیواره عقبی مخزن و در درون خاک بحالت مستغرق درآید.

در اجرای آزمایشهای زهکشی، انتخاب نوع خاک از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و بطور مستقیم بر نتایج حاصله اثر می‌گذارد. چون یکی از خصوصیات مهم مورد بررسی، قدرت تصفیه لوله‌های زهکش ژئوتکستایل است (عمل نمودن آن بعنوان‌لوله و فیلتر)، بنابراین خاکهای مورد نظر بگونه‌ای انتخاب گردیدند که بر اساس معیارها و استانداردهای موجود، الزاماً به فیلتر زهکشی نیاز داشته باشند. نهایتاً دو نوع خاک جهت اجرای تحقیق بکار گرفته شد که برای هر دو آنها (بر اساس ضوابط USBR) نیاز به تعبیه فیلتر بوده و معرف انواع بافتهای مورد نظر نیز می‌باشند. بعلاوه سعی بر آن بوده‌است تا شرایطی تقریباً یکسان از کلیه جهات (از نظر دما، نوع

آب ورودی، نحوه پر شدن مخازن از خاک، زمان اندازه‌گیری و ...) برای هر دو نوع لولهٔ زهکش برقرار شود تا امکان مقایسه عملکرد آنها فراهم گردد.

برای پر نمودن مدلها ابتدا خاک مورد نظر جهت انجام آزمایشها، به مقدار لازم و از عمق تقریبی نصب زهکشها (حدوداً عمق ۱/۲ تا ۱/۸ متری از سطح زمین) برداشت شده و به آزمایشگاه تحقیقاتی محل اجرای طرح منتقل گردید. برداشت خاک از این عمق جهت حصول اطمینان از عدم وجود مواد آلی صورت گرفته است (در صورت وجود مواد آلی خطر انسداد بیولوژیکی لوله‌ها وجود دارد). پس از جداکردن ذرات درشت با استفاده از الک نمره ۴، خاک خشک در لایه‌هایی به ضخامت ۵ تا ۱۰ سانتیمتر در مدل ریخته شده و تا حدودی متراکم گردید. پر نمودن مدلها با خاک تا ارتفاع ۱۵۰ سانتی‌متر از کف ادامه یافت و پیزومترهایی نیز در تراز لوله زهکش، جهت بررسی وضعیت پروفیل سطح آب در خاک نصب گردید.

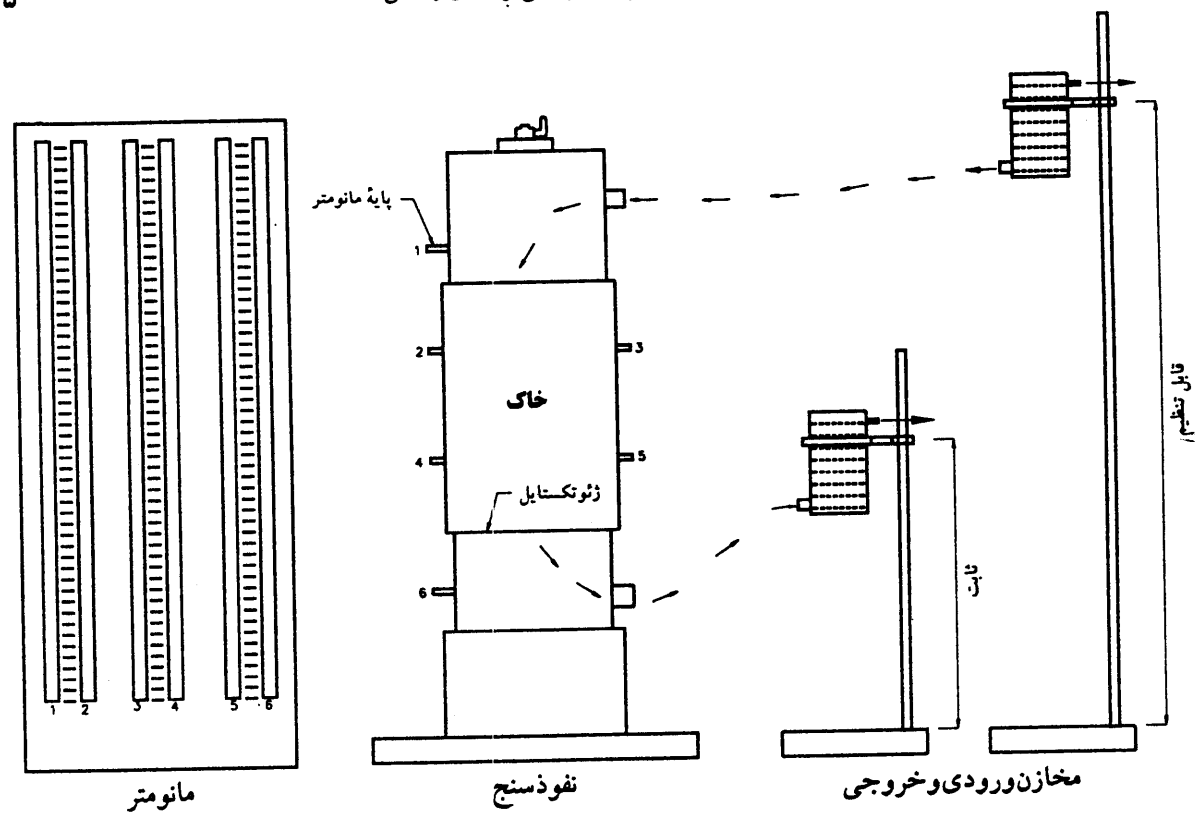
نفوذسنج

نفوذ سنج دستگاهی است که جهت تعیین نفوذپذیری یک مجموعه خاک - ژئوتکستایل و نیز پتانسیل گرفتگی معدنی ژئوتکستایل تحت شرایط جریان یکبعدی، بکار برده میشود. پتانسیل گرفتگی عبارت است از استعداد یک ورقه ژئوتکستایل معین به کاهش نفوذپذیری در نتیجه مسدود شدن روزنه‌های آن توسط ذرات خاک و یا تشکیل یک لایه محدودکننده جریان بر سطح آن (۱۴). هدف از ساخت و بکارگیری دستگاه نفوذ سنج در این تحقیق بررسی پدیده‌هایی است که در سطح ژئوتکستایل در ارتباط با خاک بوقوع پیوسته، و با برقراری ارتباط مناسب بین ترکیب خاک - ژئوتکستایل، میتوان خطر انسداد را در شرایط موجود (درصورت بکارگیری ژئوتکستایل در شرایط مزرعه‌ای) پیش‌بینی نمود.

نفوذ سنج مورد استفاده در این تحقیق، از ورق پلکسی گلاس با ضخامت ۵ میلی‌متر ساخته شده و متشکل از بدنه اصلی و پایه‌ای با سطح مقطع دایره‌ای شکل و قطر داخلی ۱۰۰ میلی‌متر است. برای ته‌نشینی ذرات خاک عبوری از نمونه ژئوتکستایل، پایه دستگاه که علاوه بر نگهداری مجموعه به عنوان مخزن ته‌نشینی رسوبات نیز عمل می‌نماید، ارتفاعی در حدود ۲۲۰ میلی‌متر را دارا می‌باشد. در حد فاصل پایه و بخش اصلی دستگاه، یک ورقه توری فولادی با روزنه‌هایی به قطر ۴/۷۶ میلی‌متر (مش نمره ۴) قرار دارد که نمونهٔ ژئوتکستایل دایره‌ای شکل بر آن نصب و بعنوان نگه‌دارندهٔ ژئوتکستایل و خاک روی آن عمل می‌نماید. در فاصلهٔ ۴۲ میلی‌متری در زیر این توری و بر روی پایه، پیزومتری نصب شده و خروجی جریان آب نیز در مقابل آن و در فاصلهٔ ۶۲ میلی‌متری زیر توری مذکور قرار میگیرد. اجزاء بدنهٔ اصلی نفوذ سنج عبارتند از پیزومترهایی که بصورت زوج و در مقابل هم در فواصل ۲۵ و ۷۵ میلی‌متری از کف قسمت اصلی (توری فولادی) واقع شده‌اند. بعلاوهٔ یک پیزومتر دیگر که در فاصلهٔ ۱۴۳ میلی‌متری آن قرار گرفته و بر خلاف پیزومترهای قبلی، خارج از خاک و در بالای آن نصب میگردد. ورودی جریان در قسمت بالای این بخش و در ارتفاع ۱۶۲ میلی‌متر از نمونه ژئوتکستایل واقع شده است. در فوقانی‌ترین بخش دستگاه نیز یک شیریا روزنهٔ تخلیه هوا وجود دارد که در حین عملیات اشباع و راه اندازی، مورد استفاده قرار میگیرد و دو حلقهٔ سرتاسری در جدارهٔ داخلی دستگاه بحالت افقی بعنوان موانعی جهت جلوگیری از آب شستگی خاک و به فواصل ۳۰ و ۸۰ میلی‌متر از توری کف قرار گرفته‌اند. علاوه بر موارد فوق، دو مخزن با سرریزهای کنترل کننده سطح آب موجود است که یکی از آنها بعنوان ورودی جریان با ارتفاع سطح ایستابی ثابت عمل نموده و دیگری نیز با همین ابعاد بعنوان خروجی جریان عمل می‌کند. (شکل ۳) جزئیات دستگاه نفوذ سنج را نشان می‌دهد.

جهت پر نمودن دستگاه، خاک آماده شده مطابق استاندارد بصورت لایه لایه و بدون اجرای عملیات تراکمی خاصی در آن ریخته می‌شود و باید دقت نمود که حتی المقدور فضای خالی در محل پیزومترها و نیز حلقه‌های جلوگیری کننده از آب شستگی باقی نماند.

برای اشباع نمودن مجموعه خاک - ژئوتکستایل و خروج مؤثر هوای محبوس در خاک، ابتدا از مخزن خروجی بعنوان منبع تأمین آب استفاده شده و اشباع کردن از بخش تحتانی نمونه صورت می‌پذیرد. نحوه عمل بدین صورت است که در تناوبهای نیم الی یک ساعته، مخزن مذکور (دارای سطح آب ثابت تا سرریز خروجی) باندازه ۲۵ میلی‌متر بالا آورده می‌شود و این عمل تا هنگامی ادامه می‌یابد که ارتفاع سطح آب به حدود ۵۰ میلی‌متر بالاتر از سطح



شکل ۳ - دستگاه نفوذ سنج و ضمائم آن

فوقانی خاک برسد، سپس دستگاه به مدت ۲۴ ساعت به حال خود باقی گذاشته شده و پس از آن آزمایش شروع می‌گردد. آزمایش در گرادیانهای هیدرولیکی ۱ ، ۲/۵ ، ۵ ، ۷/۵ و ۱۰ صورت پذیرفته و پارامترهایی نظیر دبی خروجی ، دمای آب و قرائت مانومترها درزمانهای : صفر، $\frac{1}{2}$ ، ۱ ، ۲، ۴ ، ۶ و ۲۴ ساعت اندازه‌گیری می‌شود.

بررسی تغییر شکل پذیری لوله زهکش

لوله‌های زهکش انعطاف‌پذیر از نظر مقاومت به تغییر شکل پذیری، متکی به دیواره‌های جانبی خود می‌باشند و بنابراین علاوه بر سختی لوله، سختی مواد خاکی موجود در اطراف که لوله به آنها اتکا می‌نماید نیز در این امر مؤثر است (۹، ۱۰، ۱۲و۱۳). چون لولهٔ زهکش تحت تأثیر بارهای قائم قرار دارد، لذا همواره در جهت قائم کاهش قطر داده و بر قطر افقی آن افزوده میگردد. بنابراین ویژگیهای بستر نصب لوله زهکش نیز از موارد مهم و قابل توجه است که به عرض ترانشه و نحوهٔ پر نمودن آن با خاک بستگی خواهد داشت.

جهت بررسی میزان تغییر شکل بوجود آمده در لوله ژئوتکستایل، از روش مشاهده مستقیم لوله پس از پایان هر مرحله آزمایش استفاده گردید. بدین صورت که با اتمام هر مرحله و قطع جریان ورودی ، به مدلها اجازه داده شد که بصورت کامل زهکشی گردیده و در ادامه با برداشتن درپوش شفاف نصب شده بعنوان سرریز در قسمت خروجی لوله زهکش ، در فواصل ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر (با شروع از قسمت انتهایی لوله) و در حالی که هنوز لوله در زیر بار خاک قرار دارد، با استفاده از قطعات سیم نرم و تنظیم طول آن و سپس کنترل میزان درگیری با دیواره‌های فوقانی و تحتانی لوله زهکش ، حدود قطر آن تعیین و درصد تغییر شکل در هر مقطع (بویژه در مقاطع بحرانی) بصورت نسبت کاهش قطر لوله در انتهای آزمایش به قطر اولیه آن محاسبه گردید.

بمنظور انطباق هر چه بیشتر با شرایط واقعی نصب لولهٔ زهکش، بوسیله بیل مکانیکی دو ترانشه به طول ۳ متر و عرض ۷۰ سانتی‌متر در مزرعه با خاک SM-SC (ماسه سیلتی)، بانضمام دو اتاقک بازرسی به ابعاد ۲×۲ متر در طرفین هر یک حفر گردید. سپس لولهٔ زهکش ژئوتکستایل، بطول ۳ متر و در عمق ۲ متری از سطح خاک قرار داده شد و توسط دیواره‌هایی چوبی، دهانهٔ ترانشه‌ها (حدفاصل ترانشه و اتاقک بازرسی) مسدود گردید و ترانشه‌ها (پس از لوله گذاری) با خاک پر شد. برای جلوگیری از تغییر شکل موضعی لوله ناشی از قرار گرفتن ذرات بزرگ در مجاورت آن، اطراف لوله با

استفاده از خاک الک شده بگونه‌ای پر گردید که ذرات با قطر کمتر از یک سانتی‌متر در مجاورت آن قرار داشته باشند. با گذشت حدوداً ۲ ماه از زمان لوله‌گذاری، هر یک از لوله‌ها در وضعیت موجود و جهت حفظ تغییر شکل بوجود آمده توسط دو غاب گچ کاملاً پر شده و با خارج نمودن آنها از زیر خاک، میزان تغییر شکل حاصله مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تعیین خصوصیات ژئوتکستایلها

بررسی و تعیین خصوصیاتی از قبیل : اندازه ظاهری روزنه، وزن واحد سطح و ضخامت ژئوتکستایل مورد استفاده، در مراحل بعد و به روشهای توصیه شده در استانداردهای موجود (خصوصاً استاندارد ASTM) صورت پذیرفته که نتایج آن در بخش ارائه نتایج آمده‌است.

نتایج

آزمایش‌های شناسایی خاکها

به منظور تعیین بافت و چگونگی توزیع ذرات برحسب قطر در نمونه‌های مورد بررسی، آزمایش دانه‌بندی به روش مکانیکی و هیدرومتری انجام گرفت و نهایتاً منحنی دانه‌بندی نمونه‌ها مطابق شکل ۴ رسم گردید. بررسی منحنی دانه‌بندی نشان میدهد که هر دو نوع خاک مورد استفاده از ذرات رس، سیلت و ماسه برخوردار می‌باشند، با این تفاوت که درصد غالب در نمونه اول سیلت و در نمونه دوم ماسه می‌باشد.

جهت تعیین کیفیت ذرات ریزدانه (رس) نمونه‌های خاک و همچنین خواص خمیرایی آنها، آزمایش تعیین حدود آتربرگ (حدود روانی، خمیری و انقباض)انجام پذیرفت. جدول شماره ۲ نتایج حاصله را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده از آزمایشهای دانه‌بندی و تعیین حدود آتربرگ و براساس سیستم یونیفاید، نمونه‌های خاک طبقه بندی گردیدند. نمونه اول از نوع CL - ML (مخلوط سیلت و رس با پلاستیسیته پائین، رس سیلتی) و نمونه دوم از نوع SM- SC (ماسه رسی سیلتی، ماسه سیلتی)می‌باشد.

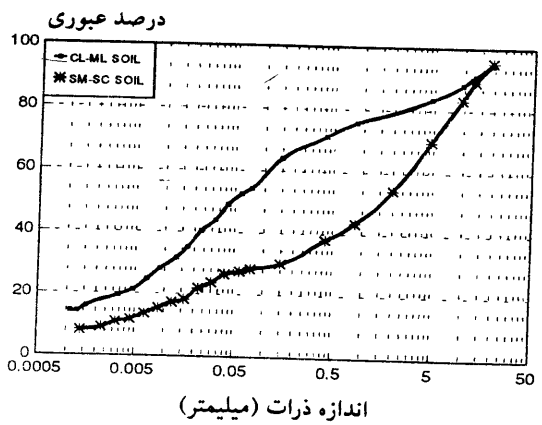
جهت کسب اطلاعات دقیق‌تر از خصوصیات نمونه‌های خاک مورد استفاده، مشخصات تراکمی (رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم)نمونه‌ها با انجام آزمایش تراکم تعیین گردید. شکل شماره ۵ منحنی تراکم نمونه‌ها را نشان می‌دهد. مطابق شکل مذکور، مقادیر رطوبت بهینه و دانسیته خشک ماکزیمم خاک CL-ML به ترتیب ۱۴/۲ درصد و ۱/۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب و برای نمونه خاک SM-SC به ترتیب ۱۱/۲ درصد و ۲/۰۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمده‌است.

تجزیه شیمیایی نمونه‌های خاک و آب

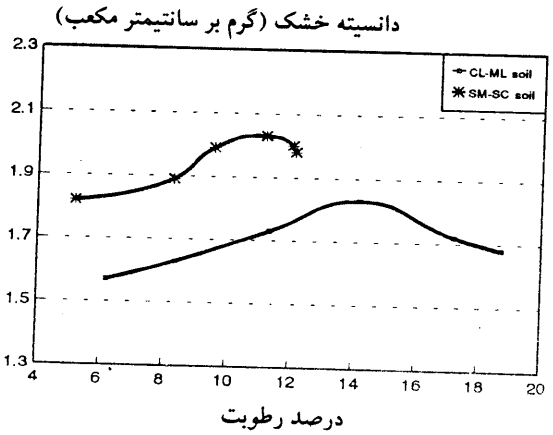
کیفیت شیمیایی خاک و آب یا بعبارت دیگر میزان و نوع آنیونها، کاتیونها و مواد آلی موجود، از جمله عواملی است که بر طول عمر و نحوه عملکرد سیستمها و مصالح زهکشی اثر می‌گذارند.بنابراین نمونه‌هایی از خاک و آب مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند که نتایج حاصله در جدول شماره ۳ آمده است .

نتایج حاصل از آزمایش زهکش‌ها در مدل آزمایشگاهی

همانطور که اشاره شد دو نوع لوله زهکش مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از لوله ژئوتکستایل و لوله زهکش از جنس PVC



شکل ۴ - منحنی دانه بندی نمونه های خاک مورد بررسی



شکل ۵ - مشخصات تراکمی نمونه های خاک مورد بررسی

جدول ۲ - حدود آتربرگ نمونه‌های خاک

حدودآتربرگ / نمونه خاک	حد روانی ٪	حدخمیری ٪	دامنه خمیری ٪	حدانقباض ٪
رس سیلتی (CL-ML)	۲۴/۵	۱۸/۵	۶	۱۴/۵
ماسه سیلتی (SM-SC)	۲۳/۱	۱۶/۴	۶/۷	۱۶/۵

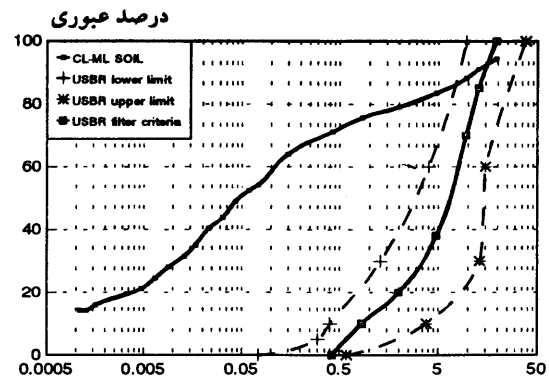
جدول ۳ - نتایج آزمایشهای تجزیه شیمیایی خاکهای مورد بررسی و آب مصرفی

مشخصات شیمیایی	اسیدیته	هدایت الکتریکی	درصد اشباع	طبقه‌بندی خاک	آنیونها meq/lit				کاتیونها meq/lit		
	pH	$EC\times10^3$	SP		So_4^{-2}	Co_3^{-2}	Cl^-	HCo_3^-	Na^+	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$	k^+
خاک‌رس سیلتی	۸	۲/۹	۳۳	CL-ML	۲۵	۰	۲/۸	۱/۲	۷	۲۶	-
خاک‌ماسه‌سیلتی	۷/۹	۱/۱۱	۲۷	SM-SC	۲۱	۰	۲/۵	۱/۷	۸	۲۳	-
آب کرج	۷/۸	۱/۷۲	-	-	۱۴/۶	۰	۱۲/۰	۸/۸	۱۲/۸	۱۰/۰	-

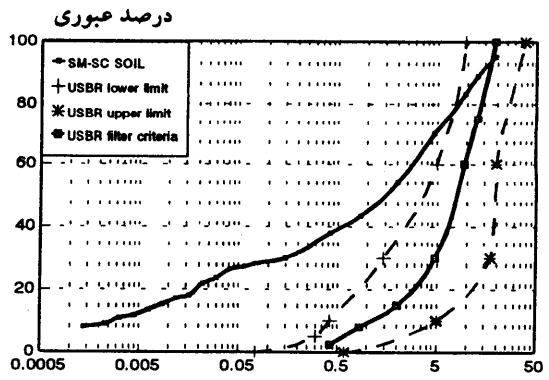
صاف. لوله ژئوتکستایل دارای روزنه‌هایی با قطر متوسط حدوداً ۰/۱۰۵ میلی‌متر می‌باشد که در سرتاسر لوله پراکنده است. برای لوله زهکش PVC، بعلت عدم دسترسی به لوله موجدار با قطر ۱۰ سانتی‌متر (معادل قطر تقریبی لوله ژئوتکستایل)، از لوله‌های PVC صاف و با ایجاد سوراخهایی با اندازه مورد نظر استفاده شده است.

طراحی فیلتر شن و ماسه‌ای برای لوله زهکش رایج مطابق روش USBR - 1978 انجام گرفت. جهت طراحی فیلتر، ابتدا d_{60} خاکهای مورد استفاده از روی منحنی دانه بندی تعیین گردیده و سپس براساس جدول ویژه‌ای، محدوده بالا و پائین اندازه ذرات تشکیل دهنده فیلتر مشخص شد. با در نظر گرفتن متوسط این حدود در چند نقطه، ذرات شن و ماسه که از قبل با استفاده از الک از یکدیگر تفکیک گردیده بودند و در این محدوده قرار داشتند، با نسبت مشخص با یکدیگر ترکیب و بعنوان فیلتر مورد استفاده قرار گرفت. شکلهای شماره ۶ و ۷ منحنی دانه‌بندی خاکهای مورد استفاده در آزمایش به همراه فیلتر طراحی شده را نشان می‌دهند.

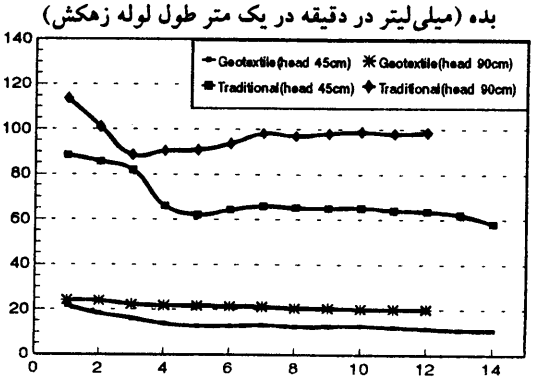
جهت بررسی میزان آبدهی لوله زهکش ژئوتکستایل در مقایسه با لوله زهکش رایج، سطح ایستابی در بخش دوجداره و در هر یک از خاکهای مورد آزمایش، ابتدا در ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر از محور لوله زهکش (در هر دو مخزن) ثابت گردید و آزمایش تا زمانی ادامه یافت که دبی خروجی اندازه‌گیری شده مخازن در چندین روز متوالی (حداقل ۳ تا ۵ روز) تقریباً ثابت بماند. سپس ارتفاع سطح ایستابی از محور لوله به ۹۰ سانتی‌متر افزایش داده شد و مراحل فوق مجدداً تکرار گردید. نتایج حاصله در شکلهای شماره ۸ و ۹ نشان داده شده‌است. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری دبی بصورت روزانه و با یک تناوب ۲۴ ساعته (قرائت هر روزه در زمانی معین) صورت پذیرفته و برمبنای اندازه‌گیری دمای آب خروجی، نتایج برای دمای استاندارد $20^\circ C$ تصحیح شده است. مطابق شکل ۸ برای خاک CL-ML، دبی خروجی از لوله ژئوتکستایل (ارتفاع سطح ایستابی ۴۵ سانتی‌متر از محور لوله در بخش دوجداره و متوسط ۳ روز پایانی آزمایش) معادل ۱۱/۲ میلی‌لیتر در دقیقه در متر طول لوله و در همین شرایط برای لوله رایج برابر ۶۱/۲ میلی‌لیتر در دقیقه در متر طول لوله می‌باشد که حدوداً ۵/۵ برابر لوله ژئوتکستایل است.



شکل ٦ ـ منحنی دانه بندی خاک و فیلتر برای لوله زهکش رایج در خاک CL-ML



شکل ۷ ـ منحنی دانه بندی خاک و فیلتر برای لوله زهکش رایج در خاک SM-SC



شکل ۸ ـ دبی لوله های زهکش ژئوتکستایل و رایج در سطوح ایستابی مختلف (خاک CL-ML)

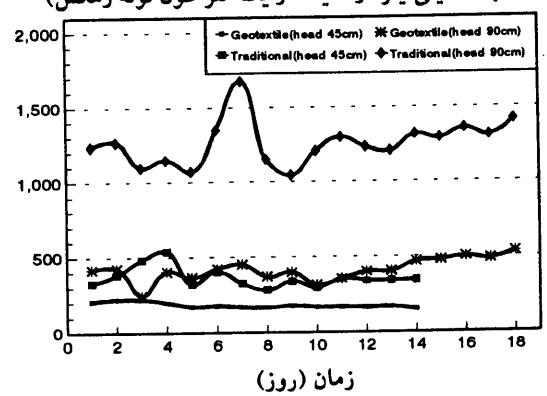
باافزایش ارتفاع سطح ایستابی به ۹۰ سانتی‌متر، دبی لوله ژئوتکستایل به ۲۰/۱ میلی‌لیتر در دقیقه در یک متر طول لوله افزایش یافته و دبی لوله رایج برابر با ۹۸/۵ میلی‌لیتر در دقیقه در متر طول لوله می‌گردد که ۴/۹ برابر دبی لوله ژئوتکستایل است. مطابق شکل ۹ برای خاک SM-SC ، دبی خروجی لوله ژئوتکستایل در سطح ایستابی ۴۵ سانتی‌متر از محور لوله بطور متوسط برابر ۱۵۹/۴ میلی‌لیتر در دقیقه در متر طول لوله و در همین شرایط برای لوله رایج برابر ۳۴۱/۱ میلی‌لیتر در دقیقه در متر طول است که حدوداً ۲/۱ برابر لوله ژئوتکستایل می‌باشد. در سطح ایستابی ۹۰ سانتی‌متر، دبی لوله ژئوتکستایل به ۴۸۵/۴ میلی‌لیتر در دقیقه در متر طول لوله افزایش یافته و دبی لوله رایج به ۱۳۱٦/۹ میلی‌لیتر در دقیقه در متر طول لوله بالغ می‌گردد که ۲/۷ برابر دبی لوله ژئوتکستایل است.

بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که در خاکهای سنگین، فیلترهای شن و ماسه‌ای بهتر از ژئوتکستایل عمل می‌نمایند و زهکشی توسط لوله ژئوتکستایل با شدت بسیار کمتری صورت می‌پذیرد. حال آنکه در خاک ماسه‌ای ، این اختلاف کمتر است و لوله ژئوتکستایل عملکرد بهتری از نظر آبدهی دارد. بعلاوه خاکهای سنگین بشدت بر میزان دبی زهکشی شده اثر گذاشته و بعلت نفوذپذیری کمتر، آنرا محدود می‌نمایند(پائین بودن دبی زهکشی شده نسبت به خاک ماسه‌ای در هر دو نوع لوله).

شکلهای شماره ۱۰ و ۱۱ خیز سطح آب (پروفیل ارتفاع پیزومتریک) را از محور لوله و در جهت عرض مخازن مدل نشان می‌دهند. شکل شماره ۱۰ مربوط به ارتفاع سطح ایستابی ۴۵ سانتی‌متر از محور لوله در هر دو نوع خاک و در هر دو نوع لوله است. مطابق شکل مذکور در خاک CL-ML خیز سطح ایستابی از محور لوله ژئوتکستایل و در انتهای آزمایش (در وسط طول لوله و در مجاورت آن) برابر با ۱۹/۱ سانتی‌متر است در حالی که در همین شرایط برای لوله رایج برابر با ۱۱/۲ سانتی‌متر می‌باشد که دلالت بر مقاومت بالاتر لوله زهکش ژئوتکستایل به ورود جریان دارد. در خاک SM-SC این اعداد بترتیب در لوله ژئوتکستایل برابر ۲۹/۲ سانتی‌متر و در لوله رایج ۱۷/۵ سانتی‌متر است.

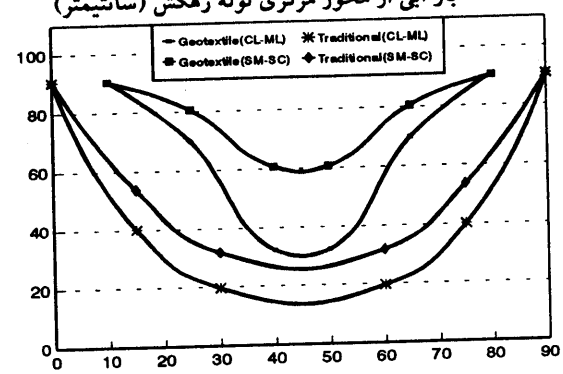
شکل ۱۱ همین شرایط را در ارتفاع سطح ایستابی ۹۰ سانتی‌متر از محور لوله و در هر دو مخزن مدل نشان می‌دهد. در خاک CL-ML خیز سطح آب از محور لوله ژئوتکستایل در انتهای

بده (میلی‌لیتر در دقیقه در یک متر طول لوله زهکش)



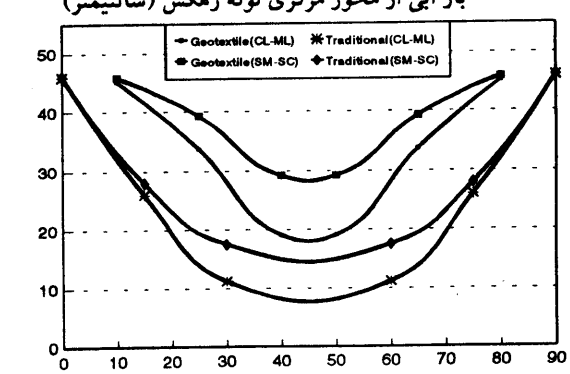
شکل ۹ - دبی لوله های زهکش ژئوتکستایل و رایج در سطوح ایستابی مختلف (خاک SM-SC)

بار آبی از محور مرکزی لوله زهکش (سانتیمتر)



شکل ۱۰ - خیز سطح ایستابی از محور لوله های زهکش (ارتفاع ۴۵ سانتیمتر در بخش دو جداره)

بار آبی از محور مرکزی لوله زهکش (سانتیمتر)



شکل ۱۱ - خیز سطح ایستابی از محور لوله های زهکش (ارتفاع ۹۰ سانتیمتر در بخش دو جداره)

آزمایش ۳۲/۴ سانتی‌متر و برای لوله رایج ۱۹/۷ سانتی‌متر است. در خاک SM-SC این اعداد بترتیب ۶۰/۷ سانتی‌متر و ۳۱/۸ سانتی‌متر می‌باشد. بعلاوه خیز سطح آب در مجاورت لوله ژئوتکستایل در هر دو خاک حدود ۱/۷ تا ۱/۹ برابر لوله زهکش رایج است. براساس مشاهدات انجام شده در تمامی مراحل آزمایش سطح ایستابی در ابتدا خیز کمتری داشته و بتدریج با گذشت زمان و نزدیک شدن به انتهای آزمایشها اندکی برخیز آن افزوده می‌شود که این امر بر افزایش مقاومت ورودی براثر گذشت زمان دلالت می‌کند.

مشاهدات نشان می‌دهد که در خاک CL-ML هیچگونه رسوبی به همراه آب از لوله‌ها (ژئوتکستایل و رایج) خارج نشده و حتی کوچکترین ذره‌ای از خاک نیز وارد لوله‌های مذکور نگردیده است. این امر به دلیل وجود مقدار رس قابل توجه (حدود ۱۷ درصد) در خاک می‌باشد که باعث چسبندگی ذرات خاک شده و مانع از جابجایی ذرات آن می‌گردد. برعکس در خاک SM-SC علاوه بر خروج مقادیری رسوب از لوله‌ها و ته‌نشین شدن آنها در مخازن رسوبگیر، مقدار اندکی رسوب نیز در لوله باقی مانده که مجموع رسوبات ته‌نشین شده در لوله زهکش ژئوتکستایل و مخزن رسوبگیر برابر ۲۴۳/۹ گرم می‌باشد. میزان رسوبات حاصل از مخزن آزمایش لوله زهکش رایج به همراه فیلتر شن و ماسه‌ای برابر با ۲۲۷/۷ گرم است که اندکی کمتر از لوله زهکش ژئوتکستایل می‌باشد. بعلاوه وجود ذرات نسبتاً بزرگتر در رسوبات خارج شده از لوله ژئوتکستایل قابل تشخیص بود.

نتایج آزمایش نفوذ سنجی

نفوذپذیری مجموعه خاک - ژئوتکستایل، تراوایی نمونه ژئوتکستایل و تغییرات آن را در شیبهای آبی گوناگون و با گذشت زمان (در نوع خاک مشخص) نشان می‌دهد. جهت بررسی نفوذپذیری، برای هر نوع خاک سه آزمایش مجزا و با سه نمونهٔ تهیه شده از نقاط مختلف ورقه ژئوتکستایل، ترتیب داده شد و متوسط آنها بعنوان نفوذپذیری سیستم ارائه گردید.

در خاک CL-ML نتایج اندازه‌گیریها نشان داد که نفوذپذیری بطور متوسط از حداکثر $۱/۵۳\times۱۰^{-۵}$ متر بر ثانیه در ابتدا به حداقل $۴/۳۵\times۱۰^{-۶}$ متر بر ثانیه در انتهای آزمایش تقلیل می‌یابد. در خاک SM-SC نفوذپذیری متوسط در ابتدای آزمایش برابر با $۴/۷۴\times۱۰^{-۵}$ متر بر ثانیه بوده که در انتها به $۱/۰۶\times۱۰^{-۵}$

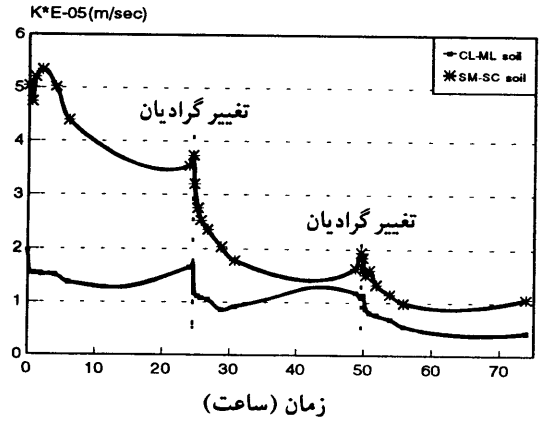
متر بر ثانیه می‌رسد. بنابراین نفوذپذیری سیستم بشدت تحت تأثیر بافت خاک بوده و در بافتهای سبکتر مقدار آن به میزان قابل توجهی بیشتر از خاکهای سنگین است. بعلاوه تغییرات نفوذپذیری در خاک SM-SC بیش از خاک CL-ML بوده که بر انتقال بیشتر ذرات به مجاورت سطح نمونه و مسدود ساختن آن دلالت دارد. شکل ۱۲ تغییرات نفوذپذیری مجموعه خاک- ژئوتکستایل را دردو نوع خاک مذکور نشان می‌دهد.

نسبت گرادیان بیانگر استعداد یک ژئوتکستایل به گرفتگی معدنی در مقابل خاکی معین می‌باشد. برطبق استاندارد، نسبت گرادیان بیش از واحد، برگرفتگی نمونه دلالت داشته و هر چه این عدد بزرگتر باشد شدت گرفتگی نیز بیشتر خواهد بود. نسبت گرادیان برای هر شیب هیدرولیکی با استفاده از روابط استاندارد محاسبه می‌گردد. در اینجا نیز اعداد ارائه شده، متوسطی از سه آزمایش مجزا برای هر نوع خاک می‌باشد.

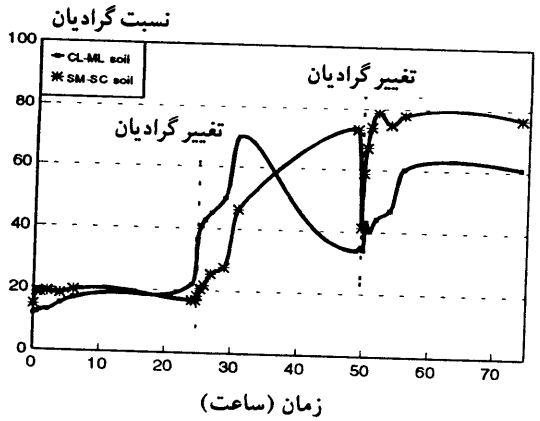
برطبق مشاهدات در خاک CL-ML، نسبت گرادیان متوسط از حداقل ۱۱/۹۴ در ابتدای آزمایش به ۶۰/۷ در انتهای آن تغییر می‌یابد (با حداقل ۸ و حداکثر ۸۰ در هر یک از آزمایشها). در ارتباط با خاکSM-SC، این مقدار از ۱۴/۸۷ شروع و به ۷۶/۴ در انتها ختم می‌شود (با حداقلی برابر ۶/۳ تا حداکثر ۸۶). نتایج بیانگر آن است که استعداد ورقه ژئوتکستایل به گرفتگی معدنی در خاکهای ناپایدار(ماسه‌ای حاوی مقدار کمی رس) بیشتر از خاکهای نسبتاً پایدار بوده، بعلاوه ژئوتکستایل مورد آزمایش به گرفتگی حساس می‌باشد و امکان استفاده از آن در شرایط موجود بعنوان فیلتر (بعلت پتانسیل بالای گرفتگی) منتفی است. شکل ۱۳ تغییرات نسبت گرادیان را در مقابل زمان سپری شده از ابتدای آزمایش نشان می‌دهد. بعلاوه بر طبق توصیه استاندارد، نمودار تغییرات نسبت گرادیان در مقابل گرادیان هیدرولیکی برای دو خاک CL-ML وSM-SC (مقادیر متوسط) نیز ترسیم گردیده که روند تغییرات نسبت گرادیان را با گذشت زمان ودر یک گرادیان ثابت نشان می‌دهد (شکل ۱۴).

تغییر شکل لوله ژئوتکستایل

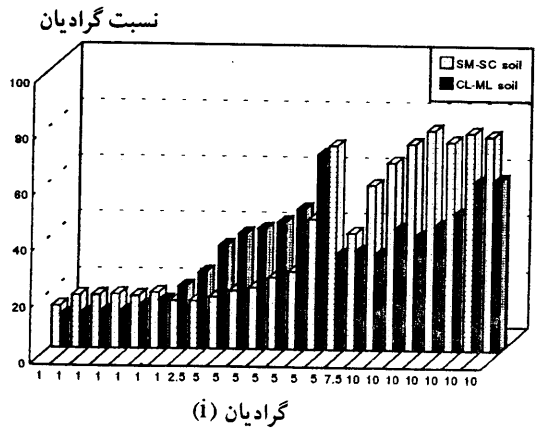
تغییر شکل لوله ژئوتکستایل در مدل آزمایشگاهی و نیز در مزرعه مورد بررسی قرار گرفت. در مدل مذکور، ارتفاع سطح خاک از کف در هر دو نوع خاک برابر ۱۵۰ سانتی‌متر و از دیواره فوقانی لوله معادل ۱۲۰ سانتی‌متر می‌باشد. در خاک CL-ML تغییر شکل



شکل ۱۲ - تغییرات نفوذ پذیری مجموعه خاک- ژئوتکستایل درنمونه های خاک مورد بررسی



شکل ۱۳ - تغییرات نسبت گرادیان در مقابل زمان سپری شده از ابتدای آزمایش



شکل ۱۴ - تغییرات نسبت گرادیان در مقابل گرادیانهای هیدرولیکی اعمال شده

لوله ژئوتکستایل بین ۷/۸ تا ۳۱/۶ درصد (در نقاط مختلف در امتداد طول آن) تغییر نموده که این میزان در خاک SM-SC به ۱۰۰ درصد قطر لوله ژئوتکستایل (بهم رسیدن کامل دیواره‌های فوقانی و تحتانی لوله) بالغ می‌گردد.

در مزرعه نیز چندین خط لوله زهکش ژئوتکستایل، بطور مستقیم در زیر بار خاک (از نوع SM-SC) و در عمقی برابر ۲ متر از سطح خاک قرار داده شد. در این شرایط برخلاف مدلهای آزمایشگاهی، بعلت عدم حضور آب زیرزمینی تغییر شکل کمتری مشاهده شد، زیرا وجود آب باعث افزایش بار و نشست ذرات خاک می‌گردد. تغییر شکل مشاهده شده در مزرعه بین ۱۷/۵ تا ۳۰ درصد و در مقاطعی در حدود ۵۰ درصد قطر اولیه لوله بود که بسیار بیشتر از ۱۰ درصد توصیه شده در ضوابط USBR برای لوله‌های انعطاف پذیر است. قابل ذکر است که در لوله زهکش رایج، تغییر شکل بسیار جزئی اتفاق افتاد (حدود ۰/۵ تا ۱ درصد) که عملاً قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

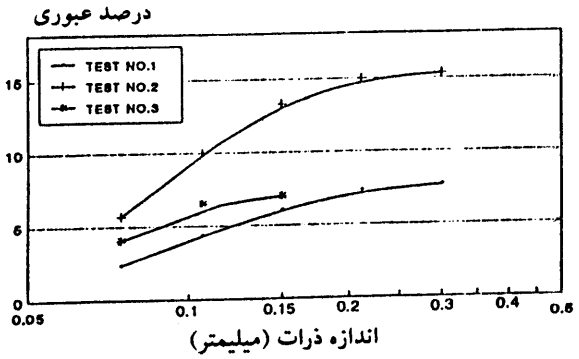
نتایج اندازه‌گیری خصوصیات ژئوتکستایل

ژئوتکستایل مورد استفاده در آزمایشهای فوق، به هیچ وجه دارای بافتی یکنواخت نبود، بگونه‌ای که این امر حتی با چشم غیر مسلح و در امتداد عرض و طول ورقه ژئوتکستایل قابل رویت است.

به منظور تعیین اندازه ظاهری روزنه‌ها (AOS)[1] سه نمونه از ژئوتکستایل (بر اساس استاندارد ASTM D-4751) مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصله حاکی از آن است که اندازه ظاهری روزنه نمونه‌های مورد آزمایش بطور متوسط برابر با ۰/۱۰۵ میلی‌متر بوده و شکل ۱۵ نتایج حاصله از آزمایش را بصورت نموداری (شبیه به نمودار دانه بندی خاک) نشان می‌دهد.

جهت تعیین وزن واحد سطح، پنج نمونه تصادفی از ژئوتکستایل تهیه گردید و وزن واحد سطح هر یک از آنها تعیین شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که متوسط وزن واحد سطح ژئوتکستایل مورد استفاده برابر ۸۱۶ گرم بر مترمربع می‌باشد که جزء ژئوتکستایلهای سنگین وزن (با وزن واحد سطح بیش از ۵۰۰ گرم بر متر مربع) به شمار می‌رود.

به منظور تعیین ضخامت متوسط ژئوتکستایل، بر اساس



شکل ۱۵ - نتایج تعیین اندازه ظاهری روزنه ها (AOS) در نمونه ژئوتکستایل

روش توصیه شده در استاندارد در ۳۰ مقطع پراکنده در نقاط مختلف ورقه ژئوتکستایل، ضخامت آن تعیین و متوسط آنها بعنوان ضخامت نمونه ارائه گردید. نتایج نشان می‌دهد که این ضخامت در حدود ۳/۵ میلی‌متر است .

جمع بندی نتایج

بطور خلاصه نتایج حاصل از این تحقیق به شرح زیر می‌باشند:

الف - آبدهی لوله‌های زهکش که توسط مدل آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت، نشان از عملکرد بهتر لوله زهکش رایج به همراه فیلتر شنی آن در مقایسه با لوله زهکش ژئوتکستایل داشته است. با سنگین‌تر شدن بافت خاک، میزان آبدهی هر دو نوع لوله زهکش کاهش یافته و این امر لوله زهکش ژئوتکستایل را با شدت بیشتری تحت تأثیر قرار می‌دهد.

ب - براساس مشاهدات بعمل آمده، خیز سطح ایستابی نسبت به محور لوله در مجاورت زهکش و در وسط طول لوله ژئوتکستایل بیشتر از لوله رایج بوده و در هر دو نوع خاک مورد آزمایش و در سطوح ایستابی اعمال شده این نسبت ثابت است.

ج - عملکرد لوله زهکش رایج و ژئوتکستایل از نظر ورود رسوب به داخل آنها در شرایط این آزمایش تقریباً مشابه یکدیگر میباشد.

د - نتایج آزمایشهای انجام شده در رابطه با نفوذپذیری مجموعه خاک - ژئوتکستایل با استفاده از دستگاه نفوذ سنج حاکی از

1 - Apparent opening size

آن است که نفوذپذیری مجموعه به شدت تحت تأثیر بافت خاک قرار داشته و پایداری و ناپایداری ذرات و در نتیجه انتقال ذرات به مجاورت ورقه ژئوتکستایل به میزان قابل توجهی آبگذری را کاهش می‌دهد. آبگذری سیستم در خاکهای سبک بیشتر از بافت سنگین می‌باشد، لیکن کاهش آن با گذشت زمان در خاک سبک بیش از خاک سنگین است.

ن - استعداد یک ژئوتکستایل به گرفتگی و انسداد بوسیله ذرات خاک توسط "نسبت گرادیان " تعریف می‌گردد. در تمامی آزمایشهای انجام شده، نسبت مذکور در هر دو نوع خاک به میزان قابل توجهی بیش از واحد بوده که دلالت بر انسداد معدنی شدید نمونه ژئوتکستایل مورد آزمایش دارد. بعلاوه با افزایش شیب هیدرولیکی اعمال شده بر سیستم، این نسبت نیز افزایش می‌یابد.

و - برطبق مشاهدات آزمایشگاهی و صحرائی انجام شده، تغییر شکل لوله در خاک ML - CL که خاکی پایدار است بین ۷/۸ تا ۳۱/۶ درصد قطر لوله و در خاک SM - SC که بشدت ناپایدار است به ۱۰۰ درصد قطر لوله نیز بالغ گردید که از مقادیر توصیه شده برای لوله‌های انعطاف پذیر (حداکثر ۱۰ درصد مطابق با معیار USBR) بسیار بیشتر می‌باشد.

ه - علیرغم اختلافات مشاهده شده در عملکرد لوله‌های زهکش ژئوتکستایل و رایج،نتیجه این تحقیق بمعنی مردود شناخته شدن زهکشهای ژئوتکستایل نبوده،بلکه بااعمال تمهیدات و انجام بعضی اصلاحات میتوان از این لوله بگونه‌ای بسیار مثبت و با راندمان بالا جهت زهکشی اراضی استفاده نمود. دراین رابطه، عدم نیاز به فیلتر شن و ماسه‌ای بعنوان مهمترین خصلت این نوع مصالح قابل طرح می‌باشد. بدین ترتیب چنانچه ابعاد خلل و فرج ورقه‌های ژئوتکستایل مطابق با شرایط ضروری برای زهکش طرح شده و مقاومت لوله نسبت به بارهای فشاری اصلاح گردد، این لوله می‌تواند در پروژه‌های زهکشی قابل استفاده باشد.

سپاسگزاری

این مقاله نتیجه بخشی از یک طرح تحقیقاتی است که با حمایت مالی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی انجام یافته که بدینوسیله صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

مراجع مورد استفاده

۱ - بازاری، م.ا. و همکاران، ۱۳۷۰. مهندسی زهکشی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

۲ - بای بوردی، م.، ۱۳۶۸. اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک. انتشارات دانشگاه تهران.

۳ - رحیمی، ح.، ۱۳۵۹. مکانیک خاک. انتشارات دانش و فن.

۴ - رحیمی، ح.، کاربرد ژئوسنتیکها در مهندسی عمران. ماهنامه ساختمان، شماره ۴۱.

5. Balkema, A.A., 1991. Manual on the use of rock in coastal and shoreline engineering. CIRIA special pub.83.
6. Broughton, R. S. et al., 1987. Tests of drain tubes with pin holes and small slots. ASAE Pub. 07-87.
7. Giroud, J. P., 1985 . Impermeability : The myth and a rational approach. Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, U.S.A.
8. ICOLD, CIGB, 1986. Geotextiles as filters and transition in fill dams. Bulletin 55.
9. Ingold, T.S., 1994. Geotextiles and geomembranes manual. 1st edition, Pub. by Elsevier, London.
10. Ingold, T.S. and K. S. Miller, 1988 . Geotextiles handbook. Pub. By Thomas Telford Ltd.
11. John, N. W. M., 1987. Geotextiles. First Pub. By: Chapman and Hall , U.S.A.
12. Kumbhare, P.S. et al., 1992. Performance of some synthetic drain filter materials in sandy loam soils. Proc. of 5th Int. Drainage Workshop, Lahore - Pakistan, ICID-CIID, IWASRI, Vol. 3,5.97-5.104.
13. Lagace, R. et al., 1987. Prediction of drain sedimentation. Proc. of the 5th National Drainage Symp. ASAE Pub. 07-87.
14. Van Zeijts, Toni E.J., 1992. Recommendations on the use of envelopes based on experience in the Netherlands. Proc. of 5th..., ICID-CIID, IWASRI, 1992, Vol. 3,5.88-5.96, Lahore-Pakistan.

Laboratory Investigation on Technical Performance of a Geotextile Drain Pipe

H. RAHIMI AND A. HASSANOGHLI

Professor and Former Graduate Student, Dep. of Irrigation and Reclamation Eng., Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.

Accepted Oct. 13, 1999

SUMMARY

In recent years use of geotextile as underground drainage pipes has come in to vogue. Because of the importance of the subject under consideration , a research program was conducted to investigate the hydraulic and mechanical properties of a special woven geotextile as an underground drainage pipe. The geotextile material used was of woven type made of polyester wefts and polypropylene warps of hollow reeds with the following specifications: average thickness 3.5 mm; weight per unit area 816 g/m^2; internal dimension of openings or average diameter of pores 0.105 mm (subject to change as per density of pores) and its tensile strength 800 kg/meter width (based on the manufacturers'view). This type of geotextile is being presently manufactured in one of the local factories in forms of sheets with a dimension of 90 cm width and limitless length (between 100 to 500 meters). The test comprised of three sections, namely evaluation of permeability and drainage potential, filtration and sedimentation of silt in geotextile pipes in comparison with the prevalent drainage pipes , evaluation of resistance to deformation under soil pressure and finally the mineral clogging and obstraction potential of pores. In the implementation of the experiment two types of soils , namely , fine textured (silty clay, CL - ML) and coarse textured (silty sand, SM - SC) based on the unified soil classification system, were utilized.The results obtained from the tests revealed that the flow rate of water through the common drain pipes in the soil CL - ML was between 4.9 to 5.5 times greater than the geotextile drain pipes while in soil SM - SC it was 2.1 to 2.7 times greater. In addition , the rise of water table from the axes of geotextile pipe was 1.7 to 1.9 times than of common

pipes in use. This substantiates the greater resistance of geotextile pipes to the entry of water. The deformation susceptiblity of geotextile pipes in CL - ML soil was between 7.8 to 31.6 percent , while in SM-SC soil it reached 100 percent of the diameter of geotextile pipes (complete joining of upper and lower walls). The relative hydraulic gradient change resulting from the third test in CL - ML soil ranged from minimum 8 in the initial stage of the test to a maximum 80 at the end while in SM-SC the change ranged from 6.3 to 86 which being greater than one, denotes the greater potential capacity of clogging of geotextile sheet. The permeability of geotextile-soil system in the CL - ML soil sample was on an average $1.5_{x}10^{-5}$ meter per second in the beginning and $4.35_{x}10^{-5}$ meter per second during the end of the test; while for SM - SC soil it was $4.74_{x}10^{-5}$ at the beginning and $1.06_{x}10^{-5}$ meter per second at the end of the test.

Key Words: Geotextile, Drain, Model, Permeameter, Woven, Synthetic.