

مطالعه آزمایشگاهی رسوب گذاری شیمیایی کربنات کلسیم روی فیلترهای ژئوتکستایل

مهدی قبادی نیا^{۱*}، حسن رحیمی^۲، تیمور سهرابی^۳، حسن توفیقی^۴ و عبدعلی ناصری^۵

چکیده

گرفتگی شیمیایی نیز مانند گرفتگی فیزیکی می تواند کارایی زهکش ها را کاهش دهد یا موجب از کار افتادن آن ها شود. کربنات کلسیم ماده ای با حلالیت کم است که در صورت فراهم بودن شرایط، سریع رسوب می کند و لایه ای سخت را تشکیل می دهد و موجب مسدود شدن زهکش می شود. با توجه به مطالعات انجام شده روی زهکش های نخیلات آبادان، کربنات کلسیم ترکیب شیمیایی غالب رسوب یافته در بافت پوشش های زهکشی بود. برای بررسی رسوب گذاری کربنات کلسیم، مطالعه ای آزمایشگاهی در ارتباط با رسوب گذاری شیمیایی این ماده روی فیلترهای ژئوتکستایل در ستون های آزمایشگاهی انجام شد. در بررسی های به عمل آمده سه نوع فیلتر ژئوتکستایل مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج این تحقیق، نشان داد که در صورت فراهم بودن شرایط، رسوب کربنات کلسیم موجب کاهش آبگذری سیستم می شود. بررسی فیلترهای ژئوتکستایل نشان داد که در محل روزنه های خروجی، یعنی ناحیه ای که شرایط هوازی- غیرهوازی وجود دارد، بیشتر از سایر نقاط رسوبات جمع می شوند. تجمع رسوبات روی فیلترهای ژئوتکستایل به صورت لایه ای اطراف الیاف را می گیرد و ضخامت این لایه طی زمان افزایش می یابد. رسوب گذاری شیمیایی طی آزمایش، هدایت هیدرولیکی سیستم را به طور متوسط ۳۰ درصد کاهش داد. نتایج زمان گرفتگی نشان می دهد که با توجه به شرایط آزمایشگاهی، برای دو نوع ژئوتکستایل بافته، در مدت ۴ و ۶ سال دچار گرفتگی کامل خواهند شد.

واژه های کلیدی: گرفتگی، زهکشی، کربنات کلسیم و ژئوتکستایل

ارجاع: قبادی نیا م. رحیمی ح. سهرابی ت. توفیقی ح. و ناصری ع. ع. ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی رسوب گذاری شیمیایی کربنات کلسیم روی فیلترهای ژئوتکستایل. مجله پژوهش آب ایران. ۳(۵):۵۳-۶۲.

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

۲- استاد گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- استاد گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴- دانشیار گروه خاکشناسی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۵- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

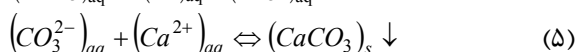
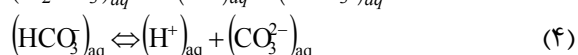
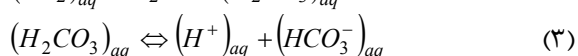
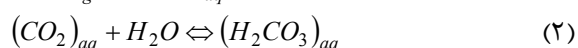
* نویسنده مسئول: mahdi.ghobadi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۵/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۴

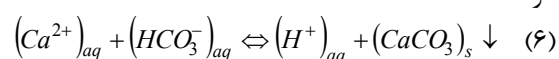
مقدمه

بازاریابی مواد ژئوسنتتیک که به طور عمده با کاربرد ژئوتکستایل‌ها همراه بوده است، از اواخر دهه ۱۹۶۰ آغاز شد. استفاده از آن‌ها در مهندسی عمران در دهه‌های بعد فزونی یافت، به گونه‌ای که در حدود ۴۰ سال بعد، تنها در آمریکای شمالی سالانه حدود ۷۰۰ میلیون مترمربع از مواد ژئوسنتتیک نصب شده است (پلاسکوئلک ۲۰۰۴). در سال ۱۹۷۰ انواع ژئوتکستایل‌های قابل دسترس ۵ یا ۶ مورد بیشتر نبوده است. اما امروزه بیش از ۲۵۰ ماده مختلف تحت این نام در آمریکا تولید می‌شود (هولتز، ۲۰۰۴). فیلترهای ژئوتکستایل بیش از ۵۰ سال است مورد استفاده قرار می‌گیرند و در حال حاضر به صورت گسترده‌ای در بسیاری از نقاط دنیا به کار می‌روند. یکی از مهم‌ترین مشکلات فیلترهای ژئوتکستایل، گرفتگی آن‌ها است. گرفتگی یا انسداد فیلترها و پوشش‌های زهکشی اعم از فیزیکی و شیمیایی به عنوان مشکلی پیچیده، بسیار مطالعه 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 می‌شود. گرفتگی شیمیایی می‌تواند در اثر رسوب نمک‌هایی مانند کربنات کلسیم، سولفات کلسیم، کربنات منیزیم، کربنات منیزیم-کلسیم و فلزاتی مانند آهن رخ دهد (ولاتمن و همکاران ۲۰۰۱). گل آخری به عنوان مشکل غالب رسوب‌گذاری در مناطق معتدل گزارش شده است (ایوارسون و سوچاک ۱۹۷۹، فورد ۱۹۷۹، آلبیویچ ۱۹۸۵، دوی و همکاران ۱۹۸۷، استویت و اوستن ۱۹۸۷، ووقان و اورد ۱۹۹۴، مدونکا و همکاران ۲۰۰۶). 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 آخری 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 (استویت و همکاران ۲۰۰۵). میزان حلال بودن حلالیت کربنات کلسیم

بسیار کمتر از سولفات کلسیم است. حلالیت کربنات کلسیم (CaCO_3)، بسیار اندک ($0/0131$ گرم در لیتر) است که در خاک سریع رسوب کرده و لایه سختی را به وجود می‌آورد (فائو ۱۹۷۳). رسوب کربنات کلسیم در خاک‌ها تحت تأثیر عواملی نظیر تغییرات سرعت حرکت آب در خاک، تولید دی‌اکسیدکربن (CO_2) توسط ریشه گیاه و میکروب‌ها، تغییرات فشار جزیی دی‌اکسیدکربن (CO_2) در آتمسفر و غلظت کاتیون کلسیم (Ca^{2+}) در محلول خاک صورت می‌پذیرد (برسler و همکاران ۱۹۸۲). 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 (لیندزی ۱۹۷۶ و شیخ‌الاسلامی ۲۰۰۵). در یک محیط آبی روابط تعادلی برای واکنش کربنات کلسیم به صورت زیر است (شیخ‌الاسلامی ۲۰۰۵):



با استفاده از معادلات ۴ و ۵ رابطه تعادلی تشکیل کربنات کلسیم در یک محیط آبی را نیز می‌توان به صورت زیر ارائه کرد:



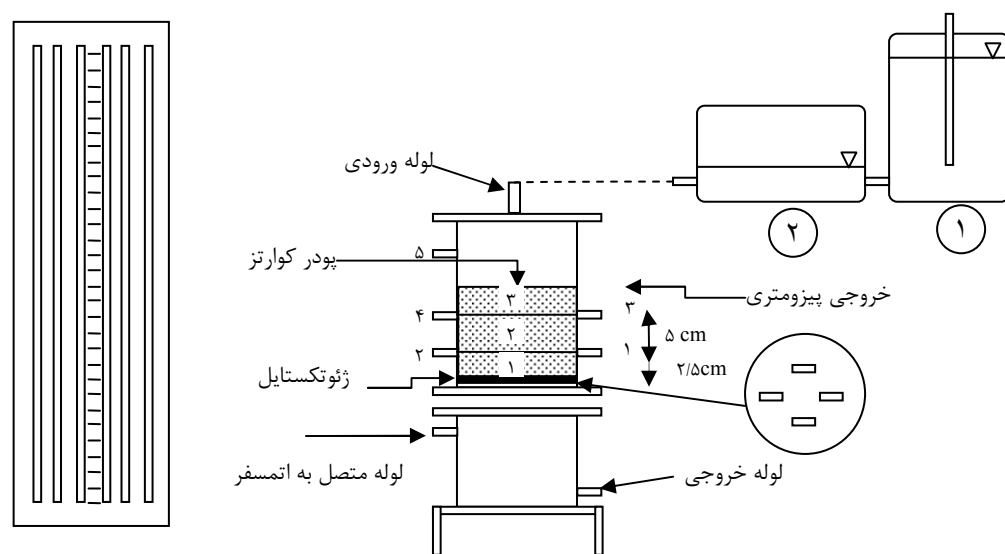
در روابط فوق اندیس‌های g، aq و s به ترتیب بیانگر محیط گازی (هوا)، محیط آبی و بخش جامد ترکیب است. اگر در آبی، مقدار بی‌کربنات بیش از ۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر، کلسیم بیش از ۲ تا ۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و $\text{pH} > 7/5$ باشد، کربنات کلسیم رسوب‌گذاری می‌کند (روگرز و همکاران ۲۰۰۳) و این رسوب‌ها به سادگی 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 جاده‌ای شده و آن را به صورت توده‌ای فشرده و غیرقابل نفوذ در آورده است (ولاتمن و همکاران ۲۰۰۱، استویت و همکاران ۲۰۰۵). در فرانسه نیز تشکیل رسوبات آهکی در درون و اطراف زهکش‌ها، در

کربنات کلسیم، میزان کاهش آبگذری و محل تجمع رسوبات روی فیلترهای ژئوتکستایل انجام شد.

مواد و روشها

برای بررسی رسوب‌گذاری شیمیایی کربنات کلسیم روی فیلترهای ژئوتکستایل، در طی یک آزمایش بلند مدت و در شرایط آزمایشگاهی، مدلی فیزیکی شامل ۶ استوانه نفوذ از جنس پلکسی‌گلاس به عنوان بخش اصلی برای شبیه‌سازی حرکت جریان به طرف فیلتر، ساخته شد (شکل ۱). همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، مجموعه آزمایشگاهی متشکل از سه بخش شامل مخزن (متشکل از دو ظرف برای تثبیت تراز سطح آب)، استوانه‌های نفوذ و تابلوی پیزومتری است. مبنای ساخت استوانه‌های آزمایشگاهی، استاندارد ASTM D5101 بوده است.

خاک‌هایی که آب زیرزمینی در آن‌ها حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای کلسیم محلول است، گزارش شده است (سماگروف، ۱۹۸۳). 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 (قبادی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۸). نمونه‌های برداشت شده صحرائی نیز نشان داد که کربنات کلسیم اصلی‌ترین رسوب موجود در پوشش‌های مصنوعی زهکش نخیلات شهرستان آبادان است (قبادی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به بررسی‌های انجام شده کربنات کلسیم رسوبی است که می‌تواند در صورت عدم توجه به آن موجب کاهش ظرفیت زهکش‌ها شود که این کاهش ظرفیت معادل گرفتگی فیزیکی خواهد بود. بنابراین با توجه به این نتایج، مطالعه‌ای آزمایشگاهی برای بررسی چگونگی رسوب‌گذاری



شکل ۱ - شماتیک مجموعه آزمایشگاهی

مشبک با مش ۴ است. اما به دلیل اینکه در این تحقیق شبیه‌سازی جریان به طرف زهکش مورد توجه بوده است و صفحه مشبک از این لحاظ مناسب نبود، بنابراین از یک صفحه مشبک با چهار سوراخ در اندازه‌های $13 \times 3/5$ میلیمتر، به‌منظور شبیه‌سازی جریان به طرف زهکش، با توجه به توصیه ولتمن و همکاران (۱۹۹۳) استفاده شد. محققین مذکور با آزمایش روی صفحات سوراخ‌دار که شکل و تعداد آن‌ها متفاوت بود، نتیجه گرفتند که صفحه‌ای با چهار شیار در داخل آن بهترین حالت برای شبیه‌سازی

شکل کلی مدل، مشابه استوانه آزمایش استاندارد ASTM D5101 است که با توجه به امکانات ساخت، استوانه‌ها از دو قسمت ساخته شده است و با استفاده از صفحات فلنج این دو قسمت به یکدیگر متصل شده‌اند. بخش بالایی به عنوان بخش اصلی و قسمت پایینی برای جمع‌آوری زه‌آب است. در کلیه آزمایش‌ها جهت جریان از بالا به پایین بود.

در استوانه بالایی به ترتیب از پایین به بالا، ابتدا صفحه زهکش، فیلتر ژئوتکستایل و پودر کوارتز قرار داده شدند. در آزمایش استاندارد ASTM، صفحه زهکش یک صفحه

شسته و تمیز سیلیسی آسیاب شد و پودر رد شده از الک شماره ۱۰۰ برای آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. برای هر استوانه از ۱۷۰۰ گرم پودر کوارتز استفاده شد.

در آزمایش‌های انجام شده از دو نوع ژئوتکستایل نبافته و یک نوع بافته استفاده شد. مشخصات آن‌ها در جدول ۲ آمده است. برای تعیین مشخصات فنی ژئوتکستایلها از استانداردهای ASTM استفاده و این مشخصات در آزمایشگاه تخصصی دانشگاه ایالتی سائوپولوی^۱ برزیل تعیین شد.

زمان انجام هر سری آزمایش ۱۱۰۰ ساعت بود و مجموعاً با توجه به تعداد ستون‌های آزمایشگاهی ۳۳۰۰ ساعت آزمایش و در سه تکرار انجام شد. در طول آزمایش ارتفاع آب درون پیژومترها قرائت شده و هدایت هیدولیکی و افت بار در سیستم محاسبه می‌شد. همچنین طی هر آزمایش دبی خروجی از استوانه‌ها هر ده روز یکبار و pH، مقدار کلسیم بی‌کربنات موجود در آب ورودی و خروجی به صورت روزانه 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 شد. همچنین آنالیز EDX روی نمونه‌های ژئوتکستایل و رسوبات همراه آن‌ها صورت پذیرفت.

رسوبات کربنات کلسیم طی زمان در خلل و فرج پوشش‌های ژئوتکستایل رسوب کرده و موجب مسدود شدن آن می‌شود. بر خلاف گرفتگی فیزیکی که ذرات از بالادست به طرف پایین دست حرکت می‌کند و وارد مجراهای پوشش می‌شوند، رسوب کربنات کلسیم می‌تواند درون مجرا تشکیل و به الیاف چسبیده و مجرا را مسدود کند. بنابراین زمانی که خلل و فرج ژئوتکستایل از رسوبات پر شوند، پدیده گرفتگی در ژئوتکستایل اتفاق می‌افتد. به این ترتیب زمان گرفتگی زمانی است که تمام و یا درصدی از تخلخل پر شده باشد که به آن گرفتگی اطلاق شود. به عبارت دیگر زمان گرفتگی زمانی است که حجم رسوب درون پوشش برابر با حجم تخلخل گردد.

جریان به طرف زهکش است. با توجه به اندازه استاندارد سوراخها روی لوله زهکش، این صفحه مانعی در برابر جریان ایجاد کند.

برای تهیه آب ورودی به مخزن، مشخصاتی شامل، پتانسیل رسوب‌گذاری بالای کربنات کلسیم، مقدار کلسیم و بی‌کربنات بالا و کاهش اثرات میکروارگانیزمها روی واکنش‌های شیمیایی در نظر گرفته شد. با توجه به مشخصات مذکور برای تهیه محیط شیمیایی، مشخصات به دست آمده از زه‌آب زهکش‌های کشاورزی استان خوزستان مورد استفاده قرار گرفت (قبادی‌نیا و همکاران ۱۳۷۸). همچنین برای کاهش اثرات میکروارگانیزمها از آب مقطر استفاده شد. لذا آب ورودی به مخزن به صورت متوالی باید تهیه شده و امکان استفاده مجدد از آب عبور کرده از استوانه نفوذ و یا آب شهری وجود نداشت. برای ساخت آب مورد نیاز آزمایش‌ها، از نمک‌های NaCl، Na₂SO₄، CaCl₂ و NaHCO₃ استفاده شد. مقدار نمک‌های مورد استفاده در آزمایش به ازای هر لیتر آب در جدول ۱ آمده است. pH محیط روزانه چندین مرتبه کنترل می‌شد تا همواره بیش از ۷/۵ باقی بماند. اگر مقدار آن به کمتر از ۷/۵ می‌رسید، با استفاده از سود (NaOH)، pH مجدداً تعدیل می‌گردید.

جدول ۱- مقادیر نمک مورد نیاز برای ساخت هر لیتر آب				
نوع نمک	NaCl	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	NaHCO ₃
مقدار (گرم در لیتر)	۸/۵	۱/۴۲	۱/۱	۰/۸۱

برای خنثی‌سازی اثر ذرات خاک بر مکانیزم رسوب‌گذاری املاح در استوانه‌ها از پودر کوارتز استفاده شد. استفاده از کوارتز موجب کاهش اثرات گرفتگی فیزیکی می‌شود، در حالی که استفاده از خاک به دلیل بالا بودن سدیم و SAR آب ورودی، موجب پراکندگی شدید ذرات می‌شد که در نتیجه نفوذپذیری لایه خاک درون ستون را شدیداً کاهش داده و موجب تشدید گرفتگی فیزیکی می‌شد، این امر خود روند رسوب‌گذاری شیمیایی را مختل می‌ساخت. بررسی منابع نیز نشان داد که در مطالعات گرفتگی شیمیایی و بیوشیمیایی عموماً از دانه‌های شیشه‌ای یا پودر کوارتز استفاده شده است (کوک و همکاران ۱۹۹۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵). برای تهیه پودر کوارتز موردنظر، دانه‌های ماسه‌ای

^۱. São Paulo State University

جدول ۲- مشخصات ژئوتکستایلهای مورد استفاده در تحقیق

ژئوتکستایل	نوع پلیمر	نوع بافت	نام تجاری	ضخامت ^a (mm)	اندازه ظاهری روزنه ^b (mm)	وزن در واحد سطح ^c (g/m ²)	نفوذپذیری ^d (S ⁻¹)
A	پلی پروپیلن	نیافته	داتکس	۲/۲	۰/۱۵۳	۱۷۸	۲/۹۲
B	پلی پروپیلن	نیافته	داتکس	۱/۲۷	۰/۱۲۱	۱۳۱	۱/۸۷
C	پلی پروپیلن	بافته	پراپکس	۰/۴	۰/۸۰۰	۱۴۱	۰/۹

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

همان طور که قبلاً اشاره شد، زمان گرفتگی زمانی است که حجم رسوب کربنات کلسیم درون پوشش با حجم تخلخل برابر شود، بنابراین

$$T_{clog} = 1510 \times \left(1 - \frac{M_g}{\rho_f t_g}\right) \times t_g \times \frac{(D + t_g)}{((C_{Ca1} - C_{Ca2}) \times q)} \quad (12)$$

معادله فوق برای پیش بینی زمان گرفتگی پوشش های ژئوتکستایل در اثر رسوب کربنات کلسیم در زهکش های کشاورزی است. با توجه به اینکه در عمل گرفتگی زودتر از زمانی اتفاق می افتد که کل تخلخل از رسوب پر شود و همچنین ممکن است در تمام طول سال جریان در زهکش ها برقرار نباشد، بنابراین دو ضریب به رابطه فوق افزوده می شود:

$$T_{clog} = 1510 \times \frac{m_1}{m_2} \times \left(1 - \frac{M_g}{\rho_f t_g}\right) \times t_g \times \frac{(D + t_g)}{((C_{Ca1} - C_{Ca2}) \times q)} \quad (13)$$

که در معادله فوق m_1 درصدی از حجم تخلخل است که در صورت پر شدن، گرفتگی اتفاق می افتد و m_2 کسری از سال است که طی آن جریان در زهکش ها برقرار است.

نتایج و بحث

تغییرات مقدار دبی جریان در طول آزمایش برای جریان پیوسته در شکل ۲ نشان داده شده است. مقدار K_0 هدایت هیدرولیکی در ابتدای آزمایش و K هدایت هیدرولیکی در زمان T است. همان گونه که در شکل مذکور مشاهده می شود، هدایت آبی و به تبع آن دبی طی زمان کاهش می یابد. شیب منحنی کاهش دبی برای نیمه اول زمان آزمایش، بیش از نیمه دوم آن است. دلیل این امر اثر متقابل تغییر در تراکم خاک و رسوب گذاری شیمیایی است که منجر به تشدید کاهش دبی جریان می شود. در نیمه دوم زمان آزمایش کاهش دبی جریان، منحصر به رسوب گذاری شیمیایی می شود.

با توجه به مطالب فوق، با تعیین میزان تخلخل ژئوتکستایل و حجم رسوبات کربنات کلسیم تشکیل شده طی زمان، رابطه ای برای تعیین زمان گرفتگی ارائه شد. درصد تخلخل یک ژئوتکستایل نیافته از معادله زیر محاسبه می شود (گیروود: ۱۹۹۶):

$$n = 1 - \frac{M_g}{\rho_f t_g} \quad (7)$$

که در آن t_g ضخامت (m)، M_g وزن در واحد سطح (kg/m²) و ρ_f چگالی الیاف ژئوتکستایل (kg/m³) است. حجم خلل و فرج ژئوتکستایل از معادله زیر محاسبه می شود:

$$V_p = n V_t \quad (8)$$

در معادله فوق V_p حجم خلل و فرج، n درصد تخلخل و V_t حجم ژئوتکستایل است. بنابراین حجم تخلخل در طول واحد لوله زهکش از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_p = \left(1 - \frac{M_g}{\rho_f t_g}\right) \times t_g \times \pi (D + t_g) \quad (9)$$

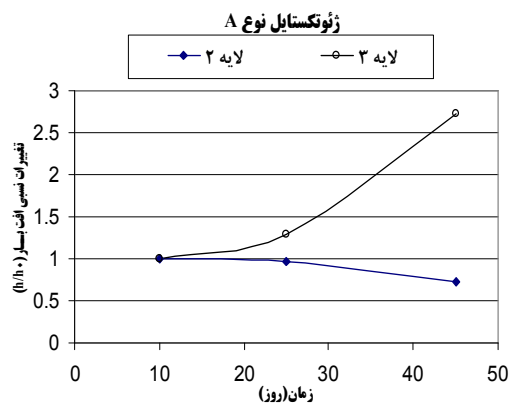
در معادله فوق D قطر لوله زهکش (m) است. حجم رسوب از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$V_{Ca} = \frac{M_{Ca}}{\rho_{Ca}} \quad (10)$$

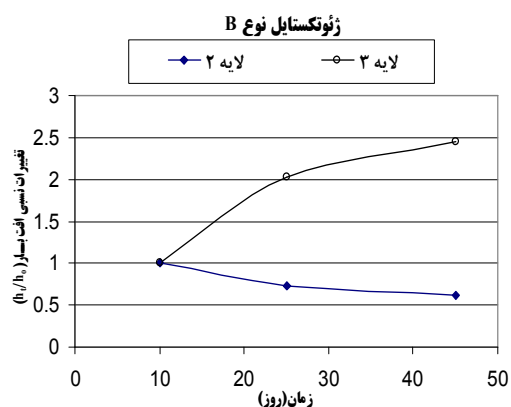
چگالی رسوب کربنات کلسیم بسته به نوع کانی تشکیل شده بین ۲/۷۱ تا ۲/۸۳ گرم بر سانتیمتر مکعب است. وزن رسوب قرار گرفته در فضای تخلخل ژئوتکستایل را می توان از تغییرات میزان غلظت کلسیم پیش و پس از عبور از ژئوتکستایل محاسبه کرد. بنابراین حجم رسوب در زمان مشخص از معادله زیر به دست می آید:

$$V_{Ca} = 6.6 \times 10^{-3} \times (C_{Ca1} - C_{Ca2}) \times q \times T \quad (11)$$

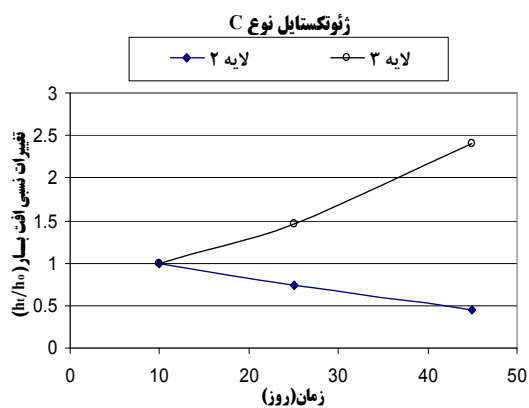
که در رابطه فوق V_{Ca} حجم رسوب (m^3) تا زمان مشخص T (سال)، q دبی زهکش در واحد طول زهکش ($m^3 / m / day$) و C_{Ca1} و C_{Ca2} به ترتیب مقادیر غلظت کلسیم قبل و بعد از عبور از ژئوتکستایل بر حسب میلی اکی والان بر لیتر است.



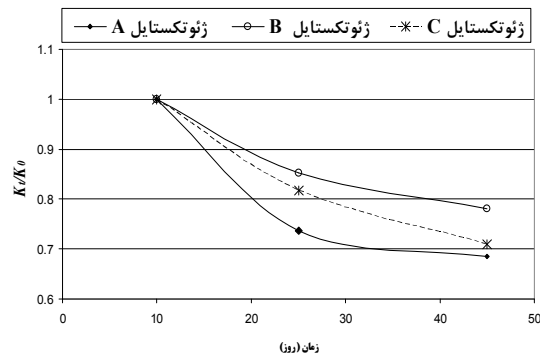
شکل ۳- تغییرات افت بار برای لایه‌های سیستم استوانه در ژئوتکستایل نوع A



شکل ۴- تغییرات افت بار برای لایه‌های سیستم استوانه در ژئوتکستایل نوع B



شکل ۵- تغییرات افت بار برای لایه‌های سیستم استوانه در ژئوتکستایل نوع C



شکل ۲- تغییرات هدایت هیدرولیکی سیستم در طول آزمایش برای جریان پیوسته

با وجود بار آبی کل ثابت، کاهش دبی، نشانگر کاهش نفوذپذیری سیستم است. کاهش نفوذپذیری در اثر جابجایی ذرات درون خاک و یا رسوب‌گذاری در سیستم فیلتر- خاک اتفاق می‌افتد. برای بررسی تغییرات نفوذپذیری، طول ستون به سه ناحیه تقسیم شد (شکل ۱). ناحیه اول حد فاصل فیلتر- خاک است. در بررسی کاهش دبی جریان در طول ستون خاک، افت بار آبی برای نواحی مختلف رسم شد (شکل‌های ۳ تا ۵). در این شکل‌ها h_0 افت بار در زمان شروع آزمایش و h افت بار در زمان T از شروع آزمایش است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در ناحیه ۳ افت بار آبی در طول آزمایش افزایش بیشتری نسبت به سایر نواحی دارد. ناحیه ۳ بعد از مخزن قرار دارد، بنابراین حرکت ذرات خاک از بالادست به طرف این ناحیه وجود ندارد و کاهش نفوذپذیری به طور منحصر در اثر قرار گرفتن رسوبات شیمیایی در این ناحیه حادث شده است. علاوه بر رسوب تشکیل یافته درون ناحیه ۳، رسوب شیمیایی تشکیل یافته در مخزن نیز در این ناحیه قرار گرفته موجب کاهش نفوذپذیری و به تبع آن تشدید افت بار در این ناحیه می‌شود.

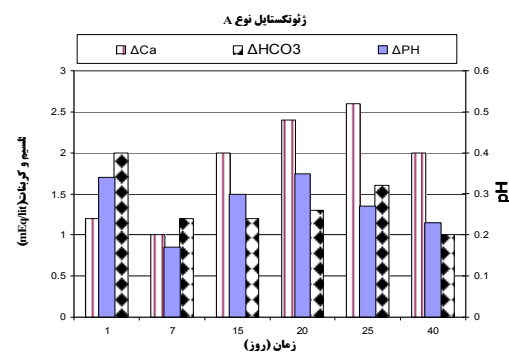
محلول است. کاهش بی‌کربنات موجب کاهش قلیائیت و افزایش یون H^+ موجب افزایش درجه اسیدی محیط می‌شود که نتیجه آن کاهش pH محیط است. بنابراین در نمودارهای به دست آمده کاهش مقدار بی‌کربنات، کلسیم و pH می‌تواند نشان‌دهنده رسوب‌گذاری کربنات کلسیم درون سیستم است. اما میزان رسوب‌گذاری در روزهای مختلف متفاوت بوده و از روند یکسانی پیروی نمی‌کند که این امر ناشی از عواملی مانند تغییرات دمایی، تغییرات فشار جزئی دی‌اکسیدکربن است.

پس از اتمام آزمایش‌ها، در تمام فیلترهای خارج شده از استوانه‌ها، تغییر رنگ در محل شکاف‌ها مشاهده شد که این امر ناشی از تجمع ذرات در این نقاط بود. برای بررسی بیشتر فیلترها، از میکروسکوپ چشمی و الکترونی استفاده شد. نتایج بررسی‌ها مؤید این نکته بود که رسوب بیشتری در محل شکافها وجود دارد. شکل‌های ۹ تا ۱۱ 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 ۱۱). نتایج تجزیه EDX انجام شده با میکروسکوپ الکترونی نیز مؤید این مطلب بود که مقدار قابل‌توجهی از رسوبات قرار گرفته روی فیلترهای ژئوتکستایل، رسوبات کربنات کلسیم است (جدول ۳). این رسوبات در تمام قسمت‌های پوشش وجود دارند و اطراف الیاف را احاطه کرده‌اند. همان‌گونه که قبلاً ذکر شد میزان بی‌هوازی بیش از سایر نقاط است.

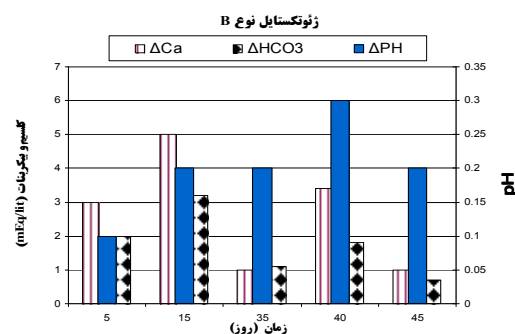
جدول ۳- عناصر مختلف در رسوب تشکیل یافته روی پوشش مصنوعی طبق آنالیز میکروسکوپ الکترونی (برحسب درصد)

عناصر	شماره نمونه	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

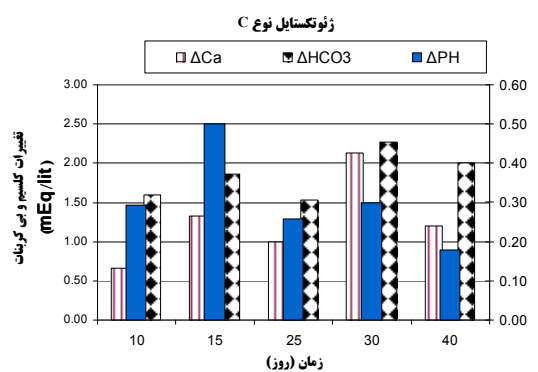
همان‌گونه که بیان شد تغییرات مقادیر pH، یونهای کلسیم و بی‌کربنات، در طول آزمایش اندازه‌گیری شد. مقادیر تغییرات این عامل‌ها در خروجی استوانه‌ها نسبت به مقدار اولیه آن قبل از ورود به استوانه‌ها در شکل‌های ۶ تا ۸ نشان داده شده است.



شکل ۶- تغییرات پارامترهای شیمیایی برای ژئوتکستایل نوع A

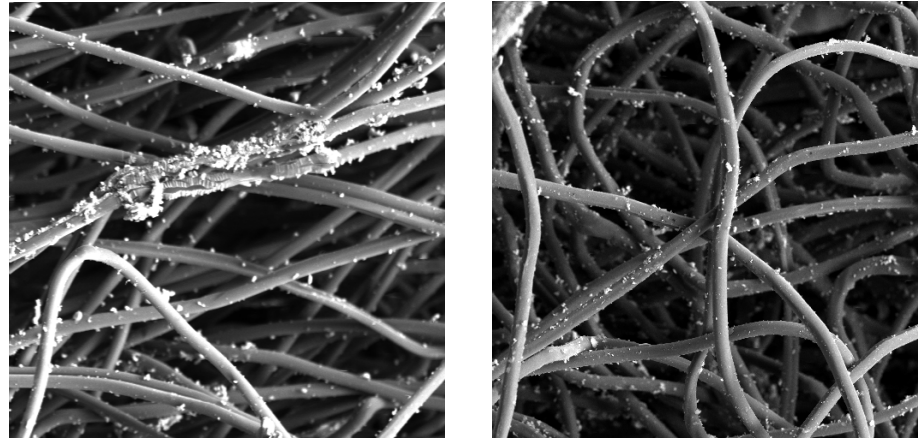


شکل ۷- تغییرات پارامترهای شیمیایی برای ژئوتکستایل نوع B

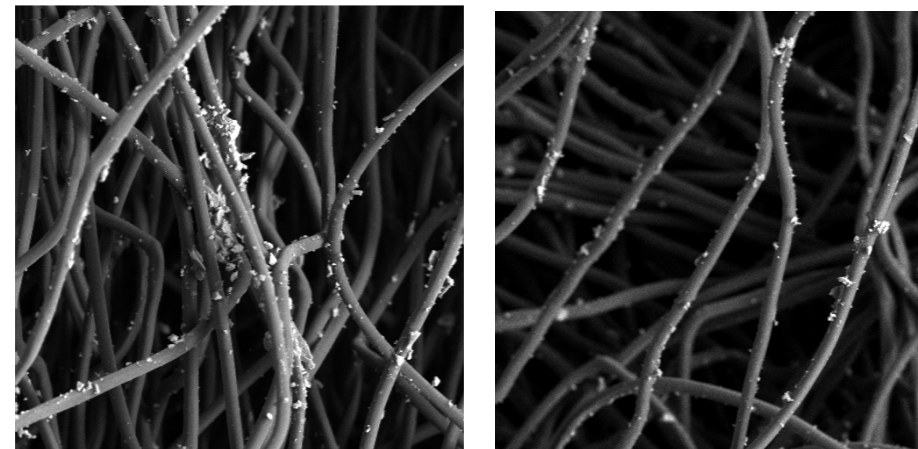


شکل ۸- تغییرات پارامترهای شیمیایی برای ژئوتکستایل نوع C

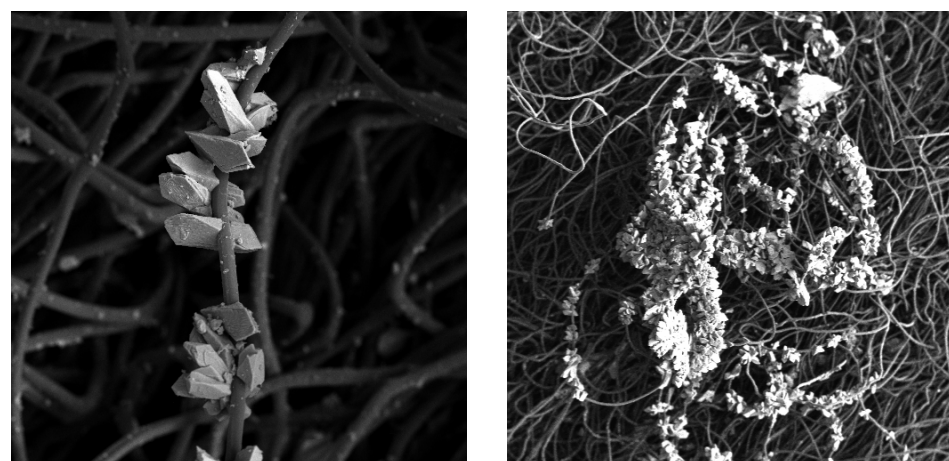
همان‌گونه که از شکل‌های فوق مشاهده می‌شود، تقریباً در تمام دوره آزمایش کاهش میزان یون کلسیم و بی‌کربنات وجود دارد و روند کاهش این دو یون متناسب با تغییرات pH است. کاهش pH به دلیل کاهش بی‌کربنات و قلیائیت



شکل ۹- رسوبهای تجمع یافته در محل شکافها



شکل ۱۰- رسوبهای تجمع یافته در بین شکافها



شکل ۱۱- رسوب کلسیم شکل گرفته روی فیلتر در محل شکاف

ورود به استوانه و پس از خروج از آن انجام می‌شد، فرض شد توزیع و رسوب‌گذاری در طول استوانه از رابطه خطی تبعیت می‌کند و با استفاده از این فرض، زمان گرفتگی کامل

برای محاسبه زمان گرفتگی ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها، با توجه به اینکه اندازه‌گیری کلسیم پیش از

منابع

- ۱- قبادی‌نیا م. رحیمی ح. سهرابی ت. ناصری ع. توفیقی ح. و اجاقلو ح. ۱۳۸۷. بررسی مکانیزم رسوب‌گذاری در پوشش‌های ژئوتکستایل (مطالعه موردی نخیلات آبادان). دومین کنفرانس مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. اهواز. ایران.
- ۲- قبادی‌نیا م. رحیمی ح. و سهرابی ت. ۱۳۸۸. بررسی پتانسیل رسوب‌گذاری کربنات کلسیم در زهکش‌های کشاورزی. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۱):۱-۱۳.
- 3- Abeliovich A. 1985. Avoiding ochre deposits in soil drainage pipes. *Agricultural Water Management*. 10(4): 327-334.
- 4- Barreto De Mendonca M. Ehrlich M. 2006. Column test studies of ochre biofilm formation in geotextile filters. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 132(10):1284-1292.
- 5- Bresler E. McNeal B.L. and Carter D.L. 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 51-55, CEMAGREF, Groupement d'Antony, France.*
- 7- Cooke A. J. 1997. *Modelling of clogging in laboratory column experiments conducted with synthetic landfill leachate*. MSc. Thesis. The University of Western Ontario, Ontario, Canada.
- 8- Cooke A. J. Rowe R. K. and Rittman B. E. 2000. Modeling clogging of landfill drainage system. *Proceeding of 6th Canadian Environmental Engineering Conference*. London, Ontario.
- 9- Cooke A. J. Rowe R. K. and Rittmann, B. E. 2005. Modelling species fate and porous media effects for landfill leachate flow. *Canadian Geotechnical Journal*. 24(4):1116-1132.
- 10- Cooke A. J. Rowe R. K. Rittmann B. E. Vangulck J. and Millward S. 2001. Biofilm growth and mineral precipitation in synthetic leachate columns. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 127(10):849-856.
- 11- Dewi A. Kelso W. I. Johnson D. B. 1987. A study of field drains ochre deposits. 1. Abiotic chemical precipitation *The Journal of Agricultural Science*. 108(2):341-345.
- 12- FAO/Unesco. 1973. *Irrigation, drainage and salinity*: Hutchinson & CO. 510 pp.

ژئوتکستایل‌های مورد استفاده در آزمایش محاسبه شد (جدول ۴). این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط آزمایشگاهی موجود پس از ۶ سال کربنات کلسیم ژئوتکستایل‌ها را مسدود می‌کند. هرچه ضخامت ژئوتکستایل کمتر باشد به گرفتگی حساستر خواهد بود.

جدول ۴- زمان گرفتگی فیلترهای ژئوتکستایل در آزمایشگاه

ژئوتکستایل	(mEq/l) ΔCa_{ave}	t_g (mm)	M_g (g/m ²)	T_{clog} (سال)
نوع A	۰/۱	۲/۲	۱۷۸	۶
نوع B	۰/۱	۱/۲۷	۱۳۱	۴

نتیجه‌گیری

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

- طی عبور جریان از ژئوتکستایل کربنات کلسیم روی آن رسوب کرده و موجب کاهش دبی جریان شد.
 - رسوب‌گذاری طی زمان موجب کاهش نفوذپذیری سیستم خاک- فیلتر شد.
 - در ناحیه تماس فیلتر با هوا، یعنی ناحیه هوازی- بی‌هوازی تجمع رسوبات روی فیلتر ژئوتکستایل بیشتر از سایر نقاط بود.
 - زمان گرفتگی ژئوتکستایل نوع A بیشتر از ژئوتکستایل نوع B بود.
- 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 مد نظر قرار گیرد.

سیاسگزاری

انجام تحقیق حاضر با حمایت‌های مالی معاونت‌های پژوهشی دانشگاه تهران و پردیس کشاورزی و منابع طبیعی و معاونت پژوهشی وزارت نیرو صورت گرفته است که به این وسیله از همه آنان صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

- 13- Ford H.W. 1979. Characteristics of slime and ochre in drainage and irrigation systems. *Tran. of the ASAE*. 1093-1096.
- 14- Giroud J. P. 1996. Granular filters and geotextile filters. *Geofilter 96*. Montreal, Quebec: 565-580.
- 15- Holtz R. D. 2004. Geosynthetics. In *civil engineering handbook*, Florida: CRC Press.
- 16- Ivarson K. C. Sojak M. 1978. Microorganisms and ochre deposits in field drains of ontario. *Can. J. Soil Sci.* 58(1):1-17.
- 17- Lindsay W.L. 1979. *Chemical Equilibria in Soils*. Wiley Interscience, New York. 448 pp.
- 18- Plusquellec H. 2004. Application of Geosynthetics in Irrigation and Drainage Projects: ICID. 80 pp.
- 19- Rogers D.H. Lamm F.R. Alam M. 2003. Subsurface drip irrigation systems (SDI) water quality assessment guidelines. MF2575 Kansas State University, Kansas.
- 20- Sheikholeslami R. 2005. Scaling potential index (Spi) for CaCO₃ based on Gibbs free energies. *AIChE Journal*. 51(6):1782-1789
- 21- Stuyt, L. C. P. M. Dierickx, W., Beltrán, J. M. 2005. *Materials for Subsurface Land Drainage Systems*. FAO Rome: 200 pp.
- 22- Stuyt L. C. P. M. Oosten A. J. 1987. Mineral and ochre clogging of subsurface land drainage systems in the Netherlands. *Geotextiles and Geomembranes*. 5(2):123-140
- 23- Vaughan D. Ord B. G. 1994. Inhibition of iron precipitation from field drainage water. *The Journal of Agricultural Science*. 123(2):253-256.
- 24- Vlotman W. F. Rehman S.-U. Haider I. 1993. Granular envelope research in Pakistan. *Irrigation and Drainage Systems*. 6(4):325-343
- 25- Vlotman W. F. Willardson L. S. Dierickx W. 2001. *Envelope Design for Subsurface Drains*. Wageningen: ILRI. 364 pp.