سومین کارگاه فنی زهکشی
۲۳ مهر ماه ۱۳۸۳

کاربرد پوشش‌های زمین‌بافت در زهکشی

علیرضا حسن‌اقلی[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲]

چکیده

امروزه استفاده از ژئوتکستایل‌ها بعنوان صافی (فیلتر) در اطراف لوله‌های زهکشی و در اجرای پروژه‌ها و سازه‌های مهندسی، بویژه در زیر بخش آب و خاک با استقبال و توفیق بسیاری مواجه شده و پیشرفت فناوری‌های نساجی و ورود مواد پلیمری مصنوعی و مشتقات نفتی به این عرصه، زمینه را برای تولید انواع محصولات با کاربری‌های متنوع و گوناگون هموار ساخته است. با عنایت به وجود منابع عظیم نفتی در کشور و فعالیت صنایع پتروشیمی و نساجی، تولید داخلی ژئوتکستایل‌ها با کیفیت مناسب و با بهره‌گیری از مواد پلیمری مصنوعی و ضایعات الیافی حاصل از کارخانجات فرش و موکت و جایگزینی آنها با مصالح سنتی (بویژه در طرح‌های زهکشی بجای صافی‌های شن و ماسه‌ای)، از نظر اقتصادی بسیار مقرون به صرفه و عملی می‌باشد. لذا در صورت بکارگیری این محصولات از طریق فرآیند طراحی، انتخاب بهینه و تولید انواع مناسب، می‌توان علاوه بر صرفه جویی اقتصادی قابل ملاحظه، به بازارهای منطقه‌ای نیز دست یافت و از این راه درآمد قابل توجهی برای کشور تحصیل نمود. در مقاله حاضر ضمن معرفی انواع ژئوتکستایل‌ها و خصوصیات اصلی آنها، کاربردهای متنوع این قبیل محصولات در فعالیت‌های عمرانی مرتبط با مهندسی آب و خاک و بویژه در زهکشی اراضی مورد بررسی قرار گرفته، ضمن اینکه بحث ویژه‌ای بر خصوصیات فیلتری و کاربرد آنها بعنوان صافی اطراف لوله‌های زهکش زیرزمینی بعمل آمده است. همچنین معیارهای موجود جهت انتخاب و استفاده از صافی‌های ژئوتکستایل در کاربرد زهکشی نیز به اجمال معرفی گردیده و در پایان، نتایج برخی از تحقیقات به اجرا درآمده در کشور نیز ارائه شده است.

۱و ۲ به ترتیب عضو هیئت علمی (استادیار) مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی دانشیار گروه آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

۱- مقدمه

پیشرفت‌های علمی در زمینه‌های مختلف و دستیابی هرچه بیشتر به فناوری‌های نوین، زمینه مساعدی را جهت ظهور انواع و اقسام مواد و مصالح با کاربردهای مهندسی گوناگون، بخصوص مواد ترکیبی و مصنوعی فراهم ساخته است. با ورود به عصر صنعت و بویژه در دوره زمانی پس از جنگ جهانی دوم، مدرنیزه شدن جوامع تبعات متفاوتی را به همراه داشته که در طی آن، گاهاً محصولات مفیدی به بازار عرضه گردیده که تولید و ارائه آنها، مشکلات متعددی را از پیش روی انسان برداشته است. امروزه تولید مواد و مصالحی که بتواند علاوه بر پاسخگویی به نیازهای مهندسی و در جهت رفع مشکلات موجود، از فناوری روز بهره‌مند بوده و با رعایت اولویت‌های اقتصادی، قادر به حل مسایل به بهترین شیوهٔ ممکن باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از جمله تولیداتی که در سال‌های اخیر به بازار عرضه شده و بصورت بسیار گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است، می‌توان به مواد سنتتیک[1] اشاره نمود. این قبیل محصولات عمدتاً از فرآورده‌های کارخانجات پتروشیمی و صنایع نفتی تهیه می‌گردند. در میان این تولیدات جدید، ژئوسنتتیک‌ها از جمله محصولاتی است که استفاده از آنها در طرح‌های آب و خاک با استقبال و توفیق بسیاری در نقاط مختلف جهان مواجه شده است.

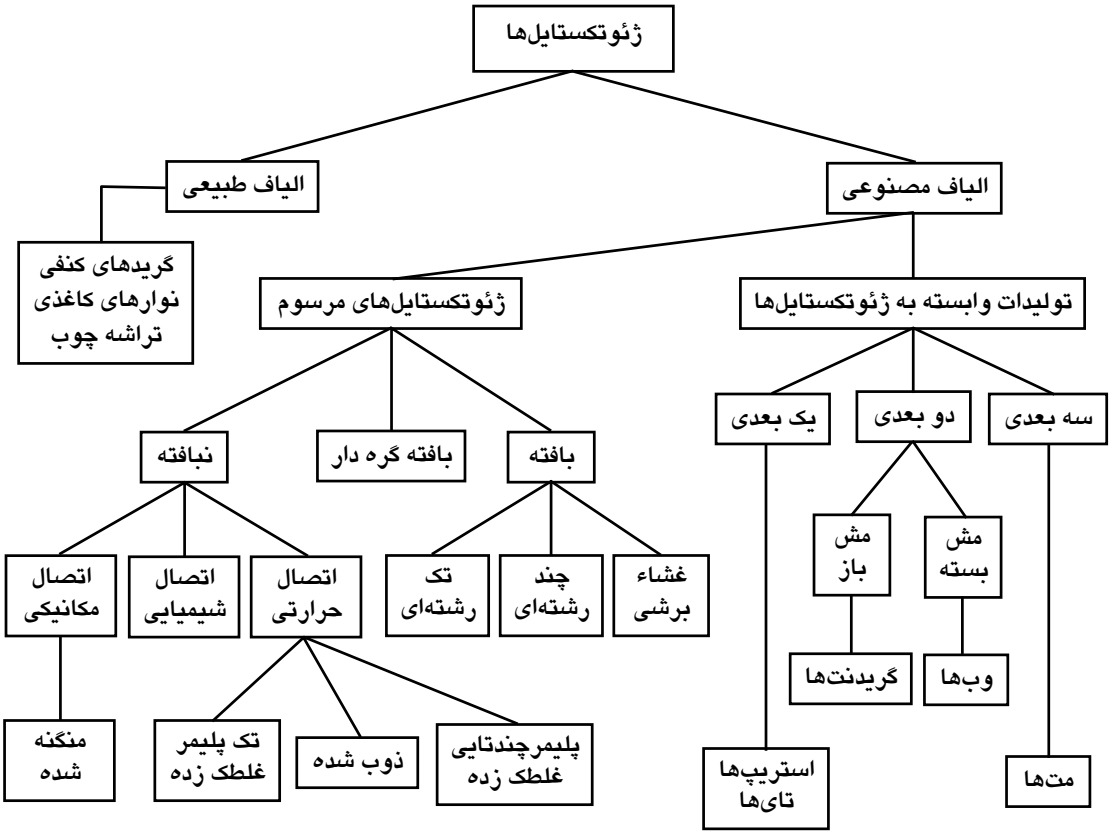
ژئوسنتتیک عنوانی فراگیر جهت توصیف صفحات نازک و انعطاف پذیری است که در داخل خاک و یا در ارتباط با مصالح خاکی قرار گرفته و در اجرای پروژه‌ها و سازه‌های مهندسی بکار برده می‌شود. در حالت کلی انواع مختلف این تولیدات قابلیت‌های گوناگونی همچون مسلح ساختن، جدا سازی، زهکشی، ایفای نقش صافی (فیلتر)، عایق بندی، مهار فرسایش و غیره را دارا بوده و عمدتاً بگونه‌ای طراحی و انتخاب می‌گردند که ترکیبی از این وظایف را ایفا نمایند. ژئوسنتتیک‌ها را می‌توان به دو گروه اصلی ژئوتکستایل‌ها[2] و ژئوممبران‌ها[3] تقسیم نمود. ژئوتکستایل‌ها که بحث عمده در این مقاله بر روی آنهاست را می‌توان بر اساس روش تولید و برخی دیگر از مشخصه‌ها، به انواع مختلفی تقسیم نمود.

نظر به اینکه 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 زیرزمینی و توجه ویژه به آن جهت کنترل سطح ایستابی، یافتن راه حلهای جدید و اقتصادی‌تر خصوصاً در رابطه با تولید و بکارگیری انواع جدید لوله و مواد پوششی اطراف آنها از جمله واجبات می‌باشد. در ایران مواد پوششی (فیلتر) در پروژه‌های زهکشی کاربرد وسیعی داشته و صافی‌های شن و ماسه‌ای که رایج‌ترین نوع پوشش لوله‌ها است، بیشترین هزینه اجرایی یک طرح را به خود اختصاص می‌دهند. این وضعیت در نتیجه دوری منابع قرضه از محل پروژه (گاهاً با فاصله صدها کیلومتر) اتفاق افتاده که مشکلات عدیده‌ای را بوجود می‌آورد. جایگزینی ژئوتکستایل‌های مناسب بجای صافی‌های شن و ماسه‌ای در پروژه‌های زهکشی می‌تواند به حل این مشکل کمک بسیاری نموده و با توجه به امکان تولید ارزان قیمت انواع محصولات پتروشیمی در کشور، از بالاترین اولویت‌ها برخوردار می‌باشد.

1- Synthetic 2- Geotextiles 3- Geomembranes

۲- ژئوتکستایل‌ها (زمین بافت‌ها)

بر طبق تعریف، ژئوتکستایل به منسوجاتی الیافی اطلاق می‌گردد که نسبت به سیالاتی از قبیل آب و گازها نفوذ پذیر است. ژئوتکستایلها را بر اساس روش تولید می‌توان به سه گروه محصولات بافته[۱]، نبافته[۲] و بافته گره‌دار[۳] تقسیم نمود که هر یک دارای زیر شاخه‌های مختص به خود می‌باشند. البته زیر گروهی از محصولات دیگر نظیر رشته‌های درهم مشبک[۴]، توری‌ها[۵]، بافته‌های تار عنکبوتی[۶]، نوارهای باریک[۷]، بندهای گره‌دار[۸] و مواد ترکیبی[۹] را می‌توان تحت عنوان "تولیدات وابسته به ژئوتکستایل‌ها" به این تقسیم بندی اضافه نمود. شکل (۱) طبقه بندی انواع ژئوتکستایلها را نشان می‌دهد.



شکل (۱) – طبقه بندی ژئوتکستایل‌ها

بطور کلی مشخصات ژئوتکستایل‌ها بر حسب نوع پلیمر مورد استفاده در ساخت (پلی پروپیلن، پلی اتیلن، پلی استر، پلی آمید)، نوع الیاف (تک رشته‌ای، چند رشته‌ای، غشاء شکاف دار) و نوع بافت (بافته، نبافته، بافته گره‌دار) ارزیابی می‌شود. تولید ژئوتکستایل‌ها بر اساس تغییر شکل مواد پلیمری تحت تأثیر حرارت و فشار و تبدیل آنها به نوارهای مسطح یا رشته‌ها و تارهای با سطح مقطع دایره‌ای شکل صورت می‌گیرد که

1- Woven 2- Non-woven 3- Knitted
4- Grids 5- Nets 6- Webs
7- Strips 8- Ties 9- Composites

به یکدیگر بافته یا متصل شده‌اند. لازم به ذکر است که پلیمرها در شکل خالص و اولیه خود مناسب تولید ژئوتکستایل‌ها نیستند و بنابراین با افزودنی‌های مختلفی ترکیب می‌گردند تا پلاستیکی را با خصوصیات مورد نیاز ایجاد نمایند.

۳- خصوصیات و کاربردهای عمده ژئوتکستایل‌ها

خصوصیات ژئوتکستایل‌ها همانند هر ماده دیگری که در فعالیت‌های مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به مواد بکار برده شده در تولید آنها، چگونگی ساخت و خواص فیزیکی محصول نهایی بستگی دارد. طبقه بندی‌های متفاوتی برای ویژگی‌های فنی این تولیدات ارائه گردیده است، لیکن خصوصیات اصلی آنها را می‌توان در سه گروه شامل: خصوصیات فیزیکی (جرم مخصوص، جرم واحد سطح، ضخامت، انعطاف پذیری)، خصوصیات مکانیکی (دوام، مقاومت کششی، مقاومت به سوراخ شدگی و شکافتگی، مقاومت به گسیختگی، خواص اصطکاکی) و خصوصیات هیدرولیکی (اندازه خلل و فرج، نفوذ پذیری[۱]، قابلیت انتقال[۲]) تقسیم بندی نمود. از روی این خصوصیات و با توجه به شرایط و محل استفاده، می‌توان نوع ژئوتکستایل مناسب را جهت هر فعالیت مهندسی تعیین و انتخاب نمود. اهمین نسبی وظایف یک ژئوتکستایل به نوع کاربرد آن بستگی دارد. جدول (۱) شاخص‌های اهمیت نسبی وظایف و خصوصیات وابسته به کاربرد این مواد را ارائه می‌دهد.

۴- کاربرد ژئوتکستایل‌ها در زهکشی

استفاده از اولین نسل ژئوتکستایل‌های پلی‌مری در اواخر دهه ۱۹۵۰ میلادی و از هنگامی آغاز شد که از آنها بعنوان فیلترهای جدید و بجای صافی‌های شن و ماسه‌ای مرسوم استفاده گردید. آگرشو[۳] (۱۹۶۱) و بارت[۴] (۱۹۶۶) ویژگی‌های اساسی ژئوتکستایل‌های پلی‌مری نظیر نفوذپذیری مناسب صافی، نسبت سطح روزنه و نیاز به خلل و فرج کوچک جهت اطمینان به ممانعت از عبور ذرات ریز خاک را تعیین نمودند. دوره شکوفایی استفاده از این تولیدات از اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی آغاز شده و روند استفاده از انواع ژئوتکستایل‌ها در کاربردهای گوناگون سیری صعودی را طی نموده است. امروزه در احداث سازه‌های آبی در طرح‌های آبیاری و زهکشی در نواحی مختلف جهان، از ژئوتکستایل‌ها به میزان قابل ملاحظه‌ای استفاده می‌شود و این امر خصوصاً در سال‌های اخیر روند سریع و روبه رشدی را داشته است.

1- Permeability 2- Transmissivity 3- Agerschou
4- Barrett

جدول (۱) – اهمیت وظایف ژئوتکستایل‌ها و خصوصیات وابسته به کاربرد آنها

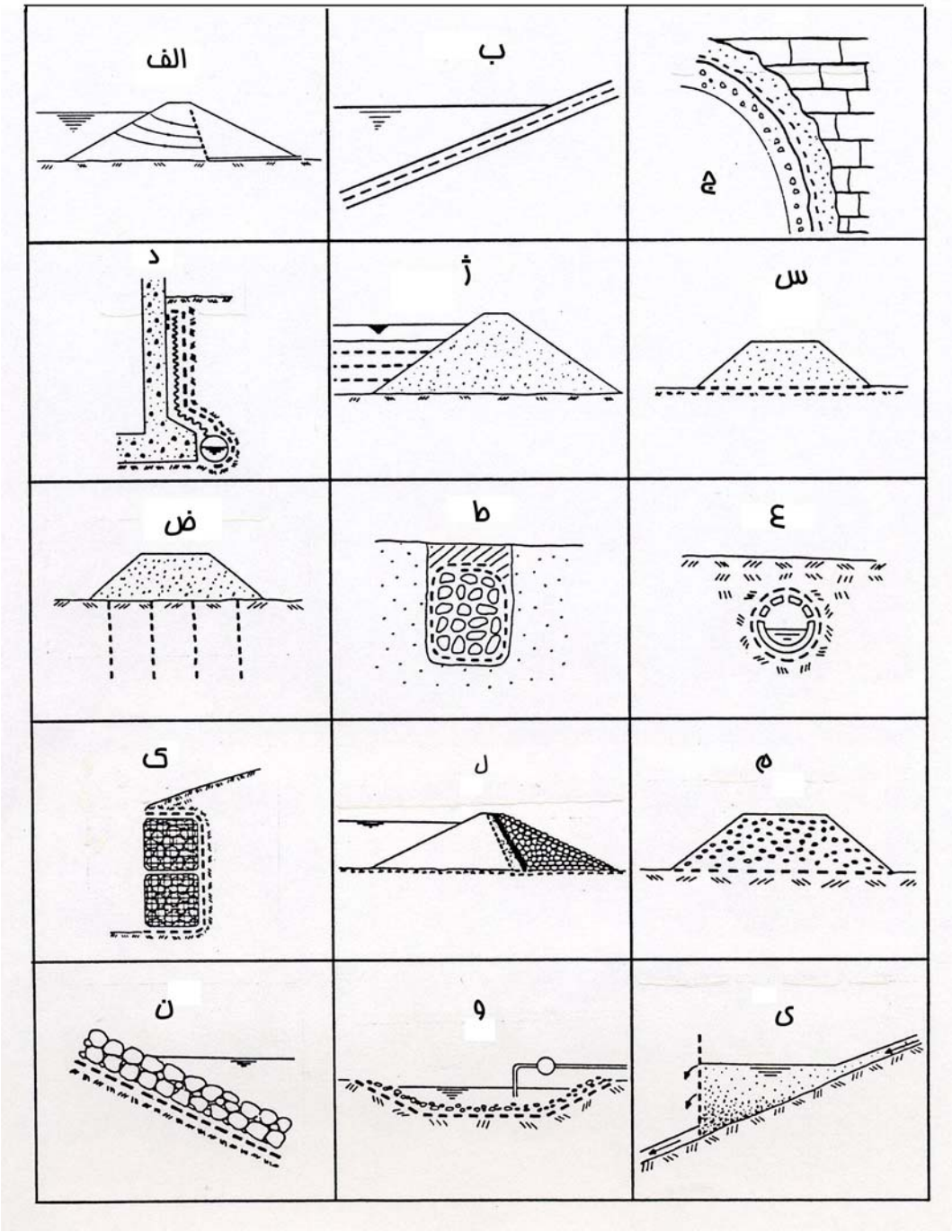
	کاربرد ژئوتکستایل / خصوصیات	جاده پوشش شده	جاده پوشش نشده	راه آهن	خاکریز روی زمین سست	خاکریز با شیب تند	دیواره‌ها	زهکش دیواره‌ها*	زهکش‌های ترانشه‌ای*	زهکش جمع کننده پسابها*	سنگ چین (پوشش) کانالها**	قاب	لایه پوششی ژئومبرانها
وظیفه	مسلح سازی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	زهکشی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	فیلتراسیون	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	جداسازی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
دوام	شیمیایی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ماوراء بنفش	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	بیولوژیکی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ساختمان	ضخامت	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	اندازه روزنه‌ها	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	اصطکاک	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
هیدرولیک	عبور دهی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	قابلیت انتقال	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	موئینگی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
مکانیکی	کشش	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	کش آمدن	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	سختی	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	خزش	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	پاره شدن	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	ترکیدن	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	سوراخ شدن	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	سایش	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	درجه اهمیت	■ درجه اول				■ درجه دوم				■ درجه سوم			

* عموماً ساختمان‌های مرکب.
** احتمالاً ساختمان مرکب.

خصوصیات هیدرولیکی ژئوتکستایل‌ها، توانایی آنها را جهت انجام وظیفه بعنوان صافی و زهکش تعیین می‌نماید. عمده‌ترین خصوصیات فیزیکی ژئوتکستایل‌ها که ویژگی‌های هیدرولیکی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهند عبارتند از ضخامت و ابعاد روزنه‌هایی که در طی فرآیند تولید در ژئوتکستایل بوجود می‌آیند.

هنگامی که ژئوتکستایل‌های مصنوعی بعنوان صافی در خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند، بایستی دو نقش اساسی را ایفا نمایند: اول اینکه عبور آزادانه آب بدون ایجاد هیچگونه مقاومتی در برابر آن صورت پذیرد و دوم آنکه از عبور ذرات خاک جلوگیری گردد. بنابراین توانایی ژئوتکستایل‌ها جهت تصفیه مناسب، به اندازه و پراکندگی روزنه‌ها (خلل و فرج) و رابطه آن با دانه بندی خاک محل نصب لوله زهکش و فیلتر بستگی دارد. توزیع خلل و فرج ژئوتکستایل‌ها به فرآیند تولید و نوع محصول وابسته است، بگونه‌ای که مصنوعات بافته دارای بزرگترین خلل و فرج و انواع نبافته دارای ریزترین روزنه‌ها می‌باشند. اندازه خلل و فرج در انواع بافته تغییرات کمی در اطراف اندازه متوسط خود داشته، در حالیکه در نوع نبافته خلاف آن صادق است. مثال‌هایی از کاربرد ژئوتکستایل‌ها در امر زهکشی و نیز بعنوان صافی در شکل (۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است که موارد کاربرد ژئوتکستایلها در زهکشی می‌تواند فراتر از این مثالها باشد.

- زهکش لوله‌ای درون یک سد خاکی، شکل (۲) – الف.
- زهکش بین دو ژئوممبران جهت جمع آوری مایعات ورودی از میان لایه فوقانی، شکل (۲) – ب.
- زهکش حایل در دیواره تونل‌ها جهت جمع آوری آبهای زیرزمینی، شکل (۲) – ج.
- زهکش پره‌ای مرکب و صافی ژئوتکستایل در امتداد قاعده و پی یک دیوار، شکل (۲) – د.
- زهکش‌های مطبق افقی در منطقه خاکریزی شده و اشباع از آب، شکل (۲) – ژ.
- زهکش افقی، بین یک خاکریز و خاک سست و اشباع پی آن، شکل (۲) – س.
- زهکش‌های قائم جهت سرعت بخشیدن به عمل تحکیم، شکل (۲) – ض.
- ترانشه زهکش پرشده باذرات شن درشت، احاطه شده توسط یک صافی ژئوتکستایل، شکل(۲)–ط.
- لوله سوراخ دار لفاف شده با ژئوتکستایل، شکل (۲) – ع.
- فیلتر محافظت کننده مصالح میانی هادی آب، شکل (۲) – د.
- فیلتر مابین زمین و گابیون‌ها، شکل (۲) – ک.
- فیلتر مابین دو ناحیه از یک سد خاکی – سنگریزه‌ای، شکل (۲) – ل.
- فیلتر مابین خاکریزی نفوذ پذیر و خاک اشباع سست در حال تحکیم. در این کاربرد ژئوتکستایل بعنوان یک جدا کننده نیز عمل می‌نماید، شکل (۲) – م.
- فیلتر مابین یک دیواره ساحلی و قشر سنگریز محافظ آن، شکل (۲) – ن.
- فیلتر ممانعت کننده از فرسایش بستر در حفاری‌های زیر آبی، شکل (۲) – و.
- بعنوان فیلتر یا مانعی بر عبور سیلت و ماسه، برای جلوگیری از انتقال ذرات و رسوبات توسط آب جاری و حفاظت محیط زیست در مجاورت یک سازه، شکل (۲) – ی.



شکل (۲) – مثال‌هایی از کاربرد ژئوتکستایل‌ها در زهکشی و بعنوان صافی (فیلتر)

۵- نحوه انتخاب صافی ژئوتکستایل مناسب در پروژه‌های زهکشی

انتخاب یک ژئوتکستایل جهت تصفیه[1] مناسب، در ارتباط با توزیع دانه بندی خاک منطقه مورد نظر می‌باشد و O_{90} ژئوتکستایل از مشخصه‌های مهم در این گزینش است. بر طبق تعریف O_{90} قطر روزنه‌هایی از

1- Filtration 2- Apparent Opening Size 3- Equivalent Opening Size

ژئوتکستایل به میلیمتر است که ۹۰ درصد ذرات خاک اطراف، قطری بزرگتر از آنرا داشته باشند. این مشخصه به اندازه ظاهری روزنه[۲] (AOS) یا اندازه روزنه معادل[۳] (EOS) معروف می‌باشد. روش‌های متعددی جهت تعیین اندازه روزنه‌های ژئوتکستایل وجود دارد که از آن میان می‌توان به سه روش عمده به شرح زیر اشاره نمود:

- روش اول، عبارت است از اندازه‌گیری ابعاد روزنه‌ها با استفاده ازیک میکروسکوپ واسنجی شده.
- روش دوم، استفاده از شیوه الک کردن خشک می‌باشد. روش اجرای این آزمایش منطبق بر استاندارد ASTM D-4751 بوده که با عنوان "روش الک نمودن خشک با استفاده از مهره‌های شیشه‌ای در اندازه‌های معین" معرفی گردیده است.
- روش سوم نیز بر اساس الک نمودن تر استوار است. البته روش‌های متعدد دیگری نیز در استانداردهای آلمانی، فرانسوی، هلندی و غیره ذکر گردیده که دارای تفاوت‌هایی با یکدیگر می‌باشند، لیکن در تمامی این موارد هدف تعیین O_{90} ژئوتکستایل است.

مهمترین عمل مکانیکی یک ماده پوششی، جلوگیری از ورود ذرات خاک به درون لوله‌های زهکشی می‌باشد. پوشش‌هایی که دارای بافت خیلی ریز باشند مانند یک صافی عمل کرده و ذرات ریز را بر روی خود جمع می‌نمایند. انسداد پوشش‌های مصنوعی یا ژئوتکستایل‌ها به مفهوم کاهش در قابلیت نفوذ پذیری ناشی از ذرات خاک می‌باشد، زیرا قسمتی از منافذ ژئوتکستایل در اثر تماس با خاک مسدود می‌گردند. بسته شدن منافذ ژئوتکستایل در مفهوم کاهش نفوذ پذیری ناشی از تجمع ذرات ریز خاک، ممکن است در داخل ژئوتکستایل (انسداد داخلی) و یا بیرون از ژئوتکستایل تحت عنوان انسداد خارجی یا کیک فیلتری[۴] صورت پذیرد.

در خصوص عمل مکانیکی ژئوتکستایل‌ها، توان آنها در نگهداری ذرات خاک غالباً تحت عنوان نسبت برخی اندازه‌های اختصاصی منافذ به اندازه اختصاصی ذرات مواد جانبی که معمولاً خاک می‌باشد بیان می‌گردد. اگرچه عمدتاً از نسبت O_{90}/d_{90} استفاده می‌شود (O_{90} قبلاً تعریف شده و d_{90} اندازه‌ای از ذرات خاک است که ۹۰ درصد ذرات قطری کوچکتر از آنرا دارند)، معهذا مقادیر دیگری نظیر O_{50}، O_{85}، O_{95}، d_{15}، d_{50} و d_{85} را نیز می‌توان بکار برد. بنابراین لازم است منحنی توزیع منافذ ژئوتکستایل نیز ترسیم شود.

با توجه به کارهایی که دیریکس و وان‌در اسلویس (۱۹۹۰-۱۹۸۹) در کشور بلژیک بر روی پوشش‌های ورقه‌ای نازک ژئوتکستایل بافته و نبافته انجام داده‌اند، چنین نتیجه گیری شده است که ذرات خاک در شرایطی باید نگهداری شوند که رابطه زیر برقرار باشد:

$$O_{90}/d_{90} \leq 2.5 \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) مقدار O_{90} با روش الک خشک به دست می‌آید. این نتیجه گیری بدان مفهوم است که اندازه روزنه O_{90} ژئوتکستایل بایستی معادل با ۲/۵ برابر اندازه ذرات d_{90} خاک باشد، بدون اینکه عبور چشم‌گیری از ذرات خاک مشاهده گردد. برای پوشش‌های حجیم با ضخامت بیش از پنج میلیمتر نظیر

4- Filter cake

فیلترهای سستی که از قبل دور لوله‌های زهکش پیچانده شده‌اند، اگر شرایط زیر برقرار باشد عملکرد قابل قبول است:

$$O_{90}/d_{90} \leq 5.0 \qquad (۲)$$

در اینجا هرچه ضخامت پوشش بیشتر باشد نسبت O_{90}/d_{90} می‌تواند بیشتر درنظر گرفته شود. این نسبت را که معیار مکانیکی پوشش‌های مصنوعی است تحت عنوان شاخص پل[1] نامگذاری کرده‌اند. در هرحال ژئوتکستایل‌های مختلف با مقدار مشابه O_{90} می‌توانند منحنی‌های توزیع روزنه کاملاً متفاوتی داشته باشند، همچنانکه خاکهای با مقدار مشابه d_{90} نیز می‌توانند منحنی‌های دانه بندی کاملاً متفاوتی را نشان دهند. بنابراین پذیرش این موضوع که بتوان برای تمام ترکیبات پوششی خاک، یک مقدار مجزا را درنظر گرفت خیلی مشکل است و بجای تصمیم گیری برای ژئوتکستایل با یک نوع اندازه روزنه، بهتر است که درباره توزیع اندازه روزنه‌ها و منافذ آن با استفاده از انواع ضرایب یکنواختی، نظیر روشی که برای مواد خاکی معمول است، تصمیم گیری بعمل آید.

در شرایط آزمون‌های آزمایشگاهی و برای اطمینان از عملکرد مطلوب یک شبکه زهکشی، انتخاب نوع پوشش باید بر اساس نامطلوب‌ترین شرایط خاک باشد که ممکن است در حین نصب شبکه پیش آید. بررسی‌های آزمایشگاهی دیریکس و همکاران (۱۹۹۰) نشان می‌دهد که پوشش‌های با بافت ریز اعم از اینکه نازک یا ضخیم باشند، در مقایسه با پوشش‌های حجیم با بافت درشت در مقابل بسته شدن آسیب پذیرتر هستند. پوشش‌های با بافت ریز مواد ریز خاک را نگه می‌دارند، منافذ فعال بوسیله آنها پر می‌شوند و در نتیجه قابلیت زهکشی کاهش می‌یابد، در صورتیکه پوشش‌های نازک با بافت درشت بخوبی عمل زهکشی را انجام می‌دهند، ولی نگه داشتن آنها در محدوده ساختمان قوسی ذرات خاک یا پل خیلی مشکل است. پوشش‌های ضخیم با بافت درشت که تشکیل قوس ذرات خاکی بر روی آنها امکانپذیر است و حتی ذرات خاک نیز از میان آنها به درون پوشش نفوذ می‌کنند، به نحوی عمل می‌نمایند که منافذ فعال با قرار گرفتن ذرات خاک در میان آنها از کار نمی‌افتد و حتی ذرات ریز خاک می‌توانند از میان آنها شسته شده و به درون لوله‌های زهکشی وارد گردند. بعلاوه یک پوشش حجیم به آب اجازه می‌دهد که بطور جانبی و از میان پوشش به سمت منافذ جریان پیدا کند.

۶- برخی تحقیقات انجام یافته در کشور (آزمون عملکرد ژئوتکستایل‌ها در زهکشی)

بمنظور بررسی خصوصیات اصلی صافی‌های زهکشی زیرزمینی، روش‌ها و آزمون‌های متعددی ابداع گردیده است که هر یک ویژگی‌های منحصر به فرد خود را دارا می‌باشند، لیکن بهترین مبنای ارزیابی کارایی این قبیل صافی‌ها، بکار گیری آنها در شرایط واقعی و در مقیاس مزارع آزمایشی است. البته از مشکلات اساسی آزمون‌های مزرعه‌ای می‌توان به هزینه بری بالا، دشواری‌های اجرایی و نیاز به مدت زمانی طولانی جهت انجام ارزیابی‌ها اشاره نمود. به همین دلیل و در راستای شبیه سازی شرایط اراضی

1- Bridge factor

زهکشی شونده در آزمایشگاه و آزمون صافی‌های ژئوتکستایل تولید شده در داخل کشور (از انواع بافته و نبافته)، اقداماتی چند توسط مؤلف و همکاران صورت پذیرفته است که نتایج حاصله به صورت بسیار خلاصه در ادامه ارائه خواهد شد.

۶-۱- انواع ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در تحقیقات

در روند اجرای تحقیقات، جمعاً از سه نمونه ژئوتکستایل مختلف استفاده گردید. نمونه اول، ژئوتکستایلی از نوع بافته می‌باشد که از تارهای پلی‌استر و پودهایی از جنس نی‌های توخالی پلی پروپیلن ساخته شده است. این محصولات در کارخانه به صورت ورق با عرض ۹۰ سانتیمتر و طول زیاد (بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ متر) در آمده که در محل نصب به نحو دلخواه مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمونه‌های دوم و سوم، از نوع ژئوتکستایل نبافته می‌باشند که به صورت سوزن زنی[1]، در یکی از کارخانجات فرش و موکت تولید شده است. قابل ذکر است که نمونه دوم از جنس الیاف پلی پروپیلن و نمونه سوم از ضایعات فرش تولید گردیده است. جدول (۲) خصوصیات مهم این ژئوتکستایل‌ها را نشان می‌دهد.

جدول (۲) – مشخصات فنی ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در تحقیقات

ردیف	مشخصه / ژئوتکستایل	وزن واحد سطح gr/m^2	مقاومت کششی عرض Kg/m	ضخامت متوسط mm	الیاف مورد استفاده در ساخت نمونه	هدایت آبی m/day
۱	ژئوتکستایل بافته	۸۱۶	۸۰۰	۳/۵	تارهای پلی‌استر، نی‌های توخالی پلی‌پروپیلن	۱/۸
۲	نبافته (ژئوتکستایل ۶۵۰*)	۶۵۰	۷۴۶	۰/۴۶	ضایعات فرش (الیاف اکریل)	۵۰/۶
۳	نبافته (ژئوتکستایل ۳۰۰*)	۳۰۰	۹۰۲	۰/۲۱	الیاف پلی‌پروپیلن	۴۰/۵

* جهت ساده سازی از نظر مشخص ساختن ژئوتکستایلهای نبافته، از وزن واحد سطح آنها جهت نامگذاری استفاده می‌شود، از قرار "ژئوتکستایل ۶۵۰" و "ژئوتکستایل ۳۰۰". ضمناً روشهای استاندارد مورد استفاده در تعیین مشخصات فنی نمونه‌ها عبارت است از:

- وزن واحد سطح: مطابق با استاندارد ASTM D-5261
- ضخامت متوسط: مطابق با استاندارد ASTM D-5199
- مقاومت کششی: مطابق با استاندارد ASTM D-4595
- هدایت آبی: توسط روش بار افتان

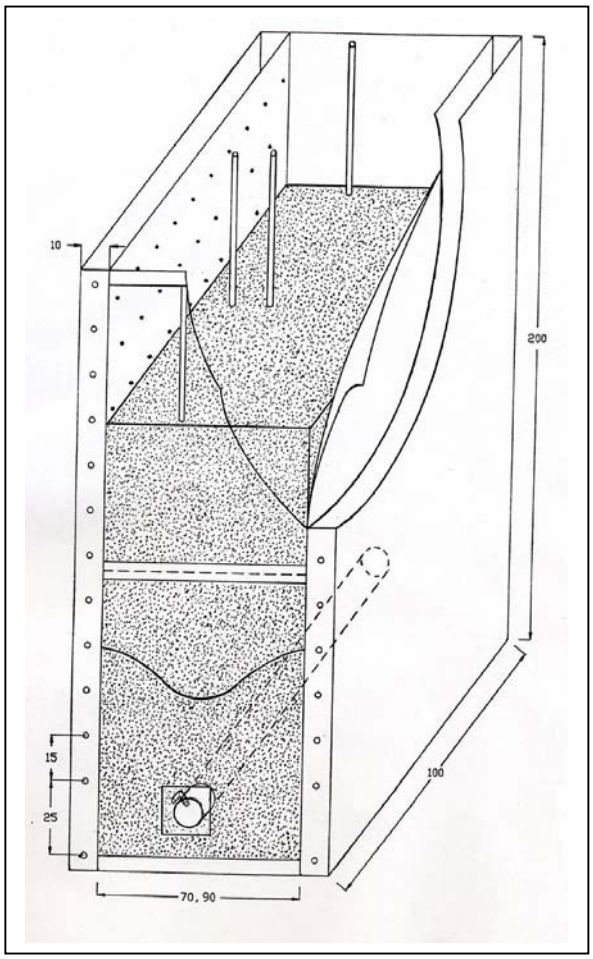
۶-۲- طراحی و ساخت مدل‌های فیزیکی آب و خاک جهت شبیه سازی ترانشه‌های زهکشی

در راستای شبیه سازی شرایط طبیعی اراضی زهکشی شده در آزمایشگاه و آزمون لوله‌های زهکشی و صافی (فیلتر) اطراف آنها، اقدام به طراحی و ساخت دو مدل فیزیکی (مخزن آب و خاک) با دیواره‌های جانبی دوجداره گردید که در مقیاس واقعی، بخشی از ترانشه زهکشی و لوله و صافی نصب شده در اطراف آنرا بازسازی نمایند. شکل (۳) شمایی از مدل‌های مذکور را نشان می‌دهد. این مدل‌ها بگونه‌ای طراحی گردیده‌اند که شرایط مرزی جهت مقایسه توأمان عملکرد صافی‌های زهکشی مصنوعی

1- Needle punching

(ژئوتکستایل‌ها) و صافی‌های رایج شن و ماسه‌ای تا حد امکان همانند یکدیگر باشد، لذا ارتفاع ۲ متر برای هر دو مدل و عرض ۷۰ سانتیمتر در مدل اول (برای آزمون صافی‌های ژئوتکستایل با ضخامت کم) و عرض ۹۰ سانتیمتر در مدل دیگر (برای صافی‌های شن و ماسه‌ای با ضخامت ۱۰ سانتیمتر در اطراف لوله) لحاظ شد.

در هنگام بهره برداری، آب از دیواره‌های دوجداره کناری به داخل خاک نفوذ یافته و از طریق لوله زهکش (دارای صافی) از مدل‌ها زهکشی می‌گردد تا شرایط حادث شده در زمین را بازسازی نماید. با تعبیه سرریزهایی در بخش دو جداره، امکان تثبیت سطح ایستابی در ارتفاع‌های معین و در فواصل ۱۵ سانتیمتری نیز تدارک دیده شده است. با نصب



شکل (۳) – شمای مدل‌های فیزیکی آب و خاک و جزئیات آنها (ابعاد به سانتیمتر)

پیزومترهایی در اطراف لوله زهکش، اندازه گیری ارتفاع سطح ایستابی در اطراف لوله و در هر زمان میسر می‌باشد. پس از پر نمودن مخازن از خاک و برقراری سطوح ایستابی در شرایط یکسان برای صافی‌های ژئوتکستایل و شن و ماسه‌ای در دو مخزن، اندازه گیری های مقتضی در تناوب‌های لازم در این مخازن به انجام رسیده و اقدام به مقایسه عملکرد صافی‌ها در مدت اجرای آزمایش می‌گردد.

در این آزمونها از یک نمونه ژئوتکستایل بافته و دو نمونه ژئوتکستایل نبافته تولید شده در داخل کشور که قبلاً معرفی شده‌اند استفاده بعمل آمد. نمونه ژئوتکستایل بافته در خاک‌هایی با بافت رس سیلتی، ماسه سیلتی و سیلت غیر ارگانیک (خاک اخیر از واحد امیرکبیر شرکت توسعه کشت نیشکر و صنایع جانبی تهیه شده بود) و دو نمونه ژئوتکستایل نبافته (تحت عنوان ژئوتکستایل‌های ۶۵۰ و ۳۰۰) با استفاده از خاک‌هایی با بافت ماسه رسی و ماسه رسی سیلتی آزمایش شدند.

نتایج حاصله حکایت از آن داشت که در آزمون اول، آبدهی لوله زهکش دارای صافی شن و ماسه‌ای در بارهای آبی مختلف و در خاک رس سیلتی بین ۴/۹ تا ۵/۵ برابر لوله زهکش با صافی ژئوتکستایل از نوع بافته و در خاک ماسه سیلتی بین ۲/۱۰ تا ۲/۷ برابر می‌باشد. بعلاوه، خیز سطح ایستابی از محور لوله در مجاورت زهکش و در وسط طول لوله دارای صافی ژئوتکستایل ۱/۷ تا ۱/۹ برابر لوله با صافی رایج بود

که دلالت بر مقاومت بیشتر ژئوتکستایل بافته به ورود آب داشت. در آزمون دوم (ژئوتکستایل بافته و خاک سیلتی خوزستان)، میزان آبدهی متوسط برای لوله زهکش با صافی شن و ماسه‌ای و در بارهای آبی مختلف، بین ۹/۷ تا ۵۴/۸ برابر آبدهی لوله زهکش با صافی ژئوتکستایل بود. همچنین خیز سطح ایستابی از محور لوله در مجاورت زهکش و در وسط آن، در کاربرد صافی ژئوتکستایل بین ۱/۳ تا ۱/۶ برابر شرایط کاربرد صافی رایج بود. نتایج بدست آمده در آزمون سوم (ژئوتکستایل‌های نبافته و خاک‌های ماسه رسی و ماسه رسی – سیلتی) نشان از آن داشت که آبدهی لوله زهکش دارای صافی شن و ماسه‌ای در بارهای آبی مختلف و در خاک ماسه رسی بین ۱/۲ تا ۱/۷ برابر لوله زهکش با صافی ژئوتکستایل از نوع نبافته و در خاک ماسه رسی – سیلتی بین ۱/۵ تا ۲/۴ برابر می‌باشد. همچنین خیز سطح ایستابی از محور لوله در مجاورت زهکش و در وسط طول لوله دارای صافی ژئوتکستایل در هر دو خاک بیشتر از لوله با صافی رایج بود که دلالت بر مقاومت بیشتر ژئوتکستایل‌های نبافته به ورود آب داشت.

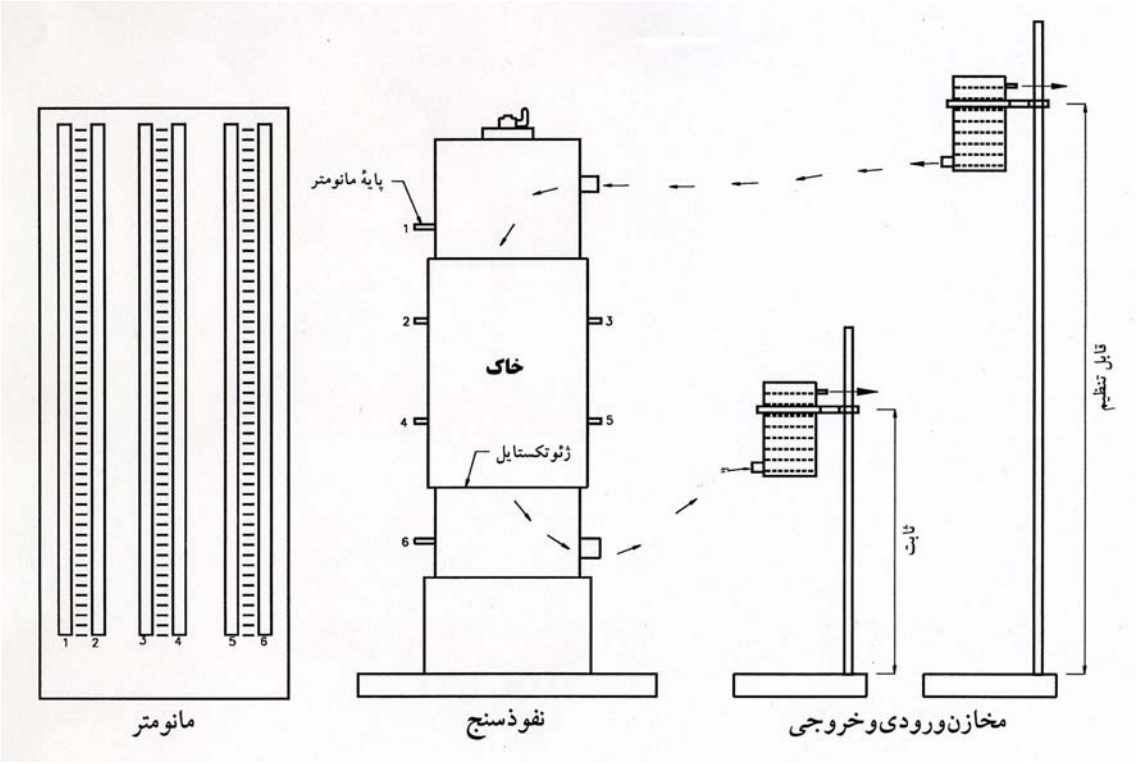
۶-۳- ارزیابی آبگذری و پتانسیل گرفتگی معدنی صافی‌های زهکشی ژئوتکستایل (آزمون نفوذسنجی)

در هنگام کاربرد صافی‌های ژئوتکستایل در اطراف لوله‌های زهکش زیرزمینی، خطر انسداد روزنه‌های صافی توسط ذرات خاک (خصوصاً در صورت عدم تناسب ویژگی‌های هیدرولیکی صافی ژئوتکستایل با نوع خاک) از مواردی است که عملکرد مناسب سیستم زهکشی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا در راستای تحقیق و بررسی پدیده‌هایی این چنینی که در سطح ژئوتکستایل و در ارتباط با خاک به وقوع می‌پیوندد، می‌توان از روش‌هایی استفاده نمود که بهره گیری از آزمون نفوذسنجی، یکی از کاربردی‌ترین و عملی‌ترین روش‌ها می‌باشد. توسط این آزمون و با برقراری ارتباط مناسب بین ترکیب خاک – ژئوتکستایل، می‌توان خطر انسداد معدنی را در صورت بکارگیری ژئوتکستایل در شرایط مزرعه‌ای پیش بینی نمود و در نتیجه، بهترین ترکیب خاک – صافی ژئوتکستایل برای هر منطقه را برگزید.

بمنظور بررسی پتانسیل گرفتگی معدنی ژئوتکستایل‌ها یا بنا به تعریف، استعداد ورقه ژئوتکستایل معین به کاهش نفوذ پذیری در نتیجه مسدود شدن روزنه‌های آن توسط ذرات خاک، ابتدا اقدام به طراحی و ساخت دستگاه نفوذسنج برطبق استاندارد ASTM D-5101 گردید و سپس، یک نمونه ژئوتکستایل بافته و دو نمونه ژئوتکستایل نبافته تولید داخل، در آزمون‌های نفوذسنجی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های خاک مورد استفاده، از پنج نوع بافت نام برده شده در بخش قبل بود. شکل (۴) شمایی از دستگاه نفوذسنج را نشان می‌دهد.

نتایج بدست آمده در قالب نسبت شیب (گرادیان) آبی نشان از خطر بالای انسداد نمونهٔ بافته در خاک رس سیلتی (با حداکثر نسبت شیب آبی ۸۰)، ماسه سیلتی (با حداکثر نسبت ۸۶) و سیلت (با حداکثر نسبت ۱۰) داشت که با عنایت به بزرگتر بودن از ۳، بر پتانسیل بالای انسداد پذیری ورقه ژئوتکستایل بافته دلالت دارد. در آزمون هر دو نوع ژئوتکستایل نبافته در خاک ماسه رسی، حداکثر نسبت شیب برای نمونه ۶۵۰ برابر ۲/۴ و در نمونه ۳۰۰ برابر ۵ بدست آمد. بنابراین ژئوتکستایل ۶۵۰ مناسب این خاک تشخیص داده

شد. در خاک ماسه رسی سیلتی، حداکثر نسبت شیب آبی در ژئوتکستایل ۶۵۰ به ۲۰ و در نمونه ۳۰۰ به ۲/۸ بالغ گردید، لذا ژئوتکستایل ۳۰۰ بعنوان نمونه مناسب برای این خاک قابل کاربرد می‌باشد.



شکل (۴) – دستگاه نفوذسنج و ضمائم آن

۶-۴- تأثیر اندازه ظاهری روزنه بر رفتار هیدرولیکی و انتخاب صافی ژئوتکستایل مناسب

هدف اصلی در این آزمون، تعیین اندازه ظاهری روزنه در سه نمونه ژئوتکستایل تولید داخل (یک نمونه از نوع بافته و دو نمونه از نوع نبافته که قبلاً معرفی شده‌اند) و ارزیابی آنها در مقابل پنج نمونه خاک با بافت‌های رس سیلتی، ماسه سیلتی، سیلت، ماسه رسی و ماسه رسی سیلتی می‌باشد. روش اجرای آزمایش منطبق بر استاندارد ASTM D-4751 بوده است. برای این منظور ابتدا نمونه ژئوتکستایل در قاب یک الک استاندارد نصب گردید و سپس از ذرات ماسه دانه بندی شده (بعلت عدم دسترسی به دانه‌های شیشه‌ای) بر اساس توصیه استاندارد استفاده بعمل آمد. شروع آزمایش از کوچکترین قطر ذرات است. با ریختن ماسه بر روی ژئوتکستایل و اجرای عملیات الک کردن مکانیکی، ذرات مانده بر الک و عبوری از آن توزین گردیده و سپس همین عملیات با قطر ذرات بزرگتر ماسه بر روی نمونه ژئوتکستایل ادامه می‌یابد. با بهره گیری از نتایج حاصله، منحنی نیمه لگاریتمی پراکندگی اندازه روزنه‌ها، همانند منحنی دانه بندی خاک ترسیم می‌شود.

نتایج اندازه گیری‌ها نشان داد که اندازه ظاهری روزنه در ژئوتکستایل بافته برابر با ۰/۱۰۵ میلیمتر، در نمونه نبافته اول (نوع ۶۵۰) برابر ۰/۱۴۰ میلیمتر و در نمونه نبافته دوم (نوع ۳۰۰) برابر ۰/۳۴۰ میلیمتر بود.

مقایسه ترکیبات مختلف خاک - ژئوتکستایل بر اساس نسبت O_{90}/d_{90} حکایت از آن داشت که در اکثر موارد، این میزان کمتر از حد مجاز ۲/۵ بدست آمد و تنها در ترکیب خاک سیلت و نمونه نبافته ۳۰۰، این میزان از حد مطلوب فراتر رفته و در نتیجه، امکان کاربرد ژئوتکستایل مورد نظر در خاک سیلتی را منتفی می‌سازد. البته نحوه قضاوت بر مبنای کمیت O_{90}/d_{90} و چگونگی برخورد با نتایج حاصله، در تصمیم‌گیری اولیه جهت انتخاب ژئوتکستایل مناسب بسیار با اهمیت بوده، لیکن به تنهایی کافی نمی‌باشد. تحلیل کمیت نسبت‌های O_{90}/d_{90} بدست آمده و نیز اجرای آزمایش‌های تکمیلی پس از انتخاب اولیه، در این شرایط توصیه می‌گردد.

۷- منابع

۱- حسن‌اقلی، ع. و ح. رحیمی (۱۳۷۵). "بررسی عملکرد فنی لوله‌های زهکش زمین بافت (ژئوتکستایل) در مقایسه با لوله‌های زهکش رایج". گزارش پژوهشی نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه شماره ۷۳.

۲- حسن‌اقلی، ع. و ع. روحانی (۱۳۷۸). "بررسی حرکت ذرات ریز خاک به درون صافی‌های زهکشی". گزارش پژوهشی نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه شماره ۱۴۷.

۳- حسن‌اقلی، ع. و ص. دربندی (۱۳۷۹). "ساخت و بررسی عملکرد فنی صافی‌های زهکشی مصنوعی نبافته در مدل‌های آزمایشگاهی". گزارش پژوهشی نهایی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه شماره ۱۸۴.

۴- حسن‌اقلی، ع. (۱۳۷۹). "اندازه ظاهری روزنه و تأثیر آن بر خصوصیات هیدرولیکی و نحوه انتخاب صافی ژئوتکستایل مناسب در پروژه‌های زهکشی". مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱۹.

۵- وطن‌زاده، م. (۱۳۷۲). "طراحی فیلترها و مقایسه ضوابط طراحی فیلترها در زهکشی". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.

6- Anon. (1993). "Construction, Road and Paving Materials". Section 4 of Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03. American Society of Testing Materials (ASTM).

7- Anon. (1987). "Geotextile Testing and the Design Engineer". PCN 04-952000-38. American Society of Testing Materials (ASTM).

8- Bolduc, G. et al. (1987). "Observations of Synthetic Envelope Materials in Silt Soils". Drainage Design and Management, Proceedings of the 5th National Drainage Symp., American Society of Agricultural Engineering (ASAE), Pub. 07-08.

9-Carman, D. K. and A. K. Gilmore (1987). "Field Trail to Study the Performane of Various Drainage Envelopes". Drainage Design and Management, Proceedings of the 5th National Drainage Symp., American Society of Agricultural Engineering (ASAE), Pub. 07-08.

10-Dierickx, W., Ch. Lennoz-Gratin and L. C. P. Stuyt (1987). "Joint European Research into Land Drainage Envelopes". Drainage Design and Management,

Proceedings of the 5th National Drainage Symp., American Society of Agricultural Engineering (ASAE), Pub. 07-08.

11-Giroud, J. P. (1985). "Filter Critical for Geotexties". Second International Confrence on Geotextiles, LasVegas, U.S.A.

12-Ingold, T. S. (1994). "Geotextiles and Geomembranes Manual". 1st edition, Pub. by Elsevier, London.

13-Ingold, T. S. and K. M. Miller (1988). "Geotextiles Handbook". Pub. by Thomas Telford Ltd.

14-Jhon, N. W. M. (1987). "Geotextiles". First Pub. by Chapman and Hall, U.S.A.

15-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.

16-Wenberg, R. D. and J. R. Talbot (1987). "USDA Soil Conservation Service Criteria for Subsurface Drain Filters or Envelopes". Proc. of 5th National Drainage Symp. ASAE Pub. 07-08.

17- Wenberg, R. D. and J. R. Talbot (1992). "Testing for Horizontal Drainage Filter Design. Proc. of 5th Int. Drainage Workshop, Lahore –Pakistan, ICID-CIID, IWASRI, Vol. 3, 5.105-5.113.

18-Willardson, L. S. (1987). "Drain Envelopes". ". Proc. of 5th National Drainage Symp. ASAE Pub. 07-08.