

بررسی آزمایشگاهی رفتار هیدرولیکی ژئوتکستایل های نفاخته تحت اثر تنش محصور کننده و گرادیان هیدرولیکی متغیر

علی پاکⁱ، زهرا زحمتکشⁱⁱ

چکیده

در این تحقیق، رفتار فیلتریشن و زهکشی چندین نوع ژئوتکستایل نفاخته، پس از ساخت دو دستگاه اندازه گیری نفوذپذیری عمود بر صفحه و نفوذپذیری درون صفحه، مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه های تهیه شده تحت اثر هد هیدرولیکی در محدوده ۱۰cm تا ۶۰cm و تنش محصور کننده تا مقدار ۱۰۰۰kPa قرار گرفتند و رفتار هیدرولیکی آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این آزمایشات اثر افزایش تعداد لایه ها نیز در میزان نفوذپذیری مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایشات نشان می دهد که با افزایش تنش محصور کننده، هدایت هیدرولیکی درون صفحه ژئوتکستایل به صورت نمایی کاهش می یابد اما قطع نمی گردد. نتایج آزمایشات همچنین نشان می دهد با افزایش گرادیان هیدرولیکی مقدار هدایت هیدرولیکی درون صفحه و عمود بر صفحه کاهش می یابد.

کلمات کلیدی: ژئوتکستایل نفاخته، تنش عمود بر صفحه، گرادیان هیدرولیکی، صافی سازی، زهکشی

ⁱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف: pak@sharif.edu.

ⁱⁱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف: zahmatkesh@mehr.sharif.ir.

معمول مورد استفاده، افزایش یافته است.

۱- مقدمه

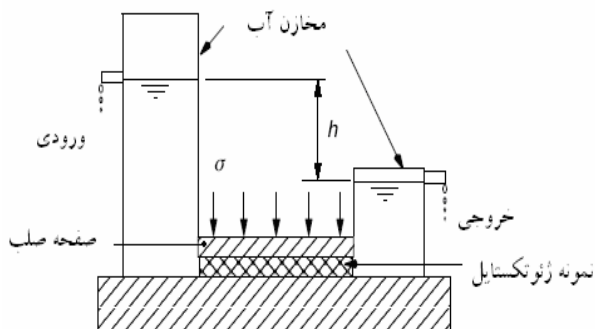
برای بررسی رفتار هیدرولیکی ژئوتکستایل می توان از تکنیک های آزمایشی متفاوتی استفاده نمود. از جمله آزمایشاتی که برای برآورد رفتار هیدرولیکی ژئوتکستایل بدون حضور خاک انجام می گیرند، می توان به آزمایش اندازه گیری هدایت هیدرولیکی درون صفحه ژئوتکستایل (transmissivity) و آزمایش اندازه گیری هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه ژئوتکستایل (permittivity) اشاره نمود. در این تحقیق تلاش شده است که رفتار هیدرولیکی برخی از انواع ژئوتکستایل ها تحت اثر تنش ها و گرادیان های هیدرولیکی متفاوت مورد بررسی قرار گیرد. در این آزمایشات همچنین تأثیر افزایش تعداد لایه

ژئوتکستایل ها از جمله مصالحی هستند که امروزه به طور وسیعی در کاربردهای صافی سازی (filtration) و زهکشی (drainage) در مهندسی ژئوتکنیک، هیدرولیک و محیط زیست مورد استفاده قرار می گیرند. از آنجا که در اغلب موارد این مصالح در سایت تحت اثر تنش ها و جریان های متفاوت قرار دارند، بررسی رفتار هیدرولیکی آنها تحت شرایط واقعی اهمیت ویژه ای پیدا می کند. در طول چندین سال گذشته مبحث کاربرد ژئوتکستایل ها در مهندسی عمران به طور پیوسته ای گسترش و استفاده از آنها بر اساس منافع فنی و اقتصادی در مقایسه با مصالح

های ژئوتکستایل در عملکرد هیدرولیکی آن مورد بررسی قرار گرفته است.

از آنجا که اطلاعات کمی در مورد عملکرد هیدرولیکی انواع ژئوتکستایل تحت اثر بار و شرایط مرزی متفاوت وجود دارد و مطالعات محدودی جهت مقایسه نتایج تست های صورت گرفته روی رفتار هیدرولیکی ژئوتکستایل انجام شده است، لازم است مطالعات و آزمایشات بیشتری جهت بررسی رفتار هیدرولیکی ژئوتکستایل ها به عمل آید تا بتوان با اطمینان خاطر بیشتری از آنها در سازه های حاکی استفاده نمود. از جمله محققینی که رفتار هیدرولیکی ژئوتکستایل ها را در شرایط محصور کننده متفاوت مورد بررسی قرار داده اند می توان به عنوان مثال به Koerner و همکاران در سال ۱۹۸۴ و Palmeira و Gardoni در سال ۲۰۰۰ اشاره نمود [۲] و [۸]. نتایج حاصل از رفتار هیدرولیکی ژئوتکستایل ها تحت اثر تنش ها و گرایان های هیدرولیکی متفاوت، در طراحی دقیق تر پوشش های جداره و کف محل های دفن زائدات جامد (landfills)، در طراحی سیستم زهکشی بندهای حاکی و سازه های آبیاری و در طراحی سیستم های حفاظت در کارهای مهندسی رودخانه و مهندسی سواحل کاربرد اساسی دارد.

توضیحاتی داده شده است. آزمایشات اندازه گیری هدایت هیدرولیکی درون صفحه، با استفاده از دستگاهی که بر اساس استاندارد ASTM D 4716 طراحی و ساخته شد انجام شدند [۱]. این دستگاه قادر به اندازه گیری هدایت هیدرولیکی درون صفحه تحت اثر تنش محصور کننده تا مقدار حداکثر ۱۰۰۰ kPa می باشد. ابعاد نمونه ژئوتکستایل ۲۰۰×۱۰۰ mm بوده و تنش با استفاده از یک صفحه صلب به نمونه وارد می شود. تغییر ضخامت نمونه ژئوتکستایل تحت اثر تنش در طول آزمایش، به عنوان تابعی از جابه جایی صفحه صلب، با میانگین گیری از تغییر مکان های ثبت شده توسط مکان سنج های نصب شده در دو قسمت از صفحه صلب، به دست آمده است. هدایت هیدرولیکی درون صفحه هر نمونه ژئوتکستایل در هر تنش، تحت اثر گرایان های ۰/۵، ۱ و ۳ اندازه گیری شده است. شماتیک دستگاه ساخته شده جهت انجام این آزمایشات در شکل ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۱- شماتیک دستگاه اندازه گیری نفوذپذیری درون صفحه ژئوتکستایل

هدف از انجام این تحقیق بررسی خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی ژئوتکستایل های سوزنی نفاخته تحت اثر تنش محصور کننده تا مقدار ۱۰۰۰ kPa بوده است. این خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی شامل هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه، هدایت هیدرولیکی درون صفحه، تخلخل و ضخامت بوده اند. تکنیک های آزمایشگاهی که جهت بررسی این ویژگی ها مورد استفاده قرار گرفتند شامل آزمایشات اندازه گیری هدایت هیدرولیکی درون صفحه (transmissivity test) و آزمایشات اندازه گیری هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه

۲- دستگاه ها و مصالح مورد استفاده

۲-۱- دستگاه ها

جهت اندازه گیری هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه ژئوتکستایل از دستگاهی که شماتیک آن در شکل ۲ دیده می شود، استفاده شده است. ساخت این دستگاه بر اساس استاندارد ASTM D 5493 صورت گرفته است [۲]. دستگاه قادر به اعمال تنش حداکثر ۳۰۰ kPa روی نمونه ژئوتکستایل می باشد. آزمایشات اندازه گیری هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه

روی هر نمونه و در هر تنش، تحت اثر هد هیدرولیکی ثابت در محدوده ۱۰ cm تا ۶۰ cm انجام شده اند. تنش با استفاده از یک پیستون فولادی متصل به یک صفحه صلب، به نمونه ژئوتکستایل به قطر ۹۰ mm وارد می شده است. این نمونه بین دو توری فلزی با درصد مساحت منافذ ۳۶٪ محصور بوده است. مش ها به عنوان یک محیط نفوذپذیر به پخش تنش یکنواخت روی نمونه ژئوتکستایل کمک می کنند.

۳- نتایج آزمایشات

۳-۱- نتایج آزمایشات اندازه گیری هدایت

هیدرولیکی درون صفحه

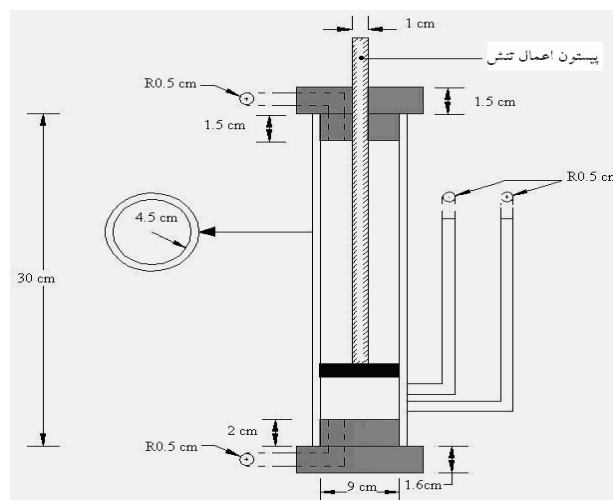
در طول انجام آزمایشات در هر تنش و گرادیان هیدرولیکی مشخص، حجم آب عبور کرده از ژئوتکستایل و زمان لازم جهت جمع آوری این حجم معین از آب ثبت شده است. این اندازه گیری در هر آزمایش حداقل ۳ بار تکرار شده است. مقدار هدایت هیدرولیکی درون صفحه پس از انجام آزمایشات با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شده است.

$$\theta = (QL)/(W\Delta h) \quad (1)$$

در این رابطه θ مقدار نفوذپذیری درون صفحه ژئوتکستایل (cm^2/s)، Q مقدار میانگین دبی سیال در واحد زمان (cm^3/s)، L طول نمونه (cm)، W عرض نمونه (cm) و Δh تفاوت در هد کلی از مقطع نمونه (cm) می باشند.

یکی از عواملی که قابلیت هدایت هیدرولیکی سیال توسط ژئوتکستایل را تحت تأثیر قرار می دهد، دمای سیال است [۱]. بر اساس استاندارد ASTM D 4716 هدایت هیدرولیکی به دست آمده توسط آزمایشات برای نمونه ژئوتکستایل، بایستی در دمای $20^\circ C$ تصحیح گردد.

بررسی نتایج آزمایشات نشان می دهد که افزایش دما به $26^\circ C$ ، باعث کاهش حداکثر ۱۳ درصد در مقدار θ برای نمونه 2.MS می شود. نحوه تغییرات خطی θ در گرادیان های مختلف با تنش محصور کننده برای نمونه



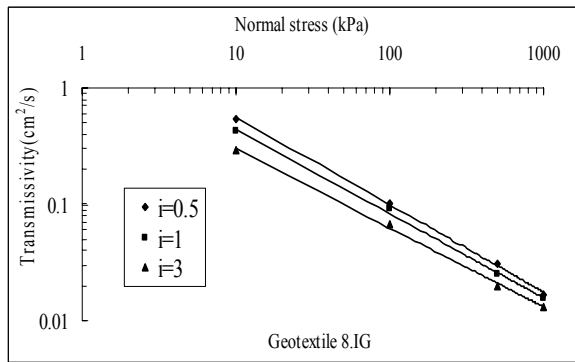
شکل ۲- شماتیک دستگاه اندازه گیری نفوذپذیری عمود بر صفحه ژئوتکستایل

۲-۲- مصالح مورد استفاده

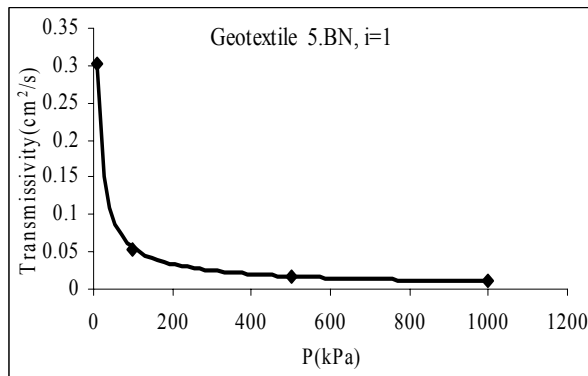
از آنجا که هدف از انجام این آزمایشات بررسی قابلیت نفوذپذیری درون صفحه و عمود بر صفحه ژئوتکستایل است و فقط برخی ژئوتکستایل های نفاخته به علت دارا بودن ضخامت کافی و ساختار منفذی مناسب، قابلیت انتقال جریان سیال درون صفحه خود را دارند [۳]، ۴، نوع ژئوتکستایل سوزنی نفاخته که از شرکت تولید کننده متفاوت تهیه شده اند، برای انجام آزمایشات مورد استفاده قرار گرفتند.

مشخصات اصلی این ژئوتکستایل ها در جدول ۱ نشان داده شده است. وزن واحد سطح این نمونه ها از

های مورد آزمایش در شکل های ۳ تا ۶، و چگونگی تغییرات نمایی θ با تنش محصور کننده در گرادیان ۱ برای نمونه 5.BN، در شکل ۷ نشان داده شده است.



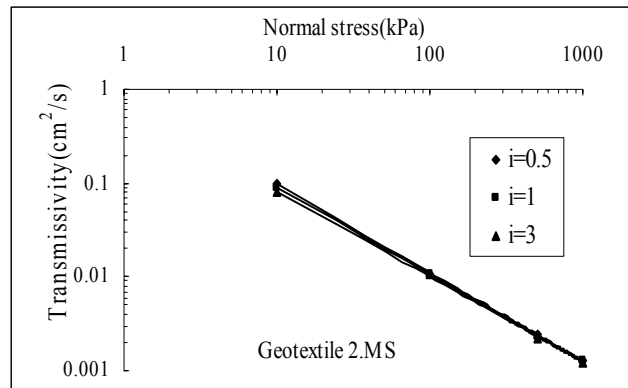
شکل ۶- تغییر θ در گرادیان های مختلف با تنش محصور کننده برای نمونه 8.IG



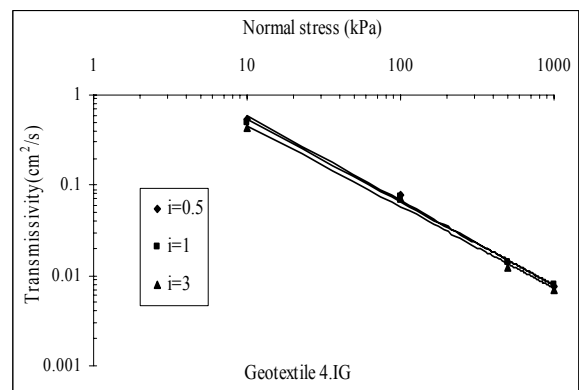
شکل ۷- تغییرات نمایی θ با تنش محصور کننده در گرادیان ۱ برای نمونه 5.BN

همانطور که در شکل های ۳ تا ۶ مشاهده می شود، در هر تنش ثابت، با افزایش گرادیان از مقدار هدایت هیدرولیکی درون صفحه ژئوتکستایل کاسته می شود. همچنین حساسیت θ نسبت به تغییر گرادیان، با افزایش ضخامت نمونه های ژئوتکستایل در حال افزایش است. با توجه به شکل ۷، با افزایش تنش محصور کننده قابلیت هدایت هیدرولیکی درون صفحه به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. کاهش قابلیت هدایت هیدرولیکی درون صفحه ژئوتکستایل با افزایش تنش، تأثیر قابل توجهی روی ظرفیت عبور جریان در ژئوتکستایل هایی که به عنوان زهکش مورد استفاده قرار می گیرند دارد. این تأثیر در طراحی سیستم های زهکشی در کاربردهای مهندسی اهمیت زیادی دارد.

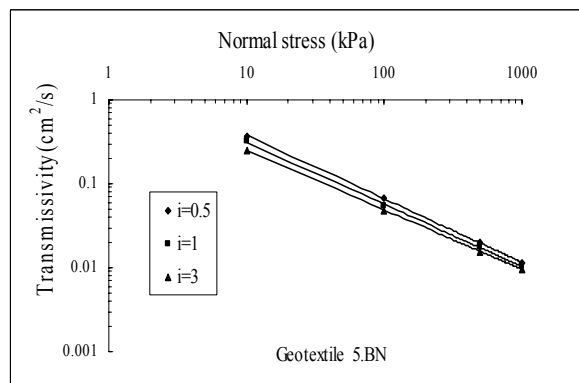
جهت بررسی اثر افزایش تعداد لایه ها در مقدار هدایت هیدرولیکی درون صفحه ژئوتکستایل، آزمایشات بر روی ۲ و ۳ لایه از هر نمونه ژئوتکستایل تکرار شده اند. تأثیر افزایش تعداد لایه های ژئوتکستایل در مقدار θ ، در



شکل ۳- تغییر θ در گرادیان های مختلف با تنش محصور کننده برای نمونه 2.MS

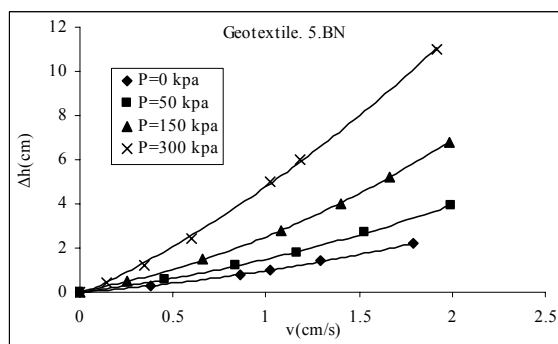


شکل ۴- تغییر θ در گرادیان های مختلف با تنش محصور کننده برای نمونه 4.IG

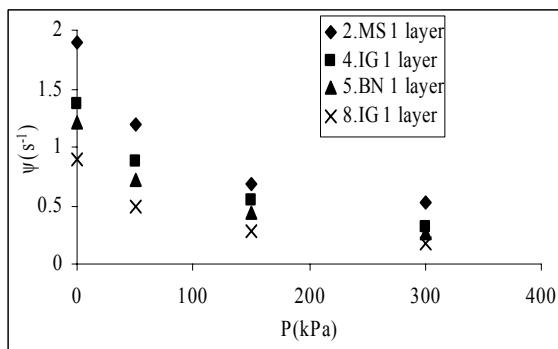


شکل ۵- تغییر θ در گرادیان های مختلف با تنش محصور کننده برای نمونه 5.BN

V سرعت سیال می باشند. به دلیل تأکید استاندارد ASTM D 5493 به استفاده از فرمول تصحیح دما در رابطه مربوط به محاسبه ψ ، بر اساس فرض ساده لایه ای بودن جریان، و وابستگی جریان لایه ای به ویسکوزیته و دانسیته و در نتیجه به دمای آب، مقادیر به دست آمده برای ψ در دماهای آزمایش، برای دمای 20°C تصحیح شده اند [6]. تغییرات سرعت جریان در برابر افت هد دو طرف نمونه، در تنش های مختلف، برای نمونه 5.BN و تغییر قابلیت هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه با تنش وارده برای نمونه های ژئوتکستایل مورد آزمایش، به ترتیب در شکل های ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.



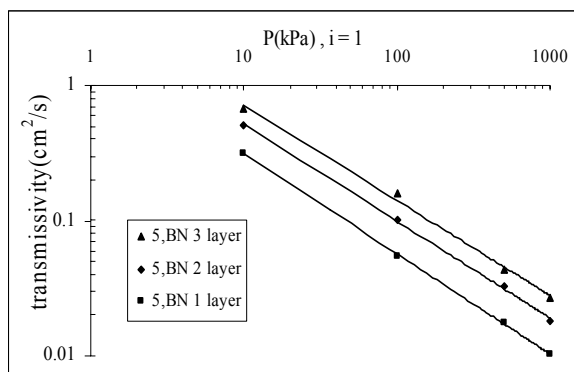
شکل ۹- تغییرات سرعت جریان با افت هد در تنش های مختلف برای نمونه 5.BN



شکل ۱۰- تغییر ψ با تنش محصور کننده برای نمونه های مورد آزمایش

تأثیر تغییر تعداد لایه های ژئوتکستایل در میزان ψ را می توان در شکل ۱۱ که برای ۲، ۱ و ۳ لایه از نمونه 5.BN رسم شده است، مشاهده نمود. با توجه به شکل های ۱۰ و ۱۱، و شکل هایی که برای سایر نمونه ها رسم شده اند، می توان نتیجه گرفت که با افزایش ضخامت نمونه ژئوتکستایل، قابلیت هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه کاهش می یابد.

گرادین هیدرولیکی ۱، برای نمونه 5.BN در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۸ مشاهده می شود از آنجا که افزایش تعداد لایه ها منجر به افزایش ضخامت موجود برای عبور سیال درون صفحه نمونه می گردد، میزان هدایت هیدرولیکی درون صفحه ژئوتکستایل افزایش می یابد. بررسی نتایج آزمایشات در این حالت نشان می دهد که مقدار θ برای ۲ و ۳ لایه ژئوتکستایل کمتر از ۲ و ۳ برابر مقدار θ در یک لایه از همان نمونه ژئوتکستایل است. نحوه این تغییرات در سایر نمونه های ژئوتکستایل نیز به همین صورت می باشد.



شکل ۸- تغییرات θ با تنش برای ۱، ۲ و ۳ لایه از نمونه 5.BN در گرادین هیدرولیکی ۱

۳-۲- نتایج آزمایشات اندازه گیری هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه

قابلیت هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه ژئوتکستایل را می توان به صورت ضریب هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه k_n ، نرخ دبی برای یک افت هد مشخص، سرعت جریان در یک گرادین هیدرولیکی معین و یا ψ (Permittivity) بیان کرد [5]. به منظور اندازه گیری میزان ψ ، سرعت جریان و نرخ دبی عبوری از نمونه ژئوتکستایل، با توجه به روابط ۲ و ۳ محاسبه شده است.

$$\psi = V / \Delta h \quad (2)$$

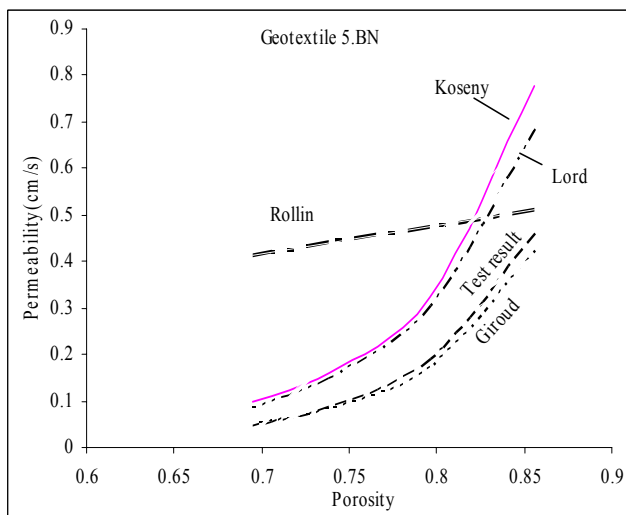
$$V = Q / A \quad (3)$$

در این روابط ψ مقدار نفوذپذیری درون صفحه ژئوتکستایل (s^{-1})، مقدار میانگین دبی سیال در واحد زمان (cm^3/s)، A سطح مقطع نمونه دایره ای شکل (cm^2)، Δh تفاوت هد در بالا و پایین مقطع نمونه (cm)، و V (cm/s)

بررسی شکل ۱۲ و شکل های رسم شده برای سایر نمونه ها، نشان می دهد که ضریب نفوذپذیری به دست آمده با استفاده از رابطه ۴ در جدول ۲، بهترین تطابق را با نتایج به دست آمده از انجام آزمایشات (در شرایط محصور) دارد. اما به طور کلی تفاوت قابل توجهی بین مقادیر به دست آمده از انجام آزمایشات با مقادیر پیش بینی شده توسط روابط تئوریک دیده می شود.

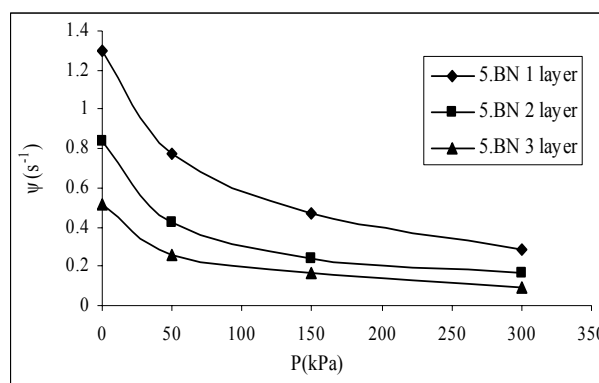
۴- بررسی اثر انیزوتروپی در میزان نفوذپذیری ژئوتکستایل

با استفاده از نتایج آزمایشات transmissivity و permittivity تحت اثر تنش محصور کننده، می توان تغییرات ضریب نفوذپذیری نمونه های ژئوتکستایل را در اثر انیزوتروپی ارزیابی نمود.



شکل ۱۲- مقایسه نتایج نفوذپذیری به دست آمده با استفاده از روابط تئوریک با مقادیر نفوذپذیری به دست آمده از انجام آزمایشات برای نمونه 5.BN

با توجه به شکل های ۱۳ تا ۱۶ مشاهده می شود که تأثیر انیزوتروپی برای همه نمونه ها در تنش های کمتر از ۵۰ kPa کاملاً قابل توجه است. اختلاف بین ضریب هدایت هیدرولیکی عمود بر صفحه و ضریب هدایت هیدرولیکی درون صفحه، در تنش ۱۰ kPa، برای نمونه هایی که ضخامت کمتری دارند، بیشتر از سایر نمونه هاست (کاهش



شکل ۱۱- تغییرات ψ با تنش برای ۱، ۲ و ۳ لایه از نمونه 5.BN در گرادین هیدرولیکی ۱

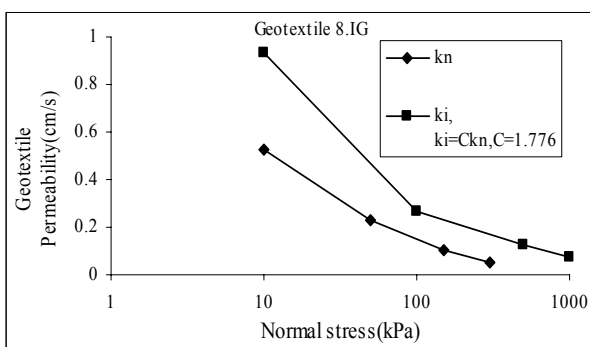
۳-۳- مقایسه نتایج تجربی با روابط تئوریک ارائه شده جهت پیش بینی مقدار نفوذپذیری عمود بر صفحه ژئوتکستایل در شرایط محصور

جهت پیش بینی مقدار نفوذپذیری ژئوتکستایل روابط تئوریک زیادی ارائه شده است. درستی بسیاری از این روابط در شرایط غیر محصور ثابت شده است. لذا با مقایسه نتایج به دست آمده از انجام آزمایشات با این روابط تئوری، می توان دقت و درستی آنها را در شرایط محصور نیز مورد بررسی قرار داد. برخی از این روابط در جدول ۲ ذکر شده اند. مشاهده روابط تئوریک موجود، نشان دهنده تأثیر بسیار زیاد مشخصات ساختاری ژئوتکستایل در مقدار نفوذپذیری آن می باشد.

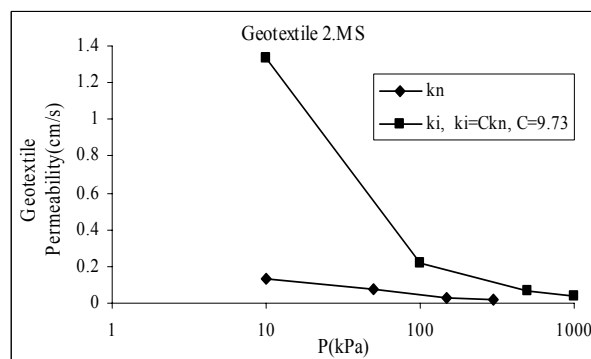
در جدول ۲، رابطه ۱ بر اساس تئوری Capillary tubings جهت محاسبه ضریب نفوذپذیری در محیط های دانه ای و متخلخل، توسط توسط Carman و Koseny پیشنهاد شده است که می توان از آن جهت محاسبه نفوذپذیری در ژئوتکستایل ها استفاده کرد [۷]. رابطه ۲ نیز توسط Lord در سال ۱۹۵۵ جهت محاسبه ضریب نفوذپذیری جریان هوا درون یک محیط ساخته شده از فیبر ارائه شده است، که برای ژئوتکستایل ها قابل استفاده است [۸]. پارامترهای مورد استفاده در روابط تئوریک جدول ۲، در جدول ۳ تعریف شده اند.

در شکل ۱۲ نتایج نفوذپذیری به دست آمده با استفاده از روابط تئوریک، با مقادیر نفوذپذیری به دست آمده از انجام آزمایشات، برای نمونه 5.BN مقایسه شده اند.

نسبت C در شکل های ۱۳ تا ۱۶ با افزایش ضخامت نمونه (ها).

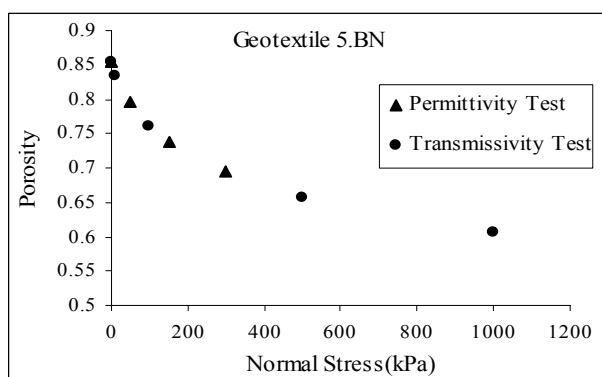


شکل ۱۶- رفتار انیزوتروپی ضریب نفوذپذیری نمونه 8.IG

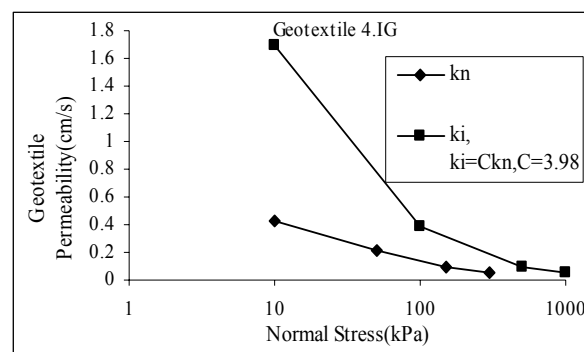


شکل ۱۳- رفتار انیزوتروپی ضریب نفوذپذیری نمونه 2.MS

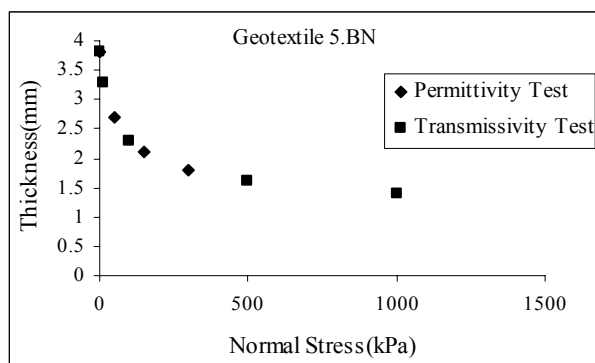
در شکل های ۱۷ و ۱۸ تغییر خصوصیات فیزیکی نمونه های ژئوتکستایل (تخلخل و ضخامت)، با تنش محصور کننده برای نمونه 5.BN نشان داده شده است. بررسی نتایج آزمایشات نشان می دهد که نتایج به دست آمده از آزمایشات اندازه گیری نفوذپذیری درون صفحه و آزمایشات اندازه گیری نفوذپذیری عمود بر صفحه، از تطابق قابل قبولی برخوردارند.



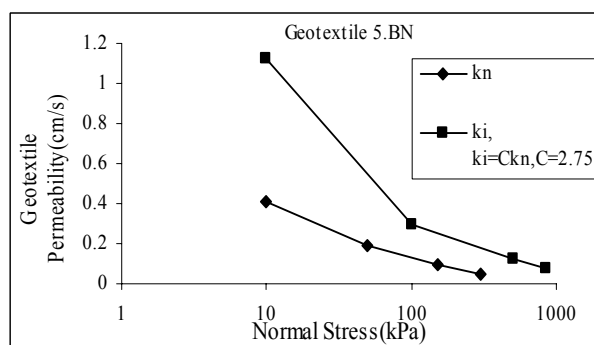
شکل ۱۷- تغییر تخلخل نمونه 5.BN در اثر تنش نرمال



شکل ۱۴- رفتار انیزوتروپی ضریب نفوذپذیری نمونه 4.IG



شکل ۱۸- تغییر ضخامت نمونه 5.BN در اثر تنش نرمال



شکل ۱۵- رفتار انیزوتروپی ضریب نفوذپذیری نمونه 5.BN

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، برخی خصوصیات هیدرولیکی ژئوتکستایل های نباطه مورد بررسی قرار گرفته است. رفتار هیدرولیکی این ژئوتکستایل ها نشان دهنده تأثیرات قابل توجهی است که شرایط ویژه هر سایت، مثل تنش محصور کننده و گرادیان هیدرولیکی، می تواند روی ژئوتکستایل داشته باشد. نتایج آزمایشات نشان می دهد که با افزایش تنش، مقدار هدایت هیدرولیکی درون صفحه ژئوتکستایل (θ) به صورت نمایی کاهش می یابد و شدت کاهش θ در اثر افزایش تنش، برای تنش های کمتر از ۱۰۰ kPa قابل توجه است. در جریان عمود بر صفحه، تغییرات سرعت جریان در هر تنش ثابت، با تغییرات افت هد از نمونه رابطه مستقیم دارد. با توجه به نتایج به دست

آمده مقدار ضریب نفوذپذیری ژئوتکستایل یکتا نیست و با تغییر شرایطی چون تنش وارد بر ژئوتکستایل و افت هد در دو طرف نمونه تغییر می کند. مهمترین پارامترهای تعیین کننده هدایت هیدرولیکی ژئوتکستایل اندازه منافذ، توزیع اندازه منافذ و تخلخل ژئوتکستایل هستند. این گونه مشخصات ساختاری، کاملاً وابسته به تکنولوژی شرکت تولید کننده ژئوتکستایل می باشند.

نتایج روابط تئوری ارائه شده جهت برآورد ضریب نفوذپذیری ژئوتکستایل در اکثر موارد با نتایج به دست آمده از آزمایشات تفاوت قابل ملاحظه ای دارد، لذا مطمئن ترین راه جهت تعیین میزان نفوذپذیری ژئوتکستایل و چگونگی تغییر آن تحت شرایط متفاوت سایت، انجام آزمایشات آزمایشگاهی است.

جدول ۱- مشخصات نمونه های ژئوتکستایل مورد استفاده در آزمایشات

Geotextile	Weight(g/m ²) μ_s	Polymer Type	Thickness (mm) T_g	AOS ¹ (mm)	Diameter of fibres (mm) d_f	Porosity n
8.IG ²	800	Polypropylene	6.6	0.07	0.0483	0.867
5.BN ²	500	Polypropylene	3.8	0.15	0.043	0.854
4.IG	400	Polypropylene	3.5	0.09	0.043	0.874
2.MS ⁴	200	Polyester	0.8	0.25	0.0268	0.819

جدول ۲- برخی روابط تئوریک ارائه شده جهت برآورد میزان نفوذپذیری ژئوتکستایل

شماره رابطه	رابطه	منبع	ملاحظات
۱	$k = g d_f^2 n^3 / 80 v (1-n)^2$	Carman-Koseny(1938)	-
۲	$k = \rho_w g n^5 d_f^2 / 17.72 \eta_w (1-n)^{1.32}$	Lord(1955)	$n > 0.75$
۳	$k = d_f (d_f + d_{avg}) g \rho_w g / \eta_w A$	Rollin et al.(1982)	$A = C_D * Re, A = 8-10$ for nonwovens
۴	$k = \beta \rho_w g n^3 d_f^2 / 16 \eta_w (1-n)^2$	Giroud(1996)	$\beta = 0.11$ for nonwovens

¹ Apparent Opening Size

² Iran Geotextile Company

³ Behsaz Nasj Company

⁴ Mana Sanat Company

جدول ۳- تعریف روابط ذکر شده جدول ۲

η_w	ویسکوزیته دینامیکی آب	k	ضریب نفوذپذیری عمود بر صفحه ژئوتکستایل
β	فاکتور شکل	d_f	قطر فیبرهای ژئوتکستایل
ν	ویسکوزیته سینماتیکی آب	d_{avg}	متوسط فاصله بین فیبرهای ژئوتکستایل
g	شتاب جاذبه	n	تخلخل (porosity) ژئوتکستایل
ρ_w	دانسیته سیال (آب)	A	ثابت ساختاری که برابر است با حاصلضرب ضریب کشش سیال و عدد رینولدز

۶-مراجع

- Gourc, J.P., Faure, Y., Rollin, A., Lafleur, J. "Structural permeability law of geotextiles. Second International Conference on Geotextiles", Las Vegas, USA, Vol. 1, pp. 149-154, 1982. [۷]
- Palmeira, E.M., and Gardoni, M.G. "The influence of partial clogging and pressure on the behaviour of geotextiles in drainage systems", Geosynthetics International 7, pp. 403-431, 2000. [۸]
- Carman, "the determination of specific surface of powders", Journal of the society of chemical industry, 1938. [۹]
- Lord, P. "Air flow through plugs of textile fibers". Journal of the Textile Institute 463, pp. 165-172, 1955. [۱۰]
- Mitchell, J.K. "Fundamentals of Soil Behaviour", John Wiley and Sons, New York, New York, USA, 422 p, 1976. [۱۱]
- Rollin, A., Masounave, J., Lafleur, J. "Pressure drop through non woven geotextiles: a new analytical model". Second International Conference on Geotextiles, Las Vegas, USA, Vol. 1, pp. 161-166, 1982. [۱۲]
- Giroud, J.P. "Granular filters and geotextile filters". In: J. Lafleur and A. Rollin, Editors, GeoFilters'96, Montreal, Canada, pp. 565-680, 1996. [۱۳]
- ASTM D 4716, "Standard Test Method for Constant Head Hydraulic Transmissivity (In-Plane Flow) of Geotextiles and Geotextile Related Products", 1987. [۱۴]
- ASTM D 4751, "Standard Test Method for Permittivity of Geotextiles Under Load", 1993. [۱۵]
- Koerner, R.M., Bove, J. A., and Martin, J. P. "Water and Air Transmissivity of Geotextiles", International Journal of Geotextiles and Geomembranes, Vol. 1, NO. 1, Elsevier, Essex, England, pp. 57-74, 1984. [۱۶]
- Palmeira, E.M., and Gardoni, M.G. "Drainage and filtration properties of non-woven geotextiles under confinement using different experimental techniques", International Journal of Geotextiles and Geomembranes, Volume 20, Issue 2, Pages 97-115, 2002. [۱۷]
- van der Sluys, L. and Dierickx, W. "The Applicability of Darcy's Law in Determining the Water Permeability of Geotextiles", National Institute of Agricultural Engineering, 9220 Merelbeke, Belgium, Geotextiles and Geomembranes 5, 283-299, 1987. [۱۸]
- Hufenus, R. and Schrade, U. "An optimized method to measure the hydraulic conductivity of geosynthetics under load", Geotextiles and Geomembranes, Volume 24, Issue 4, Pages 243-253, 2006. [۱۹]