

انتخاب و کاربرد ژئوتکستایل به عنوان پوششی در زهکشی زیرزمینی



نگارش
علیرضا حسن اقلی

بسم الله الرحمن الرحيم

موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
نشریه فنی

انتخاب و کاربرد ژئوتکستایل به عنوان
پوشش در زهکشی زیرزمینی

نگارش:
علیرضا حسن اقلی

سال انتشار:
۱۳۸۸



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

انتخاب و کاربرد ژئوتکستایل به عنوان پوشش در زهکشی زیرزمینی	عنوان نشریه:
علیرضا حسن اقلی	نگارش:
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی	ناشر:
۱۳۸۸	سال انتشار:
۵۰۰ جلد	شمارگان:
فرحناز سهراب	ویراستار:
فرحناز سهراب	صفحه آرایی:

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۸۴۵،
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تلفن: ۲۷۰۵۳۲۰، ۲۷۰۵۲۴۲ و ۲۷۰۸۳۵۹ (۰۲۶۱)، دورنگار: ۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶۱)

بایگاہ اطلاعاتی موسسه: www.aeri.ir

مخاطبان نشریه:

کارشناسان آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، کارشناسان وزارت نیرو، دانشجویان رشته‌های مهندسی آب و مهندسان مشاور فعال در طراحی و اجرای پروژه‌های زهکشی کشاورزی و شهری.

اهداف آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با

- انواع پوشش‌های زهکشی زیرزمینی
- پوشش مصنوعی ژئوتکستایل و خصوصیات آن
- نحوه طراحی و انتخاب پوشش ژئوتکستایل
- آزمون عملکرد پوشش ژئوتکستایل

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	مقدمه
۳	نحوه تعیین نیاز یا عدم نیاز به پوشش در اطراف لوله زهکش
۱۰	انواع پوشش‌های زهکشی
۱۲	پوشش مصنوعی ژئوتکستایل (زمین بافت)
۱۵	خصوصیات مهم ژئوتکستایل‌ها
۱۶	طراحی و انتخاب پوشش ژئوتکستایل مناسب
۱۶	مرحله اول: استفاده از ضوابط عمومی موجود
۲۱	مرحله دوم: آزمون‌های تکمیلی آزمایشگاهی
۲۴	مرحله سوم: بهره‌گیری از مزارع آزمایشی
۲۸	منابع مورد استفاده
۲۹	یادآوری مطالب

مقدمه

در گذشته، زهکشی به مجموعه عملیاتی اطلاق می‌گردید که هدف از آن تنها خارج ساختن آب و نمک‌های اضافی از سطح و نیمرخ خاک بود تا حداکثر رشد گیاه و در نتیجه، بیشترین مقدار محصول زراعی حاصل آید. زهاب و نمک‌های خارج شده از خاک و سرنوشت آن، به همراه نوع مصالح مورد استفاده در این عملیات و تأثیر آن بر محیط زیست، همان گونه که از این تعریف برداشت می‌شود محل توجه نبوده، در حالی که می‌دانیم بازگشت زهاب حاوی عناصر و ترکیبات مختلف به محیط و برداشت بی رویه شن و ماسه جهت استفاده به عنوان پوشش لوله‌های زهکشی و مواردی دیگر از این دست، مشکلات عدیده‌ای را به وجود آورده است.

هم اینک به دلیل وسعت اراضی زهدار و شور در گستره کشور، نیاز به زهکشی در سطوحی وسیع و به ویژه در مناطقی نظیر خوزستان بارز بوده و با توجه به استقبال عمده از سیستم‌های زهکشی زیرزمینی، تأمین مصالح مورد نیاز در اجرای آنها از جمله اولویت‌های اساسی است. به عنوان مهم‌ترین مورد در این خصوص می‌توان به «پوشش» شن و ماسه‌ای و یا به اصطلاح «فیلتر» اطراف لوله‌های زهکش اشاره نمود. امروزه دوری منابع قرضه و برداشت بی رویه از معادن شن و ماسه، وضعیت بسیار بغرنجی را چه از لحاظ اقتصادی و چه از نظر زیست

محیطی ایجاد نموده است. این مهم ضرورت جایگزینی دیگر محصولاتی که از توان اجرای وظایف یک پوشش مناسب برخوردار بوده و در عین حال به سهولت قابل تأمین باشند را بیش از پیش نمایان می‌سازد. از جمله تولیداتی که در سطح جهانی به آنها توجه خاص شده، می‌توان به ژئوتکستایل‌های مصنوعی اشاره نمود. در این مختصر، ضمن معرفی ژئوتکستایل‌ها و خصوصیات مهم آنها، دستور العمل‌های اصلی انتخاب به عنوان پوشش مصنوعی ارائه گردیده و در نهایت، نحوه آزمون آنها قبل از استفاده در پروژه‌های زهکشی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نحوه تعیین نیاز یا عدم نیاز به پوشش در اطراف لوله زهکش

در خاک‌هایی که دارای استحکام ذاتی مناسب و مقاومت کافی هستند، می‌توان زهکش‌های زیرزمینی را بدون احتیاج به پوشش کارگذاری نمود. بنابراین شناخت خصوصیات خاک محل و در صورت امکان، بهره‌گیری از اطلاعات محلی در مورد پروژه‌هایی که قبلاً در منطقه اجرا شده می‌تواند در این خصوص کارساز باشد. خاک‌های اراضی واقع در مناطق خشک و نیمه خشک معمولاً مقاومت چندانی نداشته و تنها از روی درصد رس آنها نمی‌توان تشخیص داد که آیا خاک نیاز به پوشش دارد یا خیر. یکی از قواعد موجود جهت تصمیم‌گیری در این مورد، رابطه‌ای است مرکب از هدایت هیدرولیکی و نمایه خمیرایی خاک. با استفاده از این رابطه، شاخصی به نام گرادیان

شکست هیدرولیکی (HFG) محاسبه می‌شود که از روی آن می‌توان مقاومت خاک را در مقابل جریان آب حدس زد. گرادیان شکست هیدرولیکی به قرار زیر است (سامانی و ویلاردسون، ۱۹۸۱):

$$HFG = e^{0.333 - 0.132K_{sat} + 1.07 \ln PI} \quad (1)$$

که در آن،

HFG = گرادیان شکست هیدرولیکی (Hydraulic Failure Gradient)

K_{sat} = هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (متر در روز)

PI = نمایه خمیرایی (پلاستیسیته) خاک

e = مبنای لگاریتم طبیعی (۲/۷۱۸۳)

پس از محاسبه HFG، شاخص دیگری به نام گرادیان خروجی (i_x) که تابعی از حداکثر دبی محتمل در لوله زهکش و هدایت هیدرولیکی خاک است محاسبه می‌گردد. چنانچه i_x از HFG بزرگتر باشد، پوشش دور لوله الزامی است (سامانی و ویلاردسون، ۱۹۸۱). گرادیان خروجی را می‌توان با استفاده از معادله هوخهات (برای محاسبه فاصله زهکش‌ها در شرایط ماندگار) تعیین نمود. به همین منظور در ابتدا لازم است حداکثر دبی قابل انتظار در لوله زهکش (Q_{max}) از روی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_{sat}) و حداکثر ارتفاع آب نسبت به تراز محل نصب زهکش در نقطه وسط بین دو لوله (h_{max}) و فاصله لوله‌ها (L) به

دست آید. با داشتن Q_{max} و طول لوله زهکش (l)، می توان دبی در واحد طول لوله (q_{max}) را به دست آورد (علیزاده، ۱۳۸۵):

$$q_{max} = \frac{Q_{max}}{l} \quad (۲)$$

سپس گرادیان خروجی از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$i_x = \frac{q_{max}}{K_{sat} A_{pu}} \quad (۳)$$

در این روابط:

Q_{max} = حداکثر دبی ممکن در شرایط جریان آزاد در زهکش (متر مکعب در روز)

q_{max} = حداکثر دبی ممکن در واحد طول لوله (متر مربع در روز)

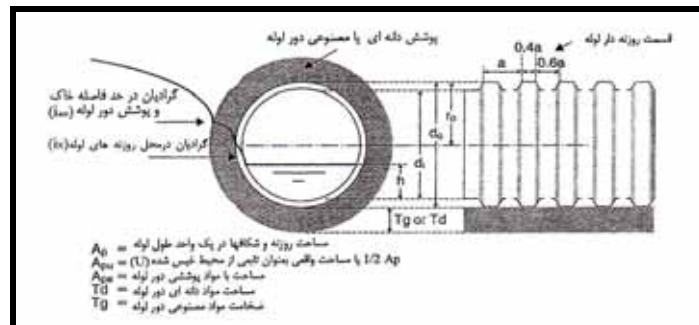
K_{sat} = هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در عمق نصب زهکش و در مجاورت پوشش دور لوله (متر در روز)

A_{PU} = سطح واقعی منافذ یا شکاف‌های ورود آب به لوله زهکش (متر مربع بر متر طول لوله)

توجه: با عنایت به الگوی تقرب خطوط جریان به سمت لوله‌های زهکش زیرزمینی (جریان شعاعی)، فرض می‌شود که نیمه زیرین لوله زهکش بیشترین تأثیر را در ورود زهاب به درون لوله دارا باشد، بنابراین A_{PU} برابر نصف A_P در نظر گرفته می‌شود (A_P مساحت منافذ یا شکاف‌های تعبیه شده بر روی لوله زهکش می‌باشد). برای به دست آوردن مقادیر واقعی و پیشنهادی تخلخل پوشش مصنوعی اطراف لوله

انتخاب و کاربرد ژئوتکستایل به عنوان پوشش در زهکشی زیرزمینی

زهکش، از شکل ۱ و استاندارد اندازه منافذ روی لوله زهکش استفاده می‌شود. هم چنین برای محاسبه گرادیان خروجی در پوشش‌های دور لوله، به جای APU مقادیر مربوط به نوع مصالح پوششی به کار گرفته می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۵).

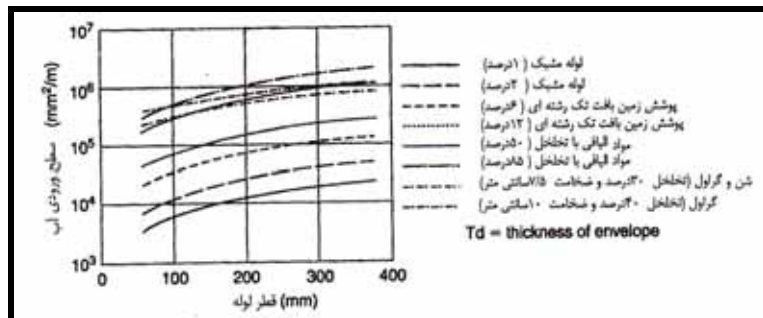


شکل ۱- گرادیان‌های خروجی در حد فاصل لوله - پوشش - خاک

- **نکته اول:** در هنگام ورود جریان آب به درون لوله زهکش، با توجه به کوچک بودن منافذ لوله و مقاومت نسبی در مقابل ورود آزادانه آب در نتیجه تراکم و هم گرایی خطوط جریان، بار هیدرولیکی بیشتری جهت ورود آب به درون زهکش لازم است. البته در لوله‌های پلاستیکی موج دار، سطح مقطع جریان ورودی (سطح مقطع منافذ روی لوله) در مقایسه با سایر انواع لوله زهکش به نسبت بزرگ است. با اجرای پوشش در اطراف لوله زهکش، تلفات انرژی در هنگام ورود آب به مراتب کاهش



می‌یابد، زیرا روزنه‌ها یا سطح باز پوشش در اطراف لوله زهکش بسیار بیشتر از سطح باز منافذ روی لوله می‌باشد و در کنار آن، با کاربرد پوشش بر قطر مؤثر لوله افزوده می‌شود. به عبارتی در نتیجه اجرای پوشش، کاهش سرعت جریان ورودی، پائین آمدن گرادیان هیدرولیکی و پایداری بیشتر خاک دانه‌ها و ذرات مجاور لوله حاصل می‌گردد (حسن اقلی، ۱۳۷۵). شکل ۲ نمونه‌ای از گراف‌های مورد استفاده جهت تعیین سطح مقطع منافذ ورود آب به داخل زهکش را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مساحت سطح مقطع ورودی آب به داخل لوله زهکش بر حسب میلی‌متر مربع در هر متر طول لوله برای انواع پوشش‌ها (علیزاده، ۱۳۸۵)

- **نکته دوم:** سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (F.A.O.) شاخص‌های مهمی را در رابطه با تعیین نیاز و یا عدم نیاز به پوشش دور لوله‌های زهکش به شرح زیر ارائه نموده است. این شاخص‌ها در

انتخاب و کاربرد ژئوتکستایل به عنوان پوشش در زهکشی زیرزمینی

کنار مباحث قبلی می‌تواند به تصمیم‌گیری صحیح در این زمینه منجر شود (Stuyt *et al.*, 2000).

ضریب یکنواختی (C_u): این ضریب از جمله شاخص‌های مؤثری است که نشان دهنده پایداری خاک و یا پتانسیل رسوب‌گذاری در لوله زهکش می‌باشد. جدول ۱ دامنه تغییرات C_u و اثر آن بر رسوب‌گذاری در لوله زهکش را به همراه تأثیر توأم نمایه خمیرایی خاک نشان می‌دهد. با داشتن منحنی دانه بندی خاک می‌توان این ضریب را به صورت زیر بیان نمود:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (4)$$

که در آن:

d_{60} = اندازه قطری است که ۶۰ درصد ذرات خاک از آن کوچک‌تر باشند.
 d_{10} = یا قطر مؤثر، قطری است که ۱۰ درصد ذرات خاک از آن کوچک‌تر باشند.

جدول ۱ - حدود ضریب یکنواختی و نمایه خمیرایی خاک به عنوان شاخص

پتانسیل ورود رسوبات سیلنتی به درون لوله زهکش زیرزمینی

PI	C_u	تمایل به رسوب‌گذاری (پتانسیل ورود سیلنت به لوله زهکش)
> ۱۲	> ۱۵	فقدان رسوب‌گذاری (عدم ورود سیلنت)
۶ - ۱۲	۵ - ۱۵	رسوب‌گذاری کم (ورود محدود سیلنت به لوله)
< ۶	< ۵	رسوب‌گذاری زیاد (ورود قابل توجه سیلنت به لوله)

نمایه خمیرایی (PI) عبارت است از تفاضل حد روانی و حد خمیری خاک. این حدود از جمله مقادیری است که به حدود آتبرگ معروف بوده و در آزمایشگاه‌های مکانیک خاک تعیین می‌شود. دامنه اثرگذاری نمایه خمیرایی نیز در جدول ۱ قابل ملاحظه است.

سایر موارد:

- خاک‌های سنگین (رسی و یا خاک‌هایی که مقدار رس آنها از ۶۰ درصد بیشتر و هدایت هیدرولیکی آنها کمتر از ۰/۱ متر در روز است)، نیاز به پوشش ندارند. البته این موضوع در حضور سدیم قابل تبادل بالا محل تردید است.
- خاک‌های رسی در مناطق مرطوب که مقدار رس آنها بیشتر از ۳۰ - ۲۵ درصد باشد، معمولاً نیاز به پوشش ندارند.
- در صورتی که نسبت رس به سیلت برابر ۰/۵ باشد، محدودیتی از نظر رسوب‌گذاری متصور نمی‌باشد (مگر در حضور سدیم قابل تبادل بالا).
- خاک‌های درشت دانه‌ای که ۹۰ درصد ذرات آنها اندازه‌ای بزرگتر از حداکثر عرض شکاف‌های روی لوله زهکش داشته باشد، نیاز به پوشش نخواهند داشت.

انواع پوشش‌های زهکشی

این پوشش‌ها بر اساس مواد تشکیل دهنده، به سه گروه عمده تقسیم می‌شوند (حسن اقلی، ۱۳۷۵):

- پوشش‌های معدنی: شن و ماسه و ترکیب آنها (شکل‌های ۳ و ۴).
- پوشش‌های آلی: عمدتاً بقایای گیاهی مشتمل بر کاه و کلش، پوسته برنج، خاک اره، پیت و ...
- پوشش‌های مصنوعی یا سنتتیک: پشم شیشه، ژئوتکستایل (بافته و نبافته) و ضایعات الیاف پلیمری کارخانجات نساجی که به دور لوله زهکش پیچانده می‌شوند (شکل‌های ۵ و ۶).



شکل ۳- پوشش معدنی در حال استفاده در یک پروژه زهکشی زیرزمینی در خوزستان
شکل ۴ - نحوه لوله‌گذاری و کاربرد پوشش معدنی با استفاده از ترنچر



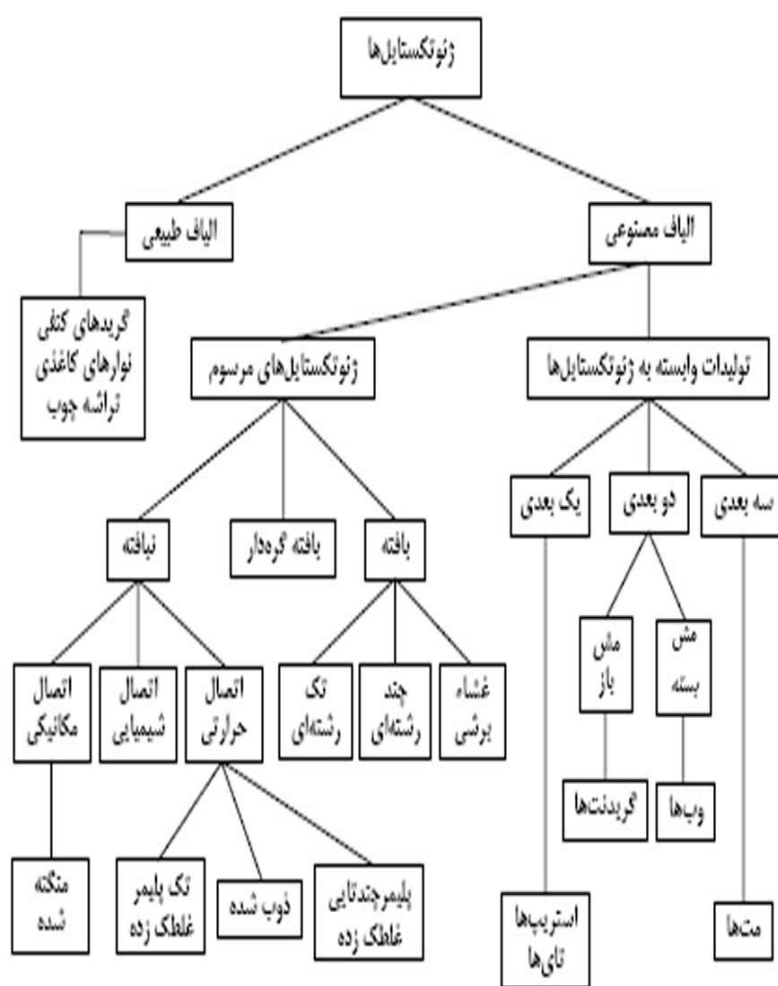
شکل ۵- لوله زهکش دارای پوشش مصنوعی
شکل ۶- پوشش‌های مصنوعی حجیم لفاف شده به دور لوله و آماده کارگذاری

- اصول کلی که باید برای انتخاب یکی از انواع لفاف یا پوشش‌های دور لوله زهکش زیرزمینی مد نظر قرار گیرد به شرح زیر می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۵):
 - ارزانی و سادگی دسترسی از اهمیت قابل توجهی برخوردار است.
 - قابلیت ایفای نقش مناسب از جنبه‌های هیدرولیکی، مکانیکی و فیلتراسیون.
 - بار وارده به لوله و پوشش را تحمل نماید.
 - عدم تولید مواد شیمیایی و بیوشیمیایی ایجاد کننده گرفتگی توسط مواد پوششی و حتی المقدور حساس نبودن در مقابل آنها.
 - توجه به فرآیندهای تکامل خاک، اسیدیته و میزان مواد آلی خاک.
 - در نظر گرفتن شرایط شیمیایی خاک.
 - ایجاد ضخامت متناسب با اهداف کاربرد پوشش در اطراف زهکش.

پوشش مصنوعی ژئوتکستایل (زمین بافت)

ژئوتکستایل‌ها^۱ منسوجاتی الیافی می‌باشند که نسبت به عبور سیالاتی از قبیل آب و گازها نفوذپذیرند. این تولیدات به عنوان زیر مجموعه‌ای از محصولات با عنوان کلی ژئوسنتتیک^۲ به شمار می‌آیند. به دلیل خصوصیات بارز ژئوتکستایل‌ها از نظر عبور سیالات از خود و قابلیت جلوگیری از ورود ذرات خاک (نقش فیلتری)، از آنها در پروژه‌های زهکشی زیرزمینی و به عنوان پوشش دور لوله‌های زهکش استفاده می‌گردد. ژئوتکستایل‌ها را می‌توان بر اساس روش تولید آنها، به سه گروه اصلی محصولات بافته، نبافته و بافته گره‌دار تقسیم کرد. البته در برخی موارد از توده‌ای حجیم و سست از الیاف سازنده این قبیل ژئوتکستایل‌ها، به صورت پیش تنیده (بدون کاربرد هرگونه عاملی جهت اتصال الیاف به یکدیگر) در اطراف لوله زهکش زیرزمینی استفاده به عمل می‌آید. شکل ۷ تقسیم بندی عمومی ژئوتکستایل‌ها و زیر مجموعه‌های آن را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در تولید این قبیل محصولات از انواع پلیمرهای نفتی نظیر پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌استر (PES) و پلی‌آمید (PA) استفاده می‌شود (حسن‌اقلی، ۱۳۷۵ و Ingold, 1994).

1- Geotextile
2- Geosynthetic



شکل ۷ - طبقه بندی زونکستایل های مرسوم

مواد پیش تنیده سست (PLM)

پوشش مصنوعی حجیم و سست پیچانده شده به دور لوله^۱ در کارخانه یا به اصطلاح PLM عبارت است از ترکیبی نفوذپذیر شامل الیاف و رشته‌های سست که به صورت غیر منظم، دور لوله‌های زهکشی موج‌دار را احاطه می‌نمایند و با یک شبکه توری یا ریسمان مناسب در جای خود تثبیت می‌شوند. محصول نهایی باید در برابر حمل و نقل و نصب مقاوم باشد تا صدمه‌ای به آن نرسد (Stuyt *et al.*, 2000). شکل ۸ نمونه‌ای از پوشش PLM نوع PP-450، در هنگام کارگذاری در یکی از پروژه‌های تحقیقاتی زهکشی در جنوب کشور را نشان می‌دهد.



شکل ۸ - پوشش PLM ساخته شده از الیاف ضایعاتی پلی پروپیلن (PP-450)

خصوصیات مهم ژئوتکستایل‌ها

خصوصیات ژئوتکستایل‌ها همانند سایر محصولات مورد استفاده در فعالیت‌های مهندسی، به مواد به کار برده شده در تولید آنها، چگونگی ساخت و خواص محصول نهایی بستگی دارد. طبقه‌بندی‌های متفاوتی برای ویژگی‌های فنی این تولیدات ارائه شده است، لیکن خصوصیات اصلی آنها را می‌توان در سه گروه شامل (حسن اقلی، ۱۳۷۵):

- **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) تقسیم‌بندی کرد. 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.

خصوصیات هیدرولیکی ژئوتکستایل‌ها، توانایی آنها را جهت انجام وظیفه به عنوان پوشش لوله‌های زهکش تعیین می‌نماید. عمده‌ترین خصوصیات فیزیکی ژئوتکستایل‌ها که ویژگی‌های هیدرولیکی آنها را تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارتند از ضخامت و ابعاد روزنه‌هایی که در

1- Permeability
2-Transmissivity

طی فرآیند تولید در ژئوتکستایل به وجود می‌آید (حسن‌اقلی، ۱۳۷۵). «انتخاب یک ژئوتکستایل جهت فیلتراسیون مناسب، به اندازه و پراکندگی روزنه‌ها (خلل و فرج) و رابطه آن با دانه‌بندی خاک محل نصب لوله زهکش و پوشش بستگی دارد». آزمایش‌های بسیاری جهت تعیین اندازه خلل و فرج ژئوتکستایل‌ها وجود دارد که رایج‌ترین آن در استاندارد ASTM D-4751 ارائه شده است. در این روش، عامل مهم عبارت است از اندازه ظاهری روزنه^۱ (AOS) یا اندازه روزنه معادل^۲ (EOS) که هر دو نشان‌دهنده O₉₀ ژئوتکستایل می‌باشند. این کمیت بیان‌گر اندازه روزنه‌هایی در ژئوتکستایل است که ۹۰ درصد روزنه‌های موجود از آن کوچک‌تر بوده و یا به عبارتی، تنها ۱۰ درصد روزنه‌ها بزرگتر از آن است (حسن‌اقلی، ۱۳۷۹).

طراحی و انتخاب پوشش ژئوتکستایل مناسب

مرحله اول: استفاده از ضوابط عمومی موجود

اولین مرحله در انتخاب پوشش‌های مصنوعی که برآورد اولیه از نوع محصول مناسب را به دست می‌دهد، استفاده از ضوابط و معیارهای ارائه شده در این خصوص می‌باشد. این معیارها ممکن است بر اساس استانداردهای گوناگون و شرایط هر منطقه تا حدودی متفاوت باشند،

1 - Apparent Opening Size

2 - Equivalent Opening Size



حسن اقلی

لیکن معیارهای قابل پیشنهاد به صورت خلاصه در جدول ۲ ارائه شده است (علیزاده، ۱۳۸۵).

جدول ۲ - معیارهای طراحی و انتخاب پوشش‌های مصنوعی در پروژه‌های زهکشی

ملاحظات	معیار	نوع جریان	ژئوتکستایل
معیار نگهداری	$^{(۳)}O_{90}/d_{90} < 2.5$	-	ژئوتکستایل نازک ($Tg \leq 1$ mm)
معیار نگهداری	$O_{90}/d_{90} < 5$	-	نوع حجیم ($Tg \geq 5$ mm)
	میان‌یابی بین $O_{90}/d_{90} = 2.5$ to 5	-	$1 \leq Tg \leq 5$ mm
معیار هیدرولیکی و ضد انسداد پوشش	$O_{90} > 200 \mu m$	-	
معیار هیدرولیکی در جایی که: نامطمئن، $a = 0.1$ $a = 1$ ، برای شرایط غیر بحرانی ^(۳) $a = 10$ ، در شرایط جریان معکوس	$K_e \geq a K_s$	دینامیک و یکنواخت	
معیار ضد انسداد پوشش	$O_{90}/d_{90} > 1$ $O_{90} > 100-200 \mu m$		

(۱) ضخامت واقعی (Tg) عبارت است از ضخامت در شرایطی که نمونه تحت فشار نبوده یا ضخامت نمونه هنگامی که تحت کشش ۲ کیلو پاسکال قرار دارد.

(۲) O_{xx} اندازه روزهایی در ژئوتکستایل است که XX درصد روزهایی موجود از آن کوچک‌تر است.
 d_{xx} اندازه‌ای از ذرات خاک که XX درصد وزن ذرات خاک از آن کوچک‌تر است.

(۳) وضعیت غیر بحرانی در جایی اتفاق می‌افتد که جریان یک نواخت و تنها در یک جهت باشد (جریان معکوس نباشد).

کلیه پوشش‌های مصنوعی برای استفاده در زهکشی باید از پنج جهت، به شرح زیر مورد توجه قرار گیرند (علیزاده، ۱۳۸۵):

معیارهای فیلتری - سه نوع معیار اصلی در این خصوص وجود دارد:

- نسبت O_{90}/d_{90} به عنوان رایج ترین معیار مورد استفاده؛
- نسبت O_{95}/d_{85} ؛
- دامنه مقادیر O_{90} ، O_{50} و O_{15} در ترکیب با d_{12} ، d_{50} یا d_{85} خاک (تعریف O_{xx} و d_{xx} در زیر جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد).

معیارهای هیدرولیکی - در این مورد سه معیار مطرح است:

- $Ke > 10Ks$ به عنوان معیار مناسب در اراضی کشاورزی که بهترین نتیجه را به دست می‌دهد (Ke و Ks) به ترتیب هدایت هیدرولیکی خاک و پوشش اطراف آن می‌باشد)؛
- $Ke > Ks$ ؛
- $Ke > 0.1Ks$.

معیار عدم گرفتگی پوشش - ورود ذرات خاک به داخل پوشش مصنوعی و تجمع بر روی آن به تدریج موجبات نقصان هدایت هیدرولیکی پوشش را فراهم می‌آورد. در جدول ۲ برای لحاظ کردن این ویژگی، معیار $O_{90} > 200\mu m$ در نظر گرفته شده است.

مقاومت مکانیکی - تعدادی از معیارهای مهم مکانیکی در پوشش‌های ژئوتکستایل عبارتند از وزن واحد سطح، مقاومت کششی، مقاومت فشاری و مقاومت در برابر عوامل شیمیایی.

ضخامت پوشش - ضخامت پوشش دور لوله زهکش بر این اساس تعیین می‌شود که بخواهیم گرادیان خروجی چقدر کاهش پیدا کند. هر چه پیرامون لوله بزرگتر باشد، گرادیان ایجاد شده در حد فاصل خاک-پوشش، لوله - پوشش و لوله - خاک کوچکتر خواهد بود (شکل ۱).

- اگر گرادیان خروجی (i_x) در محل تماس لوله زهکش با خاک از گرادیان شکست هیدرولیکی (HFG) بیشتر باشد، وجود پوشش برای لوله زهکش ضروری است.

- اگر گرادیان خروجی در محل تماس پوشش با خاک (i_{env}) کمتر از HFG باشد، از یک پوشش نازک (با ضخامت کمتر از ۵ میلی‌متر) استفاده شود.

- اگر $i_{env} > HFG$ باشد، باید شعاع لوله زهکش به اضافه پوشش دور آن (r_{env}) به گونه‌ای انتخاب شود که $i_{env} \leq HFG$ گردد. حال چنانچه ضخامت پوشش در این وضعیت بین ۵ - ۱ میلی‌متر باشد، از پوشش مصنوعی استفاده شود. در غیر این صورت، پوشش مصنوعی گران تمام می‌شود و باید از پوشش طبیعی (شن و ماسه) استفاده نمود.

توجه: ضخامت پوشش‌های ژئوتکستایل بین ۷/۵ - ۰/۱۲۵ میلی‌متر در نوسان است. مقادیر متفاوتی از نظر ضخامت پوشش مصنوعی در استانداردهای مختلف ارائه شده که برخی از آنها در جدول ۳ قابل مشاهده است. ضخامت پیشنهادی پوشش‌های مصنوعی که در کاتالوگ

انتخاب و کاربرد ژئوتکستایل به عنوان پوشش در زهکشی زیرزمینی

کارخانه سازنده ذکر می‌شود، تحت شرایط استاندارد و بار کششی ۲ کیلو پاسکال می‌باشد. با توجه به اینکه لوله‌های زهکش زیرزمینی معمولاً در عمق ۳ - ۱ متری از سطح خاک به کار می‌روند، از ضریبی با عنوان ضریب قابلیت فشردگی پوشش باید استفاده نمود. این ضریب بستگی به نوع مواد به کار رفته در تولید پوشش دارد و مقادیر آن به قرار زیر است (علیزاده، ۱۳۸۵):

- برای الیاف مصنوعی نبافته ۰/۷ - ۰/۵۸
- برای الیاف مصنوعی تک رشته‌ای بافته ۰/۹۴ - ۰/۹
- برای سایر مواد الیافی ۰/۸۸ - ۰/۸۱

جدول ۳ - ضخامت لازم برای انواع پوشش مصنوعی و طبیعی دور لوله‌های زهکش زیرزمینی (علیزاده، ۱۳۸۵)

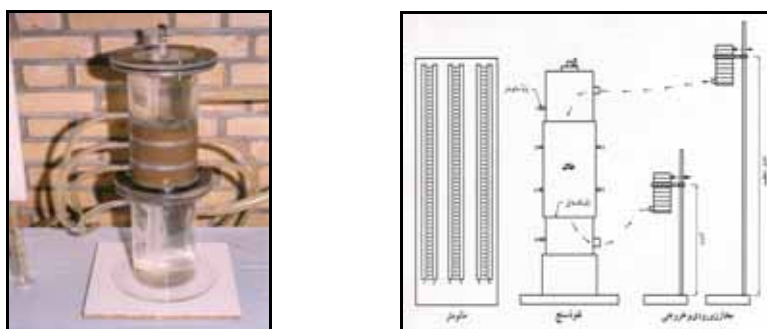
شرح	ضخامت حداق (میلیمتر)	ملاحظات
بقایای گیاهی	۱۵۰	براساس استاندارد EP260.4-ASAE، از این مواد فقط برای پوشش لوله‌های سخت و غیر پلاستیک استفاده شود.
الیاف مصنوعی (PLM)	۳	از استاندارد ISO 9863 استفاده شود.
مواد دانه‌ای مصنوعی (PLM گرانولی)	۸	ضخامت پوشش می‌تواند در محدوده
الیاف طبیعی	۴	$\pm 25\%$ مقادیر توصیه شده کارخانجات
مواد دانه‌ای طبیعی	۸	سازنده تغییر نماید.
الیاف نارگیل	۸	از استاندارد هلندی NEN-7074 استفاده شود.

مرحله دوم: آزمون‌های تکمیلی آزمایشگاهی

آزمون نفوذسنجی

در هنگام کاربرد پوشش ژئوتکستایل در اطراف لوله زهکش زیرزمینی، خطر انسداد روزنه‌های پوشش توسط ذرات خاک از مواردی است که عملکرد مناسب سیستم زهکشی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. لذا در راستای بررسی پدیده‌هایی این‌چنینی که در سطح ژئوتکستایل و در ارتباط با خاک به وقوع می‌پیوندد، می‌توان از روش‌هایی استفاده نمود که بهره‌گیری از آزمون نفوذسنجی، یکی از کاربردی‌ترین و عملی‌ترین روش‌ها می‌باشد.

نفوذسنج دستگاهی است که جهت تعیین نفوذپذیری یک سیستم خاک-ژئوتکستایل و نیز پتانسیل گرفتگی معدنی ژئوتکستایل تحت شرایط جریان یک بعدی، به کار 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. در این خصوص استانداردهای متعددی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به استاندارد ASTM D-5101 اشاره نمود. شکل ۹ دستگاه نفوذسنج و متعلقات آن را نشان می‌دهد (حسن اقلی، ۱۳۷۵).



شکل ۹- دستگاه نفوذسنج و ضمام آن

در اجرای آزمون نفوذسنجی، لازم است نکات و مراحل زیر مورد توجه قرار گیرند (حسن‌اقلی، ۱۳۷۵):

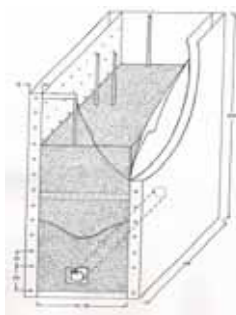
- نمونه برداری از ژئوتکستایل به گونه‌ای انجام پذیرد که از تمامی عرض ورقه، نمونه‌هایی تهیه شود تا یکنواختی محصول نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. در این خصوص روش توصیه شده در استاندارد ASTM D-4491 می‌تواند مفید فایده باشد.
- مراحل آماده سازی دستگاه و نمونه ژئوتکستایل مشتمل بر نصب نمونه در محل خود، پر نمودن دستگاه نفوذسنج از خاک، اشباع سیستم (به عنوان مرحله‌ای اساسی در انجام آزمایش) و نهایتاً اجرای آزمون‌ها با دقت تمام و مطابق با استاندارد انجام پذیرد.
- اندازه‌گیری دبی خروجی از سیستم، زمان جمع‌آوری آب خروجی، دمای آب ورودی و قرائت تراز سطح آب در مانومترهای شش گانه دستگاه، مطابق با دستور العمل و گام‌های زمانی ارائه شده در

استاندارد و در گرادیان‌های هیدرولیکی ۱، ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ به انجام رسد.

- در نهایت با داشتن اعداد و ارقام، محاسبات بر اساس روابط موجود در استاندارد انجام پذیرفته و نتیجه‌گیری به عمل آید. در این مرحله مواردی از قبیل گرادیان هیدرولیکی سیستم، نفوذ پذیری در دمای آزمایش و اصلاح آن به ۲۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت گرادیان تعیین می‌گردد.

استفاده از مدل‌های فیزیکی آب و خاک

در راستای شبیه‌سازی شرایط طبیعی اراضی زهکشی شده در آزمایشگاه و آزمون لوله‌های زهکشی و پوشش (فیلتر) اطراف آنها، اقدام به طراحی و ساخت مدل‌های فیزیکی می‌شود. به عنوان نمونه، در تحقیقاتی که توسط نگارنده و همکاران به انجام رسید، دو مدل فیزیکی (مخزن آب و خاک) با دیواره‌های جانبی دو جداره ساخته شد تا در مقیاس واقعی، بخشی از ترانشه زهکشی و لوله و پوشش نصب شده در اطراف آن را بازسازی نمایند. شکل ۱۰ شمایی از مدل‌های مذکور را نشان می‌دهد. این مدل‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که شرایط مرزی جهت مقایسه توأمان عملکرد پوشش زهکشی مصنوعی (ژئوتکستایل) و پوشش رایج (شن و ماسه) تا حد امکان همانند یک دیگر باشد (حسن اقلی، ۱۳۷۵).



شکل ۱۰ - مدل‌های فیزیکی آب و خاک جهت آزمون لوله و پوشش زهکشی

در هنگام بهره برداری، آب از دیواره‌های دو جداره کناری به داخل خاک نفوذ یافته و از طریق لوله زهکش دارای پوشش، از مدل‌ها زهکشی می‌گردد. با تعبیه سرریزهایی در بخش دو جداره، امکان تثبیت سطح ایستابی در ارتفاع معین تدارک دیده شده است. با استفاده از نتایج این آزمون می‌توان تغییرات دبی لوله زهکش در گرادیان‌های هیدرولیکی مختلف به منظور برآورد میزان گرفتگی پوشش، مقدار رسوبات ورودی به لوله و خارج شده از سیستم و حتی تغییر شکل لوله زهکش در زیر بار آب و خاک را در شرایط نزدیک به شرایط واقعی مزرعه مشاهده نمود (حسن‌اقلی، ۱۳۷۵).

مرحله سوم: بهره‌گیری از مزارع آزمایشی

به رغم پیشرفت‌های نظری متعدد در امر زهکشی، توجه صرف به این مسائل نمی‌تواند پاسخگوی نیازها باشد و در عمل پس از احداث

شبکه زهکشی، نتایج به دست آمده با برآوردهای اولیه متفاوت و گاه نیز مغایر است. از این رو بهترین راه حل فائق آمدن به مشکلات یاد شده، احداث مزارع آزمایشی می‌باشد (نحوی، ۱۳۸۵).

کاربرد مصالح جدید و به‌ویژه پوشش‌های مصنوعی در پروژه‌های بزرگ زهکشی، ممکن است با ریسک پذیری بالایی مواجه بوده و به همین دلیل مشاوران و طراحان با احتیاط با این موضوع برخورد می‌نمایند. یکی از قابل توصیه‌ترین اقدامات در چنین شرایطی نیز، بهره‌گیری از مزارع آزمایشی است. بدین منظور پیش از اجرای پروژه‌های زهکشی زیرزمینی بزرگ و در سطوح گسترده، توصیه می‌شود گزینه‌های مورد نظر طراح در قطعاتی از اراضی منطقه و در وسعت مناسب به اجرا درآید. با این عمل ضمن حصول اطمینان از کارایی مناسب گزینه‌های انتخاب شده، بهترین آنها نیز قابل‌گزینه‌ش، توصیه و پیشنهاد جهت اجرا در پروژه خواهد بود. ضمن اینکه بر اساس نتایج به دست آمده و پایش مستمر این مزارع می‌توان اصلاحات و تعدیل ضروری را در پارامترهای طراحی شبکه زهکشی مشخص نمود و بدین وسیله، هزینه‌های اجرایی را نیز به میزان قابل توجهی کاهش داد. مشکل اساسی در یک چنین شرایطی، وقت‌گیر و پرهزینه بودن این قبیل آزمون‌ها می‌باشد.

ابعاد و اندازه مزرعه آزمایشی

اندازه مزرعه به تعداد متغیرهای مورد آزمایش (تعداد، نوع لوله‌ها و مواد پوششی)، هم‌چنین به فاصله، طول خطوط زهکش، تکرارهای محل آزمایش و وسعت کلی منطقه طرح زهکشی بستگی دارد (نحوی، ۱۳۸۵).

- **تعداد خطوط زهکش:** حداقل تعداد خطوط زهکش در هر واحد آزمایشی ۳ خط است. تعداد مناسب و مطلوب زهکش‌ها ۴ یا ۵ خط می‌باشد که در این صورت، می‌توان اندازه‌گیری‌ها را در ۲ یا ۳ خط زهکش میانی انجام داد.
- **ابعاد قطعات:** جریان آب به سمت زهکش‌ها در طول قطعات، تا حد امکان باید به صورت یک نواخت باشد. آثار انتهایی قطعات مثل وجود زهکش‌های جمع‌کننده در عمق زیاد و ... را می‌توان با افزایش نسبت طول به عرض قطعه، کاهش داد. حداقل این نسبت ۴ در نظر گرفته می‌شود.
- **تعداد واحدهای آزمایشی:** تعداد واحدهای آزمایشی برای یک خاک معین، به تعداد ترکیبات لوله و مواد پوششی مورد آزمایش، هم‌چنین به تکرارهای محل آزمایش بستگی دارد.
- **تکرارهای محل آزمایش:** تکرارهای محل آزمایش اغلب به ۲ یا ۳ محدود می‌شود. به منظور کاهش اثرات هیدرولوژیکی بین قطعات، نیاز به ایجاد قطعات محافظ می‌باشد.

- اندازه مزرعه آزمایشی: اندازه مزرعه آزمایشی به وسعت کلی منطقه طرح زهکشی، ابعاد قطعات، تعداد خطوط زهکش زیرزمینی در هر واحد، تعداد واحدها و سرانجام به تکرار واحدهای آزمایشی بستگی دارد. طول زهکش‌ها حداقل ۱۵۰ متر در نظر گرفته می‌شود. حداکثر این طول به طور معمول تا مقدار ۳۰۰ متر مناسب می‌باشد.
- عمق نصب زهکش‌ها: عمق نصب زهکش‌ها در مناطق تحت آبیاری در نواحی خشک و نیمه خشک، به طور متوسط نباید کمتر از ۱/۸ متر باشد.
- نصب چاهک‌های مشاهده‌ای: چاهک‌های مشاهده‌ای برای بررسی وضعیت سطح آب زیرزمینی (ایستابی) مورد نیاز می‌باشند. موقعیت نصب این چاهک‌ها به شرح زیر توصیه می‌شود:
 - نصب چاهک در حد وسط بین دو خط زهکش به منظور اندازه‌گیری بار هیدرولیکی،
 - نصب چاهک‌ها نزدیک یک یا چند خط زهکش در هر واحد، برای بررسی نیرخ سطح ایستابی. این چاهک‌ها ترجیحاً در فاصله ۰/۴ تا ۰/۵، ۱/۵ و ۵ متری از محل نصب زهکش‌ها ایجاد می‌شوند. اگر فاصله زهکش‌ها بیش از ۷۵ متر باشد، یک چاهک اضافی در فاصله ۱۵ - ۱۰ متری خط زهکش نیز توصیه می‌شود.
 - در انتهای بالایی و پایینی بعضی از واحدها برای مشاهده اثرات مرزی، نصب چاهک‌های مشاهده‌ای توصیه می‌شود، و

- اگر هدف، بررسی چگونگی عملکرد پوشش زهکش‌ها باشد، پیشنهاد می‌شود که یک چاهک نیز دقیقاً در داخل ترانشه نصب شود تا مقدار مقاومت ورودی قابل اندازه‌گیری باشد.

منابع مورد استفاده

- ۱- حسن‌اقلی، ع. ۱۳۷۵. بررسی عملکرد فنی لوله‌های زهکش زمین بافت در مقایسه با لوله‌های زهکش رایج. گزارش پژوهشی نهایی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه شماره ۷۳.
- ۲- حسن‌اقلی، ع. ۱۳۷۹. اندازه ظاهری روزنه (AOS) و تأثیر آن بر خصوصیات هیدرولیکی و نحوه انتخاب ژئوتکستایل مناسب در پروژه‌های زهکشی. مجله تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، جلد ۵، شماره ۱۹.
- ۳- علیزاده، ا. ۱۳۸۵. زهکشی جدید (برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سیستم‌های زهکشی). چاپ دوم. ناشر: دانشگاه امام رضا (ع)، شماره انتشار ۱۰۴.
- ۴- نحوی، م. ب. ۱۳۸۵. ضوابط انتخاب و طراحی مزرعه آزمایشی زهکشی زیرزمینی. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور فنی، نشریه شماره ۳۴۸.
- 5- Ingold, T. S. 1994. Geotextiles and geomembranes manual. 1st Edition, Pub. Elsevier. London.
- 6- Samani, Z. A. and Willardson, L. S. 1981. Soil hydraulic stability in a subsurface drainage system. Transactions of the ASAE. 24(3): 666-669.
- 8- Stuyt, L.C.P.M., Dierickx, W. and Martinez Beltran, J. 2000. Materials for subsurface land drainage systems. Irrigation and Drainage Paper No. 60. FAO. Rome, Italy.

یادآوری مطالب

- ❖ با در نظر گرفتن وسعت اراضی نیازمند زهکشی زیرزمینی در کشور و مشکلات عدیده به وجود آمده در تأمین پوشش شن و ماسه‌ای، چاره‌ای جز یافتن جایگزین برای این مصالح مهم و مورد نیاز در زهکشی باقی نمانده است.
- ❖ ژئوتکستایل‌ها به عنوان محصولات تولید شده از پلی‌مرهای مصنوعی، در نتیجه قابلیت اجرای نقش فیلتری، سهولت تولید و انتقال و راحتی کارگذاری، به عنوان گزینه‌ای جدی در این زمینه مطرح می‌باشند.
- ❖ انواع مختلفی از پوشش‌های زهکشی مصنوعی وجود دارد که بر حسب الیاف مورد استفاده، روش تولید و ... خصوصیات مختلفی را از خود بروز می‌دهند. در انتخاب پوشش ژئوتکستایل در زهکشی، خصوصیات هیدرولیکی اهمیتی خاص دارد.
- ❖ در انتخاب و طراحی پوشش زهکشی ژئوتکستایل باید در ابتدا با استفاده از ضوابط عمومی موجود، چندین گزینه (پوشش) مناسب را انتخاب کرد. این مرحله با به‌کارگیری استانداردها و بر اساس قضاوت و تجربه مهندس طراح و در ارتباط مستقیم با وضعیت خاک و سایر شرایط منطقه اجرای پروژه انجام می‌پذیرد. در ادامه لازم است با آزمون‌های تکمیلی آزمایشگاهی نظیر نفوذسنجی، بهره‌گیری از مخازن آب و خاک و ... از بین گزینه‌های انتخاب شده، بهترین‌ها را برگزید.

❖ در صورت برنامه‌ریزی جهت اجرای پروژه‌های زهکشی در سطوح وسیع (در حدود ۵۰۰۰ - ۳۰۰۰ هکتار)، قویاً توصیه می‌شود با بهره‌گیری از مزارع آزمایشی، عملکرد پوشش‌های انتخاب شده در شرایط واقعی و در بلند مدت (حداقل ۳ سال) مورد آزمون قرار گیرد تا از کارایی آنها اطمینان حاصل شود.

❖ به دلیل تجارب اجرایی و تحقیقاتی محدود در سطح ملی از نظر کاربرد پوشش‌های زهکشی مصنوعی و نگرانی مهندسين مشاور و طراح از احتمال شکست پروژه‌های زهکشی در صورت استفاده از پوشش‌های ژئوتکستایل، همچنین با عنایت به نیاز کشور به زهکشی اراضی و عدم امکان توقف پروژه‌ها تا حصول نتایج تحقیقاتی، لازم است علاوه بر تجارب موجود، به طور هم‌زمان در بخش‌هایی از اراضی مناطقی که پروژه‌های زهکشی با پوشش رایج در آنها در دست اجراست، از پوشش‌های مصنوعی مناسب استفاده به عمل آید. بدین طریق با مقایسه هم‌زمان بین کارایی آنها و ضمن عدم توقف عملیات عمرانی و زیر بنایی که به جهت توسعه کشاورزی پایدار اهمیت خاص دارد، می‌توان از نتایج به دست آمده در مناطقی با شرایط عمومی مشابه و با اطمینان خاطر بهره‌گرفت.