بررسی عملکرد واحد زیست‌ماند بر دبی اوج رواناب تحت معیارهای طراحی مختلف

میلاد مهری[۱]، سید مهدی هاشمی شاهدانی[۲*]، سامان جوادی[۳]

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

چکیده

روش‌های توسعه کم اثر از جمله روش‌های نوین کنترل رواناب است. واحد زیست‌ماند یکی از روش‌های توسعه کم اثر است که به دلیل کاهش قابل توجه حجم رواناب و افزایش نفوذ مورد توجه قرار گرفته است. با این حال عملکرد جامع واحد زیست‌ماند در مناطق مختلف و برای طراحی‌های مختلف متفاوت است. در تحقیق حاضر عملکرد واحد زیست‌ماند تحت شرایط طراحی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین برای بررسی عملکرد واحد زیست‌ماند از مدل SWMM در مدلسازی منطقه مورد مطالعه (شرق شهر تهران) استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که واحد زیست‌ماند امکان کاهش سیلاب و افزایش نفوذ را دارد. سیلاب در منطقه مورد مطالعه پس از بکارگیری واحد زیست‌ماند برای بارش با دوره بازگشت دو و پنج ساله کاملا حذف شد و برای بارش با دوره بازگشت ۱۰ و ۲۰ ساله بیش از ۹۰ درصد حجم سیلاب کاهش یافت. بکارگیری واحد زیست‌ماند موجب کاهش اوج رواناب خروجی از منطقه به مقدار ۶۵ تا ۲۵ درصد برای بارش با دوره‌های بازگشت دو تا ۲۰ ساله شد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش ضخامت لایه سطحی واحد زیست‌ماند امکان کاهش بیشتر رواناب وجود دارد. برای بارش با دوره بازگشت ۲۰ ساله، افزایش ضخامت لایه سطحی از صفر تا ۴۵۰ میلیمتر موجب کاهش ۴۱ درصد حجم رواناب و افزایش ۱/۵ برابر نفوذ شد. افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک واحد زیست‌ماند نیز موجب افزایش عملکرد این روش توسعه کم اثر می‌شود. تحقیق حاضر نشان می‌دهد بکارگیری روش‌های توسعه کم اثر مبتنی بر نفوذ (همچون واحد زیست‌ماند) می‌تواند در بهبود شرایط هیدرولوژیکی مناطق شهری موثر باشد.

کلیدواژه‌ها: سیلاب شهری، مدل SWMM، مدیریت رواناب، واحد زیست‌ماند، هیدرولوژی شهری

* mehdi.hashemy@ut.ac.ir

نسخه آماده انتشار

۱. مقدمه

شهرسازی تأثیر نامطلوبی بر فرآیندهای هیدرولوژیکی شهری مانند تسریع سرعت جریان رواناب و افزایش دبی اوج دارد، بنابراین موجب افزایش خطر سیلاب شهری می‌شود (Chen et al., 2015). سیلاب شهری از نظر تعداد تلفات جانی و خسارت به اموال، زیرساخت‌های عمومی و منابع طبیعی یک خطر طبیعی است و مدت زمان طولانی است که مکررا اتفاق می‌افتد بدون این که مشکل آن کاملا حل شود (Luo et al., 2022; Shuster et al., 2005). تاثیر شهرسازی و در نتیجه افزایش سطوح نفوذناپذیر بر روی تغییرات خطر سیلاب شهری در تورنتو، کانادا نشان داد که شهرسازی باعث افزایش رواناب سطحی و میزان دبی رودخانه و کاهش زمان رسیدن به دبی اوج رواناب می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که مناطق تحت تاثیر سیلاب ناگهانی و افزایش دشت سیلابی ناشی از شهرسازی نه تنها به درصد سطوح نفوذناپذیر بلکه به توزیع مکانی پوشش سطحی نفوذناپذیر نیز بستگی دارد. شدت سیلاب در زمین‌های با تغییرات مکانی سطوح نفوذناپذیر در مقایسه با توزیع یکنواخت این سطوح بیشتر است (Feng et al., 2021).

برای کاهش اثرات شهرسازی، توسعه روش‌های مدیریت رواناب ضروری است. یکی از روش‌های نوظهور مدیریت رواناب شهری، روش‌های توسعه کم اثر (LID[1]) می‌باشد. روش‌های LID در کنترل رواناب از روش‌های توزیع شده (اغلب زیرساخت‌های سبز) استفاده می‌کند تا هیدرولوژی حوضه‌های شهری را به شرایط قبل از توسعه شهری نزدیک کند (Eckart et al., 2017; Zhu et al., 2019). بررسی عملکرد روش‌های LID در حوضه آبریز شهری استان گوانگدونگ[2]، چین نشان داد که روش‌های LID می‌توانند به طور موثر حجم رواناب وقایع بارندگی کوچک و متوسط را کاهش دهند و حداکثر نرخ کاهش رواناب نیز ۹۴/٤ درصد بود. برای عملیات طولانی مدت، LID می‌تواند ۵۲/۹ درصد از حجم بارندگی سالانه را جذب کند و رواناب سالانه را تا ۲۸/۰ درصد کاهش دهد (Yin et al., 2020). تحقیق دیگری در حوضه متراکم شهری در هنگ کنگ نشان داد که بکارگیری روش‌های LID می‌تواند مقدار کل و اوج رواناب را حدود ۳۵ تا ٤۵ درصد برای بارش با دوره‌های بازگشت دو، ۱۰ و ۵۰ ساله کاهش دهد. با این حال، روش‌های LID ممکن است به تنهایی برای مدیریت رواناب در مناطق شهری متراکم هنگ کنگ کافی نباشد (Zhuang et al., 2023). در تیانجین[3]، شمال چین نشان داده شد که انتخاب طرح LID و موقعیت قرارگیری آن در حوضه، بیشترین تاثیر را بر کاهش رواناب دارد. تحقیق انجام شده در تیانجین نشان داد که طرح‌های بهینه‌سازی LID می‌تواند ضریب رواناب سطحی را از ۰/۷ به حدود ۰/۵ کاهش دهد (Yang et al., 2023).

واحد زیست‌ماند[4] یکی از مهم‌ترین روش‌های LID است که توانایی کاهش حجم رواناب، به حداقل رساندن جریان‌های اوج، تغذیه مجدد آب زیرزمینی، افزایش تبخیر-تعرق و کاهش جرم آلاینده‌های ورودی به آب‌های سطحی و زیرزمینی را دارد (Hunt et al., 2008; Yang and Chui, 2018). Davis (2008) جریان ورودی و خروجی از دو واحد زیست‌ماند ساخته شده در محوطه دانشگاه مریلند[5] را به مدت نزدیک به دو سال تحت بررسی قرار داد که ٤۹ واقعه رواناب در آن به وقوع پیوست. به طور کلی، نتایج تحقیق Davis (2008) نشان داد که واحد زیست‌ماند می‌تواند برای به حداقل رساندن اثرات هیدرولوژیکی توسعه شهری موثر باشد. ۱۸ درصد از وقایع رواناب به اندازه کافی کوچک بودند که واحد زیست‌ماند کل حجم جریان ورودی را نگهدارد و هیچ جریان خروجی ایجاد نکند. همچنین میانگین کاهش دبی اوج ٤۹ و ۵۸ درصد برای دو واحد زیست‌ماند یاد شده مشاهده شد. DeBusk and Wynn (2011) یک واحد زیست ماند که در بلکسبورگ، ویرجینیا برای جمع‌آوری رواناب یک پارگینگ نصب شده بود را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که واحد

نسخه آماده انتشار

زیست‌ماند با موفقیت حجم جریان و اوج جریان خروجی از پارکینگ را به ترتیب ۹۷ و ۹۹ درصد کاهش داده است. Willard et al. (2017) به مطالعه عملکرد واحدهای زیست‌ماند در بلاکسبورگ، ویرجینیا پس از هفت سال کارکرد آن واحدهای زیست‌ماند پرداختند. برای رگبارهای مختلف در ابتدای این دوره هفت ساله نتایج نشان داد که واحدهای زیست‌ماند موجب کاهش ۹۱ درصد در اوج جریان و ۹۸ درصد در حجم جریان شدند. پس از هفت سال، کاهش ۸۲ درصد در اوج جریان و ۸۴ درصد در حجم جریان برای همان واحدهای زیست‌ماند مشاهده شد. این نتایج نشان داد که واحدهای زیست‌ماند در کاهش جریان ناشی از رگبارها پس از هفت سال هنوز موثر بودند. de Macedo et al. (2019) رفتار یک واحد زیست‌ماند را در سائو کارلوس برزیل، در طی دوره خشک که در دسترس بودن آب در این دوره حیاتی است، ارزیابی کردند. نتایج به دست آمده متوسط راندمان نگهداشت رواناب ۷۰ درصد را برای واحد زیست‌ماند نشان داد. با در نظر گرفتن تنها جنبه‌های در دسترس بودن آب، پتانسل رواناب ذخیره شده توسط واحد زیست‌ماند می‌تواند برای اهداف غیرشرب مجدداً مورد استفاده قرار گیرد و تقاضای آب در حوضه آبریز را حداقل در طول فصل خشک به نصف کاهش دهد.

بررسی تحقیقات انجام شده نشان داد که روش توسعه کم اثر واحد زیست‌ماند عملکرد قابل قبولی در کنترل رواناب حوضه‌های شهری دارد. همچنین باید گفت که واحد زیست‌ماند از جمله روش‌های توسعه کم اثر مبتنی بر نفوذ است که با نگهداشت رواناب و ایجاد نفوذ، حتی امکان تغذیه آب‌های زیرزمینی را نیز دارد. عملکرد روش‌های LID مبتنی بر نفوذ بسیار به شرایط مکانی و شرایط طراحی این روش‌ها وابسته می‌باشد. به این دلیل دامنه عملکرد برای روش‌های LID مبتنی بر نفوذ بسیار زیاد است (Eckart et al., 2017). در همین راستا برای تکمیل خلا مطالعاتی، تحقیق حاضر اقدام به بررسی جامعی از عملکرد واحد زیست‌ماند کرده است. در تحقیق حاضر عملکرد هیدرولوژیکی واحد زیست‌ماند تحت شرایط طراحی مختلف برای لایه‌های واحد زیست‌ماند، مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور، از مدل مدیریت رواناب سطحی SWMM[6] برای بررسی عملکرد LID مورد نظر استفاده شد. منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر بخشی از منطقه ۱۳ از شهرداری شهر تهران در نظر گرفته شد. عملکرد واحد زیست‌ماند در تحقیق حاضر به طور خلاصه در بخش‌های زیر مورد بررسی قرار گرفت: ارزیابی عملکرد واحد زیست‌ماند در افزایش حجم نفوذ و کاهش حجم رواناب خروجی از حوضه مورد مطالعه، ارزیابی عملکرد واحد زیست‌ماند در کاهش و تاخیر دبی اوج رواناب خروجی از حوضه، ارزیابی عملکرد واحد زیست‌ماند در کاهش حجم سیلاب و نقاط سیلابی، ارزیابی گسترده واحدهای زیست‌ماند قرار داده شده در منطقه از لحاظ کاهش رواناب و افزایش نفوذ در هر کدام از این واحدهای زیست‌ماند و استخراج مساحت بهینه زهکشی شده به هر واحد زیست‌ماند و ارزیابی تاثیر تغییرات در مشخصات فنی لایه سطحی و لایه خاک واحد زیست‌ماند در عملکرد هیدرولوژیکی این روش توسعه کم اثر.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر منطقه‌ای با مساحت حدود ۶۵ هکتار می‌باشد که در شرق منطقه ۱۳ از مناطق شهرداری تهران قرار گرفته است. شهر تهران دارای آب و هوای گرم و خشک است (Ghobadian et al., 2012). بارندگی در تهران تحت تاثیر اختلاف ارتفاعی می‌باشد. مقادیر بارندگی در شمال تهران (مناطقی با ارتفاع بیشتر) ۴۲۲ میلیمتر در سال است و در جنوب تهران (مناطقی با ارتفاع کمتر) ۱۴۵ میلیمتر در سال است. منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر پایین‌تر از حد متوسط ارتفاعی شهر تهران قرار دارد (Afsari et al., 2022). مقدار

نسخه آماده انتشار

تبخیر-تعرق سالانه گیاه مرجع در منطقه مورد مطالعه در حدود ۱۴۲۵ میلیمتر می‌باشد (Modiri, 2018). همچنین منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر دارای میانگین دمای سالانه ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای حداکثر و حداقل سالانه نیز برابر ۲۳ و ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Lashkari and Keikhosravi, 2017). این منطقه دارای بافت شهری بسیار متراکم است و کاربری زمین آن عمدتا مسکونی و تجاری می‌باشد. از دلایل انتخاب این منطقه می‌توان به وقوع آبگرفتگی‌های مکرر پس از هر بارش اشاره کرد که نارضایتی شهروندان را در این منطقه موجب شده است. همچنین وجود بافت متراکم شهری که موجب تولید رواناب زیادتری می‌شد، این امکان را می‌داد که عملکرد بکارگیری روش‌های توسعه کم اثر بیشتر مورد توجه باشد. شکل (۱) منطقه مورد مطالعه و توزیع شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی شهری در مدل SWMM را نشان می‌دهد.

Figure 1. Study area and the developed SWMM model for stormwater collection system in the study area

۲-۲. محاسبات رواناب سطحی

مراحل انجام تحقیق حاضر در فلوچارت شکل (۲) نشان داده شده است. همانطور که پیشتر نیز بیان شد، در تحقیق حاضر از مدل SWMM در مدلسازی رواناب سطحی شهری استفاده شد. SWMM یک مدل بارش-رواناب برای مدلسازی اجزاء هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه آبریز (مخصوصا حوضه‌های شهری) است. این مدل همچنین توانایی مدلسازی روش‌های مختلف LID در حوضه‌های شهری را دارد و تجزیه و تحلیل پاسخ حوضه برای سناریوهای مختلف وقایع بارندگی را انجام می‌دهد (Swathi et al., 2018). در تحقیق

حاضر در راستای ارزیابی عملکرد هیدرولوژیکی بکارگیری واحد زیست‌ماند در منطقه مورد مطالعه، حوضه منطقه مورد مطالعه به ۲۳۵ زیرحوضه تقسیم شد.

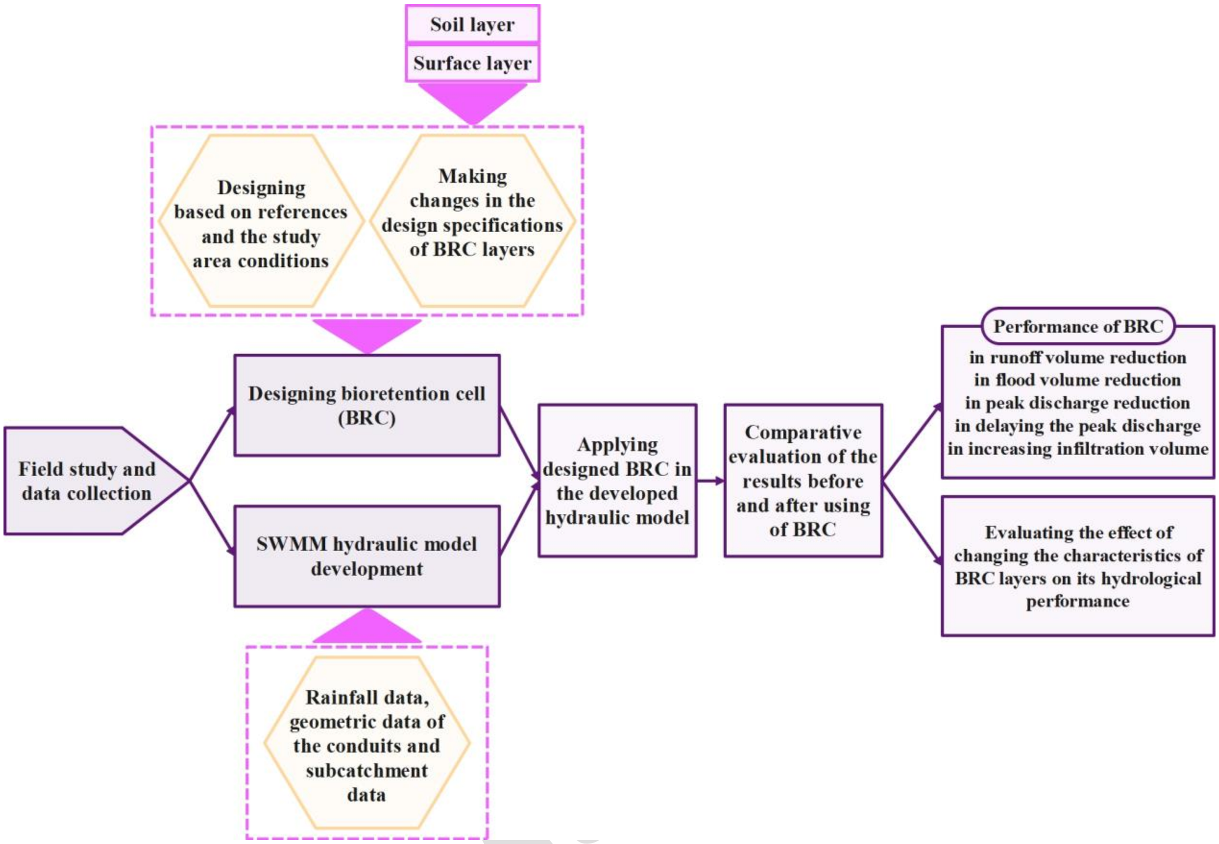

Figure 2. Flowchart of the research steps conducted in the present study

بیلان آب سطحی در SWMM با در نظر گرفتن هر زیرحوضه به عنوان یک مخزن غیرخطی ایجاد می‌شود که در آن تغییر در عمق جریان سطحی با توجه به زمان، فقط تفاوت بین ورودی بارندگی و مجموع تلفات تبخیر، نفوذ و جریان رواناب است که با استفاده از معادله مانینگ و به صورت تابعی از عمق محاسبه می‌شود. در هر زیرحوضه تعریف شده در SWMM برای محاسبه رواناب سطحی، زیرحوضه‌ها به عنوان یک کانال مستطیلی در نظر گرفته می‌شوند، به طوری که عرض زیرحوضه برابر عرض کانال مورد نظر خواهد بود. به این ترتیب با در نظر گرفته زیرحوضه به عنوان یک کانال مستطیلی هم عرض با عرض زیرحوضه، SWMM از معادله مانینگ برای محاسبه دبی رواناب زیرحوضه استفاده می‌کند (Rossman and Huber, 2016a). همچنین پارامترهای ورودی معادله مانینگ از طریق ویرایشگر زیرحوضه موجود در SWMM وارد می‌شوند.

پس از توسعه مدل آب سطحی SWMM، واسنجی و صحت سنجی برای این مدل بر اساس عمق جریان در کانال خروجی منطقه مورد مطالعه انجام شد (عمق جریان خروجی از منطقه بیان کننده هیدروگراف خروجی از منطقه است). برای این منظور ابتدا آنالیز حساسیت بر اساس حجم کل رواناب خروجی از منطقه انجام شد. از بین پارامترهای مورد بررسی دو پارامتر ذخیره چالابی و ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر به ترتیب موثرترین پارامترها در حجم رواناب خروجی از منطقه مورد مطالعه بودند. بنابراین با استفاده از پارامترهای موثر، واسنجی برای مدل توسعه یافته انجام شد. پس از واسنجی برای بررسی صحت نتایج، صحت سنجی انجام شد. واسنجی برای دو واقعه بارندگی و

صحت سنجی برای یک واقعه بارندگی انجام شد. مقادیر ارتفاع جریان در خروجی منطقه برای این وقایع بارندگی ثبت شد و مورد استفاده قرار گرفت. نتایج دقت مدل در واسنجی و صحت سنجی در جدول (۱) نشان داده شده است که بیان کننده عملکرد خوب مدل است.

Table 1. Model performance in calibration and validation stage

Stage	Number	Nash–Sutcliffe Efficiency Coefficient (-)	RMSE (m)
Calibration	1	0.775	0.002
	2	0.868	0.004
Validation	3	0.754	0.003

از جمله ورودی‌های مدل SWMM مشخصات هندسی کانال‌های جمع‌آوری رواناب سطحی شهری بود که به صورت میدانی اندازه‌گیری شد. ورودی‌های دیگر مدل SWMM اطلاعات مربوط به بارش و تبخیر می‌باشد. تبخیر به صورت مقدار ثابت روزانه در مدل تعریف شد. بارش‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر شامل بارش‌های شش ساعته با دوره‌های بازگشت دو، پنج، ۱۰ و ۲۰ ساله بود که هایتوگراف‌های این بارش‌ها در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. همچنین باید گفت که این بارش‌ها ار منحنی‌های شدت–مدت–فراوانی (IDF[۷]) منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر با استفاده از روش بلوک‌های متناوب استخراج شدند. مقادیر تجمعی عمق بارش‌ها برای بارش با دوره‌های بازگشت دو، پنج، ۱۰ و ۲۰ ساله به ترتیب برابر ۱۷/۱۴، ۲۱/۹۲، ۲۵/۵۹ و ۲۷/۶۸ میلیمتر بود.

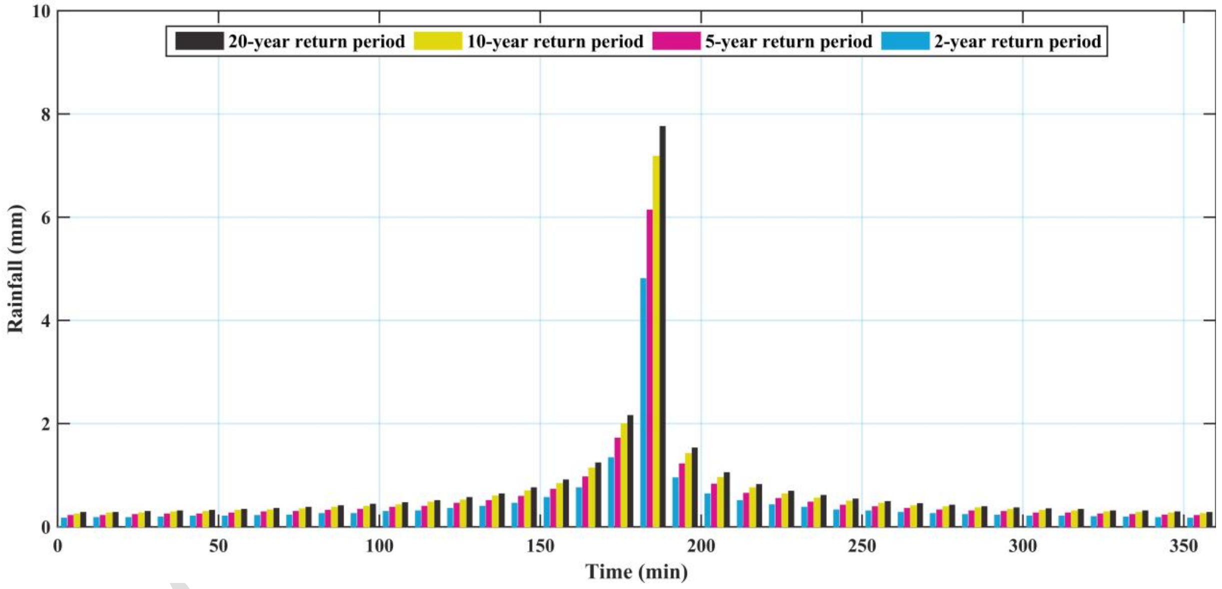

Figure 3. Rainfall hyetographs used in the present study

۲-۳. بکارگیری روش توسعه کم اثر مبتنی بر نفوذ واحد زیست‌ماند

یک واحد زیست‌ماند از نظر مفهومی از چندین لایه افقی تشکیل شده است. در ساده‌ترین حالت واحد زیست‌ماند شامل سه لایه افقی است که بر روی خاک‌های طبیعی منطقه قرار می‌گیرد. این سه لایه شامل لایه سطحی، لایه خاک و لایه ذخیره‌سازی است (شکل ٤ (Rossman and Huber, 2016b). لایه سطحی محل رشد گیاهان و همچنین محل تجمع رواناب گرفته شده از مناطق زهکشی شده به واحد

زیست‌ماند است. مشخصات لایه خاک نیز به گونه‌ای انتخاب می‌شود که علاوه بر حمایت از پوشش گیاهی موجود در داخل واحد زیست‌ماند، باید بتواند رواناب جمع‌آوری شده در لایه سطحی را در کم‌ترین زمان ممکن در خود نفوذ دهد. آخرین لایه از لایه‌های واحد زیست‌ماند، لایه ذخیره‌سازی است که در تماس با خاک‌های طبیعی منطقه خواهد بود. این لایه با هدف تامین فضای ذخیره‌سازی بیشتر برای رواناب ورودی به واحد زیست‌ماند بکار گرفته می‌شود (Hoffmann et al., 2020). در تحقیق حاضر طراحی لایه ذخیره‌سازی به صورتی بود که این لایه توانایی ذخیره کردن رواناب ناشی از بارش با دوره بازگشت دو ساله را داشت. شکل (٤) واحد زیست‌ماند بکار گرفته شده در تحقیق حاضر به همراه پارامترهای طراحی آن و همچنین جریان‌های ورودی و خروجی آن را نشان می‌دهد. همچنین باید بیان کرد که پارامترهای طراحی بر اساس منابع و شرایط محیطی منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. در تحقیق حاضر با توجه به محدودیت مکانی موجود در منطقه، ٤/١٥ درصد از سطوح منطقه مورد مطالعه با واحد زیست‌ماند جایگذاری شد. همچنین واحدهای زیست‌ماند در دو طرف تمام خیابان‌های منطقه قرار گرفتند و در خیابان‌های فرعی (کم عرض) این واحدهای زیست‌ماند رواناب ناشی از ساختمان‌های دو طرف خیابان را جمع‌آوری می‌کرد و در خیابان‌های اصلی (عریض) رواناب ناشی از همان خیابان‌ها را جمع‌آوری می‌کرد. در مجموع ١٨٢ واحد زیست‌ماند در منطقه مورد مطالعه بکار گرفته شد.

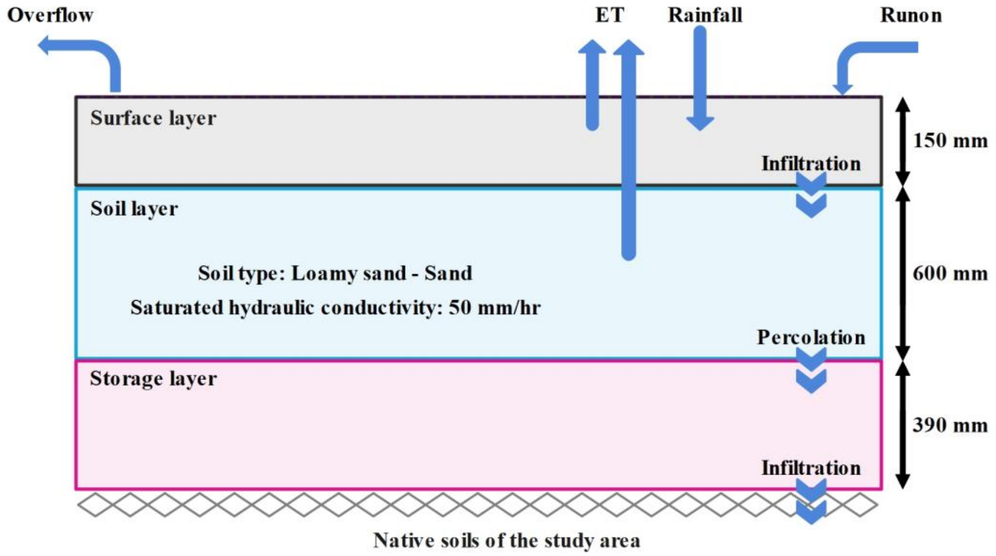

Figure 4. The bio-retention cell used in the present study (Hoffmann et al., 2020; PWD, 2014)

در تحقیق حاضر همچنین تاثیر هیدرولوژیکی ناشی از تغییرات در لایه‌های واحد زیست‌ماند نیز مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات در ضخامت لایه سطحی و تغییرات در هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک دو موردی بود که در بررسی تغییرات لایه‌ها مورد نظر قرار گرفت. تغییر ضخامت لایه سطحی در بازه صفر تا ٤٥٠ میلیمتر مورد بررسی قرار گرفت و تغییر هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک در بازه یک تا ١٢٠ میلیمتر بر ساعت مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور همانطور که پیشتر نیز بیان شد، ابتدا مشخصات لایه‌های واحد زیست‌ماند بر اساس منابع و شرایط منطقه مورد مطالعه انتخاب شد. سپس تاثیر هیدرولوژیکی ناشی از تغییر در ضخامت لایه سطحی واحد زیست‌ماند (از صفر تا ٤٥٠ میلیمتر)، با ثابت نگه داشتن سایر مشخصات انتخابی واحد زیست‌ماند مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تاثیر هیدرولوژیکی ناشی از تغییر در هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک نیز به همین روش بررسی شد. همچنین باید بیان کرد که مقادیر تغییرات صفر تا ٤٥٠

میلیمتر ضخامت لایه سطحی و یک تا ۱۲۰ میلیمتر بر ساعت هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک بر اساس مقادیر حداقل موجود و همچنین مطالعات قبلی انتخاب شد (Hoffmann et al., 2020; PWD, 2014).

۳. نتایج و بحث

۳-۱. عملکرد واحد زیست‌ماند در کنترل رواناب و افزایش نفوذ کل حوضه آبریز

عملکردهای هیدرولوژیکی قبل و بعد از بکارگیری واحدهای زیست‌ماند در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل SWMM بررسی شد و نتایج در جدول (۲) و شکل (۵) قابل مشاهد است. همانطور که در جدول (۲) بیان شده است، حجم رواناب خروجی از حوضه برای شرایط قبل از بکارگیری واحدهای زیست‌ماند برابر ٤٣٧٢ تا ٦٦١٤ متر مکعب به ترتیب برای بارش با دوره‌های بازگشت دو تا ۲۰ ساله بود. پس از بکارگیری واحدهای زیست‌ماند حجم رواناب خروجی از حوضه کاهش ۷۵ تا ٦٤ درصدی را به ترتیب برای بارش با دوره‌های بازگشت دو تا ۲۰ ساله نشان داد. این نتیجه نشان دهنده کاهش عملکرد واحد زیست‌ماند با افزایش دوره بازگشت بارش بود. همچنین همانطور که در شکل (۵-A) نشان داده شده است، بکارگیری واحدهای زیست‌ماند موجب کاهش قابل توجه حجم سیلاب (رواناب مازاد بر سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی) منطقه مورد مطالعه شد. بکارگیری واحدهای زیست‌ماند موجب حذف کامل سیلاب برای بارش با دوره‌های بازگشت دو و پنج ساله شد. برای بارش با دوره‌های بازگشت ۱۰ و ۲۰ ساله نیز حجم سیلاب به ترتیب از ٢٦٤٦ و ۳۰۳۲ متر مکعب به ۸۷ و ٢٢٦ متر مکعب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول (۲) برای هر دو بارش ۱۰ و ۲۰ ساله بعد از بکارگیری واحد زیست‌ماند تنها سه گره سیلابی در منطقه مورد مطالعه باقی ماند.

Table 2. The hydrological impact of bio-retention cell on catchment area

Scenario	Return period (year)	Runoff volume (m^3)	Infiltration volume (m^3)	Flooded node (No.)	Peak time (min)
without bio-retention	2	4372	438.6	14	204.5
	5	5439	561.7	36	203.3
	10	6201	656.6	57	202.5
	20	6614	710.5	68	201.7
with bio-retention	2	1064	1939.4	0	219.7
	5	1578	3062.4	0	216.7
	10	2126	3786.2	3	216.7
	20	2379	4198.5	3	214.7

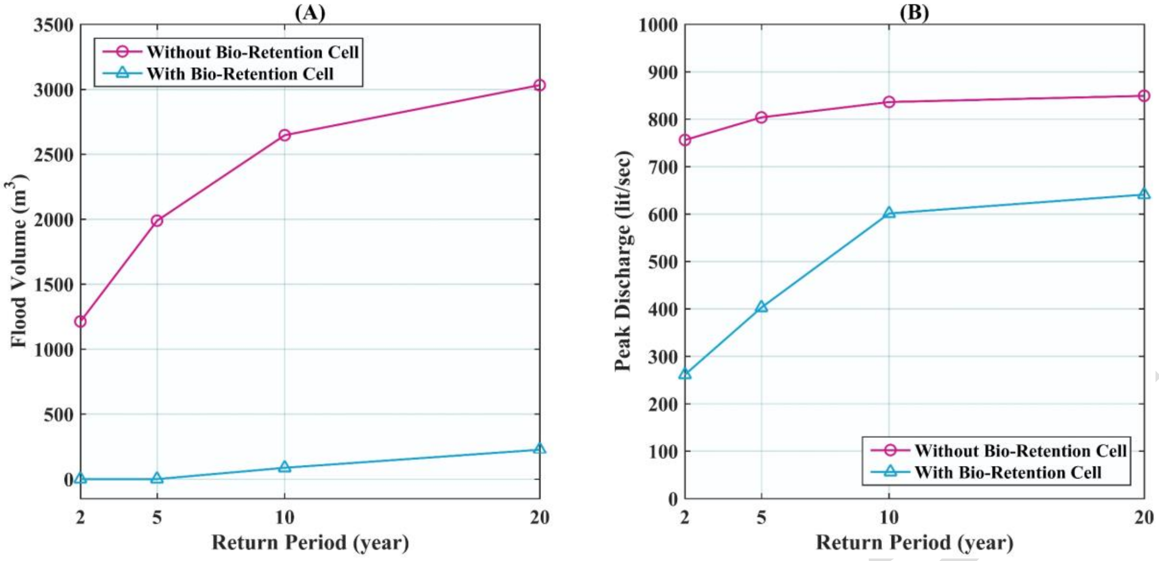

Figure 5. The hydrological impact of bio-retention cell on flood volume and peak discharge. (A) Flood volume in the study area with and without using the bio-retention cell (blue and purple curves, respectively), (B) The peak discharge in the study area with and without using the bio-retention cell (blue and purple curves, respectively).

نتیجه نگهداشت رواناب و سیلاب توسط واحد زیست‌ماند می‌تواند افزایش مقدار نفوذ باشد. مقدار نفوذ از دیگر پارامترهای مورد بررسی در کل حوضه مورد مطالعه بود. همانطور که در جدول (۲) قابل مشاهده است بکارگیری واحد زیست‌ماند موجب افزایش حجم نفوذ ۱۵۰۰ تا ۳۴۸۸ متر مکعبی در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برای بارش با دوره‌های بازگشت دو تا ۲۰ ساله شد. این نتیجه نشان داد که با افزایش دوره بازگشت بارش و در نتیجه افزایش عمق بارش، مقدار افزایش نفوذ روند صعودی دارد.

از جمله مولفه‌های رواناب خروجی از منطقه مورد مطالعه جریان اوج است که در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفت. مقدار کاهش در اوج رواناب خروجی از حوضه منطقه مورد مطالعه پس از بکارگیری واحد زیست‌ماند در شکل (B-۵) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نیز قابل مشاهده است، واحد زیست‌ماند موجب کاهش ٦٥ تا ۲۵ درصدی اوج رواناب خروجی از حوضه به ترتیب برای بارش با دوره‌های بازگشت دو تا ۲۰ ساله شد. این نتیجه نشان دهنده روند کاهشی عملکرد واحد زیست‌ماند در کاهش اوج رواناب با بزرگ‌تر شدن بارش می‌باشد. همانطور که در جدول (۲) قابل مشاهده است زمان رسیدن دبی اوج نیز پس از بکارگیری واحد زیست‌ماند دچار تاخیر شد. همانند اوج رواناب، تاخیر در دبی اوج نیز با افزایش دوره بازگشت روند نزولی داشت. در تحقیق دیگری نیز این روندهای نزولی در کاهش و تاخیر دبی اوج مشاهده شد. در تحقیقی که Huang et al. (2018) در تایوان انجام دادند نشان دادند که برای بارش با دوره‌های بازگشت دو تا ۲۰۰ ساله، واحد زیست‌ماند می‌تواند موجب کاهش دبی اوج ۲۹/۸ تا ۵/۸ درصدی شود. این روند نزولی عملکرد واحد زیست‌ماند با افزایش دوره بازگشت بارش در تحقیق حاضر نیز مشاهده شد. Huang et al. (2018) همچنین همانند تحقیق حاضر نشان دادند که واحد زیست‌ماند در تاخیر دبی اوج نیز با بزرگ‌تر شدن بارش عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان می‌دهد.

مطالعات دیگری نیز در ارزیابی عملکرد واحد زیست‌ماند در شهر تهران صورت گرفته است، از جمله مطالعه‌ای که در محدوده شهری متراکم شهر تهران توسط Mani et al. (2019) انجام شد. آن‌ها از دو روش توسعه کم اثر روسازی متخلخل و واحد زیست‌ماند در منطقه مورد مطالعه خود استفاده کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که بکارگیری همزمان این دو روش توسعه کم اثر می‌تواند موجب کاهش ۲۰/۸ درصدی حجم رواناب برای بارش با دوره بازگشت ۲۵ ساله گردد. از جمله دلایلی که باعث عملکرد پایین‌تر نتیجه Mani et al. (2019)

نسبت به تحقیق حاضر بود، انتخاب بارش بزرگتر برای تحقیق آن‌ها بود. همانطور که پیشتر نیز گفته شد عملکرد کاهش رواناب ناشی از بکارگیری روش‌هایی توسعه کم اثر (واحد زیست‌ماند) با بزرگ‌تر شدن بارش روند نزولی دارد. تفاوت نتایج تحقیق Mani et al. (2019) و تحقیق حاضر همچنین می‌تواند ناشی از فشرده‌تر بودن پوشش گیاهی لایه سطحی واحد زیست‌ماند آن‌ها نسبت به تحقیق حاضر باشد. فشرده‌تر بودن پوشش گیاهی لایه سطحی می‌تواند موجب کاهش حجم در دسترس برای لایه سطحی شود. همچنین باید توجه داشت که در تحقیق حاضر و تحقیق Mani et al. (2019) ضخامت لایه سطحی یکسان بوده و برابر ۱۵۰ میلیمتر بود.

در تحقیقی دیگر Movahedinia et al. (2019) نیز واحد زیست‌ماند را در شرق شهر تهران بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد واحد زیست‌ماند موجب حذف کامل سیلاب برای بارش با دوره بازگشت دو ساله می‌شود. با این حال واحد زیست‌ماند در بارش با دوره‌های بازگشت پنج و ۱۰ ساله عملکرد ضعیف‌تری داشت و به ترتیب موجب کاهش سیلاب ۷۴ و ۵۲ درصد شد. با این وجود در تحقیق حاضر با بکارگیری واحد زیست‌ماند سیلاب برای بارش با دوره بازگشت‌های دو و پنج ساله کاملا حذف شد و در بارش با دوره بازگشت ۱۰ ساله نیز سیلاب بیش از ۹۰ درصد کاهش داشت. لایه خاک در واحد زیست‌ماند تحقیق Movahedinia et al. (2019) دارای هدایت هیدرولیکی اشباع کمتری نسبت به تحقیق حاضر بود. این تفاوت نشان دهنده اهمیت طراحی مناسب واحد زیست‌ماند بر اساس نوع خاک‌های زیرین منطقه مورد مطالعه است. در مدلسازی واحد زیست‌ماند تحقیق حاضر مشخصات لایه خاک واحد زیست‌ماند با توجه به نوع خاک‌های زیرین منطقه (شنی و ماسه‌ای) انتخاب شد و همچنین از هدایت هیدرولیکی اشباع بالایی برخوردار بود.

۳-۲. بررسی تاثیر هیدرولوژیکی مقدار مساحت زهکشی شده به هر یک از واحدهای زیست‌ماند

همانطور که قبلا گفته شد در مدل SWMM توسعه داده شده برای منطقه مورد مطالعه، ۱۸۲ واحد زیست‌ماند در دو طرف خیابان‌های منطقه قرار گرفت. به هر یک از واحدهای زیست‌ماند یک زیرحوضه متصل بود و رواناب تولید شده در هر زیرحوضه به واحد زیست‌ماند مختص همان زیرحوضه منتقل می‌شد. سپس واحد زیست‌ماند تمام یا قسمتی از این رواناب را در خود نگهداشته و در مدت زمانی مناسب این رواناب نگهداشته شده در خاک‌های طبیعی منطقه نفوذ می‌کرد. شکل (٦) عملکرد کاهش رواناب در هر یک از واحدهای زیست‌ماند را نشان می‌دهد. محور عمودی این شکل درصد کاهش رواناب ورودی به هر یک از ۱۸۲ واحد زیست‌ماند در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. محور افقی نیز نسبت مساحت زیرحوضه به مساحت واحد زیست‌ماند مختص خود آن زیرحوضه را نشان می‌دهد. هرچه مقدار در محور افقی بیشتر باشد نشان دهنده ورود رواناب بیشتری به واحد زیست‌ماند مورد نظر است. همانطور که از شکل (A-٦) قابل مشاهده است برای بارش با دوره بازگشت دو ساله، واحد زیست‌ماند ۱۰۰ درصد رواناب تولیدی از زیرحوضه‌هایی که تا حدود ۲۲ برابر بزرگتر از واحد زیست‌ماند مختص خود بودند را نگهداشت. با بزرگ‌تر شدن زیرحوضه‌هایی که به واحد زیست‌ماند مختص خود زهکشی می‌شدند (نسبت مساحت بیشتر از ۲۲ برابر)، عملکرد نگهداشت رواناب در واحدهای زیست‌ماند کاهش یافت و بنابراین روند نزولی نمودارها ایجاد شد. مقدار بهینه نسبت مساحت زیرحوضه به مساحت واحد زیست‌ماند در بارش با دوره بازگشت دو ساله برابر ۲۲ بود و این نقطه بیشترین مساحت زیرحوضه‌ای است که می‌تواند به واحد زیست‌ماند متصل شود بدون این که عملکرد نگهداشت رواناب واحد زیست‌ماند کاهش یابد. این نقاط بهینه برای بارش با دوره‌های بازگشت پنج، ۱۰ و ۲۰ ساله به ترتیب برابر حدود ۱۷/۵، ۱۵ و ۱٤ بود.

همانطور که گفته شد در قسمت افقی نمودارها (قبل نقطه بهینه) تمامی رواناب‌های ورودی به واحد زیست‌ماند نگهداشته می‌شوند. بعد از نقطه بهینه عملکرد واحد زیست‌ماند به دلیل افزایش ورودی رواناب با افزایش مساحت زهکشی شده، شروع به کاهش کرد. تحقیقات گذشته همانند تحقیقات Davis (2008) و Davis et al. (2012) نیز نشان داده‌اند که واحدهای زیست‌ماند مشابه تحقیق حاضر تا یک اندازه معین از رواناب را در خود نگه می‌دارند و رواناب‌های بزرگ‌تر موجب سرریز کردن واحد زیست‌ماند خواهند شد.

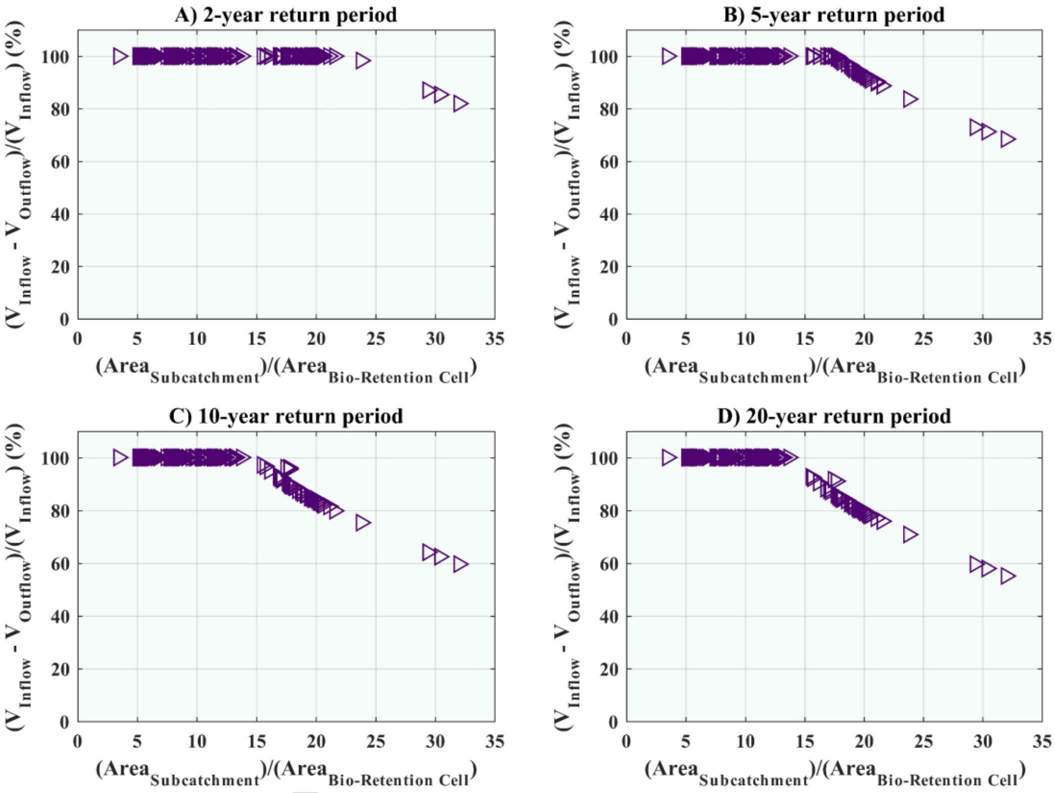

Figure 6. Bio-retention cell runoff reduction performance change due to the change in the subcatchment area which is draining to the bio-retention cell. The vertical axis represents the percentage of runoff reduction in each bio-retention cell. The horizontal axis shows the ratio of the subcatchment's area ($A_{Subcatchment}$) to the area of the bio-retention cell ($A_{Bio\text{-}Retention}$) corresponding to that subcatchment. V_{Inflow} and $V_{Outflow}$ indicate the inflow runoff and outflow runoff volume of bio-retention cells, respectively.

شکل (۷) نیز ساختاری همانند شکل (٦) دارد. با این تفاوت که محور عمودی نشان دهده درصد تبدیل رواناب ورودی واحد زیست‌ماند به نفوذ است. مطابق این شکل زمانی مقدار نفوذ در هر یک از واحدهای زیست‌ماند حداکثر است که نسبت مساحت زیرحوضه به مساحت واحد زیست‌ماند برابر حدود ٢٤، ١٧/٥، ١٦ و ١٤ به ترتیب برای بارش با دوره‌های بازگشت دو، پنج، ۱۰ و ۲۰ ساله باشد. این نقاط بیانگر نقاط بهینه‌ای است که مقدار نفوذ در هر یک از واحدهای زیست‌ماند به حداکثر خود نزدیک می‌شود.

همانطور که در نمودارهای شکل (۷) مشاهده می‌شود، این نمودارها از دو قسمت صعودی و نزولی تشکیل شده‌اند. نقاط حداکثر این نمودارها همان نقاط بهینه از نظر مقدار نفوذ هستند و واحد زیست‌ماند در این نقاط بیشترین نفوذ را ایجاد می‌کند. اما در قسمت صعودی نمودار که قبل از نقطه بهینه قرار دارد با افزایش مساحت زهکشی شده به واحد زیست‌ماند و در نتیجه افزایش رواناب ورودی به آن، سهم تبخیر از رواناب جمع‌آوری شده در داخل واحد زیست‌ماند کاهش می‌یابد و این روند تا نقطه بهینه ادامه می‌یابد. رواناب در چند ساعت

اولیه از شروع بارش وارد واحد زیست‌ماند می‌شود. رواناب ورودی ظرفیت نگهداشت رواناب واحد زیست‌ماند را پر کرده و رواناب مازاد از واحد زیست‌ماند خارج می‌شود. پس از آن تنها دو جریان خروجی از واحد زیست‌ماند (شامل نفوذ و تبخیر) باقی می‌ماند. شدت نفوذ با گذشت زمان کاسته شده تا به مقدار ثابت نهایی خود برسد. همچنین با توجه به این که مقدار تبخیر به صورت مقدار ثابت روزانه در مدل تعریف شده است، وابسته به حجم اولیه رواناب ذخیره شده در داخل واحد زیست‌ماند این مقدار ثابت تبخیر می‌تواند اثر کم یا زیادی داشته باشد. اگر رواناب اولیه ذخیره شده در داخل واحد زیست‌ماند حجم کمی داشته باشد مقدار ثابت تبخیر اثر بیشتری خواهد داشت و سهم بیشتری از رواناب را به خود اختصاص خواهد داد. با افزایش حجم اولیه رواناب ذخیره شده در داخل واحد زیست‌ماند تاثیر مقدار ثابت تبخیر کاهش می‌یابد. این امر موجب صعودی بودن قسمت اول نمودارها تا نقطه بهینه می‌شود. باید گفت که حجم رواناب ورودی به واحدهای زیست‌ماند زمانی زیادتر خواهد بود که مساحت بیشتری به داخل این واحدها زهکشی شود (یعنی نسبت مساحت بیشتر و عدد بیشتر در محور افقی نمودارهای شکل ۷). همچنین بعد از نقطه بهینه با توجه به این که رواناب ورودی افزایش می‌یابد، ظرفیت واحد زیست‌ماند پر شده و مازاد رواناب از واحد زیست‌ماند خارج می‌شود و به نفوذ تبدیل نمی‌گردد. هرچه رواناب بیشتری به صورت مازاد از واحد زیست‌ماند خارج شود سهم نفوذ از رواناب ورودی کم‌تر خواهد بود که موجب روند نزولی نمودارها بعد از نقطه بهینه (حداکثر نفوذ) می‌شود.

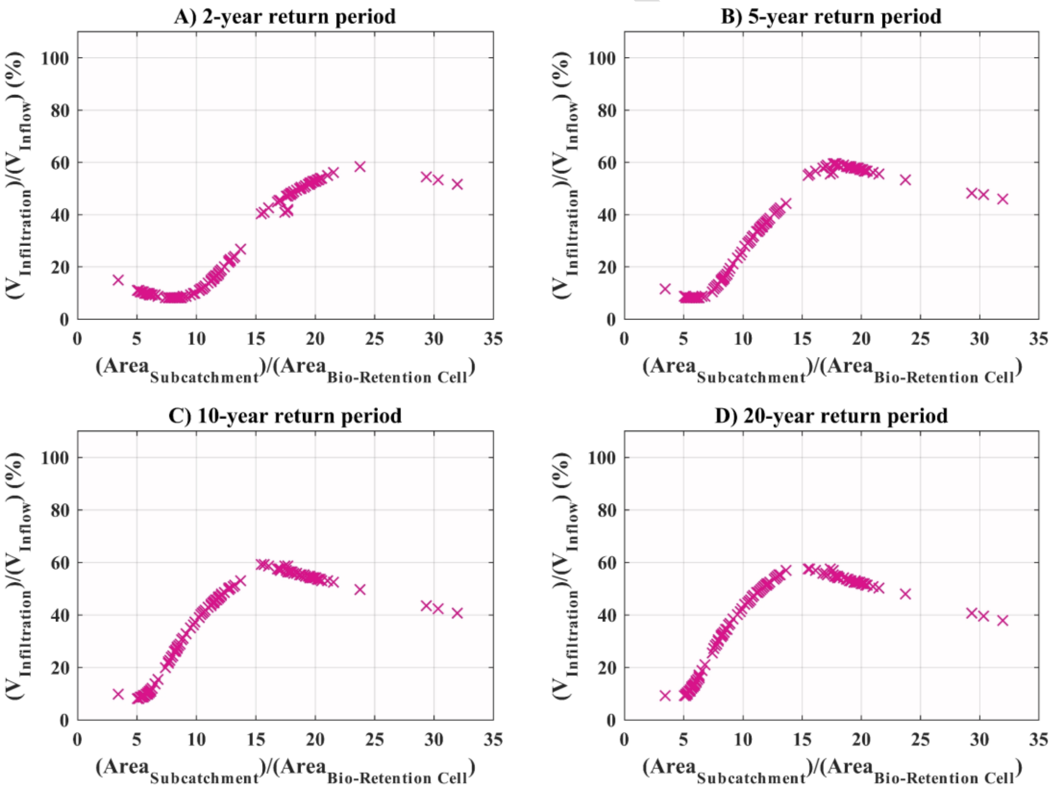

Figure 7. Bio-retention cell infiltration performance change due to the change in the subcatchment area which is draining to the bio-retention cell. The vertical axis shows the percentage of runoff infiltration in each bio-retention cell. The horizontal axis shows the ratio of the subcatchment's area ($A_{Subcatchment}$) to the area of the bio-retention cell ($A_{Bio\text{-}Retention}$) corresponding to that subcatchment. V_{Inflow} and $V_{Infiltration}$ indicate the inflow runoff and infiltration volume of bio-retention cells, respectively.

۳-۳. تاثیر مشخصات فنی لایه‌های واحد زیست‌ماند بر عملکرد هیدرولوژیکی آن

شکل (۸) تاثیر تغییر ضخامت لایه سطحی واحد زیست‌ماند در حجم رواناب خروجی از حوضه و همچنین حجم نفوذ در کل منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (A-۸) نشان داده شده است با افزایش ضخامت لایه سطحی واحد زیست‌ماند مقدار رواناب خروجی از حوضه مورد مطالعه روند نزولی دارد. بنابراین افزایش ضخامت لایه سطحی موجب ظرفیت نگهداشت رواناب زیادتر در واحد زیست‌ماند شده است. با این حال از حدود ضخامت ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر به بعد، افزایش ضخامت لایه سطحی تاثیر بسیار کمی در کاهش رواناب داشته است. این تاثیر کم می‌تواند ناشی از کافی بودن ضخامت حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتری برای ذخیره کردن رواناب ناشی از بارش‌های تحقیق حاضر باشد. در صورت انتخاب بارش‌های بزرگ‌تر ظرفیت بیشتری برای نگهداشت رواناب مورد نیاز خواهد بود. همچنین باید گفت که رواناب‌های نشان داده شده در شکل (A-۸) برای بارش‌های مختلف کمتر از رواناب‌های خروجی از حوضه در حالت بدون واحد زیست‌ماند است که پیشتر در جدول (۲) نشان داده شده بود.

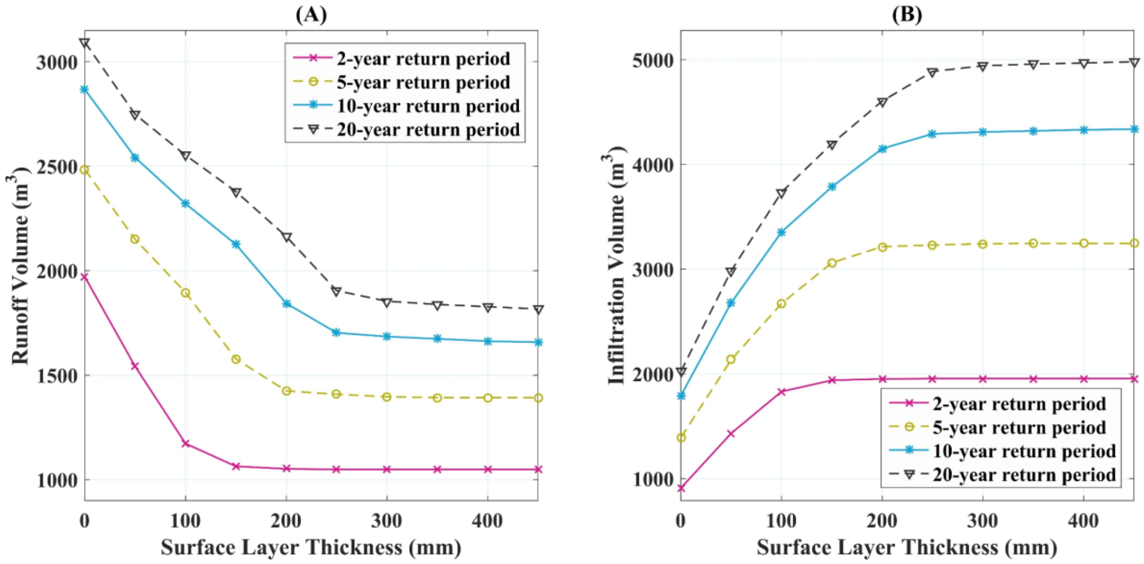

Figure 8. The impact of changes in the surface layer thickness of the bio-retention cell on its hydrological performance. (A) The impact of change in the surface layer thickness of the bio-retention cell on the total runoff volume, (B) The impact of change in the surface layer thickness of the bio-retention cell on the total infiltration volume.

شکل (B-۸) مقدار نفوذ ایجاد شده در منطقه مورد مطالعه بعد از نگهداشت رواناب در واحد زیست‌ماند را نشان می‌دهد. در این نمودارها نیز همانند شکل (A-۸) از حدود ضخامت ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر، نمودارها حالت تقریبا افقی به خود گرفته‌اند. این مورد نیز همانند نمودارهای شکل (A-۸) ناشی از کافی بودن ضخامت حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتری برای گرفتن رواناب بارش‌های تحقیق حاضر می‌باشد. بنابراین چون حداکثر رواناب ممکن در حدود ضخامت ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلیمتر لایه سطحی واحد زیست‌ماند نگهداشته شده است، حداکثر مقدار نفوذ نیز در در همین حدود ضخامت رخ داده اشت. همچنین باید گفت که مقادیر نفوذ نشان داده شده در شکل (B-۸) برای بارش‌های مختلف بیشتر از نفوذهای ایجاد شده در حالت بدون واحد زیست‌ماند منطقه مورد مطالعه است که پیشتر در جدول (۲) نشان داده شده بود.

جدول (۳) تاثیر تغییر هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک واحد زیست‌ماند در عملکرد هیدرولوژیکی آن در سطح حوضه را نشان می‌دهد. همانطور که در این جدول قابل مشاهده است با افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک، واحد زیست‌ماند درصد بیشتری از

رواناب خروجی از حوضه را کاهش می‌دهد. همچنین عملکردی مشابه در کاهش حجم سیلاب و کاهش دبی اوج نیز مشاهده شد که در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج تحقیق Gülbaz and Kazezyılmaz-Alhan (2017) همانند تحقیق حاضر نشان داد که که انواع مختلف خاک بکار گرفته شده در واحد زیست‌ماند (تحت بارش‌های مختلف) تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد هیدرولوژیکی واحد زیست‌ماند دارد. این نکته قابل ذکر است که انواع مختلف خاک‌ها دارای هدایت هیدرولیکی اشباع مختلفی هستند.

عملکرد هیدرولوژیکی واحد زیست‌ماند با افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک روند صعودی دارد. این روند صعودی ناشی از آن است که لایه خاک در مقادیر بالای هدایت هیدرولیکی اشباع، سریع‌تر رواناب گرفته شده را در خود نفوذ می‌دهد و موجب کاهش بیشتر رواناب، سیلاب و اوج رواناب خروجی از حوضه می‌شود. این موضوع به ویژه زمانی که واحد زیست‌ماند دچار رسوب‌گذاری و گرفتگی منافذ لایه خاک می‌شود، اهمیت پیدا می‌کند. همانطور که در تحقیق Roy-Poirier et al. (2010) بیان شده است، هدایت هیدرولیکی لایه خاک پس از ساخت واحدهای زیست‌ماند دچار کاهش می‌شود. جدول (۳) می‌تواند راهنمای مناسبی برای تعیین عملکرد واحد زیست‌ماندی باشد که دچار گرفتگی است و هدایت هیدرولیکی اشباع آن مقادیر مختلفی می‌تواند داشته باشد.

Table 3. Changes in the soil layer saturated hydraulic conductivity of the bio-retention cell and its impact on the bio-retention cell hydrological performance

Hydrological Impact	Return period (year)	Saturated hydraulic conductivity (mm/hr)				
		1	10	30	70	120
Runoff volume reduction (%)	2	50.5	67.3	75.3	75.9	76
	5	40	55.4	66.7	73.7	74.1
	10	36.1	50.8	60.2	69.4	72.4
	20	34.8	48.6	58	66.7	70.6
Peak discharge reduction (%)	2	31.7	59.4	64.9	66.4	66.5
	5	17.6	24.1	40.9	55.6	56.5
	10	13	18.7	25.7	37.7	46.7
	20	10.7	16.3	22.6	29.8	38.3
Flood volume reduction (%)	2	99.8	100	100	100	100
	5	81.4	93.9	100	100	100
	10	65.9	83.2	93.7	99.7	100
	20	58.2	77	89.2	97.5	99.8

٤. نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر از مدل SWMM در بررسی هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه استفاده شد. پس از توسعه مدل برای منطقه مورد مطالعه، واحد زیست‌ماند در این مدل بکار گرفته شد. به این ترتیب امکان بررسی شرایط هیدرولوژیکی منطقه برای قبل و بعد از بکارگیری واحد زیست‌ماند فراهم شد. در تحقیق حاضر واحدهای زیست‌ماند همانند مخازنی کوچک در دو طرف تمام خیابان‌های منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر قرار گرفت و رواناب ناشی از ساختمان‌های دو طرف خیابان و همچنین خیابان‌های بزرگ را دریافت کرد. بکارگیری واحد زیست‌ماند موجب کاهش حجم رواناب و حجم سیلاب شد و همچنین موجب افزایش حجم نفوذ برای کل منطقه مورد مطالعه گشت. واحد زیست‌ماند

نسخه آماده انتشار

همچنین موجب کاهش ٦٥ تا ٢٥ درصدی دبی اوج رواناب خروجی از منطقه به ترتیب برای بارش با دوره‌های بازگشت دو تا ٢٠ ساله شد. این نتایج نشان داد که واحد زیست‌ماند امکان بازیابی چرخه هیدرولوژیکی طبیعی در مناطق شهری را دارد.

در تحقیق حاضر ١٨٢ واحد زیست‌ماند در منطقه مورد مطالعه جایگذاری شد. بررسی مساحت بهینه زهکشی شده به واحدهای زیست‌ماند نشان داد که برای به حداکثر رساندن عملکرد واحد زیست‌ماند از لحاظ کاهش رواناب، مساحت زهکشی شده به واحدهای زیست‌ماند باید ٢٢ تا ١٤ برابر مساحت خود واحد زیست‌ماند به ترتیب برای بارش با دوه‌های بازگشت دو تا ٢٠ ساله باشد. در راستای بهینه کردن مقدار نفوذ نیز مساحت زهکشی شده به واحدهای زیست‌ماند باید ٢٤ تا ١٤ برابر مساحت خود واحد زیست‌ماند به ترتیب برای همان بارش‌ها باشد.

در تحقیق حاضر عملکرد هیدرولوژیکی واحد زیست‌ماند تحت تاثیر تغییرات فنی در لایه سطحی و لایه خاک آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت لایه سطحی واحد زیست‌ماند، امکان نگهداشت رواناب بیشتر و ایجاد نفوذ بیشتر وجود دارد. با این حال از حدود ضخامت ٢٠٠ تا ٣٠٠ میلیمتری، افزایش ضخامت لایه سطحی تاثیر بسیار کمی در افزایش نگهداشت رواناب و افزایش نفوذ داشت. در تحقیق حاضر تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع در لایه خاک و تاثیر آن بر عملکرد هیدرولوژیکی واحد زیست‌ماند نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع لایه خاک امکان افزایش عملکرد واحد زیست‌ماند از لحاظ کاهش رواناب و سیلاب (رواناب مازاد بر سیستم جمع‌آوری آب‌های سطحی) و همچنین افزایش نفوذ وجود دارد.

٥. پیشنهادها

در تحقیق حاضر بررسی‌ها برای وقایع بارندگی منفرد بود. بنابراین در صورت وجود بارش‌های متوالی امکان تغییر در عملکرد واحدهای زیست‌ماند بکار گرفته شده وجود داشت. بارش پیشین موجب پر شدن ذخیره آب واحد زیست‌ماند شده و در نتیجه امکان خروج رواناب بیشتر از واحد زیست‌ماند را ایجاد می‌کند. این امر می‌تواند تحریک کننده تولید سیلاب بیشتر در منطقه باشد. بنابراین تحقیقات بیشتر در زمینه وجود بارش‌های متوالی لازم خواهد بود.

از دیگر موضوعاتی که می‌تواند عملکرد واحد زیست‌ماند را بیشتر مشخص کند بررسی طولانی مدت این روش توسعه کم اثر است. در صورت بررسی با وجود داده‌های بارش واقعی برای یک یا چند سال هیدرولوژیکی کامل، امکان نمایان ساختن عملکرد طولانی مدت واحدهای زیست‌ماند فراهم خواهد گشت.

٦. پی‌نوشت‌ها

1. Low impact development (LID)

2. Guangdong

3. Tianjin

4. Bio-retention cell (BRC)

5. University of Maryland

6. Storm water management model (SWMM)

7. Intensity-duration-frequency

۷. منابع

Afsari, R., Nadizadeh Shorabeh, S., Kouhnavard, M., Homaee, M., & Arsanjani, J. J. (2022). A spatial decision support approach for flood vulnerability analysis in urban areas: a case study of Tehran. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 11*(7), 380.

Chen, Y., Zhou, H., Zhang, H., Du, G., & Zhou, J. (2015). Urban flood risk warning under rapid urbanization. *Environmental Research, 139*, 3-10.

Davis, A. P. (2008). Field performance of bioretention: hydrology impacts. *Journal of Hydrologic Engineering, 13*(2), 90-95.

Davis, A. P., Traver, R. G., Hunt, W. F., Lee, R., Brown, R. A., & Olszewski, J. M. (2012). Hydrologic performance of bioretention storm-water control measures. *Journal of Hydrologic Engineering, 17*(5), 604-614.

de Macedo, M. B., do Lago, C. A. F., & Mendiondo, E. M. (2019). Stormwater volume reduction and water quality improvement by bioretention: potentials and challenges for water security in a subtropical catchment. *Science of the Total Environment, 647*, 923-931.

DeBusk, K., & Wynn, T. (2011). Storm-water bioretention for runoff quality and quantity mitigation. *Journal of Environmental Engineering, 137*(9), 800-808.

Eckart, K., McPhee, Z., & Bolisetti, T. (2017). Performance and implementation of low impact development–a review. *Science of the Total Environment, 607*, 413-432.

Feng, B., Zhang, Y., & Bourke, R. (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards, 106*(1), 613–627.

Ghobadian, V., Taghi, N., & Ghodsi, M. (2007). *Tehran: a hot arid climate*. London: Routledge.

Gülbaz, S., & Kazezyılmaz-Alhan, C. M. (2017). Experimental investigation on hydrologic performance of LID with rainfall-watershed-bioretention system. *Journal of Hydrologic Engineering, 22*(1), D4016003.

Hoffmann, G., Gardner, L., Espie, M., & Dunbar, J. (2020). *Stormwater management guidebook*. Washington, DC: Department of Energy and Environment.

Huang, C.-L., Hsu, N.-S., Liu, H.-J., & Huang, Y.-H. (2018). Optimization of low impact development layout designs for megacity flood mitigation. *Journal of Hydrology, 564*, 542-558.

Hunt, W., Smith, J., Jadlocki, S., Hathaway, J., & Eubanks, P. (2008). Pollutant removal and peak flow mitigation by a bioretention cell in urban Charlotte, NC. *Journal of Environmental Engineering, 134*(5), 403-408.

Lashkari, H., & Keikhosravi, G. (2017). Changing temperature trend and zoning beginning, end of the glacial in Tehran. *Journal of Natural Environmental Hazards, 6*(14), 63-86. (In Persian).

Luo, P., Luo, M., Li, F., Qi, X., Huo, A., Wang, Z., He, B., Takara, K., Nover, D., & Wang, Y. (2022). Urban flood numerical simulation: Research, methods and future perspectives. *Environmental Modelling & Software, 156*, 105478.

Mani, M., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. (2019). A new framework for the optimal management of urban runoff with low-impact development stormwater control measures considering service-performance reduction. *Journal of Hydroinformatics, 21*(5), 727-744.

Modiri, E. (2018). Estimation of reference crop evapotranspiration (ET0) at synoptic stations of Tehran province. *Human & Environment*, *16*(3), 125-134. (In Persian).

Movahedinia, M., Samani, J. M. V., Barakhasi, F., Taghvaeian, S., & Stepanian, R. (2019). Simulating the effects of low impact development approaches on urban flooding: a case study from Tehran, Iran. *Water Science and Technology, 80*(8), 1591-1600.

PWD, C. o. P. (2014). *Stormwater management guidance manual - version 2.1*. Philadelphia, PA: Philadelphia Water Department.

Rossman, L., & Huber, W. (2016a). *SWMM reference manual volume I—hydrology*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.

Rossman, L., & Huber, W. (2016b). *SWMM reference manual volume III—water quality*. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency.

Roy-Poirier, A., Champagne, P., & Filion, Y. (2010). Review of bioretention system research and design: past, present, and future. *Journal of Environmental Engineering, 136*(9), 878-889.

Shuster, W. D., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. (2005). Impacts of impervious surface on watershed hydrology: a review. *Urban Water Journal, 2*(4), 263-275.

Swathi, V., Raju, K. S., & Singh, A. P. (2018). Application of storm water management model to an urban catchment. In: *Proceeding of International Conference on Water Environment Energy and Society (ICWEES)*, 15th March, AISECT University, Bhopal, India, 175-184.

Willard, L., Wynn-Thompson, T., Krometis, L., Neher, T., & Badgley, B. (2017). Does it pay to be mature? Evaluation of bioretention cell performance seven years postconstruction. *Journal of Environmental Engineering, 143*(9), 04017041.

Yang, B., Zhang, T., Li, J., Feng, P., & Miao, Y. (2023). Optimal designs of LID based on LID experiments and SWMM for a small-scale community in Tianjin, north China. *Journal of Environmental Management, 334*, 117442.

Yang, Y., & Chui, T. F. M. (2018). Optimizing surface and contributing areas of bioretention cells for stormwater runoff quality and quantity management. *Journal of Environmental Management, 206*, 1090-1103.

Yin, D., Evans, B., Wang, Q., Chen, Z., Jia, H., Chen, A. S., & Fu, G. (2020). Integrated 1D and 2D model for better assessing runoff quantity control of low impact development facilities on community scale. *Science of the Total Environment, 720*, 137630.

Zhu, Z., Chen, Z., Chen, X., & Yu, G. (2019). An assessment of the hydrologic effectiveness of low impact development (LID) practices for managing runoff with different objectives. *Journal of Environmental Management, 231*, 504-514.

Zhuang, Q., Li, M., & Lu, Z. (2023). Assessing runoff control of low impact development in Hong Kong's dense community with reliable SWMM setup and calibration. *Journal of Environmental Management, 345*, 118599.

Investigating the Performance of Bio-Retention Cell on Peak Discharge Under Different Design Criteria

Milad Mehri[1], Seyed Mehdy Hashemy Shahdany[2*], Saman Javadi[3]

1. M.Sc. Graduate, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran.

Abstract

Low impact development (LID) methods are among the runoff control measures. The bio-retention cell is one of the low impact development methods that has been noticed due to the significant reduction in runoff volume and increase in infiltration. However, the overall performance of the bio-retention cell varies in different areas and different designs. In the present study, the performance of bio-retention cells was evaluated under different design conditions. Also, the SWMM model was used in the modeling of the study area (east of Tehran city) to evaluate the performance of the bio-retention cells. The results of the present study showed that the bio-retention cells are capable of reducing flood and increasing infiltration. Floods in the study area were completely eliminated after using the bio-retention cell for rainfall with a return period of two and five years, and for rainfall with a return period of 10 and 20 years, the flood volume was reduced by more than 90 percent. Bio-retention cells reduced the peak discharge by 65 to 25 percent for rainfall with a return period of two to 20 years. The results also showed that by increasing the thickness of the surface layer of the bio-retention cell, there would be even more runoff reduction. For rainfall with a return period of 20 years, increasing the thickness of the surface layer from zero to 450 mm caused a 41 percent decrease in runoff volume and a 1.5 times increase in infiltration. Increasing the saturated hydraulic conductivity of the soil layer of the bio-retention cell also increases the performance of this low impact development method. The present study shows that the use of infiltration based low impact development methods, such as bio-retention cell, can help in improving the hydrological conditions of urban areas.

Keywords: Bio-retention cell; Stormwater management; SWMM model; Urban flood; Urban hydrology

* mehdi.hashemy@ut.ac.ir