

جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

راهنمای کاربرد ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظتی دریایی

نشریه‌ی شماره‌ی ۵۲۸

معاونت نظارت راهبردی

امور نظام فنی

Nezamfanni.ir



بسمه تعالی

ریاست جمهوری

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

شماره: ۲۰/۵۷۲۳	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۹۱/۱/۲۹	

موضوع: راهنمای کاربرد ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظتی دریایی

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و ماده (۶) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت/۳۳۴۹۷ هـ.، مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۵۲۸ امور نظام فنی، با عنوان «راهنمای کاربرد ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظتی دریایی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه برای دستگاه‌های اجرایی، مشاوران، پیمانکاران و سایر عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی، در صورت نداشتن ضوابط معتبر بهتر، از تاریخ ۱۳۹۱/۴/۱ اجباری است.

محمد مهدی رحمتی
معاون نظارت راهبردی

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی

مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

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

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علیشاه، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت

راهبردی رییس جمهور، امور نظام فنی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email: info@nezamfanni.ir

web: <http://nezamfanni.ir>

پیشگفتار

این راهنما در شرایط زمانی‌ای تهیه می‌گردد که تاکنون تعداد بسیار معدودی از کشورها به دلیل میزان سطح فعلی فن‌آوری‌ها و تجارب اخذ شده دارای چنین راهنمای طراحی ملی بوده و حتی در برخی زمینه‌ها مانند طراحی برخی ژئوسیستم‌های دریایی هنوز ضوابط مدونی در آیین‌نامه‌ها و راهنماهای طراحی معتبر بین‌المللی هم قابل‌ارایه نبوده است. لیکن، با عنایت به مزیت‌های فنی، عملیاتی و اقتصادی ممکن در کاربرد مناسب ژئوتکتستایل در برخی سازه‌های حفاظتی دریایی کشور این راهنمای طراحی جهت محقق نمودن یک سری ضوابط مدون برای استفاده از ژئوتکتستایل در پروژه‌های مربوط با رعایت ملاحظات مربوط تدوین و ارائه شده است.

یکی از مشخصه‌های مهندسی نوین ارایه‌ی روش‌های جایگزین برای حل مسایلی ثابت و همیشگی است. به‌علاوه، هم در کشورهای توسعه یافته و هم در کشورهای در حال توسعه تمایلی روزافزون به استفاده از روش‌های نوین جهت حل مشکلات مهندسی برای حصول هزینه‌ی کمتر، هم در ساخت و هم در نگهداری، مشاهده می‌شود که این امر در مورد سازه‌های دریایی نیز صادق است.

از جمله‌ی این روش‌های بدیع، استفاده از منسوجات ساخته شده از پلیمر مصنوعی به‌خصوص ژئوتکتستایل‌ها در ساخت و سازه‌های دریایی می‌باشد. کاربرد ژئوتکتستایل علاوه بر جنبه‌های اجرایی و فنی، در مواردی نیز به علل اقتصادی بوده است که استفاده از ژئوتکتستایل در پروژه‌های دریایی کشور نیز می‌بایست به‌صورت اصولی مستدل بر مزیت‌های فنی و اقتصادی در مقایسه با گزینه‌های سنتی‌تر باشد.

نشریه‌ی حاضر راهنمایی را به‌منظور آشنایی با کاربرد این محصولات و کمک به انتخاب و روش استفاده‌ی صحیح آن‌ها در سازه‌های دریایی برای اولین بار در سطح کشور ارایه می‌نماید. در شرایط فعلی، تجربه‌های طراحی و اجرای ژئوتکتستایل‌ها در ایران به‌گونه‌ای بوده است که سازه حفاظت ساحلی عمده‌ای با استفاده از ژئوتکتستایل‌ها در داخل کشور طراحی و اجرا نشده است و لذا امکان دریافت بازخورد فنی و مهندسی متقن از تجارب داخلی هم میسر نبوده است. در نتیجه، در تهیه‌ی این راهنما تلاش گردیده است تا از آخرین دستاوردهای معتبر و پذیرفته‌شده‌ی علمی مندرج در آیین‌نامه‌ها و کتاب‌های مرجع این زمینه و تخصص‌ها و تجربه‌های عملی جهانی در محیط‌های مشابه اقلیم ایران نهایت بهره گرفته شود تا گامی برای تشویق استفاده از منسوجات ژئوتکتستایلی در سازه‌های دریایی با رعایت شرایط خاص پروژه‌ها و اقلیم کشور باشد.

معاون نظارت راهبردی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور بر خود فرض می‌داند که مراتب سپاسگزاری و امتنان خود را از زحمات تمامی آنانی که در پیشبرد این نشریه تا این مرحله مساعدت، مشارکت و پشتیبانی نموده اند، مهندسان مشاور دریابندر که مسوولیت تدوین و تکمیل این راهنما را در چارچوب قراردادی به عهده داشته است، جناب آقای مهندس مصطفوی رییس و کارشناسان امور نظام فنی، اعضای کمیته اجرایی تدوین و تکمیل راهنما، گروه هدایت فنی و مدیریتی پروژه در معاونت نظارت راهبردی و سایر کارشناسان واحدهای فنی و مهندسی مهندسان مشاور دریابندر تقدیم دارد.

معاون نظارت راهبردی

زمستان ۱۳۹۰

اعضای کمیته اجرایی تدوین و تکمیل راهنما

ترکیب اعضای کمیته‌ی اجرایی و تدوین به ترتیب حروف الفبا:

بابک بنی‌جمالی	دکترای مهندسی سواحل، مدیر و کارشناس ارشد پروژه
مرتضی بنی‌جمالی	کارشناس ارشد طراحی بنادر و سازه‌های دریایی
محمود حسنلوراد	دکترای مهندسی ژئوتکنیک، کارشناس ارشد ژئوتکنیک
سروش سروریان	کارشناس ارشد مهندسی سواحل و سازه‌های دریایی
نوروز فروتن	کارشناس ارشد مهندسی عمران و متخصص مدیریت ساخت
فرزین کلانتری	دکترای مهندسی ژئوتکنیک، کارشناس ارشد ژئوتکنیک
پروانه ملکی	کارشناس ترجمه و ویرایش

گروه هدایت فنی و مدیریتی پروژه در معاونت نظارت راهبردی

فرزانه آقارمضانعلی	امور نظام فنی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
بهناز پورسید	امور نظام فنی	کارشناس مهندسی عمران، مدیرکل وقت دفتر
علی تبار	امور نظام فنی	کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی
حمیدرضا خاشعی	امور نظام فنی	کارشناس ارشد مهندسی عمران - مهندسی زلزله
سیدامیر دوازده امامی	مهندسان مشاور ساحل	کارشناس ارشد مهندسی عمران - سازه‌های هیدرولیکی
شهرزاد روشن‌خواه	امور نظام فنی	کارشناس ارشد مهندسی عمران - ژئوتکنیک
مصطفی زین‌الدین	دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی	دکترای مهندسی عمران - ژئوتکنیک
حسن قاسم‌زاده	دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی	دکترای مهندسی عمران - ژئوتکنیک

مقدمه

هدف از تدوین این راهنما، معرفی و ارزیابی اصول طراحی راه کارهای اجرایی و روش‌های کاربرد خاص موضوع نوین استفاده از ژئوتکتستایل‌ها در سازه‌های دریایی می‌باشد.

از جمله‌ی این روش‌ها، استفاده از منسوجات ساخته شده از پلیمر مصنوعی به‌خصوص ژئوتکتستایل‌ها در ساخت و سازه‌های دریایی می‌باشد. تاریخ شروع استفاده از ژئوتکتستایل‌ها مربوط به بیش از پنج دهه‌ی گذشته می‌باشد که اولین بار در کشور هلند و برای سری پروژه‌های دلتا (سازه‌های آب‌بند یا سد مجهز به دریچه‌های متحرک روی آبراهه‌های طبیعی) از این محصول در پیش‌ساخته کردن لایه‌ی تشک و استقرار آن در بستر دریا استفاده نمودند.

در بعضی کشورها از جمله کشور هلند معادن کافی جهت تامین مصالح سنگی وجود نداشته و انواع سنگ‌های مورد مصرف در سازه‌های دریایی می‌بایست از خارج، از جمله از فنلاند با صرف هزینه‌ی گزاف وارد شوند.

در دهه‌های اخیر، ایده‌ی استفاده از ژئوتکتستایل‌ها در دنیا با توجه به پیشرفت فن‌آوری ساخت و تجارب استفاده از آن‌ها و افزایش علاقه به نوآوری در سازه‌های دریایی خصوصاً در پروژه‌هایی که راه‌حل‌های با قیمت کمتر را محقق می‌سازند تقویت گردیده است. لیکن، با وجود سابقه‌ی جهانی بیش از نیم قرن در کاربرد ژئوتکتستایل‌ها در سازه‌های دریایی، تجربیات فنی و اجرایی داخلی در این زمینه کم‌اکان نسبتاً محدود می‌باشد. به‌گونه‌ای که فقدان مثال‌های بومی حایز شرایطی که به‌توان بیشتر به تجارب داخلی اشاره نمود به‌گواه مکاتبات با سازندگان و مجریان داخلی معضلی در تدوین یک راهنمای کاملاً بومی ایجاد نموده است.

تاکید بر این نکته ضروری است که استفاده از ژئوتکتستایل همیشه و تحت هر شرایطی هم توصیه نمی‌شود و کاربرد این منسوجات باید صرفاً در شرایطی که به کیفیت بالاتر سازه و کاهش در هزینه یا زمان اجرای پروژه منجر شود مدنظر قرار گیرد. به‌خصوص آنکه اصل ترجیح بر استفاده از محصولات داخلی و کاهش واردات می‌تواند با روند رو به رشد تولید ژئوتکتستایل در کشور ترکیب شده و استفاده از این محصولات را اقتصادی‌تر و حتی اشتغال‌زا نیز نماید.

در ادامه، متذکر می‌گردد که با توجه به شرح پروژه‌هایی که طی چند دهه‌ی گذشته با استفاده از ژئوتکتستایل‌ها در دنیا اجرا شده‌اند، توصیه‌های آیین‌نامه‌های مربوط بین‌المللی و همچنین مقاله‌های کنفرانس‌های تخصصی، آن است که در استفاده این مصالح علاوه بر لزوم انتخاب صحیح ژئوتکتستایل برای کاربرد خاص مدنظر در یک پروژه، باید با استفاده از تجهیزات مناسب و کادر اجرایی متخصص و مجرب انجام شود. این نکته بر مهندسان طراح سازه‌های دریایی پوشیده نیست که طرح بهینه آن است که به‌گواه امکانات اجرایی موجود هم کم‌خطر و مناسب بوده و لذا در استفاده یا عدم استفاده از محصول خاصی که در این راهنما در آن مورد صحبت می‌گردد این اصل مهم می‌بایست رعایت شود.

در تدوین راهنمای حاضر، علاوه بر بررسی مراجع معتبر خارجی و داخلی، از سه مرجع اصلی، کتاب راهنمای آقای پیلارژیک (PL)، کتاب راهنمای استفاده از سنگ در سازه‌های دریایی (RM) و راهنمای طراحی کشور آلمان (MAG) که در فهرست مراجع هم به‌صورت کامل معرفی شده‌اند در تهیه ساختار اصلی استفاده شده که این انتخاب با مشورت اساتید خارجی به‌نام صورت گرفته است.

عوامل مهم دیگری نیز که می‌بایست در تحلیل چند ضابطه‌ای استفاده یا عدم استفاده از ژئوتکتستایل در سازه‌های دریایی در کشور در نظر گرفته شوند عبارتند از:

- امکان تامین مصالح سنگی از معادن با قیمت نسبتاً منطقی و اقتصادی (اگرچه نه همیشه با کیفیت در حد استاندارد)؛
 - پایین تر بودن دستمزد نیروی انسانی به طور نسبی در مقایسه با کشورهای اروپایی، آمریکا و ژاپن؛
 - توجه به هزینه‌ی انرژی با در نظر گرفتن یارانه‌های مربوط که تغییراتی در بهای واحد ایجاد می‌نماید؛
 - چنانچه کارخانه‌ی تولیدکننده‌ی ژئوتکستایل خاص مورد نیاز در کشور وجود نداشته باشد، با صرف هزینه‌ی ارزی می‌بایست این محصول از خارج وارد شود و حال آن‌که در صورتی‌که با انتخاب روش‌های اجرایی مناسب و سنتی از مصالح سنگی داخلی استفاده گردد، کمک به اشتغال‌زایی و تقلیل میزان بیکاری می‌نماید. حمل خارجی ممکن است خود خطر اطاله پروژه را در بر داشته باشد؛
 - وضعیت خاص اقلیمی ایران خصوصاً به لحاظ میزان قابل توجه اشعه‌ی ماورای بنفش در سواحل جنوبی کشور و نیز مناطق زلزله‌خیز متعدد که تمهیدات خاص را در صورت استفاده از ژئوتکستایل ایجاب می‌نماید؛
 - در مراحل مقدماتی شروع این موضوع و وضعیت کنونی، افراد دارای تجربه‌ی تخصصی کافی اجرایی در این زمینه در کشور وجود نداشته و در صورت استفاده از ژئوتکستایل‌ها در یک پروژه می‌بایست برنامه‌ی کارآموزی و دوره‌های آموزشی برای کادر اجراکننده در نظر گرفته شده و با اعمال کنترل و مدیریت کیفیت لازم پیاده شود.
- بنابراین، طراح کاربرد ژئوتکستایل در پروژه‌های دریایی و عمرانی کشور می‌بایست عوامل مهم یاد شده را که مربوط به جنبه‌های فنی و اجرایی، اقتصادی، اشتغال‌زایی و ممانعت خروج ارز از کشور می‌شود هم مورد عنایت لازم قرار دهد.
- به لحاظ سایر مسایل مرتبط با طراحی سازه‌های حفاظتی دریایی، این راهنما باید همراه با نشریه‌ی ۳۰۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی تحت عنوان "آیین‌نامه‌ی طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران" مورد استفاده قرار گیرد و به‌طور خاص در موارد و جنبه‌هایی از طراحی موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی مانند نحوه‌ی تعیین شرایط مرزی طراحی به‌لحاظ هیدرودینامیکی و ژئوتکنیکی که در این راهنما به دلیل پرهیز از تکرار به آن‌ها پرداخته نشده، به جلد پنجم نشریه‌ی فوق‌الذکر ارجاع می‌گردد. اساساً، فرض بر این است که مخاطب این نشریه در خصوص طراحی سازه‌های دریایی متداول‌تر مانند موج‌شکن‌ها، دارای تجارب و آشنایی است لیکن در خصوص معرفی کاربردهای ژئوتکستایل‌ها عمداً برخی توضیحات و معرفی کاربردها نیز در این نشریه عنوان شده است تا از یک‌سو مطالب مندرج در نشریه‌ی ۳۰۰ تکرار نگردد و از سوی دیگر برخی ایده‌های نسبتاً ساده‌تر استفاده از ژئوتکستایل در سازه‌های دریایی هم در نشریه گنجانیده شوند.

در راستای سهولت استفاده از این راهنمای طراحی، فصل‌های مربوط با مندرجات مشروح زیر تدوین گردیده‌اند:

فصل اول در برگیرنده‌ی کلیاتی از قبیل تعریف مفاهیم و اصول اولیه‌ی مرتبط با ژئوسنتتیک‌ها و ژئوتکستایل‌ها از یک‌سو و معرفی کاربردهای ژئوتکستایل در مهندسی سواحل و مهندسی دریایی می‌باشد که به‌دلیل نسبتاً جدید بودن موضوع این راهنمای طراحی حتی‌الامکان اهتمام بر ارایه‌ی شرحی جهت معرفی مفاهیم پایه و کاربری‌های قابل توجه این خانواده از محصولات و فن‌آوری مربوطه بوده است.

فصل دوم معرفی سامانه‌های ژئوتکستایلی یا ژئوسیستم‌ها را دربر دارد که نسبت به کاربری‌های امروزه‌ی متداول‌تر ژئوتکستایل در سازه‌های دریایی و ساحلی کمتر متداول‌اند و دارای ضوابط مدون یکنواخت برای کاربرد در پروژه‌های اجرایی مختلف هم

نمی‌باشند لیکن بهر حال دارای اهمیت‌اند چراکه هم در شرایط کنونی و هم در آینده با پیشرفت فن‌آوری‌ها و تجارب مربوطه کاربرد ژئوسیستم‌ها به‌صورت موردی، بیشتر می‌تواند به‌دلیل برخی مزیت‌ها مورد توجه قرار گیرد.

فصل سوم نیز که اولین فصل از دو فصل مرتبط با تعیین اصول و ضوابط طراحی است حاوی ملاحظات اصولی طراحی بیشتر از منظر کیفی می‌باشد تا به‌همراه ملاحظات ضوابط معرفی شده در **فصل چهارم** برای کاربردهای در حیطه‌ی این راهنما ارایه‌ی روش طراحی صورت گیرد.

توجه به ملاحظات و اصول اجرایی بین‌المللی، خصوصا در شرایط فعلی نوین بودن این نوع راهکارها در کشور، ایجاب می‌نماید تا مهندسان طراح به لحاظ اجرایی بودن، ایمن بودن و اقتصادی بودن طرح‌های خود کاملا رعایت ملاحظات اصولی اجرای مناسب سازه‌های حفاظت ساحلی و دریایی با استفاده از ژئوتکستایل را پیش از ارایه این‌گونه طرح‌ها بنمایند، بنابراین **فصل پنجم** در برگرفته‌ی این‌گونه ملاحظات اجرایی می‌باشد.

فصل ششم نیز دربرگیرنده‌ی ملاحظات اجرایی و ایده‌های طراحی مرتبط با جزییات اجرایی مناسب برای لایه‌های فیلتر و آرمور سازه‌های حفاظت ساحلی و دریایی توده سنگی با استفاده از ژئوتکستایل می‌باشد.

فصل هفتم حاوی طبقه‌بندی و تاکید بر لزوم انجام انواع آزمایش‌های مختلف در مراحل تولید و پیش و پس از نصب ژئوتکستایل می‌باشد تا قراردادهای اجرایی مربوطه به غیر از مشخصات فنی لازم که در فصل چهارم تدوین گردیده‌اند دارای کلیه‌ی آزمایش‌های کنترل و حصول اطمینان از کیفیت لازم هم باشند.

فصل هشتم نیز ارایه‌کننده‌ی برخی مثال‌های استفاده از ژئوتکستایل در کاربری‌های خاص در دنیا و تجارب حاصله جهت انتقال این تجارب به کشور می‌باشد.

شرح بیشتر مفاهیم و مثال‌های طراحی طبق ضوابط ارایه شده این راهنما هم طی پیوست‌ها قابل مراجعه می‌باشند. ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهارنظر در مورد این راهنما، امید است مجریان و دست‌اندرکاران برای پیشرفت این حوزه‌ی نوین در کشور اهتمام ورزیده و متخصصان نیز با اظهارنظرهای سازنده خصوصا در زمینه‌ی تجارب موجود و آتی خود در تکامل این نشریه به‌لحاظ پاسخ‌گویی به نیاز یک مرجع طراحی مناسب داخلی مشارکت نمایند. با وجود اهتمام به‌عمل آمده در تدوین نشریه حاضر، قطعا در تجدید نظرهای آتی بهبود و ارتقای آن محقق می‌گردد که امید است با کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان و متخصصان موجبات آن فراهم آید. البته، با توجه به عوامل محیطی کشور به نظر می‌رسد که تا مدت‌ها در کشور کاربرد اصلی فیلتراسیون و جداسازی ژئوتکستایل در سازه‌های دریایی باشد. افزون بر این، راهنمای حاضر جایگزین مراجعه به کتب و مراجع فنی معرفی شده جهت مطالعه‌ی بیشتر در خصوص ویژگی‌های مختلف و جزییات فن‌آوری‌های مرتبط با این موضوع نسبتا جدید نمی‌باشد و توصیه می‌گردد مهندسان طراح در صورت نداشتن تجربه‌ی قبلی طراحی به این روش‌های مرتبط با ژئوتکستایل پیشاپیش کتب عمومی مربوطه در بخش مراجع این راهنما را هم مطالعه فرمایند.

فهرست مطالب

فصل اول - کلیات

۱-۱- مقدمه	۳
۲-۱- ژئوتکستایل ها.....	۳
۱-۲-۱- ژئوتکستایل بافته نشده	۶
۲-۲-۱- ژئوتکستایل بافته شده	۷
۳-۲-۱- محصولات مرکب	۸
۳-۱- اصطلاحات و مفاهیم کلیدی.....	۹
۱-۳-۱- اندازه‌ی روزنه‌ی ژئوتکستایل (O_{90}).....	۹
۲-۳-۱- عملکرد ژئوتکستایل به‌عنوان لایه‌ی فیلتر.....	۹
۳-۳-۱- عملکرد ژئوتکستایل به‌عنوان لایه‌ی جدا کننده.....	۱۰
۴-۳-۱- عملکرد ژئوتکستایل به‌عنوان لایه‌ی زهکشی.....	۱۱
۵-۳-۱- آب‌شستگی (فرسایش).....	۱۱
۶-۳-۱- فرار (گریز) مصالح	۱۱
۷-۳-۱- انسداد	۱۱
۸-۳-۱- بارگذاری هیدرولیکی دینامیکی.....	۱۱
۹-۳-۱- بارگذاری هیدرولیکی استاتیکی.....	۱۲
۱۰-۳-۱- ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی.....	۱۲
۱۱-۳-۱- درجه‌ی سختی آب.....	۱۲
۴-۱- خواص فیزیکی و مکانیکی ژئوتکستایل ها.....	۱۲
۵-۱- کاربرد ژئوتکستایل ها در حفاظت شیب‌ها و بسترها.....	۱۴
۱-۵-۱- مقدمه	۱۴
۲-۵-۱- معرفی طراحی سازه‌های حفاظتی ساحلی و دریایی به کمک ژئوتکستایل ها.....	۱۴
۶-۱- کاربرد ژئوتکستایل ها در سایر سیستم‌های کنترل فرسایش ساحلی.....	۲۳
۱-۶-۱- سازه‌های حفاظت کرانه‌ای تالاب‌ها.....	۲۵
۲-۶-۱- تشک با پوشش گیاهی.....	۲۷
۳-۶-۱- تشک با شبکه‌ی چپری.....	۲۷
۴-۶-۱- تشک با بلوک بتنی.....	۲۷
۵-۶-۱- گایون ها	۲۸
۷-۱- سایر موارد استفاده از ژئوسنتتیک‌ها و ژئوتکستایل‌ها در مقاوم‌سازی بندها و کرانه‌ها و تپه‌های ماسه‌ای دریایی.....	۲۹

فصل دوم - معرفی محصولات سامانه‌های ساخته شده از ژئوتکستایل

۳۵	۱-۲- ژئوسیستم‌های پرشونده
۳۶	۱-۱-۲- کیسه‌های ژئوتکستایلی پر شده با ماسه یا دوغاب
۳۶	۱-۲-۲- تشک‌های پر شده با ماسه
۳۷	۱-۲-۳- لوله‌های لانگارد
۳۸	۱-۲-۴- ژئوتیوب‌ها
۴۱	۲-۲- ژئوکانتینرها
۴۷	۳-۲- صفحه‌ها و پرده‌ها
۴۸	۲-۳-۱- صفحه‌های شناور (پرده‌ها)
۴۹	۲-۳-۲- صفحه‌های بستر
۵۰	۲-۴- کاربرد ژئوتکستایل در ساختارهای ماسه‌ای

فصل سوم - ملاحظات اصولی در طراحی ژئوتکستایل به عنوان لایه‌ی فیلتر یا لایه‌ی جداکننده

۵۵	۱-۳- کلیات
۵۵	۲-۳- ضرورت کاربرد ژئوتکستایل
۵۵	۳-۱-۲- لایه‌ی فیلتر
۵۵	۳-۲-۲- لایه‌ی جداکننده
۵۶	۳-۳- اصول و ملاحظات طراحی
۵۶	۳-۱-۳- لایه‌ی خاک زیرین
۵۹	۳-۲-۳- بارگذاری هیدرولیکی
۵۹	۳-۳-۳- بارهای مکانیکی
۶۱	۳-۳-۴- کیفیت آب در ناحیه فیلتر
۶۲	۳-۳-۵- مقاومت در برابر اشعه‌ی فرابنفش
۶۲	۳-۳-۶- نفوذ ریشه‌ی گیاهان
۶۳	۳-۳-۷- آتش‌گرفتگی
۶۳	۳-۳-۸- برخی سایر عوامل

فصل چهارم - ضوابط طراحی منسوجات ژئوتکستایلی

۶۷	۱-۴- الزامات عمومی طراحی
۶۹	۲-۴- مقادیر کمینه‌ی مجاز خواص توصیه شده‌ی ژئوتکستایل‌ها مطابق استانداردهای آمریکایی CEM و اروپایی RM
۷۲	۳-۴- ضوابط فیلترکنندگی و نفوذپذیری ژئوتکستایل‌ها با توجه به استاندارد آمریکایی CEM
۷۴	۴-۴- روش طراحی منسوجات ژئوتکستایلی مطابق دستورالعمل MAG

۷۴	۱-۴-۴- کلیات
۷۴	۲-۴-۴- پایداری لایه‌ی فیلتر
۷۹	۳-۴-۴- خواص مواد و مصالح
۸۶	۵-۴- ضوابط تکمیلی طراحی ژئوتکستایل‌ها با توجه به استاندارد اروپایی RM
۸۶	۱-۵-۴- پایداری سطح مشترک فیلتر ژئوتکستایل و خاک بستر
۸۷	۲-۵-۴- الزامات نفوذپذیری فیلتر ژئوتکستایل
۸۸	۳-۵-۴- سایر الزامات فیلتر ژئوتکستایل
۸۹	۴-۵-۴- ضابطه‌ی پایداری فیلتر ژئوتکستایل در برابر تورم خاک
۸۹	۵-۵-۴- ضابطه‌ی پایداری فیلتر ژئوتکستایل در برابر پدیده‌ی رگاب

فصل پنجم - ملاحظات نصب ژئوتکستایل‌ها

۹۳	۱-۵- لزوم آماده سازی خاک یا لایه‌ی سنگی زیرین
۹۳	۲-۵- استقرار ژئوتکستایل
۹۵	۳-۵- برخی نکات عملیات نصب در خشکی
۹۵	۴-۵- برخی نکات نصب در زیر آب
۹۶	۵-۵- تعمیرات ژئوتکستایل

فصل ششم - گونه‌های مختلف اجرای لایه‌های فیلتر و آرمور

۱۰۱	۱-۶- حالات نصب ژئوتکستایل به هنگام استفاده از آرمورهای نفوذپذیر
۱۰۱	۲-۶- استقرار ژئوتکستایل مستقیماً بر روی خاک بستر (کاربرد متداول)
۱۰۲	۳-۶- استقرار ژئوتکستایل بر روی یک زیرلایه‌ی رگلاژی دانه سنگی (تنظیم شیب)
۱۰۳	۴-۶- استقرار ژئوتکستایل به همراه یک لایه‌ی فیلتر سنگی با دانه‌بندی محدود نشده
۱۰۳	۵-۶- استفاده از مصالح دانه‌سنگی میان لایه‌ای بین ژئوتکستایل و لایه‌ی آرمور
۱۰۳	۶-۶- ژئوتکستایل با ملحقات سازه‌ای
۱۰۳	۱-۶-۶- کلیات
۱۰۴	۲-۶-۶- ژئوتکستایل به همراه لایه‌ی اضافی ژئوتکستایلی
۱۰۵	۳-۶-۶- ترکیب ژئوتکستایل با شبکه‌ی چپری الحاقی (تشک استغراق)
۱۰۵	۴-۶-۶- ترکیب ژئوتکستایل با مصالح پرکننده‌ی سنگی معدنی
۱۰۵	۷-۶- لبه‌های لایه‌ی ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظت شیب
۱۰۶	۸-۶- اتصال ژئوتکستایل با سازه‌ها
۱۰۶	۹-۶- هم‌پوشانی‌ها و درزها
۱۰۷	۱۰-۶- لایه‌های آرمور

فصل هفتم - آزمایش ها

- ۱-۷ - کلیات ۱۱۱
- ۲-۷ - آزمایش های عمومی ۱۱۱
- ۳-۷ - آزمایش های کنترل کارایی ۱۱۱
- ۴-۷ - آزمایش های کنترل کیفیت در حین تولید در کارخانه ۱۱۲
- ۵-۷ - آزمایش های کنترل کیفیت توسط کارفرما یا دستگاه نظارت ۱۱۲

فصل هشتم - برخی پروژه های عملی کاربرد ژئوتکستایل در پروژه های دریایی

- ۱-۸ - استفاده از لوله های لانگارد در ایتالیا ۱۱۷
- ۲-۸ - رانه گیر ژئوتکستایلی بزرگ در استرالیا ۱۱۹
- ۳-۸ - کاربرد ژئوکانتینر در موج شکن ها و سازه های دریایی ۱۲۱
- ۴-۸ - احداث جزیره ی مصنوعی در بحرین به کمک ژئوتیوب ۱۲۲
- پیوست ۱ - کنترل نیاز به لایه های فیلتر و یا جداکننده ۱۲۷
- پیوست ۲ - کنترل پایداری خاک در برابر فرار مصالح ۱۳۱
- پیوست ۳ - برخی نکات اجرایی ۱۳۷
- پیوست ۴ - تخمین نفوذپذیری خاک ۱۴۷
- پیوست ۵ - بازه های دسته بندی اندازه ی سنگ های آرمور براساس MAG ۱۵۱
- پیوست ۶ - طبقه بندی خاک زیر ژئوتکستایل به انواع ۱ الی ۴ براساس MAG ۱۵۵
- پیوست ۷ - مثال هایی حل شده از طراحی فیلتر ژئوتکستایلی در سازه های حفاظت شیب نفوذپذیر مجاور آبراهه ها براساس روش طراحی MAG ۱۵۹
- پیوست ۸ - قواعد تحقق عملکرد فیلتری براساس استاندارد AK14/AA 6.14 ۱۶۹
- پیوست ۹ - جدول آزمایش های متداول ۱۷۹
- پیوست ۱۰ - نمودار روند منطقی طراحی فیلترهای ژئوتکستایلی ۱۸۳
- فهرست مراجع ۱۸۷
- واژه نامه ۱۹۳

خلاصه انگلیسی

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- برخی مثال‌های استفاده از منسوج ژئوتکستایلی در حفاظت شیب ساحلی	۶
شکل ۲-۱- نمونه‌هایی از ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده	۸
شکل ۳-۱- نمونه‌هایی از ژئوتکستایل‌های بافته‌شده	۸
شکل ۴-۱- کاربرد انواع فیلترها در انواع مختلف خاک بستر	۱۰
شکل ۵-۱- نمونه‌ای از دو حالت عدم وجود فیلتر یا وجود فیلتر نامناسب مصالح سنگی	۱۷
شکل ۶-۱- نمونه‌ای از طراحی مناسب لایه‌ی فیلتر	۱۸
شکل ۷-۱- معرفی جزییات برخی نمونه‌های متعارف از انواع فیلترها	۱۹
شکل ۸-۱- مراحل طراحی فیلترهای ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظت شیب	۲۲
شکل ۹-۱- نمونه‌هایی از روش‌های کنترل فرسایش کرانه‌ها	۲۴
شکل ۱۰-۱- سازه‌ی حفاظتی دایمی از نوع دیوار سپری	۲۶
شکل ۱۱-۱- سازه‌ی حفاظتی دایمی از نوع سنگ‌چین	۲۶
شکل ۱۲-۱- سازه‌ی حفاظتی موقتی تشکیل شده از پوشش گیاهی به‌همراه شمع‌های چوبی و مصالح پرکننده طبیعی	۲۶
شکل ۱۳-۱- تشک حفاظتی به‌همراه شبکه‌ی چپری و سنگ‌چین	۲۷
شکل ۱۴-۱- تشک حفاظتی متشکل از بلوک‌های بتنی	۲۸
شکل ۱۵-۱- تشک گابیونی	۲۹
شکل ۱۶-۱- نمونه‌هایی از کاربرد ژئوتکستایل‌ها در مقاوم‌سازی بندهای خاکی	۳۱
شکل ۱۷-۱- نمونه‌ای از کاربرد ژئوتکستایل‌ها در مقاوم‌سازی تپه‌های دریایی	۳۲
شکل ۱-۲- روش پرکردن لوله‌ی لانگارد (سطح مقطع)	۳۷
شکل ۲-۲- نمونه‌ای از مراحل پرکردن ژئوتیوب	۳۸
شکل ۳-۲- کاربرد ژئوتیوب‌ها در محیط‌های ساحلی	۳۹
شکل ۴-۲- اجزا ژئوتیوب	۴۰
شکل ۵-۲- روند طراحی ژئوکانتینر در موج شکن‌های مستغرق	۴۲
شکل ۶-۲- روند طراحی جزییات ژئوکانتینرها	۴۳
شکل ۷-۲- فلوجارت نصب ژئوکانتینرها	۴۴
شکل ۸-۲- مراحل پرکردن و نصب ژئوکانتینرها به‌صورت شماتیک	۴۵
شکل ۹-۲- تصاویری از مراحل پرکردن و استقرار ژئوکانتینرها	۴۶
شکل ۱۰-۲- نمونه‌هایی از صفحه‌های شناور	۴۸

عنوان

صفحه

- شکل ۱۱-۲- انواع صفحه‌های بستر..... ۵۰
- شکل ۱-۴- تغییر سرعت جریان و دبی در واحد طول جریان بر حسب ارتفاع ستون آب (h)..... ۸۰
- شکل ۲-۴- تغییر ضریب نفوذپذیری بر حسب گرادیان هیدرولیکی ۸۰
- شکل ۱-۸- پلان و مقطع پروژه در Sacca Delgi Scardovari ۱۱۷
- شکل ۲-۸- شکل کلی لوله‌های لانگارد..... ۱۱۹
- شکل ۳-۸- روند پرکردن رانه‌گیر کوچک..... ۱۲۰
- شکل ۴-۸- مقطع و شمای رانه‌گیر ژئوتکستایلی در ساحل Gold Coast..... ۱۲۰
- شکل ۵-۸- موقعیت مکانی جزیره‌ی مصنوعی امواج در بحرین ۱۲۳
- شکل ۶-۸- پرده پلی‌پروپیلنی برای جلوگیری از حرکت لای و سیلت در حین اجرای پروژه ۱۲۳
- شکل ۷-۸- سطح مقاطع موج‌شکن‌ها در عمق‌های مختلف پروژه امواج بحرین ۱۲۵
- شکل ۸-۸- سطح مقطع متعارف راه ماشین‌رو..... ۱۲۶
- شکل ۹-۸- سطح مقطع سازه حفاظت ساحلی پیرامون جزیره..... ۱۲۶

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- مقایسه‌ی مشخصات و خواص انواع مواد ژئوتکستایلی	۱۳
جدول ۱-۲- مقایسه‌ی فیلترهای ژئوتکستایلی و فیلترهای دانه سنگی در حفاظت شیب‌ها	۲۰
جدول ۴-۱- مقایسه مقادیر قابل قبول مشخصات و خواص مواد ژئوتکستایلی حسب کاربری‌های مختلف	۷۰
جدول ۴-۲- معیارهای قابل قبول بودن ژئوتکستایل‌های بافته‌شده	۷۱
جدول ۴-۳- معیارهای قابل قبول بودن ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده	۷۲
جدول ۴-۴- تعیین EOS و POA برای ژئوتکستایل‌ها به روش کالهن	۷۳
جدول ۴-۵- ضوابط متداول جهت رعایت خواص فیلتری ژئوتکستایل	۷۷
جدول ۴-۶- الزامات متداول در خصوص خواص مقاومتی ژئوتکستایل	۸۴
جدول ۴-۷- ضریب خزش c_k	۹۰
جدول ۵-۱- محدودیت‌های اجرایی استفاده از ژئوتکستایل‌ها در سازه‌های حفاظت شیب از نوع آرمور سنگی	۹۷
جدول ۵-۲- محدودیت‌های اجرایی استفاده از ژئوتکستایل‌ها در سازه‌های حفاظت شیب از نوع آرمور بلوک بتنی واقع در زیر آب	۹۸
جدول ۶-۱- روش تعیین ساختار لایه‌ی اضافی	۱۰۴
جدول ۸-۱- ارتفاع‌های جزر و مدی در محل جزیره‌ی امواج	۱۲۴
جدول ۸-۲- حداکثر ارتفاع موج در حالت عادی و طوفانی در محل پروژه	۱۲۴
جدول ۸-۳- مشخصات فنی ژئوتکستایل مصرفی در پروژه‌ی امواج بحرین	۱۲۶

نمادها

نسبت متوسط قطر ذرات D_{50} لایه‌ی حفاظتی پوششی و d_{50} خاک زیرین که باید محافظت شود، بندهای	A_{50}
(پ-۱-۱) و (پ-۲-۳)، (پ-۲-۲)	
ضریب خزش، بند (۴-۵-۵) و رابطه‌ی (۴-۱۴)	c_k
چسبندگی ظاهری خاک، بندهای (۳-۳-۱-۱)، (۴-۴-۲-۲)، (پ-۳-۴-۱)، (پ-۷-۲-۱) و	c_u
(پ-۷-۲-۵-۱) و پیوست ۱۰	
ضریب یکنواختی (به صورت نسبت d_{60}/d_{10} تعریف می شود)، بندهای (۳-۳-۱-۵)، (۴-۵-۱)، (پ-۴-۲)،	C_U
(پ-۷-۱-۲) و (پ-۸-۱) و روابط (۴-۴) و (پ-۴-۲) و پیوست‌های ۸ و ۱۰	
ضریب یکنواختی خاک بستر یا خاک لایه‌ی زیرین، بندهای (پ-۱-۱) و (پ-۲-۲) و رابطه‌ی (پ-۲-۷)	C_{UI}
ضریب یکنواختی مصالح لایه‌ی حفاظتی پوششی، بندهای (پ-۱-۱) و (پ-۲-۲) و رابطه‌ی (پ-۲-۷)	C_{UII}
قطر دانه‌ی بستر، بند (پ-۲-۱)	d_b
قطر قطع‌کنندگی، بند (پ-۲-۱)	d_c
قطر دانه‌ی فیلتر، بند (پ-۲-۱)	d_f
قطر ذره‌ی خاک مربوط به $i\%$ وزن ذرات ریزدانه تر از آن	d_i
قطر فیلتر سنگی مربوط به $i\%$ وزن ذرات ریزدانه تر از آن	D_i
قطر شاخص ذراتی که باید فیلتر شوند، بند (۴-۵-۱) و روابط (۴-۲)، (۴-۳)، (۴-۴) و (۴-۶)	D_I
حداقل اندازه‌ی منفذ ژئوتکستایل، بند (۴-۵-۱) و رابطه‌ی (۴-۲)	D_{min}
اندازه‌ی روزنه‌ی ژئوتکستایل (نیز O_{90})، بندهای (۴-۴-۳-۲)، (۴-۴-۳-۳)، (پ-۷-۱-۶) و (پ-۷-۲-۶-۲) و پیوست ۸	D_w
نوع اجرای لایه‌ی رویی، پیوست ۳	DX
نسبت تخلخل مصالح بستر، بند (۴-۵-۱) و رابطه‌ی (۴-۵)	e
بیشینه‌ی نسبت تخلخل مصالح بستر، بند (۴-۵-۱) و رابطه‌ی (۴-۵)	e_{max}
کمینه‌ی نسبت تخلخل مصالح بستر، بند (۴-۵-۱) و رابطه‌ی (۴-۵)	e_{min}
نیروی نشت بیشینه، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۴-۱۱)	F_{hyd}
هد هیدرولیکی، بندهای (۴-۴-۲-۲)، (۴-۴-۳-۲) و پیوست‌های ۸ و ۹	h
ارتفاع موج عمده، بند (۲-۱)	H_s
گرادیان هیدرولیکی، بندهای (۴-۴-۳-۲)، (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۴-۱۳) و پیوست‌های ۸ و ۹	i
شاخص چگالی، بند (۴-۵-۱) و رابطه‌ی (۴-۵)	I_D
شاخص خمیری، بندهای (۳-۳-۱-۱)، (۴-۴-۲-۲)، (پ-۷-۱-۱)، (پ-۷-۲-۱) و (پ-۷-۲-۵-۱) و پیوست‌های ۸ و ۱۰	I_P
ضریب نفوذپذیری، بندهای (۳-۳-۱-۱)، (۴-۴-۳-۲)، (پ-۶-۱) و (پ-۶-۲) و پیوست ۱۰	k

ضریب نفوذپذیری لایه‌ی بستر، بند (۲-۵-۴) و روابط (۷-۴)، (۸-۴) و (۹-۴)	k_b
ضریب نفوذپذیری لایه‌ی فیلتر، بند (۲-۵-۴) و روابط (۷-۴) و (۹-۴)	k_f
ضریب نفوذپذیری قائم بر سطح ژئوتکستایل، بندهای (۲-۲-۴-۴)، (۲-۳-۴-۴)، (۲-۳-۴-۴)، (۲-۳-۴-۴)، (پ-۷-۲-۶-۱) و (پ-۷-۲-۶-۲) و پیوست‌های ۸ و ۹	k_n
ضریب نفوذپذیری خاک بستر، بندهای (۸-۳-۱)، (۹-۳-۱)، (۲-۳-۴-۴) و (پ-۴-۲) و روابط (۱-۱)، (۲-۱) و (پ-۴-۱) و پیوست ۸	k_{soil}
خط تراوش، بند (۵-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۴-۴)	L_k
خط تراوش افقی، بند (۵-۵-۴)	L_{kh}
خط تراوش عمودی، بند (۵-۵-۴)	L_{kv}
نسبت تخلخل حجمی، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۲-۴)	n_v
وزن مجموع خاک عبوری، بند (۲-۲-۴-۴)	M_t
وزن خاک عبوری در آخرین مرحله‌ی آزمایش، بند (۲-۲-۴-۴)	M_l
بندهای (۱-۳-۱)، (۱-۱-۲)، (۴-۱-۲)، (۱-۴)، (۲-۴)، (۳-۳-۴-۴) و (۱-۵-۴) و رابطه‌ی (۲-۴) و پیوست ۸	O_{90}
دبی جریان، بند (۲-۳-۴-۴)	q
ضخامت ژئوتکستایل، بند (۲-۵-۴) و روابط (۸-۴) و (۹-۴)	t_g
ضخامت لایه، بندهای (۲-۲-۴-۴)، (۲-۳-۴-۴)، (۷-۳-۴-۴)، (۱۰-۶)، (پ-۷-۲-۶-۱) و (پ-۷-۲-۶-۲)	T
فشار آب منفذی، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۰-۴)	u_{dst}
سرعت جریان، بندهای (۲-۳-۴-۴) و (۵-۳-۴-۴) و پیوست ۹	v
حجم خاک، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۱-۴)	V
سرعت تغییر هد هیدرولیکی، بندهای (۸-۳-۱) و (۹-۳-۱)، روابط (۱-۱) و (۲-۱)	V_h
سرعت جریان در زیر افت فشار ۵۰ mm، بند (۲-۵-۴) و رابطه‌ی (۸-۴)	V_{I50}
سرعت کشتی، بند (۴-۵)	V_s
درصد وزنی منحنی دانه‌بندی کسر خاک پایه (بستر) در قطر دانه‌ی انتخابی، بند (پ-۲-۱) و روابط (پ-۲-۱) و (پ-۲-۲)	$W_{b(i)}$
درصد وزنی دانه‌بندی کسر خاک در قطر دانه‌ی انتخابی، بند (پ-۲-۱) و رابطه‌ی (پ-۲-۲)	$W_{f(i)}$
درصد وزنی خاک در قطر دانه‌ی انتخابی، بندهای (پ-۲-۱) و (پ-۲-۲) و رابطه‌ی (پ-۲-۲)	W_s
درصد وزنی خاک در قطر قطع‌شدگی در منحنی دانه‌بندی اصلی، بند (پ-۲-۱) و روابط (پ-۲-۱)، (پ-۲-۲) و (پ-۲-۳)	W_{SC}
وزن غوطه‌وری خاک، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۱-۴)	W'

زاویه‌ی شیب نسبت به افق، بندهای (۲-۱-۳-۳)، (پ-۱-۷-۱)، (پ-۱-۷-۲) و (پ-۲-۷-۲) و رابطه‌ی (۱-۳)	β
تغییر در هد هیدرولیکی، بندهای (۸-۳-۱)، (۹-۳-۱) و (۵-۵-۴) و روابط (۱-۱)، (۲-۱) و (۴-۴)	Δh
اختلاف زمان، بندهای (۸-۳-۱) و (۹-۳-۱)، روابط (۱-۱) و (۲-۱)	Δt
وزن مخصوص خاک اشباع، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۳-۴)	γ
وزن مخصوص غوطه‌وری، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۳-۴)	γ'
وزن مخصوص آب، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۳-۴)	γ_w
وزن واحد سطح، بندهای (۶-۳-۴-۴)، (۷-۳-۴-۴) و (۱-۵-۴)	μ
زاویه‌ی اصطکاک داخلی موثر خاک، بندهای (۱-۱-۳-۳)، (۲-۱-۳-۳)، (پ-۱-۷-۱)، (پ-۱-۷-۲)، (پ-۱-۷-۳)	ϕ'
(پ-۱-۷-۱) و (پ-۲-۷-۲) و رابطه‌ی (۱-۳) و پیوست ۱۰	
چگالی خاک به همراه آب (اشباع)، بند (۴-۵-۴) و روابط (۱۱-۴) و (۱۲-۴)	ρ
چگالی آب، بند (۴-۵-۴) و روابط (۱۱-۴) و (۱۲-۴)	ρ_w
چگالی خاک، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۲-۴)	ρ_s
چگالی حجمی خاک خشک، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۲-۴)	ρ_b
تنش نرمال، بند (۲-۳-۴-۴)	σ
تنش پایدارکننده‌ی عمودی، بند (۴-۵-۴) و رابطه‌ی (۱۰-۴)	$\sigma_{v,stab}$

فصل 1

کلیات

۱-۱ - مقدمه

هدف فصل اول این راهنما معرفی برخی تعاریف اولیه، کاربردها و خواص ژئوتکستایلها در ارتباط با موضوع سازه‌های حفاظت ساحلی و موج‌شکن‌ها می‌باشد.

ژئوتکستایلها عضوی از خانواده‌ی بزرگ مواد پلیمری ورقه‌ای که به ژئوسنتتیکها^۱ موسوم‌اند بوده و در بسیاری از کاربردهای ژئوتکنیکی منجمله در مهندسی سواحل و بنادر به کار می‌روند. ژئوسنتتیکها به پنج گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

ژئوتکستایل (از انواع بافته‌شده و بافته‌نشده یا مرکب)، ژئوگریدها^۲، ژئونتها^۳، ژئوممبرانها^۴ و محصولات وابسته مانند حصیر کنترل فرسایش^۵ و پشته‌های مصنوعی^۶.

البته، در هر یک از انواع فوق طبقه‌بندی‌های متنوعی وجود دارد و این انواع تقسیم‌بندی اولیه می‌توانند به گونه‌های مختلفی با یکدیگر ترکیب هم شوند و مصالح مرکب زمین‌ساختی^۷ ارتقا یافته‌ای را پدید آورند. در بعضی موارد مصالح فوق می‌توانند به شکل گابون^۸ یا کیسه‌هایی با اشکال مختلف نیز در آیند.

ژئوسنتتیکها پنج کاربرد پایه‌ای ژئوتکنیکی را دارا هستند:

- جداکنندگی^۹
- فیلتر کردن^{۱۰}
- عبور دادن^{۱۱}
- تقویت کردن^{۱۲}
- محافظت کردن^{۱۳}

۱-۲ - ژئوتکستایلها

مرسوم‌ترین ژئوسنتتیک‌های استفاده شده در مهندسی هیدرولیک، ژئوتکستایلها هستند. ژئوتکستایلها، منسوج‌هایی متخلخل، مسطح و مصنوعی هستند که به صورت بافته‌شده، بافته‌نشده، یا مرکب ساخته می‌شوند. آن‌ها به صورت رول‌های ضخیم با عرض تا ۹

-
- 1 - Geosynthetics
 - 2 - Geogrids
 - 3 - Geonets
 - 4 - Geomembranes
 - 5 - Erosion control mat
 - 6 - Engineering cusplate
 - 7 - Geo-composite
 - 8 - Gabion
 - 9 - Separation
 - 10 - Filtering
 - 11 - Transmission
 - 12 - Reinforcing
 - 13 - Protecting

متر و طول تا ۲۰۰ متر تهیه و به سایت حمل شده که برای محافظت در برابر نور خورشید در حین انبارداری و پیش از استفاده، به‌وسیله‌ی روکش پلاستیکی ضد نور پوشانده می‌شوند.

ژئوتکستایل‌ها می‌توانند در کنار مصالح دانه‌ای سنگی به عنوان جزیی یک‌پارچه از سازه‌ی هیدرولیکی یا سازه‌ی دریایی به‌کار گرفته شوند. استفاده از ژئوتکستایل در کارهای دریایی از نیمه‌ی دهه ۵۰ میلادی آغاز گردید که در آمریکا ژئوتکستایل‌ها به‌عنوان لایه‌ی فیلتر در زیر لایه‌ی آرمور بتنی در سال ۱۹۵۸ اجرا شدند. در هلند نیز استفاده از این منسوجات در سال ۱۹۵۶ آغاز گردید و در پروژه‌ی عظیم دلتا به نتایج قابل توجهی رسید.

در خلال دهه‌ی ۶۰ میلادی به‌دلیل استفاده در پروژه‌های دلتا، ژئوتکستایل به‌عنوان فیلتر، جایگزین مناسبی به‌جای مصالح سنگی معرفی گردید. تخمین زده می‌شود که بیش از ده میلیون مترمربع ژئوتکستایل در پروژه‌ی حفاظت در برابر سیل برکشند طوفان آن پروژه به‌کار گرفته شد. البته، در ابتدا استفاده از ژئوتکستایل صرفه‌ی اقتصادی نداشت و استفاده‌ی آن فقط به نقاطی که منابع مصالح سنگی مطلوب محلی موجود نبود، محدود می‌گشت. لیکن در حال حاضر استفاده از ژئوسنتتیک‌ها به دلیل جا افتادن فن‌آوری‌ها و تجارب مربوطه از یک‌سو و اقتصادی‌تر شدن قیمت تمام شده خصوصاً در ساختگاه‌هایی که تولیدکنندگان ژئوتکستایل با کیفیت در نزدیکی محل پروژه قرار دارند استفاده‌ی بیشتری یافته است.

متداول‌ترین کاربردهای ژئوتکستایل‌ها در مهندسی هیدرولیک و مهندسی سواحل عبارتند از:

الف- فیلترکنندگی / جداکنندگی

یک ژئوتکستایل می‌تواند بر روی بستر ساحلی با قابلیت تراوایی کمتر قرار گیرد تا در عین حال که اجازه عبور آزاد آب را می‌دهد، از فرار ذرات ریزدانه جلوگیری کند. ژئوتکستایل به احداث یک لایه‌ی بستر پایدار و همگون کمک می‌کند که می‌تواند از ضرورت اجرای لایه‌ی اضافی سنگی پس از انجام کنترل‌های لازم به‌لحاظ بارگذاری امواج و جریان‌ها جلوگیری کرده و لذا به‌صورت بالقوه می‌تواند به صرفه‌جویی در هزینه منجر شود.

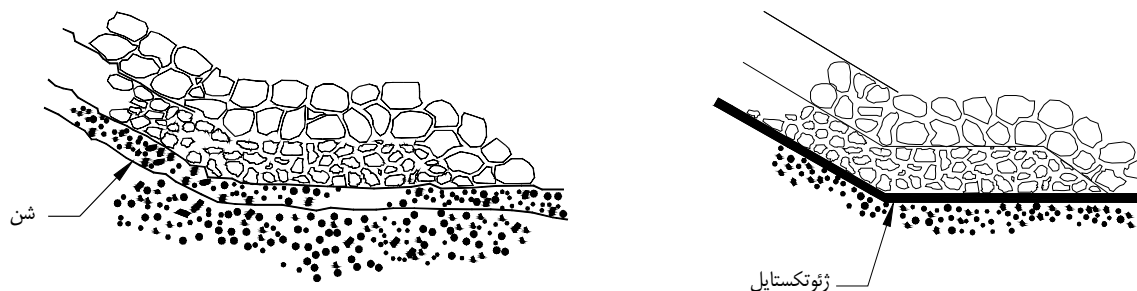
ب- تقویت‌کردن

ورق ژئوتکستایل دارای خواص کششی است و در بعضی موارد، هنگامی که به منظور تقویت پاشنه‌ی سازه یا محافظت از موج‌شکنی که بر روی خاک نرم با ظرفیت باربری پایین به‌کار رود، کاربرد تقویت‌کنندگی آن غلبه می‌یابد. در بسیاری موارد طراحی صحیح با ژئوتکستایل‌ها می‌تواند از لغزش عمیق خاکریزها جلوگیری کرده و اجازه دهد که سازه‌های دریایی بدون نیاز به برداشت یا تحکیم^{۱۴} بر روی خاک نسبتاً نرم ساخته شوند.

همان‌طور که قبلاً اشاره شد شایع‌ترین مورد استفاده‌ی ژئوتکستایل‌ها در دنیا در لایه‌ی فیلتر می‌باشد که پیش‌بینی می‌گردد در کشور ما نیز به همین صورت کاربرد فیلتراسیون عمده‌ترین استفاده در سازه‌های دریایی باشد. لیکن این منسوجات می‌توانند کاربردهای زیر را هم داشته باشند:

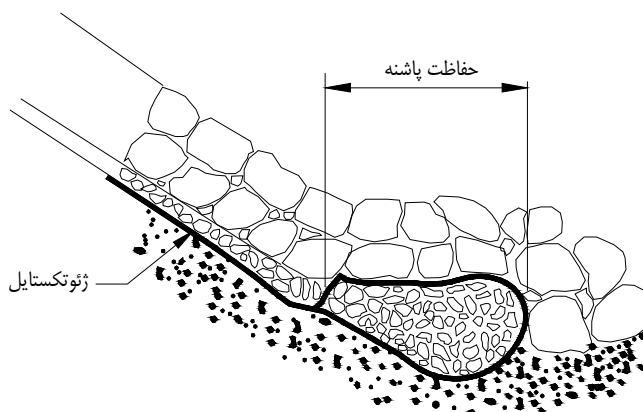
- لایه‌ی جداکننده بین لایه‌های مختلف خاک یا مصالح سنگی؛
- کنترل فرسایش کرانه‌های رودخانه‌ها در حالت عدم وجود امواج؛
- فراهم آوردن زهکشی برای برخی پروژه‌های ساحلی؛

- پوشاندن و محصور نمودن مواد استحصال شده‌ی آلوده که در دنیا نگهداری آن‌ها به یک معضل گران قیمت زیست‌محیطی تبدیل شده؛
 - در کل، الیاف فیلتر ژئوتکستایل باید اجازه‌ی عبور آب و ممانعت از عبور و خارج شدن خاک بستر را فراهم آورند، لیکن در سایر موارد کاربردی مانند حفاظت کرانه‌ها، مقاومت کششی منسوج اهمیت وافرتری می‌یابد.
 - ژئوتکستایل مزایای بالقوه زیر را نسبت به فیلترهای مصالح سنگی متعارف داراست :
 - خواص و ویژگی‌های فیلترکنندگی، همگون و قابل کنترل در کارخانه‌ی تولیدکننده می‌باشد؛
 - منسوج فیلتری ژئوتکستایل توانایی پایداری در برابر تنش‌های کششی را دارد؛
 - اجرا و نصب ژئوتکستایل توسط یک تیم مجرب و با حضور تیم کنترل کیفیت می‌تواند کنترل‌پذیرتر باشد و لذا اجرای آن در زیر آب می‌تواند نسبت به فیلتر سنگی در طول عمر مفید سازه موفق‌تر باشد؛
 - بازرسی و کنترل کیفیت آن توسط متخصصین اجرا نسبتاً سریع و دقیق است؛
 - در شرایطی که مصالح مورد نیاز برای فیلتر سنگی در دسترس نباشد، استفاده از ژئوتکستایل می‌تواند صرفه‌جویی قابل توجهی را به ارمغان آورد.
 - برخی از معایب بالقوه ژئوتکستایل‌ها عبارتند از:
 - تعمیر منسوجی که در زیر لایه‌های سنگ قرار گرفته مشکل و در کشور ما بسیار هزینه‌بر می‌باشد؛
 - در صورت طراحی نادرست، بعضی از منسوجات در معرض تغییرات سریع هد هیدرولیکی قرار می‌گیرند که به تحمیل فشارهای برآ^{۱۵} به سطح منسوج می‌انجامد. اساساً طراحی یا اجرای نادرست ژئوتکستایل می‌تواند اثرات ناگوارتری را در صورت تخریب سازه به این دلیل طراحی یا اجرای نادرست نسبت به سازه‌ی کاملاً سنگی داشته باشد؛
 - برای حالات کاربردی‌های فراتر از فیلتراسیون که بعضاً ضوابط طراحی مدون کمتری موجود است اهمیت شایان توجهی می‌بایست حتی در صورت لزوم با انجام مدل فیزیکی صورت گیرد. مثلاً، در حفاظت پاشنه‌ی سازه، در صورتی که منسوج ژئوتکستایلی به‌خوبی محکم و مهار نشود، پاشنه‌ی سازه در معرض گود شدن و خرابی قرار می‌گیرد؛
 - اجرای این‌گونه پروژه‌ها نیاز به کادر اجرایی مجرب و متخصص دارد که در کشور ما هنوز این توان اجرایی دریایی خاص در حد کافی بومی‌سازی نشده است.
- شکل شماره ۱-۱ حالت‌هایی از موارد استفاده‌ی متعارف ژئوتکستایل در ساخت و سازه‌های دریایی را نشان می‌دهد.



فیلتر شنی

فیلتر معادل ژئوتکستایلی



روش کاربرد ژئوتکستایل در حفاظت از پاشنه در برابر آب شستگی

شکل ۱-۱- برخی مثال‌های استفاده از منسوج ژئوتکستایلی در حفاظت شیب ساحلی

۱-۲-۱- ژئوتکستایل بافته‌نشده^{۱۶}

این محصول ژئوتکستایلی، تک‌لایه است که به وسیله‌ی اتصال الیاف پشم‌گونه ساخته می‌شود. این الیاف پشم‌گونه یا از الیاف گیره‌ای به اندازه‌ی ۱۵cm~۳ و یا از الیاف دراز (باریک)^{۱۷} که به‌صورت نامنظم کنار هم قرار گرفته‌اند، تشکیل گردیده‌اند. اتصال این الیاف می‌تواند به‌صورت مکانیکی (پانچ یا سوراخ‌کردن)، به‌وسیله‌ی چسباندن و یا حرارتی (ذوب کردن) باشد. نمونه‌هایی از ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده در شکل (۱-۲) نشان داده شده‌اند. این‌گونه ژئوتکستایل‌ها براساس نوع الیاف به‌کار رفته در آن‌ها و روش اتصالشان به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

- منسوج الیاف گیره‌ای سوزن‌کاری شده^{۱۸}: که از الیاف گیره‌ای طولی کوتاه شانه زده شده تشکیل شده و سپس به ضخامت‌های مختلفی لایه‌لایه می‌شوند. پس از آن، لایه‌ها به‌صورت مکانیکی با سوزن سوراخ گردیده تا الیاف جهت تهیه‌ی پارچه‌ای ضخیم درهم قفل شوند.

16 - Non-woven geotextile

17 - Filament

18 - Needle-punched staple fiber fabric

- منسوج الیافی پیوسته‌ی سوزن‌کاری شده^{۱۹}: که به‌صورت منظم کنار هم قرار داده شده تا شکل صفحه‌ای به خود گیرند و سپس با سوزن سوراخ می‌شوند. لایه‌های سوراخ شده با سوزن معمولاً از پلی‌پروپیلن^{۲۰}، پلی‌اتیلن چگال یا پلی‌استر^{۲۱} ساخته شده‌اند.
- منسوج الیافی پیوسته‌ی تهیه شده با اتصال حرارتی: منسوج در اثر حرارت نرم شده و تحت حرارت نورد می‌شوند. با این عمل، سطوح جانبی الیاف به یکدیگر متصل گردیده و یک ورقه‌ی پارچه‌ای تشکیل می‌دهند. این پوسته‌ی پارچه‌ای شکل یا با مخلوط کردن الیاف پلیمری که یکی از آنها نسبت به دیگری دارای نقطه‌ی ذوب کمتری است تهیه می‌شوند و یا از الیاف غلاف‌دار، که غلاف بیرونی آن‌ها نقطه‌ی ذوب پایین‌تری داشته باشد، تولید می‌شوند. پلیمرهایی که برای ساختن این پارچه‌ها به کار می‌روند عمدتاً پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن چگال می‌باشند.

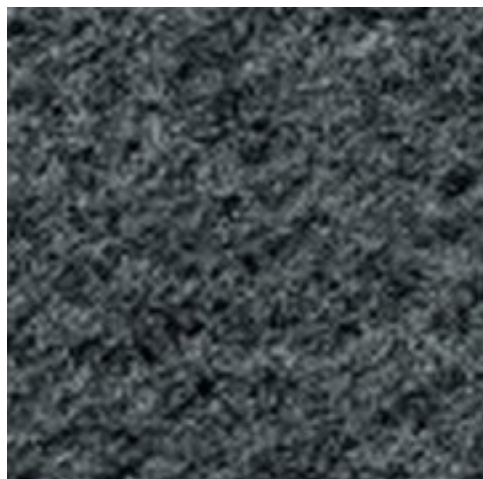
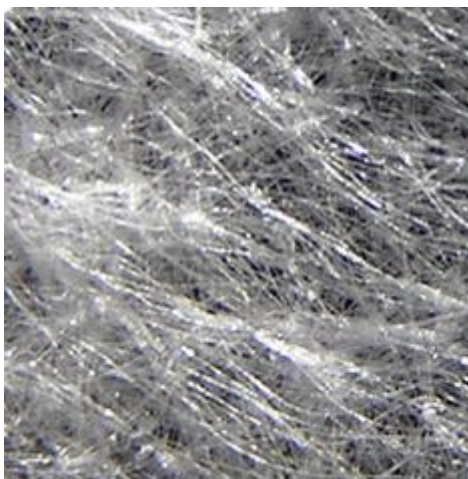
۱-۲-۲- ژئوتکستایل بافته‌شده^{۲۲}

ژئوتکستایل بافته‌شده محصولی تک‌لایه، متشکل از رشته‌های نخی به‌صورت عمودی به هم بافته شده است. نخ‌های قرار گرفته در راستای طولی تار^{۲۳} و نخ‌های قرار گرفته در راستای عرضی پود^{۲۴} نامیده می‌شوند. شکل (۱-۳) دو نمونه از ژئوتکستایل‌های بافته‌شده را نمایش می‌دهد. ژئوتکستایل‌های بافته‌شده براساس نوع رشته‌ها و درهم‌تنیدگی بافت به گروه‌های زیر تقسیم می‌شوند [۷]:

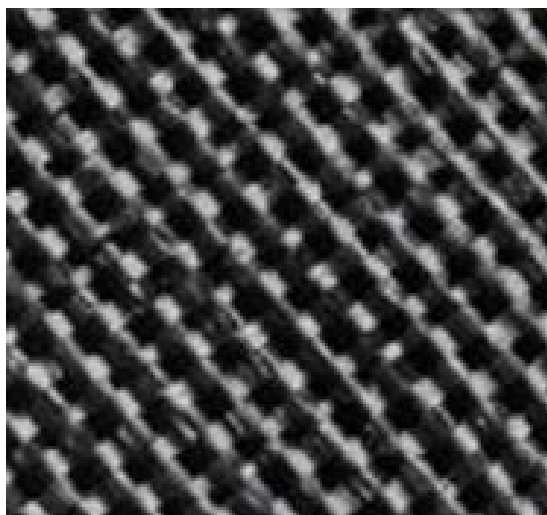
- منسوج تک‌الیافی^{۲۵}: شبکه‌ای توری‌مانند است که در مقابل عبور سیال مقاومت کمی دارد. ابعاد توری متناسب با دانه‌بندی مصالح خاک برگزیده می‌شود. منسوج تک‌الیافی اصولاً از پلی‌اتیلن چگال یا پلی‌پروپیلن ساخته می‌شوند.
- منسوج نواری^{۲۶}: متشکل از رشته‌هایی دراز از نوع پلی‌پروپیلن یا پلی‌اتیلن چگال کشیده شده که به‌صورت صاف و بدون پیچ و تاب قرار می‌گیرند، می‌باشند. این رشته‌ها در مجاورت یکدیگر به‌صورتی جاگذاری می‌شوند تا منافذ کوچکی را در الیاف به‌وجود آورند.
- منسوج فیلم مقطع^{۲۷}: متشکل از رشته الیاف مرتعش شده‌ی ساخته شده از پلی‌پروپیلن یا پلی‌اتیلن چگال می‌باشد. اندازه‌ی روزنه‌های الیاف به ضخامت و شکل مقطع الیاف و ساختار آن‌ها بستگی دارد. این نوع محصولات عموماً نسبتاً سنگین هستند. منسوج نواری و منسوج فیلم مقطع اغلب به‌عنوان فیلم‌های شکاف‌دار^{۲۸} هم نامیده می‌شوند.

19 - Needle-punched continuous fabric
 20 - Polypropylene
 21 - High density polyethylene
 22 - Woven geotextile
 23 - Wrap
 24 - Weft
 25 - Monofilament
 26 - Tape fabric
 27 - Spilt-film fabric
 28 - Slit-films

منسوج چندالیافی^{۲۹}: این نوع منسوجات اغلب به نام پارچه شناخته می‌شوند چرا که به دلیل دارا بودن رشته‌های الیافی تاب خورده و تاب نخورده شکلی شبیه منسوج معمول در صنایع نساجی به خود می‌گیرند. این گونه الیاف معمولاً از پلی‌آمیدها^{۳۰} ساخته می‌شوند.



شکل ۲-۱- نمونه‌هایی از ژئوتکستایل‌های بافته نشده



شکل ۳-۱- نمونه‌هایی از ژئوتکستایل‌های بافته شده

۱-۲-۳- محصولات مرکب

ژئوتکستایل مرکب شامل لایه‌های متعددی است که هر لایه‌ی منفرد از لحاظ ساختار با سایر لایه‌ها متفاوت است.

۱-۳- اصطلاحات و مفاهیم کلیدی

۱-۳-۱- اندازه‌ی روزنه‌ی ژئوتکستایل (O_{90})

اندازه‌ی روزنه‌ی ژئوتکستایل به‌گونه‌ای تعریف می‌شود که دانه‌ی خاک بستر با قطر d_{90} یا ریزدانه‌تر امکان عبور از آن روزنه را داشته باشد.

۱-۳-۲- عملکرد ژئوتکستایل به‌عنوان لایه‌ی فیلتر^{۳۱}

لایه‌ی فیلتر باید از خارج شدن مصالح خاکی یا سنگی زیرین تحت وقوع همه‌ی شرایط هیدرولیکی ممکن در ساختگاه ممانعت کند (پایداری مکانیکی) و در عین حال بدون اینکه خط تراوش^{۳۲} بالا رود اجازه دهد تا آب منفذی خارج گردد. به لحاظ مقاومت در برابر آب‌شستگی سه نوع ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظت شیب^{۳۳} یا حفاظت بستر^{۳۴} به کار می‌رود:

- فیلترهای با هندسه‌ی بسته؛
- فیلترهای با هندسه‌ی باز؛
- فیلترهایی با فرض انتقال مصالح (زمانی که میزان محدودی نشست سازه قابل قبول باشد).

الف- فیلترهای با هندسه‌ی بسته^{۳۵}

در این حالت هیچ‌گونه انتقال مصالح از لایه‌ی خاک بستر یا لایه‌ی سنگی زیرین، قطع نظر از میزان بارگذاری هیدرودینامیکی، وجود ندارد. این بدان معنی است که روزنه‌های فیلتر لایه‌ی دانه‌سنگی یا روزنه‌های ژئوتکستایل چنان ریز هستند که ذرات لایه‌ی زیرین نمی‌توانند از آن خارج گردند.

ب- فیلترهای با هندسه‌ی باز^{۳۶}

در این حالت، امکان انتقال رسوبات از داخل فیلتر وجود دارد زیرا اندازه‌ی روزنه‌های فیلتر بزرگتر از بعضی از ذرات لایه‌ی خاکی یا سنگی زیرین است. با وجود این، بارگذاری هیدرودینامیکی ملایم‌تر از آن است که بتواند ذرات لایه‌ی زیرین را در حد لازم برای عبور از فیلتر باز حرکت دهد و در نتیجه انتقال ذرات انجام نمی‌شود. برای این که بتوان از این مفهوم در طراحی فیلتر با هندسه‌ی باز مناسب استفاده کرد می‌بایست مقادیر و اندرکنش بارگذاری هیدرولیکی و هیدرودینامیکی از یک سو و تعیین شرایط آستانه‌ی شروع حرکت ذرات لایه‌ی زیرین و نیز استحکام فیلتر توسط طراح در نظر گرفته شود.

پ- فیلترهایی با فرض انتقال مصالح^{۳۷}

در این حالت نیز اندازه‌ی روزنه‌ها چنان بزرگ است که ذرات لایه‌ی بستر توانایی انتقال از داخل فیلتر را دارند. اضافه بر آن بارگذاری هیدرودینامیکی نیز چنان قابل توجه است که می‌تواند ذرات بستر یا دانه‌های لایه‌ی زیرین را انتقال دهد. از این‌گونه فیلترها

31 - Filter layer

32 - Seepage line

33 - Revetment

34 - Bed protection

35 - Geometrically tight filters

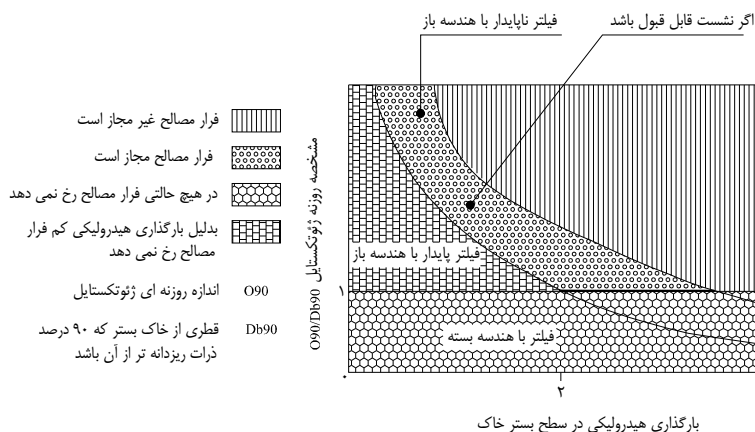
36 - Geometrically open filters

37 - Transport filters

زمانی استفاده می‌شود که براساس بررسی عملکرد سازه و ملزومات اهداف طراحی آن، مقدار معینی آب‌شستگی و نشست سازه‌ای ناشی از آن مجاز شمرده می‌شود.

روزنه‌های فیلتر در این حالت طوری انتخاب می‌شوند که در حد بارگذاری هیدرودینامیکی عادی انتقالی صورت نگیرد اما در حالت‌های بارگذاری شدید که تعداد وقوع آن نیز کم‌تر است مانند حالات وقوع طوفان‌های دریایی نادر، مقدار محدودی انتقال در حدی که اثرات آن بر سازه‌ی موردنظر قابل قبول باشد مجاز تلقی گردیده که منجر به میزان پذیرفته‌شده‌ای از نشست می‌گردد. به این‌گونه فیلترها، فیلترهای با هندسه‌ی باز ناپایدار نیز گفته می‌شود.

طبیعی است که در همه‌ی انواع فیلترها اندازه‌ی روزنه‌ی فیلتر بیشترین درجه‌ی اهمیت را دارد. در مورد فیلترهای باز، بارگذاری هیدرودینامیکی نیز باید با دقت کافی مشخص باشد تا طراح اثرات انتقال را به‌درستی برآورد نماید. این نیروی هیدرودینامیکی می‌تواند به موازات یا عمود بر سطح مشترک فیلتر و خاک بستر مورد خاص در نظر گرفته شود. ارتباط بین میزان بارگذاری هیدرولیکی با اندازه‌ی روزنه‌ی ژئوتکستایل در تعیین نوع فیلتر در شکل ۴-۱ نمایش داده شده است.



شکل ۴-۱- کاربرد انواع فیلترها در انواع مختلف خاک بستر

البته، شایان ذکر است در موج‌شکن‌های توده‌سنگی متداول در کشور که در نشریه‌ی ۳۰۰ هم به آن پرداخته شده است انواع فیلتر با هندسه‌ی بسته منتها با پیش‌بینی یک تا چند لایه‌ی فیلتر سنگی استفاده می‌گردد که این امر به‌غیر از در معرض امواج نسبتاً سهمگین بودن تا حدودی هم به‌دلیل پیش‌گیری از احتمال ناکافی بودن آمار امواج یک منطقه و به تبع آن برآورد غیردقیق بارگذاری هیدرودینامیکی هم می‌باشد.

۳-۳-۱- عملکرد ژئوتکستایل به‌عنوان لایه‌ی جداکننده^{۳۸}

لایه‌ی جداکننده باید از مخلوط شدن یا در هم نفوذ کردن لایه‌های مصالح سنگی ناهمگون که در مجاورت یکدیگر قرار دارند جلوگیری کند و یا مانع از آب‌شستگی (فرسایش)^{۳۹} گردد. در این حالت فیلتر کردن کامل یعنی عبوردادن آب با ایجاد نفوذپذیری مناسب اهمیت کم‌تری می‌یابد. در عین حال این لایه می‌تواند برای تقویت انسداد^{۴۰} هم در صورت تشخیص مناسب طراح به‌کار رود.

به صورت نسبی، موارد استفاده از لایه‌ی جداکننده در سازه‌های دریایی سنگی به دلیل پیش‌گیری از تبعات احتمالی ناپایدار سازه افزایش خط تراوش متداول نمی‌باشد.

۱-۳-۴ - عملکرد ژئوتکستایل به عنوان لایه‌ی زهکشی^{۴۱}

لایه‌ی زهکشی باید آب موجود در صفحه‌ی خود را جمع‌آوری و انتقال دهد. این کاربری چندان در سازه‌های دریایی متداول نمی‌باشد لیکن به عنوان یک کاربری ژئوتکستایل قابل ذکر است چراکه در برخی مناطق ساحلی زهکشی نیز به دلیل بالا بودن سطح آب‌های زیر سطحی یک نیاز است.

۱-۳-۵ - آب‌شستگی (فرسایش)

پدیده‌ی آب‌شستگی یا فرسایش به صورت شسته شدن همه یا قسمتهایی از خاک یا یک لایه‌ی سنگی (در صورت وجود امواج) در اثر جریان‌های آب منفذی یا آب سطحی و یا خصوصاً امواج به عنوان مهم‌ترین عامل تعریف می‌شود. در سواحل کشور ما عمدتاً امواج تعیین‌کننده‌ترین اثر را داشته در حالی که پایداری راهکارهای استفاده از ژئوتکستایل در پیش‌گیری از فرسایش بسیار به بارگذاری امواج حساس بوده و می‌بایست با احتیاط و بررسی بارگذاری حالات حاد طراحی لایه‌ی ژئوتکستایلی صورت گیرد.

۱-۳-۶ - فرار (گریز) مصالح^{۴۲}

این پدیده، جابه‌جایی مصالح و انتقال کامل بخش‌های ریزدانه‌ی خاک به وسیله‌ی فشار آب منفذی بدون تغییر در اسکلت خاک می‌باشد.

۱-۳-۷ - انسداد

انسداد در مقابل جریان آب به صورت کاهش خاصیت نفوذپذیری خاک یا لایه‌ی فیلتري به دلیل وقوع تلفیق، چسبندگی و به هم پیوستگی مصالح خاکی زیرین (ایجاد مسدود شدن یا بند آمدن منافذ فوقانی) و یا با تجمع بیش از حد و نزدیک به هم ذرات ریزدانه در محل روزنه‌ها تعریف می‌شود.

۱-۳-۸ - بارگذاری هیدرولیکی دینامیکی

اگر تغییر در ارتفاع ستون آب Δh در زمان Δt با سرعتی مطابق رابطه‌ی زیر رخ دهد (مانند افت شدید سطح آب، امواج، جریانات آشفته)، بارگذاری هیدرولیکی با نرخ نسبتاً بالا از نوع دینامیکی تلقی می‌شود.

$$V_h = \frac{\Delta h}{\Delta t} > k_{soil} \quad (1-1)$$

این نوع بارگذاری به وقوع گرادیان‌های هیدرولیکی بالا در ناحیه‌ی سطح مشترک خاک و فیلتر منجر می‌شود که در نتیجه‌ی آن جریان آشفته در درون فیلتر می‌تواند پدید آید. در سواحل طبیعی بارگذاری امواج مثال بارز بارگذاری دینامیکی می‌باشد. در برخی مناطق تغییرات ناگهانی فشار هوا و اثرات آن بر سطح آب نیز می‌توانند بارگذاری دینامیکی ایجاد نمایند.

۱-۳-۹- بارگذاری هیدرولیکی استاتیکی

اگر تغییر در ارتفاع ستون آب Δh در بازه‌ی زمانی Δt با سرعتی مطابق رابطه‌ی زیر حادث شود (مانند حالت وقوع نوسانات سطح آب به دلیل جزر و مد یا امواج بسیار ملایم بارگذاری هیدرولیکی در حد دینامیکی نبوده و استاتیکی شمرده می‌شود):

$$V_h = \frac{\Delta h}{\Delta t} \leq k_{soil} \quad (2-1)$$

در این نوع بارگذاری، گرادیان هیدرولیکی نسبتاً کمی در ناحیه‌ی سطح مشترک خاک و فیلتر پدید می‌آید که در نتیجه‌ی آن جریان نسبتاً آرام^{۴۳} لایه‌ای در درون فیلتر پدید خواهد آمد.

البته، در طراحی سازه‌های دریایی در سواحل کشور ما همواره به دلیل وجود امواج قابل توجه در سواحل دریای خزر و دریای عمان و خلیج فارس تقریباً همیشه بارگذاری می‌بایست از نوع دینامیکی تلقی شود و فقط در برکه‌ها و تالاب‌ها می‌توان احتمال وقوع بارگذاری استاتیکی را در نظر گرفت.

۱-۳-۱۰- ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی

تعریف ضریب نفوذپذیری هیدرولیکی K سرعت دبی جریان آب (برحسب مترمکعب بر ثانیه) از مساحت عمود بر جریان یک مترمربع از خاک یا لایه‌ی فیلتر تحت گرادیان هیدرولیکی واحد و درجه حرارت 16°C می‌باشد.

۱-۳-۱۱- درجه‌ی سختی آب

به‌طور کلی، معیار تعیین درجه‌ی سختی آب معمولاً براساس مقدار مجموع یون‌های کلسیم (Ca^{++}) و منگنز (Mg^{++}) موجود در آن می‌باشد. هر یک درجه سختی (DH) آب برابر وجود متوسط 10mg از اکسید کلسیم محلول در هر لیتر از آب می‌باشد.

۱-۴- خواص فیزیکی و مکانیکی ژئوتکستایل‌ها

اکثر ژئوتکستایل‌ها از چهار خانواده‌ی اصلی پلیمرها یعنی پلی‌استر، پلی‌آمید، پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن^{۴۴} ساخته شده‌اند. در واقع، پیشرفت صنعت پتروشیمی کشور یکی از دلایل افزایش روی کرد به ژئوتکستایل‌ها می‌تواند باشد. پلی‌اتیلن یکی از ساده‌ترین ساختارهای ملکولی را دارد که مزیت اصلی آن قیمت نسبتاً پایین و مقاومت در برابر مواد شیمیایی موجود در محیط دریایی می‌باشد. پلی‌آمیدها (مانند نایلون) به‌مراتب از پلی‌اتیلن‌ها گران‌ترند و مقاومت فیزیکی و شیمیایی متوسطی دارند. پلی‌پروپیلن‌ها نسبتاً ارزان قیمت‌تر می‌باشند و در حال حاضر بیشترین مورد استفاده صنعتی را در گروه ژئوتکستایل‌ها دارند. در مقایسه، پلی‌استرها بهترین

خواص مقاومت کششی را دارند و هم دارای کمترین میزان خزش^{۴۵} در طولانی مدت و بیشترین مقاومت در برابر اشعه‌ی فرابنفش هم می‌باشند که برای کشور ما بسیار مهم است لیکن قیمت آن‌ها نسبت به سایر انواع معمولی بسیار بالاست. تفاوت مشخصات نسبی ما بین این چهار خانواده در جدول (۱-۱) ارایه شده است. البته، در هر یک از گروه‌های اصلی زیرشاخه‌های متعددی موجود است که بعضاً خواص متفاوتی با خواص کلی خانواده خود دارند. به‌طور اخص، خواص مقاومتی به روش ساخت وابسته است و با تغییر فن‌آوری‌های ساخت تغییر می‌کند.

جدول ۱-۱- مقایسه‌ی مشخصات و خواص انواع مواد ژئوتکستایل

مشخصه	پلی‌استر	پلی‌آمید	پلی‌پروپیلن	پلی‌اتیلن
خواص مقایسه‌ای				
مقاومت کششی	بالا	متوسط	پایین	پایین
مدول الاستیسیته	بالا	متوسط	پایین	پایین
کرنش گسیختگی	متوسط	متوسط	بالا	بالا
خزش	پایین	متوسط	بالا	بالا
وزن واحد	بالا	متوسط	پایین	پایین
قیمت	بالا	متوسط	پایین	پایین
خواص ماندگاری عمومی				
قلیایی‌ها	پایین	بالا	بالا	بالا
اشعه‌ی فرابنفش	پایدار شده	متوسط	بالا	بالا
	پایدار نشده	بالا	متوسط	پایین
قارچ‌ها، جانوران و حشرات	متوسط	متوسط	متوسط	بالا
محصولات پتروشیمی و نفتی	متوسط	متوسط	پایین	پایین
مواد شوینده	بالا	بالا	بالا	بالا

خواص مهندسی (مقاومتی) و ماندگاری عمومی ژئوتکستایل در کاربردهای مشخص، هم به نحوه‌ی ساخت منسوج و هم فرمول پلیمر آن وابسته است. روش‌های بافت متعددی در ساخت ژئوتکستایل‌ها استفاده می‌شود که هر یک نتایج مختلفی را در منسوج ایجاد می‌کند. منسوجات بافته‌شده از رشته‌های تک‌الیافی دارای اندازه‌ی روزه‌های نسبتاً همگون و منظم هستند. این منسوجات در مواردی که کارکرد فیلتراسیون بحرانی و مهم تلقی شده در حدی که هزینه‌ی بالای استفاده از آن‌ها را توجیه کند مثلاً در سازه‌های مهم موج‌شکن‌هایی که نشست سازه به‌دلیل عبور لوله‌ها و غیره روی آن‌ها باید محدود گردد می‌توانند کاربرد داشته باشند. ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده از الیاف گسسته‌ای تشکیل گردیده‌اند که به روش‌های مختلفی به هم اتصال یافته‌اند و منسوج ضخیم‌تری را می‌سازند. تخلخل این منسوج می‌تواند توسط سوراخ‌های ایجاد شده با سوزن تامین شود تا قابلیت فیلتراسیون همگون را پدید آورد. اگرچه هر دو نوع ژئوتکستایل بافته‌شده و بافته‌نشده در سواحل دنیا استفاده شده‌اند لیکن در سازه‌های دریایی، ژئوتکستایل‌های بافته‌شده‌ی تک‌الیافی به مراتب به سایر انواع آن به‌دلیل مهم بودن عملکرد فیلتراسیون مناسب در طول عمر سازه‌ی دریایی برای این سازه‌های نسبتاً مهم و گران قیمت ترجیح داده می‌شوند.

- در پایان این بخش، دو نکته در خصوص استفاده از مصالح ژئوتکستایل در سواحل کشور، حایز اهمیت جهت تاکید است:
- به دلیل احتمال همیشگی وقوع لکه‌های نفتی در سواحل کشور به دلیل غرق شدن تانکرهای نفتی و نشت از آن‌ها و همین‌طور حفاری‌های دریایی، مهندسين طراح می‌بایست ماندگاری در حد بالایی را در مقابل محصولات نفتی در خواص مصالح در نظر گیرند.
 - به دلیل نسبتا نوپا بودن صنایع داخلی از یک‌سو و ناشناخته بودن نتیجه‌ی استفاده از محصولات شرکت‌های بین‌المللی در داخل ایران توصیه می‌شود تا در تدوین قراردادهای تامین و اجرای این مصالح تاییدیه‌های بین‌المللی کیفیت فیزیکی و شیمیایی حتما مورد تاکید مهندسان مشاور قرار گیرد.

۱-۵- کاربرد ژئوتکستایل‌ها در حفاظت شیب‌ها و بسترها

۱-۵-۱- مقدمه

اگرچه تاکنون تحقیقات و مقالات زیادی در خصوص کاربرد ژئوتکستایل‌ها به صورت فیلتر در سازه‌های حفاظت شیب و بستر دریا منتشر شده و ضوابط طراحی آن‌ها مورد بررسی‌های متعدد هم قرار گرفته است لیکن هنوز هم در خصوص نحوه‌ی عملکرد ژئوتکستایل‌ها در طراحی کلی سازه‌های حفاظت شیب و بستر، خصوصا در مقایسه با عملکرد فیلترهای سنگی، اجماع نظر صد در صد کاملی وجود ندارد.

به عبارت دیگر، با گذر زمان اگرچه امروزه نسبت به گذشته دانش فنی غنی‌تر و تجربیات بهتری در خصوص قابلیت اجرای سازه‌های محافظ شیب یا بستر دریا وجود دارد، لیکن هنوز هم قاعده‌ای کلی که تمامی حالت‌های ممکن بارگذاری را پیش‌بینی کند وجود ندارد.

عملکرد اصلی لایه‌ی حفاظت شیب، تامین پایداری سازه‌هایی چون موج‌شکن و بندخاکی^{۴۶} در برابر نیروهای هیدرودینامیکی است که ضوابط طراحی مربوطه برای لایه‌های آرمور و فیلترهای سنگ‌دانه‌ای طبق نشریه‌ی شماره ۳۰۰ با عنوان "آیین‌نامه‌ی طراحی بنادر و سازه‌های دریایی" تبیین شده است. هم‌چنین، پایداری این سازه‌ها نیز تحت تاثیر ایجاد یا عدم ایجاد مکانیزم‌های ناپایداری سازه‌ی حفاظت شیب در حالت‌های مختلف بارگذاری طبق مشروح در نشریه‌ی شماره ۳۰۰ می‌باشد. لذا برای این که بتوان قضاوت درستی در خصوص پایداری این سازه‌ها نمود، باید اطلاعات دقیقی از شرایط هیدرودینامیکی منطقه‌ی طرح مطابق موازین و ضوابط نشریه‌ی شماره ۳۰۰، خواص سازه‌ای و مکانیزم‌های محتمل شکست سازه‌ی حفاظت شیب داشت.

۱-۵-۲- معرفی طراحی سازه‌های حفاظتی ساحلی و دریایی به کمک ژئوتکستایل‌ها

۱-۵-۲-۱- کلیات

فرسایش خاک یا مصالح بستر از وقایع شایع در کناره‌ی رودخانه‌ها، سواحل دریا، پایه و کوله‌ی پل‌های^{۴۷} دریایی و رودخانه‌ای به هنگام بالا آمدن شدید سطح آب در آبراهه‌ها و رودخانه‌های تحت تاثیر جزر و مد حتی در حالت عدم وجود امواج است. از عوامل

اصلی فرسایش، می‌توان به غیر از عامل اصلی امواج به جریان‌ها، جزر و مد، سیل و روان آب سطحی شدید، ایجاد مجراهای داخلی تحت اثر زهکشی و غیره اشاره نمود.

ژئوتکستایل‌ها می‌توانند به‌عنوان جزیی از سازه‌های حفاظتی دریایی و در کنار لایه‌ی محافظتی ساخته شده از بلوک‌های سیمانی، گایون‌ها، سنگ‌چین^{۴۸} و غیره از خاک‌هایی که در معرض فرسایش هستند محافظت کنند. با توجه به تجربیات چند دهه‌ی گذشته، استفاده اصولی از بیشتر انواع ژئوتکستایل‌ها در سازه‌ی حفاظت شیب می‌تواند مناسب تشخیص داده شود.

به‌لحاظ مقایسه، هنوز هم دانش مهندسی در خصوص عملکرد فیلتری ژئوتکستایل‌ها در طراحی کلی این سازه‌ها در مقایسه با فیلترهای متشکل از مصالح دانه سنگی نقابصی دارد. اساساً، در جاگزین کردن فیلتر سنگی با ژئوتکستایل باید دقت نمود زیرا ممکن است موجب ناپایداری ژئوتکنیکی سازه به‌دلیل ضخامت و وزن بسیار متفاوت لایه‌ی مصالح سنگی و ژئوتکستایل گردد. اضافه بر آن، استفاده از ژئوتکستایل ممکن است پایداری لایه‌ی محافظ رویی را به‌دلیل اعمال نیروی برآ به زیر بلوک‌های حفاظتی کاهش دهد. بنابراین، پایداری هیدرودینامیکی و ژئوتکنیکی کل سازه هم می‌بایست به‌صورت یک‌پارچه توسط طراح کنترل شود و صرف جایگزینی یک لایه فیلتر قطعه سنگی با فیلتر معادل ژئوتکستایلی به‌لحاظ عملکرد فیلتراسیون یا جداسازی و غیره کافی نمی‌باشد.

فیلترها (چه به‌صورت مصالح دانه سنگی یا ژئوتکستایل یا ترکیب آن دو راه‌کار) قسمت ضروری بسیاری از سازه‌های دریایی را تشکیل داده و دو عملکرد مهم ممانعت از فرسایش و کمک به زهکشی دارند. ضابطه‌ی طراحی سنتی فیلترها به‌نام "ضابطه‌ی با هندسه بسته"^{۴۹} که برای فیلترهای قطعه سنگی استفاده می‌شود بر این اصل استوار می‌باشد که نفوذپذیری فیلتر می‌باید از نفوذپذیری خاک بستر یا لایه‌ی زیرین بیشتر باشد.

با وجود این، روش طراحی با هندسه‌ی بسته در برخی موارد می‌تواند به طراحی غیراقتصادی برای لایه‌های فیلتر بینجامد که در چنین مواردی مفهوم طراحی با روش "فیلترهای با هندسه‌ی باز" می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که تاکید می‌گردد در صورت استفاده از مفهوم طراحی با روش فیلترهای با هندسه‌ی باز مهندس طراح می‌بایست اطلاعات به مراتب کامل‌تر و قابل اطمینان‌تر از وضعیت بارگذاری هیدرودینامیکی مثلاً آمار امواج منطقه جهت پیش‌گیری از تبعات تخریب سازه به‌دلیل عدم دقت کافی این آمار داشته باشد. توجه کامل به این نکته، در صورت استفاده از این روش طراحی برای بسیاری از سواحل کشور، که هنوز آمار و نوع طیف موج محلی خاص آن‌ها به‌صورت دقیق تعیین نشده ضروری است تا به‌دلیل اطلاعات نادقیق محلی که اثر کم‌تری بر فیلترهای دانه‌سنگی با طراحی سنتی دارند تخریب سازه طراحی شده با روش هندسه‌ی باز صورت نگیرد. توضیحات تکمیلی در این خصوص در بخش (۱-۳-۲) ارایه گردیده است.

۱-۵-۲-۲- روش و ملاحظات طراحی

همان‌گونه که در بخش سازه‌های حفاظت ساحلی نشریه‌ی شماره ۳۰۰ عنوان شده، لایه‌ی حفاظتی خارجی در یک سازه‌ی حفاظتی می‌تواند نفوذپذیر یا نفوذناپذیر باشد که در کشور ما تقریباً همیشه انواع نفوذپذیر استفاده شده است. معمولاً، تا زمانی که نفوذناپذیری به‌عنوان یک ضرورت در عملکرد سازه مطرح نشده باشد از لایه‌ی حفاظتی خارجی باز استفاده می‌شود تا این لایه‌ی حفاظتی باز از ایجاد نیروی برآ ممانعت نماید که این اصل عمدتاً یکی از دلایل استفاده‌ی از لایه‌ی آرمور باز می‌باشد.

در مواردی که نیروی فرسایش از میزان مجاز خود تجاوز کند استفاده از لایه‌ی فیلتری برای حل این مشکل ضروری است. سازه‌های حفاظت شیب ژئوتکستایلی غالباً برای جلوگیری از شسته شدن خاک بستر به وسیله نیروهای هیدرودینامیکی خصوصاً مانند امواج و درجه نسبتاً کم‌تری جریان‌ها به کار می‌روند. در شکل‌های (۱-۵) و (۱-۶) دو نمونه از فیلترهای با عملکرد مناسب و نامناسب جهت مقایسه ارایه شده‌اند.

متأسفانه جایگزینی لایه‌ی محافظ سنگی با ژئوتکستایل، پایداری سایر اجزاء سازه را ممکن است به مخاطره اندازد و لذا تأکید می‌گردد که طراحی صحیح و یک‌پارچه کلیت سازه با پایداری مناسب هیدرودینامیکی، ژئوتکنیکی و لرزه‌ای مهم‌تر از طراحی یک لایه ژئوتکستایل معادل یک لایه‌ی سنگی به تنهایی است.

لایه‌های فیلتر می‌توانند به صورت مصالح سنگی، مصالح به‌هم پیوسته (مانند سیمان یا آسفالت)، ژئوتکستایل یا ترکیب آن‌ها هم اجرا شوند. جزییات برخی نمونه‌های متعارف از انواع لایه‌ی فیلتر جهت معرفی در شکل (۱-۷) نشان داده شده‌اند. البته، انتخاب این‌که کدام یک از گزینه‌های فیلتر مورد استفاده قرار گیرد به عوامل متعددی از جمله مسایل فنی، اجرایی و اقتصادی بستگی دارد. در کل، ژئوتکستایل‌ها در مقایسه با سایر گزینه‌ها، در حالت‌هایی به‌دلیل مزیت‌های نسبی مانند نصب آسان‌تر و سریع‌تر و یا هزینه‌ی اجرایی بعضاً کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی موارد، ملاحظات زیست محیطی لزوم استفاده از سنگ را می‌تواند منتفی نماید. به‌طور مثال، اجرای یک لایه‌ی فیلتر قطعه سنگی در زیر آب آن‌هم با ضخامت‌های زیر یک متر دارای اجرایی نسبتاً مشکل خصوصاً به‌لحاظ کنترل کیفیت آن به‌دلیل کم بودن ضخامت لایه‌ی فیلتر سنگی می‌باشد. در کشور ما، راهکار طراحان برای پیش‌گیری از این‌گونه مشکلات یک لایه‌ی فیلتر قطعه‌ی سنگی بالاچار زیاد کردن ضخامت لایه‌ی فیلتر سنگی بوده و می‌باشد تا از اجرای مناسب کنترل کیفیت اجرای این لایه‌ی مهم در حفظ پایداری سازه‌ی دریایی حصول اطمینان لازم به‌عمل آید ولی در صورت طراحی و اجرای یک لایه‌ی معادل فیلتر ژئوتکستایلی به شرطی که پایداری کل سازه هم تأمین گردیده باشد می‌تواند در مقایسه با فیلتر سنگی به گزینه‌ی ارزان‌تر یا سریع‌تر هم بینجامد.

در ادامه، در خصوص روش طراحی به فصل‌های (۳) و (۴) این راهنما ارجاع می‌گردد.

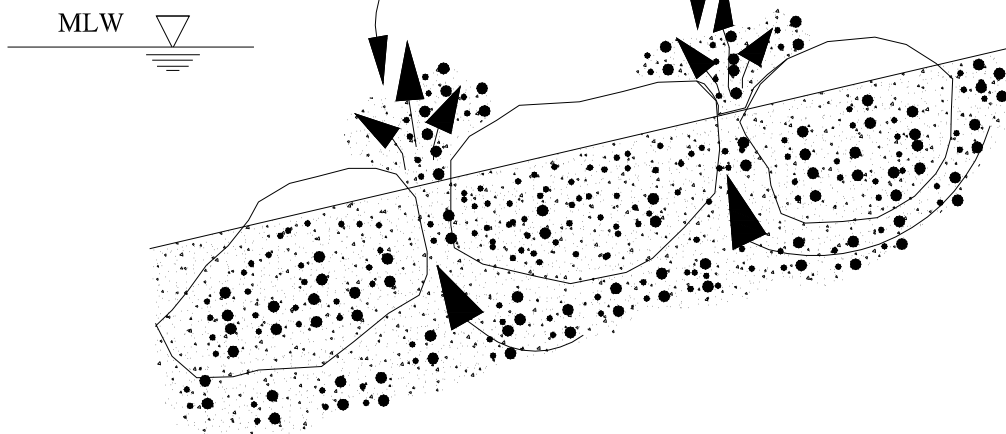
حالت اولیه

آب و ذرات خاک از منافذ بین سنگ ها خارج می شوند



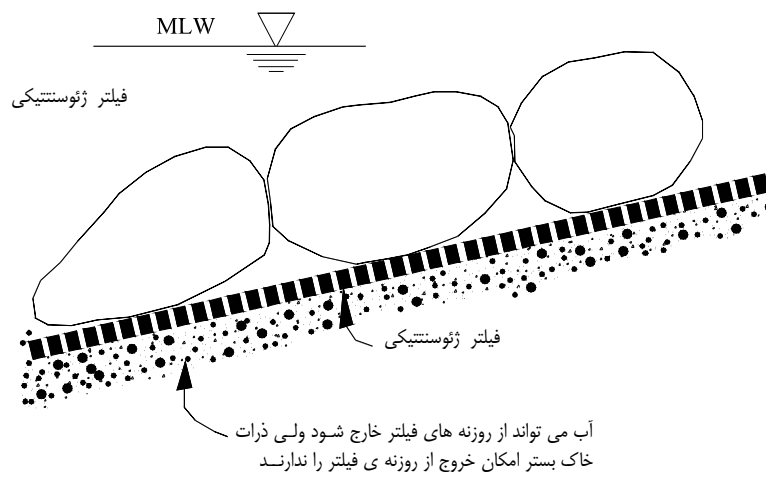
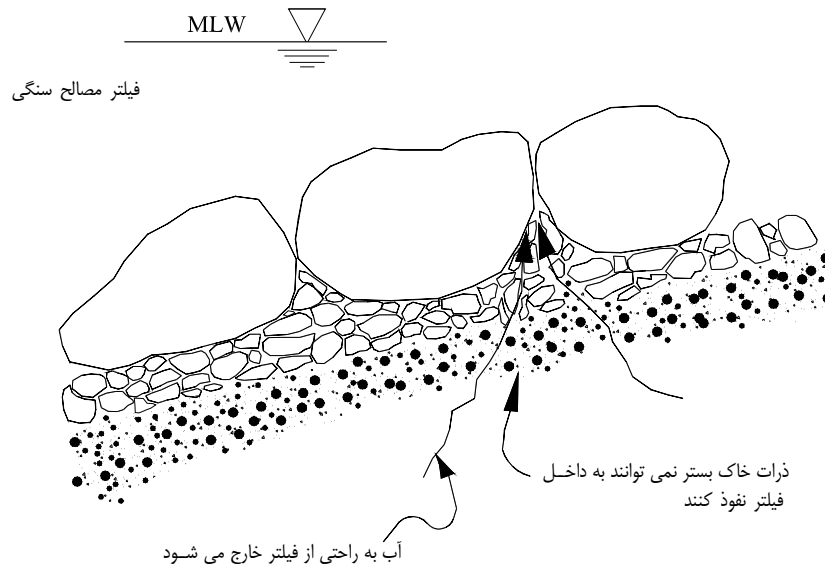
حالت نهایی

آب شستگی ادامه می یابد



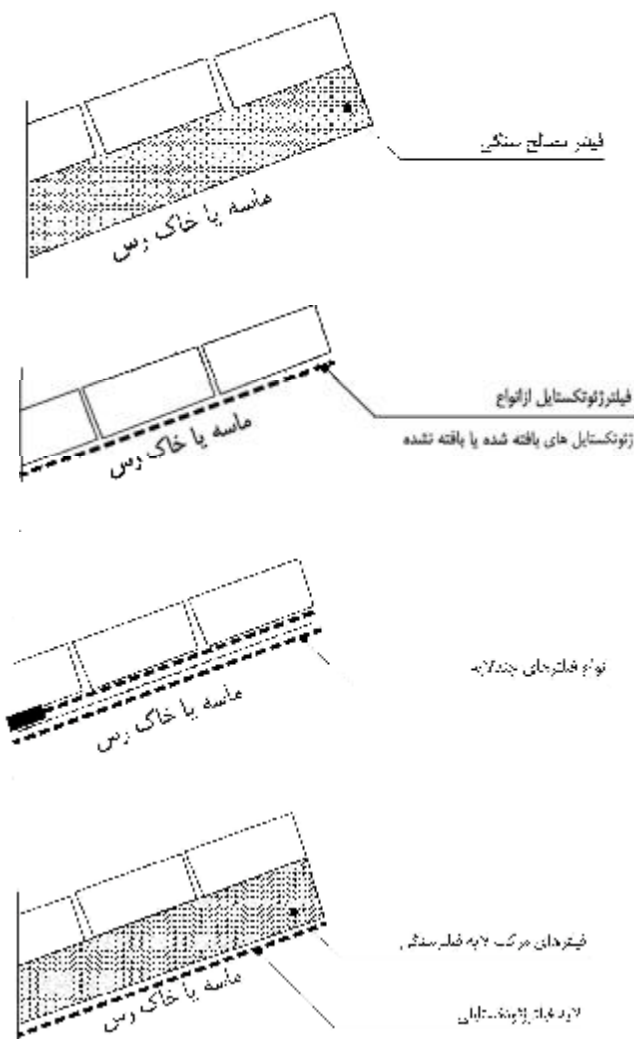
عدم وجود فیلتر یا وجود فیلتر نامناسب

شکل ۱-۵- نمونه‌ای از دو حالت عدم وجود فیلتر یا وجود فیلتر نامناسب مصالح سنگی



طراحی مناسب لایه فیلتر

شکل ۶-۱- نمونه‌ای از طراحی مناسب لایه‌ی فیلتر



شکل ۷-۱- معرفی جزییات برخی نمونه‌های متعارف از انواع فیلترها

در معرفی بیشتر این مبحث می‌توان چنین عنوان نمود که اصولاً، ژئوتکستایل‌ها می‌بایست نسبت به خاک بستر یا لایه‌ی زیرین خود نفوذپذیری بیشتری داشته باشند. اضافه بر آن، درخصوص مبحث نفوذپذیری، نه تنها اندازه‌ی روزنه بلکه تعداد روزنه‌ها در واحد سطح (در سطح باز) دارای اهمیت است. در جدول (۲-۱) تفاوت‌ها و شباهت‌های فیلترهای ژئوتکستایلی و فیلترهای با مصالح سنگی آورده شده است. البته، توجه به این نکته ضروری است که ژئوتکستایل‌ها همیشه نمی‌توانند و نباید هم به‌جای فیلترهای سنگی به کار روند ولی به‌عنوان یک گزینه‌ی طراحی قابل مطرح شدن و مقایسه با گزینه‌ی سنگی می‌باشند. افزون براین، معمولاً یک لایه‌ی مصالح سنگی، غالباً برای کاهش (خنثی کردن) بارگذاری هیدرودینامیکی در سطح مشترک خاک بستر و فیلتر تا حدی قابل قبول هم مورد نیاز می‌باشد که این لایه نه عملکرد فیلتری بلکه کاربرد استهلاک بارگذاری تا حدودی را دارا می‌باشد. در زیر این لایه می‌توان از ژئوتکستایل با کاربرد فیلتراسیون استفاده کرد.

جدول ۲-۱- مقایسه‌ی فیلترهای ژئوتکستایلی و فیلترهای دانه سنگی در حفاظت شیب‌ها

موضوع	فیلتر سنگی	فیلتر ژئوتکستایلی
شباهت‌ها		
– پیچیدگی طراحی و عملکرد سازه و توزیع فضاهای باز (البته فیلتر ژئوتکستایلی پیچیده‌تر است)		
– حساسیت نسبت به تغییر در نفوذپذیری		
تفاوت‌ها		
تعیین روزنه	به‌وسیله‌ی منحنی به‌دست آمده از آزمایش الک	با اندازه‌گیری قطر روزنه
ضخامت	زیاد (ضخیم)	کم (نازک)
تخلخل	۲۵-۴۰٪	۷۵-۹۵٪
تراکم پذیری	کم	زیاد برای ژئوتکستایل بافته‌نشده‌ی سوراخ شده
قابلیت عبوردهی ^{۵۰}	مستقل از تنش‌ها	اغلب به تنش‌های اعمال شده بستگی دارد.
یکنواختی	با توجه به چگالی و دانه‌بندی طبیعی ذرات متفاوت است.	به نحوه‌ی تولید بستگی دارد.
پایداری داخلی	ذرات می‌توانند در داخل لایه ناپایدار باشند.	پایدار
دوام	در حد مواد طبیعی	هنوز به‌طور مطلوب تعیین نشده است.
خرابی	جدا شدن مصالح سنگی از هم	حساس مثلا به پاره شدن و سوراخ شدن
نصب	کنترل کیفیت مطلوب ضروری است.	بعضا نصب نسبتا ساده‌تر و سریع‌تر با عملیات خاکی کمتر ولی کماکان نیازمند به کنترل کیفیت اجرا

ژئوتکستایل‌ها در درجه‌ی اول به‌عنوان فیلتر و مانعی در مقابل عبور قطعات و ذرات زیرین عمل می‌کنند، لیکن تحت شرایطی می‌توانند در سازه‌های حفاظت شیب نقش پایدارسازی را نیز برعهده گیرند، اگر ضوابط ضروری آن را نیز تامین نمایند.

در سازه‌های حفاظتی دریایی، ژئوتکستایل‌ها سه گونه عملکرد متعارف به صورت زیر دارند:

– جداکننده: ممانعت از فرسایش خاک بستر؛

– فیلترکننده: که به خاصیت نفوذپذیری ژئوتکستایل مرتبط است؛

– تقویت خاک بستر در مقابل لغزش.

در صورتی‌که سازه در معرض نیروهای هیدرودینامیکی شدید نباشد می‌توان از مفهوم ژئوتکستایل با هندسه‌ی باز در طراحی استفاده کرد. استفاده از ژئوتکستایل‌ها با هدف جلوگیری فیلتر از عبور مصالح باید با دقت بسیار بالا صورت گیرد زیرا روش طراحی مورد اجماع نظر کاملی برای این‌گونه فیلترهای خصوصا با هندسه‌ی باز هنوز وجود ندارد.

۱-۵-۲-۳- معرفی روند طراحی ژئوتکستایل‌ها در سازه‌های حفاظتی

همان‌گونه که در فصل‌های (۳) و (۴) این راهنما بدان به تفصیل پرداخته شده، طراحی ژئوتکستایل‌ها در سازه‌های حفاظت شیب

شامل دو گام اساسی به‌شرح صفحه‌ی بعد می‌گردد:

- ۱- کنترل اینکه آیا فیلتر لازم است یا خیر و این که آیا لایه‌ی حفاظتی لازم برای پایداری هیدرودینامیکی سازه می‌تواند به خودی خود نقش فیلتر را نیز بازی کند یا خیر؟ که در صورتی که به وجود فیلتر نیاز بود گام دوم اجرا می‌شود.
- ۲- طراحی فیلتر ژئوتکستایلی.

گام اول : کنترل ضرورت فیلتر

جریان منطقی نحوه‌ی کنترل ضرورت استفاده از فیلتر در موردی خاص در نمودار (۸-۱) نمایش داده شده است. برای ژئوتکستایل‌های با هندسه‌ی بسته فقط مشخصات مصالح خاک بستر و لایه‌ی حفاظتی کفایت می‌کند. برای فیلترهای با هندسه‌ی باز استفاده از اطلاعات در خصوص بارگذاری هیدرولیکی نیز ضروری است.

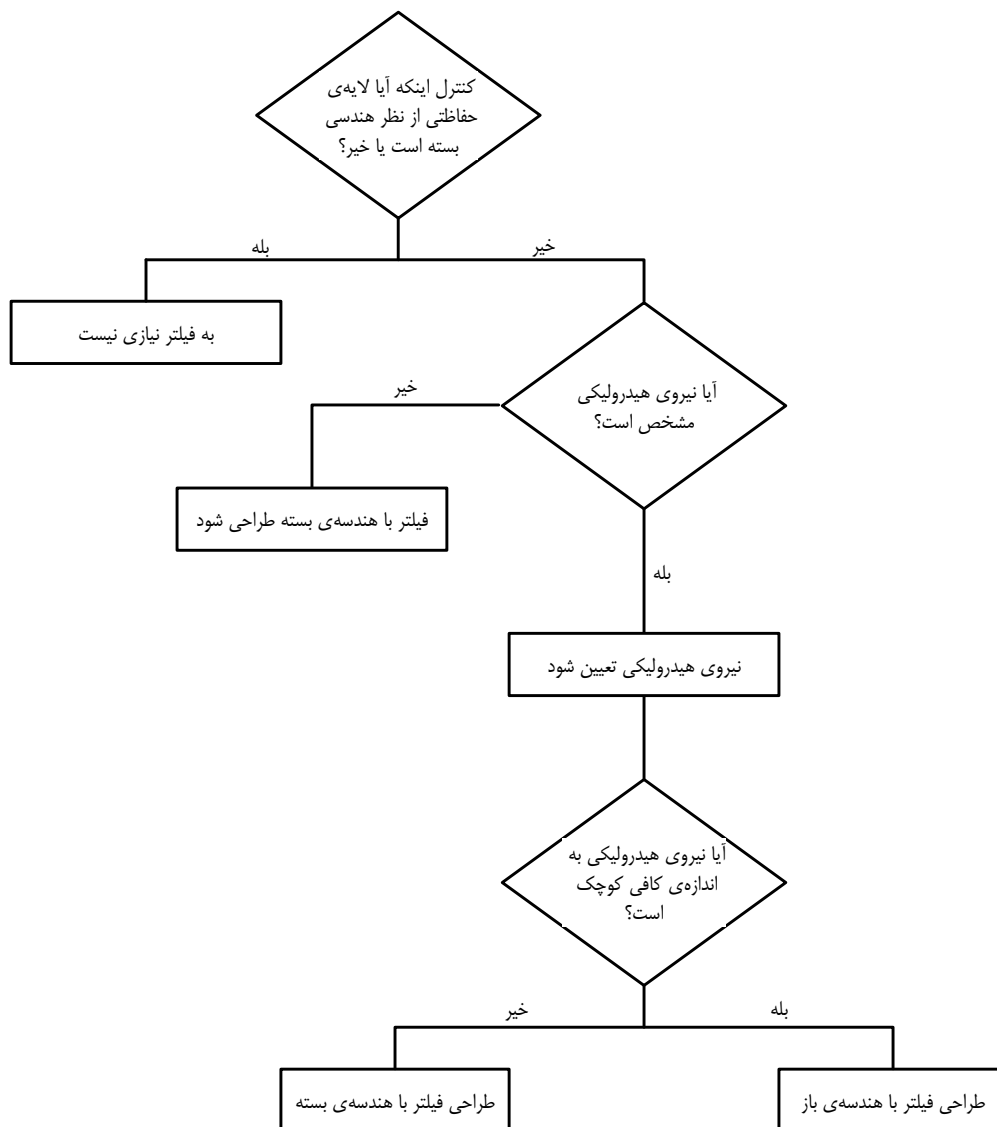
ابتداءً، می‌بایست بررسی شود که آیا لایه‌ی حفاظتی نسبت به لایه‌ی خاک بستر از لحاظ هندسی بسته است یا خیر (به اندازه‌ی کافی تراکم دارد یا نه). اگر ضابطه‌ی بسته بودن صادق بود، نیازی به طراحی فیلتر نمی‌باشد. در غیر این صورت می‌باید کنترل شود آیا کل سازه از لحاظ هندسی باز است یا خیر. در صورت باز بودن باز هم نیازی به طراحی فیلتر نیست. اگر هیچ‌یک از ضوابط فوق‌الذکر برقرار نبود، طراحی لایه‌ی فیلتر اضافی الزامی است.

قضاوت در خصوص شرایط با هندسه‌ی باز یا بسته

اطلاعات زیر برای انجام این مرحله ضروری است:

- نوع خاک بستر و منحنی دانه‌بندی آن؛
 - مشخصات مصالح لایه‌ی حفاظتی شامل منحنی دانه‌بندی، تخلخل مصالح و اندازه‌ی منافذ بین مصالح لایه‌ی حفاظتی؛
 - بارگذاری هیدرودینامیکی (گرادیان هیدرولیکی برای تجزیه و تحلیل فیلترهای باز).
- البته، کنترل‌های ضروری برای حالت "با هندسه‌ی باز" قدری پیچیده‌تر است زیرا در آن حالت اطلاعات بارگذاری هیدرولیکی نیز ضروری است و باید داده‌های زیر تعیین گردند:

- جریان استاتیک عمود بر فصل مشترک آب و سازه؛
- جریان استاتیک در امتداد فصل مشترک آب و سازه؛
- جریان استاتیک در راستای شیب؛
- جریان استاتیک مایل بر فصل مشترک آب و سازه؛
- جریان متغیر هیدرودینامیکی.



شکل ۸-۱- مراحل طراحی فیلترهای ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظت شیب

گام دوم: طراحی فیلتر ژئوتکستایلی

این روند شامل سه مرحله اخذ اطلاعات پایه، انجام طراحی پایه و طراحی تفصیلی می‌شود. معرفی مختصری از این مراحل برای استفاده در تدوین خروجی‌های قراردادی پروژه‌هایی که خصوصاً به صورت طرح پایه و تدارکات و ساخت (EPC) انجام می‌شوند در این جا صورت می‌گیرد:

الف- اطلاعات پایه

در این خصوص ابتدا می‌باید نوع خاک بستر و نوع و مشخصات سازه تعیین گردد و اگر طراحی به روش با هندسه‌ی باز صورت می‌گیرد، نوع بارگذاری هیدرودینامیکی نیز تعیین گردد. البته، شایان تاکید است که برای مناطقی از کشور ما که بارگذاری هیدرودینامیکی به هر دلیل مثلاً کمبود آمار اندازه‌گیری‌های میدانی و غیره دارای ابهام در دقت باشد طراحی با روش هندسه‌ی باز یا به صلاح نبوده و یا باید با تعیین شرایط مرزی طراحی در راستای اطمینان صورت گیرد که این امر می‌تواند مزیت این روش هندسه‌ی باز را هم از بین ببرد.

ب- طراحی پایه

اطلاعات ورودی جهت طراحی پایه ژئوتکستایل‌ها در سازه‌های حفاظت شیب شامل نوع خاک و مشخصات و نوع و مقادیر انواع بارگذاری‌های هیدرودینامیکی می‌گردد. در این خصوص تعیین پارامترهای سازه‌ای و ژئوتکنیکی نیز ضروری است. طراحی ژئوتکستایل در این مرحله جنبه‌هایی چون نوع خاک (بسته یا باز بودن)، نفوذپذیری ژئوتکستایل در برابر آب و مقاومت ژئوتکستایل را دربر می‌گیرد. مقاومت ژئوتکستایل در برابر بارهای وارده خصوصاً زمانی که ژئوتکستایل کارکرد مقاوم‌سازی دارد، اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. خروجی طراحی پایه از نظر نوع خاک و نفوذپذیری در برابر آب به تعیین اندازه‌ی روزنه‌ی مشخصه‌ی ژئوتکستایل و مشخصه‌های نفوذپذیری ژئوتکستایل می‌انجامد. خروجی طراحی از نظر مقاومت به تعیین نوع، مقاومت و ضخامت ژئوتکستایل منجر می‌شود.

پ- طراحی تفصیلی

در این مرحله طراحی نهایی ژئوتکستایل انجام می‌شود. توجه کامل به موارد و ضوابط زیر در این خصوص شایان اهمیت می‌باشند:

- نقشه جزئیات اجرایی مانند مقاطع انتقالی^{۵۱} از مرحله‌ای به مرحله‌ی دیگر، اتصالات، مهارها و غیره در کل سازه خصوصاً محدوده‌ی پاشنه و ناحیه‌ی پاشش آب^{۵۲} در سطح آزاد سازه؛
- ملاحظات محیطی و گیاهی مانند قابلیت نفوذ گیاهان درون ژئوتکستایل و اثرات آن؛
- سایر جنبه‌های محیط زیستی؛
- جنبه‌های اجرایی و نگهداری؛
- نشست شیب و پی در طول عمر مفید سازه؛
- سایر موارد.

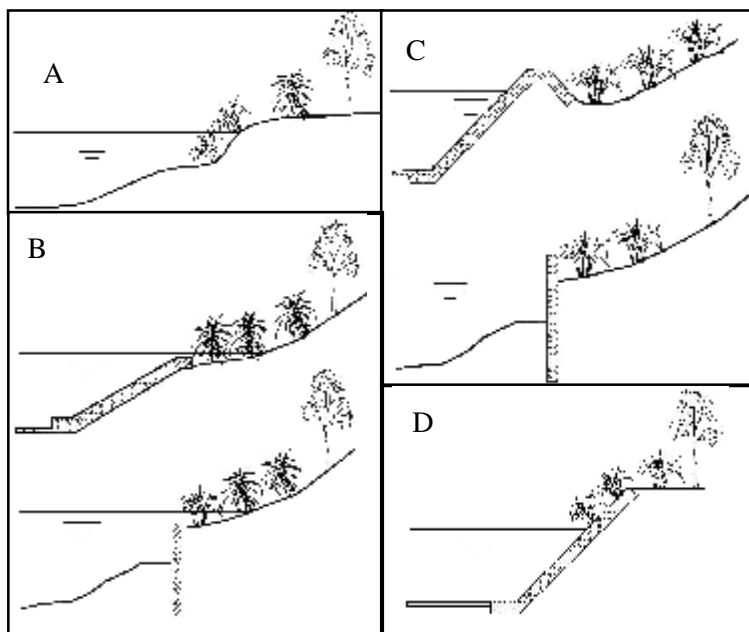
بر اساس نتایج این قسمت از طراحی، تصحیح‌های نهایی برای ارایه‌ی طراحی نهایی صورت می‌گیرد و طرح تفصیلی آماده ارایه برای اجرا می‌شود.

برای برنامه‌ریزی اجرایی مناسب می‌بایست از پیمانکار دارای کادر و تجهیزات و تجارب اجرایی مناسب استفاده نمود و سفارش خرید و حمل ژئوتکستایل در فرآیندها پیش‌بینی لازم شود.

۱-۶- کاربرد ژئوتکستایل‌ها در سایر سیستم‌های کنترل فرسایش ساحلی

همان‌گونه که در بخش حفاظت ساحلی در نشریه‌ی شماره ۳۰۰ عنوان شده، عبارت آب‌شستگی یا فرسایش به حرکت ذرات خاک به ترتیب تحت تاثیر نیروی آب (ناشی از روان‌آب سطحی، سیل، امواج و غیره) یا نیروی باد اطلاق می‌شود. برای جلوگیری یا جبران آب‌شستگی روش‌های گوناگونی به غیر از سازه‌های اصطلاحاً سخت از نوع راه‌کار اصطلاحاً نرم چون تغذیه‌ی مصنوعی

سواحل^{۵۳}، حفاظت و محصورسازی خاک^{۵۴}، کاشت گیاهان و غیره در دنیا به کار برده می‌شود. نمونه‌هایی از حفاظت کرانه‌ها در شکل (۹-۱) نمایش داده شده‌اند.



شکل ۹-۱- نمونه‌هایی از روش‌های کنترل فرسایش کرانه‌ها

مطابق نشریه‌ی شماره ۳۰۰، انتخاب روش کنترل فرسایش به بزرگی نیروی فرساینده و ملاحظات فنی، اجرایی و اقتصادی متعددی بستگی دارد. در کنار کاربرد کنترل فرسایش، روش‌های پیشنهادی باید به‌گونه‌ای طراحی و اجرا شوند که با محیط اطراف و بوم‌شناسی^{۵۵} منطقه هم‌خوانی داشته باشند. استفاده‌ی بهینه از مواد خام، در نظر گرفتن امکان بازیافت مواد و حداقل پسماند در حین ساخت و اجرا از جمله عواملی هستند که به‌تازگی اهمیت وافرتی یافته‌اند. از جمله روش‌های نوینی که برای کنترل فرسایش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، استفاده از ژئوسنتتیک‌ها، به‌خصوص ژئوتکستایل‌ها می‌باشد. ژئوتکستایل‌های مورد استفاده عمدتاً از نوع بافته‌شده بوده و از الیاف طبیعی، مصنوعی یا ترکیبی از این دو تشکیل می‌شوند. ژئوتکستایل‌های ساخته شده از الیاف طبیعی معمولاً در شیب‌های ملایم و به‌صورت موقتی کاربرد دارند. لیکن سیستم‌های ژئوسنتتیکی و ژئوتکستایل‌های مصنوعی هنگامی که بارگذاری‌های شدید هیدرولیکی و هیدرودینامیکی وجود داشته و یا لزوم استفاده‌ی درازمدت از سازه مدنظر باشد، به کار می‌روند. ژئوتکستایل‌های طبیعی از الیاف گیاهی مانند الیاف نارگیل^{۵۶}، جوت^{۵۷}، کتان^{۵۸}، کنف^{۵۹} و چوب ساخته می‌شوند. مزایای استفاده از الیاف طبیعی نسبت به انواع مصنوعی آن عبارت‌اند از:

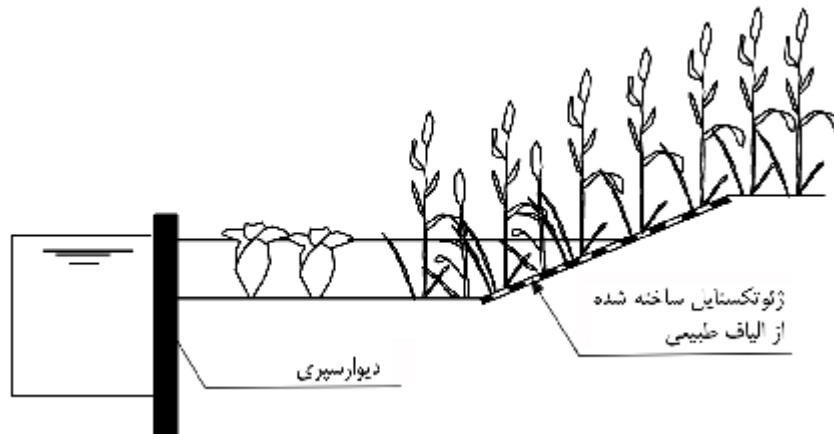
- 53 - Artificial beach nourishment
- 54 - Soil retention
- 55 - Ecology
- 56 - Coir
- 57 - Jute
- 58 - Flax

- ژئوتکستایل‌های طبیعی اثرات سوء بر محیط زیست نمی‌گذارند؛
- استفاده از ژئوتکستایل‌های طبیعی در سازه‌ها، سازگاری سازه با محیط زیست را بالا می‌برد؛
- در برخی موارد که برداشتن ژئوتکستایل پس از اتمام اجرای سازه‌ی موقت ضرورت می‌یابد، استفاده از الیاف طبیعی رجحان دارد زیرا این الیاف خود به خود در طبیعت تجزیه می‌گردند.
- هنگام به‌کار بردن ژئوتکستایل‌های طبیعی باید به تغییرات بارگذاری و پارامترهای مقاومتی در طی طول عمر مفید مدنظر برای سازه هم توجه نمود. سرعت تجزیه‌ی الیاف طبیعی به عوامل زیر وابسته است:
 - میزان اسیدی بودن و رطوبت محیط؛
 - اندازه و شدت اشعه‌ی فرابنفش؛
 - میزان اکسیژن و وجود جانداران ریز^{۶۰}.

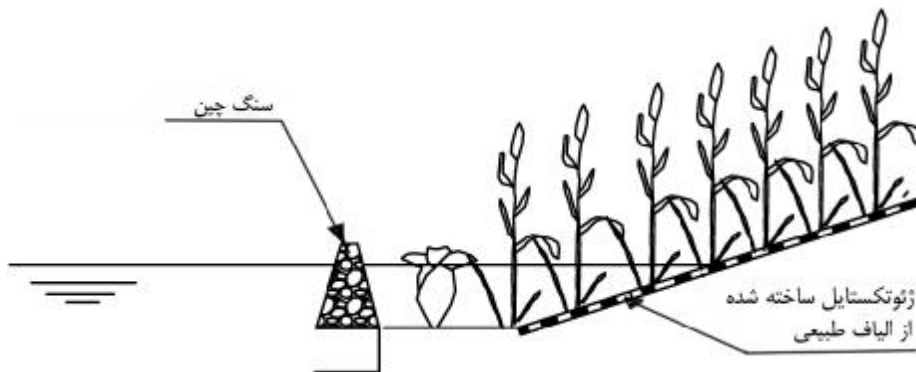
۱-۶-۱- سازه‌های حفاظت کرانه‌ای تالاب‌ها^{۶۱}

امروزه، نحوه‌ی حفاظت شیب کرانه‌ی آبراهه‌های داخل خشکی یا ساحل دریاچه‌ها عموماً به‌وسیله‌ی سازه‌ی محافظتی‌ای مانند دیوار سپری یا سنگ‌چین بوده که البته انتخاب نوع و نحوه‌ی حفاظت تابع شرایط محیطی مانند میزان و شدت امواج و جریان‌ها از یک‌سو و طول عمر مفید دوره‌ی حفاظت تعیین می‌گردد. مثلاً، پوشش گیاهی حفاظتی نمی‌مانندی می‌تواند در ناحیه‌ی کم‌عمق آب و بر روی شیب انتقال از خشکی به دریا تشکیل شود و کمابیش به شکل طبیعی رشد نماید که اخیراً انتخاب نوع پوشش‌های گیاهی مقاوم در اثر بارگذاری‌های نسبتاً شدید یک موضوع تحقیقاتی بین‌المللی در رشته‌ی مهندسی سواحل هم می‌باشد.

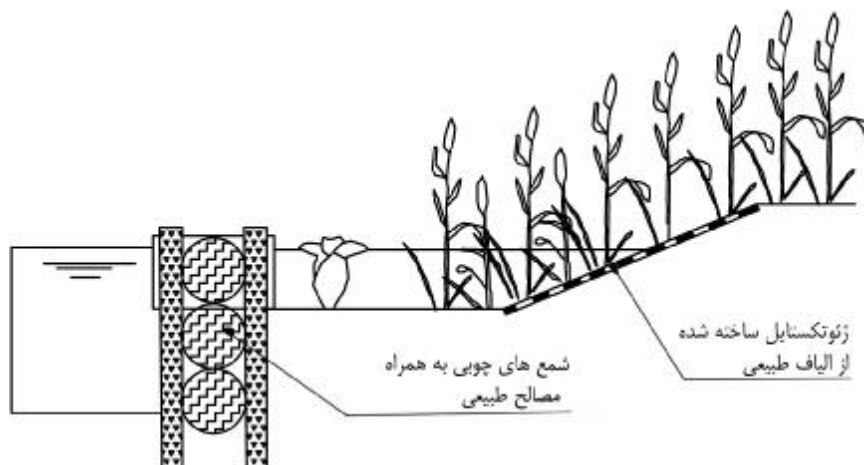
البته، نوع سازه‌های محافظتی در کرانه‌ی آبراهه‌های بزرگ‌تر می‌بایست خاصیت ماندگاری دایمی‌تری (شکل‌های ۱-۱۰ و ۱-۱۱) نسبت به نوع سازه‌های محافظتی آبراهه‌های کوچک‌تر داشته باشند مانند شکل (۱-۱۲). در حالتی که استفاده از پوشش گیاهی برای یک ساختگاه مناسب باشد، اگر پس از اتمام ساخت، بارهای محیطی وارده در اندازه‌ای باشند که نیاز به تقویت نی‌ها وجود داشته باشد، می‌توان استفاده از ژئوتکستایل‌های ساخته شده از الیاف طبیعی را هم خصوصاً در صورتی که بارگذاری به‌دلیل امواج داخل تالاب‌ها و برکه‌ها در حدی باشد که راه‌کار پوشش گیاهی را منتفی ننماید مورد بررسی قرار داد.



شکل ۱۰-۱- سازه‌ی حفاظتی دائمی از نوع دیوار سپری



شکل ۱۱-۱- سازه‌ی حفاظتی دائمی از نوع سنگ‌چین



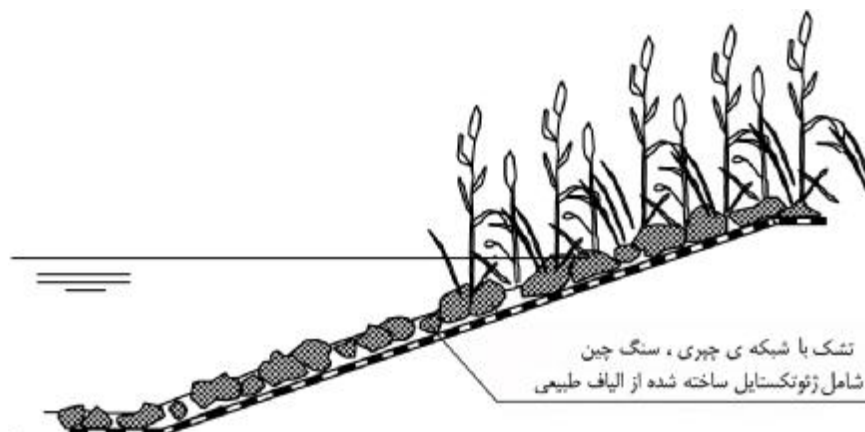
شکل ۱۲-۱- سازه‌ی حفاظتی موقتی تشکیل شده از پوشش گیاهی به همراه شمع‌های چوبی و مصالح پرکننده طبیعی

۱-۶-۲- تشک با پوشش گیاهی^{۶۲}

معمولاً، در خاک‌هایی با مقاومت پایین و یا در حالتی که کرانه در معرض ضربه‌ی امواج و جریانات می‌باشد، رویش کامل پوشش گیاهی روی شیب کرانه مشکل می‌باشد. لذا در صورتی که وجود پوشش گیاهی کاملاً رشدیافته برای محافظت ضروری و کافی باشد، می‌توان از تشک مخصوصی که از ژئوتکستایل‌های پوشانیده شده از الیاف طبیعی ساخته شده برای محافظت از این‌گونه شیب‌ها استفاده نمود. پوشش گیاهی روی تشک در محیط گل‌خانه‌ای کاشته شده و به رشد کامل می‌رسد تا اینکه ریشه‌ی گیاهان کاملاً در داخل تشک نفوذ نماید و سپس تشک حاوی این پوشش گیاهی بر روی کرانه‌ی محل ساختگاه قرار داده می‌شود. در واقع، مجموعه‌ی تشک و ریشه‌ی گیاهان پوشش رویی فیلتری را تشکیل می‌دهد که مصالح لایه‌ی زیرین را پایدار می‌سازد و می‌بایست در برابر اثر امواج و جریانات هم پایدار باشد. پس از مدتی، در صورتی که تشک ژئوتکستایلی دچار فرسودگی شود، ریشه‌ی گیاهان پوشش رویی می‌بایست گسترش یافته و بتواند عملکرد تشک را بر عهده گیرد. این راه‌کار به‌ویژه در مناطق شهری مجاور تالاب‌ها و برکه‌ها برای ترمیم کرانه‌های آسیب‌دیده‌ی برکه‌ها و تالاب‌ها که در معرض امواج و جریانات‌های شدید هم نباشند دارای مزیت می‌باشد.

۱-۶-۳- تشک با شبکه‌ی چیری

تشک‌ها با شبکه‌ی چیری معمولاً از ژئوتکستایل‌های مصنوعی که بر روی آن شبکه‌ی چیری کار شده است تشکیل می‌گردند (ر.ک. ۳-۶-۶)، که می‌توان به‌جای ژئوتکستایل‌های مصنوعی از ژئوتکستایل با الیاف طبیعی هم استفاده نمود. در این تشک‌ها معمولاً نوع ژئوتکستایل بافته‌نشده به کار می‌رود (شکل ۱-۱۳).

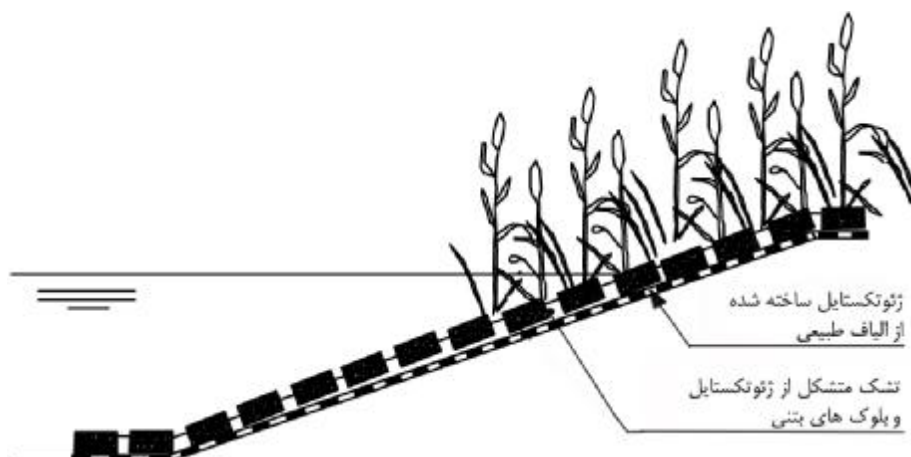


شکل ۱-۱۳- تشک حفاظتی به‌همراه شبکه‌ی چیری و سنگ‌چین

۱-۶-۴- تشک با بلوک بتنی

تشک با بلوک بتنی در شیب کرانه‌هایی که در معرض ضربه‌ی امواج و جریانات نسبتاً قوی‌تری قرار دارند کاربرد داشته چراکه بارگذاری محیطی دریایی در حد قابل توجه‌تری می‌باشد. در این روش حفاظت شیب کرانه‌ها، لایه‌ی فیلتر ژئوتکستایلی‌ای که در زیر بلوک‌ها کار گذاشته می‌شود می‌تواند از جنس الیاف طبیعی هم باشد. در صورتی که بلوک‌ها از یک‌دیگر فاصله‌دار بوده یا از نوع

سوراخ‌دار باشند، در این فضاهای میانی پوشش گیاهی‌ای مانند نی توصیه می‌شود تا پس از رشد بتواند عملکرد قبلی ژئوتکستایل با الیاف طبیعی را پس از پوسیدگی الیاف طبیعی برعهده گیرد (شکل ۱-۱۴). همان‌گونه که اشاره شد انتخاب نوع پوشش گیاهی می‌بایست پس از بررسی‌های لازم صورت گیرد چراکه این مبحث جدیدتر دارای ضوابط مدون طراحی کمتری بوده که عمدتاً یک نوع پوشش خاص مورد مطالعه‌ی موردی قرار گرفته است.

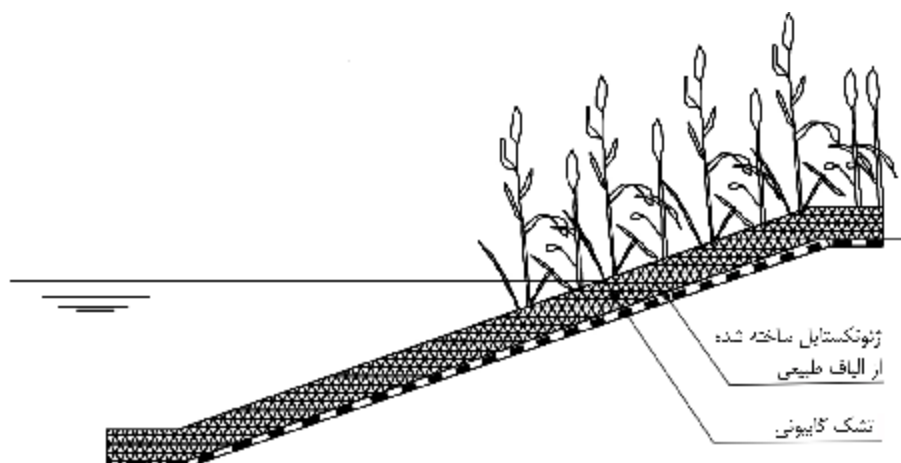


شکل ۱-۱۴ - تشک حفاظتی متشکل از بلوک‌های بتنی

۱-۶-۵ - گابیون‌ها

گابیون‌ها یا توری‌سنگ‌ها از سیدی که درون آن از سنگ با قطعات معمولاً نسبتاً کوچک‌تر از آنچه در فیلترهای سنگی موج‌شکن‌ها استفاده می‌شوند پر شده، تشکیل می‌گردند. وجود شبکه‌ی توری سنگی برای جلوگیری از شسته شدن سنگ‌های نسبتاً کوچک در اثر نیروی امواج و جریانات ضروری می‌باشد تا مجموعه‌ی توری سنگی پایداری هیدرولیکی لازم را داشته باشد. البته، ضرورت استفاده از این روش بعضاً ریشه در عدم وجود سنگ درشت‌تر و گرانی نسبی راه‌کار بلوک بتنی داشته و لذا برای برخی مناطق راه‌کار نسبتاً مناسب‌تری است. برای حصول اطمینان از پایداری مصالح خاک زیر گابیون می‌توان از لایه‌ی فیلتری در زیر گابیون یا پوشش گیاهی مناسب در روی گابیون استفاده کرد (شکل ۱-۱۵) که میزان پایداری گیاه خاص در اثر امواج نیازمند بررسی و مطالعه‌ی اسناد استفاده قبلی از همان نوع گیاه خاص در پروژه‌های مشابه است.

البته، به دلیل تعیین‌کننده بودن بحث خوردگی محیط دریایی خصوصاً در سواحل جنوب کشور، می‌بایست هم در استفاده از نوع توری‌های فلزی مانند سایر سازه‌های فولادی، استفاده از راه‌کارهای پلیمری و فولاد ضد زنگ به‌عنوان مثال در طراحی‌ها مورد بررسی و مقایسه فنی و اقتصادی با سایر گزینه‌ها قرار گیرد.



شکل ۱-۵-۱- تشک گابیونی

ژئوتکستایل‌های مصنوعی نیز در بخش (۱-۲) معرفی گردیده‌اند. بخشی از کاربرد ژئوتکستایل‌ها در کنترل فرسایش مربوط به استفاده‌ی آنها در حفاظت شیب‌ها و حفاظت بسترها می‌باشد که در بخش (۱-۵) به آن پرداخته شده است. اصول طراحی این سازه‌ها نیز به صورت اجمالی در فصل (۴) تشریح گردیده است.

۱-۷- سایر موارد استفاده از ژئوسنتتیک‌ها و ژئوتکستایل‌ها در مقاوم‌سازی بندها و کرانه‌ها و تپه‌های

ماسه‌ای دریایی ۶۳

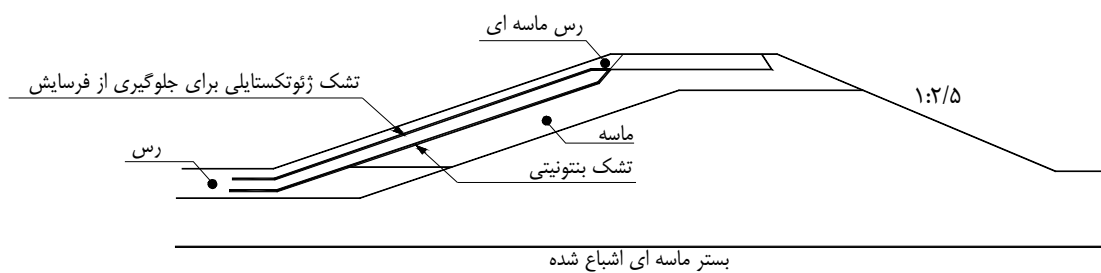
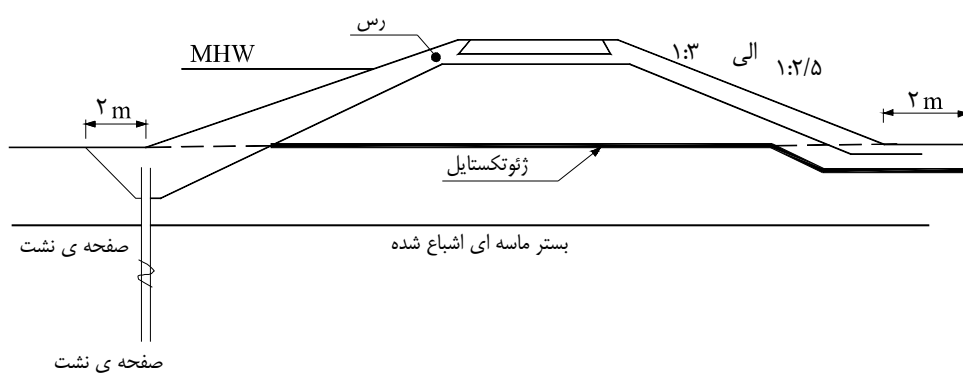
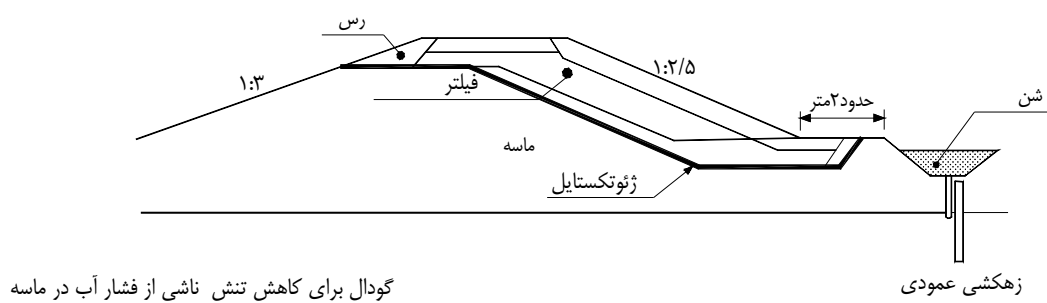
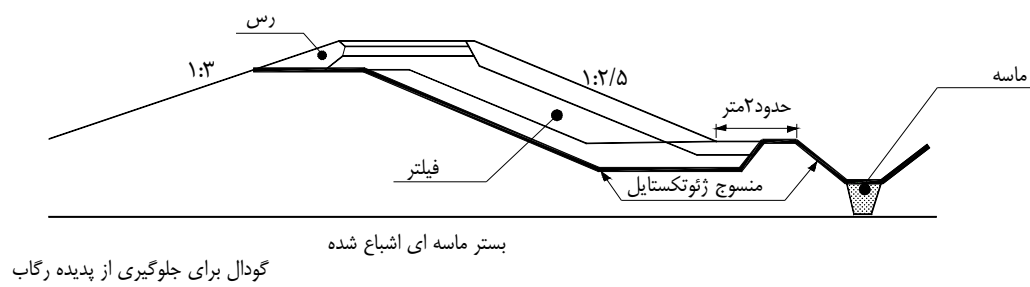
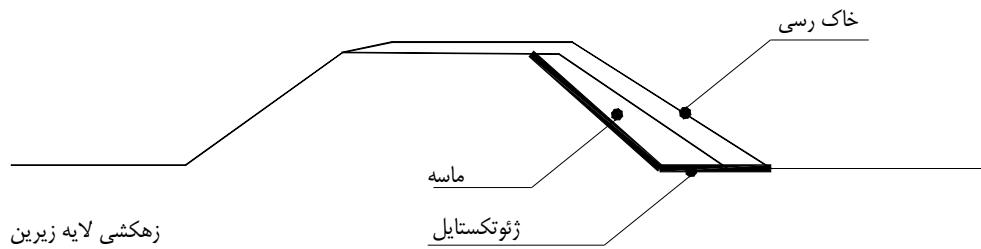
ژئوسنتتیک‌ها علاوه بر کاربردهای جداکنندگی، فیلتراسیون و زهکشی، می‌توانند در مقاوم‌سازی بندها، سدها، کرانه‌ها و تپه‌های دریایی نیز استفاده شوند. استفاده از ژئوسنتتیک‌ها به این منظور در برخی موارد می‌تواند به طراحی سازه‌های کوچک‌تر و ارزان‌تر هم در مقایسه با سازه‌های سنتی‌تر منجر شود. در شرایط احداث بر خاک‌های نرم، استفاده اصولی از ژئوسنتتیک‌ها به‌عنوان تقویت‌کننده می‌تواند به صرفه‌جویی قابل توجهی هم از نظر مالی و هم در ابعاد سازه انجامد.

منسوج ژئوسنتتیکی‌ای که به‌منظور مقاوم‌سازی استفاده می‌شود باید هر دو معیار مقاومت و سختی را تامین نماید تا علاوه بر انتقال نیروی وارده، تغییر شکل منسوج نیز از مقدار مجاز بیشتر نشود. بیشینه‌ی این کرنش مجاز در کاربرد مقاوم‌سازی ۵٪ الی ۶٪ می‌باشد. در نتیجه مدول الاستیسیته‌ی منسوج ژئوسنتتیکی باید مقدار بالایی داشته باشد. لذا، محصولات پلی‌استری که مقاومت کششی و سختی آنها بالا است و میزان خزش پایینی نیز دارند برای این منظور مناسب‌ترند. منسوجات پلی‌پروپیلنی و پلی‌آمیدی در برابر خزش آسیب‌پذیرترند و در نتیجه، کاربرد این دو نوع مصالح در مقاوم‌سازی باید محدود به شرایطی باشد که سختی کمتری برای منسوج ژئوتکستایلی مورد نیاز باشد و یا میزان بارگذاری درازمدت بر روی منسوج نسبتاً پایین تعیین شود.

اصطکاک بین خاک بستر و لایه‌ی ژئوسنتتیکی یکی از عوامل موثر در انتقال نیرو و در نتیجه عملکرد مناسب ژئوسنتتیک‌ها در مقاوم‌سازی می‌باشد. میزان اصطکاک به نوع و عملکرد منسوج ژئوسنتتیکی و ویژگی‌های خاک بستر مانند چسبندگی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی موثر خاک بستگی دارد.

به‌منظور مقاوم‌سازی، محصولات دیگر ژئوسنتتیکی مانند ژئوگریدها کاربرد بیشتری دارند ولی استفاده از ژئوتکستایل‌های بافته‌شده نیز برای این نوع هدف استفاده می‌شود. برخی الزامات طراحی‌ای که در مقاوم‌سازی بندها، کرانه‌ها و موج‌شکن‌های توده‌سنگی به‌کمک ژئوتکستایل‌ها باید مد نظر قرار گیرد در فصل (۴) تشریح گردیده‌اند. حالات محتمل ناپایداری سازه‌ای ممکن است با منشاء هیدرودینامیکی یا ژئوتکنیکی و لرزه‌ای مثلا در اثر سرریزی امواج^{۶۴} از روی سازه، ایجاد پدیده‌ی رگاب، نشست، آب‌شستگی، ناپایداری شیب خارجی، ناپایداری داخلی، لغزش خارجی و داخلی، و لغزش خاک بستر حادث شود. در این خصوص، ژئوتکستایل‌ها می‌توانند از یک یا چند حالت ناپایداری سازه جلوگیری کنند. اشاره می‌نماید که مقاومت ژئوتکستایل‌ها در راستای طولی و عرضی با هم متفاوت بوده و لذا قرارگیری صفحه‌های ژئوتکستایلی باید به‌گونه‌ای باشد که نیروی بیشینه در راستای قوی‌ترین محور ژئوتکستایل وارد شود.

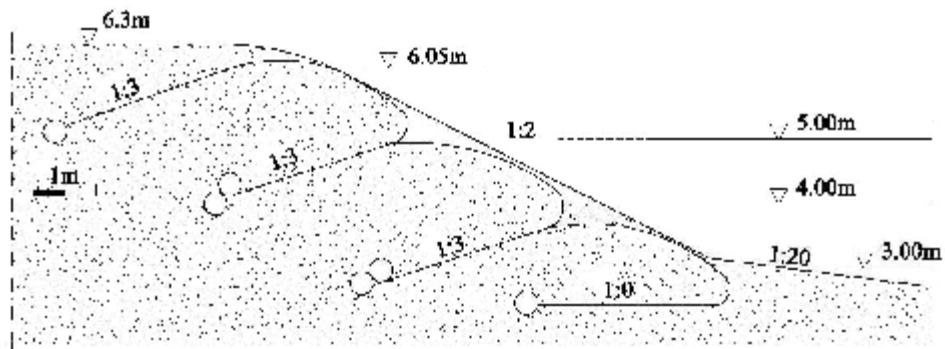
نمونه‌هایی از کاربردهای ممکن ژئوتکستایل‌ها در مقاوم‌سازی بندهای خاکی که یک نوع از راه‌کارهای حفاظت ساحلی معرفی شده طی نشریه‌ی شماره ۳۰۰ می‌باشند در شکل ۱-۱۶ نمایش داده شده‌اند.



محافظت در برابر فرسایش شیب خارجی

شکل ۱-۱۶ - نمونه‌هایی از کاربرد ژئوتکستایل‌ها در مقاوم‌سازی بندهای خاکی

همچنین ژئوتکستایل‌ها می‌توانند برای مقاوم‌سازی تپه‌های ماسه‌ای دریایی در برابر فرسایش ناشی از ضربه‌ی امواج به کار روند. محصول ژئوتکستایلی مورد استفاده برای این منظور باید از خارج شدن دانه‌های ماسه جلوگیری کند ولی در برابر آب نفوذپذیر باشد. لذا، اندازه‌ی روزنه‌ی ژئوتکستایل در این حالت تقریباً برابر d_{65} خاک ماسه‌ای بستر انتخاب می‌شود. به‌علاوه، صفحه‌های به کار رفته باید مقاومت نسبتاً بسیار بالایی در برابر کشش، سایش و تاثیرات ناشی از هوازگی داشته باشند. نمونه‌ای از کاربرد ژئوتکستایل‌ها در مقاوم‌سازی تپه‌های دریایی در شکل (۱-۱۷) ارائه شده است.



شکل ۱-۱۷- نمونه‌ای از کاربرد ژئوتکستایل‌ها در مقاوم‌سازی تپه‌های دریایی

فصل 2

**معرفی محصولات سامانه‌های
ساخته‌شده از ژئوتکستایل**

۲-۱ - ژئوسیستم‌های پرشونده^۱

فصل (۲) این راهنما در ادامه‌ی فصل (۱) که اختصاص به معرفی ژئوتکستایل و کاربردهای متداول آن در مهندسی سواحل بوده عهده‌دار معرفی سامانه‌های ژئوتکنیکی می‌باشد که عمدتاً نسبتاً جدیدتر و کم‌تر متداول‌اند و کاربرد آن‌ها در کشور مطابق سایر نقاط دنیا برای پروژه‌های خاص می‌تواند بررسی شود.

سامانه‌های ژئوتکستایلی یا اصطلاحاً ژئوسیستم‌ها به صورت نسبی جدیدتر و نادرتر از کاربردهای متداول ژئوتکستایل‌ها می‌باشند که یکی از انواع اصلی این سامانه‌ها پرشونده می‌باشند.

ژئوسیستم‌های پرشونده، محفظه‌ها یا واحدهایی از ژئوتکستایل هستند که درون آن‌ها با ماسه، شن یا ملات پر می‌شود. نمونه‌هایی از این ژئوسیستم‌ها شامل کیسه‌ها^۲، تشک‌ها^۳ و ژئوتیوب‌ها^۴ می‌باشند که البته دارای تفاوت‌هایی متمایز با یکدیگر هم می‌باشند لیکن اصولاً، همه‌ی این ژئوسیستم‌ها قابل پرشدن با ماسه یا دوغاب می‌باشند. عمدتاً، کیسه‌ها برای حفاظت شیب، احداث دیوار خایل یا حفاظت پاشنه سازه‌های دریایی و ساحلی مناسب بوده ولی کاربرد اصلی آن‌ها در ساخت رانه‌گیرها^۵، سواحل تثبیت شده^۶ و موج‌شکن‌های فراساحلی می‌باشند.

تشک‌ها اصولاً برای حفاظت شیب یا بستر به کار می‌روند درحالی‌که ژئوتیوب‌ها و ژئوکانتینرها نیز اساساً در ساخت رانه‌گیرها، سواحل تثبیت شده، موج‌شکن‌های فراساحلی و نیز به عنوان سازه‌های جانبی برای استحصال زمین^۷ به کار می‌روند. این سیستم‌ها برحسب کارکرد خاص مدنظر در پروژه می‌توانند به عنوان سازه‌های مستقل و یا مکمل تغذیه مصنوعی سواحل عمل کنند.

اگرچه، کیسه‌ها یا ژئوتیوب‌ها در ساخت رانه‌گیرها نیز به کار می‌روند لیکن تاکنون روش طراحی قابل اعتمادی برای طراحی رانه‌گیرها به کمک ژئوتیوب پیشنهاد نشده است. در واقع، برای آن‌که رانه‌گیرهای ساخته شده با ژئوسیستم به طور رضایت‌بخشی کار کنند، می‌توان آن‌ها را پس از اجرا جهت حصول عملکرد دائمی تقویت کرد، اما در غیر این صورت رانه‌گیر می‌تواند به راحتی به دلیل کامل نبودن یک‌سری ضوابط مدون قابل استفاده توسط طراح تخریب شود. در مجموع، سازه‌های پرشده با ماسه می‌توانند به عنوان سازه‌های موقت برای تعیین و پایش پاسخ‌ها و اندرکنش‌های طبیعی با امواج و جریان‌ها به کار روند. لیکن، تاکنون این سیستم‌ها در مواردی که ضربه‌ی امواج نسبتاً ملایم است (یعنی در هنگامی که در برابر حمله‌ی مستقیم امواج با ارتفاع موج $H_s < 1/5\Delta m$ قرار گیرد) می‌توانند به عنوان سازه‌ی دائمی استفاده شوند. مشخص است که با مقایسه معیار کنونی شدت امواج برای سازه‌ی دائمی با مشخصات امواج در سواحل شمالی و جنوبی کشور تقریباً در همه سواحل کشور استفاده از این سامانه‌ها به عنوان سازه‌های دائمی در شرایط فعلی پیشرفت فن‌آوری طرح و اجرای آن‌ها منتفی تلقی شده لیکن به عنوان سازه‌های موقت و یا پژوهشی مثلاً جهت پایش میزان رسوبات کرانه‌ای طی چند سال که کمک به طراحی بندر می‌نماید قابل کاربردهایی محدود می‌باشند. موارد دیگر استفاده دائمی از این سیستم‌ها در سازه‌های مستغرق یا به عنوان مغزه سازه‌های دریایی متعارف دیگری می‌باشد.

-
- 1 - Fill-containing geosystems
 - 2 - Geobag
 - 3 - Geo-Mattresses
 - 4 - Geo-Tubes
 - 5 - Groins
 - 6 - Perched beaches
 - 7 - Land reclamation

مزایای عمده این سیستم‌ها در مقایسه با روش‌های سنتی عبارتند از:

- امکان کاهش حجم کار عملیات سنگی؛
 - امکان کاهش مدت زمان اجرا؛
 - امکان کاهش هزینه‌های اجرایی؛
 - استفاده از مصالح موجود محلی در حد امکان جهت پرکردن این سامانه‌ها.
- در ادامه، توضیحات این فصل گروه ژئوسیستم‌های پرشونده ارائه می‌گردد لیکن با عنایت به محدودیت قابل توجه ملایم بودن امواج در بیشتر سواحل کشور این سامانه‌ها به‌عنوان راه‌کار حفاظتی دائمی توصیه نمی‌شوند.

۲-۱-۱- کیسه‌های ژئوتکستایلی پرشده با ماسه یا دوغاب

ابعاد و مشخصات این نوع کیسه‌های خاص بر حسب نیازمندی‌های پروژه‌های مختلف متفاوت است. کیسه‌های کوچک از پلی‌آمید (نایلون) بافته‌نشده و یا منسوج پلی‌استری ساخته می‌شوند که این کیسه‌ها باید مقاومت قابل قبولی در برابر اشعه‌ی فرابنفش داشته باشند. منسوج مورد نظر می‌باید در برابر آب نفوذپذیر بوده ولی از فرار ماسه جلوگیری کند ($O_{90} \approx 0.1 - 0.2 \text{ mm}$). شایان ذکر است کیسه‌های بزرگ از منسوجات پلی‌استری محکم با وزن واحد سطح بیش از 500 gr/m^2 و مقاومت کششی بیش از 10 kN/m (تا 100 kN/m هم می‌رسد) هم ساخته شده‌اند که در محل به کمک پمپ با ماسه یا سیمان پر می‌شوند که طبیعی است هرچه ابعاد کیسه‌ها بزرگ‌تر باشد در برابر حرکت ناشی از ضربه‌ی امواج نیز طبعاً مقاومت بیشتری خواهند داشت.

بیشترین مورد استفاده از کیسه‌ها در مهندسی هیدرولیک و مهندسی سواحل به‌عنوان سازه‌ی موقتی می‌باشد. دلایل اینکه کیسه‌ها معمولاً به‌عنوان سازه‌ی دائمی استفاده نمی‌شوند عبارتند از:

- مقاومت آن‌ها در برابر بارگذاری جریان‌ها و امواج نسبتاً کم است؛
 - در معرض اشعه‌ی خورشید یا احتمال وقوع سرقت قرار دارند؛
 - فرمول‌ها و ضوابط مناسب طراحی آن‌ها هنوز مجهول است؛
 - سازه‌ی ساخته شده از کیسه‌های ژئوتکستایلی معمولاً به لحاظ بصری شمای مطلوبی ندارد.
- از سوی دیگر، مزایای عمده‌ی استفاده از کیسه‌ها از منظر ماده‌ی مورد استفاده در ساخت عبارتند از:
- امکان اجرا با هزینه‌ی نسبتاً پایین؛
 - پردازش و اجرای نسبتاً ساده؛
 - قابل دوخت بودن کیسه‌ها به‌وسیله خیاط.

۲-۱-۲- تشک‌های پرشده با ماسه

تشک‌ها از دو ژئوتکستایل متصل به‌هم که در بین آن‌ها ماسه قرار داده شده تشکیل می‌شوند. تشک‌ها برای قرارگیری به‌صورت مسطح روی شیب‌ها طراحی شده‌اند. پس از اجرا، حاصل کار حجم بزرگی از مقاطع شبه‌سوسیسی یا شبه‌بالشتی از ماسه را تشکیل می‌دهند. به لحاظ نیاز به دقت اجرایی بالا ضروری است که نصب این تشک‌ها دقیقاً مطابق توصیه‌ی سازنده‌ی خاص باشد.

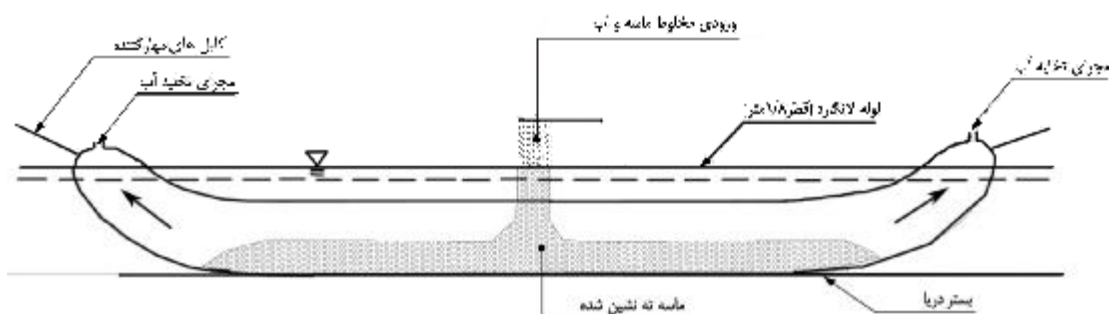
تشک‌ها در موقعیت‌هایی که موج عمده بزرگ‌تر از ۱ متر یا سرعت جریان بیش از $1/5 \text{ m/s}$ باشد قابل اجرا نمی‌باشند. به لحاظ نصب، لبه‌ها و اتصالات تشک‌ها آسیب‌پذیرند و باید به‌دقت اجرا شوند. اصولاً، تشک‌های مجاور هم می‌توانند به یک‌دیگر دوخته شده و در انتها نیز توسط مهارهایی به زمین متصل شوند.

در عمل، تشک‌ها فقط با نیروهای هیدرولیکی و هیدرودینامیکی تهدید نشده بلکه خطر به سرقت رفتن هم وجود دارد. هم‌چنین، این سیستم‌ها در برابر برخورد کشتی یا اجسام دیگر مانند آوار شناور از یک‌سو و اشعه‌ی فرابنفش و مواد شیمیایی از سوی دیگر آسیب‌پذیرند.

۲-۱-۳- لوله‌های لانگارد^۱

لوله‌های لانگارد سال‌ها در دنیا در سیستم‌های حفاظت سواحل به کار رفته‌اند. بازه‌ی توصیه شده برای ارتفاع موج قابل قبول در استفاده از آن‌ها کمتر از $1/5$ متر می‌باشد. این‌گونه لوله‌ها از دو ژئوتیوب هم‌محور تشکیل شده است. منسوجات این لوله‌ها از نوع بافته شده بوده که در مقابل اشعه‌ی فرابنفش پایدار شده‌اند. این لوله‌ها در طول استاندارد در حدود ۱۰۰ متر تهیه می‌شوند و قطرهای استاندارد تولید آن‌ها 25 cm ، 100 cm و 180 cm می‌باشد. لوله‌ی بیرونی از منسوجی از پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن چگال (وزن واحد سطح 600 gr/m^2) می‌باشد که این منسوج در برابر اشعه‌ی فرابنفش، خوردگی و اضمحلال در اثر مواد شیمیایی محیط دریا مقاوم می‌گردد.

لوله‌ی داخلی از فیبر LDPE (پلی‌اتیلن با چگالی پایین) و EVA-Copolymer می‌باشد که خاصیتی نفوذپذیر دارد. مواد پرکننده لوله از مصالح موجود در سایت (عموماً ماسه‌ی ریزدانه) می‌باشد که به روشی تحت لیسانس پر می‌شوند (شکل ۲-۱). در صورت استفاده طراح از این راه‌کار در کشور ما، می‌بایست معضلات و زمان اخذ لیسانس هم در پروسه‌ی طراحی و اجرا پیش‌بینی لازم شود. به دلیل لایه‌ی داخلی غیرقابل نفوذ، لوله در حین پرکردن تحت فشار قرار می‌گیرد و بعد از پرشدن سطح مقطع دایروی خود را حفظ می‌کند. این لوله‌ها در مقایسه با ژئوتیوب‌ها ارتفاع بیشتری را فراهم می‌کنند ولی پایداری آن‌ها در مقایسه با ژئوتیوب‌ها کمتر است.



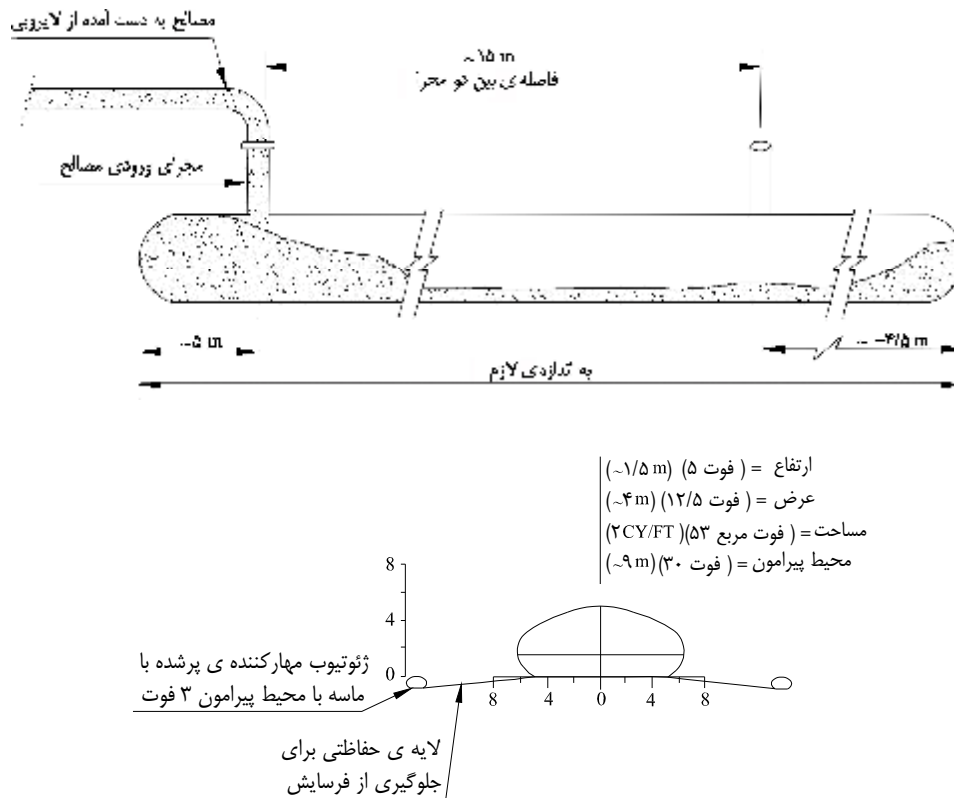
شکل ۲-۱- روش پرکردن لوله‌ی لانگارد (سطح مقطع)

مزیت لوله‌ی لانگارد در سرعت و سهولت پرکردن و استقرار در محل با هزینه‌ای نسبتاً پایین است. عیب عمده‌ی آن‌ها ضعف در برابر سرقت و آسیب‌پذیری به لحاظ برخورد الوار و قطعات شناور در آب می‌باشد. از دیگر مضار آن می‌توان نیاز به مقدار زیاد ماسه با کیفیت بالا جهت پرکردن لوله، ضرورت استفاده از تجهیزات نیازمند به حق لیسانس برای پرکردن، و محدودیت تعداد پیمانکاران

دارای مجوز و تجربه مفید برای اجرای آن‌ها در دنیا اشاره کرد که البته در شرایط زمانی کنونی محدودیت‌های اجرایی آن در داخل کشور قابل توجه کامل می‌باشد.

۲-۱-۴ - ژئوتیوب‌ها

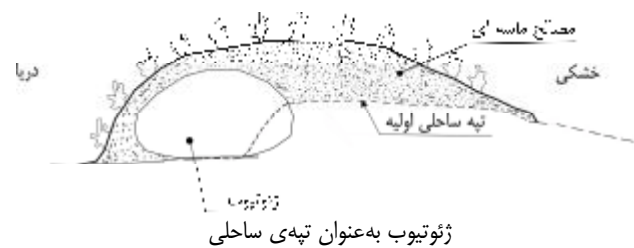
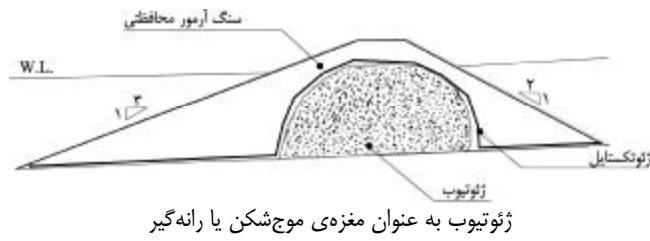
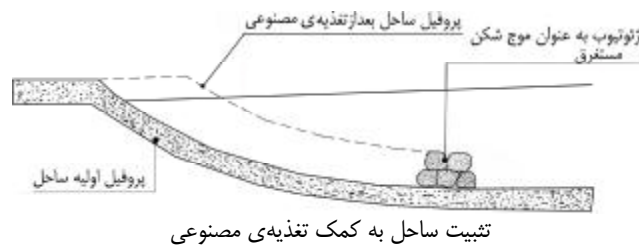
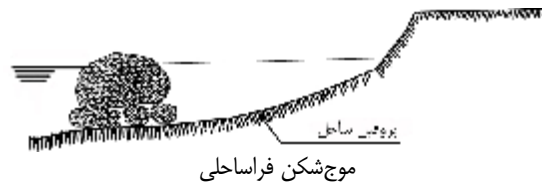
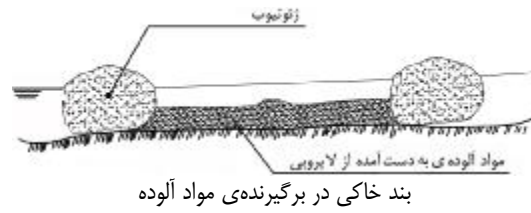
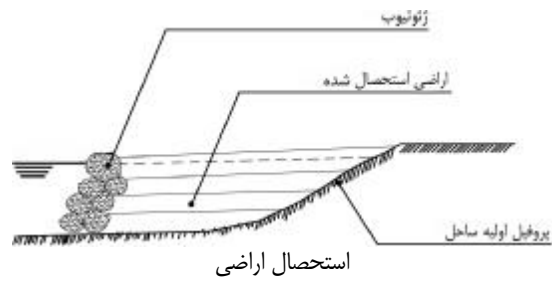
ژئوتیوب‌ها محفظه‌های بسته‌ای از منسوجات نفوذپذیر در برابر آب و نفوذناپذیر در برابر خاک بستر هستند که به وسیله‌ی ماسه یا مواد به‌دست آمده از لایروبی پس از انتقال به سایت با استفاده از پمپ‌های مخصوصی پر می‌شوند (شکل ۲-۲). ملاحظه می‌گردد که در فواصل منظمی از ژئوتیوب، ورودی‌ها و خروجی‌هایی تعبیه شده که پس از پر شدن ۸۰ درصد ژئوتیوب، شکل کلی آن به‌دست می‌آید. البته، رسیدن به نسبت حجم پرشدگی بیشتری هم میسر است لیکن این امر ممکن است مقاومت اصطکاکی بین ژئوتیوب‌ها را که برای پایداری حایز اهمیت است کاهش دهد.



شکل ۲-۲- نمونه ای از مراحل پرکردن ژئوتیوب

رئوس ملاحظات و ملزومات اجرایی این روش شامل مقاومت کافی ژئوتکستایل و درزبندها در برابر فشار در حین پرکردن و ضربه هنگام فروافتادن ژئوتیوب بر سطح بستر، پارگی، سوراخ‌شدگی، سایش و مسطح شدن ژئوتیوب ناشی از تحکیم مصالح درون آن و هم‌چنین احتمال وقوع تخریب به دلیل سرقت است.

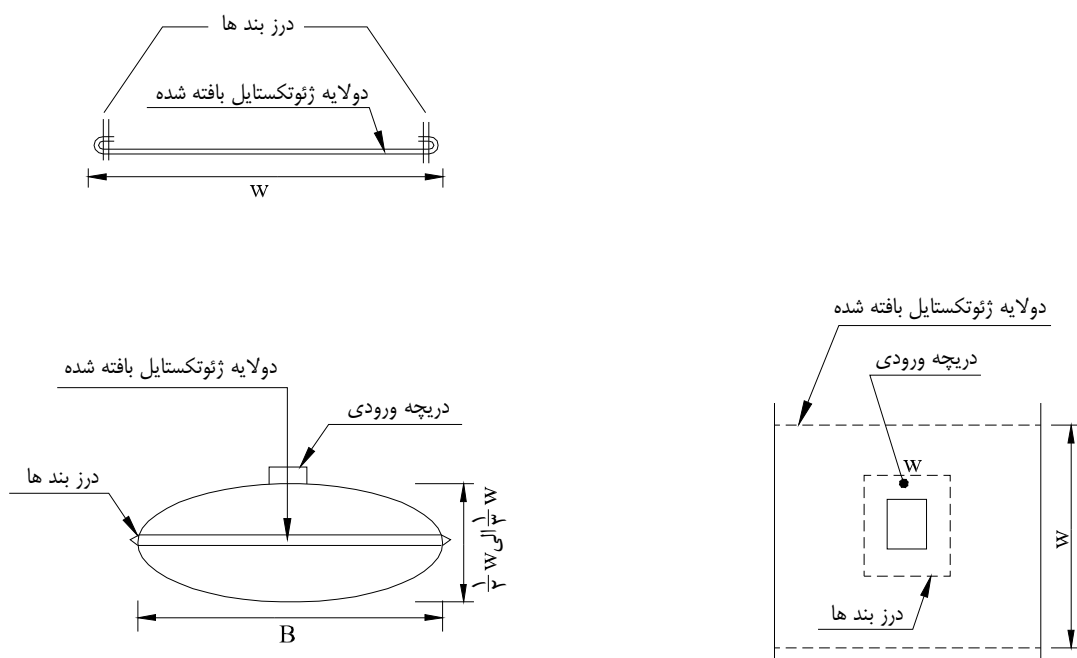
برخی از کاربردهای ساحلی ژئوتیوب‌ها در شکل ۲-۳ نشان داده شده‌اند که البته اضافه بر این موارد، ژئوتیوب‌ها کاربردهای دیگری در رشته‌های دیگر مانند مهندسی رودخانه و یا ذخیره‌ی مواد آلوده شیمیایی یا مواد ناشی از استحصال نیز می‌توانند به عنوان یک سازه‌ی جانبی محصور کننده این مواد داشته باشند.



شکل ۲-۳- کاربرد ژئوتیوب‌ها در محیط‌های ساحلی

یک ژئوتیوب استاندارد از صفحه‌های ژئوتکستایلی بافته‌شده با عرض بین ۴ الی ۵ متر تشکیل شده که از کناره‌ها در فواصل منظم و با رعایت ورودی و خروجی‌های کافی دوخته شده‌اند (شکل ۲-۴). در صورت لزوم ژئوتیوب می‌تواند دارای دو تیوب داخلی و خارجی باشد. تیوب داخلی (در صورت لزوم) از ژئوتکستایل بافته‌شده یا بافته‌نشده از جنس منسوج پلی‌پروپیلن می‌باشد که به‌عنوان فیلتری در برابر عبور مواد ریزدانه عمل می‌کند. فیلتر خارجی از منسوج پلی‌استری بافته‌شده محکم است که برای مقاومت در برابر وزن مواد پرکننده و نیز فشار پمپاژ لازم در حین اجرا طراحی شده است.

مقاومت درزبندها معمولاً ضعیف‌ترین محل طراحی است که بر حسب نوع تکنیک دوختن ممکن است تا نصف مقاومت نهایی منسوج مقاومت داشته باشد.



شکل ۲-۴- اجزا ژئوتیوب

بطور کلی، مقاومت کششی ژئوتیوب خارجی (پلی‌استری) معمولاً 40 kN/m ، مقاومت درزبندها در هر دو جهت تار و پود حداقل 20 kN/m ، افزایش طول در هر دو راستا کمتر از 20% ، اندازه‌ی روزنه‌ها (O_{90}) کمتر از $150 \mu\text{m}$ ، ضریب نفوذپذیری بیش از 0.1 m/s (در هد هیدرولیکی 5 cm) می‌باشند. ژئوتکستایل تیوب خارجی معمولاً در برابر اشعه‌ی فرابنفش برای مناطق متأثر از این موضوع که خصوصاً در سواحل جنوبی ایران بسیار مهم است باید پایدار شود. حداکثر ارتفاع مجاز سقوط سنگ آرمور بر روی ژئوتیوب در حدود 0.5 m در نظر گرفته می‌شود تا آسیبی به تیوب‌ها به‌لحاظ اصابت قطعات آرمور نرسد. این نکته‌ی اجرایی آخری لزوم دقت اجرایی بیشتری را نسبت به اجرای دو لایه‌ی سنگی بر روی یک‌دیگر نسبت به راه‌کارهای اجرایی فعلی در کشور طلب می‌نماید.

۲-۲- ژئوکانتینرها^۹

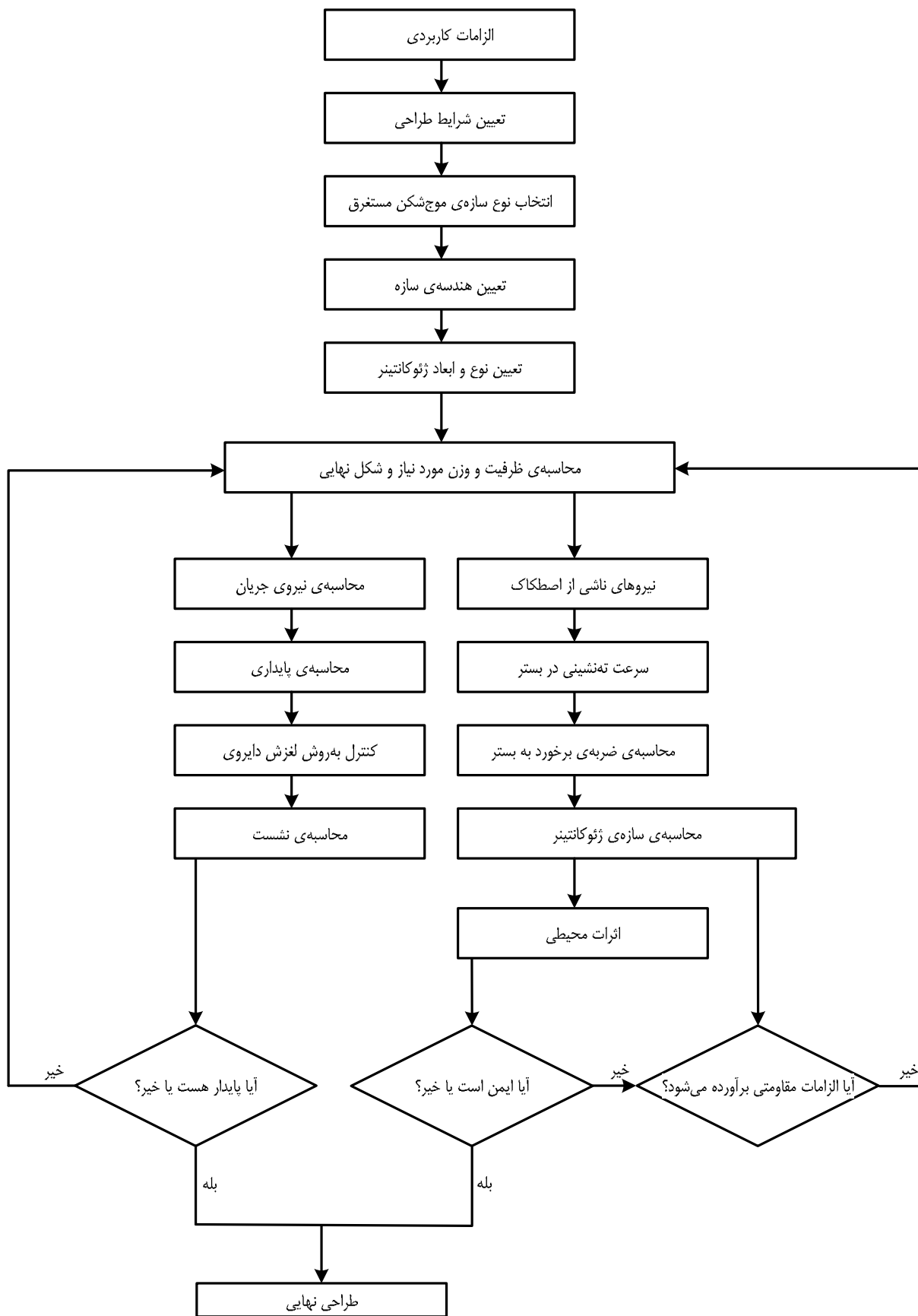
ژئوکانتینرها محفظه‌ای از ژئوتکستایل مقاوم می‌باشند که می‌توانند توسط مصالح سنگی و یا حتی برخی آلاینده‌های مجاز پر شوند و جهت اجرا با دقت کافی و با اندازه‌ی بزرگ در زیر آب مستقر گردند.

ژئوکانتینر برای محافظت از لوله‌های زیر دریا، احداث موج شکن‌ها و رانه‌گیرها، حفاظت در برابر لغزش و حفاظت از کناره‌ی شیب سواحل کاربرد دارد. این محفظه‌ها به صورت مکانیکی یا هیدرولیکی از مصالح سنگی یا مواد بعضاً آلوده‌ی حاصل از لایروبی بنادر درون دوبه‌های از وسط بازشونده^{۱۰} پر می‌شوند و سپس این دوبه‌ها به محل مورد نظر ساختگاه رفته و ژئوکانتینر را در درون آب رها می‌کنند.

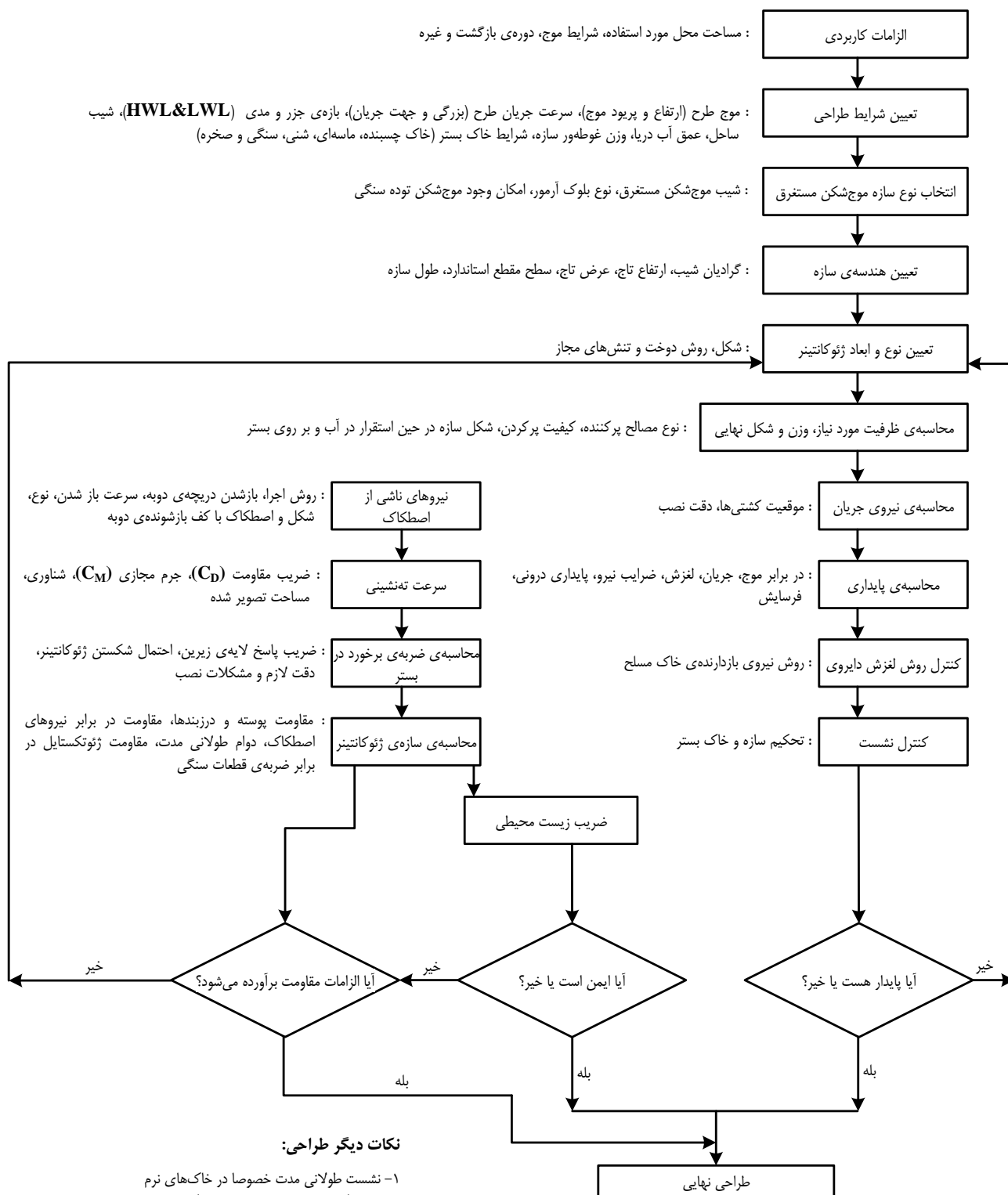
ژئوکانتینرها عمدتاً از ژئوتکستایل‌های ساخته شده از پلی‌استرهای با کیفیت بالا و یا از پلی‌پروپیلن می‌باشند. اضافه بر آن، این ژئوتکستایل‌ها از نوع بافته شده بوده، در برابر اشعه‌ی فرابنفش پایدار و مقاوم گردیده و به مقاومت بالایی در برابر مواد نفتی و شیمیایی موجود در محیط نیاز دارند. به علاوه ژئوکانتینرها مقاومت کششی بالایی داشته و مقادیر زیادی از ماسه، خاک رس، مواد زاید صنعتی یا مواد حاصل از لایروبی را می‌توانند در خود جای دهند.

ژئوکانتینرها سیستم‌های نسبتاً جدیدی هستند و مفاهیم طراحی آن‌ها هنوز به خوبی مدون نشده است. خواص، معیارها و الزاماتی چون مقاومت کششی، مقاومت درزبندها، مقاومت در برابر خزش و سایش، پایداری در برابر اشعه‌ی فرابنفش و مقاومت پاره‌شدگی و سوراخ‌شدگی در آن‌ها هنوز به خوبی تدوین نشده است. با این حال، حسب اطلاعات موجود، نصب ژئوکانتینرها تا به حال تجارب موافقی هم ارائه داده‌اند. روند کلی جریان منطقی طراحی ژئوکانتینرها در شکل (۲-۵) به صورت فلوجارتی نشان داده شده است که فلوجارت طراحی تفصیلی ژئوکانتینرها نیز در شکل (۲-۶) ارائه گردیده است. بطور کلی، مرحله‌های زیر قابل تفکیک می‌باشند: آماده‌سازی، ایجاد شرایط نصب و پرکردن، حمل و در آب انداختن کانتینر، اصابت کانتینر به بستر دریا و تغییر شکل آن (موقعیت و شکل اجرا شده‌ی نهایی).

در خلال مراحل آماده‌سازی و نصب عواملی از جمله جنبه‌های محیطی (یعنی میزان آسیب قابل‌پذیرش در ژئوکانتینرها و عواقب آن)، نوع مواد پرکننده و خواص آن‌ها، انتخاب ژئوتکستایل با توجه به نوع خاک بستر، نفوذپذیری و مقاومت، تجهیزات نصب و روند پرکردن (هیدرولیکی یا متعارف)، سیستم جابه‌جایی و استقرار ژئوکانتینر، بعضاً لزوم مدل‌سازی فیزیکی به‌عنوان آزمایش پایداری سازه می‌باید مورد توجه قرار گیرد. به لحاظ اجرایی، روند و اصول نصب ژئوکانتینرها در فلوجارت شکل (۲-۷) ارائه گردیده است. شکل‌های (۲-۸) و (۲-۹) نیز مراحل پر کردن و نصب ژئوکانتینرها را نمایش می‌دهند. لیکن توجه طراح را به این نکته نیز جلب می‌نماید که در سطح فن‌آوری کنونی این موضوع خاص، هر پروژه تا حدودی دارای شرایط خاص و موردی خود بوده و خصوصاً رعایت کامل ضوابط و دستورالعمل‌های سازندگان مربوطه که این مطالب می‌بایست بررسی و صحت‌سنجی در حد امکان طراح هم شود، در فرآیندهای طراحی و اجرا به همراه سایر ضوابط خاص پروژه ضروری می‌باشد.



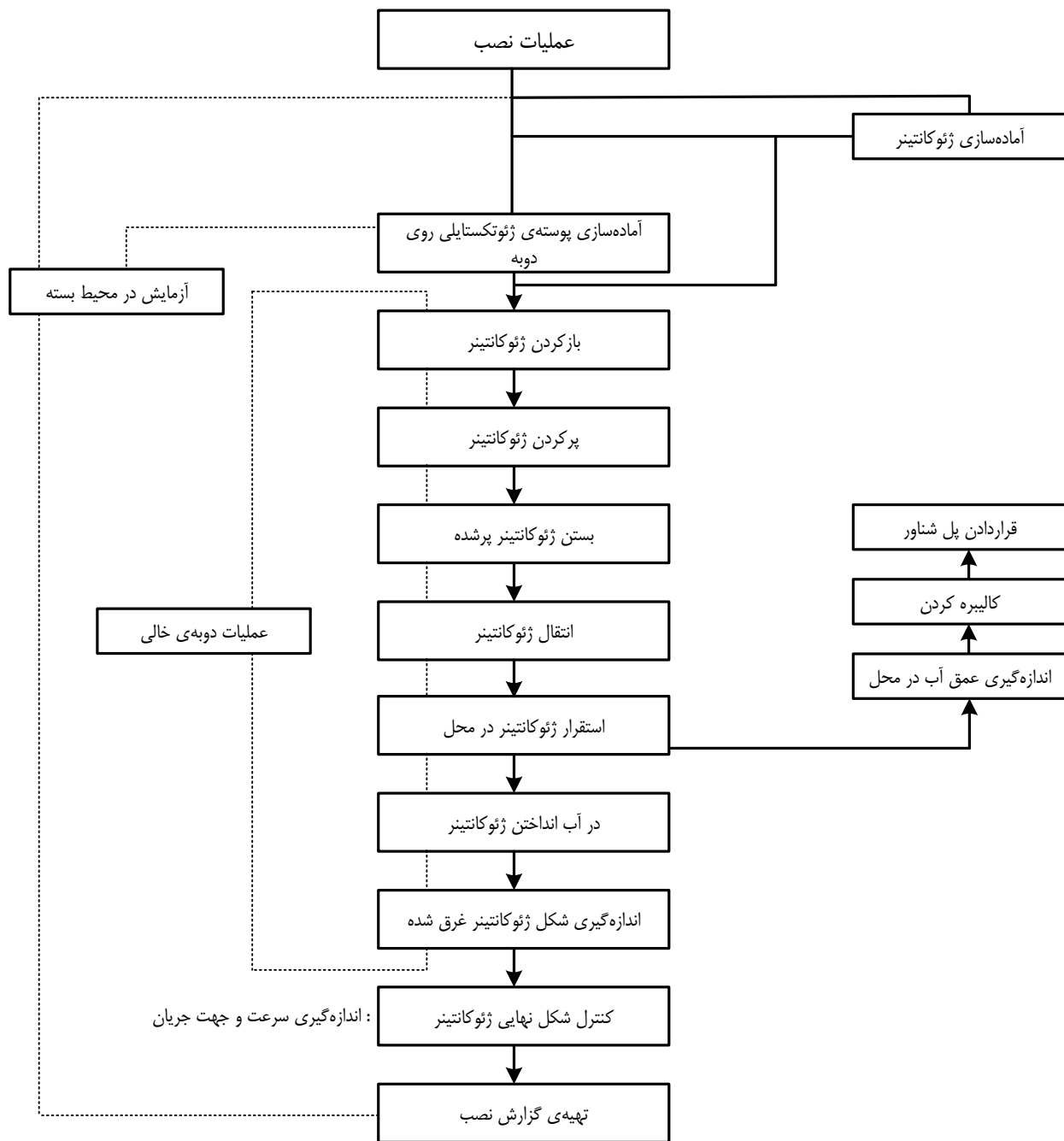
شکل ۲-۵- روند طراحی ژئوتکانتینر در موج شکن‌های مستغرق



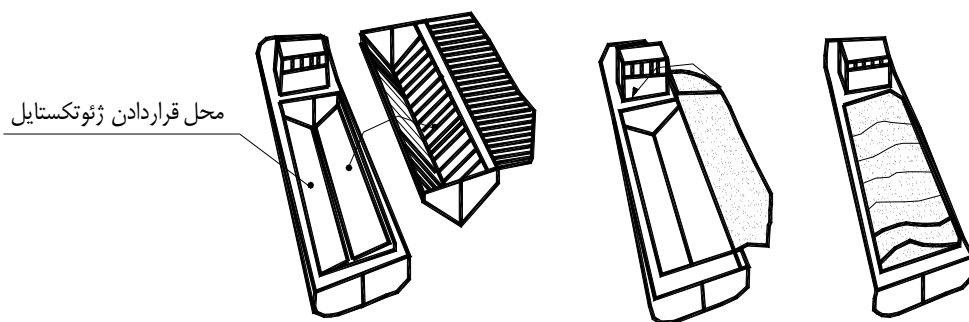
نکات دیگر طراحی:

- ۱- نشست طولانی مدت خصوصا در خاک‌های نرم
- ۲- تجهیزات نصب در دسترس و تجهیزات نصب ضروری
- ۳- طراحی نهایی (مانند حفاظت بستر، حفاظت مصنوعی و ...)
- ۴- بهینه سازی اجرا (مانند شرایط کار)
- ۵- بازرسی و نظارت پس از اتمام نصب
- ۶- تعمیرات و نگهداری شامل اثرات و تاثیرات زیست محیطی
- ۷- زمان و هزینه‌ی نهایی اجرا

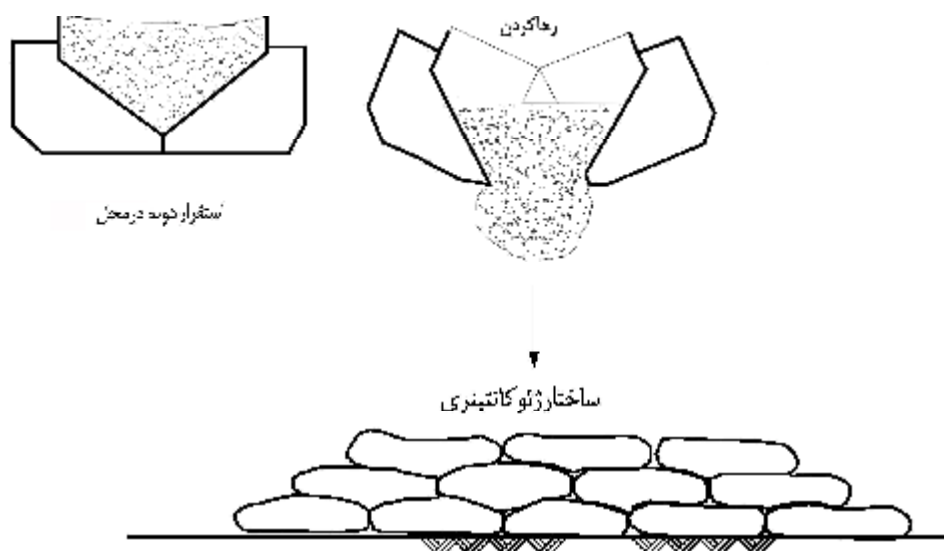
شکل ۲-۶- روند طراحی جزییات ژئوتکستینرها



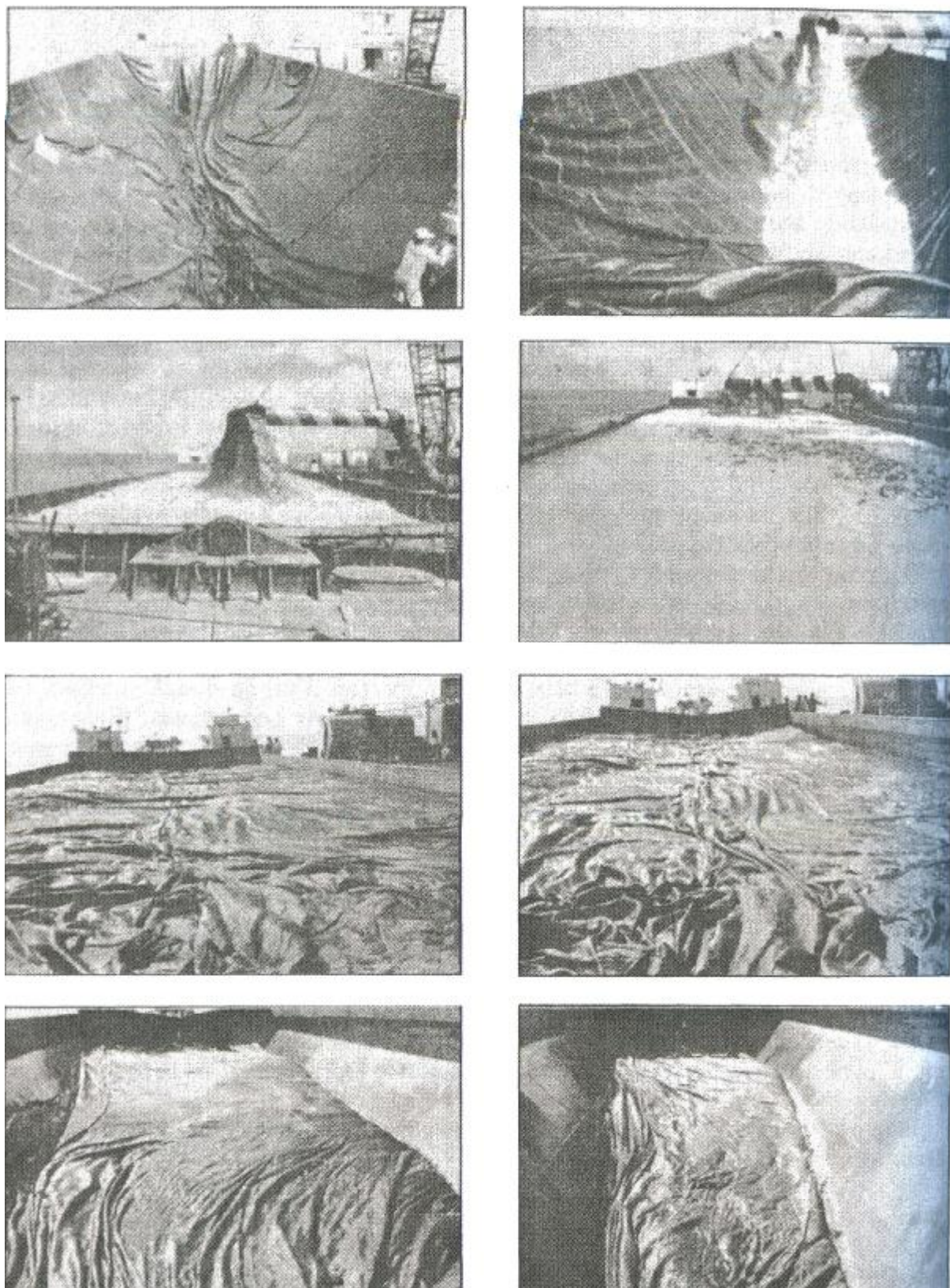
شکل ۲-۷- فلوجارت نصب ژئوتکانتینرها



پر کردن و دوختن محفظه ی ژئوتکستایل



شکل ۲-۸- مراحل پر کردن و نصب ژئوکانتینرها به صورت شماتیک



شکل ۹-۲- تصاویری از مراحل پرکردن و استقرار ژئوکانتینرها

با توجه به تحقیقات و مطالعات (Bezuijen, 1999)، از مهم‌ترین چالش‌های اجرای ژئوکانتینرها شامل حفظ یکپارچگی ژئوکانتینر در حین رهاکردن و برخورد به بستر، دقت اجرایی در قرار دادن ژئوکانتینر بر روی بستر و نیز در مقطع موج‌شکن، و حصول پایداری موج‌شکن در برابر شرایط هیدرولیکی و هیدرودینامیکی مختلف می‌باشند.

نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی در خصوص ژئوکانتینرهای پر شده با ماسه، مرحله‌ی بازشدن دوبه را بحرانی‌ترین قسمت معرفی می‌کند و در ژئوکانتینرهای پر شده با دوغاب، بار ناشی از برخورد ژئوکانتینر با بستر بحرانی‌ترین قسمت اجرا تلقی می‌شود. در پروژه‌های بزرگ در صورتی که امکان استفاده از دوبه‌ای که بازشدگی آن برابر عرض دوبه باشد، فراهم گردد، نیروهای وارده بر ژئوکانتینرها در هنگام رها شدن به حداقل میزان ممکن می‌رسد.

به‌علاوه تحقیقات Bezuijen نشان می‌دهد که روش‌های پیشنهاد شده برای تخمین بارگذاری در حین سقوط کافی به نظر نمی‌رسد چراکه مراحل بارگذاری ژئوکانتینرها شامل جنبه‌هایی است که در ژئومکانیک کلاسیک مرسوم نمی‌باشد. لذا در این مورد اندازه‌گیری‌های دقیق میدانی ضروری خواهد بود. بنابر مرجع فوق‌الذکر، پایه‌های نظری برای نیل به طراحی دقیق ژئوکانتینرها که تا حدودی کماکان تجربی است هنوز ناکافی بوده و روش‌های موجود عموماً به طراحی‌های محافظه‌کارانه برای بدترین شرایط ممکن می‌انجامد.

۲-۳ - صفحه‌ها^{۱۱} و پرده‌ها^{۱۲}

صفحه‌ها از ورقه‌های ژئوتکستایلی به دو شکل صفحه‌های شناور^{۱۳} و صفحه‌های بستر^{۱۴} ساخته می‌شوند. برخی موارد استفاده این محصولات عبارتند از:

- صفحه‌های شناور به‌عنوان جلوگیری‌کننده از حرکت رسوبات آلوده یا مانعی در برابر امواج ملایم؛
- صفحه‌های بستر برای جلوگیری از فرسایش بستر یا ممانعت از رسوب‌گذاری در حوضچه‌ی بندر؛
- صفحات شناور، تیوب‌ها یا پوسته‌های قابل تورم^{۱۵} که به‌عنوان موج‌شکن‌های شناور عمل می‌کنند.

البته، با توجه به محدودیت‌های موج‌شکن‌های شناور که در نشریه‌ی شماره ۳۰۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی تحت عنوان "آیین‌نامه‌ی طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران" هم به آن پرداخته شده، هرگونه موج‌شکن شناوری از این انواع درخصوص بلوکه کردن امواج با طول موج بلند کاربرد نداشته و لذا مثلاً در مناطقی از سواحل که امواج دورآی قابل توجه دارند به تنهایی راه‌کار مناسبی نمی‌باشد.

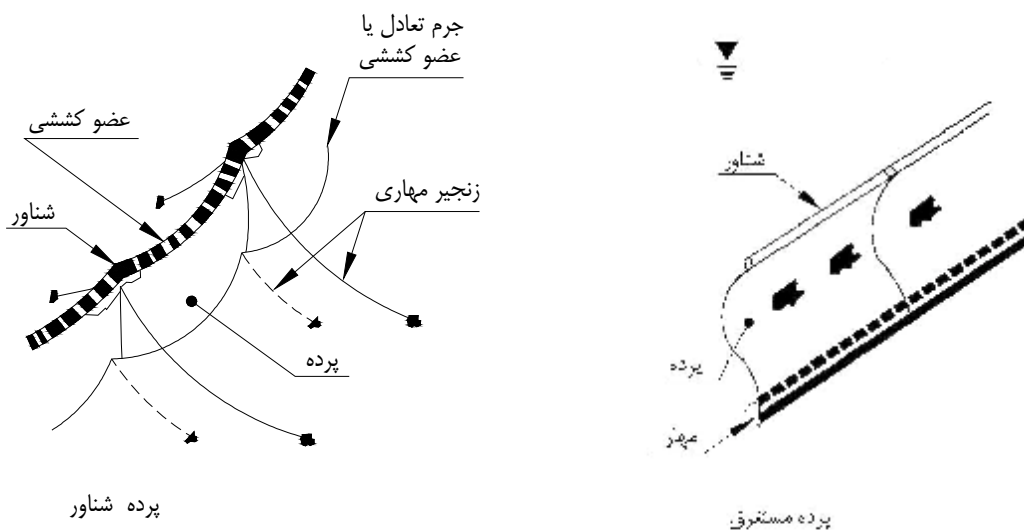
اضافه بر موارد فوق‌الذکر، موارد استفاده دیگری نیز که عمدتاً مرتبط با حفاظت ساحلی و موج‌شکن‌ها نیستند در این خصوص در مهندسی سواحل، سدها و مهندسی هیدرولیک موجود می‌باشد.

۲-۳-۱ - صفحه‌های شناور (پرده‌ها)

صفحه‌ی ژئوتکستایلی شناور شامل صفحه‌ای عمودی است که با کابل‌هایی در محل نگهداری شده‌اند که به کابل‌های مهاریه و شناور متصل می‌باشند. البته، استفاده معمول از این پرده‌ها در سازه‌های دریایی به صورت مستقیم نمی‌باشد و مثلاً در انجام لایروبی و حفظ محیط زیست مناطق اطراف کاربرد دارند. روش‌های متعددی برای ساخت این پرده‌ها وجود دارد لیکن دو روش اصلی ساخت آن‌ها عبارتند از:

- صفحه‌های شناور کوچک فقط دارای کابل بالایی هستند که به کابل‌های مهارکننده در فواصل منظم متصل‌اند. کابل پایینی معمولاً وجود ندارد و یا در قسمت پایین از وزنه‌ی بالاستی با وزن کافی استفاده شده است.
- صفحه‌های شناور بزرگ دارای هر دو کابل بالا و پایین می‌باشند و در فواصل منظم با کابل‌های مهاریه به هم متصل می‌شوند.

قسمت شناور این صفحه‌ها از یک‌سری استوانه‌ها یا کره‌های ساخته شده از مواد پلی‌استرن، پلی‌اورتان یا سایر فوم‌های مصنوعی تشکیل می‌شوند. صفحه‌ها می‌توانند به دو صورت قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ و از موادی چون پلی‌استر، پلی‌پروپیلن و غیره باشند. حتی در بعضی اوقات این صفحه‌ها از مواد طبیعی چون کرباس با پوشش لاستیکی هم ساخته می‌شوند. در صورت لزوم کمربندهای تقویتی موضعی یا حتی مسلح‌کننده‌های فلزی هم می‌تواند به این صفحه‌ها افزوده شود. معمولاً کابل‌های مهارکننده‌ی این صفحه‌ها فولادی هستند لیکن در پاره‌ای موارد از کابل‌های نایلونی هم می‌توان استفاده کرد. نمونه‌ای از این صفحه‌ها در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۲-۱۰ - نمونه‌هایی از صفحه‌های شناور

به دلیل بحث خوردگی شدید محیط‌های دریایی به خصوص در سواحل جنوبی خلیج فارس و دریای عمان لازم است در انتخاب نوع کابل‌ها آثار مهاجم محیطی و خوردگی مورد توجه قرار گیرد.

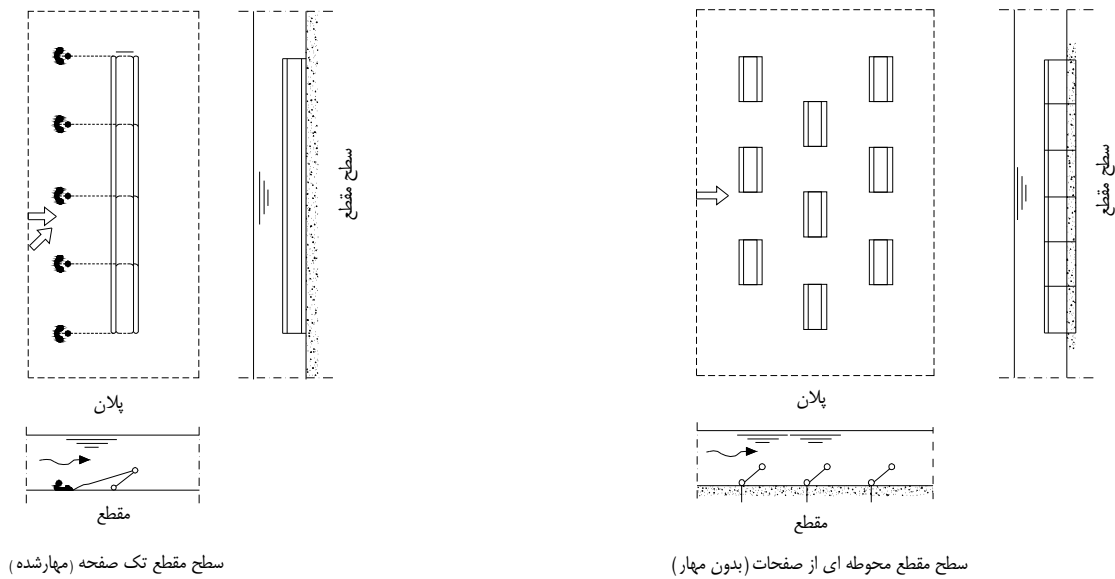
معمولاً توصیه می‌شود از این محصولات در محیط‌هایی با سرعت جریان پایین (کمتر از ۵ m/s) استفاده شود. در طراحی صفحه‌های شناور نیروهای ناشی از جریان پایدار، نیروی ناشی از ضربه، نیروی امواج و نوسانات، نیروی باد و نیروهای ناشی از تفاضل چگالی و الوارهای شناور در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳-۲ - صفحه‌های بستر

صفحه‌های بستر معمولاً یا برای مقابله با فرسایش و یا ممانعت از انتقال رسوبات معلق به کار می‌روند. مثلاً، انتقال رسوبات معلق ناشی از لایروبی با تعبیه‌ی محفظه‌ی سیلت مطابق آنچه در شکل (۲-۱۱) دیده می‌شود می‌تواند مهار گردد. در نواحی سواحل فرسایش‌پذیر، رسوب‌گذاری موضعی با تعبیه‌ی صفحه‌های کوتاه مانند آنچه در شکل (۲-۱۱) ارائه گردیده، تقویت می‌شود. در بعضی اوقات صفحه‌های بستر در کنار صفحه‌های شناور استفاده می‌شوند.

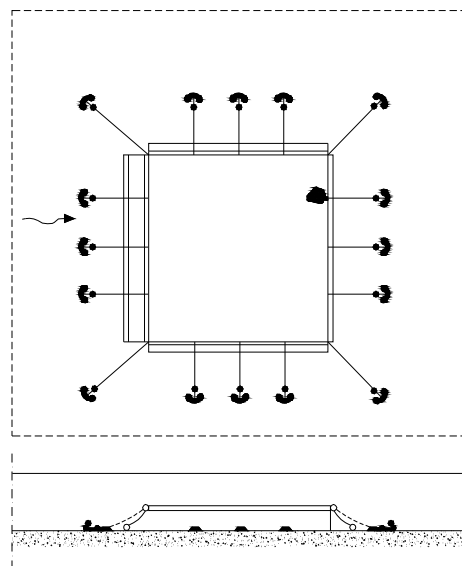
صفحه‌های بستر در اعماق آب تا ۱۵ متر به کار برده می‌شوند و برای حداکثر ارتفاع موج ۱/۵ متر طراحی می‌گردند. با توجه به بسیار موج‌تر بودن سواحل کشور ما، مشخص است این صفحه‌ها عمدتاً برای راه‌کارهای موقتی استفاده می‌تواند داشته باشد. مورد استفاده در این صفحه‌ها، ژئوتکستایل‌های ساخته شده از پلی‌استر و پلی‌آمید بوده و معمولاً از منسوجات بافته شده‌ی نفوذپذیر و یا منسوجات طبیعی کرباس هستند. قطعات شناور نیز معمولاً از بلوک‌های فومی پلی‌اتیلن، پلی‌استری یا PVC ساخته می‌شوند. یکی از مهم‌ترین ملاحظات طراحی صفحه‌ها، عمر مفید آنهاست زیرا تحقیقات نشان می‌دهد که نمونه‌های پلی‌استری بعد از یک‌سال به میزان ۵ الی ۴۰ درصد به لحاظ مقاومت کششی و به میزان ۵ الی ۳۵ درصد به لحاظ ضریب افزایش طول افت کیفیت داشته‌اند. از دیگر معضلات این صفحه‌ها امکان برخورد با لنگر یا پروانه کشتی‌ها، پارگی درزبندها در محیط‌های فعال به لحاظ موج و جزر و مد و خسارت ناشی از حرکت سنگ‌چین‌های موجود در مجاورت سازه‌های حفاظت ساحل بوده است. تجربیات حاصله بر لزوم دقت در طراحی این صفحه‌ها تأکید می‌کند و معمولاً این صفحه‌ها به‌عنوان سازه‌های موقت با عمر مفید کمتر از یک‌سال کاربرد دارند.

برخی بنادر صیادی در کشور واقع در اعماق کم که رسوب‌گذاری بسیار حادی را تجربه می‌نمایند، امکان بررسی استفاده از این صفحات جهت کاهش رسوب‌گذاری و پیش‌گیری از هزینه‌های لایروبی دوره‌ای نگهداری مورد استفاده منطقی به لحاظ اصولی به نظر می‌رسد.



سطح مقطع تک صفحه (مهارشده)

سطح مقطع محوطه ای از صفحات (بدون مهار)



محفظه ی نگهداری سیلت

شکل ۲-۱۱- انواع صفحه‌های بستر

۲-۴- کاربرد ژئوتکستایل در ساختارهای ماسه‌ای

بیشتر کاربرد ماسه در سازه‌های دریایی و مهندسی سواحل به استفاده در تغذیه‌ی مصنوعی سواحل محدود می‌شود. این محدودیت به دلیل ریزدانه بودن ماسه و مقاومت کم آن در برابر آب‌شستگی ناشی از نیروهای موج و جریان می‌باشد. به‌علاوه، توده‌ی ماسه‌ای در حالت طبیعی شیب بسیار ملایمی دارد. معمولاً مقدار شیب در بیرون سطح آب بین ۱:۲۰ (۱ قائم به ۲۰ افقی) تا ۱:۱۰۰ و در داخل آب بین ۱:۱۰ تا ۱:۵۰ متغیر می‌باشد. در نتیجه، اجرای چنین شیبی، مقادیر بسیار زیادی از ماسه را طلب می‌کند.

با توجه به دلایل فوق‌الذکر، روش‌های جدیدی جهت استفاده بهینه از ماسه در کاربردهای مهندسی هیدرولیک و سواحل پیشنهاد گردیده است. از جمله‌ی این روش‌ها ترکیب ماسه با پرده‌های ژئوتکستایلی می‌باشد که عمدتاً در احداث جزیره‌های مصنوعی کاربرد دارد. در این روش، پرده‌های ژئوتکستایلی در پیرامون محل جزیره نصب می‌شود و فضای درون آن با ماسه، که عموماً ماسه‌ی لایروبی شده است، پر می‌شود. اجرای این ساختارهای ماسه‌ای به دو روش وسکامپ [۲۸] و روش داوز [۲۹] انجام می‌شود.

در روش وسکامپ، ژئوتکستایل مورد استفاده در برابر آب نفوذپذیر و در برابر ماسه نفوذناپذیر می‌باشد. در نتیجه پس از ریختن ماسه، آب از منافذ ژئوتکستایل خارج می‌شود. پرده‌ی ژئوتکستایلی بعد از اتمام عملیات اجرا وظیفه‌ی مقاومت در برابر بارهای هیدرولیکی و هیدرودینامیکی را بر عهده خواهد گرفت.

در روش داوز، ژئوتکستایل مورد استفاده در برابر آب نفوذناپذیر می‌باشد. لذا در حین اجرا، آب موجود به وسیله‌ی پمپ از محدوده خارج می‌شود. در نتیجه، فشار داخلی کمتر از فشار خارجی می‌گردد که به افزایش اصطکاک داخلی و تند شدن شیب سازه می‌انجامد. شایان ذکر است در ایران، بر خلاف بیشتر کشورهای دنیا که هم اکنون راه‌کارهای حفاظت ساحلی اصطلاحاً نرم مانند تغذیه مصنوعی سواحل که در نشریه‌ی شماره ۳۰۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی تحت عنوان "آیین‌نامه‌ی طراحی بنادر و سازه‌های دریایی ایران" هم معرفی گردیده‌اند استفاده می‌کنند کماکان صرفاً از سازه‌های سخت عمدتاً سنگی و بتنی استفاده می‌گردد که این امر شاید به دلیل ترجیح مدیران اجرایی بر انتخاب یک راه‌کار جهت اجرای یک‌باره و ترجیحاً بدون نیاز به نگهداری و تغذیه‌ی دوره‌ای است، لیکن مطابق تجارب موجود در دنیا استفاده از راه‌کارهای نرم با وجود نیاز به پایش و نگهداری می‌تواند هم به لحاظ اقتصادی نهایتاً ارزان‌تر باشد و هم مزیت‌های فنی مثلاً نسبت به ایجاد دیواره‌های ساحلی، رانه‌گیرها و حفاظت شیب‌های ساحلی در عدم انتقال فرسایش به مناطق پایین‌دست داشته باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود راه‌کارهای ساختارهای ماسه‌ای اصطلاحاً نرم با یا بدون ژئوتکستایل به عنوان یک راه‌کار دوستدار محیط زیست و اقتصادی با سایر راه‌کارهای سازه‌ای متداول برای بسیاری از پروژه‌ها که خصوصاً جنبه‌های حفظ زیبایی و اکوسیستم منطقه‌ی سیاحتی و گردش‌گری دریایی مطلوب است مورد مقایسه فنی، اجرایی و اقتصادی قرار گیرند.

فصل 3

**ملاحظات اصولی در طراحی
ژئوتکستایل به عنوان لایه‌ی فیلتر یا
لایه‌ی جداکننده**

این فصل دربرگیرنده ملاحظات اصولی و کیفی قابل توجه طراح ضمن ارجاع به ضوابط کمی طراحی ارائه شده طی پیوست‌های راهنمای حاضر می‌باشد.

۱-۳- کلیات

جهت برنامه‌ریزی یک‌پارچه، گام‌های ضروری از مرحله‌ی طراحی تا مرحله‌ی اتمام طراحی ژئوتکستایل‌ها در پیوست شماره (۱۰) آورده شده است که موارد مطروحه هم برای استفاده از ژئوتکستایل به‌عنوان لایه فیلتر و هم لایه جداکننده قابل استفاده است.

۲-۳- ضرورت کاربرد ژئوتکستایل

لازم است قبل از شروع به طراحی ضرورت وجود یک لایه فیلتر یا لایه جداکننده از نوع ژئوتکستایلی مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۲-۳- لایه فیلتر

اگر در اثر جریان آب منفذی میزان قابل توجهی از مصالح ریزدانه‌ی لایه‌ی زیرین از منافذ بین لایه‌های درشت‌دانه‌تر فوقانی خارج گردد، در این صورت می‌بایست بین لایه‌های مصالح ریزدانه و درشت‌دانه لایه‌ی فیلتر مناسبی تعبیه شود. ضرورت استفاده از فیلتر ژئوتکستایلی می‌تواند با توجه به پیوست (۱) کنترل گردد.

ضخامت لایه فیلتر ژئوتکستایلی به موارد زیر بستگی دارد:

- دانه‌بندی و نفوذپذیری خاک یا لایه‌ی سنگی مجاور با توجه به نوع جریان آب منفذی (آشفته یا ملایم، ر.ک. ۱-۳-۸، ۱-۳-۹) داخل سازه؛
- تنش‌های مکانیکی هم‌ناشی از عملیات ساخت و هم‌چنین بهره‌برداری از آبراهه یا سازه‌ی دریایی؛
- خواص شیمیایی آب در ناحیه‌ی فیلتر و مثلاً امکان وقوع لکه‌های نفتی در برخی مناطق کشور ما؛
- تأثیرات اشعه‌ی فرابنفش (UV) در حین عملیات ساخت و نصب، خصوصاً در مناطق سواحل جنوبی کشور؛
- امکان نفوذ ریشه‌ی گیاهان در صفحه‌ی ژئوتکستایلی در ناحیه‌ی دامنه‌ی نوسانات سطح آب برحسب نوع حفاظت شیب انتخابی.

۲-۲-۳- لایه جداکننده

لایه‌ی جداکننده در صورتی مورد نیاز خواهد بود که موارد زیر در نظر باشند:

- از اختلاط دانه‌بندی‌های دو لایه‌ی مجاور در اثر نشست‌های طولانی مدت جلوگیری شود (مانند قرارگیری ماسه یا خاک بر روی سنگ یا خاک شنی، لایه‌ی سنگ‌ریزی روی گل رس، و یا خاک درشت‌دانه بر روی خاک زیرین ریزدانه).
- از درهم‌نفوذ کردن دو لایه از مصالح سنگی با دانه‌بندی بسیار متفاوت در اثر کارکرد طولانی مدت سازه ممانعت شود (مانند لایه‌ی سنگ‌ریزی بر روی لایه‌ی گل رس، و یا گل رس بر روی خاک زیرین درشت‌دانه).

- از آب‌شستگی خاک زیرین در زیر پوشش سخت (مانند آسفالت در هنگام پدید آمدن ترک) پیش‌گیری به‌عمل آمده و در عین حال به انباشته شدن مصالح و ترمیم خود به خود لایه‌ی پوشش سخت کمک شود.
- هنگامی که لایه‌ی سنگی (مانند ماسه‌سنگ یا شیل) در اثر هوازدگی، ضربات هیدرولیکی یا تأثیرات مکانیکی (مانند حرکت سنگ‌های آرمور) در معرض آب‌شستگی قرار گرفته باشد که این ملاحظه در مناطقی از کشور که معادن سنگ با کیفیت نسبتاً پایینی دارد وارد می‌باشد.
- لایه‌ی ژئوتکستایلی جداکننده معمولاً بر اساس ضوابط زیر طراحی می‌شود:
 - خودنگهداری^۱ خاک زیرین؛
 - تنش‌های مکانیکی ایجاد شده در حین ساخت و کارکردهای متعاقب ساخت؛
 - خواص شیمیایی آب؛
 - تأثیرات ناشی از هوازدگی و اثر اشعه‌ی فرابنفش در حین عملیات ساخت با عنایت به گزارش معدن منطقه برای مناطق با کیفیت سنگ مرزی؛
 - نفوذپذیری ریشه‌ی گیاهان (در صورت لزوم).
- در حالت وقوع تأثیرات دینامیکی ناشی از اصابت جریان‌ات آشفته، امواج و یا متراکم کردن بخش‌هایی از سازه با ویریه، نیاز به استفاده از لایه‌ی جداکننده براساس نمودار CISTIN/ZIEMS تعیین می‌شود. در این روش در صورتی که نسبت A_{50} ، که برابر نسبت متوسط قطر دانه‌های لایه‌ی حفاظتی پوششی به متوسط قطر دانه‌های خاک یا لایه‌ی سنگی زیرین می‌باشد، از مقدار مجاز آن بیشتر شود، طراحی لایه‌ی فیلتر بین خاک بستر یا لایه‌ی سنگی زیرین و لایه‌ی حفاظتی پوششی ضرورت می‌یابد. نمودار مربوطه و مثال طراحی در این خصوص در پیوست (۱) ارایه شده است.
- در صورت وجود نیاز به لایه‌ی فیلتر یا جداکننده‌ی ژئوتکستایلی رعایت اصول طراحی بند ۳-۳ ضروری می‌باشد.

۳-۳- اصول و ملاحظات طراحی

۳-۳-۱- لایه‌ی خاک زیرین^۲

در صورتی که مقرر باشد فیلتر بر روی خاک قرار گیرد باید مطالب این بند رعایت شوند و در حالتی که فیلتر بر روی یک لایه‌ی سنگ‌ریزه‌ای قرار گرفته باشد رعایت بند ۳-۳-۱-۱ برای آن لایه حسب روابط موجود یا آزمایش‌های ژئوتکنیکی در حد مرتبط و لازم کفایت می‌کند.

۳-۳-۱-۱- محتویات گزارش خاک زیرین

گزارش مکانیک خاک باید دربرگیرنده‌ی جزییات مطالب این بند برای طراحی لایه‌ی فیلتر ژئوتکستایلی یا جداکننده باشد.

الف- توزیع دانه‌بندی خاک که برای موارد زیر ضروری است

- کنترل اینکه لایه‌ی فیلتر (ر.ک. ۳-۲-۱) یا لایه‌ی جداکننده (ر.ک. ۳-۲-۲) ضرورت استفاده دارد؛
- کنترل پایداری در برابر فرار (گریز) مصالح (ر.ک. ۳-۳-۱-۵)؛
- برای طراحی ژئوتکستایل؛
- برای تعیین نوع خاک زیرین از نظر طبیعت چسبنده بودن یا نبودن (ر.ک. ۳-۳-۱-۲ و ۳-۳-۱-۳)؛
- برای تعیین مقدار ضریب نفوذ پذیری (k) خاک زیرین (مطابق پیوست ۴).

ب- زاویه‌ی اصطکاک داخلی موثر (ϕ') که برای موارد زیر ضروری است

- برای تعیین پایداری موضعی شیب سازه که در معرض جریان‌های ناشی قرار گرفته باشد (ر.ک. ۳-۳-۱-۲)؛
- برای تعیین ضریب اصطکاک ژئوتکستایل (ر.ک. ۴-۳-۱-۱۰).

پ- ضریب نفوذپذیری (k) که برای موارد زیر ضروری است

- تعیین نوع بارگذاری هیدرولیکی (ر.ک. ۱-۳-۸ و ۱-۳-۱۰)؛
- تعیین نفوذپذیری لازم ژئوتکستایل (ر.ک. ۴-۳-۲).

تعیین این ضریب به‌وسیله‌ی آزمایش‌های آزمایشگاهی در صورتی که برای ملاحظات ایمنی سازه مقدار دقیق آن مورد نیاز باشد، توصیه می‌گردد. در غیر این صورت می‌توان از نمودار BEYER (شکل پ-۴-۲) یا روابط HAZEN (روابط پ-۴-۱ و پ-۴-۲) استفاده نمود که در پیوست (۴) ارائه شده‌اند.

ت- چسبندگی ظاهری خاک زیرین (c_u) و شاخص خمیری (I_p)

- این مقادیر برای تعیین خواص فیلترکنندگی لایه‌ی ژئوتکستایل مورد نیاز است (ر.ک. ۴-۲-۲ و ۴-۲-۳).

ث- توالی و زاویه‌ی شیب لایه‌ها

- توصیه‌های ارائه شده در بخش (۳-۳-۱-۴) برای خاک‌های لایه‌لایه‌ی قرار گرفته در شیب‌ها معمولاً رعایت می‌شوند.

ج- کیفیت آب در ناحیه‌ی فیلتر

- معمولاً لازم است خواص شیمیایی آب از جهت تاثیرات زیان‌آور بر روی ژئوتکستایل تعیین شود.

۳-۳-۱-۲- خاک‌های غیرچسبنده یا دانه‌ای

MAG بیان می‌دارد که در صورتی که رابطه‌ی زیر بین زاویه‌ی شیب و زاویه‌ی اصطکاک داخلی موثر خاک غیرچسبنده یا با چسبندگی پایین برقرار باشد، شیب در معرض لغزش یا ایجاد پدیده‌ی رگاب در اثر ضربه‌ی آب منفذی یا جریان‌ات آب سطحی قرار می‌گیرد:

$$\beta \geq \frac{\phi'}{2} \quad (1-3)$$

که در آن β زاویه‌ی شیب نسبت به افق می‌باشد. در اثر ضربات ناشی از امواج و افت سریع سطح آب، ناپایداری شیب زودتر اتفاق می‌افتد. این امر باید در هنگام انتخاب نوع ساخت فیلتر مدنظر قرار گیرد.

اصولا در طراحی فیلتر در صورتی که آزمایشات تکمیلی دیگری در خصوص چسبندگی و شاخص خمیری در دست نباشد خاک‌های با دانه‌بندی $d_{20} \geq 0.006 \text{ mm}$ ، می‌تواند به‌عنوان خاک غیرچسبنده در نظر گرفته شوند (ر.ک. ۴-۴-۲).

۳-۱-۳-۳- خاک‌های چسبنده

خاک‌های چسبنده قابلیت حرکت ذرات و نفوذپذیری بسیار پایینی دارند. مد نظر قرارداد این مهم در هنگام طراحی فیلتر توصیه می‌شود (ر.ک. ۴-۴-۲). به‌علاوه هنگام انتخاب نوع اجرای فیلتر به امکان پدید آمدن رگاب نیز می‌بایست توجه شود.

۳-۱-۳-۴- خاک زیرین ناهمگون

معمولا خاک زیرین در صورتی ناهمگون تلقی می‌شود که یکی از شرایط زیر را داشته باشد:

- در آن لایه‌های متناوب خاک ریزدانه‌ی غیرچسبنده یا خاک با دانه‌بندی مخلوط و خاک با دانه‌بندی درشت‌دانه وجود داشته باشد.
 - خاک نامتجانس (لنزگونه) باشد.
 - باقی‌مانده‌های سازه‌های قبلی (مانند تکه سنگ‌هایی از لایه‌ی آرمور سازه‌های قبلی) در خاک باقی‌مانده باشد.
- در بسیاری مناطق از سواحل ایران خصوصا سواحل جنوبی کشور شرایط خاک زیرین ناهمگون صادق می‌باشد. در صورتی که خاک ناهمگون زیرین پایین‌تر از بالاترین تراز ممکن آب قرار گیرد، باید اثر آن در انتخاب نوع فیلتر لحاظ شود. در حالت‌هایی مانند جریان متداوم آب زیرزمینی، MAG توصیه می‌کند که از انتقال خاک‌های ریزدانه در زیر ژئوتکستایل به سمت لایه‌های عمیق‌تر و نفوذپذیرتر جلوگیری شود.

۳-۱-۳-۵- خاک‌های در معرض گریز مصالح

بنا بر توصیه‌ی MAG، پایداری خاک زیرین برای خاک‌های غیرچسبنده با دانه‌بندی باز (ناپیوسته)^۳ یا برای خاک‌های غیرچسبنده غیریکنواخت ($c_u \geq 8$) باید کنترل شود. در صورت وجود تردید، انجام آزمایش‌های مربوطه توصیه می‌شود. از آنجا که گرادیان هیدرولیکی موثر موضعی خاک‌ها عموماً ناشناخته و آزمایش نشده است و حتی ممکن است در صورت انجام یک‌سری اندازه‌گیری در اندازه‌گیری‌های بعدی مقادیر مربوطه تغییر هم کند، پایداری هندسی در اثر پدیده‌ی گریز مصالح خصوصا برای خاک‌های زیرین سیلتی کنترل می‌گردد (پیوست ۲).

هنگامی که خاک زیرین از نوع سیلتی و فرار باشد، بالاترین تراز آب زیرزمینی می‌تواند در اثر انسداد ژئوتکستایل به‌وسیله‌ی تجمع ذرات ریزدانه‌ی شسته شده افزایش یابد (پی‌آمدهای احتمالی: کاهش پایداری شیب یا حفاظت شیب، و یا غرق شدن در اثر صعود سطح آب زیرزمینی).

اگر خطر فرار مصالح برای خاک وجود داشته باشد، فیلتر اجرایی مناسبی انتخاب گردیده (ر.ک. ۶) یا می‌بایست ژئوتکستایل مطابق بخش (۴-۴-۲-۱) طراحی شود.

۳-۳-۲- بارگذاری هیدرولیکی

هنگام طراحی لایه فیلتر ژئوتکستایلی (ر.ک. ۴-۴-۲) لحاظ کردن انواع بارهای هیدرولیکی زیر توصیه شده است:

- دینامیکی

- استاتیکی

برای تشخیص این که بارگذاری موجود از نوع استاتیکی یا دینامیکی است می توان به ضابطه‌ی معرفی شده طی بخش‌های (۸-۳-۱) و (۹-۳-۱) مراجعه نمود.

همواره اثرات هیدرولیکی ناشی از حرکت کشتی‌ها، امواج و یا سایر ضربات مشابه با منشاء هیدرولیکی مثل برکشند طوفان‌ها به بارهای دینامیکی منجر می‌گردد که ممکن است به حرکت‌های تلمبه‌گونه‌ی لایه‌ی ژئوتکستایل، به دلیل توزیع غیریکنواخت سربار ناشی از لایه‌ی حفاظتی بر روی سطح ژئوتکستایل، بینجامد که لذا در طراحی کنترل این میزان حرکت ضروری است.

۳-۳-۳- بارهای مکانیکی

۳-۳-۳-۱- کلیات

هنگام نصب ژئوتکستایل یا عملیات اجرایی سازه حفاظتی، و یا حتی در هنگام بهره‌برداری از آبراهه یا سازه‌ی دریایی، لایه‌ی ژئوتکستایل در معرض بارهای مکانیکی قابل توجهی قرار می‌گیرد. به این دلیل، ابعاد ژئوتکستایل از نظر خواص مقاومتی باید با در نظر گرفتن شرایط حین ساخت و بهره‌برداری به اندازه‌ی کافی قوی در مقابل حادثترین حالات ممکن انتخاب شود و یا تمهیدات پیشگیرانه‌ای جهت کنترل و محدودسازی برخی بارهای مکانیکی وارده در صورت امکان لحاظ گردد.

۳-۳-۳-۲- عملیات اجرایی

در حین اجرا، ممکن است ژئوتکستایل در معرض تنش‌های مکانیکی زیر قرار گیرد:

الف- حین نصب ژئوتکستایل

- تنش‌های کششی: در صورتی که ژئوتکستایل از قرقره (یا توپ) باز و نصب شود، این نوع تنش‌ها قابل صرف نظر کردن می‌باشند لیکن در صورتی که ژئوتکستایل به وسیله‌ی پانتون در زیر آب نصب شود، نیروهای کششی به فشار جریان بر واحد سطح ژئوتکستایل بستگی خواهند داشت (ر.ک. ۴-۴-۳-۵). به دلیل این گونه ملاحظات، در طراحی برای ایران داشتن اطلاعات صحیح از اقلیم امواج و جریان‌های ساخنگاه برای طراحی با استفاده از ژئوتکستایل دارای اهمیت و لزوم نسبتاً بیشتری در مقایسه با سازه‌های صرفاً توده سنگی می‌باشد.

ب- حین قرارگیری مصالح دانه‌ای بر روی ژئوتکستایل

- تنش‌های کششی: این تنش‌ها در اثر کش آمدن سطح ژئوتکستایل به دلیل وزن مصالح رویی و ناهمواری‌های خاک زیرین پدید می‌آید.

- تنش‌های دینامیکی ناشی از سقوط مصالح: فقط هنگامی به وجود می‌آیند که مصالح بسیار درشت‌دانه (مانند سنگ آرمور) بر روی لایه‌ی ژئوتکستایل سقوط کند. هنگامی که این مصالح درشت‌دانه به وسیله رها کردن از سطح آب مستقر شوند، انرژی

سقوط سنگ‌ها نسبت به حالتی که در خشکی از ارتفاع ۲ متر رها شوند حداکثر ۱۵٪ خواهد بود. به دلیل این که یک معضل نظارت بر عملیات اجرایی پیمانکاران دریایی کشور پیش‌گیری از پرتاب سنگ‌های بزرگ بعضاً حتی بالای یک تن به جای استقرار آن‌ها در زیر آب می‌باشد توجه به اثرات پرتاب سنگ‌ها به زیر آب برای استفاده از ژئوتکستایل بسیار ضروری است و کنترل بیشتر عملیات اجرایی را طلب می‌نماید.

– تنش‌های سوراخ‌کننده: این تنش‌ها در هنگام عملیات تراکم در صورتی که مصالح تیز گوشه^۴ در تماس با ژئوتکستایل قرار گیرد ایجاد می‌شود. همانند مطروحه برای بند فوق، آموزش و توجیه کادر اجرایی و تدوین راه‌کارهای قراردادی اجرای کار جهت پیش‌گیری از وقوع اصابت سنگ‌ها و ایجاد تنش‌های سوراخ‌کننده لازم می‌باشد.

پ- تنش وارده ناشی از رانندگی بر روی لایه‌ی بالایی ژئوتکستایل

– تنش سوراخ‌کننده: بزرگی این تنش به ضخامت، اندازه و شکل قطعات و یا دانه‌های لایه‌ی رویی ژئوتکستایل از یک سو و نیز وزن تجهیزات اجرایی و مقاومت خاک زیرین از سوی دیگر بستگی دارد (ر.ک. ۴-۳-۸).

۳-۳-۳-۳- حین بهره‌برداری از آبراهه

نیروهای مکانیکی زیر در حین بهره‌برداری از آبراهه در اثر جریان‌ات، امواج هم به دلیل تردد شناور و هم به دلیل طوفان و نیز افت شدید سطح آب به ژئوتکستایل وارد می‌شود:

– تنش‌های کششی: این تنش‌ها با تغییر شکل خاک بستر یا فشار برآ در اثر نوسانات شدید سطح آب حادث می‌شوند. خصوصاً در سواحلی از کشور که دامنه‌ی جزر و مدی بالا داشته از جمله سواحل دریای عمان و نیز در مناطقی با میزان برکشند طوفان قابل توجه این موضوع بسیار مهم می‌باشد. این حالت در صورتی اتفاق می‌افتد که حفره‌ای در زیر ژئوتکستایل وجود داشته و سربار ناشی از لایه‌ی محافظ پوششی در تمام سطح ژئوتکستایل به صورت یکسان عمل نکند (ر.ک. ۶-۱۰) که البته با توجه به شرایط متغیر بستر دریا کاملاً در سواحل ممکن است.

– بارهای سایشی: در اثر اصطکاک ناشی از سایش مصالح سنگی و یا حرکت ژئوتکستایل بر روی عناصر سازه‌ای لبه‌ی تیز گوشه پدید می‌آید (ر.ک. ۴-۳-۷). مثلاً، پدیده‌ی حرکت محدود قطعات آرمور به هنگام اصابت امواج می‌تواند سایش بسیار زیادی در مناطق مواج به وجود بیاورد. در منطقه‌ی دریای عمان به دلیل پدیده‌ی مونسون که چندین ماه از سال امواج به صورت متداوم به سازه‌های دریایی برخورد می‌نمایند باید طراحی سازه‌ی دریایی با عنایت به ضوابط نشریه‌ی ۳۰۰ به گونه‌ای باشد که این حرکت محدود قطعات پیش‌گیری و کنترل شود. طبعاً، نوع سازه‌های توده‌ی سنگی شکل‌پذیر که پایدار دینامیکی هستند و در تماس با ژئوتکستایل برای سواحل کشور توصیه نشده و سازه‌های پایدار استاتیکی با حرکت محدود قطعات آرمور می‌تواند استفاده شود.

۳-۳-۴ - کیفیت آب در ناحیه فیلتر

۳-۳-۴-۱ - مقدار pH

در صورتی که مقدار pH آب با توجه به نوع مصالح سازنده ژئوتکستایل در بازه‌های مذکور در صفحه‌ی بعد باشد، مشکلی از نظر اسیدی یا قلیایی بودن خاک به وجود نمی‌آید (پیوست ۵):

- در ژئوتکستایل‌های ساخته شده از مصالح پلی‌اکریلیک^۵، پلی‌آمید، پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن: $3 < \text{pH} < 12$ ؛

- در ژئوتکستایل‌های ساخته شده از مصالح پلی‌استر: $3 < \text{pH} < 10$.

اگرچه سازمان حفاظت محیط زیست و سایر دست‌اندرکاران سعی در کنترل ورودی پساب‌های مختلف صنعتی و غیره را به مناطق ساحلی دارند، لیکن هم‌اکنون به دلیل کنترل نشده بودن کامل این ورودی‌های پساب‌های صنعتی، ضروری است طراح از این نظر از منطقه‌ی ساختگاه شناخت کافی داشته باشد.

۳-۳-۴-۲ - عوامل شیمیایی و بیولوژیکی

معمولاً منسوجات پلاستیکی به لحاظ اضمحلال در برابر اثرات موجودات و مواد بیولوژیکی و مواد شیمیایی در غلظت‌های نرمال خاص محیط‌های دریایی مقاوم‌اند، لیکن برخی از مواد شیمیایی مانند قلیایی‌ها و مواد سوختی، محصولات پلاستیکی را به سرعت از بین می‌برند. این خصوصیات برای کشور ما، در نقاطی که احتمال ایجاد لکه‌های نفتی بسیار زیاد است قابل تامل می‌باشد تا احیاناً به دلیل عملیات نفتی ساحلی یا فراساحلی، سازه‌ی دریایی ژئوتکستایلی دچار تخریب نگردد.

در اثر ته‌نشینی^۶ و اجتماع ذرات^۷، کلوخه‌شدگی^۸، تشکیل گل اخرا^۹ یا مواد مشابه، نفوذپذیری ژئوتکستایل به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد که عوامل شیمیایی و بیولوژیکی می‌توانند در این خصوص بسیار تعیین کننده عمل نمایند.

الف - کلوخه شدن یا سیمانی‌شدگی یا سخت‌شدگی

این اصطلاحاً کلوخه شدن، در اثر وجود آهک نامحلول در آب زیرزمینی و در شرایطی که افت فشار آب (تغییر در شرایط جریان) و یا افزایش درجه‌ی حرارت آب حادث شود و نیز آهک نامحلول در معرض اکسیژن قرار گیرد پدید می‌آید.

همین‌طور، آب زیرزمینی با سختی تقریباً بالا، مثلاً درجه‌ی سختی بیش از 12°DH براساس ضوابط استاندارد DIN آلمان، در صورت وجود CO_2 می‌تواند به کلوخه‌سازی منجر شود. در طراحی می‌بایست این موضوع و اثر آن بر خواص فیلتراسیون پیش‌بینی شود.

ب - امکان تشکیل شیمیایی گل اخرا

در صورتی که آب زیرزمینی حاوی منگنز یا آهن دوظرفیتی باشد، باید این امکان وقوع گل‌اخرا در نظر گرفته شود. در صورت افت فشار آب یا افزایش درجه حرارت، ترکیب شیمیایی سه‌ظرفیتی حل‌نشده همراه با اکسیداسیون در مجاورت اکسیژن نامحلول O_2 در

آب بروز می‌کند که متعاقبا به اجتماع ذرات می‌انجامد. هم‌چنین تشکیل گل اخرا می‌تواند ریشه در عوامل بیولوژیکی به دلیل فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌های دارای یون‌های آهن و منگنز هم داشته باشد.

پدیده‌ی کلوخه‌سازی عموماً در ناحیه‌ی نوسان‌های سطح آب که اکسیژن لازم مهیاست حایز اهمیت است. MAG توصیه می‌کند در صورتی که محدوده‌ی این نوسان‌های جزر و مدی و طوفانی بیش از ۵۰٪ سطح تراوای فیلتر را بیوشاند، خطر پدیده‌های کلوخه‌سازی و گل اخرا باید کنترل گردد (مانند نواحی با دامنه‌ی جزر و مدی بالا مثلاً سواحل دریای عمان و تا حدودی کم‌تر در خلیج فارس). البته، توصیه می‌گردد تحقیق مستقل در خصوص امکان وقوع این پدیده برای سواحل جنوبی کشور صورت گرفته و مستندسازی جهت استفاده آتی در طراحی گردد.

در صورت احتمال وقوع پدیده‌های کلوخه‌سازی و گل اخرا، استفاده از فیلتر سنگی با نفوذپذیری بالا توصیه می‌شود.

۳-۳-۵- مقاومت در برابر اشعه‌ی فرابنفش

مقاومت طولانی مدت مواد الیاف معمولی (ر.ک. ۳-۳-۴-۱) در برابر اشعه‌ی فرابنفش (UV) در بین انواع این الیاف بسیار متغیر است (پیوست ۵). مقاومت در برابر اشعه‌ی فرابنفش با استفاده از پایدارکننده‌ها می‌تواند افزایش یابد. اگرچه استفاده از پایدارکننده‌ها در برابر اشعه‌ی فرابنفش قطعاً برای سواحل کشور توصیه می‌شود، لیکن جهت حفاظت بیشتر از پوسیدگی ناشی از اشعه‌ی فرابنفش می‌بایست به وسیله‌ی احداث لایه‌هایی بر روی ژئوتکستایل پیشگیری بیشتر نمود.

محصولات پلاستیکی در اثر اشعه‌ی فرابنفش حساس بوده و به این دلیل به تدریج از بین می‌روند مگر اینکه در حین ساخت مواد تثبیت‌کننده‌ای به آن‌ها اضافه شود. در اجرای ژئوتکستایل در سازه‌های دریایی به‌عنوان لایه‌ی فیلتر ارجح است ترتیب اجرا به‌گونه‌ای باشد که حداقل زمان قرارگیری ژئوتکستایل در معرض اشعه‌ی خورشید حادث شود. اهمیت این موضوع در سواحل جنوبی کشور ما خصوصاً در سواحل دریای عمان که تشعشعات فرابنفش بسیار بالایی دارند بسیار مهم است.

در یک سازه‌ی دریایی، اگر لایه‌ی آرمور نسبتاً نازک یا فاقد پوشش به‌دلیل تراکم قطعات باشد اشعه‌ی خورشید از فضاهای خالی بین قطعات آرمور به داخل نفوذ کرده ژئوتکستایل را در معرض اشعه‌ی فرابنفش قرار می‌دهد. به‌طریق مشابه، بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته دارای حفره‌هایی هستند که اجازه نفوذ نور را می‌دهند. در حالت دیگر، خسارات ناشی از طوفان به لایه‌ی آرمور با تغییر مکان قطعات توسط امواج در یک منطقه تا هنگام ترمیم، ژئوتکستایل زیر آرمور را در معرض اشعه‌ی فرابنفش قرار می‌دهد. در همه‌ی موارد فوق‌الذکر اگر ژئوتکستایل به کمک تثبیت‌کننده‌ها پایدار نشود تشعشعات اشعه‌ی فرابنفش در نهایت ژئوتکستایل را نابود می‌کند. توصیه برای کشور ما، استفاده‌ی صرفاً از ژئوتکستایل دارای مواد تثبیت‌کننده به‌لحاظ تشعشعات فرابنفش است، چراکه تعمیر سازه‌های دریایی هم اساساً به‌عنوان یک فرآیند پرهزینه، کمتر صورت می‌گیرد که یک محدوده می‌تواند مثلاً به‌دلیل اثر امواج، کاملاً در معرض تشعشعات فرابنفش قرار گیرد. مقاومت نسبی انواع پلیمرهای تثبیت نشده در جدول (۱-۱) ارایه گردیده است.

۳-۳-۶- نفوذ ریشه‌ی گیاهان

اگرچه پلاستیک‌ها در برابر حمله‌ی مواد بیولوژیکی معمولاً غیرقابل نفوذ می‌باشند، ولی مثلاً رویش گیاهان بر روی ساختار پلاستیکی ممکن است نیروی کششی^{۱۰} مضاعفی را به ژئوتکستایل تحمیل کند. همین‌طور فعالیت‌های باکتریایی در شکاف‌های

ژئوتکستایل موجب انسداد روزه‌های منسوج و افزایش مقاومت رگاب در ژئوتکستایل می‌گردد. لذا، توجه به این اصل نیز در انتخاب اصل استفاده یا عدم‌استفاده از ژئوتکستایل در یک ساختگاه خاص در سواحل شمالی یا جنوبی کشور، دخیل است. تجربیات به‌دست آمده نشان می‌دهد که ژئوتکستایل‌های استفاده شده در محیط‌های آبی در برابر گیاهان، سبزه‌ها، بوته‌ها و درختان نفوذپذیرند. این نفوذپذیری با عوامل زیر افزایش می‌یابد:

- افزایش اندازه‌ی روزه‌های ژئوتکستایل؛

- جابه‌جا شدن الیاف (در ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده) و تارها (در ژئوتکستایل‌های بافته‌شده).

در این خصوص برای سواحل کشور پهنه‌بندی‌های مختلفی منجمله در طرح مدیریت یک‌پارچه مناطق ساحلی (ICZM) در دست انجام است که می‌توان از بانک اطلاعات آن به‌لحاظ پوشش‌های گیاهی دریایی استفاده نمود. البته، نقش بازدیدهای محلی هدفمند را هم نمی‌باید فراموش نمود چراکه در بسیاری مناطق کشور انواع پوشش‌های گیاهی طبیعی یا انسانی مثل برای پیش‌گیری از فرسایش ساحلی با مارش‌پاشی و غیره قابل رویت است.

انتخاب نوع ژئوتکستایل می‌بایست به‌گونه‌ای صورت گیرد که در طول عمر مفید مورد نظر برای سازه دو مورد فوق‌الذکر اثرات با منشاء گیاهان سبب کاهش کاربرد مناسب نگردد.

۳-۳-۷- آتش‌گرفتنی

پلاستیک‌ها در برابر آتش یا داغ‌شدن تا دماهای بالا سوخته و از هم جدا می‌شوند که معمولاً این فرآیند با متصاعد کردن گازهای بسیار سمی هم همراه است. بعضی از پلاستیک‌ها به آسانی، برخی به آرامی و بعضی نیز به سختی می‌سوزند. توصیه می‌شود مواد شیمیایی به تعویق اندازنده‌ی حریق به ساختار ملکولی منسوجات اضافه شود. بدیهی است که دماهای بالاتر از نقطه‌ی ذوب پلیمر موجب تغییر خواص فیلتراسیون منسوج می‌گردد. در ایران، توصیه می‌شود برای پروژه‌های دریایی دارای ریسک زیاد در معرض دما و آتش‌گرفتنی بودن مانند مجاور اسکله‌های صادرات محصولات گاز مایع یا حتی محصولات نفتی و پتروشیمیایی این ریسک بررسی کامل شود و اگر تبعات غیرقابل‌قبول‌اند که یا از ژئوتکستایل استفاده نشود و یا محصولات خاص در صورتی که گزینه‌ی اقتصادی باشند به‌کار گرفته شوند.

۳-۳-۸- برخی سایر عوامل

سایش با مصالح لایه‌ی رویی (یا به‌وسیله برخورد اجسام شناور در آب^{۱۱} در صورتی که منسوج در معرض آن قرار گیرد) می‌تواند موجب پاره شدن منسوج ژئوتکستایلی و حداقل تضعیف آن شود. بارگذاری ضربه‌ای امواج، کشتی‌ها و سایر اشیاء می‌تواند منسوج ژئوتکستایلی را سوراخ کند. حرکت تکتونیکی زمین در اثر زلزله ممکن است به تغییرات سازه‌ای مثلاً ناپایداری شیب لایه‌ی آرمور یا شیب خاک بستر بیانجامد که گسیختگی کشتی فیلتر ژئوتکستایل را به همراه آورد.

در هر ساختگاه توجه به کلیه عوامل محیطی ضروری بوده و حسب مورد باید صورت گیرد. مثلاً احتمال وقوع موج سونامی یا رسیدن امواج ناشی از طوفان‌های حاره‌ای از اقیانوس هند برای سواحل جنوب شرقی ایران (منطقه مکران) می‌بایست در نظر گرفته شده و با توجه به زلزله‌خیز بودن سواحل شمالی و بیشتر سواحل جنوبی کشور احتمال وقوع زلزله در طراحی سازه لحاظ گردد. در

خصوص استفاده از ژئوتکستایل، ضروری است که حداقل مدل‌سازی‌های لازم پایداری‌های لرزه‌ای در زمان وقوع زلزله طرح به‌دلیل پیش‌گیری از وقوع سطوح لغزش که سبب ناپایداری شیب سازه و یا بستر می‌شود اقدام نمود تا برای سازه‌های مهم عملکرد سازه و عملکرد ژئوتکستایل پس از زلزله تحلیل و بررسی شده و یا حداقل میزان ریسک این موضوع و تبعات آن برای مسئولان و مدیریت‌های اجرایی و انتخاب گزینه مناسب سازه‌های دریایی عادی روشن شود.

همچنین ژئوتکستایل محافظت شده یا منسوجات به‌عنوان یک کالای دارای ارزش تجاری با مقاومت بالا می‌توانند در معرض سرقت قرار گیرند. لذا، استفاده از آنها در برخی مناطق دورافتاده بدون وجود پایش لازم می‌بایست مورد بررسی و ایجاد تمهیدات لازم قرار گیرد. البته، در بسیاری موارد مثلاً در بنادر به‌دلیل وجود نیروی انتظامی خاص بندر و یا نیروی انتظامی حفاظت از سواحل، به سرقت رفتن ژئوتکستایل‌ها که امکانات و زمان قابل توجهی طلب می‌کند احتمال بالایی ندارد لیکن در عصر حاضر که در دنیا کدهای امنیتی و ایمنی برای بنادر بسیار هم جدی‌اند امکان خراب‌کاری یا اقدامات تروریستی را هم باید در یک تصمیم‌گیری یک‌پارچه کلان‌نگر لحاظ نمود.

فصل 4

ضوابط طراحی منسوجات
ژئوتکستایلی

این فصل از راهنمای حاضر حاوی ضوابط کمی طراحی است که می‌بایست ضمن رعایت اصول و ملاحظات کیفی مهم فصل قبلی خاص شرایط کشور، استفاده گردند. به دلیل سعی در جامعیت مطالب، ضوابط مراجع طراحی اروپایی (بخش‌های ۴-۴ و ۴-۵) به همراه دستورالعمل مرجع طراحی آمریکایی (بخش ۴-۳) خاص استفاده از ژئوتکستایل در سازه‌های دریایی در ادامه این فصل ارایه گردیده‌اند. هرچند، استفاده از ضوابط طراحی اروپایی به سبب متداول‌تر بودن و همچنین جامعیت بیشتر پیشنهاد می‌شود. در ادامه، پس از مروری مختصر بر الزامات عمومی طراحی، به ضوابط معتبرترین مراجع اصلی اروپایی و آمریکایی پرداخته می‌شود.

۴-۱ - الزامات عمومی طراحی

استفاده از ژئوتکستایل به‌عنوان یک پوشش فیلتری، نفوذپذیری منسوج را در برابر آب و در عین حال نفوذناپذیری در برابر عبور خاک بستر و ممانعت در برابر انسداد را ایجاد می‌کند. جریان آب از خلال ژئوتکستایل باید چنان باشد که از افت محسوس فشار ستون آب یا افزایش فشار هیدروستاتیک جلوگیری کند. یک فیلتر بهینه از ژئوتکستایلی تشکیل گردیده است که از نظر مقاومت در برابر گریز دانه‌های خاک بستر، فشار آب زیرزمینی، بارگذاری امواج و ضربه‌ی سنگ آرمور مناسب باشد. البته، به دلیل بازه‌ی وسیع محصولات تولید شده، انتخاب نوع ژئوتکستایل مناسب برای هر پروژه تا حدودی مشکل بوده و نیاز به بررسی کامل دارد. این انتخاب باید براساس مشخصه‌هایی چون قابلیت عبوردهی^۱، تخلخل و غیره صورت پذیرد. به‌علاوه، توجه به عملکرد ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در پروژه‌های مشابه نیز می‌تواند مفید باشد. شرح عوامل مختلفی که ترکیب آن‌ها در انتخاب نوع ژئوتکستایل حایز اهمیت است عبارتند از:

الف - مقاومت کششی

مقاومت کششی کافی منسوج در برابر پاره شدن تحت اثر بارهای دینامیکی ناشی از امواج، جریان‌ها یا حرکت لایه‌های سازه‌ای رویی مورد نیاز است. به‌علاوه فشار ناشی از وزن سنگ آرمور بر روی ژئوتکستایل به‌صورت یکنواخت توزیع نشده و بیشترین تمرکز تنش در نقاطی است که قطعات سنگی با ژئوتکستایل در تماس بوده که به تحمیل کرنش موضعی بالا منجر می‌شود. در سازه‌های موج‌شکن توده‌سنگی، در صورت رعایت اصل استفاده از منسوجات قوی‌تر و مقاوم‌تر، امکان قرارگیری مستقیم سنگ‌های بزرگ‌تری بر روی ژئوتکستایل فراهم می‌گردد. در نتیجه ضخامت مجموع سازه با انجام یک صرفه‌جویی در مصالح سنگی کاهش می‌یابد ولی به دلیل وجود منافذ بزرگ در لایه‌های سازه‌ای رویی می‌بایست کنترل گردد که فشار خاک یا فشار هیدروستاتیک منسوج را پاره نکند.

ب - مقاومت در برابر سوراخ‌شدگی

ژئوتکستایل‌ها می‌بایست دارای مقاومت مناسب در برابر سوراخ شدن بوده تا در حین اجرا و قرارگیری سنگ‌های لایه‌ی رویی آسیب نبینند. به‌علاوه، منسوج باید در برابر نیروی سوراخ‌کنندگی ناشی از حرکت آرمورها یا سنگ‌های لایه‌ی زیرین تحت تاثیر نیروی دینامیکی امواج هم مقاومت کند. وزن، تیزگوشه‌گی و ارتفاعی که سنگ آرمور از آن بر روی ژئوتکستایل رها می‌شود، در کنار تلاش برای اجرای سریعی که پیمانکار برای پیشرفت کار در بازه‌ی زمانی کوتاه دارد، همگی به اعمال نیروی سوراخ‌کننده بر ژئوتکستایل می‌انجامد. نیروی امواج که به حرکت سنگ‌های آرمور منجر می‌شود هم ممکن است باعث پارگی یا سوراخ‌شدگی

ژئوتکستایل در هنگام بهره‌برداری شود. به غیر از این موارد، نشست ناهمگون خاک زیرین نیز ممکن است کرنش را به‌طور موضعی افزایش دهد.

پ- کرنش در هنگام گسیختگی

ضروری است که ژئوتکستایل دارای ظرفیت کرنشی بالایی باشد تا بدون پارگی یا از دست دادن خواص هیدرولیکی در اطراف سنگ تغییرشکل دهد. اگرچه نقشه‌های طراحی ژئوتکستایل را در یک صفحه مسطح نشان می‌دهد اما در واقعیت پس از اجراء، ژئوتکستایل شکلی بسیار ناصاف و ناهمگون البته در حد رواداری‌های مجاز اجرایی خاص هر پروژه خواهد داشت. همچنین، ممکن است افزایش طول بیش از حد باعث تغییرشکل و بازشدگی منافذ گردیده و در نتیجه مشخصات نفوذپذیری فیلتر را تغییر دهد که نهایتاً ممکن است به فرار مصالح خاک بستر یا لایه زیرین هم بینجامد.

ت- مقاومت در برابر سایش

بارگذاری مستمر امواج بر روی سازه‌ی دریایی یا ساحلی می‌تواند باعث جابه‌جایی و حرکت مصالح مجاور ژئوتکستایل به‌دلیل حرکات محدود قطعات آرمور شود حتی در سازه‌هایی که نوع آرمور با پایداری استاتیکی دارند. لذا، ژئوتکستایل در این‌صورت باید در طول عمر مفید سازه در برابر سایش مقاومت لازم را داشته باشد.

ث- دوام^۲

ژئوتکستایل باید در طول عمر مفید سازه عملکرد ثابتی داشته و یا در غیر این‌صورت در بدترین حالت عملکردی پاسخ‌گوی نیازهای طراحی باشد. دوره‌ی دوام به ترکیب شیمیایی و ساختاری منسوج، مشخصات فیزیکی منسوج نهایی، تعداد و شدت عوامل محیطی مخرب و احیاناً ضعف‌های ناشی از اجرای نامناسب در طول مدت بهره‌برداری وابسته است. استحکام و مقاومت ژئوتکستایل در مقابل سوراخ‌شدگی طی طول عمر مفید سازه در اثر پدیده‌ی اکسیداسیون و در بعضی موارد آب‌کافت^۳ کاهش می‌یابد. شایان ذکر است که دوام ممکن است در اثر سایر عوامل محیطی مانند درجه‌ی حرارت، اشعه‌ی فرابنفش، آلودگی آب، هوا و یا خاک نیز کاهش یابد.

ج- ضخامت

برای مقابله با نیروی سوراخ‌کننده‌ی ناشی از تمرکز تنش در گوشه‌ی سنگ رویین و نیز تامین مسیر زهکشی جانبی هنگامی که سطح ژئوتکستایل به‌وسیله‌ی سنگ آرمور رویی مسدود گردیده، ضخامت مطلوب مورد نیاز است.

چ- فیلترکنندگی

اندازه‌ی منافذ ژئوتکستایل باید از متوسط اندازه‌ی دانه‌بندی خاکی که فیلتر می‌شود کوچک‌تر باشد تا مصالح از داخل ژئوتکستایل فرار نکنند. قانون پذیرفته شده‌ی طراحی خاص به‌کمک روش جریان بازگشتی برای ژئوتکستایل‌های معمولی بیان می‌دارد که اندازه‌ی منافذ، O_{90} ، در ژئوتکستایل باید از متوسط قطر ذرات، D_{50} ، کمتر باشد تا فیلتراسیون صورت گیرد. از آن‌جا که مقادیر خاص این عدد در ژئوتکستایل‌های مختلف متغیر بوده، لذا توصیه می‌شود که استاندارد EN ISO 12956 یا ضوابط ارایه شده در بخش الزامات طراحی رعایت گردد.

ح- نفوذپذیری

قاعده کلی فیلترها بیان می‌کند که هر لایه از سیستم فیلتر در یک سازه‌ی دریایی از جمله موج‌شکن باید نسبت به لایه‌ی زیرین نفوذپذیرتر باشد. قاعده‌ی مشابهی نیز پیشنهاد می‌کند که ضریب نفوذپذیری ژئوتکستایل خصوصا در هنگام برخورد با امواج دریا، ۱۰ الی ۱۰۰ برابر بیش از خاک زیر فیلتر باشد. به‌عنوان یک اصل مهم، شاخص نفوذپذیری ژئوتکستایل هنگامی که تحت بارگذاری قرار گرفته می‌بایست حفظ شده یا در حد مجازی افزایش یابد. به‌عبارت دیگر، قرارگیری و جهت‌گیری مجدد ذرات ریزدانه پس از اتمام بارگذاری نباید نفوذپذیری فیلتر را کاهش دهد. چراکه در طول عمر مفید سازه‌ی دریایی، با شرایط وقوع طوفان بارها و بارها می‌بایست مقابله گردد.

خ- عوامل موردی مختص به سایت‌های خاص

در برخی کاربردهای خاص از پروژه‌های دریایی، ممکن است ژئوتکستایل در معرض تغییرات دمایی، افزایش یا افت دما، یا شرایط یخ‌زدن و آب‌شدن مجدد قرار گیرد. در صورت امکان وقوع این شرایط، قابلیت بهره‌برداری ژئوتکستایل در شرایط مزبور ضروری می‌باشد. به‌علاوه، در انتخاب مصالح ژئوتکستایل باید امکان قرارگیری آن در معرض هرگونه اسید، قلیا، مواد شیمیایی و سوختی خصوصا با منشا صنعتی و غیربیولوژیکی مدنظر قرار گیرد.

به‌دلیل شرایط اقلیمی کشور، سواحل جنوبی به لحاظ شرایط دمایی، ساختگاه‌های خاص تلقی می‌شوند و همچنین به‌دلیل وجود صنایع نفتی و شیمیایی، کل سواحل شمالی و جنوبی کشور نیز به‌لحاظ امکان وجود مشتقات نفتی و پساب‌های صنعتی آسیب‌پذیر می‌باشند.

د- مسایل اجرایی

نصب ژئوتکستایل‌ها در شرایط جوی حاد، خصوصا در معرض اصابت امواج، نسبتا مشکل بوده و می‌تواند در صورت عدم ایجاد تمهیدات لازم به آسیب یا فرسایش شدید منسوج در حین نصب منجر شود. انجام عملیات نصب در کشور در شرایط نسبتا ملایم دریایی، با توجه به امکانات و تجارب اجرایی فعلی، توصیه می‌شود. حرکات اضافی لایه‌ی زیرین در اثر ضربه‌ی امواج، قبل از استقرار لایه‌ی آرمور، می‌تواند آسیب‌های شدیدی به منسوج وارد آورد. لذا، روش‌های اجرا باید به‌گونه‌ای تنظیم شود که با رعایت رواداری‌های اجرایی مجاز، کمترین آسیب به ژئوتکستایل در اثر ضربه‌ی امواج وارد آید و در واقع زمان اجرای لایه‌ی آرمور پس از اتمام اجرای لایه‌ی ژئوتکستایل به حداقل برسد چراکه در بسیاری از مناطق، وقوع طوفان‌های دریایی شدید و نسبتا ناگهانی می‌تواند تخریب کل سازه را در صورت عدم تسریع در اتمام اجرای لایه‌ی آرمور به همراه داشته باشد.

۴-۲- مقادیر کمینه‌ی مجاز خواص توصیه شده‌ی ژئوتکستایل‌ها مطابق استانداردهای آمریکایی**CEM و اروپایی RM**

مقادیر کمینه‌ی مجاز خواص توصیه شده برای ژئوتکستایل‌ها در پروژه‌های دریایی به‌تفکیک برای سه نوع بارگذاری ممکن در جدول (۴-۱) نشان داده شده است. نوع بارگذاری دینامیکی شدید، به حرکت سایشی مستمر مصالح مجاور منسوج در اثر بارگذاری سیکلی امواج اطلاق می‌شود. نوع بارگذاری دینامیکی و استاتیکی، نتیجه‌ی اعمال روش اجرایی نصب نسبتا سخت‌گیرانه‌تری است که سایش به دلیل حرکت مصالح سنگی مجاور را محدود می‌کند. نصب فشرده به همراه زهکشی، به اجرای کاربردی اطلاق می‌گردد

که در کل دوره نصب و همچنین در طی عمر مفید سازه، منسوج تقریباً عاری از حرکت فرسایش‌برانگیز مصالح مجاور ژئوتکستایل باشد. ضوابط طراحی توصیه شده توسط CEM که براساس استانداردهای آزمایش مصالح ASTM هم تنظیم شده، در جدول (۴-۱) خاص کشور آمریکا، ارایه گردیده‌اند.

به‌دلیل نوع طراحی و اجرای متداول سازه‌های دریایی توده‌سنگی و طبیعت موج سواحل کشور (به غیر از خلیج‌ها و خورها و سایر مناطق نسبتاً آرام به‌لحاظ امواج) توصیه می‌گردد که به منظور طراحی، رعایت ضوابط خاص حالت بارگذاری دینامیکی شدید، معمولاً رعایت شود.

جدول ۴-۱ - مقایسه‌ی مقادیر قابل‌قبول مشخصات و خواص مواد ژئوتکستایلی حسب کاربری‌های مختلف

دسته‌بندی			روش آزمایش	ویژگی	
C	B	A			
نصب فشرده به‌همراه زهکشی	بارگذاری دینامیکی و استاتیکی	بارگذاری دینامیکی شدید			
۰/۸۹ kN	۰/۸۹ kN	۱/۵۶ kN	ASTM D-4632	SPD* BPD** WPD***	مقاومت کششی
۰/۴۴ kN		۰/۹۸ kN			
%۳۶	%۳۶	<%۳۶	ASTM D-4632		افزایش طول در لحظه‌ی گسیختگی
۰/۳۶ kN	۰/۸۰ kN	۰/۸۷ kN	ASTM D-4884		مقاومت درزبند
۰/۲۹ kN	۰/۵۳ kN	۰/۵۳ kN	ASTM D-4883		مقاومت در برابر فشار سوراخ‌کننده
۱۶۵۰ kPa	۳۷۹۰ kPa	۳۴۵۰ kPa	ASTM D-3786		مقاومت در برابر ترک‌شدن ۴
۰/۲۷ kN	۰/۲۹ kN	۰/۴۴ kN	ASTM D-4886	SPD BPD WPD	مقاومت در برابر سایش****
۰/۱۵ kN		۰/۲۹ kN			
ملزومات اختیاری					
		۹۰٪ مقاومت مورد نیاز	ASTM D-5034		بقا در شرایط یخ زدن و آب شدن
		۸۰٪ مقاومت مورد نیاز	ASTM D-5034		بقا در شرایط دماهای بالا
		۸۵٪ مقاومت مورد نیاز	ASTM D-5034		بقا در شرایط دماهای پایین
		۹۰٪ مقاومت مورد نیاز	ASTM D-5034		اثرات اسیدها
		۹۰٪ مقاومت مورد نیاز	ASTM D-5034		اثرات قلیایی
		۸۵٪ مقاومت مورد نیاز	ASTM D-5034		اثرات مواد سوختی JP-4

* قوی‌ترین جهت اصلی؛

** هر دو جهت اصلی؛

*** ضعیف‌ترین جهت اصلی؛

**** با توجه به معیارهای این آزمایش، این نیروها باید در عرض ۲۵/۴mm (۱in.) اعمال گردد.

توجه به این نکته نیز ضروری است که قبل از شروع اجرا منسوجات ژئوتکستایلی، باید تاییدیه‌های لازم مبتنی بر انجام آزمایش‌های استاندارد به‌همراه مدارک مثبت‌ه‌ی مربوطه که بعضاً به تایید مراجع بین‌المللی هم رسیده‌اند، از طرف سازنده اخذ شود. از

جمله پارامترهای لازم برای درج در این تاییدیه‌ها، نوع منسوج (بافته‌شده یا بافته‌نشده)، نوع پلیمر مصرفی، وزن، ضخامت، مقاومت کششی، مقاومت در برابر نیروی سوراخ‌کننده، اندازه‌ی روزنه و نفوذپذیری منسوج می‌باشند. البته، برای کشور ما دوام در برابر اشعه‌ی فرابنفش و دوام شیمیایی نیز حایز اهمیت می‌باشد.

به‌منظور مقایسه، ضوابط و مشخصات مورد قبول مندرج در استاندارد اروپایی RM برای مصالح ژئوتکستایل‌های بافته‌شده و بافته‌نشده، در جدول‌های (۲-۴) و (۳-۴) نشان داده شده‌اند که جهت شرح ضوابط و روند طراحی مربوطه می‌توان به بخش (۴-۵) مراجعه نمود.

برای کاربرد مناسب منسوجات ژئوتکستایلی بافته‌نشده در فیلتراسیون و جداکنندگی در زیر لایه‌ی آرمور، آیین‌نامه‌ی RM منسوجات سوزن‌کاری شده را توصیه می‌نماید. درخصوص کاربرد ژئوتکستایل برای حفاظت پاشنه‌ی موج‌شکن‌های توده‌سنگی، توصیه‌ی آیین‌نامه‌ی RM بر استفاده از ژئوتکستایل‌های بافته‌شده می‌باشد که الیاف آن‌ها از نوع پلی‌پروپیلنی با درصد وزنی قابل قبولی از کربن سیاه فعال به مقدار حداقل ۱٪ باشد. در این‌گونه مصارف، ژئوتکستایل‌هایی که الیاف آن‌ها از بیش از یک نوع پلیمر تشکیل گردیده باشند، قابل قبول تلقی نمی‌شوند.

به‌علاوه، RM تصریح می‌کند که اضافه بر رعایت ویژگی‌ها و خواص کمینه‌ی قابل قبول ارایه شده در جدول‌های (۲-۴) و (۳-۴)، به لحاظ طراحی و اجرا می‌باید از پایداری و استحکام ژئوتکستایل (بافته‌شده و یا بافته‌نشده) در هنگام نصب و متعاقباً در حین قرارگیری لایه‌ی رویی سنگ آرمور هم اطمینان حاصل نمود. مطابق موازین این آیین‌نامه، نمونه‌هایی از ژئوتکستایل جهت آزمایش‌های لازم می‌باید حداقل ابعادی با سطح ۳۰۰ در ۳۰۰ میلیمتر داشته باشند.

جدول ۲-۴- معیارهای قابل قبول بودن ژئوتکستایل‌های بافته‌شده

شرح آزمایش	روش تست تایید شده	واحد	تعداد نمونه	خطای مجاز برای تعداد نمونه
مقاومت کششی	EN ISO 10319	kN/m	...	-۵٪
کرنش کششی	EN ISO 10319	%	...	+۵٪
خزش در اثر بارگذاری بیش از ۱۰۰۰۰ ساعت	EN ISO 13431	%	...	+۱٪
اندازه‌ی ظاهری منفذ (۹۰٪ ریزتر از) O ₉₀	EN ISO 12956	mm	...	+۱۰٪
دبی جریان آب عمود بر صفحه‌ی ژئوتکستایل در هد ۵۰mm	EN ISO 11058	1/s/m ²	...	-۱۰٪
مقاومت در برابر سوراخ‌شدگی استاتیکی CBR	EN ISO 12236	kN	...	۵٪
تغییر مکان در اثر نیروی فشاری	EN ISO 12235	mm	...	+۵٪
ضخامت در فشار ۲ kPa	EN ISO 9641	mm	...	-۵٪

توجه: تعداد نمونه‌ی نشان داده شده با نقطه چین متناسب با کاربرد خاص ژئوتکستایل، انتخاب می‌شوند.

جدول ۳-۴- معیارهای قابل قبول بودن ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده

شرح آزمایش	روش تست تایید شده	واحد	تعداد نمونه	خطای مجاز برای تعداد نمونه
دبی جریان آب عمود بر صفحه‌ی ژئوتکستایل در هد ۵۰ mm	EN ISO 11058	l/s/m ²	...	-۱۰٪
ضریب نفوذپذیری	EN ISO 11058	m/s	...	-۱۰٪
اندازه ظاهری منفذ (۹۰٪ ریزتر از) O ₉₀	EN ISO 12956	mm	...	+۱۰٪
ضریب انبساط کششی منسوج	EN ISO 10319	%	...	-۱۰٪
مقاومت کششی منسوج	EN ISO 10319	kN/m	...	-۱۰٪
قطر سوراخ تولید شده بوسیله مخروط افتان	EN 918	mm	...	-
مقاومت در برابر سوراخ‌شدگی استاتیک، CBR	EN ISO 12236	kN	...	-۱۰٪
تغییر مکان در اثر نیروی فشاری	EN ISO 12236	mm	...	-۱۰٪
افت ضخامت در اثر افزایش از ۲ kPa به ۲۰۰ kPa	EN 964	%	...	+۱۰٪
ضخامت در فشار ۲ kPa	EN ISO 9641	mm	...	-۱۰٪

توجه: تعداد نمونه‌ی نشان داده شده با نقطه چین متناسب با کاربرد خاص ژئوتکستایل، انتخاب و جایگذاری می‌شوند.

۳-۴- ضوابط فیلترکنندگی و نفوذپذیری ژئوتکستایل‌ها با توجه به استاندارد آمریکایی CEM

فیلترهای ژئوتکستایلی در سازه‌های دریایی ممکن است در معرض نوسانات سریع جریان شامل جریان‌های آشفته، تغییر فشار هیدرودینامیکی شدید و خیزآب یا افت ناگهانی و تغییرات متناوب تراز آب قرار گیرند. لذا، ژئوتکستایل برگزیده شده برای این گونه مصارف می‌باید از خارج شدن خاک بستر از منافذ سازه در شرایط فوق‌الاشاره جلوگیری کند. در عین حال، منافذ ژئوتکستایل باید آن‌چنان بزرگ بوده که اجازه‌ی عبور آب را برای زهکشی بدون ایجاد انسداد فراهم آورد.

دستورالعمل آمریکایی CEM از روش توصیه شده توسط آقای کالهن (Calhoun) برای بیان ضابطه‌ی فیلترکنندگی ژئوتکستایل‌ها استفاده کرده است. کالهن آزمایش‌های قرارگیری را برای تهیه‌ی ضوابط طراحی منسوجات ژئوتکستایلی تدارک دید که این ضوابط حسب نتایج آزمایش‌های متعدد در محل ساختگاه مورد صحت‌سنجی قرار گرفتند. توانایی ژئوتکستایل در ممانعت از خروج خاک بستر و در عین حال اجازه‌ی عبور آب به نام "مقاومت رگاب"^۵ شناخته می‌شود. در نتیجه، کالهن روشی را برای تعیین مقاومت رگاب براساس پارامترهای طراحی اندازه‌ی قطر متوسط ذرات خاک و اندازه‌ی روزنه‌ی معادل ژئوتکستایل^۶ (EOS) وضع نمود. وی هم‌چنین ضابطه‌ای را برای انسداد منسوج براساس درصد مساحت فضای باز^۷ (POA) ارائه داد. مقادیر قابل قبول EOS و POA براساس مفاد توصیه شده در جدول (۴-۴) تعیین می‌شوند.

5 - Piping resistance

6 - Equivalent Opening Size

7 - Percent of Open Area

جدول ۴-۴ - تعیین EOS و POA برای ژئوتکستایل‌ها به روش کالپون

اندازه‌ی روزنه‌ی معادل EOS
با توجه به روش کالپون پنج نمونه‌ی تازه باید مورد آزمایش قرار گیرند. ۱۵۰ گرم از هر یک از بازه‌های دانه‌بندی یا کسرهای ماسه‌ی تشکیل شده از ذرات محکم و گردگوشه یا نیمه گرد را جدا سازید:
نمونه‌ی ۱: عبوری از الک شماره‌ی ۱۰ و باقی‌مانده روی الک شماره‌ی ۲۰
نمونه‌ی ۲: عبوری از الک شماره‌ی ۲۰ و باقی‌مانده روی الک شماره‌ی ۳۰
نمونه‌ی ۳: عبوری از الک شماره‌ی ۳۰ و باقی‌مانده روی الک شماره‌ی ۴۰
نمونه‌ی ۴: عبوری از الک شماره‌ی ۴۰ و باقی‌مانده روی الک شماره‌ی ۵۰
نمونه‌ی ۵: عبوری از الک شماره‌ی ۵۰ و باقی‌مانده روی الک شماره‌ی ۷۰
نمونه‌ی ۶: عبوری از الک شماره‌ی ۷۰ و باقی‌مانده روی الک شماره‌ی ۱۰۰
نمونه‌ی ۷: عبوری از الک شماره‌ی ۱۰۰ و باقی‌مانده روی الک شماره‌ی ۱۲۰
می‌بایست پارچه‌ی ژئوتکستایلی به الک استاندارد که روزنه‌ی آن از درشت‌دانه‌ترین ماسه‌ی مورد استفاده بزرگ‌تر است به‌گونه‌ای بسته شود تا هیچ ماسه‌ای امکان عبور از فضای بین دیواره‌ی الک و پارچه را نداشته باشد. ماسه‌ها توسط کوره خشک می‌شوند. الک کردن و لرزاندن نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه ادامه می‌یابد. به کمک الک کردن (با استفاده از کسرهای پیاپی درشت‌تر) کسر ماسه‌ای که ۵ درصد یا کمتر از وزن آن از پارچه می‌گذرد تعیین می‌شود. روزنه‌ی معادل پارچه‌ی نمونه برابر شماره‌ی الک آن کسری از مصالح باقی‌مانده بر روی پارچه‌ی نمونه می‌باشد.
درصد مساحت باز POA
هر یک از پنج نمونه‌ی تازه باید به‌طور مجزا روی صفحه‌ی شیشه‌ای به ابعاد (۲ x ۲ in.) (۵۰ x ۵۰ mm) قرار داده شوند و تصویر آن‌ها توسط پروژکتوری بر آن صفحه انداخته شود. بلوکی از ۲۵ روزنه در مرکز تصویر انتخاب می‌شود و طول و عرض هر یک از ۲۵ روزنه و عرض دو تار مجاور هر روزنه با دقت $25/4 \mu\text{m}$ (۰/۰۰۱ in.) اندازه گرفته می‌شود. تعداد POA با تقسیم حاصل جمع مساحت ۲۵ روزنه بر حاصل جمع مساحت ۲۵ روزنه به‌اضافه‌ی تارهای مجاور به‌دست می‌آید.

برای ممانعت از عبور خاک درشت‌دانه‌ای که شامل وزن ۵۰٪ یا کمتر مصالح عبوری از الک شماره ۲۰۰ (قطر ۰/۰۷۴ mm) باشد، مقاومت رگاب (PR) برای ژئوتکستایل بافته‌شده با رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$PR = \frac{D_{85} \text{ of protected soil}}{EOS} \quad (1-4)$$

که در آن D_{85} اندازه قطر مربوط به ذره‌ای است که ۸۵٪ ذرات خاک ریزتر از آن باشد (به میلی‌متر). EOS در رابطه فوق برحسب میلی‌متر بیان می‌شود. در حالت ایده‌آل، اندازه‌ی مقاومت رگاب (PR) باید برابر یک یا قدری بزرگتر باشد تا زهکشی را تقویت نموده و از انسداد جلوگیری کند. با افزایش مقدار PR، مقاومت منسوج در برابر جریان نیز افزایش می‌یابد. عدم انسداد با ژئوتکستایل‌هایی تامین می‌شود که مقدار POA برابر یا بزرگ‌تر از ۴٪ دارند. اگر درصدی از سطح ژئوتکستایل توسط مصالح صاف صفحه‌ای شکل پوشانده شده باشد میزان POA مجاز منسوج باید طبعاً به تناسب آن افزایش یابد. برای مثال، اگر یک‌سوم منسوج با بلوک‌های صاف پوشانده شده باشد POA مورد نیاز باید با ضریب ۳ به ۱۲٪ افزایش یابد تا مقدار POA موثر ۴٪ را تامین کند.

ژئوتکستایل‌هایی که در مجاورت خاک‌های بستر ریزدانه‌ای با عبور بیش از ۵۰٪ وزنی ذرات آن‌ها از الک شماره‌ی ۲۰۰ قرار دارند، باید مقادیر EOS مجاز آن‌ها از اندازه‌ی الک شماره‌ی ۷۰ بیشتر نباشد (۰/۲۱۰ mm). به عنوان یک اصل، ژئوتکستایل‌هایی با EOS کوچک‌تر از الک شماره ۱۰۰ (۰/۱۴۹ mm) نباید به‌عنوان فیلتر در پروژه‌های دریایی به‌کار روند.

۴-۴- روش طراحی منسوجات ژئوتکستایلی مطابق دستورالعمل MAG

۴-۴-۱- کلیات

در این بخش روش طراحی منسوجات ژئوتکستایلی توسط آیین‌نامه‌ی طراحی و کاربرد ژئوتکستایل‌ها در آبراهه‌های دریایی و داخلی که توسط موسسه‌ی تحقیقات و مهندسی آبراهه‌های آلمان (MAG) در ۱۹۹۳ منتشر گردیده است ارائه می‌گردد. استفاده از این آیین‌نامه در طراحی تفصیلی ژئوتکستایل‌ها توسط مراجع به‌روزتری چون آیین‌نامه‌ی RM نیز توصیه شده است. بنا بر توصیه‌ی MAG ژئوتکستایل و درزبندهای آن باید با توجه به هر دو نوع ملاحظات خواص مقاومتی و پایداری فیلتری شوند. این ملزومات با عنایت به لزوم پایه‌های زیر استوار می‌گردند:

- آزمایش‌های کارایی یا عملکرد؛

- ضوابط طراحی صحیح؛

- دانش تجربی مطمئن.

به هنگام کاربرد ژئوتکستایل به عنوان لایه‌ی فیلتر در حفاظت شیب‌ها و بستر مطابق شکل (پ-۳-۱۹)، استفاده از الزامات روند دسته‌بندی MAG توصیه می‌شود. این الزامات اساساً بر پایه‌ی آزمایش‌های کارایی مبتنی بر اندازه‌گیری‌های تجربی به‌دست آمده‌اند. به کمک این روش پس از تعیین نوع خاک بستر، ضوابط طراحی ژئوتکستایل مطابق جدول‌های (۴-۵) و (۴-۶) قابل استفاده است. در خصوص کاربردهای مختلف ژئوتکستایل‌ها، شرایط لایه‌ی رویی و شرایط مرزی، مقادیر هر مورد خاص به‌دست آمده باید به‌صورت جداگانه تعیین و برای نوع کاربرد مورد مطالعه‌ی ارزیابی گردد.

۴-۴-۲- پایداری لایه‌ی فیلتر

۴-۴-۱- کلیات

الزامات پایداری فیلتراسیون ژئوتکستایل در حالت وجود لایه‌ی بالایی نفوذپذیر بر ضوابط زیر استوار گردیده است:

الف - بارگذاری هیدرولیکی دینامیکی

- روند تعیین نوع خاک با توجه به روش آیین‌نامه‌ی MAG (ر.ک. ۴-۴-۲-۲)؛

- ضوابط فیلترها (ر.ک. ۴-۴-۲-۳)؛

ب - بارگذاری استاتیکی

- ضوابط فیلترها (ر.ک. ۴-۴-۲-۳)؛

در بارگذاری دینامیکی (ر.ک. ۳-۳-۲)، پایداری فیلتراسیون مکانیکی اولویت دارد. هنگامی که خاک شامل محدوده‌ی وسیعی از خاک‌های چسبنده و غیرچسبنده می‌شود، پایداری فیلتراسیون مکانیکی باید بر پایه‌ی منحنی دانه‌بندی ریزدانه‌ترین خاک غیرچسبنده در کل پهنه‌ی دانه‌بندی کنترل شود. کفایت طراحی در صورتی احراز می‌گردد که میزان نفوذپذیری ژئوتکستایل از

نفوذپذیری نفوذپذیرترین دانه بندی خاک در کل محدوده‌ی دانه بندی‌های موجود حتی در صورت انسداد نسبی ژئوتکستایل پس از اجرا هم کمتر نباشد.

از سوی دیگر، در صورتی که بارگذاری استاتیکی باشد، پایداری هیدرولیکی فیلتر اولویت می‌یابد. MAG توصیه می‌کند که ژئوتکستایل باید بر حسب نفوذپذیرترین دانه بندی موجود در پهنه‌ی دانه بندی‌ها طراحی شود تا ریزدانه‌ترین دانه‌های غیرچسبنده هم امکان حرکت نیابند.

هنگامی که ژئوتکستایل بر روی خاک فرار زیرین قرار می‌گیرد موارد زیر بر اساس بخش (۶-۶-۲) مطرح می‌گردد:

- ابعاد روزه‌های ژئوتکستایل به اندازه‌ی کافی بزرگ بوده تا بخش‌های متحرک مجاز دانه‌ها اجازه‌ی عبور از آن‌را پیدا کنند؛
- ابعاد روزه‌های ژئوتکستایل چنان کوچک بوده که بخش‌های متحرک غیرمجاز دانه‌ها مهار شده و حرکت نکنند. پایداری و کارکرد مفید سازه نباید در اثر افزایش محتمل تراز خط آزاد نشت به مخاطره افتد.
- البته شایان ذکر است، هنگامی که ژئوتکستایل در زیر یک لایه‌ی نفوذناپذیر رویی (لایه‌ی پوشش) اجرا شود اعمال ضوابط ویژه‌ای توصیه شده است (ر.ک. ۴-۴-۲). البته، در کشور ما سازه‌های دریایی و ساحلی عمدتاً از نوع لایه‌ی نفوذپذیری رویی می‌باشند.

۴-۲-۴-۲- روند طراحی MAG بر اساس نوع خاک

الف - اصول اولیه

این روند طراحی بر پایه‌ی نوع خاک طبقه بندی شده توسط MAG برای ارزیابی مناسب بودن استفاده از فیلتر ژئوتکستایل در حفاظت شیب‌ها و بستر آبراهه‌ها ارایه شده است. این روش براساس بارگذاری هیدرولیکی دینامیکی لایه‌ی فیلتر که در آبراهه‌ها به دلیل وجود جزر و مد، امواج و غیره حالت غالب می‌باشند استوار گردیده است. لذا، این روش فقط در حالت وقوع بارگذاری هیدرولیکی دینامیکی بر فیلترها مناسب است.

برای استفاده از این روند طراحی، گستره‌ی خاک‌های غیرچسبنده تا خاک‌هایی با چسبندگی پایین از سیلت گرفته تا شن با دانه‌های متوسط براساس معیارهای دانه بندی خاک در استاندارد DIN طی چهار گروه دسته بندی شده‌اند (پیوست ۶).

در انجام آزمایش‌های پایه بر روی هریک از محصولات ژئوتکستالی، بارهای دینامیکی وارد بر فیلتر در آبراهه‌ها به وسیله یکی از آزمایش‌های کارکردی زیر شبیه سازی می‌شود:

- افت سریع و بالا آمدن مجدد سطح آب به روش گذر جریان از خلال خاک^۹؛

- جریان آشفته به موازات سطح فیلتر در اثر امواج، جریانات بازگشتی و چرخه‌ای^{۱۰} به وسیله روش جریان بازگشتی آشفته^{۱۱}.

9 - Flow through method

10 - Screw-race

11 - Reversing turbulent flow method

جرم خاک عبوری از خلال ژئوتکستایل و نفوذپذیری ژئوتکستایل با در نظر گرفتن ذرات خاک به دام افتاده پس از آزمایش محاسبه می‌شود. این آزمایش با دانه‌بندی‌ای نزدیک به مرز ریزدانه‌ی بازه‌ی خاک موجود انجام می‌شود (پیوست ۶). ترجیحا آزمایش‌های کنترل کارایی^{۱۲} در محل نیز می‌تواند صورت پذیرد (ر.ک. ۷-۳).

برای خاک‌های نفوذپذیر (انواع خاک ۱ الی ۳)، روش‌های گذر جریان از خلال خاک منجر به از دست رفتن مقادیر غیرقابل قبول تری از خاک می‌شود، در حالی که در خاک‌های با نفوذپذیری کم (نوع ۴) روش جریان بازگشتی آشفته به این امر می‌انجامد.

ب - استفاده از اصل لایه‌های رویی نفوذپذیر

بدیهی است که منحنی دانه‌بندی خاک زیرین به‌عنوان زیرلایه باید در دسترس طراح باشد (ر.ک. ۳-۲-۱)، لیکن اگر خاک زیرین از نوع چسبنده باشد مقادیر c_u و I_p نیز باید تعیین گردند.

اگر مقدار دقیق c_u و I_p معلوم نبوده و یا در محدوده $c_u < 10 \text{ kN/m}^2$ و $I_p < 0.15$ باشند، توصیه می‌شود که در راستای اطمینان بیشتر ژئوتکستایل برای خاک نوع ۴ طراحی شود.

اگر طبقه‌بندی خاک زیرینی براساس بخش (۳-۳-۱-۲) به‌عنوان خاک غیرچسبنده باشد، این خاک براساس منحنی دانه‌بندی ریزدانه‌ترین کسر خاک غیرچسبنده از کل پهنه‌ی دانه‌بندی‌های موجود در خاک در زمره‌ی یکی از انواع خاک ۱ الی ۴ دسته‌بندی می‌شود (شکل‌های پ-۶-۱ تا پ-۶-۲). تعیین نوع خاک زیرین به منظور تامین ویژگی فیلتراسیون براساس این امر که کسر دانه‌بندی d_5 تا d_{60} آن در بازه‌ی مجاز کدام یک از دسته‌های خاک ۱ الی ۴ قرار گرفته صورت می‌گیرد.

اگر نتایج حاصل از آزمایش‌های عمومی خاص خاک که شامل ضخامت لایه (ر.ک. ۴-۳-۴-۴)، وزن خاک عبوری و مقدار k_n (در $h = 0.25 \text{ m}$) می‌شود، در بازه‌ی مقادیر توصیه شده در جدول (۴-۵) قرار گیرد، در آن صورت انتظار می‌رود که خواص ژئوتکستایل برای آن خاک مناسب باشد. مقدار حدی مجاز خاک عبوری در آخرین مرحله آزمایش (M_1) معرف رعایت موازنه کافی خاک از دست‌رفته در خلال آزمایش است.

جدول ۴-۵- ضوابط متداول جهت رعایت خواص فیلتری ژئوتکستایل

در زیر لایه‌ی رویی نفوذپذیر					
۶	۵	۴	۳	۲	۱
مقدار k_n برای ژئوتکستایل پر شده با خاک ^۵ (m/s)	جرم خاک عبور کرده در آخرین آزمایش (M_1) $(g/184cm^2)^*$	جرم کلی خاک عبور کرده (M_t) $(g/184cm^2)^*$	ضخامت لایه‌ی فیلتر $T(mm)$	خاک زیرین	ردیف
$k_n \geq 8 \times 10^{-4}$	$M_1 \leq 30$	$M_t \leq 300^*$	$T \geq 4.5^{**}$	نوع ۱	۱
$k_n \geq 6 \times 10^{-4}$			$T \geq 4.5^{**}$	نوع ۲	۲
$k_n \geq 1 \times 10^{-4}$			$T \geq 4.5$	نوع ۳	۳
$k_n \geq 1 \times 10^{-7}$			$T \geq 6.0$	نوع ۴	۴
الزامات مرتبط با نوع خاک ۴ صادق است	الزامات بر اساس خاک نوع ۱ الی ۴ صادق است (انتخاب آزاد)		الزامی در دست نیست	خاک چسبنده با $c_u \geq 10kN/m^2$ و $I_p \geq 0.15^{**}$	۵
الزامات مرتبط با نوع خاک ۴ صادق است			الزامی در دست نیست	خاک چسبنده با $c_u < 10kN/m^2$ یا $I_p < 0.15^{**}$	۶
در زیر لایه رویی نفوذ ناپذیر					
$k_n \leq 1 \times 10^{-5}$	الزامات خاک نوع ۴ صادق است		$T < 5.0$	مستقل از نوع خاک خاک زیرین	۷

* وزن بر اساس گرم، مرتبط با مساحت در معرض آزمایش [۴۷]

** فقط برای دانه‌بندی‌هایی که ممکن است در اثر انسداد به کاهش نفوذپذیری بینجامد صادق است.

♦ $300 g/184 cm^2 = 16.3 kg/m^2$

♦♦ اگر c_u و I_p مجهول باشند الزامات خاک نوع ۴ صادق است.

◇ $h = 0.25 m$

در صورت قرارگیری بخشی از خاک زیرین در خارج محدوده‌ی دانه‌بندی یکی از چهار نوع خاک ارایه شده در شکل‌های (پ-۶) و (پ-۶) توصیه می‌گردد که فیلتر ژئوتکستایلی برای تمام انواع خاکی که در بازه‌ی d_5 الی d_{60} قرار می‌گیرند طراحی شود. به عبارت دیگر کلیه‌ی الزامات مربوطه‌ی فوق‌الذکر باید رعایت گردد (ر.ک. مثال پیوست ۷).

شایان ذکر است که میزان خاک مجاز از دست رفته در روش گذر جریان به دلیل تعداد آزمایش‌های عملی نسبتاً اندک انجام شده در مقایسه با روش جریان آشفته معکوس، ناچاراً در راستای اطمینان برابر ۲۵g در نظر گرفته می‌شود. از آن‌جا که در این مطالعات، بررسی حالت‌های بارگذاری متعدد جرم خاک از دست رفته به میزان قابل توجهی افزایش داده نشده، لذا مقادیر حدی آن مساوی با خاص خاک نوع ۴ در نظر گرفته می‌شود.

اصولاً، مقادیر k_n در ژئوتکستایل پر شده توسط خاک می‌بایست حداقل دو برابر مقادیر متناظر خاک زیرین در نظر گرفته شود (البته، در خاک‌های سیلتی حداقل ۱۰ برابر بیشتر).

برحسب مقادیر چسبندگی ظاهری و شاخص خمیری، در الزامات یاد شده برای فیلتراسیون خاص خاک‌های چسبنده، قدری تخفیف نسبی اعمال می‌شود. در حالتی که $c_u \geq 10kN/m^2$ و $I_p \geq 0.15$ باشد (جدول ۴-۵)، بر حسب نتایج آزمایش‌های فیلترکنندگی، هر ژئوتکستایلی که ضوابط جرم خاک مجاز از دست رفته را در یکی از انواع خاک ۱ الی ۴ تامین کند در این صورت

قابل استفاده خواهد بود [۴۸]. در حالتی که $c_u < 10 \text{ kN/m}^2$ و $I_p < 0.15$ باشد، هر ژئوتکستایلی که جرم خاک از دست رفته‌ی آن در محدوده‌ی مجاز خاک نوع ۴ باشد برای عملکرد به عنوان فیلتر مناسب خواهد بود.

پ - استفاده از لایه‌های رویی نفوذناپذیر

ژئوتکستایلی که به عنوان لایه‌ی جداکننده در زیر یک لایه‌ی رویی نفوذناپذیر استفاده می‌شود (پوشش سخت)، باید بتواند در هنگام ترک خوردگی پوشش بالایی به صورت کاربرد طبیعی و خود به خود آب‌بندی لازم را تامین نماید. برای این منظور، ضروری است مستقل از نوع خاک زیرین، پایداری مکانیکی فیلتر، براساس یک خاک سیلتی طراحی شود (خاک نوع ۴، جدول ۴-۵، خط ۷)، در این حالت مقادیر نفوذپذیری و ضخامت لایه باید کمترین ممکن باشد. در حالت تراوش^۳، ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده به دلیل نفوذپذیری آن‌ها در امتداد صفحه‌ی ژئوتکستایل مشابه ضوابط خاص یک لایه زهکش عمل می‌کنند (ر.ک. ۶-۶-۲).

۴-۲-۳ - ضوابط فیلتر

الف - کلیات

برای ژئوتکستایل‌هایی که به عنوان لایه‌ی فیلتری زیر یک لایه‌ی آرمور نفوذپذیر، که عمدتاً در کشور سازه‌های حفاظت ساحلی و موج‌شکن‌ها از این نوع‌اند، استفاده می‌شوند، ضوابط ارایه شده در پیوست (۸) الزامی است. این ضوابط براساس تعیین اندازه‌ی بزرگ‌ترین روزنه‌ی ممکن تنظیم گردیده است (ر.ک. ۴-۳-۳)، که برحسب بارگذاری هیدرولیکی برای حفاظت دانه‌بندی خاک زیرین نیز هنوز قابل استفاده باشد. این ضوابط، به عنوان اصول معتبر کلی، از قواعد موجود فیلترهای دانه‌ای به دست آمده که صرفاً برای بازه‌ی خاصی از دانه‌بندی‌ها اعتبار دارد. بنابراین، این ضوابط درباره‌ی بعضی از خاک‌ها، بسته به شرایط مرزی ساخت دارای مسامحه بوده و بینابینی تلقی می‌شود که استفاده از این سری ضوابط می‌بایست با رعایت ملاحظات خاص صورت گیرد.

ب - طراحی لایه‌ی فیلتر

MAG تاکید کرده است که هنگام طراحی لایه‌ی فیلتر ژئوتکستایلی باید بین دانه‌بندی مصالح خاکی انواع A, B, C و همچنین بین بارگذاری استاتیکی و دینامیکی در محدوده‌ی فیلتر تمایز قایل شد. قواعد طراحی و مثال‌های عملی در پیوست (۸) آورده شده‌اند.

در خصوص خاک‌های با دانه‌بندی در بازه‌ی A، با توجه به روند طراحی MAG (پیوست ۷) ضروری است لایه‌ی ژئوتکستایلی واقع در زیر سازه‌های دارای کاربری حساس به نشست، براساس بارهای هیدرودینامیکی طراحی شود (ر.ک. ۴-۲-۲).

پ - طراحی لایه‌ی جداکننده

لایه‌ی جداکننده معمولاً به عنوان مهارکننده‌ی مطمئن خاک و جلوگیری از عبور آن طراحی می‌شود (ر.ک. ۱-۳-۳ و ۳-۲-۲)، برای رسیدن به این هدف کافی است حداکثر اندازه‌ی مجاز روزنه‌ی ژئوتکستایل براساس محدودیت‌ها و شرایط مرزی واقعی دانه‌بندی موجود حین عملیات اجرا در ساختگاه تعیین شود (بخش ۴-۳-۳).

۴-۴-۳- خواص مواد و مصالح

۴-۴-۳-۱- کلیات

الزامات عمومی کیفیت مواد مطابق مراجع [۴۵] و [۴۶] قابل اعمال می‌باشد. ژئوتکستایل‌ها باید به مقدار کافی قابلیت انعطاف و انبساط داشته باشند تا تحت وزن لایه‌ی حفاظتی پوششی، تماس کامل خود با زیرلایه‌ای که خود ناهمواری‌های متعارفی دارد را حفظ نموده و در عین حال پایداری فیلتری خود را نیز از دست ندهند. معمولاً، ژئوتکستایل‌های سوزن‌کاری‌شده نسبت به محصولات متصل شده با چسب یا تهیه شده تحت فرایند ذوب و نیز نسبت به ژئوتکستایل‌های بافته‌شده از میزان انبساط و انعطاف‌پذیری بیشتری برخوردار هستند. به‌عنوان یک اصل کلی، ملحقات سازه‌ای انعطاف‌پذیری ژئوتکستایل را کاهش می‌دهند.

ضروری است که ژئوتکستایل و درزبندهای آن به‌گونه‌ای طراحی شوند که نیروهای مکانیکی خواص فیلترکنندگی آن‌ها را در طول عمر مفید سازه تحت‌تاثیر قرار ندهند و موجب خسارت ناشی از نیاز به تعمیر آتی از این لحاظ هم نگردند. معمولاً، بارگذاری‌هایی که در حین عملیات اجرایی ایجاد می‌شوند مرتبط با تعیین خواص مواد مصرفی می‌باشند (ر.ک. ۳-۳-۳-۲).

اهم خواص فیزیکی و شیمیایی مواد خام الیاف‌گونه‌ی متعارف (ر.ک. ۳-۳-۴-۱)، در پیوست (۵) ارایه گردیده‌اند. براساس تجربیات موجود، این مواد خام الیاف‌گونه از لحاظ زیست‌محیطی سازگار و مناسب تلقی می‌گردند.

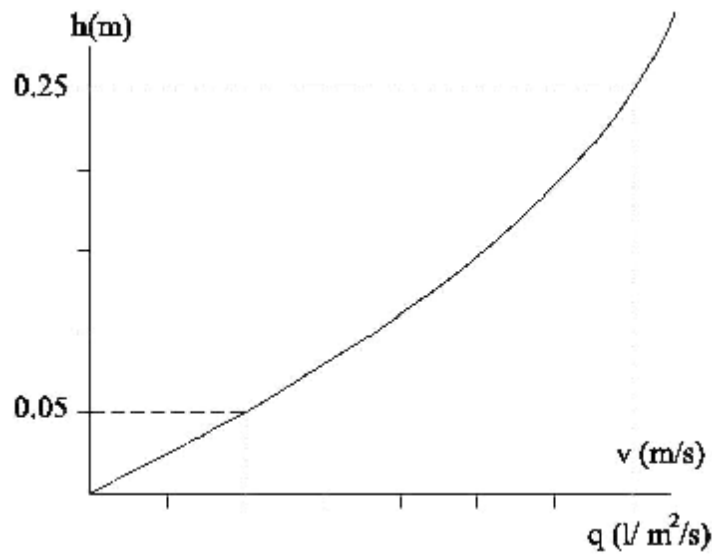
۴-۴-۳-۲- نفوذپذیری

نفوذپذیری ژئوتکستایل تحت تاثیر میزان تخلخل (در ژئوتکستایل‌های بافته نشده حدود ۹۵٪-۸۰٪)، اندازه‌ی منافذ و روزنه‌ها، نحوه‌ی توزیع ابعاد روزنه‌ها و ضخامت لایه می‌باشد.

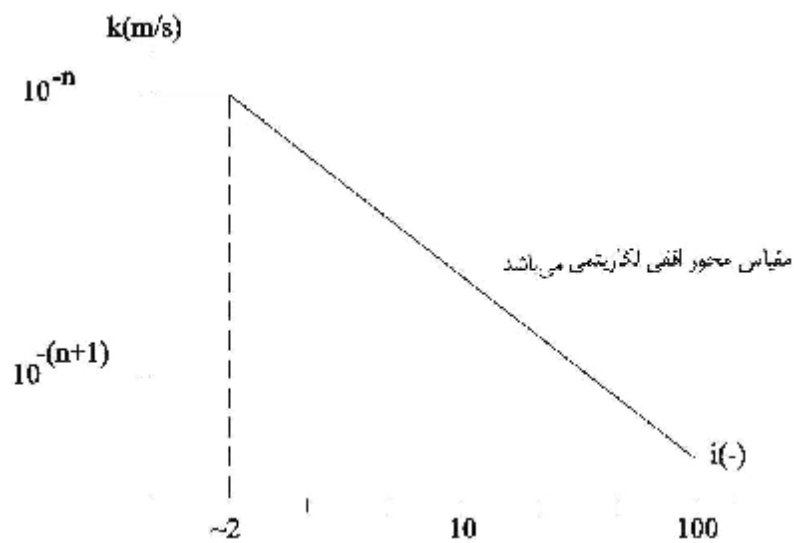
نفوذپذیری بر حسب پارامترهای زیر ارایه می‌شود:

- سرعت جریان v بر حسب (m/s)؛
- دبی واحد طول جریان q بر حسب (l/m².s)؛
- ضریب نفوذپذیری در راستای عمود بر صفحه‌ی ژئوتکستایل k_n بر حسب (m/s).

v یا q با افزایش هد هیدرولیکی افزایش می‌یابند (شکل ۴-۱)؛ k_n با افزایش گرادیان هیدرولیکی i کاهش یافته و در بازه‌ی جریان ملایم ($i \leq 2$) مقدار ثابتی دارد. لذا، منطقی آن است که در هنگام مقایسه نفوذپذیری، جهت تفسیر مناسب نتایج مقایسه شاخص‌های عددی مربوطه در هد هیدرولیکی مشخصی با هم مقایسه شوند ($h = 0.05\text{m}$ یا $h = 0.25\text{m}$) [۴۷]. هم‌چنین، از آن‌جا که مقادیر q, v و k_n با افزایش درجه حرارت زیاد می‌شوند بنابراین معمولاً همه‌ی مقادیر برای درجه دمای 20°C داده می‌شوند (k برای خاک‌ها در 10°C با توجه به استاندارد DIN 18 130 داده می‌شود).



شکل ۱-۴ - تغییر سرعت جریان و دبی در واحد طول جریان بر حسب ارتفاع ستون آب (h)



شکل ۲-۴ - تغییر ضریب نفوذپذیری بر حسب گرادیان هیدرولیکی

در حین و یا پس از اجرا؛ میزان نفوذپذیری ژئوتکستایل نو و استفاده نشده ممکن است در طول زمان استفاده تحت عوامل زیر از حد اولیه پیش از اجرا کاهش یابد:

الف - در دام افتادن ذرات خاک (انسداد، گرفتگی)

انسداد (گرفتگی) در ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده هنگامی که $D_w > 0.5 \times d_2$ باشد و در ژئوتکستایل‌های بافته‌شده تحت شرایط $U < 3$ رخ می‌دهد. معمولاً کاهش q, v و k_n فقط می‌تواند به وسیله‌ی آزمایش‌های کارایی تعیین شود (ر.ک. ۲-۲-۴-۴). لیکن، برای ژئوتکستایل‌های ضخیم بافته‌شده ($T > 2 \text{ mm}$) با توجه به تجربیات موجود ضرایب ایمنی به شرح صفحه‌ی بعد را می‌توان در نظر گرفت:

$$h \geq 0.05m \quad \text{در} \quad \begin{cases} k_n \geq 50 k_{soil} \\ k_n \geq 10 k_{soil} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{- خاک‌های سیلتی} \\ \text{- خاک‌های با سیلت کم} \end{array}$$

ب - جمع شدن ذرات ریزدانه

عموماً به خاک‌های فرار مرتبط است (ر.ک. ۵-۱-۳-۳).

پ - کلوخه‌شدن و تشکیل گل‌اخرا (ر.ک. ۲-۴-۳-۳)

ت - سربار یکنواخت

با توجه به بخش (۵-۳-۴-۴) میزان کاهش q, v و k_n تحت فشار $\sigma \leq 2kPa$ حتی در ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده ضخیم قابل صرف‌نظر است (تحقیقات منتشر نشده MAG).

ث - کاهش سطح فیلتر توسط آرمورهای حجیم (ر.ک. ۴-۳-۴-۴)

بنابراین، وقوع این پدیده‌های فوق‌الذکر هم در طراحی و تعیین پارامترهای مجاز می‌بایست توسط طراح پیش‌بینی شود.

۴-۳-۴-۴ - اندازه‌ی روزنه‌ها

اندازه‌ی منافذ روزنه‌های ژئوتکستایل با پارامتر D_w هم بیان می‌گردد (البته، اندازه‌ی روزنه‌ی موثر معمولاً با O_{90} نشان داده می‌شود). D_w معمولاً با الک کردن به‌دست آمده که در آن ژئوتکستایل به‌عنوان الک به‌کار گرفته می‌شود. در این راستا، عبارت $D_w(O_{90}) = X$ به این معناست که ۹۰٪ منافذ کوچک‌تر یا مساوی قطر X سنگ‌دانه هستند.

$D_w(O_{90})$ به‌عنوان شاخص مقاومت دانه‌های خاک بستر نسبت به حرکت و بنابر قواعد فیلترها در طراحی ژئوتکستایل مورد استفاده قرار می‌گیرد (ر.ک. ۳-۲-۴-۴). البته، اندازه‌ی این پارامتر ثابت و غیرقابل‌تغییر نیست. این مقدار در اثر سربار می‌تواند کاهش یافته و یا برحسب نوع و مقاومت ژئوتکستایل مصرفی تحت اثر تغییرشکل‌های ژئوتکستایل و تغییر مکان الیاف ناشی از ضربه‌ی دینامیکی وارده در عمر مفید سازه افزایش هم یابد. در صورت لزوم، برای اثبات حصول حاشیه‌ی ایمنی بالا ثبات این پارامتر باید به‌وسیله‌ی آزمایش‌های تشخیص کنترل‌کارایی کنترل شود (ر.ک. ۳-۷). معمولاً، وقوع این موضوع در حالت استفاده از ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده با مقاومت نسبت به حرکت کافی در حد بخش (۵-۳-۴-۴) و در حالت کاربرد ژئوتکستایل‌های بافته‌شده با نقاط اتصال و گره‌های ثابت، حاد نمی‌باشد.

البته، پارامتر D_w پایداری فیلتراسیون هیدرولیکی ژئوتکستایل را که تابع تخلخل ژئوتکستایل و توزیع ابعاد منافذ و ضخامت لایه هم هست را نشان نمی‌دهد (ر.ک. ۲-۳-۴-۴ و ۴-۳-۴-۴). برای ملاحظات مرتبط با مقادیر D_w لایه‌های اضافی، بخش (۲-۶-۶) را ملاحظه نمایید.

۴-۳-۴-۴ - ضخامت لایه

الف - ضخامت لایه از منظر کارکرد فیلترکنندگی

البته، ضخامت لایه بر پایداری و عملکرد فیلتری ژئوتکستایل تاثیر می‌گذارد. با افزایش ضخامت لایه:

- تبعات احتمال تغییرات چگالی جرمی در واحد سطح با تغییر اندازه‌ی منافذ کاهش می‌یابد (ایمنی بیشتر در برابر

آب‌شستگی)؛

- حساسیت ژئوتکستایل نسبت به تغییرات زیاد در دانه‌بندی خاک زیرین کاهش می‌یابد (ایمنی بیشتر در برابر آب‌شستگی)؛
- ضربات هیدرودینامیکی (امواج و جریان‌های آشفته) که به‌واسطه ژئوتکستایل بر خاک زیرین وارد می‌شود می‌تواند بهتر مستهلک شود. به عبارت دیگر، با افزایش ضخامت لایه، بدون اینکه مقاومت فرسایشی خاک زیرین به خطر افتد می‌توان از ژئوتکستایل‌هایی با منافذ بزرگتر استفاده کرد (مقاومت بیشتر در برابر انسداد)؛
- قابلیت زهکشی حتی در نقاطی از فیلتر که با قطعات بزرگی از آرمور پوشیده شده، تقویت می‌شود (پایداری مکانیکی بیشتر).

در حالت عادی، حداقل مقادیر داده شده در جدول (۴-۶) در خصوص ضخامت لایه‌ها جهت اعمال قابل توصیه می‌باشند. افزایش ضخامت لایه به‌عنوان یکی از الزامات طراحی فیلتر در حالت‌های خاص و نسبتاً نادر زیر می‌تواند قابل صرف‌نظر کردن باشد:

- در حالتی که سطح ایمنی پایینی ملاک باشد مثلاً برای سازه‌های کوچک‌تر و موقت؛
- زمانی که خاک زیرین دقیقاً مشخص و شناخته شده بوده و طبیعتی همگون هم داشته باشد (با بازه‌ی دانه‌بندی بسیار کوچک نسبی)؛
- اجرا روی خاک زیرین درشت‌دانه در صورتی که کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در نفوذپذیری در اثر انسداد و بلوکه شدن منافذ ژئوتکستایل حادث نشود (ر.ک. ۴-۴-۳-۲)؛
- در حالتی که اساساً نفوذپذیری ژئوتکستایل در صفحه‌ی امتداد خود اهمیت چندانی نداشته باشد (اندازه‌ی نسبتاً کوچک ذرات لایه‌های رویی).

ب - ضخامت لایه از منظر کارکرد جداکنندگی

هنگامی که ژئوتکستایل عملکرد جداکنندگی داشته باشد (ر.ک. ۳-۲-۲)، نیازی به تعیین حداقل ضخامت لایه نمی‌باشد. در این صورت، ضخامت لایه فقط به ویژگی‌های مقاومتی مورد نیاز برای ژئوتکستایل در آن کاربری خاص بستگی خواهد داشت.

۴-۳-۵ - مقاومت و کرنش کششی ژئوتکستایل

حداقل مقادیر مقاومت کششی ژئوتکستایل در هنگام گسیختگی بنا بر توصیه‌ی MAG در جدول (۴-۶) ارائه گردیده لیکن استفاده از مقادیر مربوطه فقط هنگامی که در زیر لایه آرمور با شیب ۱:۲ یا کمتر اجرا شود معتبر است. این آیین‌نامه مقادیر مذکور را برای پوشش تنش‌های کششی متعارف غیرقابل اجتناب دارای کفایت بیان می‌نماید (ر.ک. ۳-۳-۳). این مقادیر، میزان نیروهای کششی موجود ناشی از فشار جریان ($v \leq 1.5 \text{ m/s}$) را نیز برای حالت نصب در زیر سطح آب مدنظر قرار می‌دهد. درخصوص ژئوتکستایل‌هایی که در معرض پوسیدگی و کهنگی قرار می‌گیرند، اثبات حفظ مقاومت کششی باقیمانده آن‌ها در حد مجاز پس از انجام آزمایش سایش باید احراز گردد (ر.ک. ۴-۴-۳-۷).

برای شیب‌های سازه‌ای تندتر از ۱:۲ یا در حالتی که بارگذاری ناشی از جریان یا امواج به هنگام اجرای ژئوتکستایل به میزان قابل‌ملاحظه‌ای است، مقاومت کششی لازم جهت کنترل وقوع ناپایداری از نوع گسیختگی باید به‌طور جداگانه بررسی و تعیین شود. کرنش در ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده در اثر تنش‌های کششی تک محوری ممکن است در هنگام گسیختگی تا ۱۵۰٪ نیز برسد در حالی که معمولاً این مقدار برای ژئوتکستایل‌های بافته‌شده بسیار کمتر از ۲۰٪ است. در خصوص ژئوتکستایل‌های متصل به

شبه‌ی چپری (تشک استغراق)، مقاومت کششی لازم در هنگام گسیختگی به اندازه‌ی تشک و نحوه‌ی قرارگیری آن بستگی داشته و می‌بایست بررسی شود (ر.ک. ۶-۶-۳).

۴-۴-۳-۶- مقاومت در برابر نیروی‌های دینامیکی سوراخ‌کننده

هنگام قراردادن لایه‌ی پوششی آرمور سنگی، ژئوتکستایل در معرض نیروهای دینامیکی سوراخ‌کننده‌ی ناشی از سقوط مصالح در اثر ترکیب عوامل زیر قرار می‌گیرد:

- شکل و وزن سنگ‌ها؛
- ارتفاع سقوط سنگ‌ها؛
- مقاومت خاک زیرین؛

- روش نصب در زیر آب یا در محیط خشک.

لذا، ضروری است که از مقاومت ژئوتکستایل در مقابل این بارهای اجرایی اطمینان حاصل گردد. مقادیر انرژی ناشی از سقوط مصالح در جدول (۴-۶) ارائه شده‌اند که با نیروی ناشی از سقوط سنگ آرمور کلاس II به وزن ۳۰kg (کلاس III، ۶۰kg) در محیط خشک از ارتفاع ۲m متناظراند [۴۷ و ۵۴]. جدول (۴-۶) برای شرایط نصب در زیر آب (ر.ک. ۳-۳-۳) اگرچه که وزن سنگ‌های آرمور در حین سقوط کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد هم به دلیل امکان وقوع بسیاری مسایل پیش‌بینی نشده‌ی اجرایی رعایت شود. محاسبه‌ی انرژی سقوط به طریقی مشابه برای سنگ‌های سبک‌تر یا سنگین‌تر نیز به‌منظور تعیین مقاومت ژئوتکستایل در برابر نیروی دینامیکی ناشی از سقوط مصالح امکان‌پذیر است. تجربیات عملی نشان می‌دهد که ژئوتکستایل‌های با چگالی سطحی $\mu \geq 500 \text{gr/m}^2$ و مقاومت کافی مطابق جدول (۴-۶) در برابر سوراخ‌کنندگی افتادن سنگ‌های کلاس II هنگامی که خاک زیرین ماسه‌ای ریزدانه و ریزتر (خاک نوع ۲ الی ۴) باشد، به میزان کافی مقاومت دارند. در حالت وجود خاک زیرین درشت‌دانه‌تر در ساختگاه پروژه و یا استفاده از سنگ‌های سنگین‌تر در اجراء، ضروری است مقاومت ژئوتکستایل در برابر نیروی دینامیکی ناشی از سقوط مصالح توسط آزمایش‌های کنترل‌کارایی به‌صورت متقن اثبات شود (ر.ک. ۳-۷).

۴-۴-۳-۷- مقاومت در برابر بارگذاری سایشی

اثر نیروهای سایشی ایجاد خسارات به ژئوتکستایل در طولانی مدت می‌باشد (ر.ک. ۳-۳-۳)، که براساس تجربیات عملی، این نیروها در دو حالت زیر ایجاد می‌گردند:

- تغییرات زیاد سطح آب مثلاً به لحاظ جزر و مد یا طوفان‌های دریایی در محدوده‌ی تماس لایه‌ی محافظتی آرمور با تخلخل بالا (اندازه‌ی آرمور سنگی کلاس II یا بزرگتر)؛

- یا در اثر حرکت سایشی سیستم‌های بلوک بتنی نفوذپذیر در سطح ژئوتکستایل تحت اثر بارگذاری شدید امواج.

ژئوتکستایلی در برابر سایش دارای مقاومت لازم تلقی می‌گردد که ۷۵٪ ضخامت اولیه و مقاومت بیشینه‌ی کششی لازم خود را

پس از آزمایش سایش مربوطه حفظ کند. به جدول (۴-۶) رجوع شود.

اگر بررسی صحیح و پیش‌گیری از اثرات سایشی ناشی از جابه‌جایی رسوبات بستر^{۱۴} دریا که همواره تحت جریان‌های کرانه‌ای می‌تواند وجود داشته باشند بر روی سازه‌ی حفاظت بستر به لحاظ نوع سازه‌ی در دست طراحی و شرایط محیطی ساختگاه مدنظر باشد، خصوصا در حالتی که از لایه‌ی آرمور با منافذ نسبتا بزرگ استفاده شود، ژئوتکستایل می‌باید حتما در برابر سایش با اجرای یک لایه‌ی رویی سنگی ریزدانه‌تر (سنگ خردشده) کاملا مقاوم گردد تا خود ژئوتکستایل در معرض سایش بار بستر قرار نگیرد. در صورت وقوع فرسایش مداوم، معمولا مواد مصنوعی متعارف ژئوسنتتیکی مقاومت طولانی مدت کافی در برابر نیروهای سایشی مداوم را ندارند که این نکته مهم می‌بایست در طراحی لحاظ و در صورت لزوم با تعبیه‌ی یک لایه‌ی اضافی رعایت شود.

جدول ۴-۶- الزامات متداول در خصوص خواص مقاومتی ژئوتکستایل

نوع و ساختار لایه‌ی رویی مطابق شکل پ-۳-۱۹				مشخصات مواد		ردیف	
لایه‌ی پوششی D ₄		سنگ آرمور کلاس D ₂ /D ₃ II + آستر	سنگ آرمور D ₁				
$\mu \geq 3 \text{ KN/m}^2$	$\mu < 3 \text{ KN/m}^2$			کلاس III	کلاس II		
≥ 12.0	≥ 9.0 *	≥ 12.0	≥ 12.0	≥ 12.0	kN/m	مقاومت گسیختگی مطابق DN53857 در راستای طولی و عرضی	۱
-	-	≥ 600	≥ 1200	≥ 600	Nm	مقاومت در برابر نیروی دینامیکی ناشی از سقوط مصالح (انرژی سقوط)	۲
**	-	-	نوع خاک 3-1: 3.5: T نوع خاک 4: 4.5: T		mm	ضخامت پسماند (T) لایه‌ی فیلتر پس از آزمایش سایش	۳
**	-	-	≥ 9.0		kN/m	مقاومت کششی در هنگام گسیختگی پس از آزمایش سایش (مقاومت کششی پسماند)	

* وقتی در زیر آب نصب شود: $\geq 12 \text{ kN/m}$ مقاومت کششی

** سنگ‌های پیش‌ساخته مانند D₁

۴-۳-۸- مقاومت در برابر بارگذاری‌های استاتیکی سوراخ‌کننده

در شرایطی که به لحاظ مسایل اجرایی یا در طی طول عمر مفید سازه اثرات ناشی از نیروهای استاتیکی سوراخ‌کننده بر روی ژئوتکستایل غیرقابل اجتناب باشد (ر.ک. ۳-۳-۳)، آزمایش کنترل‌کارایی درخصوص مقاومت در برابر این نیروها در محیطی با شرایط مشابه به ساختگاه محل اجرا جهت حصول یقین از کارکرد مناسب توصیه می‌گردد.

معمولا، ژئوتکستایل‌های مقاوم در برابر نیروهای دینامیکی سوراخ‌کننده مطابق جدول (۴-۶)، به شرطی که ضابطه‌ی ضخامت لایه‌ی حفاظتی آن‌ها مطابق بخش (۶-۱۰) هم رعایت شود، می‌توانند در برابر نیروهای سوراخ‌کننده استاتیکی نیز مقاوم باشند چراکه اصولا نیروهای دینامیکی اثر شدیدتری بر سطح ژئوتکستایل اعمال می‌نمایند.

۴-۳-۹- مقاومت در برابر دماهای بالا

MAG پیشنهاد می‌نماید، هنگامی که اجرای یک لایه‌ی آرمور به همراه مواد قیر طبیعی داغ، مستقیما بر روی ژئوتکستایل قرار داده شود که البته این نوع سازه‌ی دریایی در کشور ما متداول نمی‌باشد (برای حصول به مقاومت کششی پسماند لازم، ر.ک. ۴-۴-۳-۵) در صورت استفاده از الیاف خام متداول ژئوتکستایلی می‌تواند نیازی به تمهیدات خاصی هم در قبال وقوع درجه حرارت بالا لازم نباشد (به استثنای خصوصا پلی‌اتیلن، مطابق پیوست ۵). MAG با استناد به آزمایش‌های متعدد عنوان نموده است که ژئوتکستایل‌های نصب شده زیر مواد داغ تا دمای 200°C که در برخی سازه‌های دریایی جهت مقاوم‌سازی لایه‌ی آرمور به امواج و جریان‌ها به کار می‌روند می‌توانند دارای مقاومت کافی به لحاظ گرمای بالای محیط باشند. لیکن توصیه می‌شود در هر حالت به صورت خاص بررسی‌های لازم توسط طراح صورت گیرد.

۴-۳-۱۰- ضریب اصطکاک

در سازه‌های متعارف حفاظت شیب، معمولا کنترل وجود مقدار کمینه‌ی قابل قبولی برای ضریب اصطکاک ژئوتکستایل با خاک زیرین می‌تواند در شرایطی مورد نیاز نباشد اگرچه این کنترل برای همه سازه‌های مهم دریایی و ساحلی توصیه می‌گردد. به دلیل وجود ناهمواری در سطح مشترک ژئوتکستایل و خاک زیرین که در اثر اجرای نصب لایه‌ی آرمور با قطعات نسبتا سنگین پدید می‌آید (به طور مثال لایه‌ی رویی مطابق شکل پ-۳-۱۹)، ضریب اصطکاک ژئوتکستایل می‌تواند برابر زاویه اصطکاک داخلی خاک در نظر گرفته شود. البته، این به شرطی است که وقوع قفل و بست بین ژئوتکستایل و خاک زیرین با توجه به اندازه‌ی روزنه‌های ژئوتکستایل و دانه‌بندی خاک زیرین ممکن باشد (ر.ک. ۴-۳-۴-۳). در غیر این صورت، یا عدم حصول اطمینان از تحقق شرط مذکور، توصیه می‌شود که ضریب اصطکاک جهت کاهش ضرب در عدد $0/8$ گردد. برای شیب‌های تندتر از $1:2$ (۲ افقی و ۱ قائم)، حتما لازم است ضریب اصطکاک ژئوتکستایل با انجام آزمایش کنترل کارایی تعیین گردد.

به عنوان یک راه کار تقویتی، عملکرد اصطکاکی ژئوتکستایل بر روی خاک چسبنده با سطح نرم با اجرای یک لایه‌ی اضافی ژئوتکستایل دارای منافذ با اندازه‌ی بزرگ‌تر در حد بزرگ‌ترین اندازه‌ی مجاز می‌تواند به میزان قابل توجهی افزایش یابد (ر.ک. ۶-۶-۲)، زیرا که به هنگام نفوذ الیاف لایه‌ی اضافی در خاک زیرین، چسبندگی خاک زیرین در افزایش اصطکاک فصل مشترک موثر واقع می‌شود.

۴-۳-۱۱- جرم واحد سطح

اصولا، جرم واحد سطح ژئوتکستایل ناشی از خواص مورد استفاده و خصوصیات سیستم فیلترکنندگی متغیر بوده و مقدار آن به عنوان عددی نسبی در کنترل کیفیت به کار می‌رود که می‌بایست مورد آزمایش اندازه‌گیری قرار گرفته و حسب مورد تعیین گردد (ر.ک. ۷).

براساس تجربیات عملی، میزان جرم در واحد سطح می‌تواند به‌عنوان معیاری استاندارد لیکن اولیه جهت قضاوتی اولیه در خصوص میزان تامین خواص لازم مواد ژئوتکستایل مربوطه به کار رود.

۴-۵- ضوابط تکمیلی طراحی ژئوتکستایل‌ها با توجه به استاندارد اروپایی RM

بخش (۴-۵) در واقع تشریح ضوابطی مکمل ضوابط بخش (۴-۴) در خصوص موارد مهمی مانند رگاب یا تورم خاک^{۱۵} جهت رعایت کامل این ضوابط در طراحی موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظت ساحلی توده سنگی با استفاده از ژئوتکستایل می‌باشد.

۴-۵-۱- پایداری سطح مشترک فیلتر ژئوتکستایل و خاک بستر

ضابطه‌ی پایداری سطح مشترک فیلتر ژئوتکستایل و خاک بستر معمولاً براساس اصل فیلتر با هندسه‌ی بسته انجام می‌شود. ضابطه‌ی عمومی در این خصوص بنابر رابطه‌ی زیر بیان می‌شود:

$$D_{\min} < O_{90} < D_I \quad (۲-۴)$$

که در آن O_{90} اندازه‌ی منفذ ژئوتکستایل می‌باشد که بر اساس استاندارد EN ISO 12956:1999 اندازه‌گیری می‌شود؛ D_I قطر شاخص^{۱۶} ذراتی است که باید فیلتر شوند که به مشخصات ژئوتکنیکی لایه‌ی بستر بستگی دارد؛ و D_{\min} حداقل اندازه‌ی منفذ ژئوتکستایل متناظر با حداکثر قطر ذره‌ای است که در حالت معلق منتقل می‌شود. حداقل اندازه‌ی D_{\min} (ژیروود (Giroud) برابر $D_{\min} \cong 50\mu\text{m}$ تخمین زده شده است و بنابر استاندارد NF G38061:1993 مقدار D_I با رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$D_I = CD_{85b} \quad (۳-۴)$$

که در آن D_{85b} قطری از خاک بستر است که ۸۵٪ ذرات ریزدانه‌تر از آن باشد. آیین‌نامه‌ی RM برای فیلتر ژئوتکستایلی مورد استفاده در سازه‌های حفاظت ساحل یا دیواره‌های کناره‌ی رودخانه‌ها با استفاده از مصالح سنگی، ضریب C برای مصالح بستر با توزیع یکنواخت و ضابطه‌ی $C_U < 5$ (که C_U ضریب یکنواختی می‌باشد و به صورت نسبت D_{60b} به D_{10b} تعریف می‌شود) به صورت زیر پیشنهاد می‌نماید:

- $C=0.4$ اگر مصالح مورد بحث حالت سست و غیرمتراکم داشته باشد؛

- $C=0.6$ اگر مصالح بستر حالت متراکم داشته باشد.

برای خاک غیرچسبنده (لایه‌ی ماسه‌ای) با ضریب یکنواختی $C_U > 5$ از ضوابط دیگری به شرح زیر استفاده می‌شود:

- ژیرود (Giroud) (۱۹۸۸) دو رابطه را بین قطر شاخص و ضریب یکنواختی برحسب چگالی خاک به شرح زیر ارائه می‌کند [۵۶]:

$$D_I = \begin{cases} 18C_U^{-1.7D_{85b}} & \text{for dense soils } (I_D > 50\%) \\ 9C_U^{-1.7D_{85b}} & \text{for loose soils } (I_D < 50\%) \end{cases} \quad (۴-۴)$$

که در آن I_D شاخص چگالی (یا همان دانسیته نسبی)^{۱۷} می‌باشد و با رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$I_D = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (۵-۴)$$

که در آن e_{\max} و e_{\min} به ترتیب بیشینه و کمینه‌ی نسبت تخلخل مصالح بستر می‌باشند.

- لافلور (Lafleur) و همکاران (۱۹۹۶) نیز رابطه‌ی زیر را ارائه کردند که با توجه به نوع توزیع منحنی دانه‌بندی خاک بستر، قطر شاخص را بر حسب اندازه‌ی ممیزه‌ی خاک به‌قرار زیر بیان می‌کند [۵۷]:

$$D_I = \begin{cases} D_{50b} & \text{برای منحنی دانه‌بندی خطی} \\ D_{30b} & \text{برای منحنی دانه‌بندی مقعر رو به بالا} \end{cases} \quad (۶-۴)$$

برای لایه‌های خاک چسبنده (رسی) اگر نتیجه‌ی محاسبه از $80 \mu\text{m}$ کمتر باشد با توجه به استاندارد NF G38-061:1993 باید کمینه‌ی مقدار $D_I = 80 \mu\text{m}$ اعمال گردد.

به منظور ارتقاء پایداری سطح مشترک، لایه‌ی دانه‌بندی دیگری می‌تواند بین لایه‌ی آمور اصلی و لایه‌ی فیلتر ژئوتکستایل در نظر گرفته شود (حالت فیلتر مرکب). هدف اصلی از این لایه، کاهش گرا دیان هیدرولیکی در خاک بستر به لحاظ اثر نشت است اگرچه کارکردهای مفید دیگری نیز می‌تواند داشته باشد. این لایه، ژئوتکستایل را در حین اجرا و نصب و در مقابل جابجایی قطعات بزرگ آمور محافظت می‌کند. بنا بر آیین‌نامه‌ی RM ضخامت این لایه‌ی دانه‌بندی باید حداقل پنج برابر D_{50} لایه‌ی از مصالح سنگی با حداقل مقدار 0.2m باشد. به‌علاوه، این لایه‌ی دانه‌بندی سنگی، ژئوتکستایل را در برابر آسیب‌های احتمالی محافظت می‌کند. لایه‌ی میانی محافظ مستقر روی ژئوتکستایل و زیر لایه‌ی حفاظتی باید به‌عنوان فیلتری برای لایه‌ی آمور اصلی طراحی شود. فیلتر مرکب از دو نوع ژئوتکستایل نیز در این حالت قابل استفاده است.

البته، معمولاً فیلترهای دانه‌ای با استفاده از مصالح سنگی نسبت به خاک بستر و ژئوتکستایل از نفوذپذیری بالاتری برخوردارند و وزن واحد سطح آن‌ها نیز بیشتر است.

۴-۵-۲- الزامات نفوذپذیری فیلتر ژئوتکستایل

الزامات طراحی نفوذپذیری برای فیلتر ژئوتکستایلی مشابه فیلترهای دانه‌ای می‌باشد. الزام کلی نفوذپذیری این نوع فیلترها بدین‌گونه است که با حداقل مقاومت در برابر حرکت سیال در آن‌ها از بوجود آوردن فشار آب منفذی، که به ناپایداری سازه می‌تواند انجامد، جلوگیری گردد. به این منظور، ضریب نفوذپذیری لایه‌ی فیلتر، k_f (m/s) باید بیش از ضریب نفوذپذیری لایه‌ی بستر k_b (m/s) باشد. در حالت جریان آرام، به طور مثال در حالتی که بستر از خاکی ماسه‌ای تشکیل گردیده است، این ضابطه‌ی طراحی در آیین‌نامه‌ی RM به‌صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\frac{k_f}{k_b} > 16 \text{ to } 25 \quad (۷-۴)$$

جهت مقایسه، مراجع مختلف دیگری با توجه به نوع خاک بستر پیشنهادها‌ی متفاوتی را در این خصوص مطرح نموده‌اند:

- $k_f \geq 100k_b$ برای سازه‌های حفاظت ساحل [۵۸]؛
- $k_f \geq 50k_b$ برای خاک‌های سیلتی [۳۱]؛
- $k_f \geq 10k_b$ برای خاک‌های کمی سیلتی [۳۱]؛
- $k_f \geq 20k_b$ [۴۷].

اعداد داده شده توسط Giroud [۵۸] و MAG [۳۱] برای خاک‌های سیلتی بسیار بالاتر از ضریب ۱۶ الی ۲۵ مذکور در معادله‌ی ۴-۷ است. این بدان سبب است که در اثر پدیده‌ی انسداد، نفوذپذیری فیلتر در طول عمر مفید سازه به‌ویژه در خاک‌های سیلتی به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد [۷] و [۸]. این مورد همچنین به این دلیل است که مقاومت مجموعه‌ی ترکیبی خاک و ژئوتکستایل در برابر سیال ممکن است با مجموع مقاومت هر یک از آن‌ها به تنهایی متفاوت باشد [۷].

مشخصه‌ای که در این خصوص با توجه به استاندارد EN ISO 11058:1999 روی ژئوتکستایل در زیر افت فشار ۵۰mm اندازه‌گیری می‌شود شاخص سرعت آب یا سیال V_{150} (m/s) می‌باشد. $V_{150} = 0.05(k_f/t_g)$ که در آن ضخامت ژئوتکستایل برحسب متر است. ضابطه‌ی اخیر می‌تواند به‌صورت رابطه‌ی زیر نیز نوشته شود:

$$V_{150} \geq (0.5 \text{ to } 5) \frac{k_b}{t_g} \quad (۸-۴)$$

جهت ملاحظات طراحی، مقاومت نهایی ژئوتکستایل در برابر نفوذ سیال که نسبت ضخامت به نفوذپذیری است (t_g/k_f) از نفوذپذیری به تنهایی مفیدتر است. لذا، ضابطه‌ی $k_f \gg k_b$ می‌تواند با ضابطه‌ی مناسبتری که طبق آن مقاومت ژئوتکستایل در برابر سیال باید از مقاومت لایه‌ای از بستر به ضخامت ۱۰cm کمتر باشد جایگزین شود. یا به عبارت دیگر:

$$\frac{t_g}{k_f} < \frac{0.1}{k_b} \quad (۹-۴)$$

که در رابطه‌ی بالا، به‌جای مقدار اولیه‌ی k_f ، مقدار نفوذپذیری کاهش یافته در درازمدت می‌بایست در طراحی مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۵-۳- سایر الزامات فیلتر ژئوتکستایل

ژئوتکستایل تنها زمانی می‌تواند عملکردهای یک فیلتر مناسب را در طول عمر مفید سازه تامین نماید که الزامات ضروری زیر نیز تامین گردیده باشد:

- نصب ژئوتکستایل با دقت انجام شده باشد تا از آسیب‌های احتمالی جلوگیری و هم‌پوشانی مناسب بین صفحه‌های ژئوتکستایل تامین شده باشد. همچنین ضروری است ویژگی‌هایی چون کرنش در امتداد مقاومت بیشینه، قابلیت جذب انرژی، ایستادگی در برابر نیروی سوراخ‌کننده‌ی ایستا و پایداری در برابر نیروی سوراخ‌کننده‌ی دینامیک نیز مورد توجه کامل قرار گیرند.

- دوام سازه در حد مطلوب باشد که مستلزم توجه به ویژگی‌هایی چون تداوم عملکرد فیلترکنندگی در درازمدت و پایداری در برابر محیط‌های نامساعد است.

۴-۵-۴ - ضابطه‌ی پایداری فیلتر ژئوتکستایل در برابر تورم خاک

پایداری خاک بستر در مقابل تورم باید با تأمین ضوابط ارایه شده در روابط (۴-۱۰) و (۴-۱۱) برای هر ستون خاک مرتبط کنترل شود. در رابطه‌ی (۴-۱۰)، پایداری برحسب برآیند اثر عامل بی‌ثبات‌کننده‌ی فشار آب منفذی، u_{dst} (kPa)، و نیروی پایدارکننده‌ی تنش عمودی، $\sigma_{v, stb}$ (kPa) بیان می‌شود [۷].

$$\sigma_{v, stb} \geq u_{dst} \quad (10-4)$$

رابطه‌ی زیر شرایط فوق‌الذکر را بر حسب نیروی نشت عمودی، F_{hyd} (kN)، و وزن غوطه‌وری W' (kN) بیان می‌دارد [۷]:

$$F_{hyd} \leq V(\rho - \rho_w)g \quad \text{یا} \quad F_{hyd} < W' \quad (11-4)$$

که در آن V حجم خاک بر حسب m^3 و ρ چگالی خاک اشباع به همراه آب بوده که از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\rho = \rho_b + n_v \rho_w = \rho_s (1 - n_v) + n_v \rho_w \quad (12-4)$$

که در رابطه‌ی بالا n_v نسبت تخلخل حجمی، ρ_b چگالی حجمی^{۱۸} خاک خشک و ρ_s چگالی قسمت جامد خاک می‌باشد (kg/m^3) .

همچنین رابطه‌ی پایداری فیلتر در برابر تورم می‌تواند برحسب گرادیان هیدرولیکی قائم i و وزن مخصوص غوطه‌وری

$$\gamma' = (\gamma - \gamma_w) \quad \text{به‌قرار زیر نوشته شود:}$$

$$i \leq (\gamma - \gamma_w) / \gamma_w \quad \text{یا} \quad i \leq \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad (13-4)$$

که منظور از γ وزن مخصوص خاک اشباع (خاک دانه‌ها به اضافه آب) می‌باشد (kN/m^3) .

۴-۵-۵ - ضابطه‌ی پایداری فیلتر ژئوتکستایل در برابر پدیده‌ی رگاب

پدیده‌ی رگاب در صورتی که گرادیان تولیدکننده‌ی نشت قائم بر سطح خاک از مقداری بحرانی (که برحسب قطر متوسط ذرات D_{50} و ضریب یکنواختی بیان می‌شود)، در لایه‌ی نفوذپذیر بیشتر شود اتفاق می‌افتد. به‌عنوان یک تخمین اولیه، گرادیان تولیدکننده‌ی نشت می‌تواند به‌صورت عددی متوسط بر حسب نسبت تغییر افت فشار Δh (m) و خط تراوش L_k (m) بیان شود. در این رویکرد اگر مقدار L_k (m) از $\Delta h \cdot c_k$ بیشتر شود این مجراها به‌وجود نمی‌آید یا گرادیان، $\Delta h / L_k$ ، از مقدار حداکثر $1/c_k$ بیشتر نشود:

$$L_k > c_k \Delta h \quad \text{یا} \quad \frac{\Delta h}{L_k} < \frac{1}{c_k} \quad (14-4)$$

که در آن c_k ضریب خزش بوده که در جدول زیر ارایه گردیده است [۷]. برای محاسبه‌ی خط تراوش آیین‌نامه‌ی RM دو روش Bligh و Lane را معرفی می‌نماید بدون اینکه یکی را بر دیگری رجحان دهد. خط تراوش در روش Bligh [۶۱] برابر حاصل جمع خط تراوش‌های افقی و عمودی تعریف می‌شود $(L_k = L_{kv} + L_{kh})$ ، ولی در روش Lane [۶۲] این طول به‌صورت جمع خط تراوش عمودی با تنها یک سوم خط تراوش افقی بیان گردیده است $(L_k = L_{kv} + L_{kh}/3)$. با وجود این، روش Lane با توجه به جدیدتر بودن جهت استفاده می‌تواند توصیه شود. رابطه ۴-۱۴ عموماً برای سازه‌هایی نظیر سد‌ها استفاده می‌شود، لیکن برای سازه

هایی نظیر دایک‌ها که دارای لایه های نفوذپذیری هستند که توسط لایه های نفوذناپذیر احاطه شده‌اند نیز قابل قبول است. برای اطلاعات بیشتر به مرجع [۷] مراجعه شود.

جدول ۴-۷- ضریب خزش c_k

نوع خاک	c_k [۶۲]	c_k [۶۱]
ماسه بسیار ریز و سیلت	۸/۵	۱۸
ماسه ریز	۷	۱۵
ماسه با قطر متوسط	۶	-
ماسه درشت	۵	۱۲
شن متوسط	۳/۵	-
شن درشت	۳	-
قلوه سنگ، شن و ماسه	-	۴ الی ۶
رس	۲ الی ۳	-

فصل 5

ملاحظات نصب ژئوتکستایلها

هدف این فصل از راهنمای حاضر، تدوین برخی ملاحظات اجرایی مهم نصب ژئوتکستایل در آب یا خشکی می‌باشد تا مهندسان مشاور بتوانند در طراحی و تدوین قراردادهای پروژه‌های دریایی و ساحلی با استفاده از ژئوتکستایل از لحاظ شدن ملزومات اجرایی لازم احراز اطمینان نمایند. در شروع این فصل ضروری به عنوان نمودن است که اگرچه تجربیات عملی سایر کشورها در رابطه با کاربردهای گذشته‌ی فیلتر ژئوتکستایلی در پروژه‌های دریایی تدوین یک‌سری اصول، قواعد و روش‌های کلی نصب و نگهداری از ژئوتکستایل‌ها را ممکن ساخته، لیکن حسب نوع پروژه و شرایط ویژه ساختگاه سازه‌های دریایی، امکان وقوع شرایط منحصر به فرد ممکن است تکنیک‌های اجرایی خاصی و یا جایگزینی را نسبت به موارد متداول مطروحه لازم آورد.

همین‌طور، توجه مهندسان طراح کشور در وضعیت کنونی عدم وجود تجربه کافی در اجرای پروژه‌های ژئوتکستایلی می‌بایست به هنگام طراحی برای نکته نیز بیش از پیش معطوف باشد که آیا امکان اجرای صحیح طرح ایشان توسط پیمانکاران داخلی با عنایت به دانش و تجربه‌ی اجرایی موجود مقدور خواهد بود یا خیر. رعایت این موضوع به‌لحاظ پیشگیری از ارائه طرح‌هایی که از نظر اصول تئوریک صحیح بوده ولی با بضاعت کنونی کشور غیر اجرایی یا دارای ریسک اجرای بالا باشند ضروری است.

۵-۱- لزوم آماده سازی خاک یا لایه‌ی سنگی زیرین

زیرلایه‌ی فیلتر باید به‌طور هموار تسطیح و تنظیم شیب گردد. هرگونه فضاهای خالی که اغلب در هنگام اجرای زیرلایه بر روی خاک چسبنده حادث می‌شوند و نیز هرگونه کانال‌های فرسایش موجود هم باید توسط خاک مناسب با ویژگی‌های فیلتری پر شوند (ر.ک. ۳-۶). هرگونه پوشش‌های گیاهی، سنگ‌ها و احیانا اشیای خارجی ناهموارکننده‌ی موجود نیز باید برچیده شوند. در غیر این‌صورت، مصرف مقادیر بیشتری ژئوتکستایل از حد لازم مورد نیاز خواهد بود که این عدم کاربرد بهینه به‌دلیل رعایت نشدن نکات فوق ممکن است افزایش تا ۳۰٪ مساحت فیلتر را نیز شامل گردد. علاوه براین، عدم آماده‌سازی مناسب ممکن است تبعاتی مشکل‌ساز برای اجرای هم‌پوشانی‌ها و اتصالات ژئوتکستایل‌ها با سازه‌ها به‌دلیل کافی نبودن ژئوتکستایل تهیه شده و در نهایت عدم اطمینان از ایجاد پوشش کامل به‌وجود آورد. از سایر اثرات جانبی عدم آماده‌سازی صحیح این است که میزان پایداری مکانیکی موضعی لایه‌ی آرمور در شیب‌های سازه می‌تواند در اثر پدید آمدن حفره‌های بزرگ در زیر ژئوتکستایل کاهش یابد (ر.ک. ۶-۱) که این امر ریسک غیرقابل قبولی برای سازه‌های دریایی که اهتمام رعایت در لزوم اجتناب از تعمیر این سازه‌های نسبتاً پرهزینه می‌باشد تلقی می‌شود.

۵-۲- استقرار ژئوتکستایل

اصولا، استقرار ژئوتکستایل نیازمند مجموعه مهارت‌ها و دقتی فراتر از سطح دقت اجرایی خاص سازه‌های صرفا سنگی است و رواداری‌های اجرایی دقیق‌تر و مشکل‌تری هم نسبت به سازه‌های توده‌ی سنگی دارد. بدیهی است که کاربرد موفقیت‌آمیز ژئوتکستایل‌ها در پروژه‌های دریایی پس از اقناع ضوابط نظری و قواعد طراحی به نحوه و کیفیت اجرایی نصب اولیه‌ی منسوج وابستگی زیادی دارد. ترتیب جایگذاری ژئوتکستایل تقریبا با نوع و کاربرد مورد نظر هر پروژه‌ی خاص تعیین می‌شود، لیکن در کل، رعایت دستورالعمل‌های صفحه‌ی بعد توسط CEM توصیه گردیده است:

- ژئوتکستایل‌ها باید به آرامی در محل قرار داده شوند و عاری از چین و چروک و تاخوردگی باشند. این عمل کمک نموده تا ژئوتکستایل پس از قرار گرفتن مصالح نسبتاً سنگین‌تر رویی در برابر ناهمواری‌های خاک یا لایه‌ی سنگی زیرین خود را حتی‌الامکان هماهنگ کند.
- از استقرار ژئوتکستایل تحت تنش‌های کششی باید اجتناب شود.
- اجرای ژئوتکستایل بر روی شیب‌هایی که در معرض بارگذاری امواج قرار می‌گیرند که در واقع کل سواحل کشور مگر برکه‌ها و دریاچه‌های کوچک کم و بیش شامل این امرند می‌باید از پاشنه‌ی سازه شروع و به سمت بالا ادامه یابد به طوری که ورقه‌ی بالایی بر روی ورقه‌ی پایینی قرار گیرد. برای شیب‌هایی که در معرض اصابت جریان‌ها یا امواج تقریباً در راستای محور طولی سازه‌ی دریایی هستند، ورقه‌های بالادست^۱ جریان یا موج می‌باید ورقه‌های پایین‌دست جریان^۲ یا موج را هم‌پوشانی کنند.
- هنگامی که شیب سازه در ورای لایه‌ی محافظ آرمور ادامه می‌یابد، فیلتر ژئوتکستایلی باید در قسمت بالای سازه و در درون حفره‌ای به دور از اثر بارگذاری به دلیل سرریزی امواج قفل شود. قفل قسمت انتهایی مشابهی برای پاشنه‌ی سازه مطابق شکل (۱-۱) قابل اجرا است.
- قرار دادن منسوج در زیر آب به صورت افقی باید از قسمت کنار ساحل آغاز و به سمت دریا ادامه یابد. برای کاربرد محافظت در برابر آب‌شستگی^۳ عملیات اجرا باید از مجاورت سازه‌ی محافظت‌شده آغاز و به سمت مرز بیرونی محدوده‌ی تحت حفاظت ادامه یابد.
- هرگونه لایه‌ی شنی یا سنگی رویی باید نفوذپذیری لازم را داشته و حفظ نماید تا جریان داخل ژئوتکستایل در طول عمر مفید سازه کاهش نیابد.
- اجرای قطعه سنگ‌های حفاظت روی فیلتر باید از پاشنه آغاز و بر روی امتداد شیب به بالا برده شود. در بعضی پروژه‌ها که خاص مناطق پرتلاطم دریایی توصیه می‌شود، برای نگهداری از منسوج در برابر اثر اصابت امواج یا جریان‌ها، توصیه می‌گردد فرآیند نصب ژئوتکستایل و سنگ رویی هم‌زمان صورت گیرد تا امواج و جریان‌ها سبب صدمه به اجرا نشوند.
- بدیهی است که در هنگام قرار دادن لایه‌ی آرمور باید دقت لازم در استقرار قطعات سنگین آرمور صورت گیرد تا از سوراخ شدن ژئوتکستایل جلوگیری شود. جدول‌های (۱-۵) و (۲-۵) ارتفاع مجاز اجرایی برای سقوط سنگ آرمور یا بلوک‌های بتنی آرمور را در حین اجرا ارائه می‌کند. شرایط بارگذاری مربوطه مطابق جدول (۱-۴) خواهد بود. هیچ‌گونه سنگی با وزن بیش از ۴۴۰ N نباید در روی منسوج به پایین غلطانیده شود که در عمل این محدودیت بدین معناست که اصولاً هیچ‌گاه سنگ آرموری نمی‌بایست برخلاف پروژه‌های صرفاً سنگی بر روی شیب سازه غلطانیده گردد. اگرچه برای فیلترهای سنگی چنین محدودیتی موضوعیت ندارد.

1- Upstream

2 - Downstream

3 - Scour

۵-۳- برخی نکات عملیات نصب در خشکی

نصب ژئوتکستایل‌ها در خشکی معمولاً نسبت به نصب در زیر آب دارای سهولت نسبی است (ر.ک. ۳-۳-۳). با وجود این، می‌بایست تمهیداتی در پیش‌گیری از حرکت و جابه‌جایی ژئوتکستایل‌ها در برابر نیروهای باد، امواج و جزر و مد و غیره حین طول عمر مفید سازه در نظر گرفته شود تا هم به ایجاد سوراخ در سطح لایه‌ی فیلتر ژئوتکستایلی منجر نشود و هم در هنگام اجرای آتی لایه‌ی حفاظتی آرمور تنش‌های کششی غیرقابل قبول پدید نیاید.

بنا بر تصریح MAG، ژئوتکستایل‌ها پس از اجرا می‌باید اجازه‌ی لغزش بر روی خاک یا لایه‌ی سنگی زیرین را داشته باشند. اصولاً، از راندگی بر روی ژئوتکستایل‌ها پیش از اجرای لایه‌ی حفاظتی مناسب می‌باید اجتناب شود (ر.ک. ۳-۳-۳) که رعایت کامل این نکته حین اجرا ضروری است.

۵-۴- برخی نکات نصب در زیر آب

استقرار قطعات ژئوتکستایل در مکان مطلوب طرح واقع در زیر آب صرفاً به کمک وسایل و روش‌های حرفه‌ای خاص یا با استفاده از ملحقات سازه‌ای خاص امکان‌پذیر است (ر.ک. ۶-۶). بدون وجود سربار، به دلیل وزن کم ژئوتکستایل (پیوست ۵) و حباب‌های هوای محبوس در لابه‌لای آن، منسوج در آب پایین نرفته و بر روی خاک زیرین قرار نمی‌گیرد. نکات اجرایی زیر در روش نصب ژئوتکستایل‌ها در داخل آب باید مد نظر قرار گیرند (این موارد در تشک‌های مستغرق کاربرد ندارند (ر.ک. ۶-۶-۳)):

- به هنگامی که اجرای لایه‌ی پوششی آرمور روی ژئوتکستایل شروع می‌گردد، ژئوتکستایل می‌باید قبلاً با خاک زیرین بستر یا لایه‌ی سنگی زیرین در تماس بوده و اگر این امر ممکن نبود، باید منسوج در حالی که به میزان کمی پیش‌تنیده شده است در فاصله‌ی کمی روی آن قرار گرفته باشد (کمتر از ۰/۵m). لذا، مستغرق ساختن ژئوتکستایل به طریق نصب آن در محل مورد نظر صرفاً با قرار دادن مصالح سنگی روی آن قابل قبول نیست. به علاوه، مصالح سنگی ممکن است به زیر ژئوتکستایل راه یافته، تولید حفره نموده و پایداری مکانیکی لایه‌ی رویی آرمور را هم کاهش دهند (ر.ک. ۶-۱) و در نتیجه خرابی‌های ناشی از سایش را افزایش داده و نهایتاً سبب ناپایداری کلی سازه هم شوند.
- حتی در صورتی هم که تضمین قراردادی لازم در خصوص روش مناسب نصب و یا استفاده از ملحقات سازه‌ای توسط پیمانکار وجود داشته باشد، بهر حال می‌باید قبل از قرارگیری لایه‌ی حفاظتی رویی، استقرار ژئوتکستایل در موقعیت مناسب آن توسط غواص کنترل کیفیت و ثبت شود (ر.ک. ۶-۶). در اعماقی که استفاده از غواص مقدور نباشد می‌توان از دستگاه‌های فیلم‌برداری زیر آب متحرک استفاده کرد.
- حتی در صورتی که اجرای صحیح سطوح هم‌پوشانی بین صفحه‌های ژئوتکستایلی توسط ملحقات و تمهیدات سازه‌ای استفاده شده یا روش مطمئن نصب تضمین شود، باز هم توصیه می‌شود این امر توسط غواص قبل از نصب ژئوتکستایل مجاور کنترل شود تا از وقوع پوشش کامل و عدم وجود سنگ‌های اضافی روی سطح منسوج اطمینان حاصل گردد. ژئوتکستایل پیش آمده از لایه‌ی نفوذناپذیر رویی (آستر) ممکن است به کاهش غیرقابل کنترل آب در محل آب‌بندی براساس گذردهی ژئوتکستایل منجر شود (ر.ک. ۴-۴-۲) [۳۶].

- هرگونه تعمیر حین اجرای ژئوتکستایل در حالتی که امکان خسارت به سطح فیلتر (مثلا در اثر میخ‌کوبی) وجود داشته باشد غیرمجاز است.
 - تمام لبه‌هایی که ژئوتکستایل بر روی آن گردش می‌کند می‌باید گرد شوند تا حداقل نیروی ساییدگی ناشی از حرکت تجهیزات نصب به ژئوتکستایل تحمیل گردد.
- حین عملیات اجرایی، توصیه می‌شود که در محدوده‌ی اجرا و نصب، حداکثر سرعت مجاز ناوبری به $V_s = 6 \text{ km/h}$ محدود شود تا در حد امکان از لغزش و آب‌شستگی زیرلایه و آسیب به ژئوتکستایل در اثر فشار آب و تغییر مکان هم‌پوشانی‌ها در اثر امواج و جریان‌ات بازگشتی جلوگیری شود [۳۱]. در صورت لزوم، عرض محدوده مورد تردد ناوبری حین اجرا می‌بایست توسط علائم کمک ناوبری کاهش یابد تا تأثیرات شناور و یا امواج تولید شده توسط شناور با ایجاد فاصله‌ی لازم بر محل اجرا حداقل گردد.
- اضافه می‌گردد که به هنگام اجرای زیرلایه مصالح سنگی تسطیح‌کننده رعایت توصیه‌های ارایه شده در بخش (۳-۳) الزامی است.

۵-۵- تعمیرات ژئوتکستایل

به لحاظ اصولی، ترمیم خرابی‌ها و خسارات وارده به منسوج ژئوتکستایلی با برداشتن قسمت خسارت دیده و جایگزینی آن با منسوج سالمی که از جمیع جهات حداقل 0.6 m هم‌پوشانی داشته باشد به شرط این‌که تأثیر سوئی بر سازه نداشته باشد قابل انجام است. لبه‌های منسوج جایگزین باید با ایجاد هم‌پوشانی لازم در زیر ژئوتکستایل آسیب‌ندیده قرار گیرد. در صورتی‌که خسارت وارده در ورقه‌هایی وقوع یافته باشد که مقاومت کششی منسوج به لحاظ مسلح‌سازی خاک مورد نیاز باشد، در این صورت تعویض و جایگزینی کل ورقه ضروری است. تعمیر منسوج آسیب‌دیده در زیر آرمور موج‌شکن توده‌سنگی دارای صعوبت نسبی بیشتر است چرا که اول باید سنگ‌ها یا قطعات بتنی آرمور آن ناحیه برداشته شود و سپس ژئوتکستایل ناحیه‌ی آسیب‌دیده تعویض و سپس لایه‌ی آرمور به طرز صحیح، اجرای مجدد گردد. برای کشور ما با عنایت به نسبتاً محدود بودن امکانات اجرایی دریایی و لذا بسیار گران بودن برداشت سنگ یا قطعات بتنی آرمور و سپس اجرای مجدد آن‌ها توصیه می‌گردد که نیازهای تعمیراتی حین عمر مفید بهره‌برداری در حد حداقل ممکن با رعایت نکات فنی و اقتصادی باشد.

جدول ۵-۱- محدودیت‌های اجرایی استفاده از ژئوتکستایل‌ها در سازه‌های حفاظت شیب از نوع آرمور سنگی*

گروه			پارامتر
C	B	A	
۱۷:۳H	۱۷:۲/۵H	۱۷:۲H	تندترین شیب
۲۰cm	ندارد	ندارد	حداقل ضخامت شن روی فیلتر
سنگ در مجاورت ژئوتکستایل			
شن	۰/۷۸kN	۱/۱ kN	حداکثر وزن سنگ**
۱/۵m	۱/۰m	۱/۰m	حداکثر ارتفاع سقوط
	۱/۳ kN	۱/۸ kN	حداکثر وزن سنگ
ضابطه‌ای ارایه نشده است	۰/۲۲-۲/۲kN	۰/۸۹-۳/۳kN	بازه‌ی وزن سنگ‌چین***
	۰/۶۱m	۰/۶۱m	حداکثر ارتفاع سقوط
	۱/۳-۸/۹kN	۱/۸-۸/۹kN	حداکثر وزن سنگ
ضابطه‌ای ارایه نشده است	استقرار داده شود	استقرار داده شود	حداکثر ارتفاع سقوط
لایه‌های سنگی بعدی			
۰/۶۷kN	ضابطه‌ای ارایه نشده است	ضابطه‌ای ارایه نشده است	حداکثر وزن سنگ
۱/۲m			حداکثر ارتفاع سقوط
۱/۳kN	ضابطه‌ای ارایه نشده است	ضابطه‌ای ارایه نشده است	حداکثر وزن سنگ
۱/۰m	ضابطه‌ای ارایه نشده است	ضابطه‌ای ارایه نشده است	حداکثر ارتفاع سقوط
۴۴ kN	۴۴kN	۴۴kN	حداکثر وزن سنگ
استقرار داده شود	۲/۵m	۳/۰m	حداکثر ارتفاع سقوط
>۴۴kN	>۴۴kN	>۴۴kN	حداکثر وزن سنگ
استقرار داده شود	استقرار داده شود	استقرار داده شود	حداکثر ارتفاع سقوط

توجه:

الف) جهت اصلی قوی‌تر (SPD) درزبندهای ژئوتکستایل باید عمود بر راستای ساحل قرار داده شوند.
ب) محدودیتی در تعداد لایه‌های زیرین بین آرمور و ژئوتکستایل وجود ندارد.

* این جدول برای موج‌شکن‌هایی که در مغزه‌ی آن‌ها به جای سنگ از ماسه استفاده شده است نیز کاربرد دارد.
** وزن سنگ معدنی آرمور با اندازه‌های یکسان.
*** وزن واحدهای سنگ‌چین، سنگ معدنی که در محدوده‌ی اندازه‌ی وسیعی پخش شده است.

با عنایت به جدول فوق مشخص است که اجرای ژئوتکستایل‌ها در بیشتر سواحل ایران که انرژی امواج آن‌ها نیازمند به وزن‌های بالای سنگ آرمور است به دلیل نسبتاً محدود بودن حداکثر وزن سنگ روی ژئوتکستایل دچار محدودیت امکان استفاده‌ی بهینه است چراکه در صورت بسیار سنگین بودن قطعات آرمور رویی نیاز به یک لایه فیلتر سنگی به هر حال به دلیل محدودیت وزن سنگ روی ژئوتکستایل خواهد بود که اساساً می‌تواند مزیت استفاده از ژئوتکستایل را از بین ببرد.
وجود محدودیت در وزن قطعات لایه‌های سنگی بعدی نیز تائیدی بر استفاده از ژئوتکستایل برای سواحل نسبتاً ملایم است. مضافاً، کاربرد ژئوتکستایل در شیب‌های نسبتاً ملایمی برای سازه‌های حفاظت شیب سنگی صورت می‌گیرد.

جدول ۵-۲- محدودیت‌های اجرایی استفاده از ژئوتکستایل‌ها در سازه‌های حفاظت شیب از نوع آرمور بلوک بتنی واقع در زیر آب

گروه			بلوک حفاظت شیب*
C	B	A	
بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته مجوف ^۴ **			تندترین شیب: بلوک‌های منفرد بتنی ^{***} بلوک‌های بتنی با کابل به هم بسته شده حداکثر وزن بلوک بتنی
ضابطه‌ای ارایه نشده است	۱V:۳H	۱V:۲H	
ضابطه‌ای ارایه نشده است	۱V:۲H	۱V:۱/۵H	
ضابطه‌ای ارایه نشده است	۳/۱kPa	>۳/۱kPa	
بلوک‌های بتنی در هم قفل شونده ^{**}			تندترین شیب حداقل ضخامت شن روی فیلتر حداکثر وزن بلوک
۱V:۲/۵H	۱V:۲H	ضابطه‌ای ارایه نشده است	
۱۵/۲cm	۱۵/۲cm	ضابطه‌ای ارایه نشده است	
۳/۱kPa	>۳/۱kPa	ضابطه‌ای ارایه نشده است	
کاربرد در زیر دریا [♦]			تندترین شیب سنگ در مجاورت ژئوتکستایل: حداکثر وزن سنگ حداقل افتادگی درون آب حداکثر وزن سنگ
۱V:۱۵ H	۱V:۱۵H	۱V:۱۵H	
۳/۳kN	۸/۹kN	۸/۹kN	
۱/۵m	۱/۵m	۱/۵m	حداقل ارتفاع سقوط
>۳/۳kN	>۱۳/۳kN	>۱۳/۳kN	حداکثر ارتفاع سقوط
استقرار داده شود	استقرار داده شود	استقرار داده شود	لايه‌های سنگی بعدی: حداکثر وزن سنگ حداکثر ارتفاع سقوط
محدودیتی وجود ندارد	محدودیتی وجود ندارد	محدودیتی وجود ندارد	
NCP	NCP	♦♦ NCP	

* جهت قوی‌تر (اصلی) و درزبندهای ژئوتکستایل در راستای عمود بر ساحل قرار گیرند.
** با قاعده‌ی صاف.

*** بلوک‌های بتنی پیش‌ساخته‌ی مجوف که در صفحه‌ی افقی با کابل به هم بسته شده‌اند.

♦ محدودیتی در تعداد لایه‌های زیرین بین سنگ آرمور و ژئوتکستایل وجود ندارد.

♦♦ به‌عنوان روش اجرایی متعارف: در این لایه‌ها محدودیت خاصی برای ژئوتکستایل وجود ندارد.

فصل 6

گونه‌های مختلف اجرای لایه‌های فیلتر
و آرمور

این فصل دربر گیرنده‌ی معرفی گونه‌های مختلف اجرای لایه‌های فیلتر و آرمور خاص موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظت ساحلی با کاربرد ژئوتکستایل در آن‌ها می‌باشد که البته رعایت ملاحظات و ضوابط اجرایی ارایه شده در فصل (۵) برای کلیه گونه‌های معرفی شده‌ی این فصل ضروری است. هدف از معرفی این گونه‌ها افزایش دید اجرایی در بهتر نهایی شدن طراحی تفصیلی حسب شرایط خاص هر ساختگاه هم می‌باشد. اصولاً، انواع لایه‌های آرمور که طراحی آن‌ها در نشریه‌ی شماره ۳۰۰ با عنوان "آیین‌نامه‌ی طراحی بنادر و سازه‌های دریایی" بیان شده می‌توانند جهت استفاده به‌همراه فیلتر ژئوتکستایل بررسی شوند.

۶-۱ - حالات نصب ژئوتکستایل به هنگام استفاده از آرمورهای نفوذپذیر

هنگام استفاده از آرمورهای نفوذپذیر که بخش عمده‌ی سازه‌های حفاظتی ساحلی و دریایی فعلی کشور را شامل می‌شود، می‌توان استفاده از انواع فیلترهای زیر را حسب نوع خاک زیرین، شیب سازه، بارگذاری هیدرولیکی و شرایط و امکانات اجرایی برای نصب ژئوتکستایل مدنظر قرار داد:

- استقرار ژئوتکستایل مستقیماً بر روی خاک بستر (ساب‌گرید)^۱ (کاربرد متداول)؛
- استقرار ژئوتکستایل بر روی یک زیرلایه‌ی رگلاژی دانه سنگی؛
- استقرار ژئوتکستایل به‌همراه یک لایه‌ی فیلتر سنگی با دانه‌بندی محدود نشده^۲؛
- استفاده از مصالح دانه سنگی میان لایه‌ی^۳ بین ژئوتکستایل و لایه‌ی آرمور.

طراحی و اجرای نوع فیلتر ژئوتکستایلی و لایه‌ی آرمور مورد استفاده باید به‌گونه‌ای باشد که تحت همه‌ی انواع بارگذاری‌های محتمل (ر.ک. ۳-۳-۲) خصوصاً در شیب‌ها، کل فصل مشترک ژئوتکستایل و خاک زیرین پایدار باشند تا از انتقال و جابه‌جایی غیر مجاز خاک زیرین جلوگیری شود. پدیده‌ی رگاب در زیر ژئوتکستایل می‌تواند نقطه‌ی آغازی برای خرابی حفاظت شیب باشد. بنابراین، جهت پیش‌گیری در این خصوص، ضروری است ژئوتکستایل با لایه‌ی زیرین خود تماس کامل داشته باشد. اضافه بر این، وجود حفره‌هایی مملو از آب در زیر ژئوتکستایل در صورت افت ناگهانی سطح آب، پایداری مکانیکی موضعی حفاظت شیب را در اثر فشار برآ، به مخاطره می‌اندازد که این امر می‌تواند به تخریب‌های جزئی و کلی منجر شود.

برای اتصال لبه‌های سطح فیلتر به سازه و جزییات اجرایی مناسب، انتخاب روش‌های خاص اجرا ضروری است. به‌علاوه، توجه به این نکته حایز اهمیت است که در صورت استفاده به‌همراه یک لایه محافظتی نفوذناپذیر، ژئوتکستایل زیر چنین آرموری فقط کارکرد جداکنندگی خواهد داشت (ر.ک. ۳-۲-۲ و ۴-۲-۴-۲).

۶-۲ - استقرار ژئوتکستایل مستقیماً بر روی خاک بستر (کاربرد متداول)

روش متعارف اجرا، قراردادن مستقیم ژئوتکستایل بر روی خاک بستر (در صورت لزوم به‌همراه سازه‌ی اضافه، ر.ک. ۶-۶) می‌باشد (شکل پ-۳-۱). امکان کاربرد این نوع فیلتر با تحقق شرایط زیر است:

- خاک زیرین همگون باشد و هرگونه پوشش‌های گیاهی موجود و بقایای سازه‌های پیشین هم به‌طور کامل برداشته شود

1 - Subgrade

2- Unbound granular filter

3 - Granular interlayer

- (ر.ک. ۳-۳-۱-۴):
- به دلیل خواص خاک زیرین می‌توان بستر مسطحی^۴ که در کل زمان اجرا پایدار می‌ماند برای ژئوتکستایل ایجاد نمود (ر.ک. ۳-۳-۱-۲):
 - در حالتی که احتمال آب‌شستگی خاک بستر در محل موجود باشد وجود لایه‌ی آرمور فوقانی باید بتواند یک سطح تماس کاملی بین ژئوتکستایل و خاک بستر ایجاد نماید (ر.ک. ۶-۱۰):
 - در صورتی که احتمال گریز مصالح از خاک زیرین وجود داشته باشد ملحقات سازه‌ای اضافه‌ای به همراه ژئوتکستایل نباید استفاده شود چراکه این موضوع به انسداد ژئوتکستایل و کاهش کاربری به این دلیل منجر خواهد شد (ر.ک. ۶-۶-۲):
 - هیچ‌گونه جریان زیرزمینی متمرکزی بیش از ظرفیت هیدرولیکی لایه‌ی ژئوتکستایلی وجود نداشته باشد (ر.ک. ۶-۱۰).
- ملاحظه می‌گردد که برای استفاده در کشور ما، شناخت کاملی از ساختگاه پروژه دریایی قبل از انتخاب گونه‌ی نحوه‌ی اجرا ضروری است.

۳-۶- استقرار ژئوتکستایل بر روی یک زیرلایه‌ی رگلاژی دانه سنگی (تنظیم شیب)

- در حالت اجرا بر روی شیب‌ها و تحقق شرایط زیر، اجرای یک زیرلایه‌ی تسطیح و ترازکننده (رگلاژ) دانه سنگی در زیر ژئوتکستایل (شکل پ-۳-۲) توصیه می‌شود:
- به دلیل خواص فیزیکی یا شیمیایی خاص خاک زیرین، اجرای یک لایه‌ی ساب‌گرید مسطح یا مقدور نمی‌باشد و یا در حالتی که چنین زیر لایه‌ای حین مدت اجرا پایدار نماند (ر.ک. ۳-۳-۱-۲):
 - در صورت ناهمگون بودن خاک زیرین (ر.ک. ۳-۳-۱-۴):
 - در حالت فرار بودن خاک زیرین (ر.ک. ۳-۳-۱-۵):
 - در حالتی که پوشش گیاهی در حالت استثنایی قابل برداشت نباشد.
- اساساً، زیرلایه‌ی رگلاژ (تنظیم شیب)، سطحی همگون و هموار برای ژئوتکستایل فراهم می‌آورد. بدیهی است منحنی‌های دانه‌بندی چنین زیرلایه‌ی رگلاژی و خاک زیرین باید با یکدیگر هم‌خوانی داشته تا از یک‌سو از امکان نشست ناشی از وزن زیرلایه‌ی تسطیح‌کننده به دلیل بیش از حد درشت‌دانه بودن جلوگیری شود و نیز از سوی دیگر از بالا آمدن خط تراوش، هنگامی که لایه‌ی یادشده بیش از حد ریزدانه باشد، پرهیز شود.
- دانه‌بندی مناسب برای زیرلایه‌ی رگلاژ بر روی خاک زیرین با مشخصه $d_{15} < 0.7\text{mm}$ در پیوست (۴) توصیه شده است. کیفیت و حجم مصالح مصرفی می‌بایست چنان تعیین شود که حفره‌ها و ناهمگونی‌ها کاملاً پر شود و حداقل ضخامت لایه‌ی پوششی ۵cm (در صورتی که زیر آب باشد حداقل ۱۰cm یا بیشتر حسب امکانات اجرایی و کنترل کیفیت اجرا در پروژه‌های خاص) تضمین گردد. در پروژه‌های کشور ما، که بعضاً ضخامت لایه با عنایت به رواداری‌های اجرایی و دقت اندازه‌گیری زیرآب تعیین می‌شود این ضخامت به لحاظ اجرایی تلقی شدن ممکن است ناچاراً بیش از حداقل کافی تعیین شود.

MAG توصیه می‌نماید که هنگام نصب ژئوتکستایل در زیر آب برای شیب‌های تندتر از ۱:۳ از مصالح سنگی شکسته (معدنی) که نسبت به مصالح سنگی رودخانه‌ای متفاوت و تیز گوشه‌ترند استفاده شود. در این حالت استفاده از لایه‌ی رگلاژی، طراحی ژئوتکستایل می‌بایست با توجه به مشخصات زیرلایه‌ی رگلاژ کنترل و نهایی شود (ر.ک. ۲-۴-۴ و ۳-۴-۴).

۴-۶ - استقرار ژئوتکستایل به همراه یک لایه‌ی فیلتر سنگی با دانه‌بندی محدود نشده

در شرایط مرزی خاص مشروح زیر، لایه‌ی ژئوتکستایل اصولاً می‌تواند به‌عنوان یک فیلتر رویی برای یک فیلتر سنگی متشکل از دانه‌بندی محدود نشده‌ی زیری هم به کار رود (شکل پ-۳-۳):

- زمانی که انواع بسیار متنوعی از خاک در بستر وجود دارد و در نتیجه استفاده از تئوری طراحی برای چنین بستری، بیش از یک ژئوتکستایل با ساختارهای مختلفی مورد نیاز می‌شود؛
- هنگامی که از مصالح مناسب به دست آمده از عملیات خاک‌برداری برای مقاصد فیلتر استفاده می‌شود؛
- برای کاستن از فشار آب هنگامی که زه شدید و موضعی آب زیرزمینی (مثلاً به دلیل جوشش آب از کف) وجود دارد؛
- برای کاربرد در زهکشی.

مشخصات فنی ضروری ژئوتکستایل در این حالت می‌تواند به صورت نسبی کاهش یابد (ر.ک. ۴-۳-۴).

۵-۶ - استفاده از مصالح دانه‌سنگی میان لایه‌ای بین ژئوتکستایل و لایه‌ی آرمور

تجربیات به دست آمده از نواحی در معرض جزر و مد و امواج سازه‌ها نشان می‌دهد که در حالت فرسایش‌پذیر بودن خاک زیرین، بهتر است از مصالح دانه‌سنگی میان لایه‌ای بین فیلتر ژئوتکستایل و لایه‌ی آرمور سنگی از نوع نسبتاً درشت‌دانه در حد مصالح کلاس II یا بزرگ‌تر (پیوست ۵)، استفاده شود که البته در صورت اجرای این حالت می‌باید اندازه‌ی دانه‌بندی مصالح سنگی میان لایه‌ای با ابعاد قطعات لایه‌ی آرمور با توجه به لزوم تحقق شرایط پایداری مکانیکی برای میان لایه سازگار شود (شکل پ-۳-۴) [۴۱]. این روش اجرا می‌تواند به ایجاد یک سطح تماس کامل بین ژئوتکستایل و زیرلایه حتی در حالت اصابت بارگذاری‌های سنگین و هیدرودینامیکی امواج کمک کند.

۶-۶ - ژئوتکستایل با ملحقات سازه‌ای

۶-۶-۱ - کلیات

در شرایط محیطی نسبتاً دشوار نصب در زیر آب و بسته به شرایط مرزی هیدرودینامیکی و ژئوتکنیکی ساختگاه هر پروژه خاص، اصل استفاده از ملحقات سازه‌ای زیر به همراه ژئوتکستایل می‌تواند در اجرا مدنظر قرار گرفته شود:

- لایه‌ی اضافی ژئوتکستایلی در زیر ژئوتکستایل فیلتر؛

- شبکه‌ی چپری^۵ متصل به ژئوتکستایل؛
- الحاق مواد معدنی در محل کارخانه بین دو لایه‌ی ژئوتکستایل.

۶-۶-۲- ژئوتکستایل به همراه لایه‌ی اضافی ژئوتکستایلی

استفاده‌ی اصولی از یک لایه‌ی اضافی ژئوتکستایل در زیر فیلتر ژئوتکستایل (شکل پ-۳-۵ و شکل پ-۳-۶) طراحی شده می‌تواند مزایای اجرایی زیر را داشته باشد:

- با اجرای لایه‌ی زیرین، در حین نصب از ایجاد چین‌خوردگی جلوگیری بیشتر شده و در نتیجه سطح تماس با خاک بستر زیرین قبل از نصب لایه‌ی رویی افزایش می‌یابد (که این امر خصوصا در خاک‌های فرسایش‌پذیر حایز اهمیت است)؛
 - مقاومت بیشتر در برابر نیروهای دینامیکی حین اجرای سازه‌ی ناشی از سقوط مصالح (ر.ک. ۴-۴-۳-۶) یا بارگذاری سوراخ‌کننده (ر.ک. ۴-۴-۳-۸)؛
 - تقویت پایداری ژئوتکستایل بر روی شیب‌های تند به دلیل افزایش ضریب اصطکاک (ر.ک. ۴-۴-۳-۱۰).
- اندازه‌ی روزنه‌های لایه‌ی اضافی معمولا براساس دانه‌بندی خاک زیرین تنظیم می‌شود.
- لایه‌های اضافی می‌توانند در نوع لایه‌هایی با ساختار منفذی کوچک در اندازه‌های متناسب با خاک زیرین (لایه‌ای پایدارکننده، در صورتی که برای پایدار کردن سطح مشترک ژئوتکستایل و خاک زیرین به کار روند) و نیز نوع لایه‌هایی با ساختار منفذی بزرگ (لایه‌ای مهارکننده)، طبقه‌بندی شوند. پس از گذشت زمان کوتاهی از وقوع بارگذاری هیدرولیکی مثلا تحت اثر امواج، لایه‌ی دوم می‌تواند برای مهاربندی کردن ژئوتکستایل در لایه‌ی ساب‌گرید به کار رود.
- توصیه می‌شود که لایه‌ی اضافی با چشم غیرمسلح به وضوح قابل رویت و ثبت باشد تا از صحت عملیات اجرا اطمینان حاصل شود. البته، مانند سایر پروژه‌های دریایی، ضروری است دستگاه نظارت با استفاده از غواص و تجهیزات فیلم‌برداری زیر آب مراحل اجرا را ثبت نماید.
- برای تعیین ساختار انواع لایه‌ی اضافی پارامترهای ارایه شده در جدول (۶-۱) توصیه می‌گردد:

جدول ۶-۱- روش تعیین ساختار لایه‌ی اضافی

ضخامت T (mm)	اندازه‌ی روزنه D _w (O ₉₀) (mm)	نوع لایه‌ی اضافی	خاک زیرین (زیر لایه)
۱۵-۵	۲-۰/۳	منافذ کوچک	نوع خاک ۲ الی ۴
۲۵-۱۵	۲۰-۸	منافذ بزرگ	

ضروری است از استفاده از لایه‌ی اضافی در حالت‌های زیر اجتناب نمود:

- زیر یک روکش^۶ بالایی نفوذناپذیر، زیرا به صورت لایه‌ای زهکش در حالت وقوع نشست عمل می‌کند (ر.ک. ۴-۴-۲-۲)؛

- شیب‌هایی که خاک زیرین آن‌ها در معرض آب‌شستگی شدید قرار داشته و حاوی سنگ نسبتاً بزرگ هم می‌باشند (ر.ک. ۳-۳-۱-۲)، در این صورت وجود این سنگ‌ها، لایه‌ی اضافی را پس از اجرا به‌طور نامطلوبی اصطلاحاً علم نموده و لذا حفره‌های بزرگ و یا کانال فرسایش در زیر ژئوتکستایل تولید می‌گردد؛
- شیب‌هایی که مستقیماً روی خاک خصوصاً ریزدانه قرار دارند (ر.ک. ۳-۳-۱-۵)، زیرا لایه‌ی اضافی می‌تواند پس از زمان نسبتاً کوتاهی بعد از اجرا در اثر انسداد توسط مصالح ریزدانه خاک تقریباً نفوذناپذیر شود؛
- هنگام ورود شدید زه آب زیرزمینی یا جوشش آب^۷، زیرا نفوذپذیری کمتر لایه‌ی فیلتر نسبت به لایه‌ی اضافی می‌تواند سبب گردد تا ناحیه‌ی پشت فیلتر ژئوتکستایلی متحمل فشار زیادی شود.

۶-۶-۳- ترکیب ژئوتکستایل با شبکه‌ی چپری الحاقی (تشک استغراق)

با اتصال یک شبکه‌ی چپری به قسمت رویی ژئوتکستایل به‌صورت اصولی، نصب با کیفیتی با تحقق ایجاد یک سطح تماس کامل بدون چین و چروک ژئوتکستایلی امکان‌پذیر می‌گردد (شکل پ-۳-۷). در حالتی که نصب زیر آب انجام شود (حالتی که اصطلاح تشک استغراق را تعریف می‌نماید)، سازه ژئوتکستایلی مربوطه می‌تواند یا با قرار دادن ماده‌ی پوششی خاص بر روی آن و یا به‌وسیله‌ی یک تیر سنگین و مستغرق شود. همچنین تعبیه‌کردن شبکه‌ی چپری الحاقی، میزان پایداری مصالح سنگی روی ژئوتکستایل را افزایش می‌دهد.

این نوع اجرای فیلتر می‌تواند خصوصاً در حفاظت بستر پروژه‌هایی که در اعماق زیاد آب مثلاً در موج‌شکن‌ها اجرا می‌شوند از یک‌سو و نیز از سوی دیگر در حفاظت شیب از نوع بدون طراحی یک تکیه‌گاه پاشنه (که مثال این نوع حفاظت شیب‌ها پایداری یک شیب طولانی ملایم در داخل دریاست)، به‌دلیل داشتن مزیت اجرایی و احیاناً اقتصادی این راه‌کار مدنظر قرار گیرد.

۶-۶-۴- ترکیب ژئوتکستایل با مصالح پرکننده‌ی سنگی معدنی

وزن واحد سطح ژئوتکستایل تمام شده را می‌توان در کارخانه با استفاده از مصالح دانه‌ای کنترل کیفیت شده مانند ماسه یا شن‌ریزی بین دو لایه‌ی ژئوتکستایل به میزان قابل توجهی افزایش داد. هنگام نصب در زیر آب، این امر به استقرار راحت‌تر ژئوتکستایل در محل دقیق مورد نظر بدون لزوم تحمیل سربار اضافی (پیشگیری از تغییر مکان از محل نصب دل‌خواه به‌دلیل شناور شدن ژئوتکستایل و به‌وجود آمدن چین و چروک در سطح تماس) منجر می‌شود.

۶-۷- لبه‌های لایه‌ی ژئوتکستایل در سازه‌های حفاظت شیب

هنگام نصب بر روی یک شیب، حفاظت از لبه‌ی بالایی ژئوتکستایل در برابر آب‌شستگی زیرسطحی ناشی از روان آب‌های سطحی، بالاروی امواج^۸ و سرریزی امواج در کل طول زمان اجرا و متعاقب آن در طول عمر مفید سازه ضروری است (شکل‌های پ-۳-۸ الی پ-۳-۱۰). تحقق این امر خصوصاً برای ژئوتکستایل‌های با لایه‌ی اضافی مهم است (ر.ک. ۶-۶-۲). همچنین، لبه‌های جانبی در شروع و انتهای سطح فیلتر می‌بایست در برابر آب‌شستگی زیرسطحی که به‌دلیل ضربه‌های امواج و جریان‌ات آشفته‌ی

7 - Cleavage water

8 - Wave run-up

موجود در ساختگاه ایجاد می‌گردند هم محافظت کامل شوند (برای مثال با راه‌کار پایدارسازی از نوع مدفون کردن لبه‌ها در خاک زیرین تا یک عمق مناسب از سطح بستر).

برخی انواع پاشنه‌های قابل استفاده در اتصال بخش پایینی سازه‌های حفاظت شیب در شکل‌های (پ-۳-۱۱) الی (پ-۳-۱۳) نمایش داده شده‌اند.

۶-۸- اتصال ژئوتکستایل با سازه‌ها

جزییات اتصال یک فیلتر ژئوتکستایلی با یک سازه می‌بایست به‌گونه‌ای اجرا شود که در صورت تغییر شکل در اتصال مورد نظر (بالا آمدن نقاط اتصال)، خاک زیرین حتماً حفاظت شده بماند. این‌گونه سیستم‌های اتصال داده شده می‌باید از پایداری فیلتری طولانی مدت هم برخوردار باشند. حتی پس از اتصال با یک سطح دارای شرط صاف بودن در حالت اجرا در خشکی می‌تواند به‌طریقه اجرای یک اتصال محکم به سازه مثلاً با ایجاد هم‌پوشانی با استفاده از قطعه‌ی ژئوتکستایلی مجزا امکان‌پذیر گردد. اتصال مورد نظر می‌باید به‌گونه‌ای اجرا شود که در صورت حرکت حین طول عمر مفید سازه، در معرض کرنش‌های مخاطره‌آمیز غیرقابل قبول هم قرار نگیرد (شکل پ-۳-۱۴).

نحوه‌ی اتصالات ژئوتکستایل با سطوح هموار غیرصفحه‌ای (مانند دیوار سپری^۱) هم در حالت اجرا در خشکی و هم در حالت اجرا در زیر آب به کمک هم‌پوشانی با مصالح فیلتری سنگی یا بتنی اجرا می‌گردد (شکل‌های پ-۳-۱۵ و پ-۳-۱۶).

۶-۹- هم‌پوشانی‌ها و درزها

ژئوتکستایل‌ها در طول‌های نسبتاً بلند تولید و عرضه شده اما عرض آن‌ها با توجه به ملاحظات اجرایی ساخت و حمل و نقل محدود می‌گردد. البته، استفاده از ورقه‌های عریض‌تر می‌تواند تعداد هم‌پوشانی‌های لازم را کاهش دهد که به نوبه‌ی خود از احتمال ایجاد خطا در خلال نصب و قرارگیری هم می‌کاهد. لذا، در پروژه‌های دریایی که حمل دریایی دارای محدودیت عرضی نمی‌باشد می‌توان به استفاده از ژئوتکستایل با ورقه‌های عریض‌تر به‌عنوان یک راه‌کار اجرایی دارای مزیت توجه نمود.

به‌عنوان مثال، اگر سفارش دریایی جهت تحویل ژئوتکستایل به بندری در خود ساختگاه یا نزدیکی آن مورد نظر باشد می‌توان به دلیل عدم وجود محدودیت خاص حمل زمینی عرض‌های بیشتری را به کارخانه سفارش داد تا هم سرعت عملیات اجرایی بالا رفته و هم کنترل کیفیت لازم در حجم کار کم‌تری لازم شود.

آیین‌نامه‌ی MAG بیان می‌نماید که هم‌پوشانی دو ژئوتکستایل می‌باید شرایط زیر را رعایت نماید [۴۶]:

- در حالت اجرا در خشکی بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۵ متر؛
- در اجرای زیر آب بزرگ‌تر یا مساوی ۱/۰ متر باشد. البته، خاص امکانات و تجارب اجرایی کشور ما، این حداقل‌ها می‌تواند با عنایت به رواداری‌های مجاز قراردادی تعریف شده و افزایش یابد.

در مقایسه، توصیه‌ی آیین‌نامه‌ی CEM نیز این است که هم‌پوشانی‌هایی که در معرض تنش قرار ندارند می‌باید حداقل عرضی به اندازه‌ی ۴۵ سانتیمتر را داشته باشند.

نوارهای هم‌پوشانی باید در امتداد جهت شیب ادامه یابند. اگر هم‌پوشانی افقی بر روی شیب ناگزیر باشد، در محل هم‌پوشانی صفحه‌ی پایینی همیشه باید بر روی صفحه‌ی بالایی قرار گیرد (شکل پ-۳-۱۸). لایه‌های اضافی نباید هم‌پوشانی داشته باشند. درز ورقه‌های ژئوتکستایلی در حین اجرا یا قبل از آن به‌وسیله‌ی درزبندهایی به هم دوخته یا چسبانده می‌شوند که معمولاً روش دوختن بر اتصالات اجرا شده در محل با رعایت کنترل کیفیت ترجیح داده می‌شود. شایان ذکر است که مناسب‌ترین دستورالعمل اتصال در محل ساختگاه برای یک منسوج ژئوتکستایلی خاص، معمولاً به‌وسیله‌ی تولیدکننده‌ی محصول تجویز می‌شود که ضروری است همیشه در عمل اخذ و رعایت کامل شود. بنا بر توصیه‌ی MAG، درزبندها باید با فاصله‌ی حداقل ۳cm نسبت به حاشیه‌ی ژئوتکستایل قرار داده شوند. درزبندها از نوع اصطلاحاً درزبند رو به بالا^{۱۰} باید با لبه‌ها به سمت بالا اجرا شوند تا از بلند شدن ژئوتکستایل جلوگیری کنند (شکل پ-۳-۱۷). CEM بیان می‌نماید که گیره‌های فولادی حفاظتی نصب (در صورت لزوم) باید دارای حداقل قطر ۵mm بوده و نیز سرهای آن‌ها قابلیت نگهداری و اشهرای فولادی با قطر خارجی ۳/۸cm را داشته باشند. طول گیره‌ها برای خاک‌های با تراکم متوسط تا بالا باید حداقل ۴۵۰cm باشد که این مقدار برای خاک‌های نرم‌تر افزایش هم می‌یابد. گیره‌ها می‌باید در وسط قسمت هم‌پوشانی قرار داده شوند. یک معیار اجرایی دیگر، فاصله‌ی بین گیره‌ها است که در شیب‌های تندتر از ۱:۳ نباید از ۰/۶m، در شیب‌های بین ۱:۳ تا ۱:۴ از ۱/۰m و در شیب‌های ملایم‌تر از ۱:۴ از ۱/۵m بیشتر باشد. در غیر این صورت، می‌باید گیره‌های اضافی برای جلوگیری از لغزش ژئوتکستایل استفاده گردد. برای اطلاعات دقیق‌تر در این خصوص می‌بایست به توصیه‌های روش اجرای سازندگان هر مورد خاص و نیز کتاب‌های تخصصی در زمینه‌ی ژئوتکستایل‌ها رجوع نمود.

۶-۱۰- لایه‌های آرمور

لایه‌ی حفاظتی آرمور اصولاً می‌بایست به‌گونه‌ای طراحی و اجرا شود که به غیر از کاربری اصلی حفاظت از پایداری کل سازه در برابر بارگذاری امواج و غیره، ژئوتکستایل را نیز از خسارت‌های ناشی از برخورد اجسام شناور و کشتی و پوسیدگی تدریجی ناشی از اثر اشعه‌ی فرابنفش (ر.ک. ۳-۳-۵)، در طولانی مدت هم محافظت نماید. بنابراین، توجه مهندسان طراح به این نکته ضروری است که در صورت استفاده از ژئوتکستایل در محیط‌های دریایی دارای تردد، خصوصاً در سواحل جنوب کشور با میزان بالای اشعه‌ی فرابنفش، لایه‌ی آرمور نسبت به طراحی سازه‌های صرفاً سنگی، لحاظ نمودن ویژگی‌های کاربردی بیشتری را به‌دلیل لزوم حفاظت خاص از ژئوتکستایل طلب می‌نماید.

اصولاً، در حفاظت شیب‌ها، ژئوتکستایل می‌باید با سطح زیرلایه تحت ضربات با منشاء هیدرولیکی سطح تماس کامل را داشته باشد (ر.ک. ۱-۶). به‌علاوه، هرچه اندازه‌ی دانه‌بندی مصالح رویی، ریزتر هم باشد طبعا تماس بین ژئوتکستایل و لایه‌ی مصالح سنگی زیری همگون‌تر و یکنواخت‌تر خواهد گردید (ر.ک. ۵-۶).

مثال‌های انواع اجرای لایه‌های آرمور متناسب با پروژه‌های حفاظت شیب یا بستر در شکل (پ-۳-۱۹) نشان داده شده‌اند. برای حصول به اهداف دو مبحث مهم اجرایی در کشور ما یعنی هم حفاظت در برابر پوسیدگی ناشی از اشعه‌ی فرابنفش و همین‌طور پیش‌گیری از صدمات و پارگی‌های ناشی از اصابت لنگر پرت شده کشتی‌ها^{۱۱}، شیارسازی توسط لنگرها^{۱۲} و یا برخورد

10 - Prayer seam

11 - Anchor cast

12- Anchor furrowing

کشتی با سازه‌ی ساحلی و دریایی می‌توان از حداقل ضخامت‌های لازم زیر برای لایه‌ی حفاظتی که بر پایه‌ی آزمایش‌های تجربی و میدانی و پایش شرایط اجرا شده در گذشته به‌دست آمده‌اند، استفاده نمود:

- $T \geq 0.7 \text{ m}$ - مصالح پرکننده‌ی درشت دانه و با اندازه‌های غیر هم‌اندازه:
- $T \geq 0.6 \text{ m}$ - لایه‌ی آرمور کلاس II یا III با اجرای معمولی و بدون متراکم‌سازی:
- $T \geq 0.4 \text{ m}$ - لایه‌ی آرمور کلاس II با تزریق موضعی:
- $T \geq 0.3 \text{ m}$ - لایه‌ی آرمور کلاس II کاملاً تزریق شده:
- $T \geq 0.15 \text{ m}$ - بتن آسفالتی:

که جهت تفسیر ضوابط فوق، تقسیم‌بندی آرمورها بر اساس دانه‌بندی آن‌ها طی پیوست (۵) ارائه گردیده است. البته، توجه به این نکته هم ضروری است که ضوابط طراحی و اجرای لایه‌ی آرمور طبق نشریه‌ی شماره ۳۰۰ جهت حفاظت از سازه‌ی دریایی و ساحلی در قبال اثر امواج می‌بایست کماکان تامین گردد.

فصل 7

آزمایش‌ها

این فصل از راهنما به همراه پیوست (۹) به معرفی و تأکید بر لزوم انجام انواع آزمایش‌هایی می‌پردازد که در فرآیندهای طراحی، خرید و نصب ژئوتکستایل برای استفاده در سازه‌های دریایی و ساحلی می‌باید در نظر گرفته شده و در تدوین مشخصات فنی قراردادهای تهیه و اجرای ژئوتکستایل با پیمانکاران استفاده شوند. بازه‌های قابل قبول نتایج آزمایش‌ها در فصل (۴) حسب استانداردهای اروپایی و آمریکایی ارایه گردیده‌اند.

۷-۱- کلیات

مطابق مشروح در پیوست (۹)، آزمایش‌های لازم جهت کنترل و تضمین کیفیت می‌تواند به دسته‌های کلی زیر تقسیم شود:

- آزمایش‌های عمومی (پایه)؛
 - آزمایش‌های کنترل کارایی؛
 - آزمایش‌های کنترل کیفیت در حین تولید در کارخانه؛
 - آزمایش‌های کنترل کیفیت توسط کارفرما یا دستگاه نظارت؛
- که در این راستا توصیه می‌شود به‌عنوان پیش‌شرط تایید یک محصول، کلیه این آزمایش‌ها مطابق مشروح در پیوست (۹) توسط مراجع صلاحیت‌دار انجام و نتایج مربوطه تایید نهایی شود.

۷-۲- آزمایش‌های عمومی

آزمایش‌های عمومی توسط پیمانکار برای اثبات اصولی مناسب بودن کیفیت مواد و مصالح قبلاً استفاده نشده، ویژگی‌های ترکیبات استفاده شده در تهیه مواد و روش خاص اجرای مورد برای رسیدن به هدف مطلوب پروژه انجام می‌شود و اسناد احراز کیفیت لازم جهت تایید نهایی کارفرما قبل از تصمیم به استفاده از محصول خاصی ارایه می‌گردد.

۷-۳- آزمایش‌های کنترل کارایی

این‌گونه آزمایش‌ها توسط پیمانکار برای اثبات مناسب بودن مواد مصرفی، ترکیبات ساخت مواد و سیستم اجرای آن‌ها برای هدف مهندسی مورد نظر با در نظر گرفتن نحوه‌ی اجرا، مطابق مشخصات فنی که باید به‌صورت کامل مندرج در قرارداد مربوطه شوند به کار می‌رود. این آزمایش‌ها نیز باید در یک بازه‌ی زمانی کافی قبل از شروع عملیات اجرایی انجام و مدارک مثبت مربوطه تولید شوند.

آزمایش کنترل کارایی محصول ژئوتکستایل برای موارد زیر ضروری است:

- برای اثبات تامین شده بودن هرگونه ملزوماتی که در شرایط خاص یک پروژه اجرایی باید رعایت گردند از طرف پیمانکار و این موارد در گواهی‌نامه‌های آزمایش‌های عمومی بند قبلی گنجانده نشده باشند؛

- در موارد نیاز به سطح ایمنی بالاتر مثلا برای سازه‌های مهم و حساس و در حالتی که خاک زیرین ساختگاه از نظر ویژگی‌های فیلترکنندگی ژئوتکستایل در حالت بحرانی قرار داشته باشد (آزمایش‌های کنترل کارایی با استفاده از دانه‌بندی خاک زیرین به‌عنوان خاک مورد آزمایش)؛
- در حالتی که روش اجرای خاصی که قبلا آزمایش نشده برای پروژه موردنظر باشد و یا در حالتی که تجربه‌ای کافی برای اجرای ژئوتکستایل در زیر آب وجود نداشته باشد که وقوع این وضعیت در خصوص اجرای ژئوتکستایل در پروژه‌های دریایی فعلی کشور کاملا صدق می‌نماید؛
- اگر خصوصیات مواد پایه مورد استفاده با آنچه در آزمایش‌های عمومی پیش‌بینی شده از نظر منبع تهیه و یا نوع مواد و غیره، تفاوت داشته باشند. به عبارتی دیگر، اگر تغییر قابل ملاحظه‌ای در خواص این مصالح نسبت به فرضیات طراح یا نتایج موجود از آزمایش‌های عمومی، محتمل باشد.

۷-۴- آزمایش‌های کنترل کیفیت در حین تولید در کارخانه

کنترل کیفیت محصولات باید توسط آزمایش‌های کنترل و تضمین شده بودن کیفیت توسط سازنده و مرجع ذی‌صلاح ملی و بین‌المللی مربوطه در صورت لزوم تایید گردد.

آزمایش‌های کنترل کیفیت در کارخانه، آن دسته از آزمایش‌هایی هستند که برای اطمینان از این که کیفیت مواد ساخته شده، ترکیبات موادساخت و سیستم‌های موادساخت با مشخصات فنی مصالح مندرج در قرارداد مطابقت داشته باشند صورت می‌گیرند.

۷-۵- آزمایش‌های کنترل کیفیت توسط کارفرما یا دستگاه نظارت

آزمایش‌های کنترل کیفیت توسط کارفرما یا دستگاه نظارت به جهت حصول اطمینان از این امر است که مشخصه‌های کیفیت مواد مورد استفاده در اجرا، ترکیب‌های موادساخت و اصطلاحا سامانه موادساخت حاصله که این سامانه به ترکیبی از فن‌آوری‌های مواد و ساخت اطلاق می‌گردد الزامات مشخصات فنی قراردادی مدنظر طراح را برآورده می‌سازد. نمونه‌ها برای آزمایش طبق دستورالعمل مورد قبول کارفرما توسط پیمانکار به‌دستور کارفرما اخذ شده و پس از تایید توسط کارفرما به آزمایشگاه مورد تایید ارسال می‌گردد. به عنوان مثال، موارد زیر در نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه درج می‌گردند:

- الزامات قراردادی؛
- نام و نوع محصول؛
- شماره‌ی رول^۳؛
- نام پروژه‌ی اجرایی؛
- بازه‌ای که نمونه‌ی اخذ شده نماینده‌ی آن است؛
- وجه رویی ژئوتکستایل به‌لحاظ اجرا؛
- تاریخ نمونه‌گیری؛
- نام مسوول مربوطه.

اگر مطابق قرارداد قرار است درزبندها در محل اجرا تولید شوند نیز ضروری است نمونه‌هایی از آن‌ها به تعداد کافی قبل از شروع اجرا برای آزمایش ارسال شود.

برنامه‌ریزی مناسب عملیات اجرایی می‌بایست به گونه‌ای صورت گیرد که نمونه‌ها در زمان مناسب قبل از اجرا به آزمایشگاه فرستاده شده تا نتایج آزمایش قبل از هرگونه شروع عملیات اجرایی در دسترس و قابل بررسی باشند و صرفاً پس از تایید نتایج شروع عملیات اجرایی صورت پذیرد.

به‌عنوان یک نکته‌ی پایانی که در کل این فرآیندهای طراحی و خرید و حمل و اجرای ژئوتکستایل در کشور ما مهم است عنایت به زمان انتظار خاص یک محصول وارداتی مانند ژئوتکستایل اگر مقرر باشد از منبع خارجی تهیه شود است. در این صورت کلیه‌ی فرآیند سفارش و ساخت و حمل دریایی و ترخیص از گمرک همگی باید در زمان‌بندی اجرای پروژه پیش‌بینی شوند. عنایت به این نکته در پروژه‌هایی که مثلاً به‌دلیل شرایط موج بودن بیش از حد فقط چند ماه در سال امکان اجرای آن سازه‌ی دریایی خاص موجود است کاملاً ضروری است تا از تاخیر به‌دلیل دیر در دسترس بودن ژئوتکستایل پیشگیری شود و آزمایش‌ها هم به‌دلیل لزوم جهت جبران تاخیر در عملیات اجرایی کاهش کمی و کیفی ننمایند.

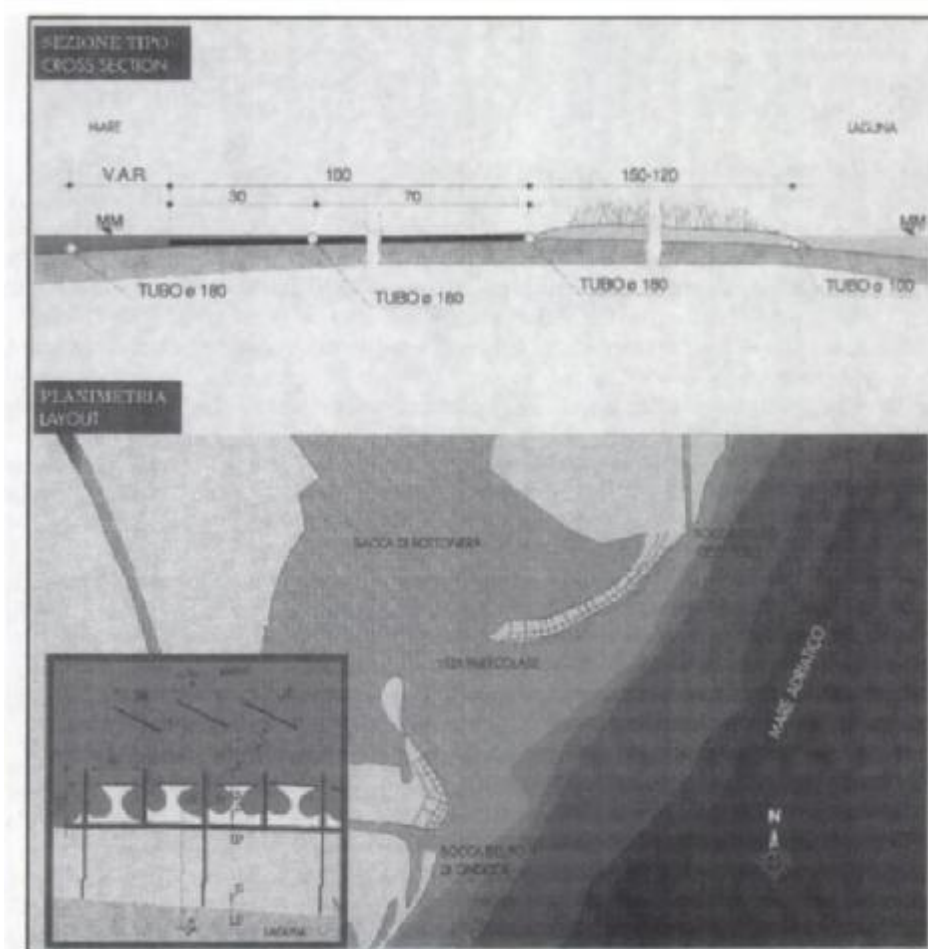
فصل 8

**برخی پروژه‌های عملی کاربرد
ژئوتکستایل در پروژه‌های دریایی**

هدف از این فصل راهنما، ارایه‌ی برخی مثال‌های عملی استفاده از ژئوتکستایل در پروژه‌های بین‌المللی خصوصاً با معرفی مثال‌های سامانه‌های ژئوتکنیکی یا ژئوسیستم‌ها است که هنوز مرجع راهنمای طراحی بین‌المللی یا ملی خاصی در دنیا در حال حاضر ندارند و طراحی آن‌ها برحسب توصیه‌های سازندگان، تجارب موجود و مطالعات موردی خاص هر پروژه انجام می‌گردد. البته، مثال‌های محاسباتی انجام طراحی مطابق ضوابط مندرج در این راهنما طی پیوست‌های راهنمای حاضر تشریح بیشتر و ارایه شده‌اند.

۸-۱ - استفاده از لوله‌های لانگارد در ایتالیا

به منظور حفاظت از جزیره‌های دلتایی که در اطراف قوس ناحیه‌ی دلتای پو (Po delta) تشکیل شده‌اند و در خلال دهه‌های گذشته دست‌خوش فرسایش مستمر و فزاینده بوده‌اند، این پروژه در ناحیه‌ی ساحلی به‌نام Sacca Delgi Scardovari اجرا گردید. پدیده‌ی فرسایش این جزیره‌ها از این نظر مهم است که از بین رفتن آن‌ها موجب محرومیت دلتا از حفاظت ساحلی طبیعی‌اش می‌شود. لذا، برای مداخله در این فرآیند باید روشی در نظر گرفته شود که در عین جامعیت دارای هم‌خوانی راه‌حل با مشکلات فنی و محیطی بوده و اکوسیستم محلی ساحل را نیز محفوظ دارد (شکل ۸-۱).



شکل ۸-۱ - پلان و مقطع پروژه در Sacca Delgi Scardovari

ظرفیت باربری پایین بخش‌هایی از کناره‌های ساحلی که بالای سطح آب قرار می‌گیرند و نبود عمق آب اطراف آن‌ها سبب بروز معضلات متعدد در کاربرد روش‌های سنتی مانند سازه‌های حفاظت ساحلی از نوع سخت مانند انواع معرفی شده در نشریه‌ی ۳۰۰ می‌شود. لذا، استفاده از لوله‌های لانگارد که با ماسه یا سیلت پر می‌شوند به جهت استفاده از مصالح محلی و عدم نیاز به استخراج و حمل مصالح از خارج محیط، انتخاب مناسبی به نظر رسید. فرآیند پر کردن به کمک پمپ‌های ویژه‌ای که مصالح ماسه‌ای را در داخل سازه‌ی لوله تزریق می‌کند انجام شده است. لوله‌های لانگارد در قطرهای مختلفی تا ۲/۳m و طول‌های مختلفی تا ۱۰۰m در دسترس بوده‌اند. هنگامی که این سازه‌ها در ترکیبات مختلف استفاده شوند، سازه‌های حفاظت ساحلی‌ای را تشکیل می‌دهند که با قرارگیری در مسیر قطع جریان‌های کرانه‌ای توانایی به تله انداختن ماسه‌ی موجود و لذا جمع کردن مقدار قابل توجهی از رسوب را خواهند داشت که تجمع این رسوبات هم تیوب را در برابر فرسایش حفاظت می‌کنند.

هنگامی که این سازه‌ها با پوشش گیاهی طبیعی محلی منطقه ساختگاه مانند برگنو و درخت گز، که این پوشش‌های گیاهی طبیعی محیط ساختگاه به دلیل فرسایش قبلی کرانه‌ها قبل از احداث سازه‌ی حفاظت ساحلی جدید ناپدید شده بودند، ترکیب شوند در نتیجه این امر، سازه‌ی حفاظت ساحلی یک‌پارچگی کاملی هم از این نظر با محیط اطراف حاصل می‌کند.

شرح مختصر پروژه:

سازه‌های ساحلی برای حفاظت و بازسازی کرانه‌های ماسه‌ای ضرورتاً از قسمت‌های زیر تشکیل گردیده است:

۱- خطی که به عنوان موج‌شکن فراساحلی عمل می‌کند و در عمق ۲ الی ۳ متری زیر سطح متوسط آب (MSL) و در فاصله‌ی تقریبی ۱۵۰m از ساحل قرار گرفته. این خط از لوله‌های لانگارد با قطر ۱/۸m و طول تقریبی ۱۰۰m و فواصل ۴۰m به گونه‌ای در پلان قرار گرفته‌اند که با اثرات جهت باد غالب مقابله نمایند (شکل ۸-۲).

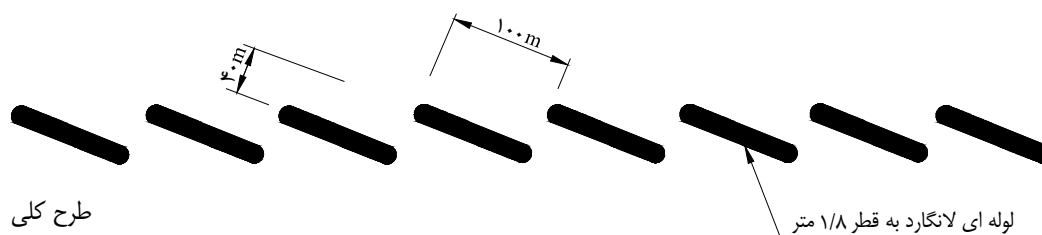
۲- سیستمی از ورقه‌های عرضی که با موانع موازی ناپیوسته^۱ ترکیب می‌شوند تا با پیش‌روی طبیعی که متعاقب به ساخت این موج‌شکن فراساحلی صورت خواهد گرفت خط ساحل آتی را به وجود آورد. این ورقه‌های متشکل از لوله‌های لانگارد با قطر ۱/۰m، هر ۱۰۰m قرار گرفته و دارای طول ۱۰۰m بودند. این لوله‌ها بر روی فیلتری به عرض ۳/۷۵m برای پیش‌گیری از فرسایش بستر دریا قرار داده شده‌اند. این موانع ناپیوسته از لوله‌های با قطر ۱/۸m و طول ۱۰m تشکیل شده‌اند.

۳- خاک پشته^۲ پیوسته‌ای در خط اولیه‌ی سطح آب از لوله‌های لانگارد با قطر ۱/۸m تشکیل شده‌اند. این لوله‌ها روی فیلترهای با قطر ۱/۵m قرار گرفته تا کد ارتفاعی بین ۱/۲m+ تا ۱/۵m+ بالاتر از سطح متوسط آب دریا را تضمین نمایند که این امر جهت پیش‌گیری از عبور امواج به دلیل سرریزی امواج می‌باشد.

۴- سامانه‌ای متشکل از خطوط عرضی ژئوتیوب‌های لانگارد که برای محافظت از کرانه‌ی ماسه‌ای مورد نظر در محورهای عرضی موازی یک‌دیگر بر کرانه‌ی ماسه‌ای در فواصل ۲۰۰m تا ۳۰۰m در امتداد خط داغ آب داخل تالاب اجرا شده‌اند. این تیوب‌ها دارای قطر ۱m می‌باشند که در مقابل اصابت امواج پس از پر شدن با ماسه‌ی مناسب پایداری لازم را تأمین نمایند.

1 - Discontinuous parallel barrier

2 - Ridge



شکل ۲-۸- شکل کلی لوله‌های لانگارد

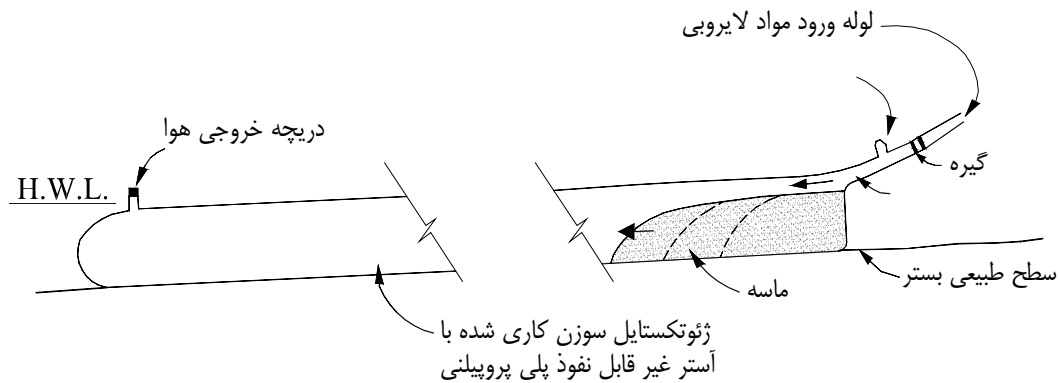
اجرای پروژه:

پروژه در سال ۱۹۸۲ آغاز و در چهار مرحله‌ی متناوب به اجرا گذاشته شد و در نتیجه‌ی اجرای آن حفاظت کرانه‌ای به طول کلی ۴km احداث شد که یک‌چهارم آن در جنوب دهانه‌ی رودخانه احداث گردیده است. سرعت عمداً پایین اجرای پروژه طی یک دهه، فرآیند همگون‌سازی تدریجی آن را با محیط اطراف ممکن ساخته و حداقل ضربه را به اکوسیستم دلتا وارد آورده است. در سال ۱۹۹۲، کارهای مرتبط با ترمیم دهانه و استحصال تقریباً به پایان رسید. تجهیزات مورد استفاده در پروژه شامل یک لایروب مکنده جهت تامین ماسه لازم، یک پانتون برای قراردادن لوله‌های لانگارد و حمل آن‌ها، سه قطعه تجهیزات خاص برای پرکردن لوله‌های لانگارد، یک قایق یدک‌کش، یک دوبه موتوردار، پنج عدد لودر و یک بولدوزر بودند. پروژه در مدت خالص پانزده ماه ولی در طول ده سال اجرا گردید و در آن از ۱۷۶۰۰m لوله‌ی لانگارد با قطرهای مختلف، ۷۰۰۰m تشک فیلتر با عرض‌های متفاوت و مقادیر قابل توجهی سنگ، ژئوتکستایل، مصالح لایروبی و غیره هم استفاده گردید.

۲-۸- رانه‌گیر ژئوتکستایلی بزرگ در استرالیا

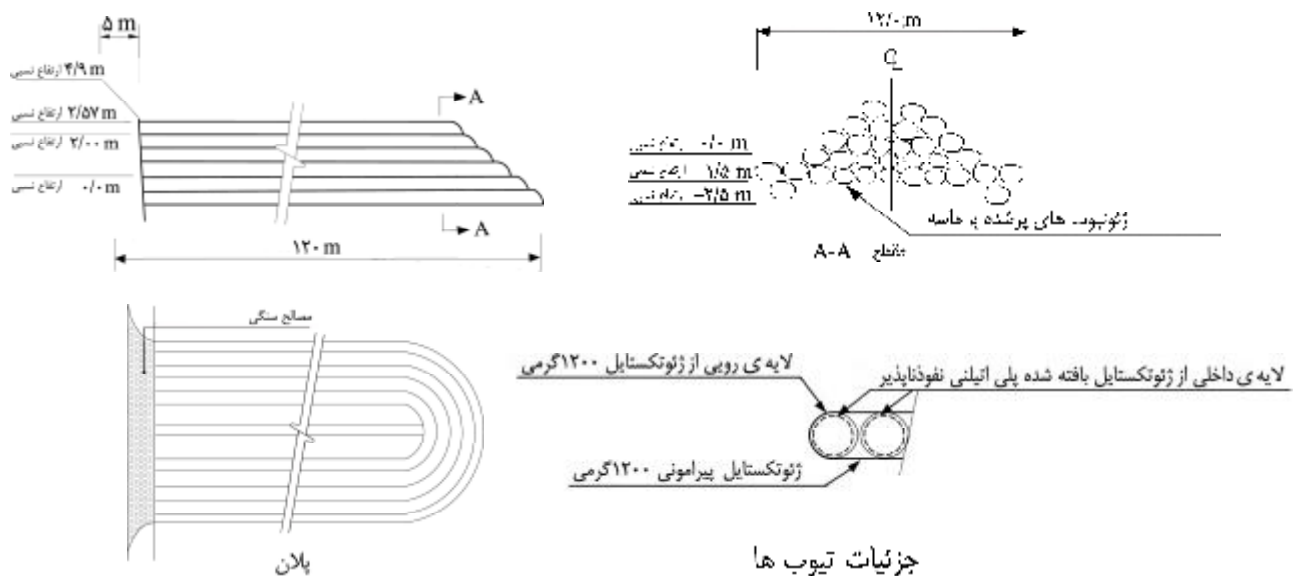
در سال ۱۹۸۴، رانه‌گیر موقتی در ساحل کرا (Kirra) واقع در منطقه‌ای به نام ساحل طلایی (Gold Coast) استرالیا با عمر مفید مورد نظر ۵ سال شروع به احداث گردید تا در خلال آن مدت با داشتن اطلاعات پایش این سازه انتخاب راه‌حل بلند مدت مشکل فرسایش شدید محل مورد تحقیق گرفته و به موقع به اجرا گذاشته شود. به لحاظ تصمیم بر اجرایی بودن این راه‌کار، تحقیقات وسیعی برای مقدر بودن عمل‌کرد مناسب اجرای ژئوتکستایل‌های پرشده با ماسه صورت گرفت تا این سازه‌ها هم به راحتی در هنگام نیاز قابل برداشتن از محل اجرا و جمع‌آوری باشند و هم در برابر امواج نسبتاً پراارتفاع (دارای ارتفاع امواج محیط تا ۵m در آب عمیق) پایداری داشته باشند. یک ضابطه‌ی دیگر طراحی، سازگاری با فعالیت‌های تفریحی، ورزشی و توریستی جاری در محل ساختگاه بوده است.

در ارتباط با همین پروژه، برای تخمین بهتر پتانسیل‌ها و ریسک‌های طراحی، رانه‌گیر کوچکی هم به طول ۴۰m و ارتفاع لوله‌ی ۱/۲m در نقطه‌ای دیگر از ساحل طراحی و نصب گردید که پرکردن این رانه‌گیر آزمایشی به کمک مصالح لایروبی و با پمپ مناسب صورت گرفت (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- روند پرکردن رانه‌گیر کوچک

متعاقباً، رانه‌گیر اصلی پروژه به طول حدود ۱۲۰m، عرض زیرین ۱۲m و ارتفاع ۵m متشکل از پنج ردیف ژئوتیوب با قطر ۱/۲m اجرا گردید (شکل ۴-۸). ژئوتکستایل مورد استفاده در ژئوتیوب‌ها از نوع سوزن کاری شده با وزن مخصوص 1200 g/m^2 و مقاومت کششی 44 kN/m برای لایه‌ی خارجی و الیاف بافته شده‌ی نفوذناپذیر از جنس پلی اتیلن با مقاومت گسیختگی 38 kN/m برای لایه‌ی داخلی بوده است. حداکثر تنش مقاوم صفحه‌ای در ممبران مرکب 65 kN/m به دست آمد. ژئوتیوب‌ها به لحاظ سازه‌ای با دیافراگمی پوشانده شدند تا با هم ترکیبی عمل کنند. این رانه‌گیر در سال ۱۹۸۵ اجرا گردید. محل انجام کار به طور موقت با ساخت یک بند ماسه‌ای حین کار محافظت گردید. سطح بستر نیز به میزان $2/5 \text{ m}$ زیر متوسط سطح آب گودبرداری شد. قبل از قراردادن و پرکردن ژئوتیوب‌ها لایه‌ی فیلتری با پهن کردن ژئوتکستایل در کف بستر دریا و قراردادن ژئوتیوب‌هایی بر آن برای محافظت از خوردگی بستر اجرا گردید.



شکل ۴-۸- مقطع و شمای رانه‌گیر ژئوتکستایلی در ساحل Gold Coast

در مقایسه، هزینه‌ی اجرایی رانه‌گیر فوق تا حدودی کمتر از رانه‌گیر متعارف از نوع توده سنگی بود. جهت حصول اطمینان از پایداری، مدل فیزیکی این رانه‌گیر در مقیاس ۱:۲۵ هم در آزمایشگاه تحقیقات هیدرولیکی دانشگاه شهر (New South Wales)

مورد آزمایش قرار گرفت. در نتیجه‌ی این مدل‌سازی فیزیکی، سازه‌ی فوق در برابر امواج آب عمیق به ارتفاع ۵m تحت زاویه‌ی برخورد صفر درجه (حالت جهت موج عمود بر موج‌شکن) پایدار بود. برای اصابت مایل امواج، پایداری کاهش یافته به طوری که برای زاویه‌ی برخورد ۲۲/۵ درجه نسبت به محور طولی رانه‌گیر، پایداری سازه صرفاً مادامی که سطح آب این طوفان پایین‌تر از سطح ژئوتیوب‌های لایه رویی باشد، برقرار بود و در صورت وقوع سطح آب‌های بالاتر که لایه رویی را مستغرق می‌ساخت، ناپایداری کامل لایه‌ی رویی و نیز دو لایه‌ی زیرین ژئوتیوب به دلیل حرکت‌های جانبی، حتی در ارتفاع موج ۳/۷۵m هم حادث می‌گردید. احتمال سرقت و خراب‌کاری در حین ساخت این رانه‌گیر و پس از آن، معضلی مشهود بود. نخستین نشانه‌های وقوع آن، مشاهده پارگی‌های متعدد با چاقو بود که ترمیم لازم به کمک وصله‌های ژئوتکستایلی که با چسب چسبانده شده بودند صورت گرفت. پس از اجرای رانه‌گیر و وقوع طوفانی با ارتفاع امواج ۲/۵ الی ۳ متری، قدری نشست در قسمت هد رانه‌گیر ثبت گردید. در ژانویه سال ۱۹۸۶، بریدگی نسبتاً وسیعی به طول ۲m الی ۳m در ردیف دوم ژئوتیوب‌ها در قسمت هد مشاهده گردید. این بریدگی باعث شد که ژئوتیوب لایه‌ی رویی به کناره‌ها رانده شود و نهایتاً به پارگی دیافراگم پوششی ژئوتیوب‌ها و خرابی کلی ۲۰m پایانی سازه بینجامد. در آگوست سال ۱۹۸۶، سی عدد کیسه ژئوتکستایلی بزرگ به ابعاد ۴m در ۱/۲m برای ترمیم قسمت آسیب‌دیده جایگذاری شد و فضای بین آن‌ها نیز با مخلوط ماسه-آسفالت پوشانده شد. لیکن نشست‌های بعدی سازه‌ای باعث شستگی مخلوط ماسه-آسفالت گردید.

در نتیجه‌گیری، اگرچه وقوع خراب‌کاری و ضعف سازه‌ای در قسمت هد به خرابی کلی ۳۰m پایانی این سازه‌ی موج‌شکن مانند انجامید، آن‌هم در حالتی که این سازه به کرات در معرض امواج آب عمیق با ارتفاع قابل توجه تا ۵m نیز قرار گرفت (که امواج شکننا پس از انتقال به آب کم‌عمق با ارتفاع ۲ الی ۲/۵ متری در هد سازه اتفاق می‌افتد) ولی مابقی سازه تا به حال عملکرد رضایت بخشی داشته است.

مشاهدات کلی نشان می‌دهد که با وجود نیاز به تکمیل دانش طراحی هد، ایده‌ی استفاده از این گونه سازه‌ها، خصوصاً هنگامی که مصالح مناسب محلی موجود نباشد به صورت اصولی قابل بررسی است که مهندسين طراح می‌توانند با پیش‌بینی مدل‌سازی فیزیکی هد با امواج مایل از صحت طراحی برای منطقه‌ی هد خصوصاً برای جهت حاد اصابت امواج به این نوع سازه یقین بیشتری حاصل نمایند.

۸-۳ - کاربرد ژئوکانتینر در موج‌شکن‌ها و سازه‌های دریایی

پروژه با نام اصطلاحاً مسیر چشم قرمزی (Red Eye Crossing) بندر اوکلند واقع در ایالت کالیفرنیا شامل شش بند خاکی به طول مجموع ۲۱۳۰m می‌شد که یک پروژه با حجم کار نسبتاً متوسط کم در سازه‌های دریایی تلقی می‌گردد و در سال ۱۹۹۳ میلادی اجرا گردید. کیسه‌ها روی دوبه به وسیله لودر در محل قرار داده شدند و ژئوکانتینرها نیز با فروافتادن از دوبه‌ی از وسط بازشونده بر روی بستر سقوط نموده و اجرا شدند.

جزئیات هزینه‌های اجرایی و احجام و مقادیر مصالح مصرفی در پروژه براساس بهای واحد حجم مصالح پرکننده محاسبه گردید. طی این پروژه، در حدود ۲۹۰۰۰m^3 کیسه پلی پروپیلنی که به صورت مکانیکی از ماسه پر شدند استفاده گردید. بهای واحد تمام شده

کیسه‌ها ۳۶/۶ دلار در هر مترمکعب برآورد گردید. محیط کیسه‌ها ۳/۶۵m و طول آن‌ها ۳/۶۵m بود که پس از دوخته شدن به قطر ۱/۲m می‌رسید.

در این پروژه از ۵۵۶ عدد ژئوکانتینر استفاده شد که به‌صورت مکانیکی با ماسه پر شدند. این ژئوکانتینرها هر یک بین $۷۶/۵m^3$ الی $۴۲۰m^3$ ماسه را در خود جای دادند که بهای واحد ۲۱/۴۶ دلار در هر مترمکعب با احتساب هزینه‌ی ژئوکانتینر و هزینه‌ی عملیات پرکردن حاصل می‌شود. محیط ژئوکانتینرها ۱۳/۷m و طول‌شان بین ۱۲m الی ۳۵m بود. حداکثر طول به عرض در آن‌ها بین ۳/۳ تا ۹/۶ متغیر بود.

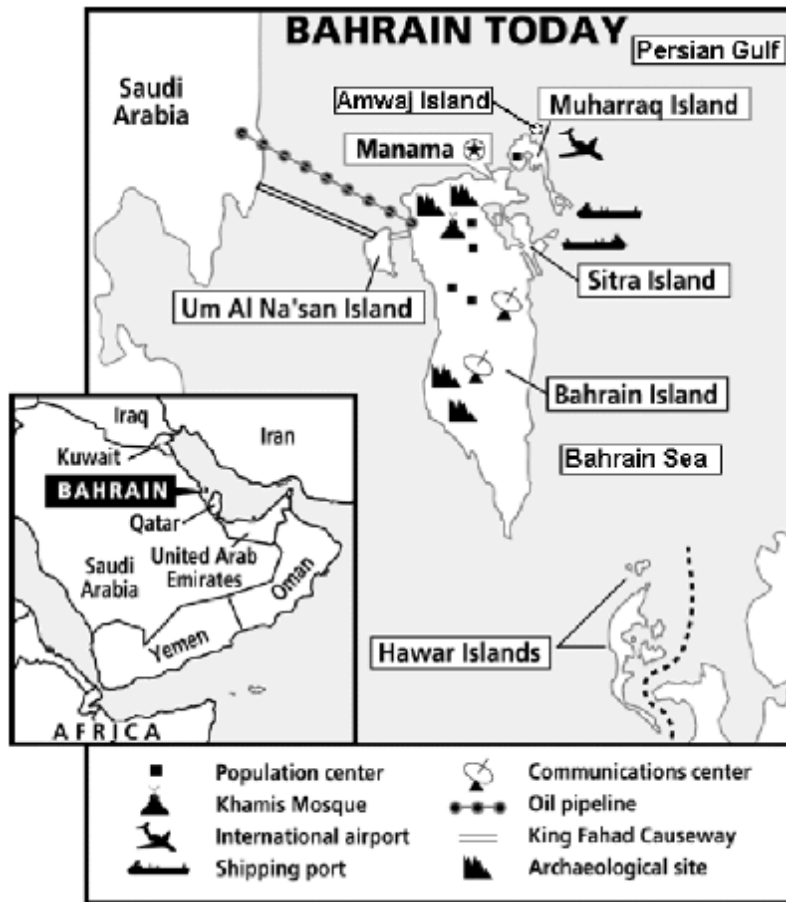
بین ۶۰ تا ۷۰ درصد حجم ژئوکانتینرها با ماسه پر شدند. قبل از قراردادن ژئوکانتینر در دوبه، مقدار $۱۱۵m^3$ ماسه به دوبه اضافه گردید. این امر به سهولت دوختن رویه ژئوکانتینر کمک نموده پس از باز کردن دوبه، لایه‌ی ماسه‌ی اضافی با جریان موجود با سرعت تقریبی ۱/۲ m/s شسته شد و ژئوکانتینر به‌طور یکنواخت و بدون پیچ و تاب در محل مستقر گردید. در شروع پروژه سه ژئوکانتینر، از مجموع ۵۵۶ عدد دچار گسیختگی شدند.

گزینه‌ی اجرایی دیگری خاص پروژه‌ی فوق‌الذکر با استفاده از سنگ با هزینه‌ی ۱۶ الی ۲۰ دلار در هر تن و یا هزینه‌ی ۳۱ الی ۳۹ دلار در هر مترمکعب قبلاً مورد بررسی قرار گرفته ولی گزینه‌ی ژئوتکستایلی انتخاب گردیده بود. با مقایسه‌ی بهای واحد هر گزینه‌ی مختلف، هزینه $۲/۳m^3$ کیسه‌ی ماسه‌ای معادل هزینه‌ی سنگ به‌دست می‌آید اما هزینه‌ی ژئوکانتینرهای پرشده با ماسه حدود ۵۰٪ ارزان‌تر از سنگ بود. این مثال نشان‌گر حالت خاصی است که در برخی نقاط دنیا به‌دلیل رقابت تولید و اجراکنندگان محصولات ژئوتکستایلی، استفاده از ژئوکانتینرها نه تنها ارزان‌تر تمام می‌شود بلکه خطرات کم‌تری نیز متوجه نفت‌کش‌هایی که در بندر تردد می‌کردند می‌نمود چراکه از حمل دریایی و زمینی سنگ به منطقه جلوگیری گردید، نهایتاً، هزینه‌ی کل پروژه که در حدود ۶،۰۰۰،۰۰۰ دلار محاسبه گردید به‌دلیل کاهش هزینه‌ی نگهداری در طول دو سال جبران گردید و این پروژه تا به‌حال بدون مشکل خاصی مورد بهره‌برداری قرار گرفته است.

تعداد سه عدد از ژئوکانتینرها به اندازه‌گیر تنش و فشار مجهز شدند، ولی هزینه‌ی این اندازه‌گیرها در هزینه‌ی کلی پروژه لحاظ نگردید. ژئوکانتینرها در عمق ۱۸ متری در آب رها شدند. داده‌های تنش اندازه‌گیری شده از اندازه‌گیرها نشان می‌داد که ضریب ایمنی ژئوکانتینرها نزدیک به ۱/۰ بوده است. پس از اتمام اجرای پروژه مقدار کمی از ماسه‌ی درون کیسه‌های ژئوتکستایلی و ژئوکانتینرها به‌دلیل بزرگی ابعاد روزنه‌ی ژئوتکستایل مورد استفاده از آن‌ها خارج گردید. لیکن مقدار فرار مصالح ماسه‌ای آن‌قدر زیاد نبود که به پایداری سازه آسیبی وارد آورد.

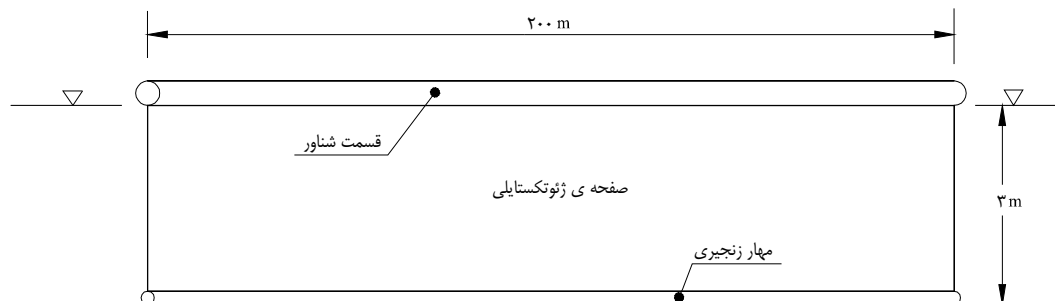
۸-۴ - احداث جزیره‌ی مصنوعی در بحرین به کمک ژئوتیوب

پروژه "امواج" (Amwaj) احداث جزیره‌ای مصنوعی در شمال شرقی جزیره‌ی محرق در سواحل شمالی خلیج فارس واقع در بحرین را به مساحت تقریبی $۲،۷۹۰،۰۰۰m^2$ شامل می‌شود. نکته‌ی قابل توجه در این پروژه استفاده از ژئوتیوب در محیط جزیره است که حدود دوازده میلیون مترمکعب ماسه‌ی لایروبی را داخل خود دربرگرفته است. طول تقریبی ژئوتیوب مورد استفاده در این پروژه در حدود ۱۰km بوده است. موقعیت مکانی جزیره‌ی امواج در خلیج فارس در شکل صفحه‌ی بعد نمایش داده شده است.



شکل ۸-۵- موقعیت مکانی جزیره‌ی مصنوعی امواج در بحرین

از نقطه‌نظر ملاحظات زیست‌محیطی، می‌بایست میزان حرکت لای و سیلت در خلال عملیات لایروبی و استحصال زمین از دریا کنترل شده و به حداقل ممکن کاهش می‌یافت تا محیط طبیعی دریایی را تحت‌الشعاع قرار ندهد. بدین منظور، پرده‌هایی از جنس ژئوتکستایل بافته‌شده‌ی پلی‌پروپیلنی مطابق شکل زیر برای جلوگیری از حرکت لای و سیلت در اطراف محل پروژه نصب شدند. طول هر یک از پرده‌ها در حدود ۲۰۰m و ارتفاع آن‌ها ۳m بوده است.



شکل ۸-۶- پرده پلی‌پروپیلنی برای جلوگیری از حرکت لای و سیلت در حین اجرای پروژه

برای طراحی موج‌شکن‌های توده‌سنگی در این پروژه، موج طرح با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال در نظر گرفته شد. به دلیل نیاز به استفاده از منظره‌ی دریا، موج‌شکن‌ها از نوع مستغرق^۳ طراحی گردیدند. در پیرامون جزیره، ساحل مصنوعی ماسه‌ای نیز احداث گردید که موج‌شکن‌ها وظیفه‌ی محافظت از آن‌را در برابر آب‌شستگی برعهده خواهند داشت.

عمق ساحل جنوبی جزیره‌ی امواج کم و بین ۰/۰ تا ۰/۵ متر بالاتر از ارتفاع مبنای عمق نقشه می‌باشد (۰/۵m CD). عمق آب در ساحل شرقی این جزیره بین ۲/۵m CD و ۱/۵m CD متغیر است. در کرانه‌ی شمال شرقی، شیب بستر دریا تند بوده و با فاصله‌ی ۱۵۰m از موج‌شکن، عمق به ۲/۵m CD می‌رسد. به دلیل عمق کم در محل پروژه، ارتفاع امواج با شکستن تدریجی آن‌ها به صورت محسوسی کاهش می‌یابد و به اصطلاح توسط عمق محدود می‌گردد.

رفتار جزر و مدی در محل پروژه از نوع مخلوط نیمه‌روزانه^۴ بوده و مشخصات آن به شرح زیر است:

جدول ۱-۸- ارتفاع‌های جزر و مدی در محل جزیره‌ی امواج

مولفه‌ی جزر و مدی	مقدار	
Mean High Water Spring (MHWS)	۲/۴m CD	متوسط سطح آب بالای بالاتر
Mean High Water Neap (MHWN)	۲/۲m CD	متوسط سطح آب بالای پایین‌تر
Mean Sea Level (MSL)	۱/۵m CD	متوسط سطح آب
Mean Low Water Spring (MLWS)	۰/۸m CD	متوسط سطح آب پایین بالاتر
Mean Low Water Neap (MLWN)	۱/۱m CD	متوسط سطح آب پایین پایین‌تر

با توجه به مطالعات افزایش سطح آب در اثر خیزاب و برکشند طوفان که توسط مرکز مطالعات هیدرولیک دانمارک در سال ۱۹۷۳ محاسبه گردیده بود، میزان افزایش سطح آب برای دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله برابر ۱/۵m بالاتر از سطح متوسط آب یا CD ۳/۰m در نظر گرفته شد. لذا، با در نظر گرفتن اثر متوسط مد بیشینه، رقوم ارتفاع طراحی برابر ۳/۵m CD انتخاب گردید.

ارتفاع موج عمده در آب عمیق قابل‌استفاده برای طراحی نیز برابر ۵/۸m، ۶/۰m و ۶/۲m به ترتیب برای دوره‌ی بازگشت‌های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شدند. پیرو متنظر امواج فوق‌الذکر نیز بین ۸ الی ۱۰ ثانیه بوده است.

از آنجایی که به دلیل عمق کم محل پروژه از ارتفاع موج آب عمیق به میزان محسوسی نسبت به مشخصات در آب عمیق کاسته می‌شود، لذا شرایط امواج طراحی در محل پروژه به صورت جدول زیر کاهش می‌یابد:

جدول ۲-۸- حداکثر ارتفاع موج در حالت عادی و طوفانی در محل پروژه

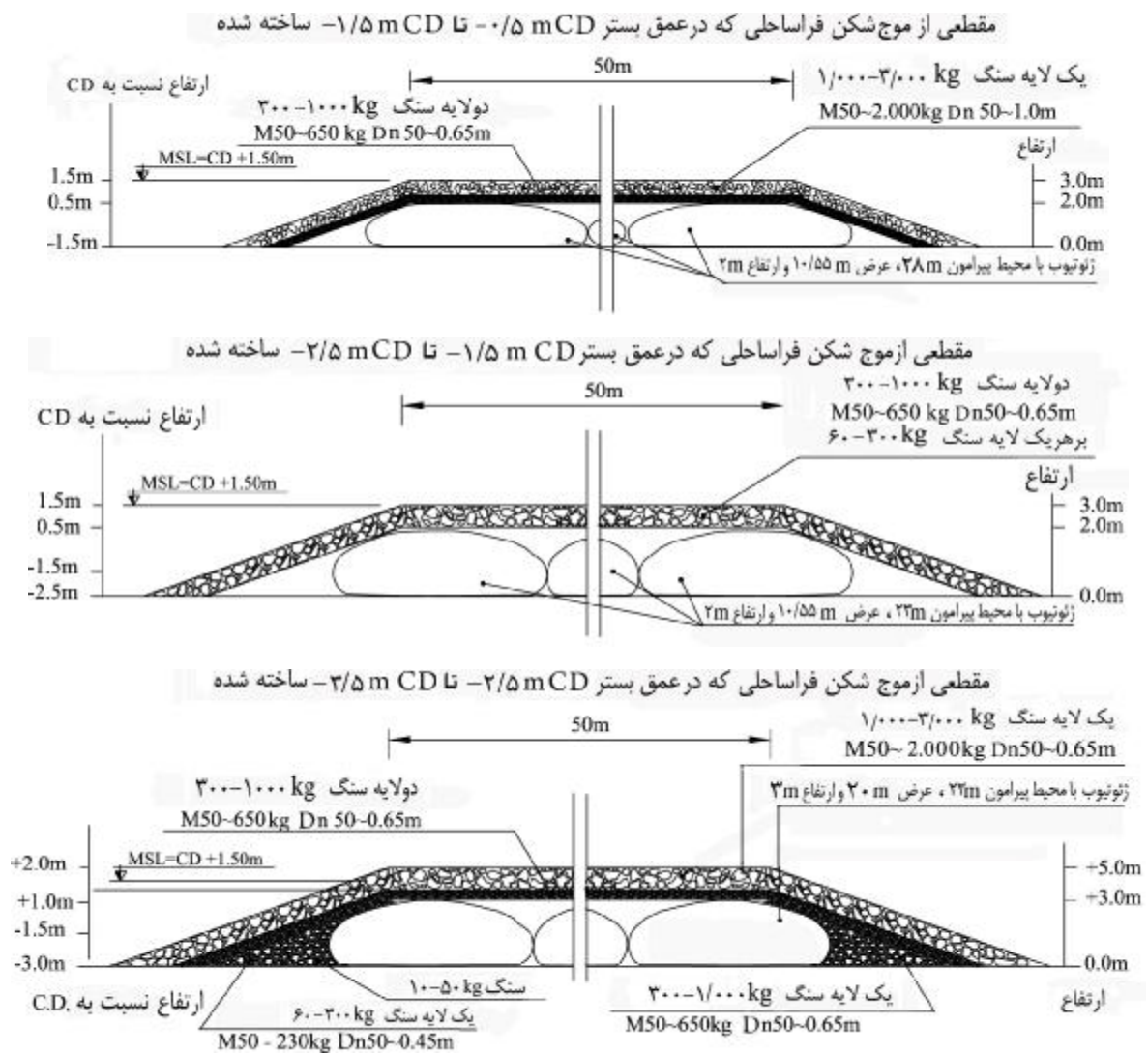
حداکثر ارتفاع موج (متر)	عمق آب (متر)	ارتفاع سطح آب (متر)	
۱/۵	۱/۹	۲/۴	حالت غالب سالیانه
۲/۷	۳/۴	۳/۹	حالت طوفانی

برای طراحی، از موج‌شکن‌های تاج‌پهن مستغرق در هر دو قسمت کم‌عمق و عمیق استفاده گردید. ارتفاع تاج موج‌شکن برابر ارتفاع متوسط سطح آب دریا (MSL) و عرض موج‌شکن نیز در حدود ۵۰m (تقریباً برابر یک طول موج) تعیین شد. طراحی

3 - Submerged

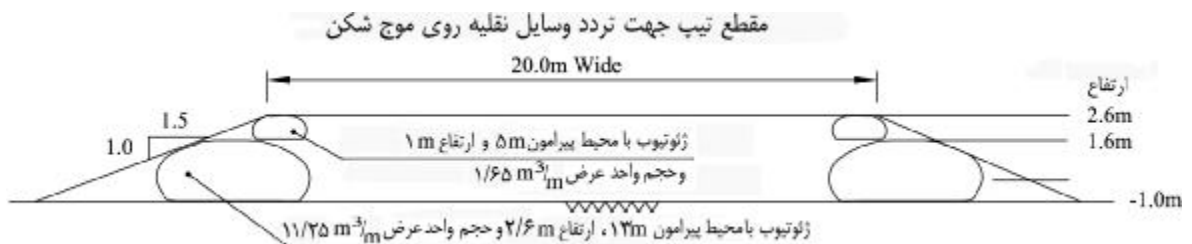
4 - Mixed Semi-diurnal

موج‌شکن‌ها با استفاده از ژئوتیوب و با روش توصیه شده توسط Pilarczyk انجام شد. حفاظت‌های ساحلی پیرامون و داخل جزیره نیز با استفاده از ژئوتیوب محاسبه گردید. الیاف ژئوتکستایلی به کار رفته در ژئوتیوب‌ها از نوع ژئوتکستایل بافته‌شده از جنس پلی‌پروپیلن با مقاومت بالا در برابر اشعه‌ی فرابنفش بوده است. شکل (۷-۸) سطح مقطع طراحی شده‌ی موج‌شکن‌ها را در عمق‌های مختلف نشان می‌دهد.

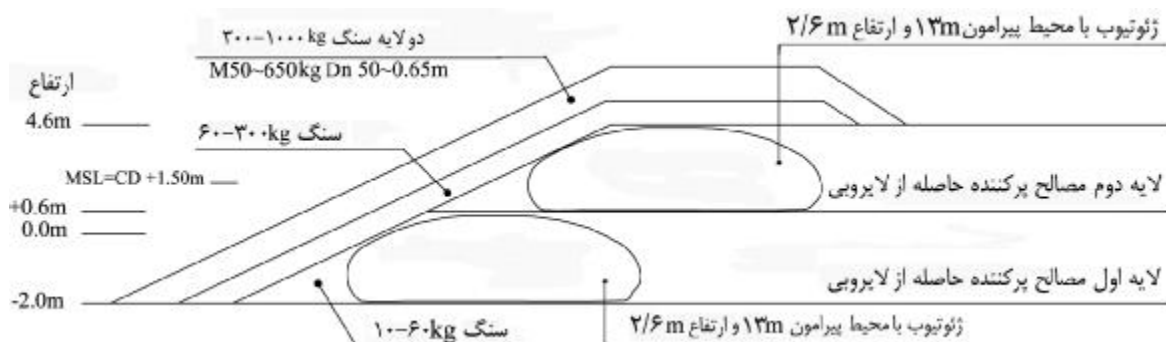


شکل ۷-۸ - سطح مقاطع موج‌شکن‌ها در عمق‌های مختلف پروژه امواج بحرین

در شکل‌های (۸-۸) و (۹-۸) سطح مقاطع ماشین‌رو و حفاظت ساحلی پیرامون جزیره ارایه گردیده‌اند.



شکل ۸-۸- سطح مقطع متعارف راه ماشین‌رو



شکل ۹-۸- سطح مقطع سازه‌ی حفاظت ساحلی پیرامون جزیره

مشخصات فنی ژئوتکستایل مصرفی نیز در جدول زیر ارائه گردیده است:

جدول ۳-۸- مشخصات فنی ژئوتکستایل مصرفی در پروژه‌ی امواج بحرین

مشخصه	آزمایش استاندارد	واحد	متوسط کمینه‌ی عدد بدست آمده از آزمایش
اندازه‌ی روزنه	EN-ISO 12956	Micron	۲۳۰
نفوذپذیری	EN-ISO 11058	m/s	۰/۰۱
نیروی بیشینه‌ی سوراخ‌کننده	EN-ISO 12236	kN	۲۰
تغییر مکان در اثر نیروی سوراخ‌کننده	EN-ISO 12236		۴۰
عرض کششی در هر دو جهت اصلی	EN-ISO 10319	mm	۲۰۰ X ۲۰۰
کرنش کششی در هریک از جهت‌های اصلی	EN-ISO 10319	kN/m	۱۵
مقاومت در برابر اشعه‌ی فرابنفش (برحسب درصد مقاومت نهایی به‌دست آمده)	ENV 12224	%	۹۰٪
مقاومت درزبند	EN-ISO 10319	U.T.S.	۹۰
وزن	EN 965	kN/m	۹۴۰
ضخامت	EN 964-1	mm	۳/۳

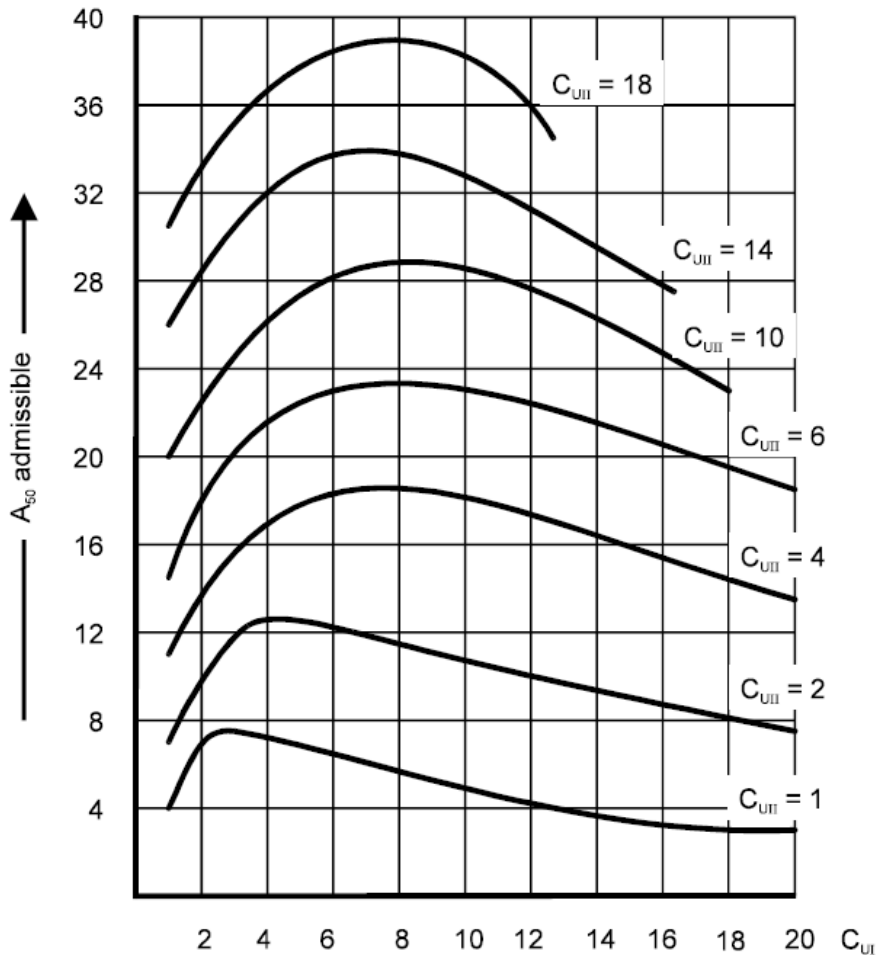
مزیت اصلی عنوان شده جهت استفاده از ژئوتکستایل‌ها در این پروژه سرعت بالای اجرا بوده است. به‌علاوه، مطابق اسناد ثبت هزینه‌های اجرایی مورد استناد مالکیت پروژه، ظاهراً استفاده از ژئوتیوب به صرفه‌جویی تا حد ۵۰ درصدی در هزینه‌ی اجرایی پروژه انجامید. البته، قبل از نتیجه‌گیری از این نکته هم نمی‌باید گذشت که امکان استفاده از مصالح لایروبی آن‌هم در آن حجم و با سرعت تهیه‌ی بالا که قطعاً این میزان زیاد لایروبی تبعات زیست محیطی نامناسب برای محیط نسبتاً حساس منطقه‌ی طرح یعنی خلیج فارس هم داشته است نمی‌توان به‌سادگی عبور نمود و به‌صورت مستقل امکان بررسی این‌که آیا واقعا تا ۵۰ درصد صرفه‌جویی تحقق هم یافته به‌دلیل در دست نبودن اسناد مقایسه‌ی مربوطه موجود نمی‌باشد.

پیوست 1

**کنترل نیاز به لایه‌های فیلتر و یا
جداکننده**

پ-۱-۱- نحوه‌ی کنترل

در صورتی که نسبت A_{50} از مقدار مجاز آن با توجه به نمودار CISTIN/ZIEMS (شکل زیر) بیشتر شود، طراحی لایه‌ی فیلتر بین خاک بستر و لایه‌ی حفاظتی پوششی ضرورت می‌یابد.



شکل پ-۱-۱- نمودار CISTIN / ZIEMS

A_{50} : نسبت متوسط قطر ذرات D_{50} لایه‌ی حفاظتی پوششی و d_{50} خاک زیرین که باید محافظت شود

C_{U_i} : ضریب یکنواختی خاک بستر یا خاک لایه‌ی زیرین

$C_{U_{ii}}$: ضریب یکنواختی مصالح لایه‌ی حفاظتی پوششی

توجه: نمودار CISTIN/ZIEMS برای خاک‌های بستر در بازه‌ی $0.1 < d < 30\text{mm}$ و دانه‌بندی فیلتر در بازه‌ی $4 < D < 100\text{mm}$ می‌باشد. لیکن با توجه به اینکه این ضوابط بر پایه‌ی نسبت اندازه‌ی هندسی ذرات تنظیم شده، لذا می‌توان آن را برای تعیین ضرورت استفاده از فیلتر در خاک‌های درشت‌دانه‌تر هم به کار برد. این ضوابط هم‌چنین می‌تواند برای تشخیص ضرورت لایه‌ی جداکننده در حالت بارگذاری دینامیکی (امواج) نیز استفاده شود (ر.ک. ۲-۳-۲).

مثال عملی:

الف - لایه‌ی حفاظتی از سنگ آرمور کلاس II بر روی خاک زیرین تشکیل شده از ماسه با شن‌های بسیار درشت

$$d_{60} = 2.0 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 1.5 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 0.4 \text{ mm} \quad \text{خاک بستر:}$$

$$C_{UI} = 5$$

$$\text{لایه‌ی حفاظتی:} \quad D_{50} = 170 \text{ mm} \quad (\text{پیوست ۵})$$

$$C_{UII} = 1.7$$

با توجه به نمودار CISTIN/ZIEMS: مقدار A_{50} مجاز = ۱۱ می‌باشد.

$$\text{مقدار موجود } A_{50} \text{ برابر } A_{50} = \frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{170}{1.5} = 113 < \text{مقدار مجاز } A_{50} \text{ است. در نتیجه فیلتر ضروری است.}$$

ب - لایه‌ی حفاظتی از سنگ آرمور کلاس II بر روی خاک زیرین شنی نسبتاً همگن

$$d_{60} = 20 \text{ mm}$$

$$d_{50} = 16 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 4 \text{ mm} \quad \text{خاک بستر:}$$

$$C_{UI} = 5$$

$$\text{لایه‌ی حفاظتی:} \quad D_{50} = 170 \text{ mm} \quad (\text{پیوست ۵})$$

$$C_{UII} = 1.7$$

با توجه به نمودار CISTIN/ZIEMS: مقدار A_{50} مجاز = ۱۱

$$\text{مقدار موجود } A_{50} \text{ برابر: } A_{50} = \frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{170}{16} = 10.6 > \text{مقدار مجاز } A_{50} \text{ است. در نتیجه نیازی به تعبیه‌ی لایه‌ی اضافی}$$

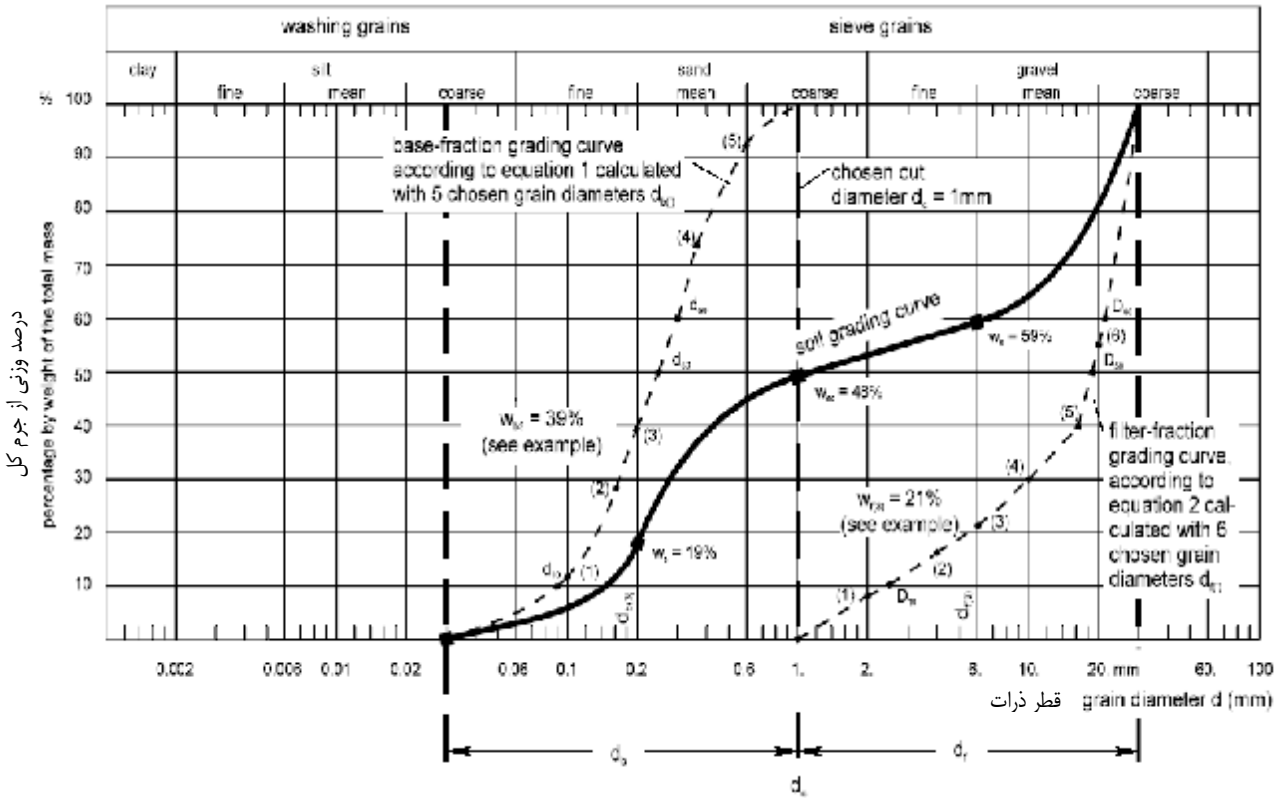
فیلتر نیست.

پیوست 2

**کنترل پایداری خاک در برابر فرار
مصالح**

پ-۱-۲- نحوه‌ی کنترل

۱- منحنی دانه‌بندی را مطابق شکل زیر در نقطه‌ای اختیاری قطع کنید. قطرهای ریزدانه‌تر به‌عنوان بازه‌ی پایه (d_b)، قطرهای درشت‌دانه‌تر به‌عنوان بازه‌ی فیلتر (d_f) خواهند بود. قطر قطع‌کنندگی (d_c) و درصد وزنی (W_{SC}) را نیز بخوانید.



شکل پ-۱-۲- منحنی دانه‌بندی خاک و دانه‌بندی کسر خاک پایه و خاک فیلتر برای قطر قطع‌کنندگی انتخابی d_c

۲- با توجه به رابطه‌های (پ-۱-۲) و (پ-۲-۲) منحنی دانه‌بندی مجزایی را برای هر یک از کسرهای خاک پایه (بستر) و خاک فیلتر به‌دست آورید. برای این منظور حداقل ۵ قطر با توزیع یکنواخت در هر حالت باید استفاده گردد:

الف - تعیین منحنی دانه‌بندی کسر خاک پایه یا زیرین^۱

درصد وزنی برای قطر دانه‌بندی انتخابی $d_{b(i)}$ خواهیم داشت:

$$W_{b(i)} = \frac{W_s}{W_{SC}} \times 100\% \quad (پ-۱-۲)$$

ب - تعیین منحنی دانه‌بندی کسر خاک فیلتر

درصد وزنی برای قطر دانه‌بندی انتخابی $d_{f(i)}$ خواهیم داشت:

$$W_{f(i)} = \frac{W_{b(i)} - W_{SC}}{100\% - W_{SC}} \times 100\% \quad (پ-۲-۲)$$

که در آن:

$W_{b(i)}$: درصد وزنی منحنی دانه‌بندی کسر خاک پایه (بستر) در قطر دانه‌ی انتخابی $d_{b(i)}$

$W_{f(i)}$: درصد وزنی منحنی دانه‌بندی کسر خاک فیلتر در قطر دانه‌ی انتخابی $d_{f(i)}$

W_s : درصد وزنی خاک در قطر دانه‌ی انتخابی $d_{b(i)}$ یا $d_{f(i)}$ در منحنی دانه‌بندی اصلی

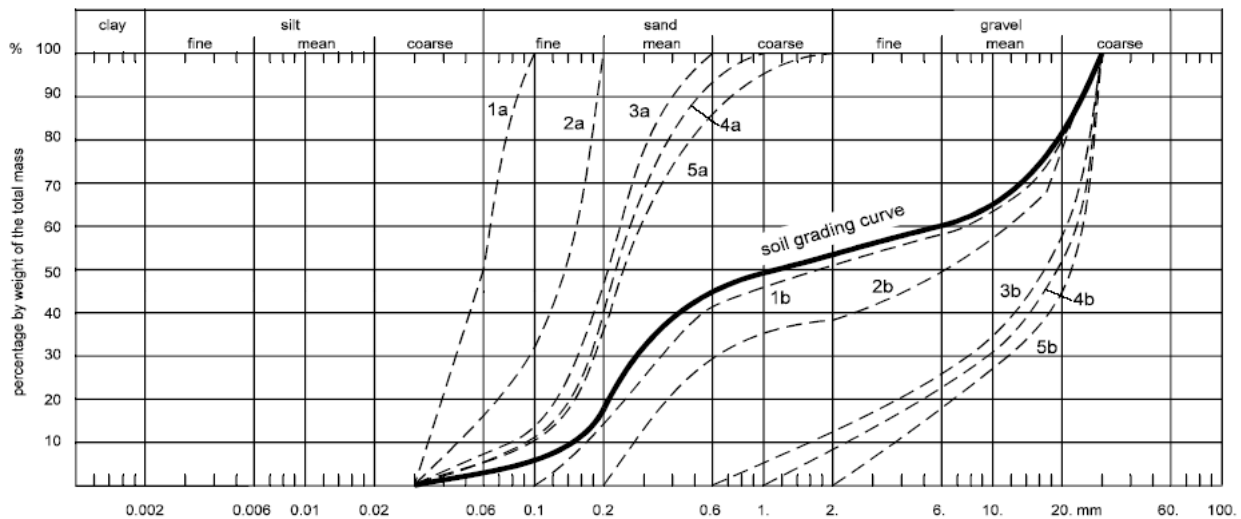
W_{SC} : درصد وزنی خاک در قطر قطع‌شدگی d_c در منحنی دانه‌بندی اصلی

۳- پایداری مکانیکی فیلتراسیون را برای منحنی دانه‌بندی کسر پایه و فیلتر با توجه به نمودار CISTIN/ZIEMS کنترل کنید،

(پیوست ۱). اگر مقدار مجاز A_{50} تامین گردید، پایداری فیلترکنندگی بین دو کسر انتخابی وجود دارد.

۴- مراحل ۱ تا ۳ را برای قطرهای قطع‌کنندگی متفاوت انجام دهید (شکل پ-۲-۲). خاکی در برابر فرار مصالح پایدار است که

پایداری مکانیکی (هندسی) فیلترکنندگی بین کسرهای پایه و فیلتر آن به ازای تمامی قطرهای قطع‌کننده تامین شده باشد.



شکل پ-۲-۲-۲- قطرهای قطع‌کنندگی متعدد

پ-۲-۲- مثال محاسبه‌ی طراحی

۱- منحنی دانه‌بندی موجود در شکل (پ-۲-۲) را در قطر قطع‌کنندگی $d_c = 1 \text{ mm}$ به کسر فیلتر و پایه تقسیم کنید.

$$W_{SC} = 48\% \quad (\text{پ-۲-۳})$$

۲- به منظور تعیین منحنی دانه‌بندی کسر پایه و فیلتر خاک، تقریباً تمام قطرهای دانه‌بندی باید مورد استفاده قرار گیرد:

$$d_{b(i)} = 0.1; 0.15; 0.2; 0.35; 0.6 \text{ mm} \quad (\text{پ-۲-۴})$$

$$d_{f(i)} = 2.0; 4.0; 6.0; 10; 16; 20 \text{ mm}$$

مثلاً برای $d_{b3} = 0.2 \text{ mm}$ داریم $W_s = 19\%$ (ر.ک. شکل پ-۲-۱).

از رابطه‌ی (پ-۲-۱):

$$W_{b3} = 19\% / 48\% \times 100\% = 39\% \quad (\text{پ-۲-۵})$$

مثلاً برای $d_{f3} = 6 \text{ mm}$ داریم $W_s = 59\%$ (ر.ک. شکل پ-۲-۱)

از رابطه‌ی (پ-۲-۲):

$$W_{f3} = \frac{59\% - 48\%}{100\% - 48\%} \times 100\% = 21\% \quad (\text{پ-۲-۶})$$

به‌طریق مشابه درصد وزنی کسرهای فیلتر و پایه‌ی منحنی‌های دانه‌بندی را برای سایر قطرهای تعیین شده به‌دست آورید.
 ۳- به منظور کنترل پایداری فیلترکنندگی کسرهای پایه و فیلتر قطرهای مشخصه‌ی زیر و منحنی دانه‌بندی آن‌ها مورد نیاز است:

کسر فیلتر	کسر پایه
$D_{60} = 22\text{mm}$	$d_{60} = 0.3\text{mm}$
$D_{50} = 19\text{mm}$	$d_{50} = 0.25\text{mm}$
$D_{10} = 2.75\text{mm}$	$d_{10} = 0.09\text{mm}$
$C_{U\text{II}} = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 8$	$C_{U\text{I}} = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 3.3$

(پ-۲-۷)

با توجه به پیوست (۱) با $C_{U\text{I}} = 3.3$ و $C_{U\text{II}} = 8$ داریم $A_{50} = 22$ (مجاز)

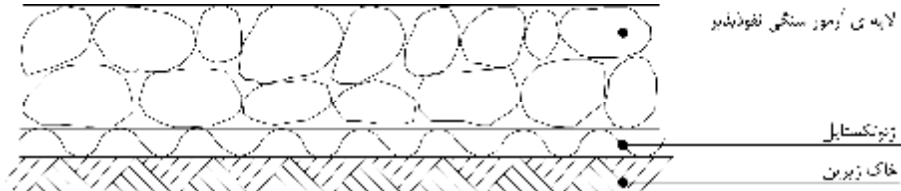
$$\text{مجاز } A_{50} = \frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{19}{0.25} = 76 > A_{50} \quad (\text{موجود})$$

پایداری مکانیکی فیلترکنندگی بین منحنی‌های دانه‌بندی کسر پایه‌ی فیلتر وجود ندارد. به‌عبارت دیگر، این ترکیب در برابر فرار مصالح با توجه به قطر قطع‌کنندگی موجود پایدار نمی‌باشد.

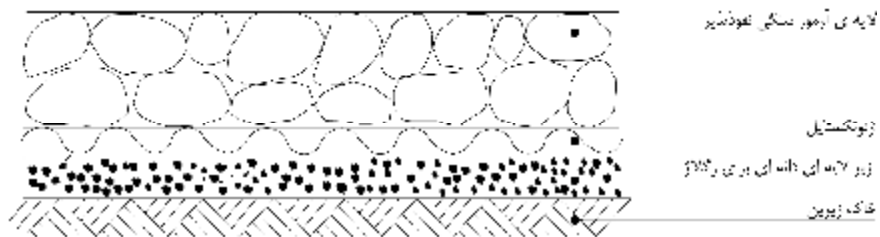
پیوست ۳

برخی نکات اجرایی

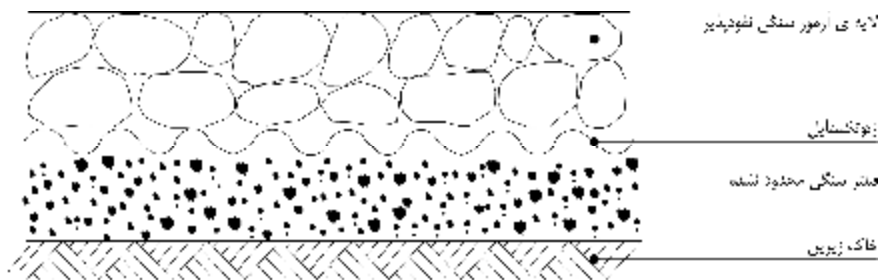
پ- ۳-۱- انواع روش‌های اجرای فیلترها



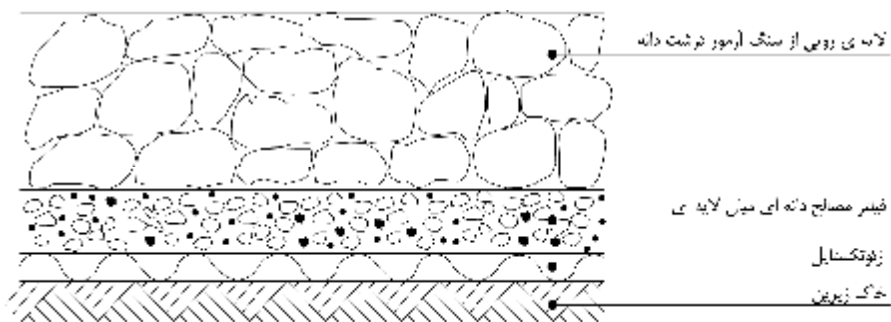
شکل پ-۳-۱- ژئوتکستایلی که مستقیماً بر روی خاک زیرین قرار گیرد: کاربرد متداول (ر.ک. ۶-۲)



شکل پ-۳-۲- ژئوتکستایل بر روی زیرلایه‌ی رگلاژ از مصالح دانه سنگی (ر.ک. ۶-۳)

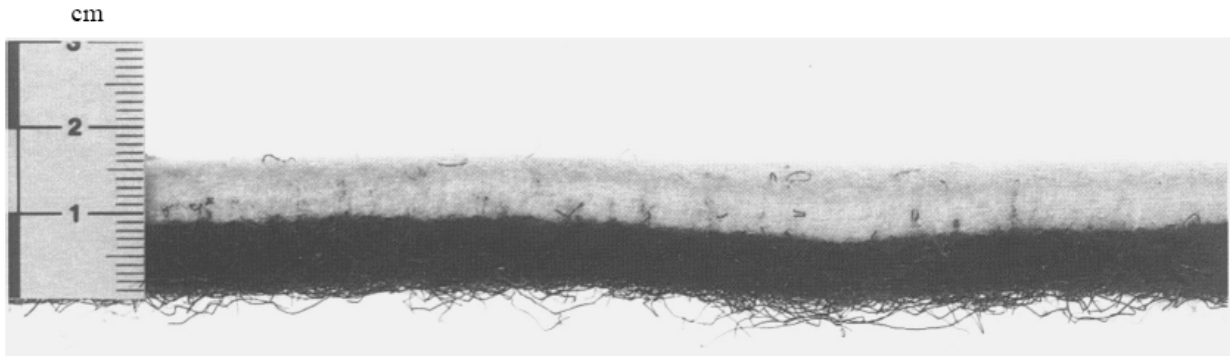


شکل پ-۳-۳- ژئوتکستایل بر روی فیلتر سنگی نامحدود (ر.ک. ۶-۴)

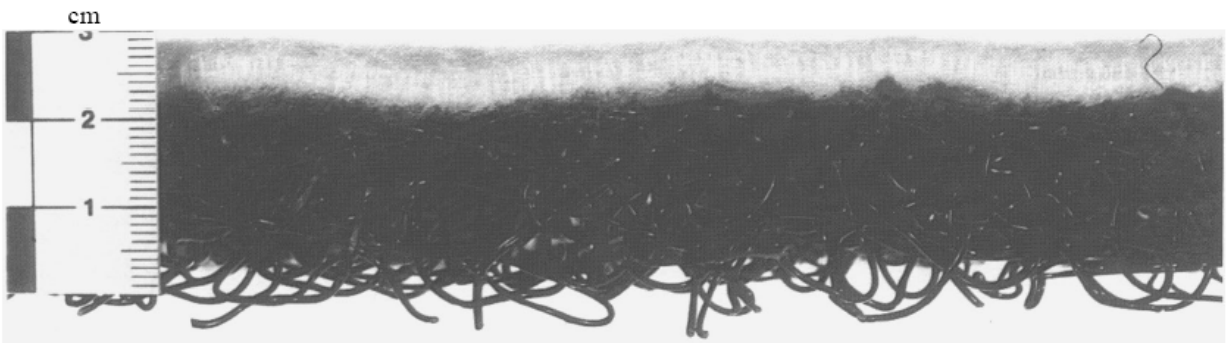


شکل پ-۳-۴- مصالح دانه‌ای بین لایه‌ای بین ژئوتکستایل و لایه‌ی رویی (ر.ک. ۶-۵)

پ-۳-۲- ژئوتکستایل با ملحقات سازه‌ای



شکل پ-۳-۵- ژئوتکستایل با ملحقات سازه‌ای با منافذ نسبتاً کوچک

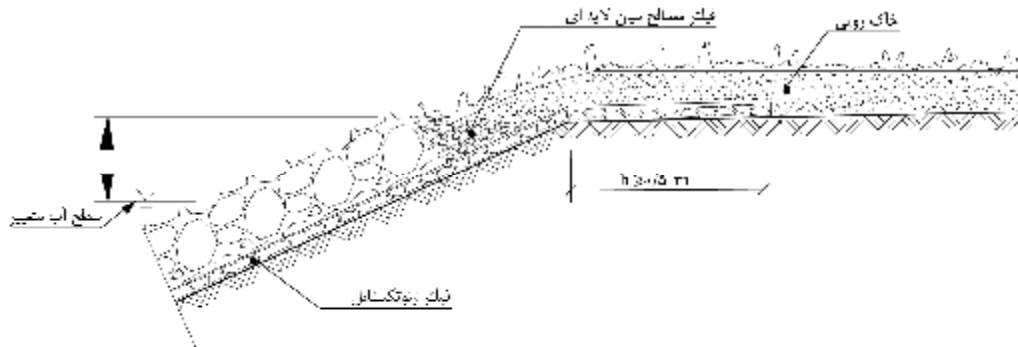


شکل پ-۳-۶- ژئوتکستایل با ملحقات سازه‌ای با منافذ نسبتاً بزرگ



شکل پ-۳-۷- ژئوتکستایل با ملحقات شبکه‌ی چپری (تشک استغراق) (ر.ک. ۳-۶-۶)

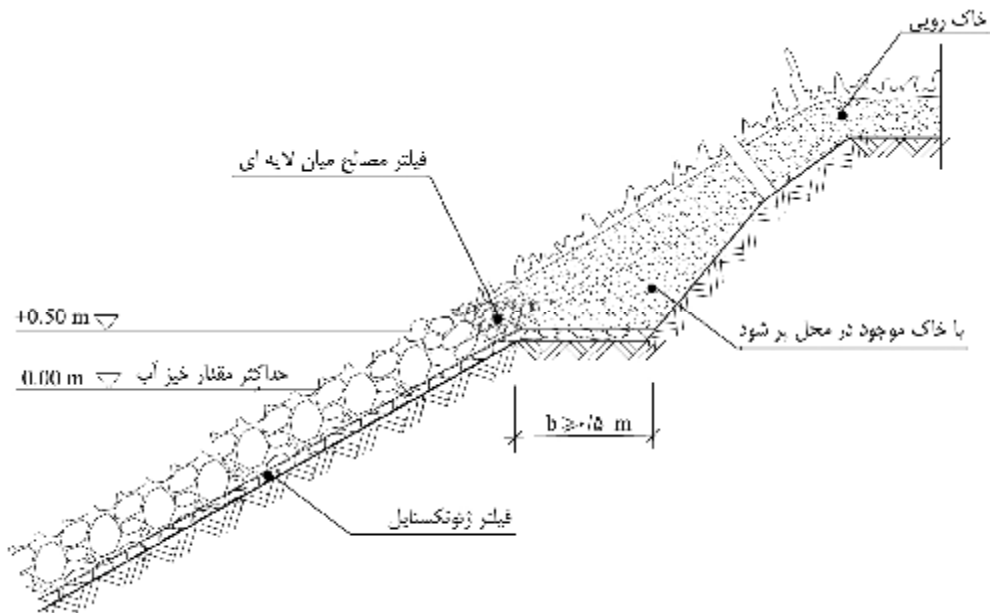
پ-۳-۳- مثالهایی از جزییات اجرایی لبه‌ی بالایی در سازه‌های حفاظت شیب (ر.ک. ۶-۷)



شکل پ-۳-۸- لبه‌ی بالایی فیلتر در حالت دبی ملایم آب‌های سطحی



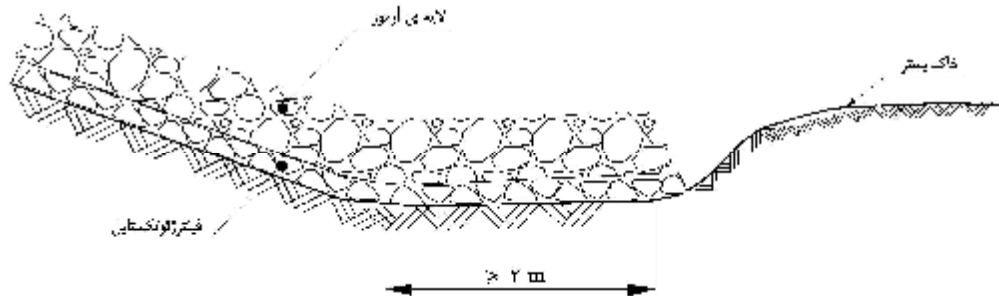
شکل پ-۳-۹- لبه‌ی بالایی فیلتر در حالت دبی شدید آب‌های سطحی



شکل پ-۳-۱۰- لبه‌ی بالایی فیلتر در حالت شیب طولانی یک سازه با ارتفاع آزاد زیاد

پ-۳-۴- نحوه‌ی اجرای پاشنه در سازه‌ی حفاظت شیب (مثال لایه‌ی آرمور با تزریق ناقص^۱)

الف - پاشنه‌ی فرشی: فقط در خاک‌هایی که به میزان کمی در معرض آب‌شستگی هستند ($c_u > 3$, $d_{50} > 2mm$)

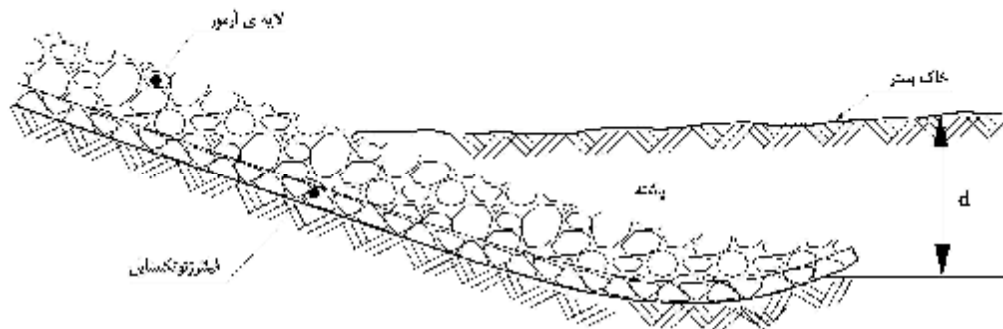


شکل پ-۳-۱۱- پاشنه‌ی هم‌سطح

ب - پاشنه‌ی جاسازی شده: طراحی تا عمق آب‌شستگی

- $d \geq 1.5m$ در حالت خاک غیرچسبنده ریزدانه

- $d \geq 0.75m$ در حالت خاک شنی

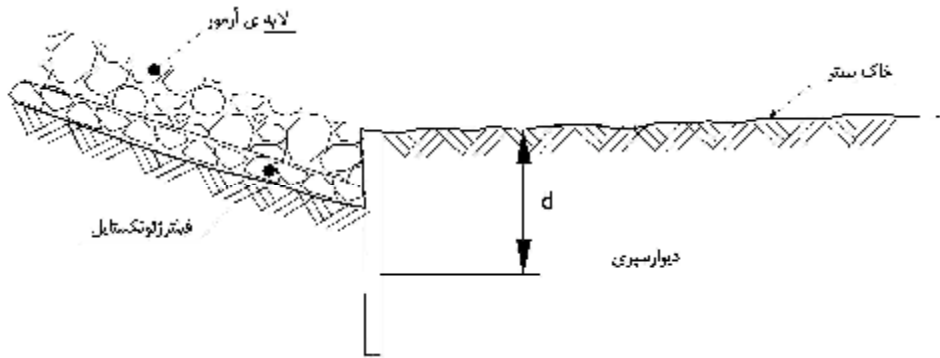


شکل پ-۳-۱۲- پاشنه‌ی مدفون

پ - پاشنه با دیواره‌ی سپری: طراحی تا عمق آب‌شستگی

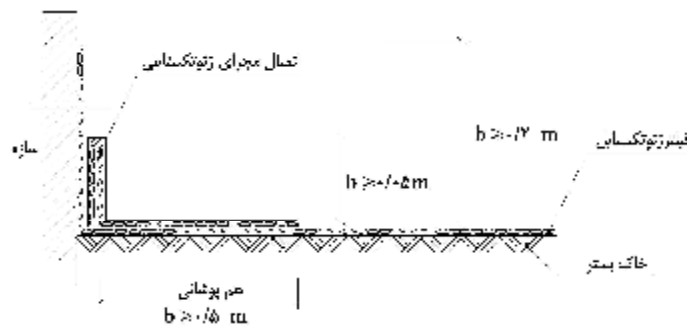
- $d \geq 1.5m$ در حالت خاک غیرچسبنده ریزدانه

- $d \geq 0.75m$ در حالت خاک شنی

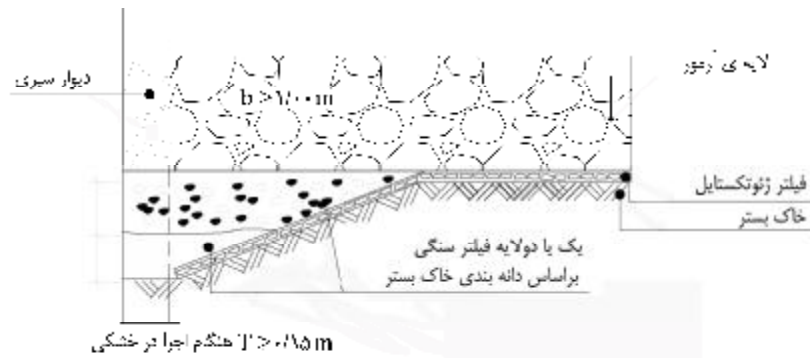


شکل پ-۳-۱۳- پاشنه‌ی منتهی به دیواره‌ی سبزی

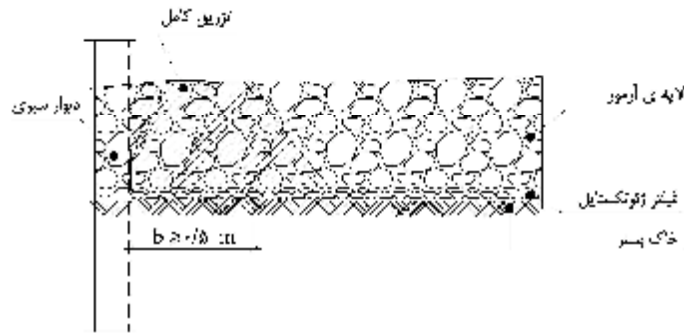
پ-۳-۵- اتصال ژئوتکستایل با سازه (ر.ک. ۶-۸)



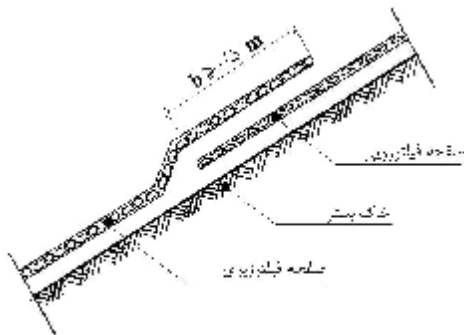
شکل پ-۳-۱۴- اتصال ژئوتکستایل با سطح صاف



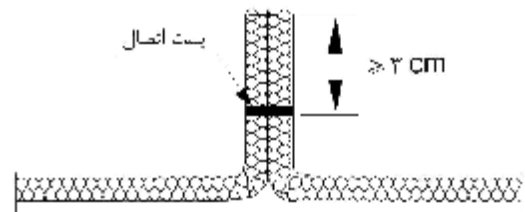
شکل پ-۳-۱۵- اتصال ژئوتکستایل با سطح غیر صفحه‌ای (مانند دیواره سبزی) - گزینه ۱



شکل پ-۳-۱۶- اتصال ژئوتکستایل با سطح غیر صفحه‌ای (مانند دیواره سپری) - گزینه ۲

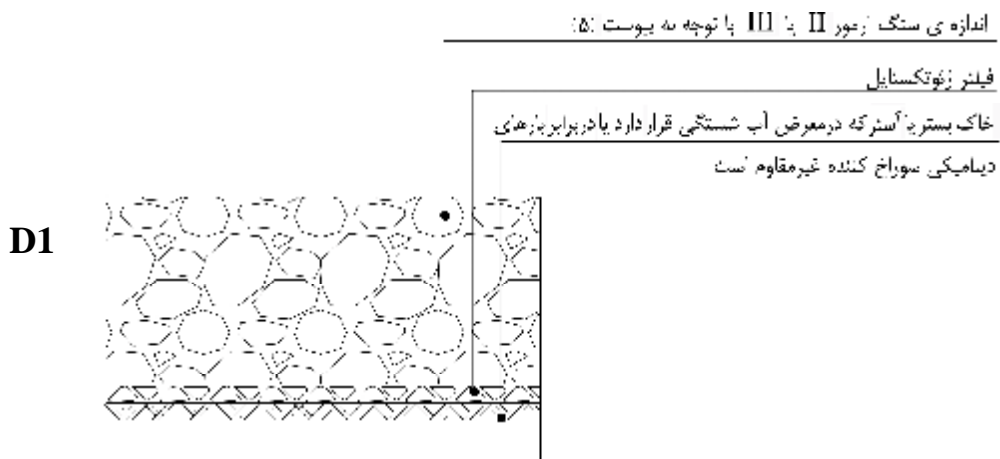


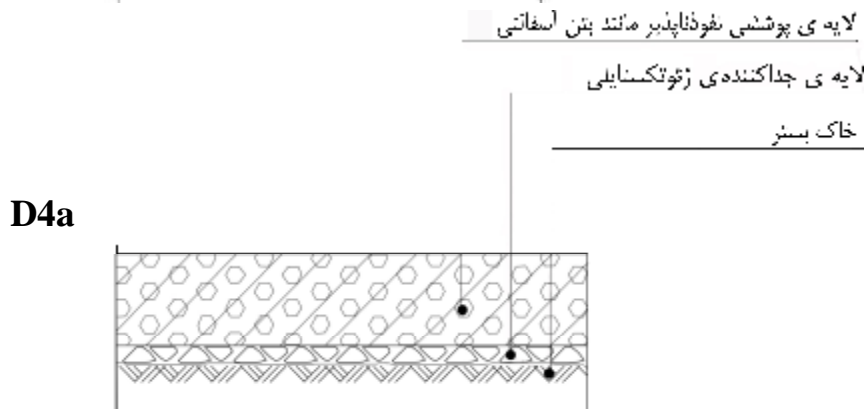
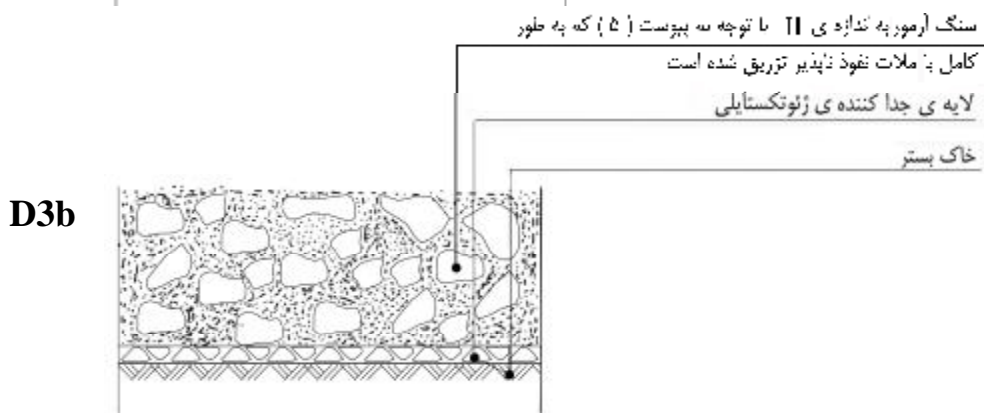
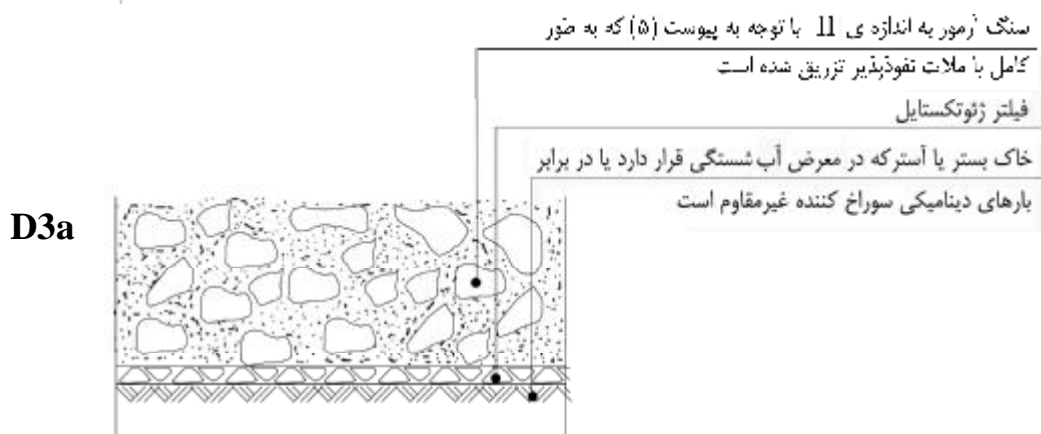
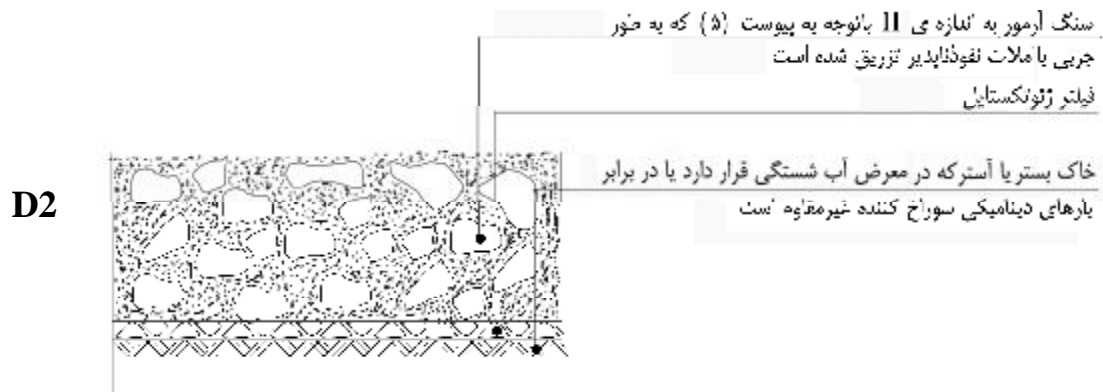
شکل پ-۳-۱۸- هم‌پوشانی بر روی شیب

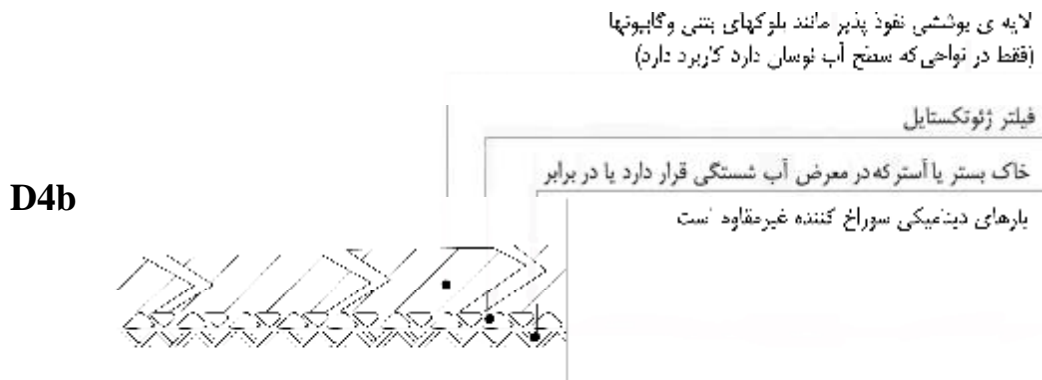


شکل پ-۳-۱۷- درزبند (بست اتصال) رو به بالا

پ-۳-۶- اجراهای متداول انواع لایه‌های آرمور برای حفاظت شیب و بستر (ر.ک. ۶-۱۰) [۴۹]





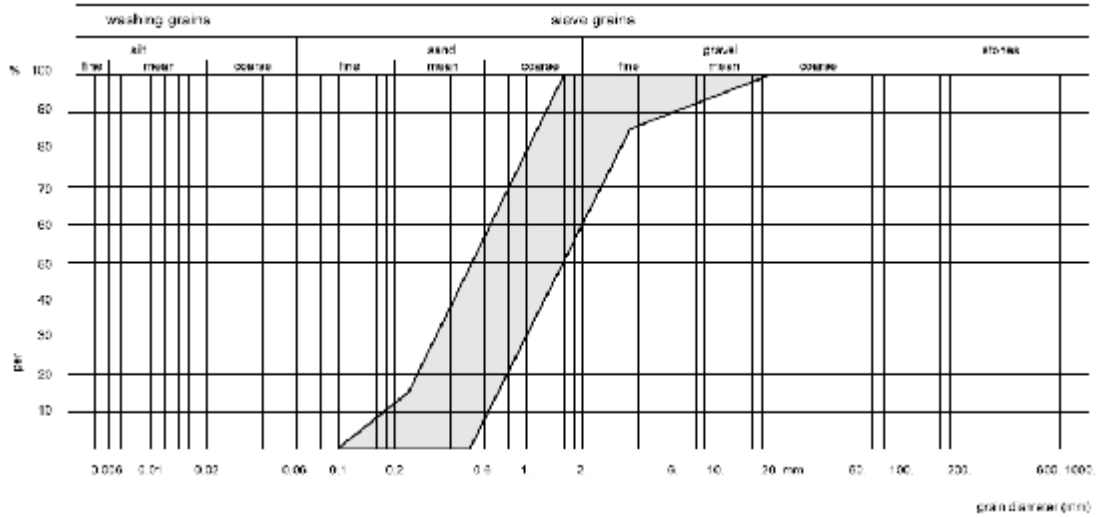


شکل پ-۳-۱۹- لایه‌های متداول آرمور برای حفاظت شیب و بستر

پیوست 4

تخمین نفوذپذیری خاک

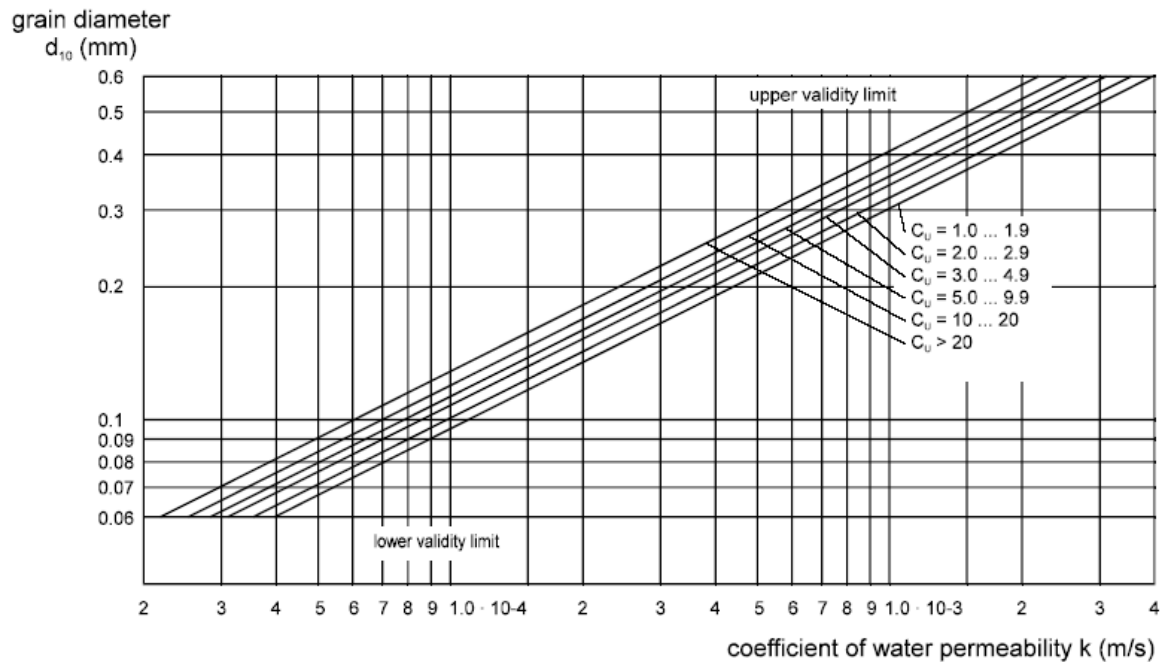
پ-۴-۱- بازه‌ی دانه‌بندی توصیه شده برای زیرلایه‌ی تسطیح‌کننده از مصالح سنگی



شکل پ-۴-۱- بازه‌ی دانه‌بندی توصیه شده برای زیرلایه‌ی تسطیح‌کننده از مصالح سنگی (ر.ک. ۶-۳)

پ-۴-۲- تخمین نفوذپذیری خاک

۱- نمودار BEYER



شکل پ-۴-۲- ضریب نفوذپذیری برحسب ضریب یکنواختی و اندازه‌ی ذرات d_{10} خاک

۲- رابطه‌ی HAZEN برای خاک‌های غیرچسبنده

- خاک‌های یکنواخت ($C_U \leq 5$)

$$K_{\text{Soil}} = (1.0 \text{ to } 1.5) \times d_{10}^2; (d_{10} \text{ given in cm, } k \text{ given in m/s}) \quad (\text{پ-۴-۱})$$

- خاک‌های غیریکنواخت ($C_U > 5$)

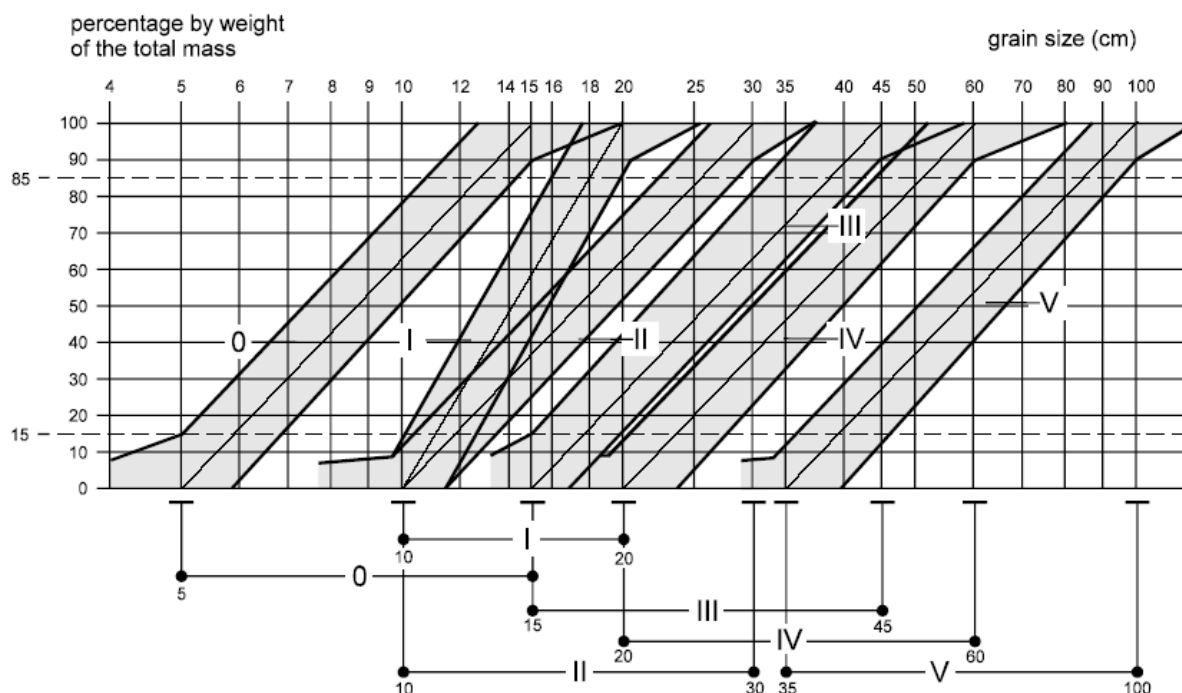
$$K_{\text{Soil}} = \frac{(1.0 \text{ to } 1.5)}{C_U} \times d_{10}^2; (d_{10} \text{ given in cm, } k \text{ given in m/s}) \quad (\text{پ-۴-۲})$$

پیوست 5

بازه‌های دسته‌بندی اندازه‌ی

سنگ‌های آرمور براساس

MAG



شکل پ-۵-۱- بازه‌های دانه‌بندی مجاز سنگ‌های آرمور

جدول پ-۵-۱- مواد خام مورد استفاده در ژئوتکستایل‌ها و خواص آن‌ها [۶۷].

نوع الیاف مواد خام	چگالی (g/cm ³)	مقاومت بیولوژیکی	مقاومت در برابر آب اسیدی (PH ≥ 3)	مقاومت در برابر آب قلیایی (PH ≤ 12)	مقاومت در برابر اشعه فرابنفش ^(۱)	دمای نرم شدن / دمای ذوب شدن (°C)
پلی اکریلیک (PAC)	۱/۱۴ الی ۱/۱۸	+++	++	++	++ (۵۰ - ۶۰)	۲۰۰ / -
پلی آمید (PA)	۱/۱۴	+	+	++	+(۵ - ۱۵) ^(۳)	PA 6 / ۱۸۰ - ۲۰۰ ۲۱۵ - ۲۲۰ PA 6.6 / ۲۲۰ - ۲۳۵ ۲۲۵ - ۲۶۰
پلی استر (PES)	۱/۳۶ الی ۱/۳۸	++	++	+	+(۵ - ۱۵) ^(۳)	۲۳۰-۲۴۰/۲۵۰-۲۶۰
پلی اتیلن با چگالی بالا (PE)	۰/۹۵ الی ۰/۹۶	++	++	++	+++ (عددی در دست نیست)	۱۰۵-۱۲۰/۱۲۵-۱۳۵
پلی پروپیلن (PP)	۰/۹۰ الی ۰/۹۲	++	++	++	+(۰ - ۱۰) ^(۳)	۱۰۵-۱۶۰/۱۶۰-۱۷۵

+++ پایداری عالی؛

++ پایداری خوب؛

+ پایداری کافی؛

(۱) درصد مقاومت پسماند به مقاومت اصلی پس از هوازگی به مدت ۱۲ ماه در شرایط اقلیمی فلوریدا

(۲) در صورت استفاده از انواع پایدارشده با مواد افزایشنده میزان ذکر شده افزایش می‌یابد.

(۳) تقویت‌های ضروری با اضافه کردن پایدارکننده‌ها امکان‌پذیر است.

پیوست 6

طبقه‌بندی خاک زیر

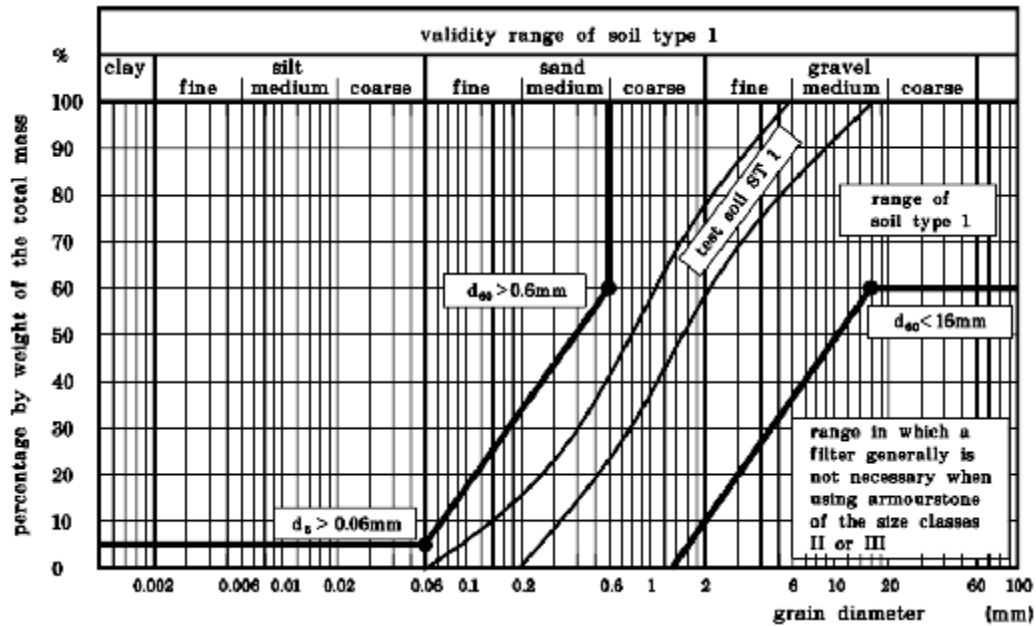
ژئوتکستایل به انواع

1 الی 4 براساس

MAG

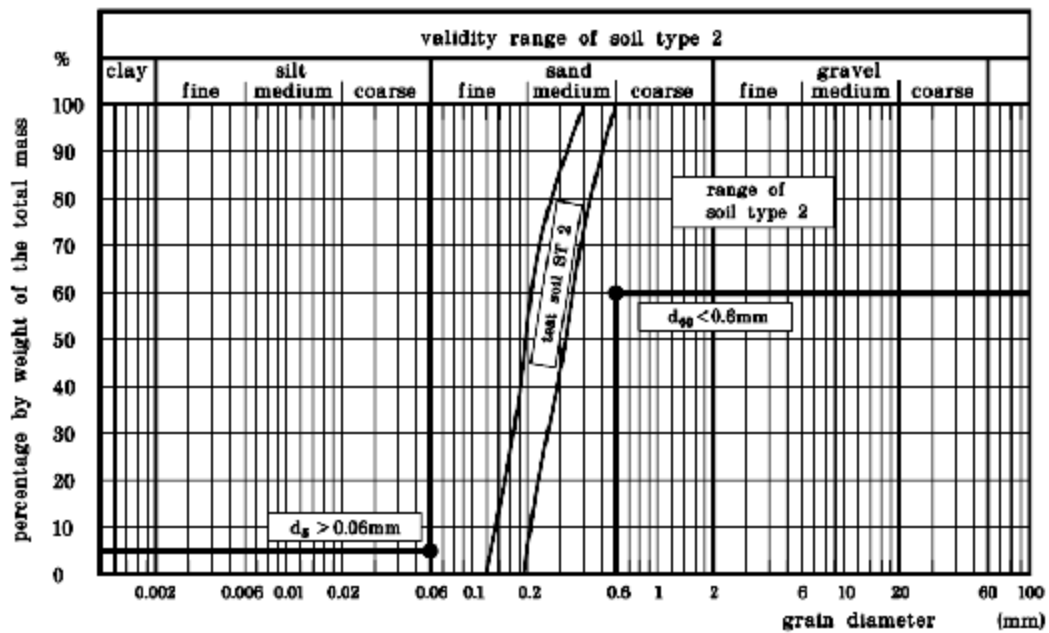
جهت سهولت طراحی، MAG یک طبقه‌بندی ۴ گانه از خاک زیرین با تعریف مطابق ادامه‌ی این متن ارائه می‌دهد که مطابق شکل‌های زیر در برخی حالت‌ها در نوع آرمور رویی اساساً نیازی به استفاده از فیلتر نخواهد بود.

پ- ۱-۶- بازه‌ی اعتبار طبقه‌بندی خاک‌ها به انواع ۱ و ۲ (ر.ک. ۴-۴-۲-۲)



شکل پ-۱-۶- بازه‌ی اعتبار طبقه‌بندی خاک نوع ۱

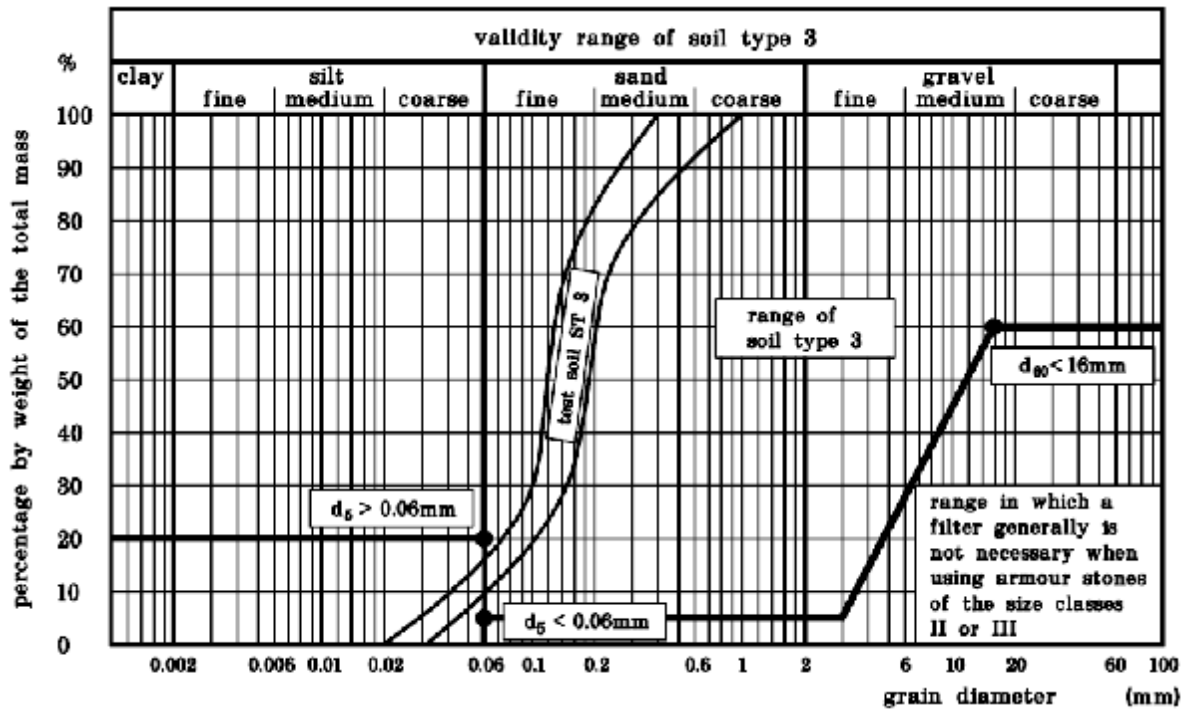
خاک آزمایشی ST1: $k = 4 \times 10^{-4}$ m/s (مقدار متوسط)



شکل پ-۲-۶- بازه‌ی اعتبار طبقه‌بندی خاک نوع ۲

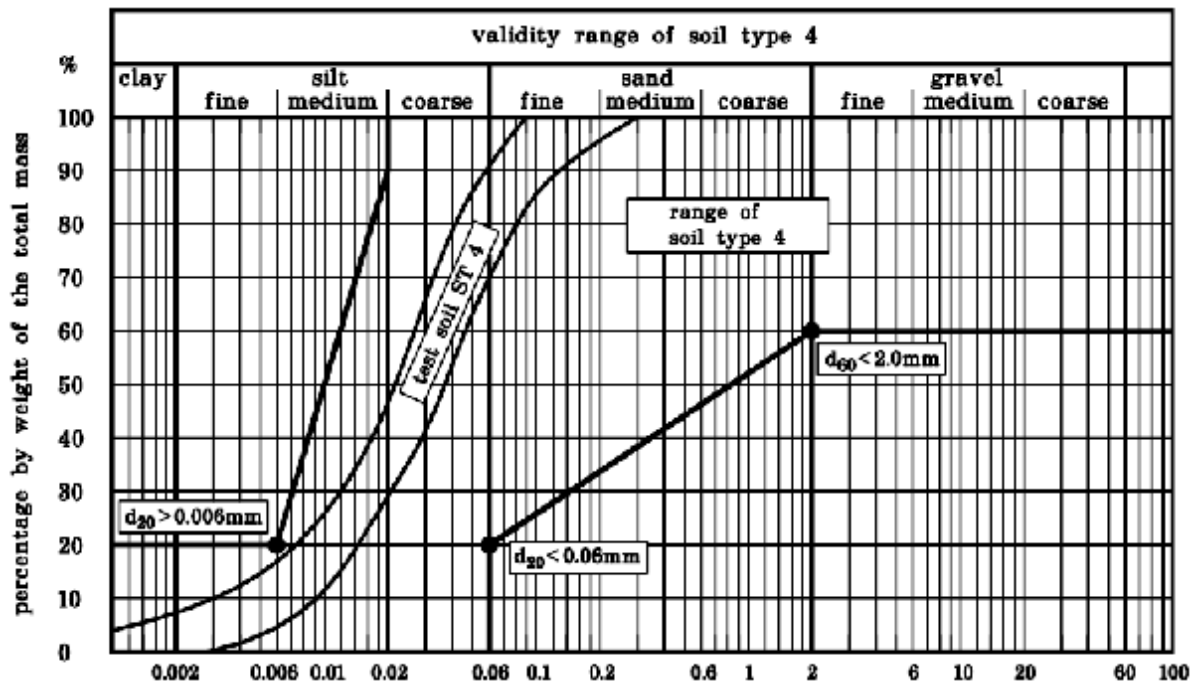
خاک آزمایشی ST2: $k = 3 \times 10^{-4}$ m/s (مقدار متوسط)

پ-۶-۲- بازه‌ی اعتبار خاک‌های نوع ۳ و ۴



شکل پ-۶-۳- بازه‌ی اعتبار طبقه‌بندی خاک نوع ۳

خاک آزمایشی ST3: $k = 6 \times 10^{-5}$ m/s (مقدار متوسط)



شکل پ-۶-۴- بازه‌ی اعتبار طبقه‌بندی خاک از نوع ۴

خاک آزمایشی ST4: $k = 1 \times 10^{-9}$ m/s (مقدار متوسط)

پیوست 7

مثال‌هایی حل شده از طراحی فیلتر ژئوتکستایلی در سازه‌های حفاظت شیب نفوذپذیر مجاور آبراهه‌ها براساس روش طراحی

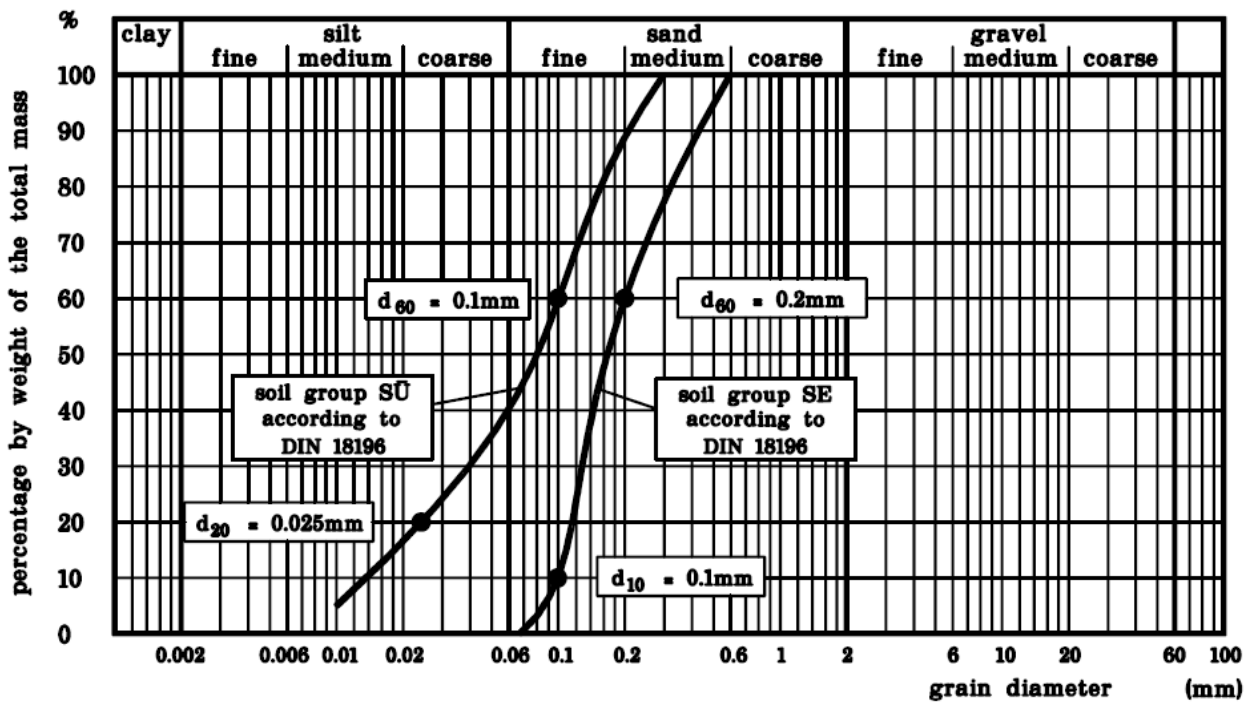
MAG

پ-۷-۱- مثالی از یک لایه‌ی خاکی یا سنگی قرارگرفته بر روی خاک نوع ۱ تا ۴

پ-۷-۱-۱- شرایط مرزی محلی

داده‌ها:

- خاک زیرین در بازه \overline{SU} تا \overline{SE} براساس شکل (پ-۷-۱) (لایه‌ی متناوب بحرانی وجود ندارد، ر.ک. ۳-۳-۱-۴).
- مشخصات خاک به‌قرار زیر می‌باشند:
- برای خاک \overline{SU} : $\phi' = 30^\circ$ و c_u و I_p مجهول هستند؛
- برای خاک \overline{SE} : $\phi' = 35^\circ$ ؛
- عملیات اجرایی نصب اساسا در زیر آب می‌باشد؛
- ضربه‌ی موج و جریان‌ات ناشی از حرکت شناور در زمان اجرا نیز وجود دارد؛
- لایه‌ی رویی از سنگ آرمور (D1)، اندازه‌ی کلاس III می‌باشد؛
- شیب سازه معادل 1:3 ($\beta = 18.4^\circ$).



شکل پ-۷-۱- بازه‌ی دانه‌بندی خاک بستر

پ-۷-۱-۲- تعیین خواص خاک بستر

برای تعیین خواص خاک بستر منحنی دانه‌بندی و زاویه‌ی اصطکاک داخلی موثر برای خاک‌های \overline{SU} و \overline{SE} در دسترس هستند. این خاک‌ها طبیعتی غیرچسبنده دارند ($d_{20} \geq 0.006$ mm) و در خلال اجرا، در معرض آب‌شستگی قرار می‌گیرند ($\beta \geq \phi'/2$). آن‌ها فرار نیستند ($C_u < 8$). تاثیرات خاص جریان آب براساس بند (۳-۳-۴) در اینجا وجود ندارد.

پ-۷-۱-۳- تعیین بارهای هیدرولیکی

بر اساس بند (۳-۳-۲) باید بارگذاری‌های هیدرولیکی در طراحی فیلتر در نظر گرفته شود.

پ-۷-۱-۴- انتخاب نوع اجرای لایه‌ی فیلتر

در ارتباط با طراحی لایه‌ی رویی D1 (کلاس III) با توجه به پیوست (۱)، لایه‌ی فیلتر ضروری است. از آنجا که ژئوتکستایل قابلیت آب‌شستگی دارد، باید لایه‌های اضافی نیز اجرا شود (ر.ک. ۶-۶-۲).

پ-۷-۱-۵- طراحی فیلتر ژئوتکستایل

پ-۷-۱-۵-۱- طبقه‌بندی خاک بستر به خاک نوع ۱ الی ۴

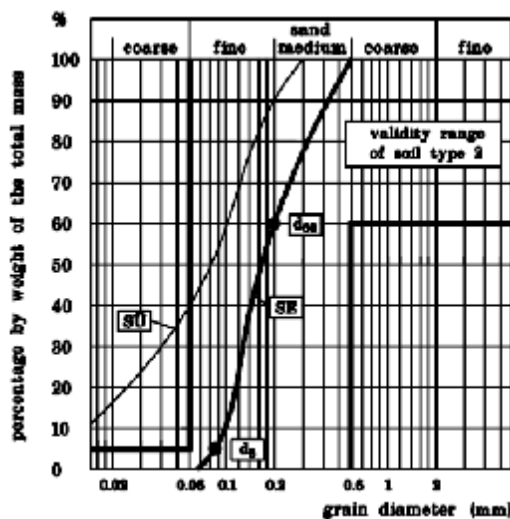
با توجه به کسر دانه‌بندی d_5 الی d_{60} ، بازه‌ی دانه‌بندی SU الی SE باید با بازه‌ی قابل اعتبار خاک نوع ۱ الی ۴ مقایسه و نوع خاک تخصیص داده شود (پیوست ۶). نتیجه به قرار زیر است:

- \overline{SU} از نوع خاک ۴ می‌باشد (شکل پ-۷-۲)؛

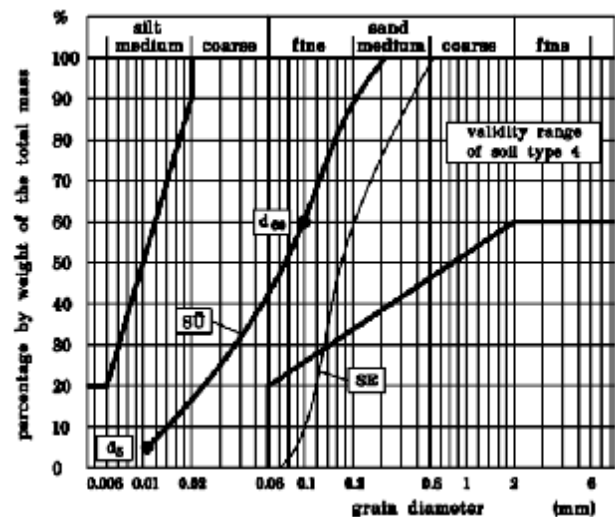
- SE از نوع خاک ۲ می‌باشد (شکل پ-۷-۳).

\overline{SU} به پایداری مکانیکی فیلترکنندگی ژئوتکستایل و SE به پایداری هیدرولیکی ژئوتکستایل نیاز خواهند داشت

(ر.ک. ۴-۴-۲-۱).



شکل پ-۷-۳- وضعیت خاک SE



شکل پ-۷-۲- وضعیت خاک \overline{SU}

پ-۷-۱-۵-۲- خواص مواد

بر اساس نوع اجرای لایه‌ی رویی، الزامات کیفیتی ژئوتکستایل در خصوص موارد زیر باید تامین گردد:

- مقاومت کششی؛
- مقاومت در برابر نیروی دینامیکی ناشی از سقوط مصالح؛
- مقاومت در برابر سایش.

برای طراحی شیب، الزامات مندرج در جدول (۴-۵) و لایه ی رویی D1 (III) مطابق شکل (پ-۳-۱۹) استفاده می شود.

پ-۷-۱-۶- سایر مشخصات ژئوتکستایل

سایر مشخصات ژئوتکستایل مطابق جدول های (۴-۵) و (۴-۶) برای خاک های بستر SU و SE به قرار زیر است:

- میزان خاک مجاز عبوری (مرتبط با ریزدانه ترین خاک غیر چسبنده):
- خاک نوع ۴: $300(30)gr \geq$ ؛
- مقدار عددی k_n برای ژئوتکستایل پر شده با خاک (مرتبط با نفوذپذیرترین خاک)؛
- خاک نوع ۲: $k_n > 6 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ؛
- ضخامت لایه ی فیلتر: $T \geq 6\text{mm}$ (مرتبط با خاک نوع ۴، ر.ک. ۴-۳-۴-۴)؛
- مقاومت کششی در لحظه ی گسیختگی: $1200 \text{ N/10 cm} = 12 \text{ kN/m}$ ؛
- مقاومت در برابر نیروی دینامیکی سوراخ کننده مرتبط با سنگ آرمور نوع III قرار گرفته بر روی خاک نوع ۲ الی ۴: $1200 \text{ Nm} <$
- مقاومت در برابر بارگذاری سایشی؛
- ضخامت پسماند^۱ لایه ی فیلتر پس از آزمایش سایش: $T \geq 4.5 \text{ mm}$ (خاک نوع ۴)؛
- مقاومت کششی پسماند پس از آزمایش سایش: $900 \text{ kN/10cm} = 9 \text{ kN/m}$.
- لایه ی اضافی روی خاک نوع ۲ الی ۴.
- ساختار با منافذ کوچک $T = 5 - 15\text{mm}$, $D_w = 0.3 - 20 \text{ mm}$ ؛
- ساختار با منافذ بزرگ $T = 5 - 25\text{mm}$, $D_w = 8 - 20 \text{ mm}$.

پ-۷-۱-۷- انتخاب ژئوتکستایل

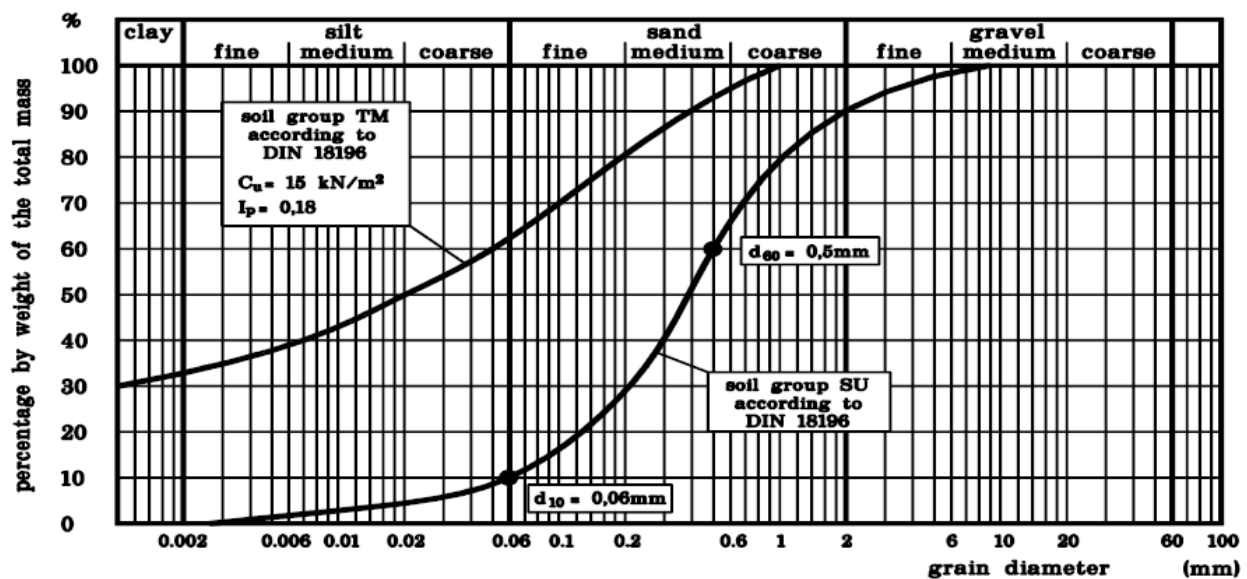
به لحاظ عملکرد فیلتری، هرگونه ژئوتکستایلی که برای ساخت حفاظت شیب به کار رود و ملزومات فوق الذکر را برآورده سازد قابل استفاده می باشد (ر.ک. ۷-۲). لیکن سایر ملاحظات طراح با عنایت به شرایط محیطی مانند اشعه ی فرابنفش، زلزله و مشتقات نفتی و غیره می باید در یک واژه ی اجرایی همگی مورد بررسی و حالت بهینه به لحاظ جمیع شرایط فنی، اجرایی و اقتصادی انتخاب گردد.

پ-۷-۲- مثال برای خاکی که بخشی از آن در بازه ی تعریف خاک نوع ۱ الی ۴ قرار گرفته است

پ-۷-۲-۱- شرایط مرزی موضعی

داده ها:

- خاک بستر بر روی لایه‌ی متناوبی از مصالح دانه‌بندی در بازه‌ی TM تا \overline{SU} براساس شکل (پ-۷-۴) زیر قرار گرفته و دارای مشخصات به شرح صفحه‌ی بعد است:
- TM : $c_u = 15 \text{ kN/m}^2$
- $I_p = 0.18$
- \overline{SU} : $\phi' = 37^\circ$
- تاثیرات جریان و امواج ناشی از حرکت شناور وجود دارد؛
- لایه‌ی رویی از سنگ آرمور کلاس II می‌باشد که بخشی از آن تزریق موضعی شده است (D2)؛
- شیب $1:3$ ($\beta = 18.4^\circ$)؛
- باقی‌مانده سازه‌ی حفاظت شیب قبلی در محل ساختگاه موجود است؛
- عملیات اجرایی در محیط خشک صورت می‌گیرد؛
- در حین عملیات اجرا جریان نشت از شیب به خارج وجود دارد.



شکل پ-۷-۴- دانه‌بندی خاک بستر

پ-۷-۲-۲- تعیین خاک بستر

- منحنی‌های دانه‌بندی و مشخصات مکانیکی خاک‌های TM و \overline{SU} در دست می‌باشند.
- TM خاک چسبنده و \overline{SU} غیرچسبنده می‌باشد. هر دو گروه خاک در معرض آب‌شستگی هستند (ر.ک. ۳-۱-۳ و ۳-۱-۳-۳).
- خاک‌های غیرچسبنده بین TM و SU در صورتی که $\beta \geq \phi'/2$ باشد، در خلال اجرا در معرض آب‌شستگی و ناپایداری قرار می‌گیرند. با توجه به بخش (۳-۱-۳-۳) اگر بقایای حفاظت شیب قدیمی برداشته شود خاک باقی‌مانده به‌عنوان خاک ناهمگون شناخته نخواهد گردید. با توجه به کنترل پایداری در برابر مصالح، این خاک‌ها در زمره‌ی خاک‌های فرار قرار نمی‌گیرند (پیوست ۲).
- تاثیرات خاص آب با توجه به بند (۳-۳-۳) در این خصوص مطرح نمی‌باشد.

پ-۷-۲-۳- تعیین بارگذاری هیدرولیکی

بارگذاری دینامیکی با توجه به بخش (۳-۳-۲) در طراحی فیلتر باید مدنظر قرار گیرد.

پ-۷-۲-۴- انتخاب نوع اجرای فیلتر

در ارتباط با نوع لایه‌ی رویی D2 (کلاس II) (شکل پ-۳-۱۹) لایه‌ی فیلتری با استفاده از پیوست (۱) باید طراحی شود. انواع گزینه‌ی اجرایی می‌تواند در نظر گرفته شود:

- در صورتی که حفاظت شیب قبلی برداشته شود، ژئوتکستایل بدون لایه‌ی اضافی می‌تواند روی خاک زیرین قرار گیرد.
- در صورتی که حفاظت شیب قبلی برداشته نشود یا شیب در حین اجرا پایدار نباشد می‌توان ژئوتکستایل را بر روی یک لایه‌ی تسطیح‌کننده از مصالح سنگی اجرا کرد.

پ-۷-۲-۵- طراحی فیلتر ژئوتکستایل

پ-۷-۲-۵-۱- تعیین نوع خاک زیرین با توجه به طبقه‌بندی انواع خاک ۱ تا ۴

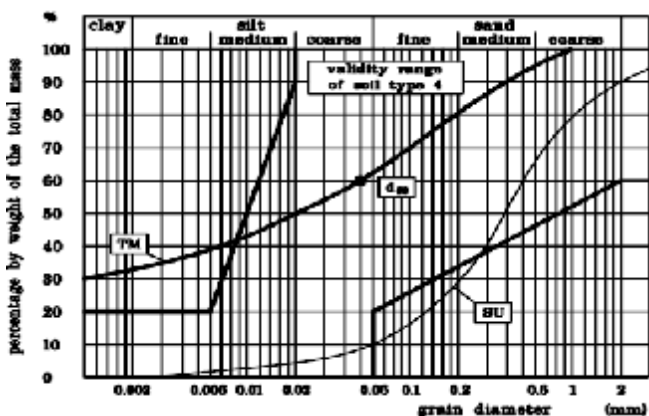
الف - ژئوتکستایل بدون لایه‌ی اضافی که مستقیماً بر روی زیرلایه قرار گرفته است:

باید کسر دانه‌بندی d_{60} و d_5 برای هر دو خاک TM و SU (شکل پ-۷-۴) با بازه‌ی اعتبار خاک‌های ۱ تا ۴ (پیوست ۶) مقایسه و نوع خاک تعیین گردد. نتیجه‌ی نهایی به‌قرار زیر است:

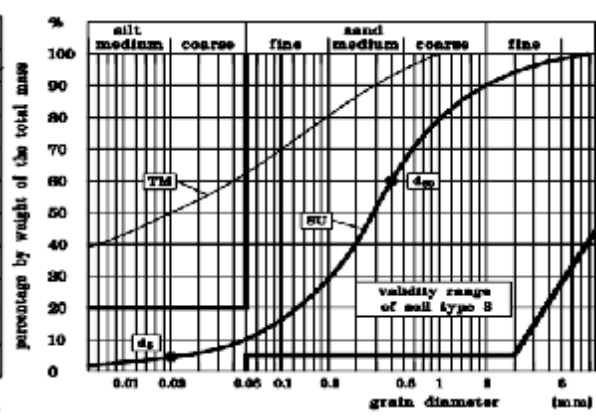
- SU از نوع خاک ۳ می‌باشد (شکل پ-۷-۵)؛

- TM در بازه‌ی قرار دارد که اگر C_u و I_p در آن معلوم باشد الزامات فیلتری می‌تواند کاهش یابد.

اگر منحنی دانه‌بندی^۲ بین SU و TM وجود داشته باشد (که در اینجا چنین فرض گردیده است)، این خاک‌ها در بازه‌ی ۴ قرار می‌گیرند که در هر حالت به طراحی پایداری مکانیکی فیلتر نیاز است. در خاک SU طراحی پایداری هیدرولیکی نیاز خواهد بود.



شکل پ-۷-۶- موقعیت TM



شکل پ-۷-۵- موقعیت SU

ب - ژئوتکستایل بر روی زیرلایه‌ی تسطیح‌کننده از مصالح سنگی

دانه‌بندی زیرلایه‌ی تسطیح‌کننده از مصالح سنگی باید با شرایط مندرج در بخش (۳-۶) هم‌خوانی داشته باشد. زیرلایه‌ی تسطیح قرار گرفته در بازه‌ی توصیه شده (ر.ک. پیوست ۴) باید برای خاک نوع ۱ تخصیص داده شود.

پ-۷-۲-۵-۲- مشخصات مواد

به دلیل نوع اجرای لایه‌ی رویی ارایه شده، الزامات زیر در خصوص ژئوتکستایل ضروری به نظر می‌رسد:

- مقاومت کششی؛
- مقاومت در برابر نیروی دینامیکی ناشی از سقوط مصالح.
- برای شیب مورد نظر، الزامات جدول (۷-۴) و الزامات لایه رویی D2 (شکل پ-۳-۱۹) برای مقابله با تنش‌های مورد انتظار در حین نصب کفایت می‌نماید.

پ-۷-۲-۶- سایر مشخصات ژئوتکستایل

پ-۷-۲-۶-۱- ژئوتکستایل بدون لایه‌ی اضافی که مستقیماً روی زیرلایه قرار گرفته است:

در ژئوتکستایل فیلتری بدون لایه‌ی اضافی، الزامات مورد نیاز برای خاک نوع ۳ و ۴ و اجرای لایه‌ی آرمور به روش D2 (شکل پ-۳-۱۹) می‌باشد. سایر مشخصات مرتبط با فیلتر ژئوتکستایل و خاک زیرین SU و TM در ذیل درج گردیده است (ر.ک. جدول‌های ۴-۵ و ۴-۶).

- میزان خاک مجاز عبوری (مرتبط با ریزدانه‌ترین خاک غیرچسبنده)؛
- خاک نوع ۴ : $gr \geq 300 (30)$ ؛
- مقدار عددی k_n برای ژئوتکستایل پر شده با خاک (مرتبط با نفوذپذیرترین خاک)؛
- خاک نوع ۳ : $k_n > 1.2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ؛
- ضخامت لایه‌ی فیلتر: $T \geq 6 \text{ mm}$ (مرتبط با خاک نوع ۴)؛
- مقاومت کششی در لحظه‌ی گسیختگی $1200 \text{ Nm/10cm} = 12 \text{ kN/m}$ ؛
- مقاومت در برابر نیروی دینامیکی سوراخ‌کننده مرتبط با آرمور نوع II روی خاک نوع ۳ الی ۴ : 600 Nm

پ-۷-۲-۶-۲- ژئوتکستایل روی زیرلایه‌ی رگلاژ از مصالح سنگی

این ژئوتکستایل بدون لایه‌ی اضافی برای تامین الزامات فیلتری خاک نوع ۱ (در صورتی که منحنی دانه‌بندی در محدوده‌ی مجاز برای رگلاژ با توجه به پیوست (۴) قرار گیرد) و مشخصات مواد مورد نیاز برای لایه‌ی رویی D2 می‌باشد (شکل پ-۳-۱۹). سایر محدوده‌های مرتبط با ژئوتکستایل و لایه‌ی رگلاژ به‌قرار زیر است (با توجه به جدول‌های ۴-۵ و ۴-۶):

- میزان خاک مجاز عبوری : $gr \geq 300 (30)$ (خاک نوع ۱)؛
- مقدار عددی k_n برای ژئوتکستایل پر شده با خاک؛
- خاک نوع ۱ : $k_n > 8 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ؛

- ضخامت لایه‌ی فیلتر $T \geq 4.5\text{mm}$. فقط در صورتی که کاهش نفوذپذیری در اثر انسداد یا بلوکه شدن ممکن باشد، مورد نیاز است، به عبارت دیگر اگر $D_w > 0.5d_2$ (ر.ک. ۴-۴-۳-۲)؛
- مقاومت کششی در لحظه گسیختگی، $< 600\text{Nm}$ ؛

پ-۷-۲-۷- انتخاب ژئوتکستایل

هرگونه ژئوتکستایلی که برای ساخت حفاظت شیب به کار رود و ملزومات یادشده را برآورده سازد قابل استفاده است (ر.ک. پ-۷-۲-۶-۱ و پ-۷-۲-۶-۲ برحسب نوع اجرای فیلتر).

پیوست 8

قواعد تحقق عملکرد فیلتری

بر اساس استاندارد

AK14/AA 6.14

جدول پ-۸-۱- قواعد فیلتر AK 14/AA 6.14 برای طراحی پایداری مکانیکی فیلتر ژئوتکستایل [۵۰]

<p style="text-align: center;">A $d_{40} \leq 0.06\text{mm}$</p>	<p>بازه‌ی خاک دانه‌ای</p>
	<p>محدوده‌ی مجاز منحنی دانه‌بندی خاک</p>
<p>۱- $C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 15$ و $0.06\text{mm} > d_{60}$ کسر دانه‌بندی</p> <p>۲- $50\% < 0.1\text{mm} > d > 0.02\text{mm}$</p> <p>۳- $I_p < 0.15 = 15\%$ یا نسبت خاک رس به سیلت کمتر از 0.5.</p>	<p>ضوابط خاک با قابلیت جابه‌جایی بالای دانه‌ها</p>
<p>الف) بارگذاری هیدروستاتیک $O_{90} < 10d_{90}$</p> <p>— به‌علاوه برای خاک‌های با جابه‌جایی بالای دانه‌ها $O_{90} < d_{50}$</p> <p>— مقدار مجاز برای خاک با چسبندگی درازمدت $O_{90} < 2d_{90}$</p> <p>ب) بارگذاری هیدرودینامیک $O_{90} < d_{90}$ و $O_{90} < 0.3\text{mm}$</p>	<p>قواعد پایداری مکانیکی فیلتر</p>

ادامه جدول پ-۸-۱- قواعد فیلتر AK 14/AA 6.14 برای طراحی پایداری مکانیکی فیلتر ژئوتکستایل [۵۰]

B $d_{15} \geq 0.06\text{mm}$		بازه‌ی خاک دانه‌ای
		محدوده‌ی مجاز منحنی دانه‌بندی خاک
<p>۱- کسر دانه‌بندی $0.06\text{mm} > d_{60} < 15 \cdot \frac{d_{60}}{d_{10}} \cdot C_U$</p> <p>۲- $0.50\% < 0.1\text{mm} > d > 0.02\text{mm}$</p>		ضوابط خاک با قابلیت جابه‌جایی بالای دانه‌ها
<p>الف) بارگذاری هیدروستاتیک $O_{90} < 2d_{90}$ و $O_{90} < 5d_{10}\sqrt{C_U}$</p> <p>— به‌علاوه برای خاک‌های با جابه‌جایی بالای دانه‌ها $O_{90} < d_{90}$</p> <p>ب) بارگذاری هیدرودینامیکی $O_{90} < 1.5d_{10}\sqrt{C_U}$ و $O_{90} < d_{50} < 0.5\text{mm}$</p>		قواعد پایداری مکانیکی فیلتر

ادامه جدول پ-۸-۱- قواعد فیلتر AK 14/AA 6.14 برای طراحی پایداری مکانیکی فیلتر ژئوتکستایل [۵۰]

C $d_{40} > 0.06\text{mm}$ و $d_{15} \leq 0.06\text{mm}$		بازه‌ی خاک دانه‌ای
		محدوده‌ی مجاز منحنی دانه‌بندی خاک
<p>۱- کسر دانه‌بندی $0.06\text{mm} > d_{60} < 15 C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$،</p> <p>۲- $0.02\text{mm} < d < 0.1\text{mm} < 50\%$،</p> <p>۳- $I_p < 0.15 = 15\%$ یا نسبت خاک رس به سیلت کمتر از 0.5.</p>		ضوابط خاک با قابلیت جابه‌جایی بالای دانه‌ها
<p>طراحی مانند خاک موجود در بازه‌ی B صورت می‌گیرد، لیکن کنترل مجددی برای پایداری در برابر مصالح باید اعمال گردد.</p> <p>در حالت خاک به آیین‌نامه DVWK (1989) [۵۱] مراجعه گردد.</p>		قواعد پایداری مکانیکی فیلتر

هنگام طراحی پایداری مکانیکی ژئوتکستایل بر پایه‌ی بزرگترین روزنه‌ی مجاز $D_w (O_{90})$ براساس قواعد فیلتراسیون AK14، بازه‌های دانه‌بندی زیر باید مدنظر قرار گیرد:

- بازه‌ی دانه‌بندی A: $d_{40} \leq 0.06\text{mm}$ ؛

- بازه‌ی دانه‌بندی B: $d_{15} \leq 0.06\text{mm}$ ؛

- بازه‌ی دانه‌بندی C: $d_{40} \leq 0.06\text{mm}$ و $d_{15} \leq 0.06\text{mm}$.

قواعد فیلتر مرتبط در جدول (پ-۸-۱) ارائه گردیده است. بیشترین مقدار مجاز روزنه برای حصول بیشینه‌ی نفوذپذیری باید برگزیده شود. در خصوص اطمینان در برابر انسداد، محدوده‌ی کمینه‌ی اندازه‌ی روزنه باید با رابطه‌ی زیر کنترل گردد [۵۰]:

$$D_w (O_{90}) \geq 0.8 \times \max O_{90} \quad (\text{پ-۸-۱})$$

منحنی دانه‌بندی لایه‌ی تسطیح زیرین نباید بازه‌های مشخص شده در نمودارهای توزیع دانه‌بندی را قطع کند. در خصوص ناحیه‌ی هاشور خورده در بازه‌ی دانه‌بندی A، با توجه به چسبندگی موثر خاک، فیلتری نسبتاً باز مجاز خواهد بود (ر.ک. ۳-۱-۳-۳). [۵۰]

پایداری هیدرولیکی فیلتر برای ژئوتکستایل‌های بافته‌نشده در معرض سیلت یا ماسه در صورتی تضمین می‌شود که مقدار عددی

k_n محصول استفاده نشده تحت تنش ۲ kPa شرایط زیر را دربرگیرد [۵۰]:

$$k_n \geq 50k_{\text{soil}} \quad (\text{پ-۸-۲})$$

مثال کاربردی

مثال‌های کاربردی زیر فقط اصول اساسی طراحی فیلتر ژئوتکستایلی را براساس قواعد فوق‌الذکر بیان می‌کند. برای الزامات اضافی موارد مندرج در بخش (۴-۴-۳) باید مدنظر قرار گیرد (ر.ک. مثال پیوست ۷). بازه‌ی دانه‌بندی پیوست (۷)، شکل‌های (پ-۷-۱) الی (پ-۷-۴) در این مثال‌ها استفاده شده است.

پ-۸-۱- مثال ۱ (ر.ک. شکل پ-۷-۱) بازه‌ی دانه‌بندی $SE - \overline{SU}$

جدول پ-۸-۲- قطرهای مشخصه‌ی دانه‌بندی برای منحنی‌های SE و \overline{SU}

بازه‌ی دانه‌بندی	d_{90} (mm)	C_U (-)	d_{60} (mm)	d_{50} (mm)	d_{40} (mm)	d_{15} (mm)	d_{10} (mm)	گروه خاک
$(d_{40} \leq 0.06\text{mm})A$	۰/۲	۷/۸	۰/۸	۰/۰۷۶	۰/۰۵۵	۰/۰۱۸	۰/۰۱۴	\overline{SU}
$(d_{40} > 0.06\text{mm})B$	۰/۴	۲/۰	۰/۲	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۱۱	۰/۱	SE

با توجه به بخش (۴-۴-۲-۱) در حالت بارگذاری هیدرودینامیکی، پایداری مکانیکی فیلتر باید برای خاک \overline{SU} و پایداری هیدرولیکی فیلتر برای خاک SE طراحی شود.

پایداری مکانیکی فیلتر برای \overline{SU} (جدول پ-۸-۲)

- کنترل ضابطه‌ی مربوط به خاک با قابلیت جابه‌جایی بالای دانه‌ها؛

$C_U = 7.1 < 15$ (ضابطه تامین شده است) نیازی به کنترل ضابطه‌ی دوم نیست. در نتیجه SU خاک بستر با قابلیت جابه‌جایی بالای دانه‌ها است.

- تعیین مقادیر حدی برای روزنه‌ی مجاز $D_W(O_{90})$ ؛

- بارگذاری هیدروستاتیک $D_W < d_{90} = 0.2\text{mm}$ ؛

- بارگذاری هیدرودینامیک $D_W < d_{90} = 0.2\text{mm} < 0.3\text{mm}$ ؛

مقدار حدی بیشینه: $D_W < 0.2\text{mm}$ (معتبر برای بارگذاری هیدروستاتیک و هیدرودینامیک)

مقدار حدی کمینه: $D_W < 0.8 \max D_W = 0.8 \times 0.2 = 0.16\text{mm}$

پایداری هیدرولیکی فیلتر برای SE (جدول پ-۸-۲)

- تعیین مقدار k برای خاک زیرین با توجه به پیوست (۴) (نمودار BEYER):

$$k_{SE} = 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

- نفوذپذیری ژئوتکستایل استفاده نشده (k_n):

$$k_n \geq 50 k_{SE} = 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

مشخصات ژئوتکستایل مورد نیاز

۱- پایداری فیلتری: $0.16 \text{ mm} \leq D_W < 0.2 \text{ mm}$ و $k_n \geq 5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

۲- ضخامت لایه و سایر الزامات با توجه به مثال ۱ از پیوست (۷) خواهد بود.

پ-۸-۲- مثال ۲ (شکل پ-۷-۳): بازه‌ی دانه‌ای TM-SU

جدول پ-۸-۳- قطرهای مشخصه‌ی دانه‌بندی برای منحنی‌های TM و SU

بازه‌ی دانه‌بندی	I_p (-)	d_{90} (mm)	C_U (-)	d_{60} (mm)	d_{50} (mm)	d_{40} (mm)	d_{15} (mm)	d_{10} (mm)	گروه خاک
ناحیه‌ی هائسور خورده	۰/۱۸	۰/۴	-	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰۷	-	-	TM
$(d_{15} > 0.06\text{mm})B$	-	۲/۰	۸/۳	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۰۹	۰/۰۶	SU

در هنگام وجود بارگذاری هیدرولیکی دینامیک، با توجه به بخش (۴-۴-۲-۱)، پایداری مکانیکی فیلتر باید براساس منحنی دانه‌بندی ریزدانه‌ترین دانه‌ی خاک غیرچسبنده (در اینجا \overline{SU}) و پایداری هیدرولیکی فیلتر براساس منحنی دانه‌بندی درشت‌دانه‌ترین (نفوذپذیرترین) دانه‌ی خاک، محاسبه و طراحی می‌شود. برای منحنی دانه‌بندی ریزدانه‌ترین خاک غیرچسبنده از دانه‌بندی ارایه شده در جدول (پ-۸-۴) استفاده می‌شود (در اینجا به صورت فرضی داده شده اما در عمل به وسیله آزمایش در آزمایشگاه تعیین می‌شود).

جدول پ-۸-۴ - قطرهای مشخصه \overline{SU} (با فرض منحنی دانه‌بندی ریزدانه‌ترین ذره خاک غیرچسبنده)

بازه‌ی دانه‌بندی	d_{90} (mm)	C_U (-)	d_{60} (mm)	d_{50} (mm)	d_{40} (mm)	d_{15} (mm)	d_{10} (mm)	گروه خاک غیرچسبنده دارای ریزترین دانه‌بندی
$(d_{40} > 0.06\text{mm} \text{ و } d_{15} < 0.06\text{mm})C$	۱/۰	25	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	\overline{SU}

پایداری مکانیکی فیلتراسیون خاک \overline{SU} (جدول پ-۸-۴)

- کنترل ضابطه‌ی مربوط به خاک زیرین با قابلیت جابه‌جایی بالای دانه‌ها:

$$C_U = 25 > 15 \text{ (ضابطه تامین نمی‌شود)}؛$$

$$0.02 < d < 0.1 \text{ mm} = 20 - 30\% \text{ (از روی نمودار تخمین زده شده است)}؛$$

$$I_p = 0.08 < 0.15 \text{ (ضابطه تامین گردیده است)}؛$$

در نتیجه \overline{SU} خاک زیرین با قابلیت جابه‌جایی بالای دانه‌ها می‌باشد.

- تعیین محدوده‌ی مقادیر مجاز اندازه‌ی روزنه $(O_{90})D_W$

- بارگذاری هیدروستاتیک:

$$D_W < d_{90} - 1.0\text{mm}$$

$$D_W \geq 0.8\text{mm} \text{ (حد پایین).}$$

- بارگذاری هیدرودینامیک:

$$D_W < 1.5 \times d_{90} \sqrt{C_U} = 0.045\text{mm} \text{ (مقدار حد بالای مربوطه)}؛$$

$$D_W < d_{90} = 0.12\text{mm}$$

$$D_W \geq 0.045 \times 0.8 = 0.036\text{mm} \text{ (مقدار حد پایین).}$$

پایداری هیدرولیکی فیلتر برای خاک SU : جدول (پ-۸-۳)

- تعیین مقدار k خاک زیرین با توجه به پیوست (۴) (HAZEN):

$$k_{SU} = 3.6 \times 10^{-5} \text{ m/s} - 5.4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

- نفوذپذیری ژئوتکستایل استفاده نشده (k_n) :

$$k_n \geq 50 k_{SU} \geq 2.7 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

مشخصات نهایی ژئوتکستایل

- پایداری فیلتری:

$$k_n \geq 2.7 \times 10^{-3} \text{ m/s} \text{ و } 0.8 \leq D_W < 1.0 \text{ mm} \text{ - بارگذاری هیدروستاتیک}$$

$$k_n \geq 2.7 \times 10^{-3} \text{ m/s} \text{ و } 0.036 \text{ mm} \leq D_W \leq 0.045\text{mm} \text{ - بارگذاری هیدرودینامیک}$$

- ضخامت لایه و سایر الزامات با توجه به مثال ۱ پیوست (۷) خواهد بود.

توجه

- ۱- در حالت خاک بستر توجه خاص به بخش (۳-۳-۱-۵) مبذول گردد.
- ۲- در خصوص نفوذپذیری ژئوتکستایل، اسناد مناقصه باید میزان ارتفاع ستون آب h و یا گرایان هیدرولیکی i را که در آن مقدار k_n کمینه پدید می‌آید را ذکر کند (ر.ک. ۴-۴-۳-۲).

پیوست 9

جدول آزمایش‌های متداول

جدول پ-۹-۱- جدول آزمایش‌های متداول ژئوتکستایل‌ها [۳۱]

آزمایش‌های کنترلی توسط کارفرما یا دستگاه نظارت	آزمایش کنترل کیفیت (در حین تولید در کارخانه)	آزمایش کنترل کارایی (قبل از اجرا)	آزمایش عمومی (اثبات پایداری اساسی)	آزمایش
۵	۴	۳	۲	۱
-	-	(x)	x	مواد خام اولیه
-	-	-	x	خواص عمومی مواد
x	x	x	x	جرم واحد سطح
x	x	x	x	- لایه‌ی فیلتر
x	x	x	x	- لایه‌ی اضافی
x	x	x	x	ضخامت
x	x	x	x	- لایه‌ی فیلتر
x	x	x	x	- لایه‌ی اضافی
x	x	x	x	مقاومت کششی در گسیختگی
x	x	x	x	- در راستای طولی
x	x	x	x	- در راستای عرضی
x	x	(x)	x	- برای درزبندهای اتصال نفوذپذیری در برابر آب ^(۱)
-	-	-	x	- منحنی v/h یا k _n / i
-	-	-	x	- اندیس v یا k _n در 0.25m یا h=0.05
(x)	x	(x)	x	اندازه‌ی روزنه
x	x	-	x	- لایه‌ی فیلتر
x	x	-	x	- لایه‌ی اضافی
-	-	(x)	x	پایداری فیلترکنندگی با توجه به آزمایش MAG
-	-	(x)	x	مقاومت در برابر نیروی دینامیکی سوراخ‌کننده
-	-	(x)	x	مقاومت در برابر سایش
-	-	(x)	x	مقاومت در برابر دمای تا 200 °C ^(۲)

(x) حسب مورد و با توجه به شرایط عملیات اجرا، آزمایش انجام شود.

x اجرای این آزمایش‌ها ضروری می‌باشد.

$$(۱) \quad v = \text{سرعت جریان}$$

$$h = \text{ارتفاع ستون آب}$$

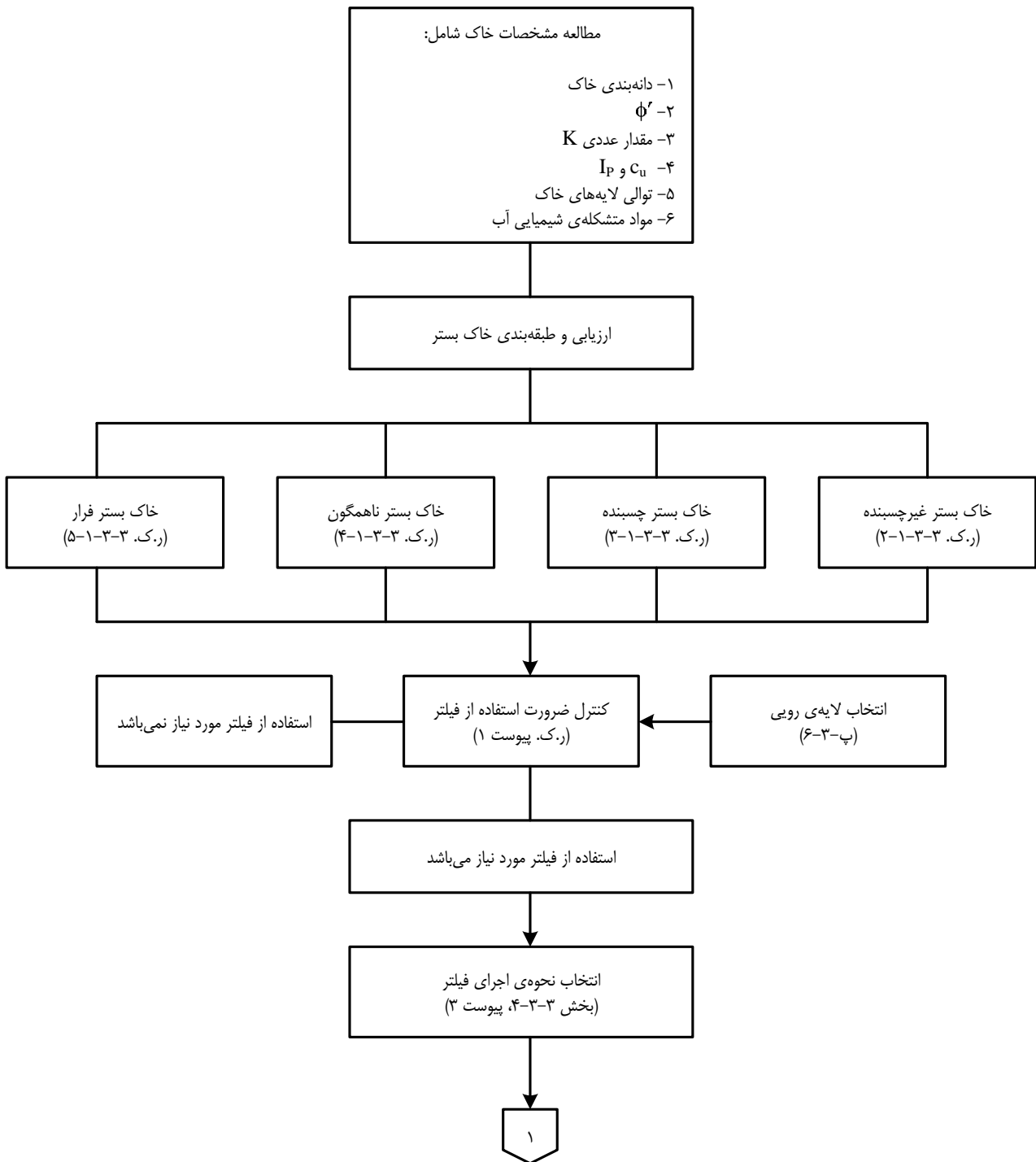
$$k_n = \text{ضریب نفوذپذیری عمود بر سطح ژئوتکستایل}$$

$$i = \text{گرادیان هیدرولیکی}$$

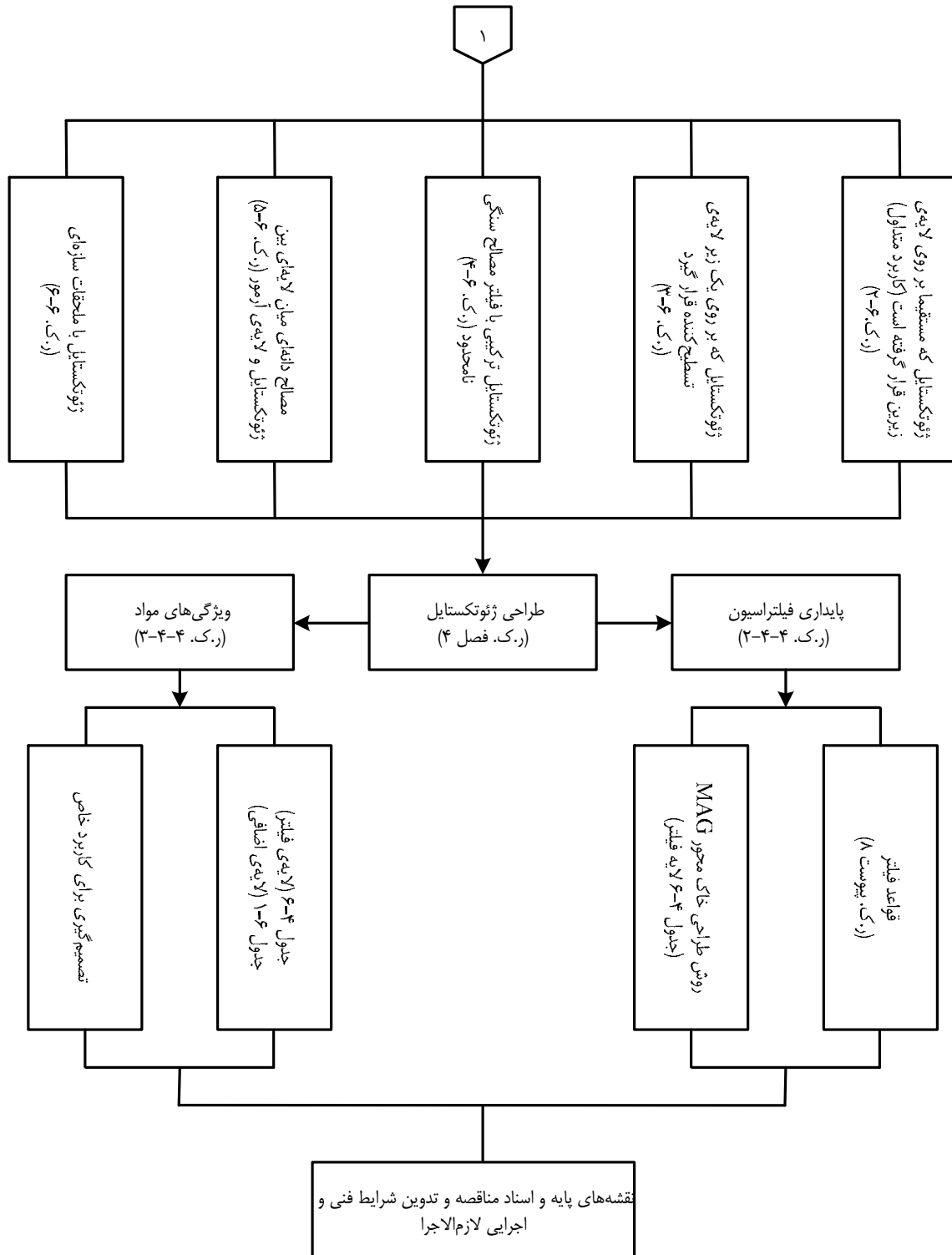
(۲) فقط برای مواد الیاف خاصی که در برابر دمای بالا مقاومت کافی ندارند.

پیوست 10

**نمودار روند منطقی طراحی
فیلترهای ژئوتکستایلی**



شکل پ-۱۰-۱ - روند طراحی فیلترهای ژئوتکستایلی



ادامه شکل پ ۱۰-۱- روند طراحی فیلترهای ژئوتکستایلی

فهرست مراجع

1. John, N. W., *Geotextiles*, Blackie and Sons, Ltd., London, 1987.
2. Moffatt and Nichol Engineers, *Construction materials for coastal structures*, Special Report SR-10, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS, 1983.
3. Barrett, R. J., "Use of plastic filters in coastal structures," *Proceedings of the 10th International Conference on Coastal Engineering*, American Society of Civil Engineers, Vol. 2, 1966, 1048-1067.
4. Koerner, R. M., and Welsh, J. P., *Construction and geotechnical engineering using synthetic fabrics*, John Wiley and Sons, New York, 1980.
5. Dunham, J. W., and Barrett, R. J., "Woven plastic cloth filters for stone seawalls," *Journal of the Waterways, Harbors, and Coastal Engineering Division*, American Society of Civil Engineers, Vol. 100, No. WW1, 1974, pp 13-22.
6. DIN 60000, *Textiles; basic terms and definitions*, 1969.
7. CIRIA, CUR and CETMEF. *The rock manual. The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)*, C683, CIRIA, London, 2007.
8. Pilarczyk, K.W., *Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering*, Taylor and Francis, London and New York, 2000, 913p.
9. Schnitter, G. and Zeller, J. *Seepage flow in earth dams due to fluctuation of a dammed up water level*, Schweizerische Bauzeitung, 75. Jahrgang, Nr. 52, 1957.
10. CUR and RWS, *Geotextiles in de waterbuow (Geotextiles in hydraulic engineering)*, in Dutch, Center for Civil Engineering Research and Codes (CUR), Gouda, the Netherlands, 1995.
11. CUR and NGO, *The use of biogradable geotextiles in civil engineering*, CUR/NGO, Report No. 187, Gouda, 1996.
12. Koerner, R.M., *Designing with geosynthetics*, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1998.
13. PIANK, *Reinforced vegetative bank protections utilizing geotextiles*, supplement to Bulletin no. 91, Brussels, Belgium, 1996.
14. Geens, M. and de Hann, W.A., "Geosynthetics and river dike improvements", *1st European Conference on Geotextiles*, Maastricht, 1996.
15. Longard, *Flexible sand-filled tubes used for constructing underwater breakwater in coast protection plans*, Company publication, 1985.
16. US Army, *Low coast shore protection*, Final report on the Shoreline Erosion Control Demonstration Program (Section 54), US Army Corps of Engineers, 1981.
17. Adel, den, H., *Alternative systems, geocontainers*, (in Dutch), Report CO-365930, Delft Geotechnics, 1996.
18. Leshchinsky D. and Leshchinsky, O., *Geosynthetic confined pressurized slurry (GeoCoPS)*, supplement notes for version 1.0, US Army Corps of Engineers and Nicolon, US, 1995.
19. Nicolon, *Nicolon products/geosystems/geotubes and geocontainers/*, Company publication, Ten Cate/Nicolon, P.O. box 236, 7600 AE Almelo, NL, 1988, 1994.
20. Fowler, J. and Sprague, C. J., "Dredged material filled geotextile containers", *Proceedings of Coastal Zone '93*, ASCE, New York, N.Y, 1993.
21. Pilarczyk, K.W., *Novel systems in coastal engineering, geotextile systems and other methods, an overview*, Rijkswaterstaat, Road and Hydraulic Engineering Division, Delft, The Netherlands, 1995.
22. Pilarczyk, K.W., "Geosystems in hydraulic and coastal engineering- An overview", *Proceedings of the 1st European Geosynthetics Conference (EuroGeo)*, Maastricht, The Netherlands, 1996.
23. Sprague, C.J. and Fowler, J., *Dredged material-filled geotextile containers; case histories, research and upcoming workshop*, Geotechnical Fabric Report, October/November, 1994.

24. Ockels, R., *Innovative hydraulic engineering with geosynthetics*, Geosynthetics World, October, 1991.
25. Tsunoda, N., *Description of dumping process*, Mitsubishi Kagaku Sanshi Corporation, private communication between Tsunoda and Pilarczyk, 1995.
26. Bezuijen, A., *Geosystems*, Delft geotechnics (Report prepared by Road and Hydraulic Engineering Division of Rijkswaterstaat, 1999).
27. Sawaragi, T., *Coastal engineering- waves, beaches, wave-structure interaction*, Elsevier, 1995.
28. Voskamp, W., "Construction of steep slope sands under water using synthetic fiber screens", *Proc. 2nd Int. Offshore Machines and Arctic Eng. Symposium*, Houston, Texas, USA, 1983.
29. Dowse, B.E.W., "Hydrostatically supported sand coastal structures", *Coastal Structures'79*, ASCE, 1979.
30. Bross, E.J. and Wiersma, K.J., "Closure of the Gulf of Khambhat", M.Sc. Thesis, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, 1998.
31. BAW, *Code of Practice: Use of geotextile filters on waterways (MAG)*, Karlsruhe, 1993.
32. *DIN 18196 Earthworks and foundations; soil classification system for civil engineering purposes*, 2006.
33. Kezdi, A., *Handbuch der bodenmechanik*, VEB Verlag für Bauwesen Berlin, 1969.
34. Busch, K.F. and Luckner, L. *Geohydraulik für studium und praxis*, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1985.
35. Abromeit, H.-U. *Tensile stresses on a geotextile due to the influences of shipping when installation is performed from the water surface*, BAW-Brief Nr. 5, 1989.
36. Abromeit, H.-U. "Installation of geotextile filters under water by technical means", *Nr. 62*, Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, 1986.
37. Knieß, H.G., "Dumping of stones under water", *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe*, Nr. 50, 1981.
38. Schweizerischer Verband der Geotextilfachleute (SVG), *Das geotextilhandbuch*, secretariat c/o EMPA, Postfach, 9001 St. Gallen / Switzerland, 2001.
39. Nold J. F. & Co., *Nold "Brunnenfilterbuch"*, 63811 Stockstadt.
40. Kuntze, H. *Verockerungen; diagnose und therapie*, schriftenreihe des kuratoriums für wasser- und kulturwesen, Nr. 32, 1978.
41. BAW, *Code of practice: Use of granular filters on waterways (MAK)*, Karlsruhe, 1989.
42. Calhoun, C. C., Jr., *Development of design criteria and acceptance specifications for plastic filter cloth*, Technical Report S-72-7, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1972.
43. US Army, *CEM: Coastal engineering manual*, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, , 2007.
44. Knieß, H.G. *Criteria and attempt for technical and economical design of inland-waterway revetments*, *Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe*, Nr. 53, 1983.
45. BAW, *Technical supply conditions for geotextile filters (TLG)*; obtainable at Drucksachenstelle bei der WSD Mitte, Am Waterlooplatz 9, 30169 Hannover, 1993.
46. BAW, *Supplementary technical contract conditions – Hydraulic Engineering (ZTV-W) for Embankment and Bottom Revetments*, service area 210; obtainable at Drucksachenstelle bei der WSD Mitte, Am Waterlooplatz 9, 30169 Hannover, 2006.
47. BAW, *Guidelines for testing geotextile filters in navigable waterways (RPG)*, BAW Karlsruhe, 1994.
48. Abromeit, H.-U., *Requirements on filtration properties of a geotextile used on clay linings*, BAW-Brief Nr. 3/91, 1991.
49. BAW, *Code of Practice use of standard construction types for embankment and bottom revetments on waterways (MAR)*, Karlsruhe, 2008.

50. DVWK, *Use of geotextiles in hydraulic engineering*, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e V., Guideline Nr. 306, 1991.
51. DVWK-Schriften *Use and testing of plastics in earthworks and water engineering*; Nr. 76, recommendations of Working Group 14 of the Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., Hamburg, Berlin; Parey, 1986.
52. DIN 18 130, *Soil, testing procedures and testing equipment; determination of the coefficient of water permeability*, part 1, laboratory tests, 2006.
53. Knieß, H.G., List, H.-J., *Long-term durability of geotextile filters*, unpublished research report of the BAW, Karlsruhe, 1982.
54. BAW, *Technical supply conditions for armourstone (TLW)*, obtainable at Drucksachenstelle bei der WSD Mitte, Am Waterlooplatz 9, 30169 Hannover, 2003.
55. Grett, H.-D., *Friction behaviour of geotextiles being in contact with cohesive or non-cohesive soils*, Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Nr. 59, 1984.
56. Giroud, J.P. "Review of geotextile filter criteria", *Proc 1st Indian Geotextile Conf. on Reinforced Soil and Geotextiles*, Bombay, 8-9dec. Oxford and IBH publishing, 1988, Bombay, PP 1-6.
57. Lafleur, J., Mlynarek, J. and Rollin, A.L. "Filter criteria for well graded cohesionless soils", in: *Filters in geotechnical and hydraulic Engineering. Proc 1st Int. conf. Geofilters*, Karlsryge, 20-22 Oct. 1992. Abalkema, Rotterdam, 1993.
58. Giroud, J.P. "Granular filters" in: *Proc Geofilters '96, Montreal*, 29-31 may. Bitech publishing, Richmoand , BC, 1996, PP565-680.
59. PIANC. "Guideline for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways", *Report of InCom WG04, supplement of bulletin No. 57*, PIANC, Brussels, 1987.
60. Giroud, J.P., Delmas, P., and Artieres, O. "Theoretical basis for the development of a two layer geotextile filter" *Proc. 6th International Conference on Geosynthetics*, Atlanta, GA, 1998, PP 1037-1044.
61. Bligh, W.G., *The practical design of irrigation works*, 2nd ed., London, 1912.
62. Lane, E.W. "Security from under –seepage-masonry dams on earth foundations", *Trans Am Soc Civ Engrs.*, Vol 100, 1935, PP 1235-1251.
63. Italian Ministry of Public Works, *Coasts, harbours and lagoons protection works*, , 1992.
64. Jackson, "Evaluation of Sand-filled geotextile groyne constructed on the Gold Coast, Australia", *Proceedings of 8th Australian Conference in Coastal and Ocean Engineering*, Launceston, 1987.
65. Foweler, J., Zengerink, E., Stephens, T.C., Santiago, M. and de Bruin, P. "Amwaj islands constructed with geotube, Bahrain", *Western Dredging Association Twenty-Second Technical Conference and Thirty-Forth Annual Texas A&M Dredging Seminar*, 12-15 June 2002, Denver, 2009
66. Pilarczyk, K.W. *Preliminary (conceptional) design of offshore breakwaters for the Amwaj Island Project*, Delft, The Netherlands, January 2001, 2002.
67. Institut für Textil- und Verfahrenstechnik, *Denkendorfer Fasertafel 1986*, Körschtalstraße 26, 73770 Denkendorf, 1986.

واژه نامه

الف

Reconsolidation تحکیم
 Leakage تراوش
 Partially grouted تزریق ناقص
 Geo-mattress تشک
 Vegetation Mattresses تشک با پوشش گیاهی
 Artificial beach nourishment تغذیه‌ی مصنوعی سواحل
 Reinforcing تقویت کردن
 Heaving تورم خاک
 Precipitation ته‌نشست

ج

Bed-load transport جابجایی رسوبات بستر
 Micro-organism جانداران ریز
 Separation جداکنندگی
 Screw-race جریان بازگشتی و چرخه‌ای
 Laminar جریان نسبتاً آرام
 Jute جوت
 Cleavage water جوشش آب

چ

Bulk density چگالی حجمی

ح

Erosion control mat حصیر کنترل فرسایش
 Bed protection حفاظت بستر
 Revetment حفاظت شیب
 Soil retention حفاظت و محصورسازی خاک

خ

Ridge خاک پشته
 Subsoil خاک زیرین
 Creep خزش
 Seepage line خط تراوش
 Self-restraining خودنگهداری

د

Density index دانسیته‌ی نسبی
 Granular interlayer دانه سنگی میان لایه‌ای
 Gap gradation دانه‌بندی باز
 Prayer seam درزبند رو به بالا
 Percent of Open Area درصد مساحت فضای باز

Erosion آب‌شستگی (فرسایش)
 Scour آب‌شستگی
 Hydrolysis آبکافت
 Performance test آزمایش کارایی
 Suitability test آزمایش کنترل کارایی
 آزمایش کنترل کیفیت توسط کارفرما یا دستگاه نظارت
 Control test by the principal
 آزمایش کنترل کیفیت در حین تولید کارخانه
 Quality control during manufacture
 Flocculation اجتماع ذرات
 Debris اجسام شناور در آب
 Land reclamation استحصال زمین
 Filament الیاف دراز
 Equivalent Opening Size اندازه‌ی روزنه‌ی معادل
 Colmatation انسداد

ب

Upstream بالادست (ساحل)
 Wave run-up بالا روی موج
 Subgrade بستر (ساب‌گرید)
 Even subgrade بستر مسطح
 Precast cellular block بلوک بتنی پیش‌ساخته مجوف
 Dike بند خاکی
 Ecology بوم‌شناسی

پ

Downstream پایین‌دست (ساحل)
 Curtain پرده‌ی ژئوتکستایلی
 Engineering cuspatе پشته مصنوعی
 Polyamide پلی‌امید
 Polyethylene پلی‌اتیلن
 High density polyethylene پلی‌اتیلن چگال یا پلی‌استر
 Polyacrylic پلی‌اکریلیک
 Polypropylene پلی‌پروپیلن
 Weft پود
 Inflatable membrane پوسته‌ی قابل تورم

ت

Wrap تار
 Coastal dunes تپه‌های ماسه‌ای دریایی

ع
Transmission عبور دادن

ف
Suffosion فرار (گریز) مصالح
Uplift pressure فشار برآ
Transport filter..... فیلتر با فرض انتقال مصالح
..... فیلتر سنگی با دانه‌بندی محدوده نشده
Unbound granular Filter
Filtering فیلتر کردن
Geometrically open filters..... فیلترهای با هندسه‌ی باز
..... فیلترهای با هندسه‌ی بسته
Geometrically tight (closed) filters
Slit-films فیلم‌های شکاف‌دار

ق
Transmissivity قابلیت عبوردهی
Indicative diameter..... قطر شاخص

ک
Flax کتان
Base-fraction کسر خاک پایه یا زیرین
Sintering..... کلوخه شدگی
Hemp کنف
Abutment..... کوله‌ی پل
Geobag..... کیسه‌ی ژئوتکستایلی

گ
Gabion گابیون
Ochreaus گل اخرا

ل
Drainage layer لایه‌ی زهکشی
Separation layer لایه‌ی جداکننده
Filter layer..... لایه‌ی فیلتر
Langard tubes..... لوله‌های لانگارد
Anchor cast لنگر پرت‌شده کشتی

م
Discontinuous parallel barrier مانع موازی ناپیوسته
Protecting محافظت کردن

Durability دوام
Split barge..... دویه‌ی از وسط بازشونده
Sheet-pile wall..... دیوار سپری

ر
Groin رانه‌گیر
..... روش جریان بازگشتی آشفته
Reversing trubulent flow method.....
Flow through method روش گذر جریان از خلال خاک
Lining..... روکش

ژ
Non-woven geotextile..... ژئوتکستایل بافته‌نشده
Woven geotextile..... ژئوتکستایل بافته‌شده
Geotube..... ژئوتیوب
Geosynthetic..... ژئوسنتتیک
Fill-containing geosystems..... ژئوسیستم‌های پرشونده
Geocontainer ژئوکانتینر
Geogrid ژئوگرید
Geomembrane ژئوممبران
Geonet ژئونت

س
Pond bank structure سازه‌ی حفاظت کرانه‌ای تالاب‌ها
Overtopping..... سرریز موج
Riprap سنگ چین
Perched beaches سواحل تثبیت‌شده

ش
Fascine grid..... شبکه‌ی چپری
Roll number..... شماره‌ی رول
Anchor furrowing..... شیارسازی توسط لنگرها

ص
Screen صفحه
Bottom screen..... صفحه‌ی بستر
Floating screen..... صفحه‌ی شناور

ض
..... ضابطه‌ی با هندسه‌ی بسته
Geometrically closed criteria
Residual thickness..... ضخامت پسماند

Mixed semi-diurnal	مخلوط نیمه روزانه
Submerged	مستغرق
Angular materials	مصالح تیز گوشه
Geo-composite	مصالح مرکب زمین ساختی
Burst strength.....	مقاومت در برابر ترکیدن
Piping resistance	مقاومت رگاب
Transition.....	مقاطع انتقالی
Grading curve	منحنی دانه بندی
.....	منسوج الیاف گیره ای سوزن کاری شده
Needle-punched staple fiber fabric
.....	منسوج الیافی پیوسته ای سوزن کاری شده
Needle-punched continuous fabric.....
Monofilament	منسوج تک الیافی
Split-film fabric	منسوج فیلم مقطع
Tape fabric	منسوج نواری
Multifilament fabrics	منسوجات چند الیافی

ن

Splash area	ناحیه ی پاشش آب
Coir	نارگیل
Drag force.....	نیروی کششی

Abstract

This guideline provides general rules for application and design of geotextiles in rubble-mound breakwaters and coastal protections. Geotextiles are sheet-like permeable materials made from synthetic polymer filaments. In recent years, the rise in capital cost for traditional forms of coastal structures and their maintenance have motivated coastal engineers and researchers to aim for more low-cost or novel engineering methods. The current guideline tackles principles for the use of a geotextile as a filter layer or separation layer, types of filter and armour-layer construction, design requirements and required tests, enriched by ample practical design examples. This design guideline shall be used in association with Publication No. 300, particularly volumes 1 and 5, where all other aspects of breakwater design, not treated in this design guidelines, are to be according to that publication's stipulations. This guideline is intended for coastal and geotechnical engineers and maritime-structure designers.

Islamic Republic of Iran
Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision

Guideline for Use of Geotextiles in Coastal Protection and Breakwater Structures

No. 528

Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical Affairs

nezamfanni.ir

2012

این نشریه

راهنمای کاربرد ژئوتکستایل‌ها در سازه‌های حفاظتی دریایی و موج‌شکن‌های توده‌سنگی را ارایه می‌کند. ژئوتکستایل‌ها منسوجاتی متخلخل و مسطح هستند که معمولاً از مواد پلیمر مصنوعی ساخته می‌شوند. در این نشریه اصول و مبانی کاربرد، طراحی و اجرای ژئوتکستایل‌ها در موج‌شکن‌ها و سازه‌های حفاظتی دریایی، به‌همراه مثال‌های عملی طراحی بررسی و ارایه گردیده است. در استفاده از این راهنما، نشریه‌ی شماره ۳۰۰ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی با عنوان "آیین‌نامه‌ی طراحی بنادر و سازه‌های دریایی"، به‌خصوص جلد‌های ۱ و ۵ به‌عنوان پیش‌نیاز می‌باشند و جنبه‌هایی از طراحی و اجرای موج‌شکن‌ها که در این مجموعه به سبب عدم تکرار ذکر نشده‌اند در نشریه فوق‌الذکر قابل مراجعه می‌باشند. این نشریه می‌تواند راهنمایی برای طراحان سازه‌های دریایی و مهندسان سواحل، ژئوتکنیک و ژئوستتیک در نظر گرفته شود.