

کارگاه سیستم زهکشی زیر پوشش کانال‌ها

۲۶ آذر ماه ۱۳۸۳

کاربرد مواد ژئوسنتتیک به عنوان زهکش زیر پوشش کانال‌ها

حسن رحیمی^۱، مهدی قبادی‌نیا^۲، حجت احمدی^۳

چکیده

استفاده از ژئوسنتتیک‌ها بعنوان یک ماده ساختمانی در ۵۰ ساله اخیر و همگام با پیشرفت صنعت پتروشیمی در رابطه با طرح‌های آب و خاک مطرح گردیده و مورد استقبال مهندسين و کارشناسان در سطح جهان قرار گرفته است. تاکنون از این مواد با اهداف مختلفی همچون: مسلح سازی، جدا سازی، عایق‌بندی رطوبتی، کنترل فرسایش، ایفای نقش صافی (فیلتر)، و زهکشی استفاده شده است. در این مقاله امکان کاربرد این مواد به عنوان فیلتر - زهکش در زیر پوشش کانالها مورد بررسی قرار گرفته است. مقاله حاضر ضمن ارائه مشخصات فنی مواد ژئوسنتتیک به عنوان فیلتر و زهکش، معیارهای فنی و مشخصات پیشنهادی محققین و موسسات معتبر بین‌المللی را مورد بررسی قرار میدهد. همچنین به منظور ارزیابی کارایی فیلتر - زهکشهای ژئوسنتتیک، بدوا ویژگیهای عمومی جریان نشت به سمت مقطع کانالها با کمک نرم افزارهای کامپیوتری مناسب تحلیل و سپس دبی جریان برای یک کانال بزرگ با عمق ۸ متر و عرض کف ۱۶ متر که در زیر سطح آب زیرزمینی به عمق ۲ متر احداث شده، محاسبه گردیده است. نوع خاک اطراف کانال ماسه‌ای با نفوذپذیری $k_s = 10^{-2} \text{ cm/sec}$ فرض گردیده و بر اساس آن محاسبات لازم برای طراحی زهکش ژئوسنتتیک بعمل آمده است. بر اساس بررسی‌های انجام شده، نصب دو قطعه نوار زهکش ژئوسنتتیک (از نوع ژئوکمپوزیت یا ژئوتکستایل - ژئومت) هر یک به عرض ۲۵ تا ۶۰ سانتیمتر، ضخامت ۲ سانتیمتر و نفوذپذیری $k_g = 10 k_s$ بخوبی قادر به کنترل نشت و تخلیه آب نشتی در زیر پوشش کانال مورد بحث می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ژئوسنتتیک، ژئوتکستایل، فیلتر، زهکش، زهکش زیر کانال

۱- مقدمه

ژئوسنتتیکها موادی هستند که همگام با پیشرفت صنعت پتروشیمی با استفاده از انواع مختلف پلیمرها ساخته شده و استفاده از آنها به عنوان مصالحی جدید در رابطه با طرحهای آب و خاک مورد استقبال مهندسين و کارشناسان در بسیاری از کشورهای جهان قرار گرفته است. بطور کلی ژئوسنتتیک عنوانی فراگیر برای توصیف صفحات نازک و انعطافپذیری است که در داخل توده خاک و یا در ارتباط با مصالح خاکی با اهداف مختلفی همچون مسلح سازی، جداسازی، عایق بندی رطوبتی، مهار فرسایش، ایفای نقش صافی (فیلتر)، زهکشی و غیره مورد استفاده قرار می گیرند. در بسیاری از موارد، این ورقهها ممکن است ترکیبی از وظایف مذکور را به عهده داشته باشند. در این مقاله امکان استفاده از این ماده با هدف ایفای نقش فیلتر و زهکش در زیر پوشش کانالها به عنوان جایگزینی برای مصالح معدنی (شن و ماسه) مورد بررسی قرار می گیرد.

۲- تاریخچه

سابقه تاریخی ساخت و کاربرد مواد ژئوسنتتیک به سالهای ۱۹۵۰ بر می گردد که در آن زمان از ورقه های تک رشته ای ژئوتکستایل بافته شده به عنوان فیلتر در کنترل فرسایش در ایالت فلوریدای آمریکا استفاده شد. باب بارت اولین کسی بود که اولین طرحهای کاربرد مواد ژئوسنتتیک در پروژه های آب و خاک را مطرح ساخت و بدین دلیل به نام " پدر ژئوتکستایلها" مشهور گردیده است [۵]. در اواسط دهه ۱۹۶۰، هیئت مهندسين ارتش آمریکا (COE) امکان استفاده از ژئوتکستایل های بافته شده را به عنوان جایگزینی برای فیلترهای دانه ای در سیستم های کنترل فرسایش و حفاظت شیبها مورد بررسی قرار داد [۱۶]. این سازمان اولین معیارهای فنی طراحی ژئوتکستایلها به عنوان فیلتر را مطرح و در سال ۱۹۷۵ مجموعه ای از استانداردهای فنی در این زمینه را ارائه کرد [۱۶]. در همین زمان، استفاده از ژئوتکستایلها برای حفاظت سواحل رودخانهها در هلند مطرح گشت به گونه ای که با اصلاح روش تا سال ۱۹۷۷ تنها برای حفاظت سواحل یک رودخانه در هلند در حدود دو میلیون مترمربع ژئوتکستایل مصرف گردید [۲] و در حال حاضر نیز این تکنیک به عنوان روشی استاندارد و پذیرفته شده در آن کشور مطرح است.

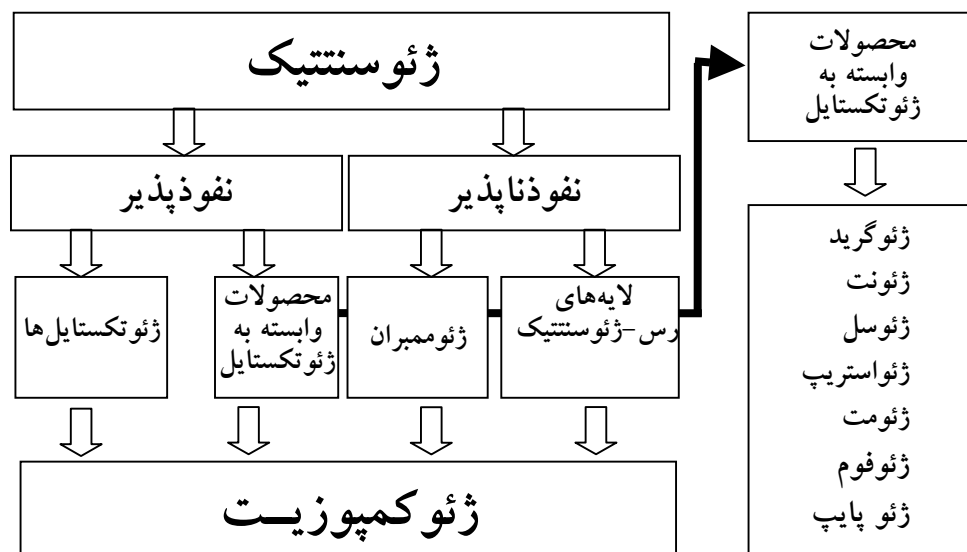
در آمریکا نیز از اواخر دهه ۱۹۷۰ کاربرد ژئوتکستایلهای تک رشته ای بافته شده رو به افزایش گذاشت و هیئت مهندسين ارتش آمریکا استفاده از این مواد را برای فیلتر کنترل فرسایش به صورت استاندارد رواج داد. به دنبال فعالیت های هیئت مهندسين ارتش آمریکا و تبادل اطلاعات با محققین و مهندسين اروپائی، اولین کنفرانس ژئوتکستایلها در سال ۱۹۷۷ برگزار شد و استفاده از ژئوتکستایلها به عنوان فیلتر و زهکش مورد پذیرش بسیاری از کارشناسان و مهندسين فعال در زمینه های مختلف قرار گرفت [۱۷].

کاربرد مواد ژئوسنتتیک در ایران متأسفانه به دلیل عدم شناخت دقیق و علمی کارفرمایان و مهندسين و

نیز به دلیل کمبود و گرانی این مواد هنوز توسعه قابل توجهی نیافته و تنها در چند پروژه و آنهم به صورت محدود این ماده مورد استفاده قرار داشته است.

۳- ترکیب و انواع مواد ژئوسنتتیک [۵و۴]

به طور کلی مواد ژئوسنتتیک را می‌توان به دو گروه عمده نفوذپذیر و نفوذناپذیر تقسیم نمود که در مجموع در چند زیرگروه شامل: ژئوتکستایل‌ها، ژئوممبران‌ها، ژئوگریدها، ژئونت‌ها، ژئوفوم‌ها، ژئوسل‌ها، ژئوکمپوزیت‌ها، ژئواستریپ‌ها، رس-ژئوسنتتیک‌ها و لوله‌های ژئوسنتتیک (ژئوپایپ) قابل تقسیم می‌باشند. شکل (۱)، اسکلت کلی این تقسیم‌بندی را نشان می‌دهد.



شکل (۱)- تقسیم‌بندی کلی مواد ژئوسنتتیک

از نظر شیمیایی کلیه مواد ژئوسنتتیک ترکیبی ساخته شده از انواع مواد پلیمری از جمله پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌وینیل کلراید (PVC) و پلی‌استر (PET) می‌باشند که ترکیب پلیمری تکرار شونده آنها در شکل (۲) نشان داده شده است.

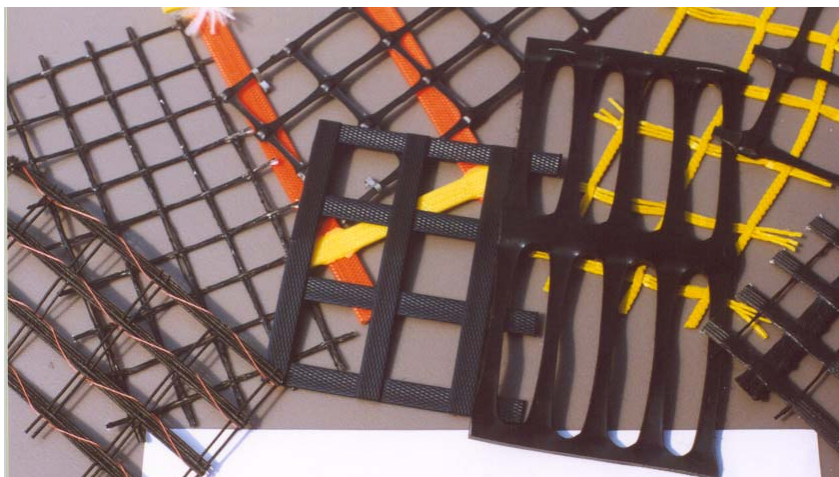
نوع پلیمر	واحد ترکیب شیمیایی	نوع ژئوسنتتیک
Polyethylene (PE)		geotextiles, geomembranes geogrids, geopipes geonets geocomposites
Polypropylene (PP)		geotextiles geomembranes geogrids geocomposites
Polyvinyl chloride (PVC)		geomembranes geocomposites geopipes
Polyester (polyethylene) terephthalate (PET)		geotextiles , geogrids

شکل ۲- ترکیب شیمیایی انواع پلیمرها

ویژگی هریک از مواد ژئوسنتتیک ذیلا" باختصار تشریح می‌گردد.

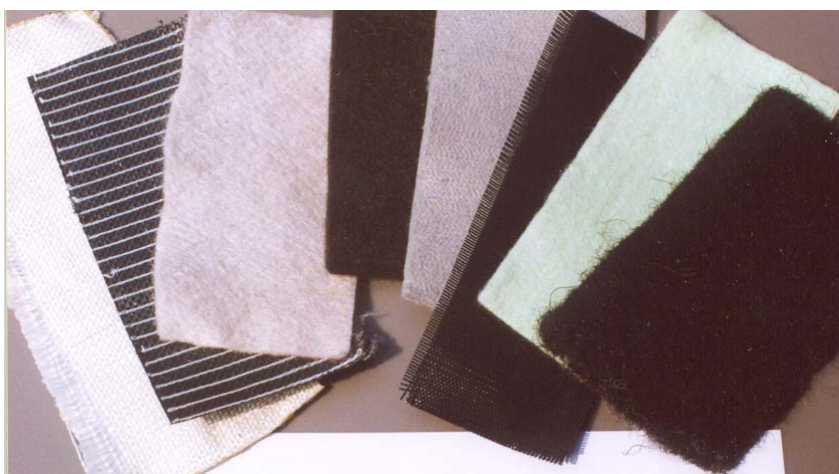
ژئوممبران‌ها: ورقه‌های انعطاف‌پذیر با نفوذپذیری بسیار کم (درحدود صفر) هستند که عموماً جهت آب‌بندی مخازن، کانالها، حوضچه‌ها و سایر سازه‌های مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ابتدا برای ساخت این ماده از رزین‌ها استفاده می‌شد اما امروزه پی وی سی و پلی اتیلن بیشترین کاربرد را برای تولید آن دارند.

ژئوگریدها: از رشته‌های بهم پیوسته یکپارچه قابل انبساط با شبکه روزنه‌های منظم تشکیل و معمولاً از پلی اتیلن، پلی پروپیلین، یا پلی استر ساخته می‌شوند. این ماده عموماً برای مسلح سازی خاکهای ناپایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل ۳).



شکل (۳) - انواع ژئوگریدها

ژئوتکستایلها: صفحات نفوذپذیری هستند که از الیاف پلی پروپلین و یا پلی استر و به دو صورت کلی بافته شده^۱ (تک رشته ای^۲ و چندرشته ای^۳) و بافته نشده^۴ ساخته می‌شوند. در ژئوتکستایل‌های بافته شده رشته‌های الیاف با تکنولوژی بافت منسوجات بشکل‌های مختلف بافته می‌شوند در حالیکه در نوع بافته نشده توده‌ای از الیاف با استفاده از حرارت، چسب‌های شیمیایی یا فشار مکانیکی بهم اتصال یافته و بدین ترتیب انواع مختلف ژئوتکستایل‌ها تولید می‌گردند. این مواد به علت نفوذپذیری مناسب و بافت ریز قابل کنترل، عموماً^۵ به عنوان فیلتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل (۴)، انواع ژئوتکستایل‌ها را نشان می‌دهد.



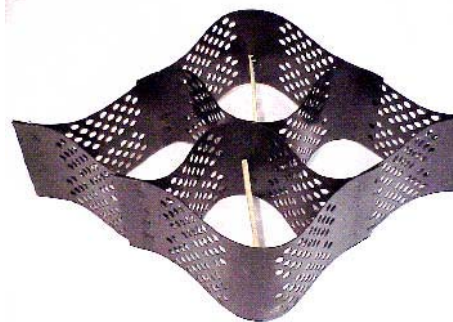
شکل (۴) - انواع مختلف ژئوتکستایل

ژئونت‌ها: از ردیف شبکه‌های موازی تشکیل می‌شوند که برای افزایش توان زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مواد عموماً^۶ از پلی اتیلن با دانسیته بالا ساخته می‌شوند (شکل ۵)

ژئوسل‌ها: این مواد به صورت شبکه سه بعدی با ابعاد مختلف و برای تثبیت خاک یا کنترل فرسایش سواحل مورد استفاده قرار می‌گیرند. تصویر این ماده نیز در شکل (۵) نشان داده شده است.



ژئونت



ژئوسل

شکل (۵) - تصویر نمونه‌های ژئونت و ژئوس

رس- ژئوسنتتیک‌ها: متشکل از ورقه‌های ژئوسنتتیک با میان لایه‌های رسی (بتنونی) بوده و برای جلوگیری از نشست آب و آب‌بندی مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرند. نوع متداول آن متشکل از یک لایه بتنونیت در میان دو ورقه ژئوتکستایل یا ژئوممبران می‌باشد.

ژئوکمپوزیت‌ها: ترکیبی از ورقه‌های مختلف ژئوسنتتیک مانند ژئوتکستایل- ژئونت، ژئوتکستایل- ژئوگرید، ژئوتکستایل- ژئوسل، و غیره ساخته شده و در بسیاری از موارد به عنوان فیلتر- زهکش مورد استفاده قرار می‌گیرند که این ویژگی موضوع اصلی بحث در این مقاله می‌باشد.

ژئوفوم‌ها: عموماً با استفاده از پلی‌استر و به صورت قطعات یا بلوک‌هایی به شکل هندسی معین ساخته می‌شوند. این مواد بسیار نرم و سبک بوده و با هدف کنترل فشار خاک در پشت دیوارهای حائل، جذب تورم، عایق‌بندی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند.

ژئوپایپ‌ها: لوله‌های مشبک یا متخلخل ساخته شده از پلی‌وینیل کلراید یا پلی‌اتیلن با دانسیته بالا می‌باشند که بعنوان زهکش مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدار این لوله‌ها ممکن است صاف یا موجدار باشد. در حال حاضر استفاده از ژئوپایپ‌های موجدار ساخته شده از پلی‌اتیلن دانسیته بالا بسیار متداول شده است.

همانطور که در قسمت‌های قبل اشاره شد، مواد ژئوسنتتیک مورد استفاده در زهکشی، و از جمله زهکش زیر پوشش کانالها باید دارای نفوذپذیری قابل توجه بوده و به سهولت بتواند حجم آب ورودی به سیستم را تخلیه نماید و در عین حال بتواند از مهاجرت ذرات خاک مجاور و فرسایش آن جلوگیری نماید. با توجه به مطالبی که فوقاً به آنها اشاره شد، سیستم‌های فیلتر- زهکش باید متشکل از یک سیستم ژئوکمپوزیت مرکب از یک یا دو لایه ژئوتکستایل (به عنوان فیلتر) و یک لایه ضخیم ژئوتکستایل درشت بافت یا ژئومت

(ژئوگرید- ژئونت) به عنوان زهکش باشد. به همین علت در ادامه بحث مشخصات فنی ژئوکمپوزیت و ژئوتکتستایل به عنوان زهکش و فیلتر مورد بحث قرار می‌گیرند.

۴- خصوصیات اساسی ژئوتکتستایل‌ها

با توجه به ویژگی‌های قابل انتظار در ژئوتکتستایل‌های مورد استفاده به عنوان فیلتر- زهکش، لازم است خصوصیات فنی زیر در این ماده مورد توجه قرار گیرد:

۴-۱- دوام

یکی از خصوصیات مورد توجه در ژئوتکتستایل‌ها دوام این ماده به ویژه در مقابل عوامل محیطی می‌باشد. بطور کلی خصوصیات فیزیکی این مواد در صورت قرار گرفتن در اشعه آفتاب تغییر نموده و عمر آنها کاهش می‌یابد. گرچه می‌توان این تغییرات را با اضافه کردن کربن سیاه به ماده اولیه کاهش داد، اما نمی‌توان بطور کلی آنرا حذف نمود. مواد پلیمری در حرارت‌های بسیار پایین ترد و شکننده بوده و ممکن است دچار ترک‌خوردگی شوند. برخی از مواد شیمیایی موجود در آب زیرزمینی و خاک نیز ممکن است با پلیمرها واکنش نشان دهند. pH بالا پلی‌استر را زبر می‌کند در حالیکه pH پایین اثر مشابهی بر پلی‌آمیدها دارد. بنابراین همواره لازم است با انجام آزمایش‌های مناسب حساسیت مواد ژئوسنتتیک نسبت به مواد شیمیایی خاک یا آب زیرزمینی سنجیده شود.

۴-۲- تخلخل (معیار فیلتر)

همانطور که قبلاً اشاره شد فیلتر- زهکش‌های ژئوسنتتیک باید دارای دو خاصیت متضاد بصورت همزمان باشند. از نظر کنترل فرسایش، خلل و فرج فیلتر باید آنقدر ریز باشند که ذرات خاک از داخل آن عبور ننمایند و از طرف دیگر این خلل و فرج باید آنقدر درشت باشند که در مقابل جریان آب مانع ایجاد نکرده و آنرا به سهولت از خود عبور دهند.

در فیلترهای معدنی شن و ماسه، این ویژگی با دو معیار فرسایش درونی^۱ و نفوذپذیری^۲ سنجیده می‌شود. محققین سعی نموده‌اند که معیارهای مشابهی نیز برای فیلترهای ژئوسنتتیک ارائه دهند. برای بیان میزان و ابعاد خلل و فرج مواد ژئوسنتتیک تا کنون معیارهای مختلفی پیشنهاد گردیده که مهمترین آنها به شرح زیرند:

1- Piping Criteria

2- Permeability Criteria

$EOS^1 =$ اندازه روزنه (سوراخ) معادل

$AOS^2 =$ اندازه روزنه (سوراخ) ظاهری یا مؤثر

$POA^3 =$ درصد سطح منافذ

براساس معیارهای موجود EOS و AOS مفهومی مشابه را ارائه نموده و نشان دهنده قطر مؤثر منافذ ورقه ژئوسنتتیک و معادل شماره نزدیکترین الک استاندارد به قطر سوراخهای آن می‌باشند. طبق تعریف این دو کمیت برابر O_{95} و نشان دهنده اندازه ای میباشند که ۹۵ درصد ذرات خاک مجاور فیلتر از آن ریزترند. در حالیکه POA نشانگر درصدی از سطح ورقه ژئوسنتتیک می‌باشد که توسط روزنه‌ها پوشیده شده است.

علاوه بر معیارهای فوق از علائمی مانند O_{50} ، O_{85} ، O_{90} و ... نیز برای نشان دادن اندازه نسبی قطر منافذ ورقه‌های ژئوسنتتیک استفاده می‌شود و به طور کلی O_i به معنی اندازه ای است که i درصد ذرات خاک مجاور فیلتر از آن کوچکترند. برای طراحی فیلترهای ژئوتکستایل علاوه بر ذکر مقادیر مطابق O_i ، از نسبت‌های مختلف O_i/D_i یا O_i/D_a که در آن D_i و D_a به ترتیب اندازه‌ایست که i درصد و a درصد ذرات خاک از آن کوچکترند نیز استفاده می‌شود.

براساس نتایج تحقیقات هیئت مهندسين ارتش آمریکا، چنانچه خاکی حاوی ۵۰ درصد یا کمتر ذرات سیلت و رس باشد (خاکهای شنی و ماسه‌ای)، معیارهای طرح فیلتر ژئوسنتتیک به شرح زیر است [۷و۴]:

$$\frac{D_{85}}{EOS} \geq 1$$

$$4\% < POA < 36\%$$

$$EOS > 0.149 \text{ mm (الک شماره ۱۰۰)}$$

و چنانچه خاکی حاوی بیشتر از ۵۰ درصد سیلت و رس باشد، این معیارها به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$EOS < 0.21 \text{ mm (الک شماره ۷)}$$

$$4\% < POA < 10\%$$

$$EOS > 0.149 \text{ mm (الک شماره ۱۰۰)}$$

در رابطه با انتخاب نوع ژئوتکستایل مناسب برحسب مشخصات روزنه‌ها و کیفیت دانه‌بندی خاک (رابطه O_i و D_a) تا کنون معیارهای متفاوتی توسط محققین مختلف ارائه گردیده که خلاصه‌ای از آن در جدول شماره (۱) ارائه شده است. سایر پارامترهای ارائه شده در این جدول به شرح زیرند:

1- Equivalent Opening Size

2- Apparent Opening Size

3- Percent Opening Area

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \text{ضریب یکنواختی خاک برابر}$$

$$k_f = \text{ضریب نفوذپذیری فیلتر}$$

$$k_s = \text{ضریب نفوذپذیری خاک}$$

معیار ارائه شده توسط هیئت مهندسين ارتش آمریکا در این رابطه کاملتر می‌باشد. براساس تحقیقات کارشناسان این سازمان خاکهای حاوی بیشتر از ۳۰ درصد رس نیاز به فیلتر ندارند و در مورد سایر خاکها، معیارهای طرح فیلتر مطابق جدول شماره (۲) می‌باشد [۶ و ۱۷].

۴-۳- ظرفیت زهکشی [۷ و ۴]

زهکش‌های زئوسنتتیک باید ضمن دارا بودن نفوذپذیری کافی، دارای ضخامت مناسب برای تخلیه حجم آب ورودی باشند. در این رابطه توصیه‌های زیر توسط سازمان ادارات راه فدرال آمریکا^۱ (FAWA) ارائه گردیده است:

- برای خاکهای حاوی کمتر از ۱۵ درصد رس شده از الک ۲۰۰ (خاکهای درشت‌دانه):

$$k_g \geq 10k_s$$

جدول (۱) - معیارهای مختلف طرح فیلتر ژئوتکستایل

منبع	معیار	ملاحظات
<i>AASHTO (1986)</i>	$50\% \leq 0.074mm, O_{95} < 0.59mm$ $50\% \leq 0.074mm, O_{95} < 0.30mm$	محدودیتی در نوع ژئوتکستایل و یا نوع خاک وجود ندارد
<i>Calhoun(1972)</i>	$O_{95}/D_{85} \leq 1$	ژئوتکستایلها بافته شده و خاکهایی که کمتر از ۵۰٪ آنها از الک ۲۰۰ رد شده باشد.
	$O_{95} \leq 0.2mm$	ژئوتکستایلها بافته شده و خاکهای با $c_u \leq 2$
<i>Zischer(1974)</i>	$O_{50}/D_{50} \leq 1.7 - 2.7$	ژئوتکستایلها بافته شده و خاکهای با $c_u \leq 2$ $D_{50} = 0.1 \text{ تا } 0.2 \text{ mm}$ ژئوتکستایلها بافته نشده و خاکهای چسبنده
	$O_{50}/D_{50} \leq 2.5 - 3.7$	
<i>Ogink(1975)</i>	$O_{90}/D_{90} \leq 1$	ژئوتکستایلها بافته شده
	$O_{90}/D_{90} \leq 1.8$	ژئوتکستایلها بافته نشده
<i>Sweetland</i>	$O_{15}/D_{85} \leq 1$	ژئوتکستایلها بافته نشده و خاکهایی با $c_u = 1.5$
	$O_{15}/D_{15} \leq 1$	ژئوتکستایلها بافته نشده و خاکهای با $c_u = 4$
<i>Rankilor(1981)</i> یا <i>ICI Fibers</i>	$O_{50}/D_{85} \leq 1$	ژئوتکستایلها بافته نشده و خاکهای با $0.2 \leq D_{85} \leq 0.25mm$
	$O_{15}/D_{15} \leq 1$	ژئوتکستایلها بافته نشده و خاکهای با $D_{85} > 0.25mm$
<i>Schober & Teindler(1979)</i>	$O_{90}/D_{50} \leq 2.5 - 4.5$	ژئوتکستایلها بافته شده و بافته نشده نازک، بسته به C_u
	$O_{90}/D_{50} \leq 4.5 - 7.5$	ژئوتکستایلها بافته نشده ضخیم، بسته به C_u
<i>Giround(1982)</i>	$O_{90}/D_{50} \leq (9 \text{ تا } 18) / C_u$	بسته به دانسیته نسبی و C_u
<i>Carrol(1983)</i>	$O_{95}/D_{85} \leq 1-3$ $k_f \geq (1-10)k_s$	ژئوتکستایلها بافته و بافته نشده
<i>FHWA via Christopher & Holtz (1989)</i>	$O_{95}/D_{85} \leq 1-2$ $O_{95}/D_{15} \leq 1$	بسته به نوع خاک ژئوتکستایلهای بافته شده و بافته نشده، بسته به نوع خاک در صورتیکه مکان حرکت ذرات خاک در زیر ژئوتکستایل باشد
	$O_{50}/D_{85} \leq 0.5$ $k_f \geq (1-10)k_s$ یا	
<i>French Committee on Geotextile & Geomembrance (1986)</i>	$O_f / D_{85} \leq 0.38 - 1.25$	بسته به نوع خاک، فشردگی، هیدرولیک و شرایط کاربرد
<i>Fisher et al. (1990)</i>	$O_{50}/D_{85} \leq 0.8$ $O_{50}/D_{15} \leq 1.8 - 7.0$ $O_{50}/D_{50} \leq 0.8 - 2.0$	بر اساس توزیع اندازه روزنه ژئوتکستایل، اندازه و نوع خاک و سایر شرایط کاربرد

جدول (۲) - معیارهای طرح فیلتر توصیه شده مهندسین ارتش آمریکا

مقدار رس	خاک D_{85}	مشخصات فیلتر
کمتر از ۳۰ درصد	$D_{85} \geq 40 \mu m$	- هر نوع فیلتر در حالیکه $AOS^* \leq 800 \mu m$ - لوله‌های سوراخدار ($800 \mu m \leq$ روزنه‌ها)
	$400 \geq D_{85} \geq 120 \mu m$	$25 \leq AOS \leq 350 \mu m$ ژئوتکستایل‌ها بافته یا بافته نشده
	$120 \geq D_{85} \geq 2 \mu m$	- حداقل ضخامت $1/9 mm$ - دانسیته مساوی یا بزرگتر از 140 gr/m^2 - $25 \leq AOS \leq 200 \mu m$ یا - ژئوتکستایل بافته نشده وقتی که AOS کمتر از سه برابر D_{85} خاک باشد
بیش از ۳۰ درصد		نیازی به فیلتر ندارد

$$\psi \geq 0.7 \text{ sec}^{-1}$$

- برای خاکهایی که ذرات رد شده از الک ۲۰۰ آنها بین ۱۵ تا ۵۰ درصد است :

$$\psi \geq 0.2 \text{ sec}^{-1}$$

- برای خاکهایی که حاوی بیشتر از ۵۰ درصد رد شده از الک ۲۰۰ می‌باشند (خاکهای ریزدانه) :

$$\psi \geq 0.1 \text{ sec}^{-1}$$

$$\left(\frac{k_g}{t} = \psi \right) h \cdot A_g \geq q$$

که در آن:

$$q = \text{دبی آب نشتی}$$

$$k_g = \text{ضریب نفوذپذیری زهکش ژئوسنتتیک}$$

$$\psi = \text{نفوذپذیری واحد}^1 \text{ که برابر } kg/t \text{ میباشد}$$

$$t = \text{ضخامت لایه زهکش ژئوسنتتیک}$$

$$h = \text{بار هیدرولیکی در ورقه ژئوسنتتیک}$$

$$A_g = \text{سطح کل لایه زهکش ژئوسنتتیک}$$

۴-۴- انسداد^۱ [۴ و ۵]

انسداد ژئوتکستایلها به مفهوم کاهش قابلیت نفوذ بر اثر حرکت ذرات خاک، و رسوب مواد آلی یا شیمیایی می باشد که موجب بسته شدن روزنهها یا خلل و فرج آن می گردند. در یک سیستم ژئوتکستایل در خاک عموماً "انسداد زمانی اتفاق می افتد که ذرات خاک از محیط خود حرکت نموده و در سطح ورودی ورقه ژئوتکستایل یا در داخل روزنههای آن جایگیر می شوند. بطور کلی خاکهای با دانه بندی گسترده و تغییرات وسیع (ضریب یکنواختی بیشتر از ۲۰) و نیز خاکهای با دانه بندی گسسته دارای پتانسیل بیشتری برای انسداد می باشند.

عامل مهم ارزیابی پتانسیل انسداد ورقه های ژئوتکستایل POA یا میزان خلل و فرج و اندازه روزنه های آنها می باشد. سازمان ادارات راه فدرال آمریکا معیارهای مندرج در جدول شماره ۳ را جهت جلوگیری از انسداد ورقه های ژئوتکستایل پیشنهاد نموده است.

جدول (۳) - معیار کنترل انسداد در ژئوتکستایلها

< ۰.۵٪	> ۰.۵٪	میزان رد شده از الک ۲۰۰ در خاک مجاور
≥ ۷۰٪	≥ ۵۰٪	برای ژئوتکستایل بافته نشده، مقدار تخلخل (n)
≥ ۱۰	≥ ۴	برای ژئوتکستایل بافته شده یک رشته ای، درصد سطح روزنهها (POA)

۴-۵- مقاومت به آب شستگی^۲ [۱۷]

مقاومت به آب شستگی بیانگر توانایی ژئوتکستایل برای نگهداری ذرات خاک در محل خود است که به طور مستقیم به اندازه و تعداد روزنه های آن بستگی دارد. معیار اصلی کنترل آب شستگی در ژئوتکستایلها AOS و POA می باشند که مقادیر آنها متناسب با میزان رد شده از الک شماره ۲۰۰ مصالح خاکی مجاور توصیه می گردد.

در جدول شماره (۴) معیارهای فنی مورد نیاز برای کنترل آب شستگی بنا به توصیه هیئت مهندسين ارتش آمریکا ارائه گردیده است.

1- Clogging

2- Piping

جدول (۴) - معیارهای کنترل آب‌شستگی در ژئوتکستایلها

معیار کنترل			درصد رده شده از الک ۲۰۰ خاک مجاور
نفوذپذیری		AOS (mm)	
بافته نشده	بافته شده (POA)		
$k_g \geq 5k_s$	>۱۰٪	<۰/۶	<۵٪
$k_g \geq 5k_s$	≥ ۴٪	<۰/۶	۵-۵۰٪
$k_g \geq 5k_s$	≥ ۴٪	<۰/۲۹۷	۵۰-۸۵٪
$k_g \geq 5k_s$	-	<۰/۲۹۷	>۸۵٪

۴-۶- مقاومت مکانیکی [۱]

ورقه‌های ژئوتکستایل مورد استفاده در احداث فیلتر- زهکش، علاوه بر دارا بودن مشخصات هیدرولیکی، دوام و... لازم است به منظور تأمین عمر کاری مناسب، از مقاومت مکانیکی کافی نیز برخوردار باشند. براساس استانداردهای انجمن ادارات راه و حمل و نقل آمریکا^۱ (AASHTO)، حداقل مقاومت مکانیکی ورقه‌های ژئوتکستایل باید مطابق جدول شماره (۵) باشد.

جدول (۵) - حداقل مقاومت مکانیکی ورقه‌های ژئوتکستایل (AASHTO-M288-96)

سایر انواع ژئوتکستایلها با کرنش طولی		ژئوتکستایل تک رشته‌ای بافته	استاندارد آزمایش	نوع مقاومت
>۵۰٪	<۵۰٪			
۹۰۰ N	۱۴۰۰N	۱۱۰۰N	ASTM-D4632	Grab Strength
۳۵۰ N	۵۰۰ N	۲۵۰ N	ASTM-D4533	Tear Strength
۳۵۰ N	۵۰۰ N	۴۰۰ N	ASTM-D4833	Puncture
۱۷۰۰ kPa	۳۵۰۰ kPa	۲۷۰۰ kPa	ASTM-D3787	Burst Strength

۵- مزایای فیلتر- زهکش‌های ژئوسنتتیک

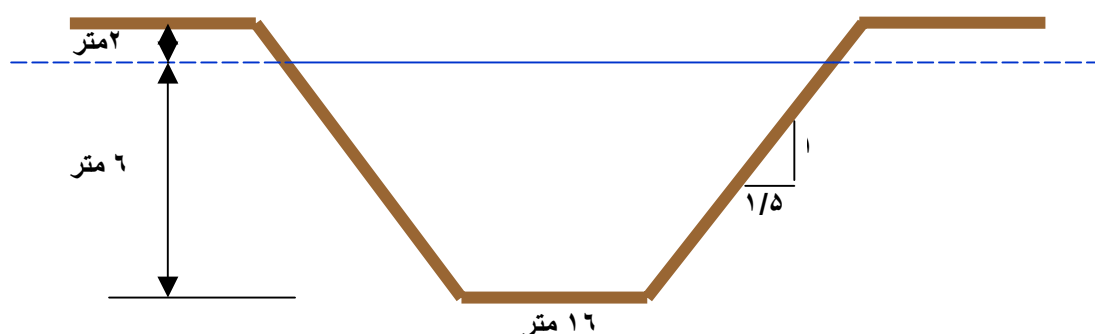
براساس تحقیقات بعمل آمده و تجربیات حاصل از کاربرد مواد ژئوسنتتیک به عنوان فیلتر- زهکش‌ها طی ۵۰ سال گذشته، ثابت شده است که این مواد دارای مزایای قابل توجهی نسبت به مواد معدنی متداول (شن و ماسه) می‌باشند. بطور کلی مزایای اصلی مواد ژئوسنتتیک مورد استفاده در ساخت فیلتر- زهکش را می‌توان به شرح زیر برشمرد:

1- American Association of State Highways and Transportation Officials

- کاهش حجم عملیات حفاری
- ساده‌تر شدن و بهبود کیفیت عملیات اجرایی
- کاهش زمان اجرا
- بهبود کیفیت زهکشی
- کاهش حجم و هزینه مصالح
- پیوستگی، یکنواختی و هماهنگی بیشتر
- کاهش اثرات زیست محیطی

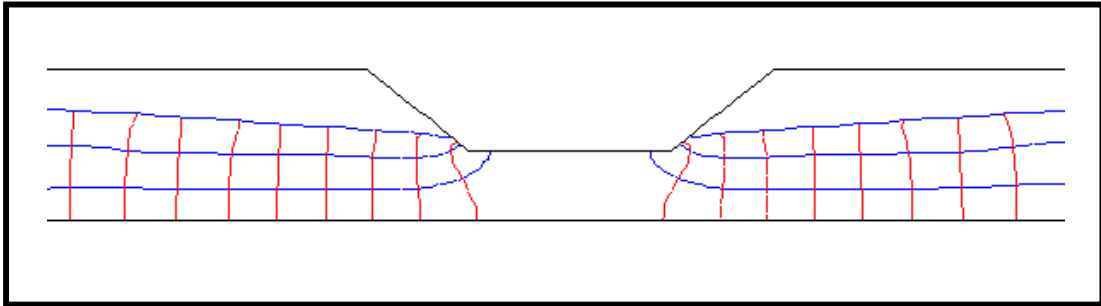
۶- کاربرد در زیر پوشش کانالها

همانطور که اشاره شد، بالا بودن کیفیت، سهولت اجرا و سایر مزایای مواد ژئوسنتتیک، استفاده از آنها به عنوان فیلتر- زهکش را مطرح ساخته و بدیهی است که بنا به همین دلایل کاربرد آنها در زیر پوشش کانالها نیز می‌تواند از نظر فنی و اقتصادی کاملاً توجیه گردد. برای بررسی کارائی این سیستم بدواً مدل جریان نشست آب بسمت مقطع یک کانال که در زیر سطح آب زیرزمینی احداث شده، مورد بررسی قرار می‌گیرد. بمنظور ارزیابی کار در شرایط حاد، کانال دوزنقه‌ای شکل بزرگی با مقطع عرضی مطابق شکل (۶) در نظر گرفته می‌شود.



شکل (۶)- مقطع عرضی کانال در مدل مورد بررسی

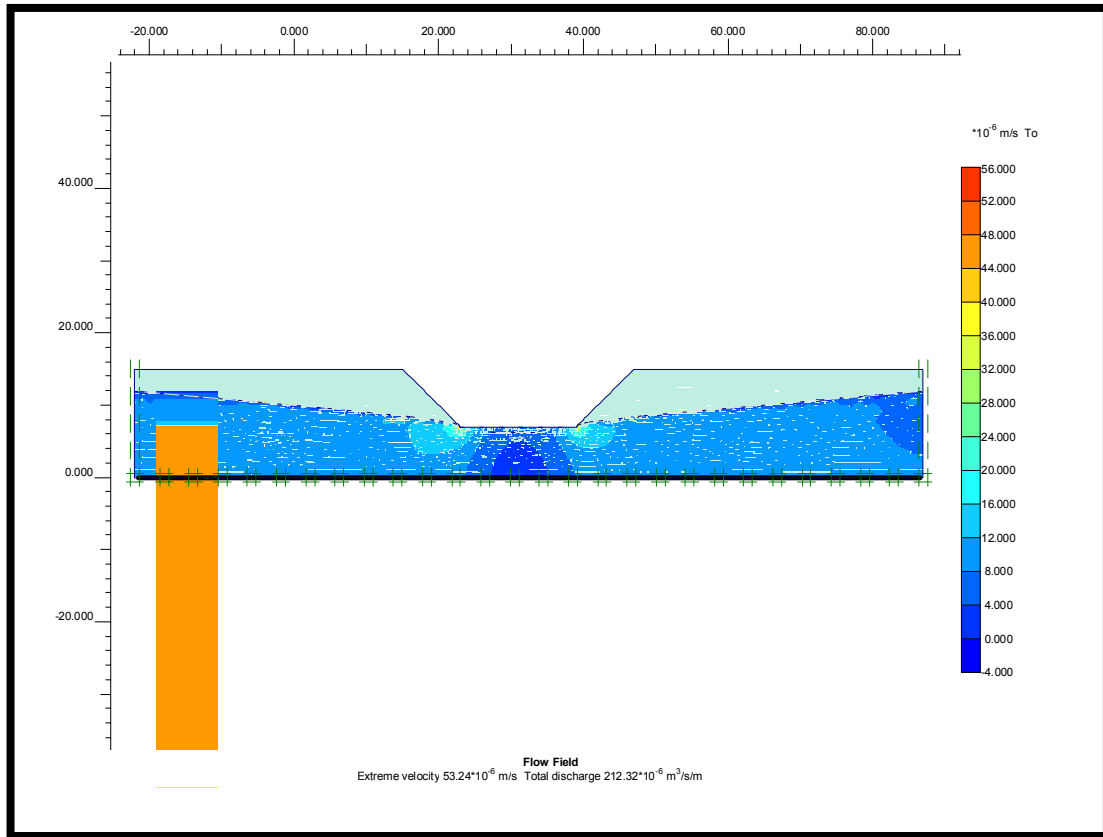
برای مشاهده فرم عمومی جریان به سمت کانال، شبکه جریان با استفاده از نرم‌افزارهای Plaxis و FeSeep ترسیم گردیده که نتیجه آن در شکل‌های (۷ تا ۱۰) نشان داده شده است.



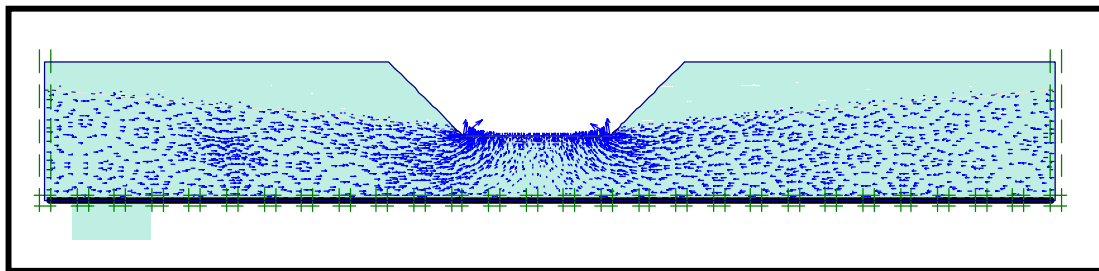
شکل (۷) - شبکه جریان زیر پوشش کانال

همانطور که در این شکلها مشاهده می‌شود، علیرغم وجود یک لایه زهکش در سرتاسر مقطع عرضی کانال (در کف و شیب جداره‌ها)، خطوط جریان سمت کف و گوشه‌های تحتانی و قطع کانال هدایت گردیده و عملاً "جریانی به سمت زهکش جدار کانال رخ نمی‌دهد. شکل‌های شماره (۸ و ۹) مقادیر عددی و مؤلفه بردار سرعت جریان در اینحالت را نشان می‌دهند.

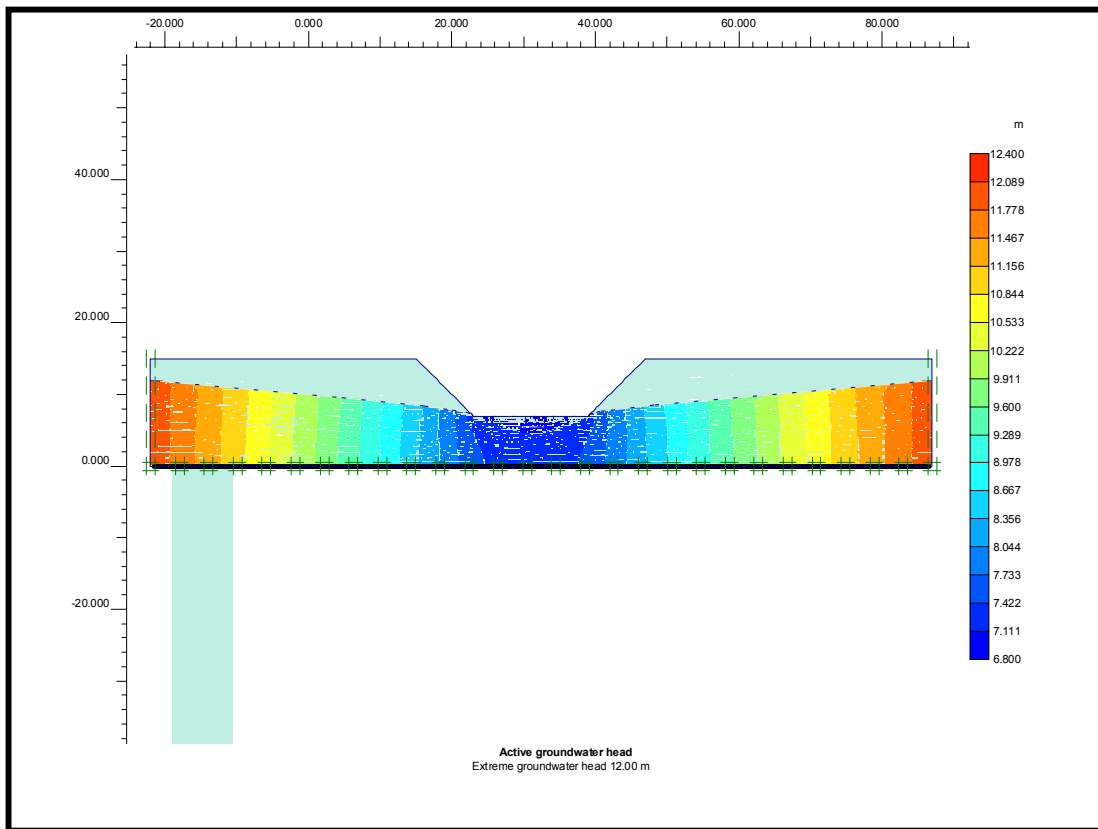
برای طراحی مشخصات زهکش ژئوسنتتیک مورد نیاز لازم است میزان نفوذپذیری خاک تعیین گردد. یکی از شرایطی که می‌تواند نیاز به نصب زهکش را در زیر پوشش کانال ضروری سازد، وجود مصالح ماسه‌ای در بستر است که علاوه بر پتانسیل فرسایش‌پذیری شدید، مقدار قابل توجهی آب را نیز به صورت جریان نشت به سمت زهکش‌ها هدایت خواهد کرد. چنانچه مقدار نفوذپذیری خاک برای مقطع مورد بررسی برابر $k_s = 10^{-2} \text{ cm/sec}$ فرض گردد، مقدار کل جریان نشت محاسبه شده برای لایه ای به ضخامت ۶ تا ۴۰ متر در زیر بست کانال در حدود ۲۰۰ تا ۶۰۰ سانتی‌مترمکعب در ثانیه در متر طول خواهد بود.



شکل (۸) - فرم عمومی و سرعت جرژان بسمت کانال



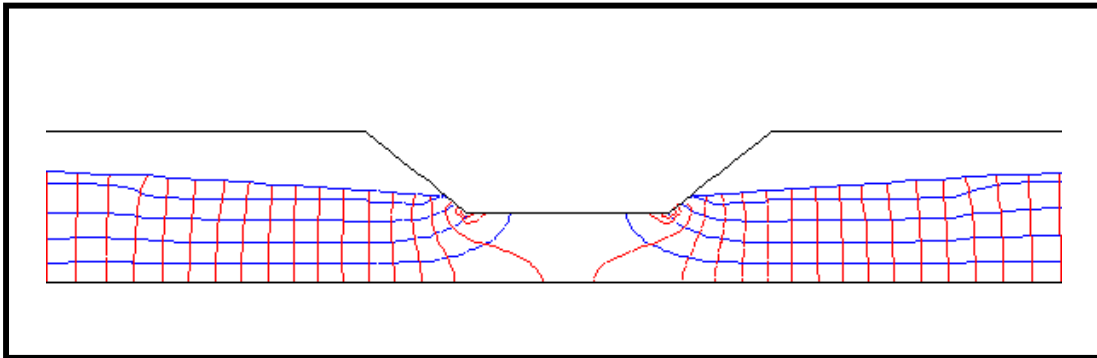
شکل (۹) - مولفه‌های بردار سرعت جریان



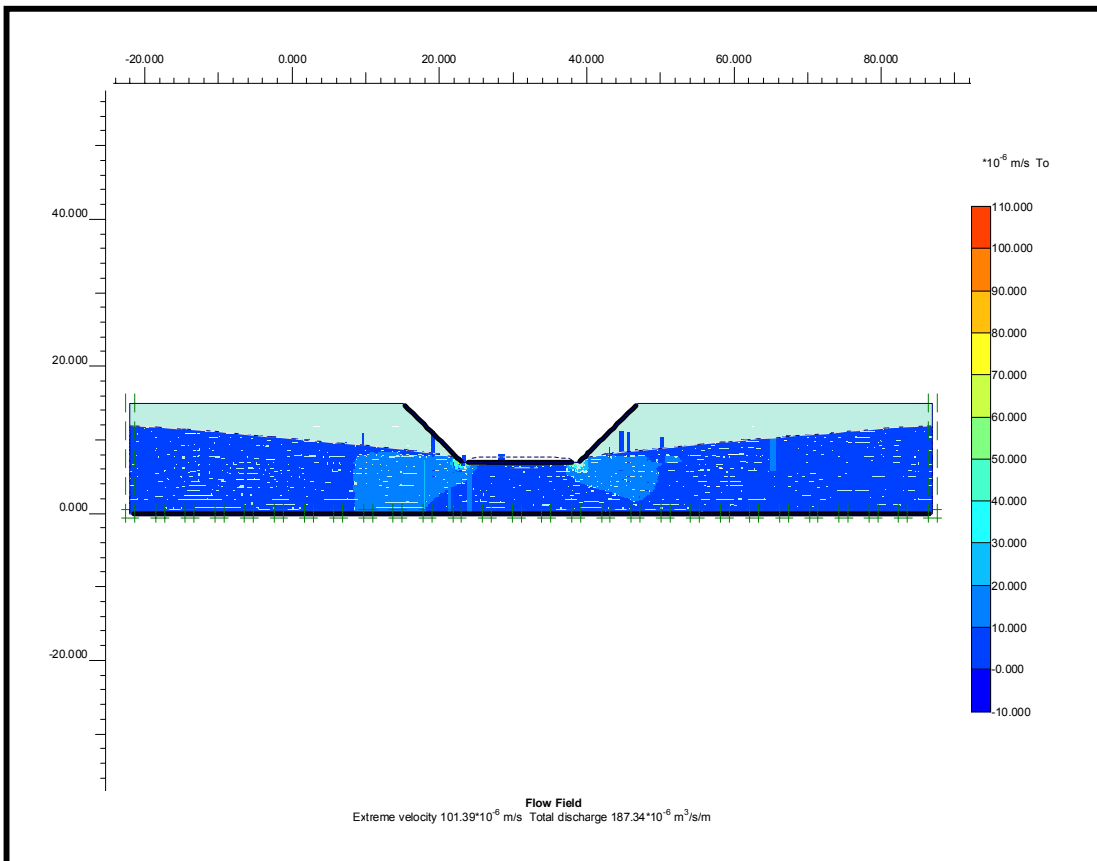
شکل (۱۰) - خطوط هم پتانسیل

به منظور کنترل نشت در زیر کانال دو قطعه زهکش ژئوسنتتیک با ضخامت ۲ سانتی‌متر و نفوذپذیری در نظر گرفته شد. براساس محاسبات انجام شده و متناسب با مقدار نشت، دو نوار زهکش ژئوسنتتیک به طول حدود ۲۵ تا ۶۰ سانتی‌متر و ضخامت ۲ سانتی‌متر بخوبی قادر به کنترل و تخلیه جریان نشت آب زیرزمینی در پشت کانال می‌باشد.

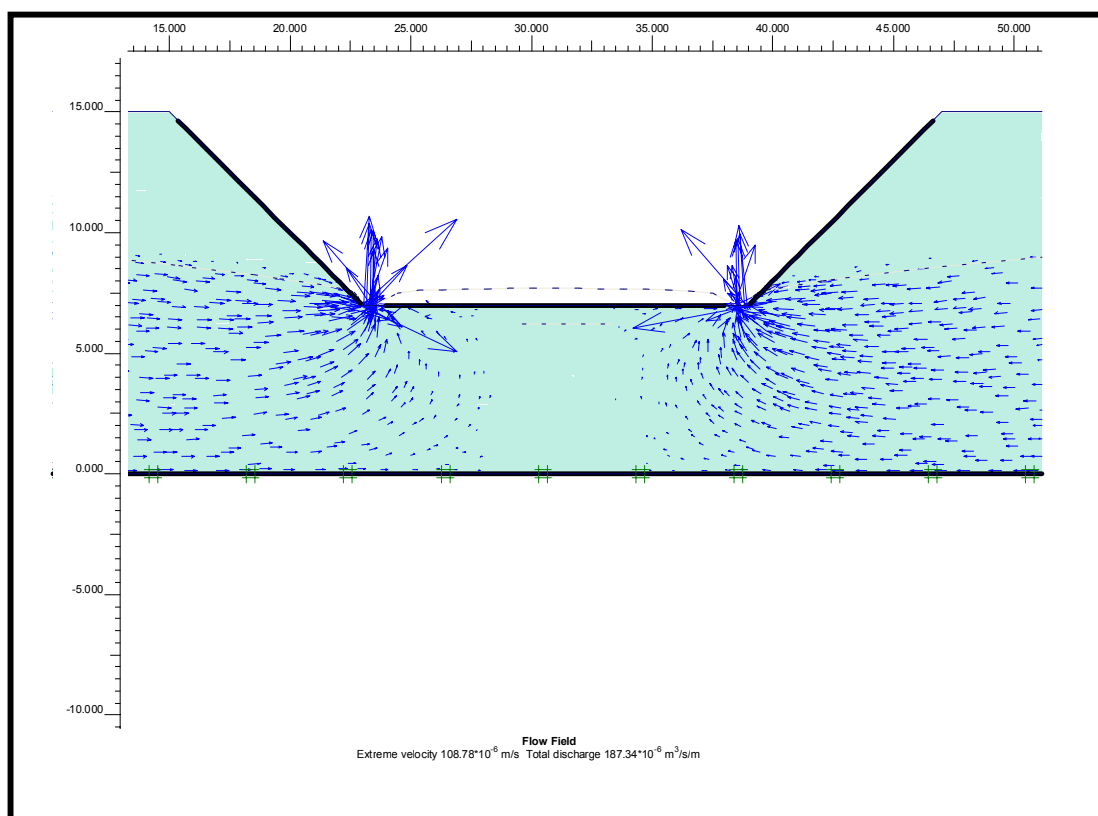
شکلهای شماره (۱۱) تا (۱۴)، به ترتیب فرم عمومی، جهت مؤلفه سرعت، خطوط هم پتانسیل و شبکه جریان نشت در پشت کانال مذکور که در دو گوشه کف آن نوار زهکش ژئوتکنیک با مشخصات طراحی شده فوق قرار گرفته است را نشان می‌دهند.



شکل (۱۱) - شبکه جریان برای زهکش زیر کف



شکل (۱۲) - فرم عمومی جریان برای حالت با زهکش کف

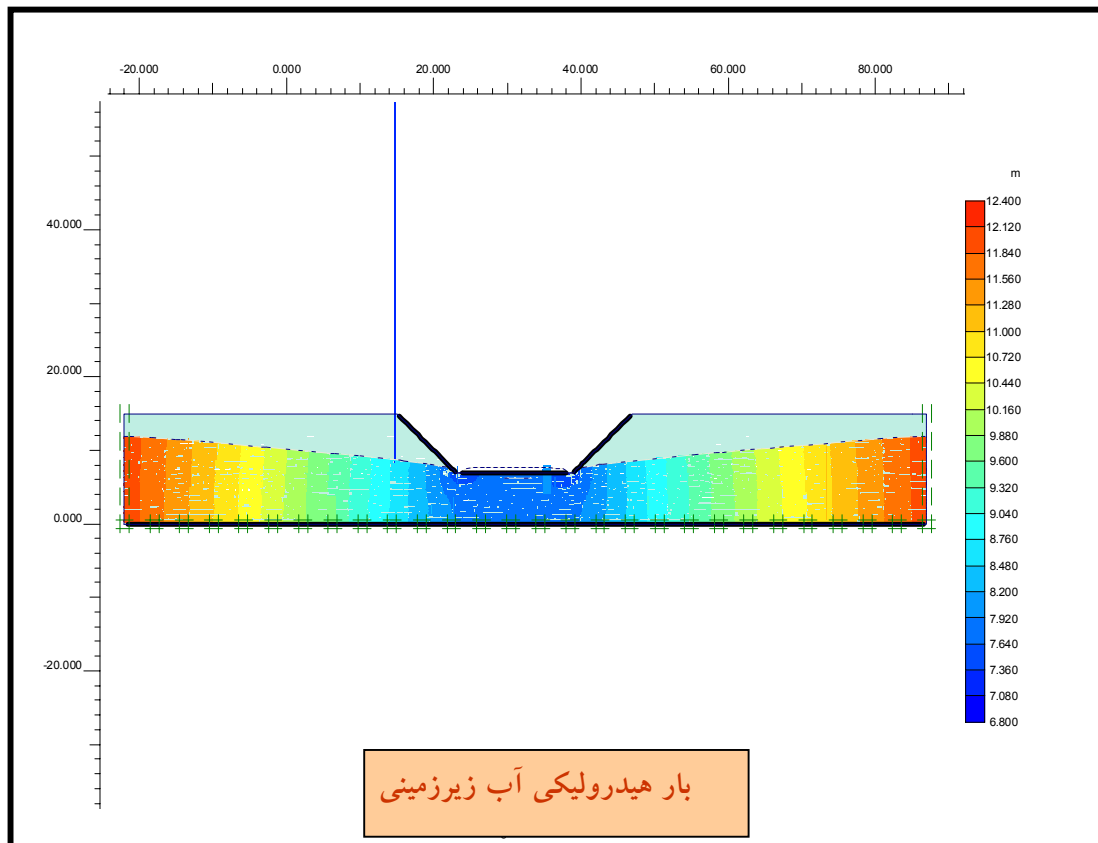


شکل (۱۳) - مولفه‌های بردار سرعت برای حالت با زهکش کف

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

براساس بررسی‌های بعمل آمده و با توجه به روشهای اجرائی موجود می‌توان موارد زیر را جمع‌بندی و نتیجه‌گیری نمود:

- مواد ژئوسنتتیک (ژئوتکستایل‌ها و ژئوکمپوزیت‌ها) می‌توانند به عنوان یک جایگزین مناسب بجای فیلتر- زهکش‌های معدنی در زیر پوشش کانالهای مورد استفاده قرار گیرند. همانطور که قبلاً" اشاره شد، این مواد ضمن دارا بودن سهولت اجرائی و راندمان کاری بسیار خوب نسبت به مواد معدنی، از هزینه کمتری نیز برخوردار می‌باشند.



شکل (۱۴) - خطوط هم پتانسیل برای حالت با زهکش کف

- بررسی‌های هیدرولیکی انجام شده نشان می‌دهد که در کانال‌ها اجرا شده در زیر سفره آب زیرزمینی جریان نشست عمدتاً "بسمت گوشه‌های تحتانی و کف کانال متمرکز بوده و لذا نصب لایه فیلتر در روی شیب جانبی کانال ضروری نمی‌باشد. در این رابطه می‌توان با نصب زهکش لوله‌ای در گوشه‌های تحتانی و یا نوارهای زهکش افقی در همین نقاط ضمن کاهش فشار نشست و کنترل جریان آن، از خسارات احتمالی مانند آب شستگی ذرات خاک در زیر پوشش جلوگیری نمود.

۸ - فهرست منابع

1. AASHTO, (1996), "Standard Specifications for Geotextiles - M 288," Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, American Association of State Transportation and Highway Officials, Washington, D.C.
2. Bhatia, S.K. and Suits, D., (1996), "Geotextile Filters and Prefabricated Drainage Geocomposites", American Society for Testing and Methods, STP 1281, PA, USA.

3. Calhoun, C.C. (1972), "Development of Design Criteria and Acceptance Specifications for Plastic Filter Cloths", Technical Report No. S-72-7, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, USA, 105 p.
4. Christopher, B.R. (1983), "Evaluation of Two Geotextile Installations in Excess of a Decade Old", Transportation Research Record 916, Transportation Research Board, Washington, DC, USA, pp. 79-88.
5. Christopher, B.R. and Holtz, R.D. (1985), "Geotextile Engineering Manual", United States Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, Report No. FHWA-TS-86/203, 1044p.
6. Christopher, B.R. and Valero, P.E., (1998), " Woven Monofilament Geotextiles: The Optimum Filter for Numerous Applications", Smart Solutions Technical Note SM-117, SI Geosolutions, Tennessee, USA.
7. Drainage Fact Sheets, (2000), " Drain Filters and Envelope", British Columbia, Ministry of Agriculture and Food, Canada.
8. Federal Highway Administration (1995): Holtz, R.D., Christopher, B.R. and Berg, R.R., "Geosynthetic Design and Construction Guidelines", U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC, Report No. HI-95-038, 1995, 396 p.
9. Fluet, J.E. and Luettich, S.M. (1993), "Geotextile filter Criteria for Gap Graded silty Sands," Proceedings of Geosynthetics _93, Industrial Fabrics Association International, St. Paul Minnesota, US, p. 469-481.
10. Holtz, R.D., Christopher, B.R. and Berg, R.R., "Geosynthetic Engineering", BiTech Publishers Ltd., Richmond, British Columbia, Canada, 1997, 452 p.
11. Koerner, R.M. (1994), "Designing with Geosynthetics", 3rd Ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 783 p.
12. Keown, M.P. and Dardeau, E.A. (1980), "Utilization of Filter Fabric for Stream bank Protection Applications", TR HL-80-12, Hydraulics Laboratory, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
13. Koerner, R.M., G.R. Koerner, A.K. Fahim and R.F. Wilson-Fahmy (1994), "Long-Term Performance of Geosynthetics in Drainage Applications", NCHRP Report 367, National cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

14. Lafleur, J., Mlynarek, J. and Rollin, A.L. (1993), "Filter Criteria for Well Graded Cohesionless Soils, Filters in Geotechnical and Hydraulic Engineering", Proceedings of the First International Conference - Geo-Filters, Karlsruhe, Brauns, Schuler, and Heibbaum Eds., Balkema, pp. 97-106.
15. Luetlich, S.M., Giroud, J.P. and Bachus, R.C. (1992), "Geotextile Filter Design Guide", Geotextiles and Geomembranes, Special Issue on Geosynthetics in filtration, Drainage and Erosion, Vol. 11, Nos. 4-6, 1992, pp. 355-370.
16. Mannsbart, G. and Christopher, B.R. (1996), "Long-term Performance of Nonwoven Geotextile Filters in Five Coastal and Bank Protection Projects", Proceedings of the 10th Geosynthetics Research Institute Conference on Performance of Geosynthetics and Geosynthetic Related Systems, Philadelphia, Pennsylvania, Dec, 1996, pp. 26-38.
17. US Army Corps of Engineers (1977), "Civil Works Construction Guide Specification for Plastic Filter Fabric", Corps of Engineer Specifications No. CW-02215, Office, Chief of Engineers, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.
18. U.S. Army Corps of Engineers (1995), "Engineering Use of Geotextiles", Joint Departments of the Army and Air Force, TM 5-818-8/AFJMAN 32-1030, 34 p.