

بررسی عملکرد روسازی نفوذپذیر در حذف آلاینده از رواناب سطحی

میثم کمالی، دانشجوی کارشناسی ارشد عمران - محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

(meisamkamali_63@yahoo.com)

مسعود تجریشی، دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف (tajrishy@sharif.edu)

*تلفن نویسنده اصلی: ۰۹۱۲۱۸۱۱۷۳۷، شماره: ۰۲۱۶۶۰۳۶۰۱۶، پست الکترونیکی:

meisamkamali_63@yahoo.com

چکیده

گسترش شهرها سبب افزایش سطوح نفوذناپذیر و در نهایت تولید رواناب بیشتر از سطوح شهری می-شود. این روانابها در سطوح و معابر شهرها حرکت کرده و مواد آلاینده را از آنها جمع آوری نموده و به داخل مسیلهای انتقال می-دهد. مهمترین عامل جهت انتقال آلاینده در رواناب، رسوبات موجود در آن می-باشد. در صورت حذف رسوبات از رواناب، کیفیت آن بهبود می-یابد. یکی از سیستمهای موثر جهت کاهش رسوبات از رواناب سطحی، استفاده از روسازی نفوذپذیر می-باشد. جهت شبیه سازی تاثیر استفاده از روسازی نفوذپذیر در کاهش مواد معلق از یک دستگاه باران ساز استفاده شده است. روسازی، دارای مساحت ۲ متر مربع و شیب ۲٪ است. مواد زیراساس دارای دانه بندی ۴.۷۵ تا ۲۰ میلیمتر و لایه فیلتر دارای دانه بندی ۲.۳۶ تا ۴.۷۵ میلیمتر است. همچنین بین لایه های زیراساس و اساس و بین لایه های اساس و کف دستگاه از یک لایه ژئوتکستایل استفاده شده است. در این مقاله در ابتدا به بررسی عملکرد هیدرولیکی و کیفی این روسازی بر اثر ورود رواناب حاوی رسوبات به آن و در انتها به بررسی عملکرد آن در حذف مواد آلاینده از رواناب سطحی پرداخته می-شود. روسازی در پایان هفتمین سال از شبیه سازی دارای ضریب رواناب ۰.۳۵ است. از نظر حذف آلاینده روسازی توانست مواد جامد معلق را به طور کامل حذف نماید.

کلید واژه ها: رواناب شهری، رسوبات، روسازی نفوذپذیر، حذف آلاینده

۱- مقدمه

شهرسازی با افزایش تمرکز روسازیها، ساختمانها و دیگر سطحهای نفوذناپذیر همراه است. این امر سبب تولید رواناب مازاد می-شود. رواناب تولید شده آلودگیهای مسیر جریان را با خود جمع می-کند و باعث آلودگی رودها و نهرها، آلودگی دریاچه ها و منابع آب آشامیدنی می-شود. افزایش رواناب و عدم نفوذ آن در داخل زمین، باعث محروم شدن آبهای زیرزمینی از منابع آبهای سطحی می-شود. آب سطحی آلودگیهایی را وارد منابع آب می-نماید که از یک منبع متمرکز نمی-باشند، بنابراین آنها به عنوان یک منبع غیر نقطه ای در ایجاد آلودگی تلقی می-شوند. مهمترین پارامتر جهت

حمل و انتقال آلاینده‌ها در رواناب سطحی مواد معلق^۱ موجود در آنها است. اگر بتوان این مواد را از رواناب سطحی حذف نمود، به بهبود کیفی آن کمک قابل توجهی نموده‌ایم. به طوریکه طبق تحقیقات انجام شده، با حذف مواد جامد معلق می‌توان سبب کاهش فسفر کل، فلزات سنگین، اکسیژن خواهی شیمیایی و کدورت از رواناب سطحی شویم. سیستم‌های متفاوتی جهت مهار این روانابها و کاهش رسوبات از آنها وجود دارد. یکی از این سیستم‌های موجود، روسازی نفوذپذیر^۲ است. روسازی نفوذپذیر دارای پتانسیل بالایی جهت حذف مواد معلق از رواناب سطحی است؛ ولی مشکل عمده این روسازی در برابر این روانابها، ورود رسوبات روانابها به حفرات بین سنگ فرشها و به دنبال آن گرفتگی^۳ این سطوح است [1].

ایگن و همکاران به بررسی عملکرد گرفتگی روسازی در تولید رواناب از این روسازی پرداختند [2]. آنها گرفتگی را در ۴ حالت (کم تا زیاد) مورد بررسی قرار دادند. رسوبات مورد استفاده در این تحقیق، رسوبات مصنوعی (سیلیکا) می‌باشد. در کار کاسترو در سال ۲۰۰۷ گرفتگی سطح با ورود رسوبات به طور دستی بر روی آن بررسی شده و ضریب رواناب در حالت عدم گرفتگی، نیمه گرفته و گرفتگی کامل محاسبه شده است [1]. برون در سال ۲۰۰۷، نقش رواناب بر روی حذف آلاینده و کاهش نفوذپذیری را مورد بررسی قرار داد [3]. در این حالت رواناب از بالای سطح روسازی و از ارتفاع ۱۰ سانتیمتری بر آن اعمال شده است. یانگ در سال ۲۰۰۸، رواناب در سیستم او به طور پیوسته، بدون توقف و از بالا ریخته شد [4]. پزانتی و همکاران در سال ۲۰۰۹، روسازی نفوذپذیر را تحت اثر گرفتگی و حذف مواد معلق مورد بررسی قرار دادند [5]. آنها رسوبات را از بالای سطح روسازی به آن اعمال نمودند. روه و همکاران به بررسی عملکرد این روسازی در مقیاس آزمایشگاهی کوچک پرداختند. در این تحقیق هم به مانند کارهای گذشته رسوبات از بالا بر روی سطح روسازی اعمال شده است [6]. ماهاراج و همکاران در سال ۲۰۱۰ [7] و کولین و همکاران در سال ۲۰۰۷ [8] هم به بررسی عملکرد این روسازی در حذف مواد معلق و مواد مغذی پرداختند. با توجه به کارهای گذشته، تمام حالات مورد بررسی از این روسازی، برای شبیه‌سازی گرفتگی، از واقعیت، که رواناب حاوی رسوبات از کنار روسازی و باران تمیز از بالا وارد شود، فاصله دارد. در این مقاله ضمن بررسی این روسازی تحت بارش و رواناب به بررسی توام عملکرد این روسازی در گرفتگی توسط رسوبات ورودی و حذف آنها پرداخته شده است. حالت مورد بررسی در این مقاله حالتی می‌باشد که رسوبات از کنار روسازی توسط رواناب به آن اعمال و بارش توسط نازل‌هایی از بالای روسازی بر روی آن ریخته می‌شود. فرض بر این است که سطح روسازی، سالانه مورد نظافت قرار می‌گیرد. هدف از این تحقیق بررسی عملکرد روسازی نفوذپذیر در تولید رواناب و حذف آلاینده از رواناب سطحی و نحوه گرفتگی آن است.

۲- مواد و روشها

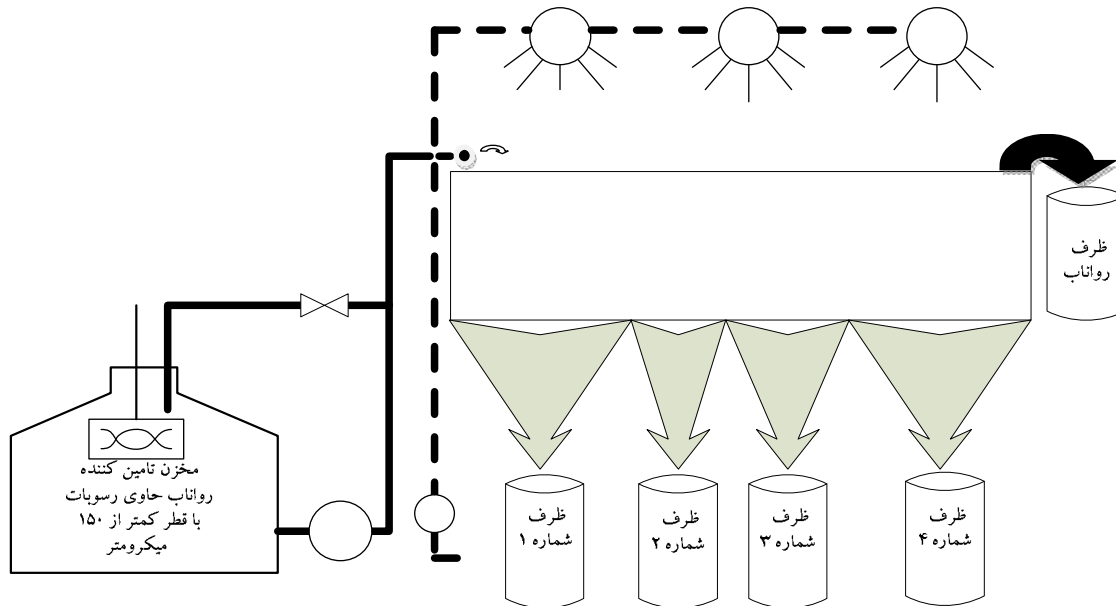
در این تحقیق برای بررسی و شبیه‌سازی نزدیک به واقعیت، از یک دستگاه باران‌ساز استفاده شده است. روسازی نفوذپذیر دارای ابعاد ۲ متر مربع و از لایه‌های سنگ‌فرش، فیلتر و زیراساس تشکیل شده است. لایه زیر اساس از شن با دانه - بندی ۴.۷۵ تا ۲۰ میلیمتر و ارتفاع ۱۲ سانتیمتر (بر اساس محاسبات لایه ذخیره برای تحمل بار هیدرولیکی، ضخامت این لایه

¹ Suspended solid

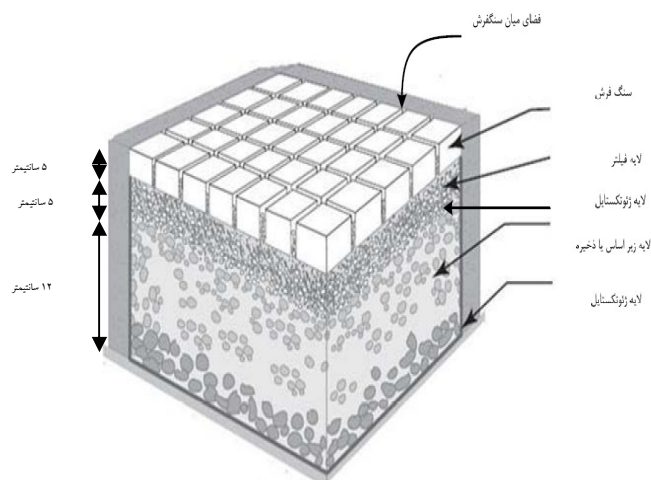
² Permeable pavement

³ Clogging

۳۰ سانتیمتر است، که بر اساس کمبود فضا در دستگاه ما قادر به اجرای ۱۲ سانتیمتر از آن بودیم)، لایه فیلتر از ماسه با دانه - بندی ۲ تا ۵ میلیمتر (ضخامت ۵ سانتیمتر) تشکیل شده است. در بین لایه های زیر اساس و لایه فیلتر و لایه زیر اساس و کف دستگاه از یک لایه ژئوتکستایل^۴ استفاده شده است. روسازی مورد بررسی دارای شیب ۲٪ است. فضای میان سنگ فرشها نیز ۰.۵ سانتیمتر می باشد. در شکل ۱ و ۲ شماتیکی از دستگاه بارانساز و روسازی مورد بررسی به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۱- شماتیکی از کلیت دستگاه بارانساز و نمایی از ظرفهای نمونه گیری



شکل ۲- نمایی از لایه های مختلف روسازی نفوذپذیر

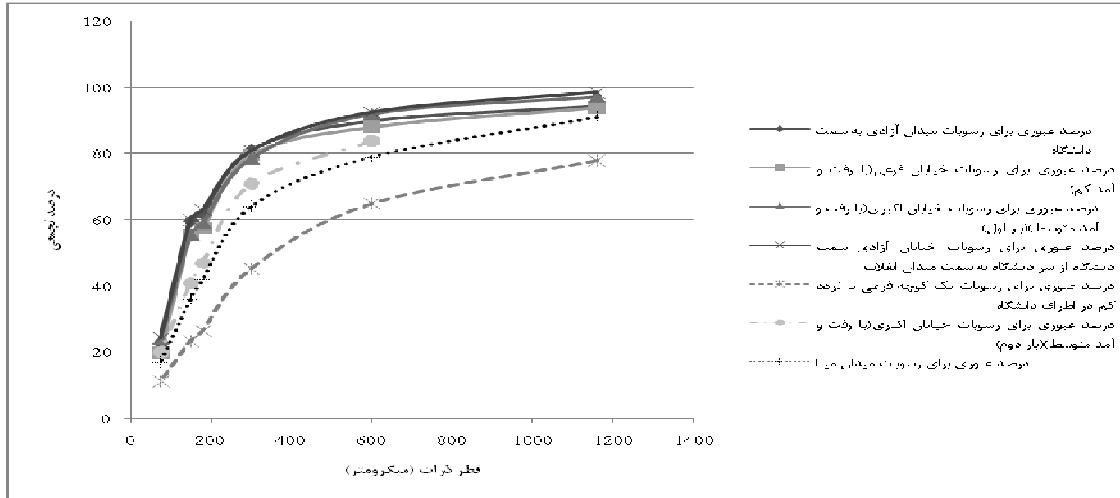
⁴ Geotextile

قبل از اعمال بارش بر روی سطح روسازی با تغییرات تعداد نازلها و ارتفاع آنها تا سطح روسازی نیز بهترین شرایط برای اعمال بارش به روسازی مشخص گردید. بهترین چیدمان، برای بارش ۳۶ میلیمتر بر ساعت، ارتفاع ۲ متر و ۳ نازل در یک راستا می باشد. و برای بارش ۶۲ میلیمتر بر ساعت، بهترین چیدمان، نیز ارتفاع ۱ متر و با ۶ نازل در ۲ ردیف ۳ تایی است. بارش ۳۶ میلیمتر بر ساعت بارشی است که با مدت ۲۰ دقیقه، دارای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله است. از آنجا که قادر به تولید بارانی با شدت کمتر بر روی سطح روسازی نبودیم، این بارش مورد استفاده قرار گرفت. همچنین رواناب بر روی سطح روسازی از مجاور سطح نیز وارد می شود. میزان دبی رواناب ورودی به سطح ۳ برابر دبی بارش ورودی به آن است. در هر دوره آزمایش معادل ۱ سال بارش شهر تهران معادل بارش در ایستگاه مهرآباد (۲۴۰ میلیمتر) بر روی روسازی اعمال گردید. مدت انجام آزمایش برای هر دوره ۶.۷۵ ساعت است. میزان غلظت رسوبات ورودی به روسازی، ۵۰۰ میلیگرم بر لیتر است. این میزان غلظت ورودی به روسازی را می توان به دلیل این دانست که معمولا مقادیر غلظت میانگین مواد معلق در نمونه های گرفته شده توسط محققین از حوزه های شهری و سطوح متفاوت، بین ۷۰ تا ۱۴۰۰ میلیگرم بر لیتر در حال تغییر است. این روسازی در سه حالت مورد بررسی قرار گرفت.

۱. حالتی که روسازی تحت رواناب بدون رسوب به همراه بارش قرار گرفته است.
 ۲. حالتی که روسازی تحت رواناب حاوی رسوب به همراه بارش قرار گرفته است.
 ۳. حالتی که روسازی تحت اثر رواناب دارای مواد مغذی و مواد معلق قرار گرفته است.
- رسوبات مورد بررسی شده در این تحقیق از حاشیه خیابان جمع آوری شده است. در جدول ۱ و شکل ۳ منحنی دانه بندی آن ارائه می شود.

جدول ۱- بررسی توزیع اندازه دانه ها در رسوبات جمع شده از خیابانها

اندازه الک (میکرومتر)	درصد عبوری برای رسوبات میدان دانشگاه	درصد عبوری برای رسوبات خیابان (با رفت و آمد متوسط) (بار دوم)	درصد عبوری برای رسوبات یک کوچه فرعی با تردد کم در اطراف دانشگاه	درصد عبوری برای رسوبات خیابان آزادی سمت دانشگاه به سمت میدان انقلاب	درصد عبوری برای رسوبات خیابان اکبری (با رفت و آمد متوسط) (بار اول)	درصد عبوری برای رسوبات خیابان فرعی (با رفت و آمد کم)	درصد عبوری برای رسوبات میدان آزادی به سمت دانشگاه
۱۱۶۰	۹۴.۵	۹۳.۹۵	۹۷.۳	۹۸.۶	۷۸	-----	۹۱
۶۰۰	۹۰	۸۸.۱	۹۲	۹۲.۵	۶۵	۸۴	۷۹
۳۰۰	۸۱.۲۲	۷۹.۵	۷۸.۵۶	۸۰.۸	۴۵.۳	۷۱	۶۴
۱۸۰	۶۱.۶۷	۵۷.۵	۵۸.۹۵	۶۳	۲۶.۶	۴۷	۴۲
۱۵۰	۵۹.۷۵	۵۵.۳	۵۵.۵	۶۰	۲۳.۵	۴۱	۳۶
۷۵	۲۱.۵	۲۰	۲۴.۱	۲۴.۳	۱۱.۲	۲۰	۱۷



شکل ۳- مقایسه دانه بندسی رسوبات جمع شده از کنار خیابان ها

رسوبات بعد از انتقال به آزمایشگاه مورد الک قرار گرفته و سپس ذرات کوچکتر از ۱۵۰ میکرومتر جدا و مورد شستشو قرار گرفت. پس از شستشوی، آنها در اون خشک گردیدند. دلیل اینکه رسوبات کوچکتر از ۱۵۰ میکرومتر به عنوان رسوبات ورودی به روسازی انتخاب گردید این است که ۸۰٪ از درصد حجمی رسوبات در ۳ نمونه گرفته شده از یک حوزه درون شهری توسط نگارندگان زیر ۱۵۰ میکرومتر است. قابل ذکر است که این توزیع اندازه دانه‌ها به وسیله دستگاه توزیع اندازه ذرات صورت گرفته است. میزان غلظت ورودی به روسازی نیز در حدود ۵۰۰ میلیگرم بر لیتر است.

۳- نتایج آزمایشات

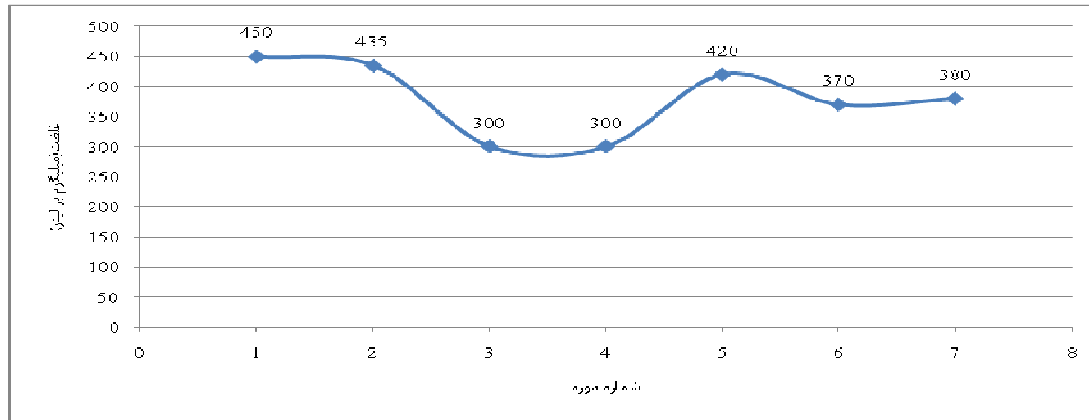
روسازی نفوذپذیر در ۳ حالت ذکر شده در بالا مورد بررسی قرار گرفت.

الف) روسازی تحت رواناب بدون رسوب به همراه بارش

در این حالت باران و رواناب تمیز به ترتیب از بالا و کنار روسازی به آن اعمال گردید. در این حالت روسازی در سه شرایط متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت. در حالت اول روسازی در حالت زهکش آزاد قرار داشت. بارش ۳۶ میلیمتر بر ساعت از بالا، به صورت بارش و روانابی از مجاور آن با دبی ۳ برابر مقدار بارش اعمال شده به سطح روسازی اعمال گردید. تغییرات ارتفاع آب موجود در لایه ذخیره با استفاده از پیزومترهای موجود در دستگاه با زمان ضبط شد. در حالت دوم با اعمال بارش ۳۶ میلیمتر بر ساعت بارش بر روی سطح و ورود رواناب با دبی ۳ برابر دبی بارش ورودی به روسازی، نحوه تغییرات دبی خروجی از ۴ زهکش دستگاه و رواناب خروجی از روسازی با زمان مورد توجه قرار گرفت. در حالت سوم مقدار بارش ورودی به سطح روسازی به ۶۲ میلیمتر بر ساعت افزایش یافت که به تبع آن رواناب ورودی به روسازی هم ۲ برابر حالتهای قبل می‌شود. در این حالت، روسازی بعد از ۳۰ دقیقه از آغاز بارش، تمام لایه‌های آن پر شده و از سرریز آب شروع به خروج پیدا می‌کند. بنابراین شدت بارش ۳۶ میلیمتر بر ساعت، به عنوان شدت بارش مناسب برای انجام این آزمایشات انتخاب گردید.

ب) روسازی تحت رواناب حاوی رسوب به همراه بارش

در حالت اعمال رسوبات به سطح روسازی، تغییرات زمانی زهکش و خروجی سرریز در هر دوره مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۴ تغییرات زمانی غلظت متوسط در ۷ دوره از آزمایش به نمایش گذاشته شده است.



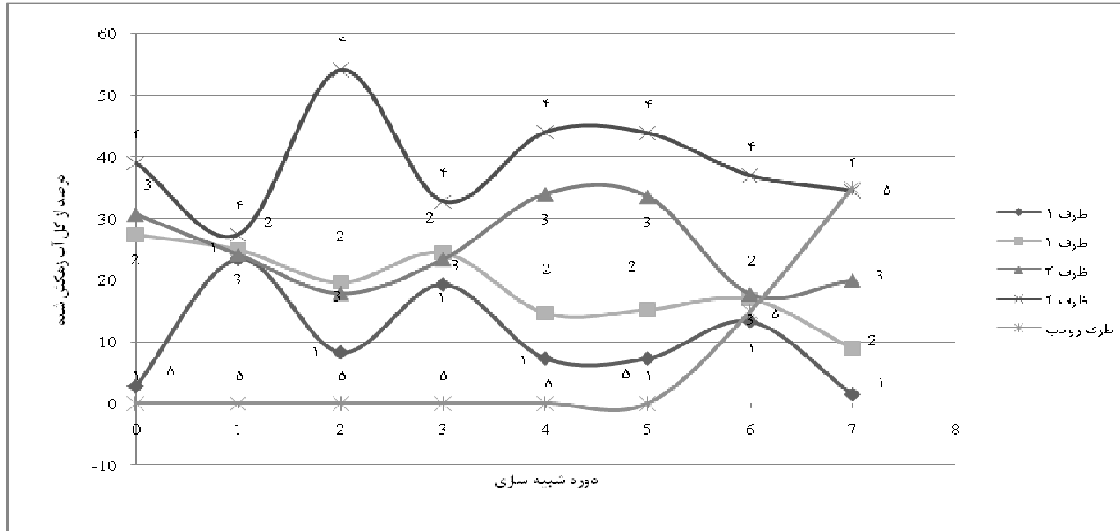
شکل ۴- منحنی میانگین تغییرات مواد جامد معلق در کل ۷ دوره از شبیه‌سازی

مقایسه داده های آب کل خروجی از زهکشا بر اساس دوره های شبیه سازی روسازی

در این بخش مقایسه‌ای میان درصد حجم‌های آبهای خروجی از زهکشها، در دوره‌های شبیه‌سازی مختلف صورت می‌گیرد. در جدول ۲ و شکل ۵، درصد حجم خروجی میان زهکشهای مختلف، از ۷ دوره شبیه سازی ارائه و با هم مقایسه گردیده‌اند. قابل توجه است که در هر دوره سه دبی از هر خروجی گرفته شده و مقادیر میانگین این سه دبی برای هر دوره برای آن دوره در نظر گرفته شده است.

جدول ۲- مقایسه درصد آب خروجی میان دوره های مختلف شبیه سازی

میزان رواناب (طرف پنجم)	میزان حجم آب زهکش شده بر حسب درصد از کل آب زهکش شده				شماره دوره
	شماره زهکش				
	۴	۳	۲	۱	
۰	۳۹	۳۰.۷	۲۷.۴	۲.۸	آب تمیز
۰	۲۷.۴	۲۴.۲	۲۵	۲۳.۴	۱
۰	۵۴.۱	۱۷.۹	۱۹.۷	۸.۳	۲
۰	۳۲.۸	۲۳.۴	۲۴.۵	۱۹.۳	۳
۰	۴۴	۳۴	۱۴.۷	۷.۳	۴
۰	۴۳.۸۵	۳۳.۶	۱۵.۲۵	۷.۳	۵
۱۴.۹	۳۷	۱۷.۸	۱۷	۱۳.۳	۶
۳۵	۳۴.۵	۲۰	۹	۱.۵	۷



شکل ۵- مقایسه داده های آب کل خروجی از زهکشها بر اساس ظرف های زهکشی

همچنانکه در شکل ۵ قابل رویت است، روسازی در بازه دوره اول به دوره دوم از شبیه سازی همراه با افزایش در خروجی چهارم و کاهش در خروجی اول است. زهکشهای دوم و سوم دچار کاهش اندکی می شوند. ولی بعد از تبدیل حالت زهکش آزاد در تمام طول آزمایش، به حالتی که روسازی در ابتدا بدون زهکش و سپس دارای زهکش می باشد، با افزایش دبی از زهکش اول و کاهش دبی در زهکش آخر روبه رو هستیم. هنوز زهکشهای دوم و سوم هماهنگ با هم دچار افزایش اندکی می شوند و تقریباً از تمام زهکشها به یک اندازه آب در حال خارج شدن است. می توان دلیل این تغییر شرایط را به تغییر شرایط غیر اشباع به اشباع در لایه زیرین روسازی نسبت داد. از دوره سوم به دوره چهارم با افزایش آب خروجی از زهکش سوم و چهارم و کاهش زهکش اول و دوم روبه رو خواهیم بود. (که شاهد انتقال آب خروجی به سمت زهکشهای دورتر هستیم). در دوره پنجم میزان درصد آب خروجی از زهکشها نسبت به دوره قبل تغییراتی را از خود نشان نداد، که می توان احتمال آنرا به کمبود ذرات ریزدانه در رسوبات ورودی دانست. در دوره ششم با کاهش دبی ظرف سوم و چهارم و افزایش دبی ظرفهای یک و دو نسبت به دوره قبل روبه رو می باشیم. در این دوره مشاهده نمودیم که دبی رواناب خروجی از صفر درصد در دوره های قبل به ۱۵ درصد در دوره ششم افزایش می یابد. در دوره هفتم رواناب از ۱۵ درصد در دوره قبل به ۳۵ درصد در این دوره افزایش می یابد. میزان آب خروجی از زهکش اول، سوم و چهارم کاهش و برای زهکش سوم افزایش اندکی نسبت به دوره قبل دارد. در دوره هفتم مقادیر آب خروجی از زهکشهای اول و دوم به صفر نزدیک می شود (گرفتگی کامل درزاها).

داده های بدست آمده با نتایج کاسترو در سال ۲۰۰۷ [1] مورد مقایسه قرار گرفت. در کار آنها، در حالت عدم گرفتگی روسازی شاهد این هستیم که بیشتر آب از زهکش اول خارج و کمترین آن به عنوان رواناب از روسازی خارج می شود. دو حالت عدم گرفتگی و نیمه گرفته، زهکشها کاملاً مشابه با هم عمل می نمایند. ولی در حالت گرفتگی کامل نیز این حالت عکس می شود. یعنی بیشتر آب به صورت رواناب از روسازی خارج و کمترین نسبت به حالت عدم گرفتگی از زهکش اول خارج می شود. حال اگر به نتایج این تحقیق در شکل ۳ توجه گردد، به وضوح قابل رویت است که مشابه با کار کاسترو (۲۰۰۷) در حالت آب تمیز، روسازی روانابی را تولید نمی کند ولی میزان آب خروجی بر خلاف

حالت کاسترو از زهکش اول کمترین است. در آخرین دوره از شبیه سازی، عملکرد روسازی مطابق با عملکرد روسازی کاسترو در سال ۲۰۰۷ در حالت گرفتگی کامل است. زیرا در این حالت شاهد کاهش دبی در زهکشهای روسازی و بالا رفتن دبی رواناب خروجی از روسازی هستیم.

بنابر کار پزانیتی [5] و یانگ [4] روسازی نفوذپذیر آنها بعد از ۳۵ و ۵۵ سال دچار گرفتگی می شود. روسازی نفوذپذیر در این تحقیق بعد از ۷ سال دچار گرفتگی می شود، که با عدد ارائه شده توسط یانگ همخوانی لازم را دارد. اما در مقایسه با پزانیتی متوجه می شویم که این روسازی دارای عمر کوتاه تری نسبت به آن می باشد. که می توان دلیل آنرا به تفاوت مقدار و نحوه ورود رسوبات به روسازی نسبت داد. در کار پزانیتی رسوبات متعلق به خود سطح نفوذپذیر و از سمت بالا به آن اعمال می شود. در صورتیکه در این کار رسوبات ۳ برابر خود سطح نفوذپذیر و از مجاور سطح به آن اعمال شده است. بنابراین این روسازی تقریباً یک سوم عمر روسازی آنها (۱۲ سال) را باید داشته باشد، ولی این روسازی با عمر ۷ سال نسبت به آنها دارای عمر کوتاه تری است.

بررسی و مقایسه تغییرات ارتفاع پیژومترها با هم

در اینجا به بررسی تغییرات ارتفاع پیژومتر در حالت ورود رواناب فاقد رسوب و در دوره های ۳ و ۴ و ۵ و ۶ از شبیه سازی می پردازیم. شیب لایه ذخیره در این ۶ حالت به ترتیب ۰.۰۱۱، ۰.۰۱۳، ۰.۰۱۵، ۰.۰۱۳، ۰.۰۶۵ و ۰.۰۱۳ است. که ما شاهد یک افزایش شیب در آب لایه ذخیره در ۵ سال شبیه سازی نسبت به حالت بدون رسوب می باشیم. این خود موید این مطلب می باشد که بر اثر گرفتگی لایه سطحی روسازی، آب بیشتری به سمت پایین حرکت کرده و باعث بالا رفتن شیب سطح آب در لایه ذخیره گردیده است. تنها مورد استثناء در این زمینه دوره ششم از شبیه سازی می باشد که شاید دلیل این امر مدت ۱۰ روز خشک بودن روسازی می باشد، که در سایر موارد شبیه سازی این مدت بین ۱ تا ۲ روز است.

مقایسه حذف آلاینده از روسازی

روسازی مورد نظر قادر است مواد جامد معلق را به طور تمام حذف نماید. به طوریکه در آبهای نمونه گیری شده از زهکشها مقادیر مواد جامد معلق صفر و آب خروجی کاملاً شفاف است.

ج) بررسی عملکرد روسازی در حالت آب حاوی مواد مغذی و مواد معلق

روسازی در حالتی که آب ورودی دارای مواد مغذی و معلق می باشد نیز مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا مخزن ۱۵۰ لیتری را با آب آلوده پر و سپس دستگاه راه اندازی گردید. پس از راه اندازی دستگاه، روسازی مورد آزمایش قرار گرفت. با توجه به کاهش ارتفاع آب در داخل مخزن به علت استفاده، آب آلوده به طور پیوسته تا حجم ۱۲۰ لیتر به آن اضافه شد. بعد از آن، ما بقی آب از طریق آب تمیز به مخزن اضافه شد. روسازی در ۵۰ دقیقه اول هیچگونه روانابی از خود نشان نداد. اما در دقیقه ۵۰ شاهد خروج رواناب از روسازی بودیم. همچنانکه مشاهده می شود، روسازی در ۵۰ دقیقه اول در مورد حذف آلاینده عملکرد خوبی را نشان داد. اما این روند از بازه زمانی ۵۰ تا ۲۴۰ دقیقه دچار مشکل شده است. باید اشاره شود که سطح روسازی قبل از اعمال آب آلوده دارای مواد معلق، به طور کامل تمیز شده بود.

گرفتگی روسازی: روسازی در حالت ورود مواد مغذی به همراه مواد معلق، دچار گرفتگی زود هنگام می شود. در مقایسه دو حالت با همدیگر، متوجه می شویم که روسازی در حالت اول، رواناب ورودی به روسازی دارای غلظت

متوسط ۳۸۰ میلیگرم بر لیتر مواد معلق جامد است. این میزان غلظت توسط باران رقیق (ضریب رقیق سازی ۰.۷۵ است) و به ۲۸۵ میلی گرم بر لیتر می رسد. ولی در روسازی ما در همان ۵۰ دقیقه اول رواناب ورودی دارای غلظت ۷۰۰ میلیگرم بر لیتر است که در حدود ۲.۵ برابر مقدار ۷ دوره از شبیه سازی روسازی می باشد. در این حالت، بر روی سطح روسازی، مقداری مواد آلی به همراه مواد معلق به هم چسبیده که در امر گرفتگی نقش موثری داشته اند مشاهده می شود.

مواد جامد معلق: این نوع روسازی قادر به حذف مواد جامد معلق به طور کامل است. در مقایسه با کارهای دیگران، آنها هم توانسته اند مواد جامد معلق را در بازه ۷۲٪ تا ۱۰۰٪ حذف نمایند.

اورتوفسفات: در مورد اورتوفسفات، روسازی ما در ۴۵ دقیقه اول در زهکش اول و چهارم به ترتیب قادر به حذف ۲۸ و ۳۸ درصد از اورتوفسفات است. در کل ۲۴۰ دقیقه این مقادیر به ترتیب ۷۸- و ۴۳ درصد است. در مورد اورتوفسفات ماهاراج [7] و کولین [8] به ترتیب قادر به حذف ۷۸ و ۵۸ درصد بودند، که در مقایسه با این داده ها متوجه می شویم که روسازی دارای حذف کمتری در مقایسه با کارهای آنها می باشد. یک دلیل افزایش مقدار درصد اورتوفسفات در خروجی در دقایق انتهایی را می توان به مقادیر کم اورتوفسفات ورودی نسبت داد.

آمونیاک: میزان حذف آمونیاک در ۴۵ دقیقه اول در زهکشهای اول و چهارم به ترتیب، ۶۹ و ۸۶ درصد است. این میزان در کل ۲۴۰ دقیقه در زهکشهای اول و چهارم به ترتیب به ۵۲ و ۶۰ درصد می رسد. در مورد آمونیاک روسازی ماهاراج توانست آنرا به میزان ۸۵٪ حذف نماید که در مقایسه با کار او متوجه می شویم که روسازی ما دارای حذف پایین تری از آمونیاک (۵۶٪) می باشد.

نیترات: در مورد نیترات در ۴۵ دقیقه اول در زهکشهای اول و چهارم به ترتیب، ۴ و ۱۱ درصد حذف نیترات را شاهد بودیم. این میزان از حذف در کل ۲۴۰ دقیقه در زهکشهای اول و چهارم به ترتیب به ۴۵٪- و ۱۲٪- می رسد. با بررسی داده های خود با کار کولین در سال ۲۰۰۷ [8] و کار ماهاراج در سال ۲۰۱۰ [7] متوجه شدیم که حذف نیترات در کارهای آنها هم منفی می باشد. همچنانکه در مطالعات پیشین هم ذکر شده است، ماهاراج و همکاران [7] دلیل منفی بودن نیترات را به ثابت بودن اکسیژن در سیستم، سرعت بالای تبدیل آمونیا به نیترات و سرعت نسبتا کم دنیتریفیکاسیون نسبت داده اند.

در حالت کلی در تمام داده ها برای حذف آلاینده ها می توان مشاهده نمود که میزان حذف در زهکش چهارم بالاتر از زهکش اول است، که این را می توان به مسیر جریان آب تا خروجی از زهکش نسبت داد. هر چه این مسیر طولانی تر باشد، زیرسازی در حذف آلاینده بهتر عمل می نماید.

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی عملکرد روسازی نفوذپذیر در حالت ورود رواناب به همراه رسوبات به داخل آن و در انتهای تحقیق به بررسی عملکرد این روسازی در حذف آلاینده از این روسازی پرداخته شد. فضای بین بلوکهای بتنی روسازی مورد بررسی بعد از ۷ دوره از شبیه سازی کاملا گرفته می شود. شرایط مورد بررسی در این تحقیق برای بدترین شرایط موجود می باشد. روسازی تا پایان دوره پنجم از خود هیچگونه روانابی نشان نداد، و از اوایل دوره ششم رواناب شروع به خروج از روسازی نمود. در پایان هفتمین سال از شبیه سازی ضریب رواناب ۰.۳۵ می گردد. از نظر حذف آلاینده روسازی توانست مواد جامد معلق و آمونیاک را به اندازه ۱۰۰٪ و ۵۶٪ حذف نماید و باعث افزایش نیترات و اورتوفسفات

به میزان ۳۰ و ۱۸ درصد گردد. در حالت رواناب حاوی مواد مغذی و مواد معلق روسازی دچار گرفتگی زودهنگام می-
شود. می توان دلیل آنرا به وجود مواد آلی و غلظت جامدات معلق بالا نسبت داد.

۵- مراجع

- [1] Castro, D., Gonzalez-Angullo, N., Rodraguez, J., and Calzada, M. A. (2007). "The influence of paving-block shape on the infiltration capacity of permeable paving." *Land Contamination and Reclamation*, 15(3), 335-344.
- [2] Illgen, M., Harting, K., Schmitt, T. G., and Welker, A. (2007). "Runoff and infiltration characteristics of pavement structures-review of an extensive monitoring program." In: *Water Science and Technology*, 133-140.
- [3] Brown, C. R. (2007). "Characteristics of Solids Removal and Clogging Processes in Two Types of Permeable Pavements."
- [4] Yong, C. F., Fletcher, T. D., and Grace, M. R. (2008). "the clogging behaviour and treatment efficiency of a range of porous pavements." In: *11th International Conference on Urban Drainage*, Edinburgh, Scotland, UK.
- [5] Pezzaniti, D., Beecham, S., and Kandasamy, J. (2009). "Influence of clogging on the effective life of permeable pavements." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Management*, 162(3), 211-220.
- [6] Rowe, A. A., Borst, M., O'Connor, T. P., and Stander, E. K. (2009). "Pervious pavement system evaluation." *Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress 2009 - World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers*, 1440-1447.
- [7] Tota-Maharaj, K., and Scholz, M. (2010). "Efficiency of permeable pavement systems for the removal of urban runoff pollutants under varying environmental conditions." *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 29(3), 358-369.
- [8] Collins, K. A. (2007). "A field evaluation of four types of permeable pavement with respect to water quality improvement and flood control."