



سومین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت و تاسیسات آبی شبکه‌های آبیاری و زهکشی

3rd Iranian Conference on Construction experiences of Hydraulic structures and Irrigation and Drainage networks (ICCHID)

۲۹ تا ۳۰ مهرماه ۱۳۸۸ - دانشگاه تهران، دانشکده مهندسی آب و خاک، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی
21 - 22 October 2009 - University of Tehran , Irrigation and Reclamation Engineering Department

مطالعه آزمایشگاهی رسوب‌گذاری شیمیایی کربنات کلسیم بر روی فیلترهای ژئوتکستایل

- مهدی قبادی نیا - دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران (mahdi.ghobadi@gmail.com)
- حسن رحیمی - استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران
- تیمور سهرابی - استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران
- عبدعلی ناصری - دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه شهید چمران اهواز
- حسن توفیقی - دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه تهران
- حسن اجاقلو - دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

چکیده:

گرفتگی شیمیایی نیز مانند گرفتگی فیزیکی می‌تواند کارایی زهکش‌ها را کاهش دهد و یا موجب از کار افتادن آن‌ها شود. کربنات کلسیم ماده‌ای با حلالیت کم است که در صورت فراهم بودن شرایط سریع رسوب کرده و لایه‌ای سخت را تشکیل می‌دهد و موجب مسدود شدن زهکش می‌شود. با توجه به مطالعات انجام شده روی زهکش‌های نخیلات آبادان کربنات کلسیم ترکیب شیمیایی غالب رسوب یافته در بافت پوشش‌های زهکشی بود. برای بررسی رسوب‌گذاری کربنات کلسیم، مطالعه‌ای آزمایشگاهی در ارتباط با رسوب‌گذاری شیمیایی این ماده روی فیلترهای ژئوتکستایل در ستون‌های آزمایشگاهی انجام شد. در بررسی‌های به عمل آمده دو نوع فیلتر ژئوتکستایل تحت دو رژیم جریان مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که در صورت فراهم بودن شرایط، رسوب کربنات کلسیم موجب کاهش آب‌گذری سیستم می‌گردد. بررسی فیلترهای ژئوتکستایل نشان داد که در محل روزه‌های خروجی، یعنی ناحیه‌ای که شرایط هوازی - غیرهوازی وجود دارد، بیشتر از سایر نقاط رسوبات تجمع می‌یابند. تجمع رسوبات روی فیلترهای ژئوتکستایل به صورت لایه‌ای اطراف الیاف را می‌گیرد و ضخامت این لایه طی زمان افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: گرفتگی، زهکشی، کربنات کلسیم، ژئوتکستایل، شاخص رسوب‌گذاری.

مقدمه:

گرفتگی یا انسداد پوشش‌های زهکشی اعم از فیزیکی و شیمیایی به عنوان یک مشکل پیچیده، مورد مطالعات زیادی قرار گرفته است، ولی تمام ابعاد این مشکل کماکان شناخته شده نیستند. بر اثر رسوب ذرات خاک، مواد آلی و یا شیمیایی، آبگذری فیلتر به علت بسته شدن روزنه‌ها یا خلل و فرج کاهش یافته و در نهایت موجب انسداد آن می‌گردد. گرفتگی شیمیایی می‌تواند در اثر رسوب نمک‌هایی مانند کربنات کلسیم، سولفات کلسیم، کربنات منیزیم، کربنات منیزیم-کلسیم و فلزاتی مانند آهن رخ دهد [۱۸]. گل آخرا به عنوان مشکل غالب رسوب‌گذاری در مناطق معتدل گزارش شده است [۱۲، ۱۱، ۴، ۸، ۱۵، ۱۶، ۷]. گل آخری ماده‌ای ژله‌ای به رنگ زرد یا قرمز است که در حالت مرطوب لجنی بوده و وقتی خشک می‌شود، به صورت متورق در می‌آید. گل آخرا مشکل غالب رسوب‌گذاری در مناطق معتدل مرطوب است که برای چند دهه به طور گسترده‌ای مورد پژوهش قرار گرفته است در حالی که رسوب ترکیبات با قابلیت انحلال کم از جمله کربنات کلسیم و سولفات کلسیم به صورت گچ درون لوله‌های زهکشی و پوشش‌ها به طور سیستماتیک و به عنوان مشکل، مورد تحقیق قرار نگرفته است [۱۰].

کربنات کلسیم (CaCO_3)، نمکی با حلالیت بسیار اندک (0.0131 گرم در لیتر) است که در خاک سریع رسوب کرده و لایه سختی را به وجود می‌آورد [۹]. رسوب کربنات کلسیم در خاک‌ها تحت تأثیر عواملی نظیر تغییرات سرعت حرکت آب در خاک، تولید دی‌اکسید کربن (CO_2) توسط ریشه گیاه و میکروپها، تغییرات فشار جزئی دی‌اکسید کربن (CO_2) در آتمسفر و غلظت کاتیون کلسیم (Ca^{2+}) در محلول خاک صورت می‌پذیرد [۵]. کربنات کلسیم نمکی معکوس است به این معنی که قابلیت انحلال این ماده با افزایش دما کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش pH حلالیت آن کاهش می‌یابد [۱۳ و ۱۴]. در یک محیط آبی روابط تعادلی برای واکنش کربنات کلسیم به صورت زیر می‌باشد [۱۴]:



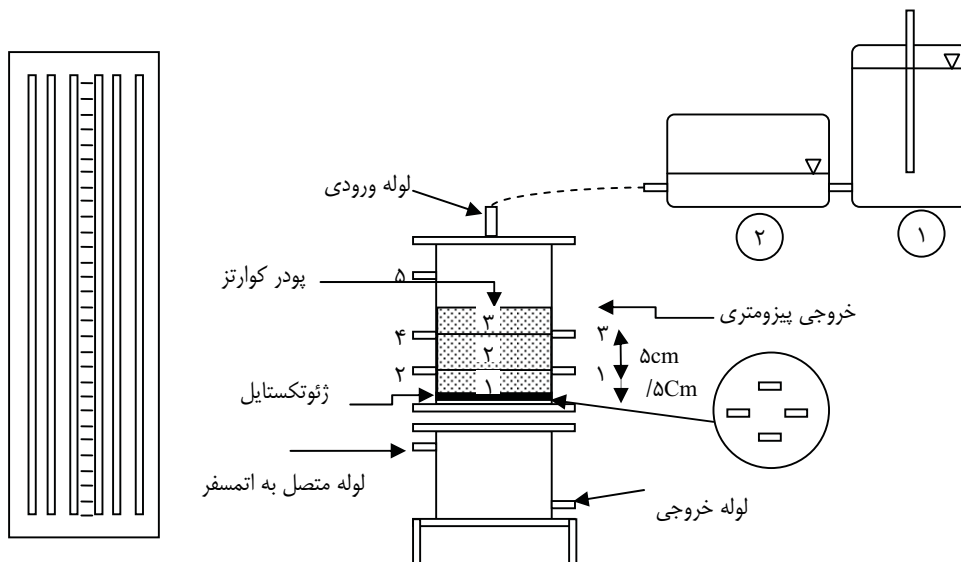
با استفاده از روابط ۴ و ۵ رابطه تعادلی تشکیل کربنات کلسیم در یک محیط آبی را نیز می‌توان به صورت زیر ارایه نمود:



که در آن‌ها: اندیس‌های g، aq و s به ترتیب بیانگر محیط گازی (هوا)، محیط آبی و جامد بودن ترکیب است. اگر در آبی مقدار بی‌کربنات بیش از ۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، کلسیم بیش از ۲ تا ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و $\text{pH} > 7.5$ باشد، رسوب‌گذاری کربنات کلسیم رخ می‌دهد [۱]. این رسوب‌ها به سادگی از خاک خارج نمی‌شوند. وجود کربنات کلسیم در تعدادی از زهکش‌ها در نقاط مختلف دنیا گزارش شده است. در بلژیک، کربنات کلسیم موجب سیمانی شدن سنگریزه‌های اطراف لوله زهکشی در یک سیستم زهکشی جاده شده و آن را به صورت توده‌ای فشرده و غیر قابل نفوذ در آورده است [۱۸ و ۱۰]. در فرانسه نیز تشکیل رسوبات آهکی در درون و اطراف زهکش‌ها، در خاک‌هایی که آب‌بیرزمینی در آن‌ها حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای کلسیم محلول می‌باشد، گزارش شده است [۶]. مطابق بررسی‌های انجام شده روی زهکش‌های مختلف کشاورزی در استان خوزستان، پتانسیل رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در تمام این زهکش‌ها وجود دارد و می‌تواند در صورت عدم توجه، مشکلی جدی برای زهکش‌ها به وجود آورد [۳]. نمونه‌های برداشت شده صحرایی نیز نشان داد که کربنات کلسیم اصلی‌ترین رسوب موجود در پوشش‌های مصنوعی زهکش نخیلات شهرستان آبادان می‌باشد [۲]. تحقیق حاضر با توجه به بررسی‌های انجام شده پیشین به مطالعه آزمایشگاهی چگونگی رسوب کربنات کلسیم روی فیلترهای ژئوتکستایل می‌پردازد.

مواد و روش‌ها:

به منظور بررسی رسوب‌گذاری شیمیایی کربنات کلسیم، یک مدل آزمایشگاهی، شامل ۶ استوانه نفوذ از جنس پلکسی‌گلاس به عنوان بخش اصلی برای شبیه‌سازی حرکت جریان به طرف فیلتر ساخته شد. هدف اصلی این آزمایش بررسی رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در طی یک آزمایش بلند مدت بود. طرح شماتیک این مدل در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): شماتیک مجموعه آزمایشگاهی

همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود این مجموعه متشکل از سه بخش شامل مخزن (متشکل از دو ظرف برای تثبیت تراز سطح آب)، استوانه‌های نفوذ و تابلوی پیزومتری می‌باشد. کلیه آزمایشها تحت بار ثابت هیدرولیکی انجام گرفت. آب ورودی به مخزن به صورت متوالی ساخته و کنترل گردید، زیرا امکان استفاده مجدد از آب عبور کرده از استوانه نفوذ و یا آب جاری نبود. استوانه‌های نفوذ از دو قسمت تشکیل شده می‌شوند. بخش بالایی به عنوان بخش اصلی و قسمت پایینی برای جمع‌آوری زه‌آب می‌باشد. در استوانه بالایی به ترتیب از پایین به بالا ابتدا صفحه مشبک و سپس فیلتر ژئوتکستایل و پودر کوارتز قرار داده شد. در کلیه آزمایش‌ها برای جریان از بالا به پایین بود. صفحه مشبک با چهار سوراخ در اندازه‌های $3/5 \times 13$ میلی‌متر به منظور شبیه‌سازی جریان به طرف زهکش با توجه به توصیه ولتمن و همکاران (۱۹۹۳) انتخاب گردید. این طرح بهترین انتخاب برای شبیه‌سازی جریان به طرف زهکش در استوانه‌های نفوذ می‌باشد و با توجه به اندازه استاندارد سوراخها روی لوله زهکش، این صفحه مانعی در برابر جریان ایجاد نمی‌نماید. برای هر استوانه از ۱۷۰۰ گرم پودر کوارتز به عنوان یک ماده خنثی و به منظور شبیه‌سازی خاک و حذف اثرات گرفتگی فیزیکی استفاده گردید. برای تهیه پودر کوارتز، ماسه خرد شده، از الک شماره ۱۰۰ عبور داده شد. برای بررسی تغییرات افت بار از صفحه پیزومتری استفاده شد. در آزمایش‌های انجام شده از دو نوع ژئوتکستایل نیافته استفاده شد که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) آمده است. ژئوتکستایل‌های مورد استفاده ساخت شرکت داتکس فرانسه می‌باشند. برای تعیین مشخصات فنی آن‌ها از استانداردهای ASTM استفاده و این مشخصات در آزمایشگاه تخصصی دانشگاه ایالتی ساوپولوی (São Paulo State University) برزیل تعیین گردید.

جدول (۱): مشخصات ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در تحقیق

ژئوتکستایل	پلیمر	نوع بافت	ضخامت (mm) ^{a)}	اندازه ظاهری روزنه ^{b)} (mm)	وزن در واحد سطح ^{c)} (g/m ²)	نفوذپذیری (S ⁻¹) ^{d)}
A	پلی پروپیلن	نبافته سوزنی	۲/۲	۰/۱۵۳	۱۷۸	۲/۹۲
B	پلی پروپیلن	نبافته سوزنی	۱/۲۷	۰/۱۲۱	۱۳۱	۱/۸۷

a: بر اساس استاندارد ASTM D 5199

b: بر اساس استاندارد ASTM D 4751

c: بر اساس استاندارد ASTM D 5261

d: بر اساس استاندارد ASTM D 4491

آزمایش‌ها در دو تیمار جریان پیوسته و جریان منقطع صورت گرفت. زمان انجام آزمایش‌ها ۱۱۰۰ ساعت بود و مجموعاً با توجه به تعداد ستونهای آزمایشگاهی ۲۲۰۰ ساعت آزمایش انجام شد. در تیمار منقطع به ازای هر ۲۴۰ ساعت جریان پیوسته، ۱۲۰ ساعت جریان قطع می‌گردید و کلیه آزمایشها در سه تکرار انجام شد، بدین معنی که در هر مرتبه آزمایش، ۶ ستون آزمایش که شامل دو تیمار پیوسته و منقطع بود روی یک نوع ژئوتکستایل مورد آزمایش قرار گرفت.

برای تهیه محیط شیمیایی، مشخصات به دست آمده از زه‌آب زهکش‌های کشاورزی استان خوزستان مورد استفاده قرار گرفت (قبادی نیا و همکاران ۱۳۷۸). با توجه به این اطلاعات معیارهایی که برای ساخت محیط شیمیایی در نظر گرفته شد عبارت بودند از: شوری بیش از ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر، پتانسیل رسوب‌گذاری بالا، pH بیش از ۷/۵ و دمای محیط بیش از ۱۸ درجه سانتیگراد. ترکیب این محیط که به صورت روزانه تهیه می‌گردید عبارت بود از نمک‌های NaCl، Na₂SO₄، CaCl₂ و NaHCO₃. pH محیط روزانه چندین مرتبه کنترل می‌گردید تا همواره بیش از ۷/۵ باقی بماند و اگر مقدار آن به کمتر از ۷/۵ می‌رسید با استفاده از سود (NaOH) بمیزان مورد اشاره رسانده میشد.

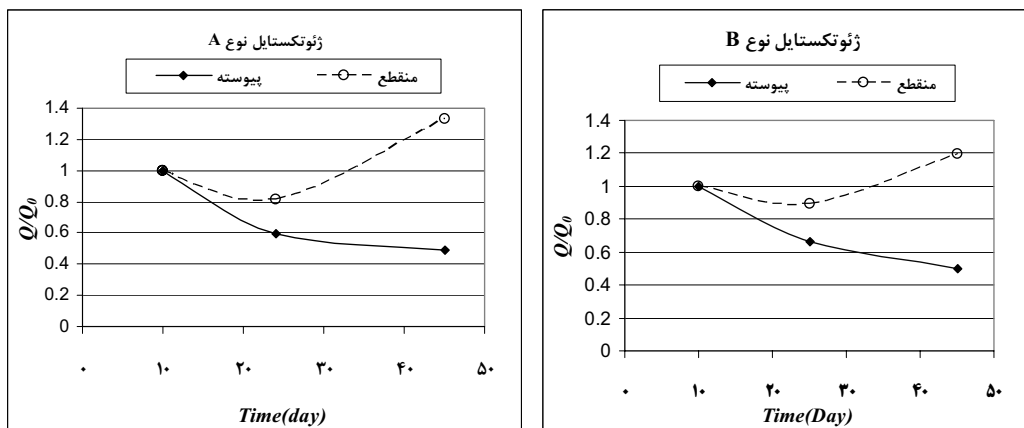
در طول آزمایش با عکسبرداری از صفحه پیزومتری، بار آبی روی نمونه‌ها برداشت شده و با استفاده از آن گرادینان نسبی از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$GR = \left(\frac{(p_1 + p_2)}{2} \right) / \left(\frac{(p_3 + p_4)}{2} - \frac{(p_1 + p_2)}{2} \right) \quad (1)$$

اندیسهای ۱ تا ۴ مربوط به شماره پیزومترها می‌باشد (شکل ۱). طی هر آزمایش دبی خروجی از استوانه‌ها، مقدار کلسیم و بی‌کربنات موجود در آب ورودی و آب خروجی در فواصل مشخص اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش، فیلترها از ستون مربوطه خارج شده و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (Cam Scan MV2300 Oxford) تصاویری از نقاط مختلف آن تهیه گردید.

بحث و نتایج:

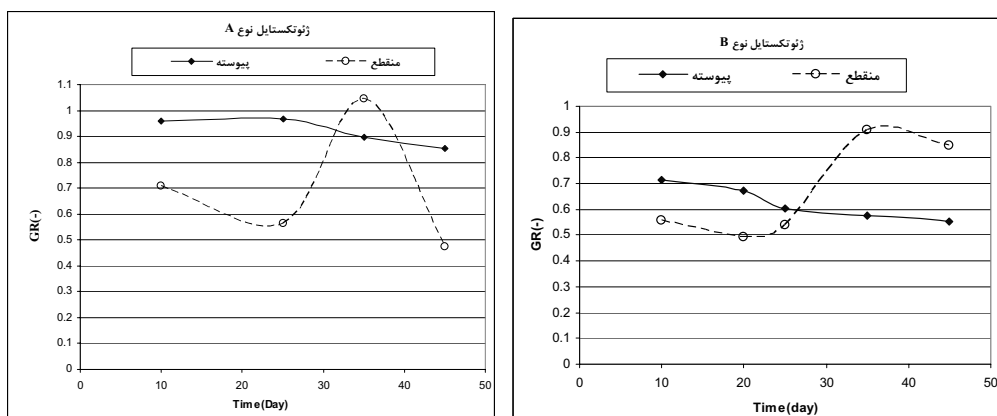
تغییرات مقدار دبی جریان در طول آزمایش برای دبی‌های پیوسته و منقطع در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌گونه که از شکل مذکور مشاهده می‌شود برای دبی پیوسته جریان در طی زمان کاهش می‌یابد. در جریان منقطع تغییرات دبی از روند خاصی پیروی نمی‌کند زیرا خشک و تر شدن خاک موجب تغییر در محیط متخلخل شده و در نتیجه باعث تغییر در هدایت هیدرولیکی و دبی خروجی جریان می‌گردد.



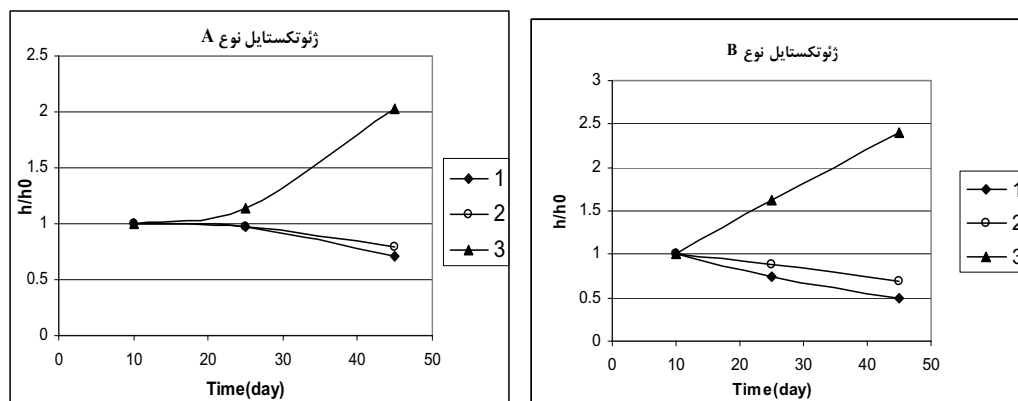
شکل (۲): تغییرات دبی جریان خروجی از مدل در طول آزمایش برای ژئوتکستایل‌های نوع A و B

از آنجا که بار آبی در طول زمان ثابت نگه داشته می‌شد، بنابراین کاهش جریان در طی زمان بیانگر کاهش نفوذپذیری در سیستم است. کاهش نفوذپذیری در اثر جابه‌جایی ذرات درون خاک یا در اثر رسوب‌گذاری سیستم می‌باشد. برای بررسی تغییرات نفوذپذیری، طول ستون به سه ناحیه تقسیم شد (شکل ۱) که ناحیه اول ناحیه حد فاصل فیلتر- خاک است. برای بررسی روند گرفتگی در این ناحیه گرادیان نسبی در طی آزمایش محاسبه و تغییرات آن رسم گردید (شکل ۳). همانگونه که از شکل مذکور مشاهده می‌شود در جریان پیوسته مقدار گرادیان نسبی در طول آزمایش کاهش می‌یابد. این امر بیانگر آن است که رسوب‌گذاری شیمیایی و فیزیکی در این ناحیه و در طول زمان آزمایش به گونه‌ای نیست که موجب گرفتگی شود. در بررسی نحوه گرفتگی در طول ستون خاک افت بار آبی برای نواحی مختلف رسم گردید (شکل ۴).

نتایج حاصله نشان می‌دهد که در ناحیه ۳ افت بار آبی در طول آزمایش افزایش می‌یابد به گونه‌ای که دو ناحیه ۱ و ۲ را تحت تأثیر قرار داده و موجب کاهش افت بار آبی در این دو ناحیه می‌شود. ناحیه ۳ بعد از مخزن قرار دارد بنابراین حرکت ذرات خاک از بالادست به طرف این ناحیه وجود ندارد و کاهش نفوذپذیری منحصراً در اثر قرار گرفتن رسوبات شیمیایی در این ناحیه حادث شده است. رسوب شیمیایی تشکیل یافته در مخزن در این ناحیه قرار گرفته و موجب کاهش نفوذپذیری این ناحیه می‌شود. همانگونه که پیش از این بیان شد، در جریان ناپیوسته بدلیل خشک و تر شدن متوالی خاک و تغییر در مشخصات فیزیکی آن، امکان روندیابی گرفتگی وجود نداشت. در نتیجه نمودار گرادیان نسبی در طی زمان از روند خاصی پیروی نکرد.



شکل (۳): تغییرات گرادیان نسبی جریان برای ژئوتکستایل‌های نوع A و B

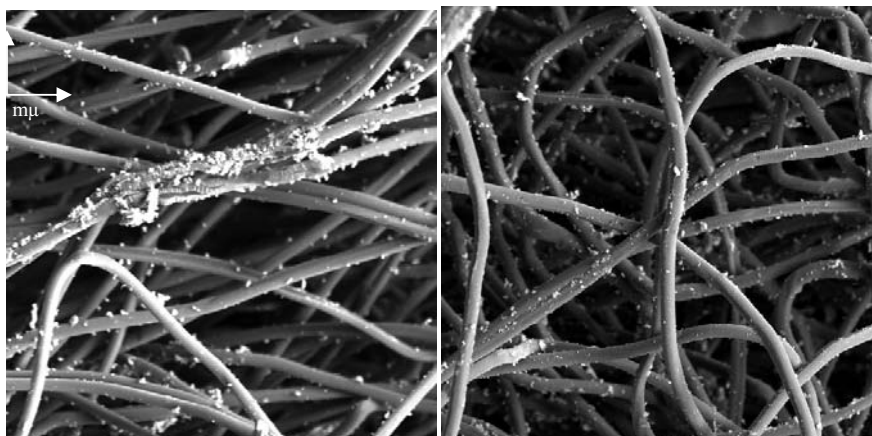


شکل (۴): تغییرات افت بار در لایه‌های مختلف برای ژئوتکستایل A و B

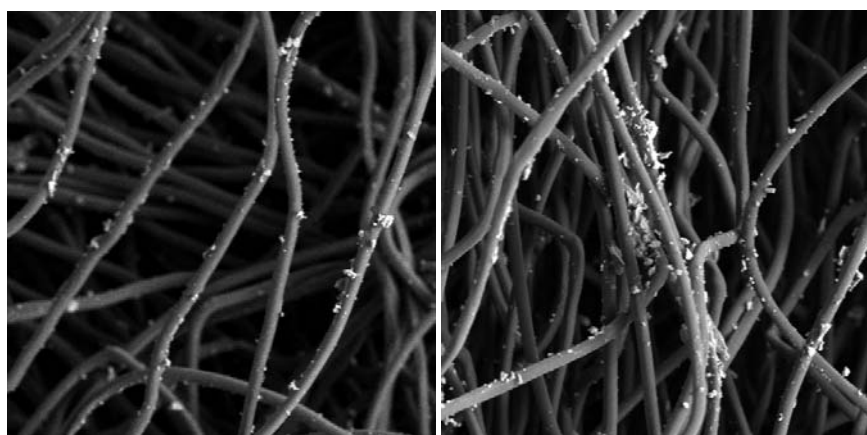
پس از اتمام آزمایش‌ها، در تمام فیلترهای خارج شده از استوانه تغییر رنگ در محل شکاف‌ها مشاهده گردید که ناشی از تجمع ذرات در این نقاط بود. برای بررسی بیشتر فیلترها، از میکروسکوپ چشمی و الکترونی استفاده گردید. نتایج بررسی‌ها موید این نکته بود که رسوب بیشتری در محل شکافها وجود دارد. این ناحیه برای هر دو نوع جریان پیوسته و منقطع یکسان بود و تجمع رسوبات در نواحی خروجی بیشتر بود. شکل‌های ۵ و ۶ رسوبات تشکیل شده روی الیاف ژئوتکستایل را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در بعضی نمونه‌ها رسوب کربنات به شکل بلورهای چند وجهی اطراف الیاف را احاطه کرده است (شکل ۷). نتایج تجزیه با میکروسکوپ الکترونی نیز موید این مطلب بود که کربنات کلسیم در تمام قسمتهای پوشش وجود دارد و درصد قابل توجهی از رسوب قرار گرفته روی الیاف را تشکیل می‌دهد (جدول ۲).

جدول (۲): درصد عناصر مختلف در رسوب تشکیل یافته روی پوشش مصنوعی طبق آنالیز میکروسکوپ الکترونی

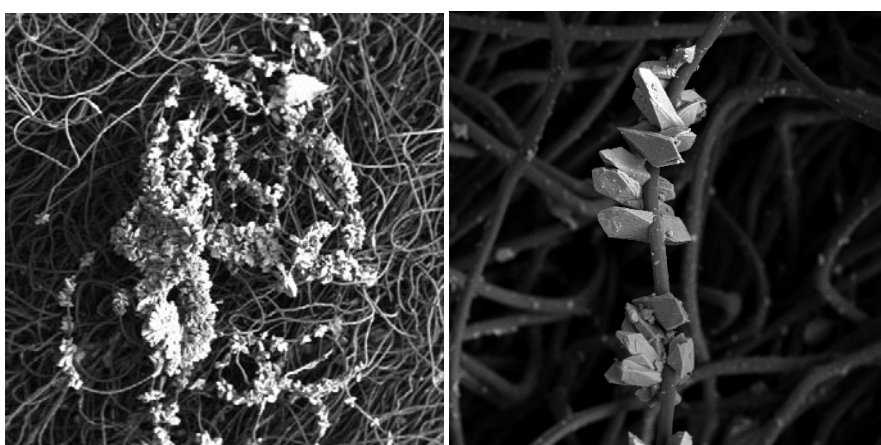
شماره نمونه عنصر	۱	۲	۳
کلسیم	۲۱/۴۱	۴۶/۱۴	۴۵/۱۳
سیلیس	۳/۸۱	۴/۰۳	-
اکسیژن	۷۴/۷۸	۴۹/۸۳	۵۳/۶۵
سایر عناصر	ناچیز	ناچیز	۱/۲۲



شکل (۵) : رسوب‌های تجمع یافته در محل شکافها



شکل (۶) : رسوب‌های تجمع یافته در بین شکافها



شکل (۷) : رسوب کلسیم شکل گرفته روی فیلتر در محل شکاف

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری:

در این تحقیق رسوب‌گذاری شیمیایی کربنات کلسیم روی دو نوع ژئوتکستایل تحت دو تیمار مختلف جریان مورد بررسی قرار گرفت و در مجموع نتایج زیر حاصل شد:

- طی عبور جریان از ژئوتکستایل رسوب‌گذاری کربنات کلسیم روی آن رسوب نموده و موجب کاهش دبی جریان گردید.
- رسوب‌گذاری طی زمان موجب کاهش نفوذپذیری سیستم خاک-فیلتر گردید.
- محل تجمع رسوبات در فرآیند رسوب‌گذاری شیمیایی روی فیلتر ژئوتکستایل در ناحیه تماس فیلتر با هوا می‌باشد.
- با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، در طراحی‌ها و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی لازم است پتانسیل وقوع پدیده رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در فیلترهای زهکشی مدنظر قرار گیرد.

تقدیر و تشکر:

انجام تحقیق حاضر با حمایت‌های مالی معاونت‌های پژوهشی دانشگاه تهران و پردیس کشاورزی و منابع طبیعی و نیز حمایت مالی ارزنده معاونت پژوهشی وزارت نیرو صورت گرفته است که بدینوسیله از همه آنان صمیمانه تقدیر و تشکر می‌گردد.

مراجع:

۱. علیزاده، الف. (۱۳۷۶): "آبیاری قطره‌ای". انتشارات آستان قدس رضوی. ۴۵۰ صفحه.
۲. قبادی نیا، م. ، ح. رحیمی، ت. سهرابی، ع. ناصری، ح. توفیقی، و ح. اجاقلو (۱۳۸۷): "بررسی مکانیزم رسوب‌گذاری در پوشش‌های ژئوتکستایل (مطالعه موردی نخیلات آبادان)". دومین کنفرانس مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
۳. قبادی نیا، م. ، ح. رحیمی، و ت. سهرابی (۱۳۸۸): "بررسی پتانسیل رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در زهکشی‌های کشاورزی". مقاله آماده چاپ در مجله آبیاری و زهکشی.
4. Abeliovich, A. (1985), "Avoiding ochre deposits in soil drainage pipes". Agriculture Water Management, 10: 327-334.
5. Bresler, E. , B. L. McNeal, and D. L. Carter (1982), "Saline and sodic soil (principles-dynamics-modeling)", Springer-Verlag, Berlin, Germany.
6. CEMAGREF (1983), "Le colmatage des drains agricoles: Etat des connaissances en France en 1983 [Clogging of Agricultural Drains: Current Knowledge in France in 1983]. Information Techniques 51-5, CEMAGREF, Groupement d'Antony, France.
7. De Mendonca M. and M. Ehrlich (2006), "Column test studies of ochre biofilm formation in geotextile filters. J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 132 (10) : 1284-1292.
8. Dewi A. P. , W. I. Kelso and D. B. Johnson (1987), "A study of field drains ochre deposits". J. Agri. Sci. Camb. , 108: 341-345.
9. FAO (1973), "Irrigation, drainage and salinity". Pub 113.510pp.
10. FAO (2005), "Material for subsurface land drainage system". Pub 60.202pp.
11. Ford, H. W. (1979), "Characteristics of slime and ochre in drainage and irrigation systems, Transactions of the ASAE, 1093-1096.
12. Ivarson, K. C. and M. Sojak (1978), "Microorganisms and ochre deposits in field drains of Ontario", Can. J. Soil Sci. , 58 (1) : 1-17.
13. Lindsay W. L. (1979), "Chemical equilibria in soils". Wiley Interscience, New York, 448pp.
14. Sheikholeslami. , R. (2005), "Scaling potential index (SPI) for CaCO₃ based on Gibbs free energy". AIChE Journal.51 (6): 782-1789.