



اولین همایش ملی زهکشی در کشاورزی پایدار  
تهران - ۸ اسفندماه ۱۳۹۲



## مطالعه و اندازه‌گیری خصوصیات مؤثر در زهکشی ژئوتکستایل‌ها

روح اله رستمی نجف‌آبادی، حسن شکراللهی، محمد ذره‌بینی

دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان. r\_rostami110@yahoo.com

### چکیده

از منسوجات بی‌بافت سوزن زنی شده صنایع نساجی در مصارف عمرانی و کشاورزی استفاده‌های زیادی می‌شود. خواص مورد انتظار از آن‌ها در این زمینه، قابلیت تغییر شکل، استحکام کششی و استحکام ترکیبگی بالا، نفوذپذیری و وزن مناسب در راستای تقویت خاک می‌باشد. ژئوتکستایل‌ها از جمله منسوجات بی‌بافت می‌باشند. ژئوتکستایل‌ها کاربردهای گسترده و وسیعی دارند که باعث شده است این صنعت رشد روز افزونی داشته باشد و هر روز محصولات جدیدتری از آنها به بازار ارائه شود. اصلی‌ترین کاربردهای آنها عبارت است از: کنترل فرسایش، فیلتراسیون، جداکننده، تقویت خاک و زهکشی. ژئوتکستایل باید به مقدار کافی دارای نفوذپذیری برای اجازه عبور به آب‌های زیرزمینی باشد. ژئوتکستایل‌ها باید نیازهای رضایت‌بخش و مشخصی برای قابلیت نفوذپذیری آب و استحکام خاک، که به خصوصیات هیدرودینامیکی معروف است را داشته باشد. در این تحقیق کلیه خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و به ویژه هیدرولیکی با به کارگیری معتبرترین استانداردها اندازه‌گیری شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد مهندسی کشاورزی براحتی می‌توانند با در نظر گرفتن پارامترهای دلخواه خود از این دسته منسوجات در کاربردهای مختلف و به ویژه زهکشی استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: منسوجات بی‌بافت، ژئوتکستایل‌ها، خصوصیات هیدرولیکی، زهکشی.

### مقدمه

با ابداع ژئوتکستایل‌ها تصور گسترش دامنه مصرف اینچنین گسترده، برای کمتر کسی امکان‌پذیر بوده است. کاربرد گسترده و متنوع ژئوتکستایل‌ها در پروژه‌های عمرانی و کشاورزی حاکی از قابلیت‌های این گروه از تولیدات صنعت نساجی می‌باشد، که به دلایل متفاوتی در کشور ما هنوز به جایگاه واقعی خود نرسیده است.

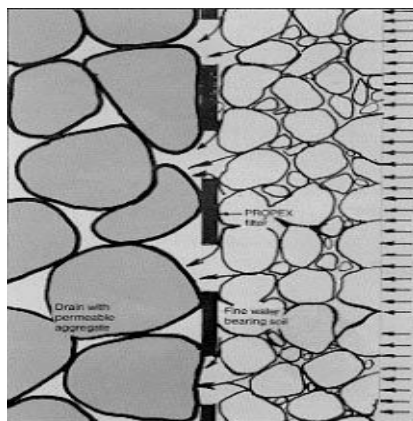
امروزه با پیشرفت تکنولوژی و پیدایش ژئوتکستایل های جدید، دامنه کاربرد این شاخه از صنعت در جهان به شدت رو به گسترش است. کاربردهای عمده ژئوتکستایل ها در صنایع عمران از جمله، کنترل فرسایش خاک، نگهداری زیر سازی جاده ها، استحکام بخشی و تقویت خاکریزها، نگهداری دیواره ها و غیره، همچنین در صنعت کشاورزی جهت زهکشی، محافظت، تثبیت و عایق کاری، باعث شده تا توجه مهندسين عمران و کشاورزی به طور ویژه به این گروه از تولیدات صنایع نساجی معطوف گردد.

اعتقاد بر این است که ژئوتکستایل ها در زمره بهترین راه حل ها در رابطه با رفع اشکالات تکنیکی مربوط به خاک می باشند. در حال حاضر فعالیتهای تحقیقاتی قابل توجهی در زمینه های گوناگون ژئوتکستایل صورت گرفته است. به واسطه تحقیقات انجام پذیرفته، وسائل آزمایشگاهی دقیقی ابداع، و آزمایشهای استاندارد و روش های علمی بررسی و طراحی گردیده اند. و مجموعه این عوامل امکان طراحی و ساخت ژئوتکستایل مناسب را برای پروژه های متنوع امکانپذیر نموده است. به هر حال کمبود اطلاعات در رابطه با مصرف و ساخت ژئوتکستایل ها در کشور، نیاز به افزایش آگاهی مهندسين کشاورزی و نساجی و همکاری مستمر این دو گروه با هم را به امری مهم مبدل نموده است.

## تعاریف

### زهکشی عمودی

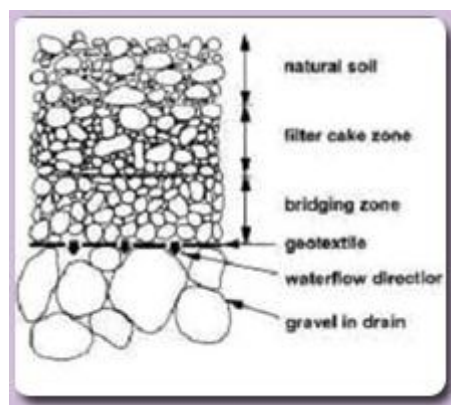
لایه های ژئوتکستایل برای افزایش نرخ انتقال آب به منظور کاهش زمان نشست خاک و افزایش ثبات آن استفاده می شوند. وظیفه ی آنها در این موقعیت، کاهش فشار آب مویینه ی اضافی در محیط خاک می باشد که این کار به کمک آبراههایی با مقاومت ورودی کم و ظرفیت تخلیه ی زیاد انجام می شود. عملکرد ژئوتکستایل ها در فیلتراسیون و زهکشی در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱: عملکرد ژئوتکستایل ها در فیلتراسیون و زهکشی [۱].

### زهکشی افقی

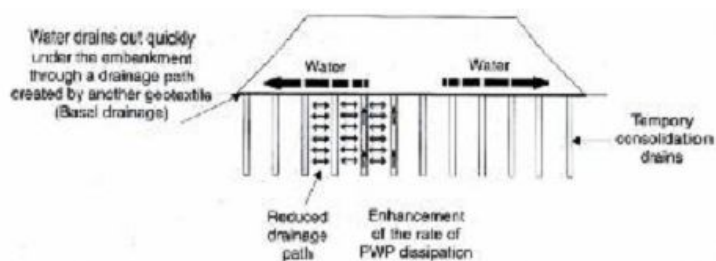
از ژئوتکستایل در زهکشی های زیرزمینی به منظور افزایش انتقال برای بهتر کردن دسترسی محصولات کشاورزی به آب استفاده می شود. در این موقعیت به عنوان فیلتر عمل می کنند و اجازه نمی دهند محدوده ی اندازه ی ذرات خاک تغییر کند. لایه بیرونی ژئوتکستایل با کنترل میزان نفوذ پذیری آب می تواند به عنوان یک سطح عایق کننده عمل نماید، در این حالت آب های زیر زمینی بر روی ژئوتکستایل به خوبی جریان پیدا کرده و می تواند به سمت نقاط خروجی هدایت شود [۲]. ژئوتکستایل در این حالت نقش واسطه انتقال آب یا گاز به بیرون خاک را بر عهده دارد [۳]. عملکرد ژئوتکستایل در زهکشی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: عملکرد ژئوتکستایل‌ها در زهکشی [۱].

سیستم زهکشی در زیر بنا یا در طول جاده های پر رفت و آمد نصب می گردد که باعث انتقال آبهای موجود در خاک شده و در نتیجه استحکام کافی در ساختمان یا جاده ایجاد می گردد [۴]. همچنین ژئوتکستایل با این مشخصه می تواند به عنوان زهکش عمودی در سدهای خاکی استفاده شود که قادر به تحکیم خاکریز رسی خواهد بود [۳]. ژئوتکستایل هر گاه برای زهکشی به کار می رود، به عنوان یک مجرا برای عبور مایعات و گازها، از صفحه ژئوتکستایل عمل می کند. بدین منظور بیشتر از ژئوتکستایل های با بافت ضخیم استفاده می شود. انتخاب ژئوتکستایل باید بر پایه قابلیت عبور و انتقال آن صورت پذیرد [۱].

معمولاً استحکام خاک را با توجه به میزان رطوبت و آب موجود در آن می سنجند یعنی با کاهش میزان آب موجود در خاک، استحکام خاک افزایش می یابد و برعکس. در این موارد، ژئوتکستایل توانایی هدایت جریان های آبی و گازی را در صفحه خود تا نقطه خروجی مورد نظر دارد. این زمینه کاربرد ژئوتکستایل را زهکشی (انتقال و هدایت جریان مایع) می نامند. سیستم زهکشی، سبب پراکندگی فشار مویینه (PWP: Pore Water Pressure) آب مازاد می شود. بدین ترتیب استحکام خاک افزایش می یابد. نرخ پراکندگی فشار آب مویینه اضافی با استفاده از زهکش های مداوم و زودگذر، افزایش می یابد. بدین ترتیب می توان مسیر انتقال آب را کوچکتر کرد. این روش زهکشی را می توان در دوره های کوتاه اجرا کرد تا زمانی که استحکام بخشی به طور کامل انجام می شود و خاک دارای استحکام مورد نظر گردد. زهکشی موقت و دائمی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: زهکشی موقت و دائمی.

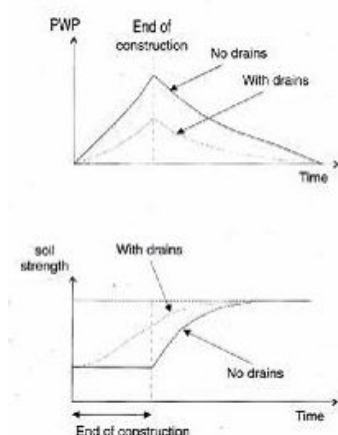
### خواص ژئوتکستایل ها

خواص یک ژئوتکستایل را می توان وابسته به خواص زیر دانست:

- خواص الیاف یا نخ های تشکیل دهنده ی لایه

- جنبه‌های هندسی لایه
- خواص فیزیکی - مکانیکی لایه
- خواص هیدرولیکی
- مقاومت فیزیکی - شیمیایی لایه

در بررسی خواص ژئوتکستایل‌ها باید به خواص الیاف آنها از جمله نقطه‌ی ذوب، دانسیته پلیمر، مدول یانگ و دانسیته‌ی خطی توجه کرد. البته خواص فیزیکی و مکانیکی نخ‌ها مانند نمره و تاب و تموج آنها موثر هستند. به عنوان مثال با توجه به استحکام کششی نخ و با توجه به نوع بافت، می‌توان استحکام لایه را پیش‌بینی کرد. دیگر خواص فیزیکی - مکانیکی مانند استحکام ترکیب‌دهی، سوراخ‌شدگی، گسیختگی و مقاومت در برابر خوردگی برای ژئوتکستایل‌ها بررسی می‌شود. طول عمر ژئوتکستایل نیز با توجه به خواص مختلف از جمله خواص فیزیکی - مکانیکی آنها و مقاومت در برابر عوامل مکانیکی و شیمیایی تعیین می‌شود. البته شرایط و عوامل جوی و رطوبتی نیز بر عوامل یاد شده موثر خواهند بود. به طور کلی حتی برای انجام آزمایش‌ها نیز تلاش می‌شود که شرایط جوی و رطوبتی مشابه به شرایط واقعی باشد. مقایسه استحکام و طول عمر خاک با زهکشی و بدون زهکشی در شکل ۴ آمده است.



شکل ۴: مقایسه استحکام و طول عمر خاک با زهکشی و بدون زهکشی.

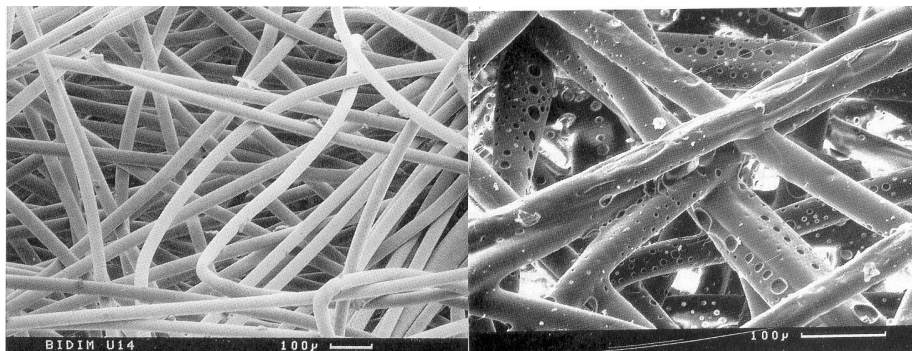
## مواد و روش‌ها

### مواد مصرفی

الیاف پلی پروپیلن در یک دهه اخیر به جایگاه بالائی دست یافته و به عنوان اولین لیف پر مصرف، در عرصه صنعت الیاف مصنوعی مطرح شده است. خصوصیات مطلوب و مناسب آن سبب گشته تا به طور گسترده‌ای در عرصه منسوجات بی بافت و ژئوتکستایل‌ها مورد استفاده قرار گیرند. این امر تنها به دلیل عواملی مانند قیمت ارزان و فرآیند پذیری عالی آن (در مرحله تولید الیاف و منسوج بی بافت) نبوده، بلکه ویژگی‌های عالی و استثنائی آن از نظر کاربردهای بعدی مصرف کننده، نیز در انتخاب حائز اهمیت بوده است.

پلی پروپیلن دارای قابلیت جذب رطوبت بسیار ناچیزی است، لذا رطوبت بر استحکام آن هیچ گونه تاثیر منفی نخواهد داشت. یکی از سبکترین الیاف بوده در نتیجه دارای قدرت پوشش دهی خوبی می‌باشد. از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. نقطه

ذوب نسبتاً پائین، آن را لیف مناسبی برای بسیاری کاربردها در زمینه منسوجات بی‌بافت ساخته و سبب شده است تا با استفاده از روشهای حرارتی در اتصال لایه، امکان حذف عوامل شیمیائی و تاثیرات منفی وجود آن‌ها بر طرف گردد [۵]. در این تحقیق الیاف پلی پروپیلن با خصوصیات مناسب تولید و سپس جهت تهیه لایه استفاده شده است. تصویر الکترونی ژئوتکستایل تولید شده به روش سوزن زنی در شکل ۵ آمده است.



شکل ۵: ژئوتکستایل تولید شده به روش سوزن زنی.

## خصوصیات اندازه گیری شده

### خواص فیزیکی

ضخامت لایه‌ی ژئوتکستایل فاصله‌ی بالاترین و پایین‌ترین سطح مواد آن می‌باشد که تحت فشار خاصی اندازه‌گیری می‌شود. البته اندازه‌گیری ضخامت واقعی این لایه‌ها امکان پذیر نیست. به هر حال ضخامت بیشتر ژئوتکستایل‌ها کمتر از ۱۰ میلی‌متر است.

عموماً جرم ژئوتکستایل‌ها در واحد سطح ۱۰۰ - ۱۰۰۰ گرم بر متر مربع است و البته در بیشتر موارد از لایه‌هایی با جرم واحد سطح ۳۰۰ - ۱۰۰ گرم بر متر مربع استفاده می‌شود. لایه‌های بافته شده می‌توانند سنگین‌تر و در حدود ۲۰۰۰ - ۱۰۰ گرم بر متر مربع باشند. معمولاً لایه‌های سبک‌تر به عنوان جداکننده و لایه‌های سنگین‌تر بافته شده جهت تقویت خاک و لایه‌های سنگین‌تر بی‌بافت نیز جهت فیلتراسیون و زهکشی به کار می‌روند.

از پارامتر وزن و یا دانسیته‌ی سطحی لایه‌ها، تنها جهت مقایسه‌ی چند لایه‌ی هم‌نوع می‌توان استفاده کرد. مثلاً برای چند مدل لایه‌ی بی‌بافت سوزن زنی شده با الیاف یکسان، وزن می‌تواند معیاری برای سختی کششی آنها باشد. اما یک لایه‌ی بافته شده با یک دانسیته‌ی سطحی مشابه با لایه‌ی بی‌بافت، سفت‌تر از لایه‌ی بی‌بافت یاد شده خواهد بود. پس نمی‌توان تنها از عامل وزن به عنوان معیار مقایسه‌ی لایه‌های مختلف ژئوتکستایل استفاده کرد. به هر حال این عامل (وزن یا دانسیته‌ی سطحی لایه) از پارامترهای بسیار مهم است.

در این تحقیق همه لایه‌ها با وزن ۴۰۰ گرم بر متر مربع تولید شده و ضخامت آنها بدقت اندازه‌گیری شده است.

### خواص مکانیکی

خواص مکانیکی یک لایه ژئوتکستایل معمولاً با توجه به رفتار تنش - کرنش آن مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. به طور کلی استحکام کششی یک لایه مهمترین معیار جهت ارزیابی خواص مکانیکی ژئوتکستایل می‌باشد. در این تحقیق علاوه بر استحکام کشش در راستای طول، استحکام پارگی دوزنقه‌ای و مقاومت در برابر سوراخ شدگی نیز اندازه‌گیری شده است.

## خواص هیدرولیکی

دسته‌ای دیگر از خواص اصلی ژئوتکستایل‌ها، خواص هیدرولیکی آنها می‌باشد. این خواص به طور عمده به عواملی مانند قدرت نفوذ آب در لایه، درجه‌ی سفتی خاک، انسداد لایه و ناخالص بودن لایه بستگی دارد. در این میان پارامترهای موثر بر نفوذپذیری آب عبارتند از: ساختار لایه‌ی ژئوتکستایل، خاک‌های بستر، نیروی وارده از بالا، نیروهای هیدرولیکی، انسداد ژئوتکستایل و ناخالص شدن آن، دمای آب و درجه‌ی خلوص آب. باید گفت پارامترهای یاد شده با تاثیر بر خواص هیدرولیکی، در راستای کاربرد زهکشی حائز اهمیت فراوانی هستند.

همچنین اندازه‌ی منافذ ژئوتکستایل و تعداد منافذ در واحد سطح لایه، بر نفوذ آب بسیار موثر است. ساختار ژئوتکستایل مانند ترکیب نخ و نوع مواد در ژئوتکستایل‌های بافته شده نیز در این زمینه حائز اهمیت هستند. لایه‌های خاک‌های زیرین نیز در مقدار آب خروجی از ژئوتکستایل به بیرون نقش مهمی دارند. بر این اساس اگر ذرات ریز این خاک کمتر شود، نفوذ آب به آن بیشتر خواهد شد. بنابراین قدرت زهکشی ژئوتکستایل بیشتر می‌شود. نیروهای وارده به لایه از سمت بالا نیز مهم هستند. زیرا این نیروها ممکن است سبب توده‌ای شدن خاک شوند و برخی از منافذ ژئوتکستایل را مسدود نمایند. که این مسئله سبب کاهش جذب آب در واحد سطح لایه می‌شود. همچنین این نیرو می‌تواند ضخامت لایه‌های بی‌بافت را کم کنند و نفوذ آب را نیز کاهش دهند. نیروهای هیدرولیکی شامل چندین زیر مجموعه می‌شود: نیروهای ناشی از جریان آب‌های زیرزمینی، بلوکه شدن ژئوتکستایل نیز بسیار مهم است. در تعریف بلوکه شدن چنین می‌توان گفت: بسته شدن و انسداد منافذ ژئوتکستایل به طور کامل و یا ناقص در اثر نفوذ ذرات خاک به داخل آنها. نوع دیگر از گرفتگی ژئوتکستایل **clogging** است که در آن ذرات گل و لای بر روی لایه می‌نشینند و یا به درون آن نفوذ می‌کنند و یا سطح بین لایه و خاک بستر را پر می‌نمایند. هر دوی این پدیده‌ها سبب کاهش نفوذ آب می‌شوند.

از آنجاییکه تغییرات دما، سبب تغییرات ویسکوزیته‌ی آب می‌شود، پس این عامل هم می‌تواند بر میزان نفوذ آب موثر باشد. واضح است که خلوص آب از عوامل مهم و تاثیر گذار بر نفوذ آن می‌باشد [۶].

## نتایج و بحث

این تحقیق موفق شده است با تغییر در خصوصیات الیاف تشکیل دهنده و عوامل مرحله تولید لایه، خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و هیدرولیکی آن را تحت تاثیر قرار دهد و ژئوتکستایلی با خصوصیات متفاوت تولید نماید. این نمونه‌ها عملکردهای متفاوتی چون مسلح سازی، فیلتراسیون، زهکشی، جداسازی و محافظت که مورد نیاز پروژه‌های کشاورزی و عمران است، را دارا می‌باشند. خصوصیات یک ژئوتکستایل تا حدودی بستگی به کاربرد آن دارد. با توجه به کاربردهای مختلف ژئوتکستایل‌ها، مانند فیلتراسیون، استحکام بخشی و جداسازی، زهکشی، خواص این لایه‌ها بسیار گوناگون است. به عنوان مثال برای استحکام بخشی، تأکید زیادی بر خواص مکانیکی آنها مانند مدول الاستیسیته و استحکام می‌شود. یا در زمینه‌ی فیلتراسیون، خواص مکانیکی مانند قابلیت نفوذپذیری اهمیت دارد. گاهی در کنار این خواص اصلی، برخی خواص فرعی مانند مقاومت در برابر اشعه‌ی UV نیز اهمیت می‌یابد. معمولاً خواص ژئوتکستایل‌های بافته شده و یا آرایش یافتگی الیاف در لایه‌های بی‌بافت، حائز اهمیت هستند.

میانگین خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و هیدرولیکی ژئوتکستایل‌های تولید شده در این تحقیق و ژئوتکستایل‌های معتبر خارجی به ترتیب در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی، مکانیکی و هیدرولیکی بیست نمونه ژئوتکستایل تولیدی

Test Method	Thickness	Grab Tensile Strength	Grab Elongation	Trapezoid Tear Strength	Puncture Resistance	Permittivity
Unit	mm.	N	%	N	N	$sec^{-1}$

ASTM Method	D5199	D4632	D4632	D4533	D4833	D4491
<b>G1</b>	۴/۹۶	۷۵۶/۴	۱۴۸/۸	۲۹۹/۱	۳۱۵/۳	۰/۲۴
<b>G2</b>	۴/۱۹	۸۶۲/۲	۱۱۳/۸	۳۹۱/۹	۴۴۵/۷	۰/۳۲
<b>G3</b>	۴/۸۴	۱۰۰۷/۱	۱۲۸/۱	۴۹۳/۵	۴۸۰/۹	۰/۳۶
<b>G4</b>	۴/۶۳	۹۲۳/۵	۱۲۴/۸	۳۹۲/۷	۴۷۷/۸	۰/۳۹
<b>G5</b>	۵/۲۴	۷۴۹/۱	۱۳۴/۰	۳۱۰/۸	۴۷۱/۳	۰/۴۰
<b>G6</b>	۴/۷۲	۸۴۶/۲	۱۳۸/۲	۳۰۶/۶	۴۲۹/۵	۰/۴۱
<b>G7</b>	۴/۱۱	۱۰۱۵/۳	۱۱۳/۲	۴۳۲/۴	۶۰۸/۰	۰/۳۴
<b>G8</b>	۴/۶۴	۱۰۲۷/۱	۱۲۱/۶	۵۳۱/۵	۵۳۳/۲	۰/۵۲
<b>G9</b>	۴/۲۴	۱۱۷۶/۹	۱۱۸/۰	۴۴۷/۶	۶۳۲/۳	۰/۵۶
<b>G10</b>	۴/۸۴	۹۱۲/۶	۱۳۰/۴	۴۰۴/۱	۵۰۱/۱	۰/۵۱
<b>G11</b>	۴/۷۸	۸۲۱/۲	۱۱۹/۳	۳۳۵/۵	۳۶۰/۴	۰/۳۲
<b>G12</b>	۴/۰۷	۱۰۷۹/۴	۱۱۰/۲	۴۲۵/۸	۵۶۰/۹	۰/۲۶
<b>G13</b>	۴/۸۳	۱۰۶۴/۵	۹۳/۸	۵۲۹/۴	۵۷۱/۴	۰/۳۶
<b>G14</b>	۴/۳۲	۱۱۳۹/۰	۱۱۱/۶	۴۹۴/۲	۵۰۱/۱	۰/۳۴
<b>G15</b>	۵/۱۰	۱۰۸۲/۶	۱۱۱/۵	۵۰۸/۶	۴۷۳/۲	۰/۳۹
<b>G16</b>	۴/۵۳	۹۵۵/۸	۱۲۵/۹	۳۹۸/۳	۴۴۳/۸	۰/۳۷
<b>G17</b>	۳/۹۷	۱۰۹۳/۱	۱۰۸/۴	۴۴۴/۷	۶۴۱/۹	۰/۴۸
<b>G18</b>	۴/۵۹	۱۲۳۴/۸	۱۰۳/۰	۵۵۸/۲	۶۲۴/۴	۰/۴۵
<b>G19</b>	۴/۲۱	۱۲۷۰/۳	۱۰۷/۷	۵۳۵/۰	۶۳۶/۲	۰/۳۴
<b>G20</b>	۴/۸۰	۱۱۲۳/۲	۱۱۵/۲	۵۲۲/۶	۵۱۳/۴	۰/۳۱

خصوصیات یک ژئوتکستایل تا حدودی بستگی به کاربرد آن دارد. با توجه به کاربردهای مختلف ژئوتکستایل‌ها، مانند فیلتراسیون، استحکام بخشی و جداسازی، زهکشی، خواص این لایه‌ها بسیار گوناگون است. به عنوان مثال برای استحکام بخشی، تأکید زیادی بر خواص مکانیکی آنها مانند مدول الاستیسیته و استحکام می‌شود. یا در زمینه‌ی فیلتراسیون و زهکشی، خواص مکانیکی مانند قابلیت نفوذپذیری اهمیت دارد. گاهی در کنار این خواص اصلی، برخی خواص فرعی مانند مقاومت در برابر اشعه‌ی UV نیز اهمیت می‌یابد

## منابع

1. Albricht, W., Fuchs, H., Kittlemann, W., " Nonwoven Fabrics ", Published by Wiley-VCH, PP.21-69, 2003.
۲. رستمی نجف آبادی، ر، " تاثیر پارامترهای لیفی و تولیدی بر خواص فیزیکی، مکانیکی ژئوتکستایل‌های تولیدی از الیاف بریده پلی‌پروپیلن"، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۵.
3. Hwang, G.S.H., Hwu, B.L., Hsing, W.H., Lu, C.K., " Manufacturing Effects on the Hydraulic Properties of Needle-punched Nonwoven Geotextiles", Geotextiles and Geomembranes, Vol. 16, PP.355-363, 1998.
4. Santvoort, V., Gerard, P. T. M., "Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering", Published by Balkema, A.A., Netherlands, PP.153-187, 1994.
5. Sarsby, R.W., "Geosynthetics in Civil Engineering", Woodhead Publishing in Textiles, England, PP.181-229, 1994.
۶. شکرالهی، ح، " بررسی خواص هیدرولیکی ژئوتکستایل‌ها"، دانشکده مهندسی نساجی، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۰.