بررسی اثرات روش‌های توسعه کم‌اثر بر خصوصیات رواناب شهری (منطقه مورد مطالعه: بخش جنوب غربی منطقه ۹ شهرداری مشهد)

احسان نجیب، دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد
محمد رستمی خلج*، استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
ابوالفضل مساعدی، استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
محمدتقی دستورانی، استاد گروه آموزشی مرتع و آبخیزداری، دانشگاه فردوسی مشهد
*تلفن نویسنده اصلی:۰۹۱۵۸۱۶۵۴۱۱، پست الکترونیکی: m.rostamikhalaj@rreeo.ac.ir

چکیده

رویکرد استفاده از روش‌هایی که به‌توان با استفاده از آنها خطرات آبگرفتگی شهری را کاهش داد و از این منبع آب برای تقویت سفره‌های آب زیرزمینی استفاده کرد مورد توجه مدیران و مسئولان شهری قرار گرفته است. اما انتخاب این روش‌ها با توجه به میزان هزینه صرف شده و تاثیر آن برکاهش خطرات آبگرفتگی شهری نیاز به مطالعه و بررسی فراوان دارد. از این رو، هدف از این مطالعه برآورد بارش-رواناب در حوضه جنوب غربی منطقه ۹ شهر مشهد و بررسی تاثیر روش های توسعه کم‌اثر بر رواناب شهری با استفاده از مدل SWMM، می‌باشد. پس از مدل‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی، اثر ۳ سناریو شامل: تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت، روکش نفوذپذیر و آسفالت متخلخل جهت تحلیل کمی در دوره بازگشت‌های مختلف بارندگی، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد سناریوی روکش نفوذپذیر تاثیر کمتری بر دبی اوج دارد، سناریوی جنگل دست کاشت نیز در دوره بازگشت‌های پایین می‌توانند تاثیر به‌سزایی در کاهش دبی اوج داشته باشند، اما در دوره بازگشت‌های بالا از تأثیر آن کاسته می‌شود. سناریوی آسفالت متخلخل در کاهش پارامتر دبی اوج و حجم رواناب خروجی در دوره بازگشت‌های مختلف عملکرد خوبی داشته است. اما سناریوی تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت نسبت به سناریوهای دیگر در کاهش حجم رواناب خروجی عملکرد بهتری دارد. پیشنهاد می‌شود که با توجه به شرایط منطقه و هزینه احداث سناریوهای مختلف و نتایج حاصل از این مطالعه سناریوی تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت، مورد توجه قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: ***روش‌های توسعه کم‌اثر، مدل SWMM، سیلاب شهری***

۱- مقدمه

با توسعه روز افزون مناطق شهری و از بین رفتن اراضی کشاورزی و مرتعی، زمین‌های غیر قابل نفوذ توسعه یافته و با کاهش اثر کاهنده‌های هیدرولوژیکی از قبیل نفوذ، تبخیر و تعرق گیاهی و چالاب، دبی پیک و حجم رواناب ناشی از بارش در

حوضه‌های شهری افزایش می‌یابد [۱]. از سوی دیگر، با رشد سریع ساخت و ساز شهری و همچنین توسعه زیرساخت‌ها، وقوع سیلاب در نواحی شهری بیشتر و شدیدتر شده است. با افزایش سطوح نفوذناپذیر و نیز محدود کردن عرض و مجرای عبوری مسیل‌ها، رودخانه‌ها و آبراهه‌های طبیعی، آسیب‌پذیری مناطق مسکونی و تأسیسات شهری در مقابل سیلاب‌های شهری افزایش می‌یابد[۲]. همچنین شهرسازی باعث آلودگی منابع آب می‌شود که این آلودگی ناشی از رسوبات معلق، فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها، مواد غذایی و مواد بیماری‌زا است [۱]. امروزه برای رفع این قبیل مشکلات و کنترل میزان رواناب در سطح شهرها از راهکارهای جدید از جمله استفاده از روسازی‌های نفوذپذیر، جوی‌باغچه‌ها و ... استفاده می‌گردد. هدف از طراحی این نوع راهکارهای مدیریتی، کاهش حجم رواناب، کاهش دبی بیشینه جریان، کاهش آلودگی‌های با منبع غیر متمرکز از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ آب می‌باشد. توسعه شهری نفوذپذیری، و تبخیر و تعرق را کاهش می‌دهد. بر این اساس می‌توان با استفاده از مدل SWMM[1] به برآورد بارش-رواناب و ارزیابی عملکرد هیدرولیکی و بررسی کارایی این مدل در تعیین تغییر کاربری بر رواناب شهری در منطقه مورد مطالعه پرداخت و با توجه به پیش‌بینی تغییر رژیم سیلابی به ازای سناریوهای تغییر کاربری اراضی در آینده، اثرات تغییر کاربری بر رواناب شهری را بررسی کرد. همچنین می‌توان از امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[2]) برای تعیین پارامترهای فیزیکی زیرحوزه‌ها شامل (مساحت، عرض معادل و غیره) و انتقال دهنده‌ها (شامل نوع، ابعاد، جریان اولیه قبل از شروع بارش، طول، فاصله از کف در بالادست، ضرایب افت و غیره) و نقشه‌های کاربری اراضی، حوزه‌بندی و غیره استفاده کرد.

یکی از راهکارهای نوینی که امروزه در مدیریت رواناب سطحی در مناطق شهری مورد استفاده قرار گرفته است، روش‌های توسعه کم‌اثر (LID[3]) است. این روش برای اولین بار در کشورهای کانادا و ایالات متحده آمریکا با رویکرد برنامه ریزی، طراحی و مدیریت رواناب‌ها و فاضلاب شهری مورد مطالعه قرار گرفت. مطالعات زیادی در خصوص استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر برای کنترل رواناب شهری انجام شده است.

لنگری و همکاران [۳]، طی مطالعات خود در زمینه کاربرد روش‌های توسعه کم‌اثر بر رواناب شهری در شهرستان بجنورد با استفاده از نرم‌افزار SWMM و با ارائه سناریوهای مختلف روش توسعه کم‌اثر در منطقه، به این نتیجه رسیدند که اجرای روش توسعه کم‌اثر می‌تواند طی برخی سناریوها بخصوص حوضچه ذخیره و پشت بام سبز باعث کاهش حجم رواناب و آلودگی خروجی از محدوده مطالعه شود. همچنین ترکیب چند سناریو عملکرد مطلوب‌تری از خود نشان می‌دهد، بطوریکه باعث کاهش قابل توجه رواناب و آلودگی حوزه می‌شود. شیخله و همکاران [۴]، طی تحقیقات خود در زمینه اثر تغییرات کاربری اراضی بر خروجی هیدروگراف سیلاب شهری به بررسی تاثیر چندین روش توسعه کم‌اثر از جمله آسفالت نفوذپذیر، حوضچه ذخیره زیرزمینی، سنگر نفوذ، بشکه باران و پشته بام سبز بر روی مقدار رواناب آب، دبی و مجموع مواد جامد معلق خارج شده از محدوده مورد مطالعه در شهرستان سنندج پرداختند. آنها از نرم‌افزار SWMM برای شبیه‌سازی رواناب در این تحقیق استفاده کردند. نتایج نشان داد که با ارائه سناریوهای مختلف روش توسعه کم‌اثر در منطقه با بارش ۱۰ ساله، برخی سناریوها بخصوص حوضچه ذخیره و پشت بام سبز باعث کاهش رواناب خروجی و آلودگی خروجی از محدوده مورد مطالعه می‌شود و با اعمال تمام سناریوها به صورت یکجا در مدل مشاهده شد که دبی اوج به میزان ۴۶ درصد کاهش می‌یابد. عقیلی و همکاران [۵]، با استفاده از مدل SWMM به بررسی تاثیر روش‌های LID بر مدیریت رواناب سطحی شهرک سپاهان شهر اصفهان پرداختند. برای اولویت‌بندی روش‌های LID از دو روش TOPSIS و FUZZY TOPSI استفاده کردند. نتایج نشان داد که در روش TOPSIS سناریوهای ترکیبی بشکه باران – سیستم نگهداشت زیستی و در روش FUZZY TOPSIS سناریوی سیستم نگهداشت زیستی به

---

[1] Storm Water Management Model
[2] Geographic Information System
[3] Low Impact Development

عنوان سناریوی برتر شناخته شدند. راندال و همکاران [۸]، پتانسیل جذب باران برای مدت زمان طولانی در یک منطقه در شهرپکن کشور چین را مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور از مدل SWMM استفاده کردند و سناریوهای LID براساس درجات مختلف از نظر میزان احتمالی بارندگی سالانه را مقایسه کردند. نتایج نشان داد که تبدیل ۳۰ درصد مساحت سقف‌ها به بام سبز، ۱۰ درصد از مناطق سبز شهری به باغ‌های بارانی و تبدیل ۳۵ درصد مناطق آسفالته به سنگفرش می‌تواند نسبت جذب پایه را از ۵۹/۹ درصد به ۸۲/۲ درصد افزایش دهد. بی و لی [۹]، اثرات توسعه کم‌اثر برخطرات رواناب در مقیاس حوزه آبخیز شهر سئول واقع در جنوب کره جنوبی را بررسی کردند و دو نوع LID را با استفاده از مدل SWMM به کارگرفتند. نتایج نشان داد که می‌توان از اثربخشی سناریوی ایجاد فضای سبز برای پروژه‌های بازسازی و بازآفرینی شهری استفاده کرد. یانگ و همکاران [۱۰]، عملکرد روش‌های توسعه کم‌اثر بر مدیریت رواناب شهری را در محوطه دانشگاه سدن آلمان اندازه‌گیری کردند. برای این منظور از ۷ روش LID و ۶ سناریوی بارشی در مدل SWMM استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش‌های LID به طور قابل توجهی به کاهش رواناب سطحی در منطقه مورد مطالعه کمک می‌کند.

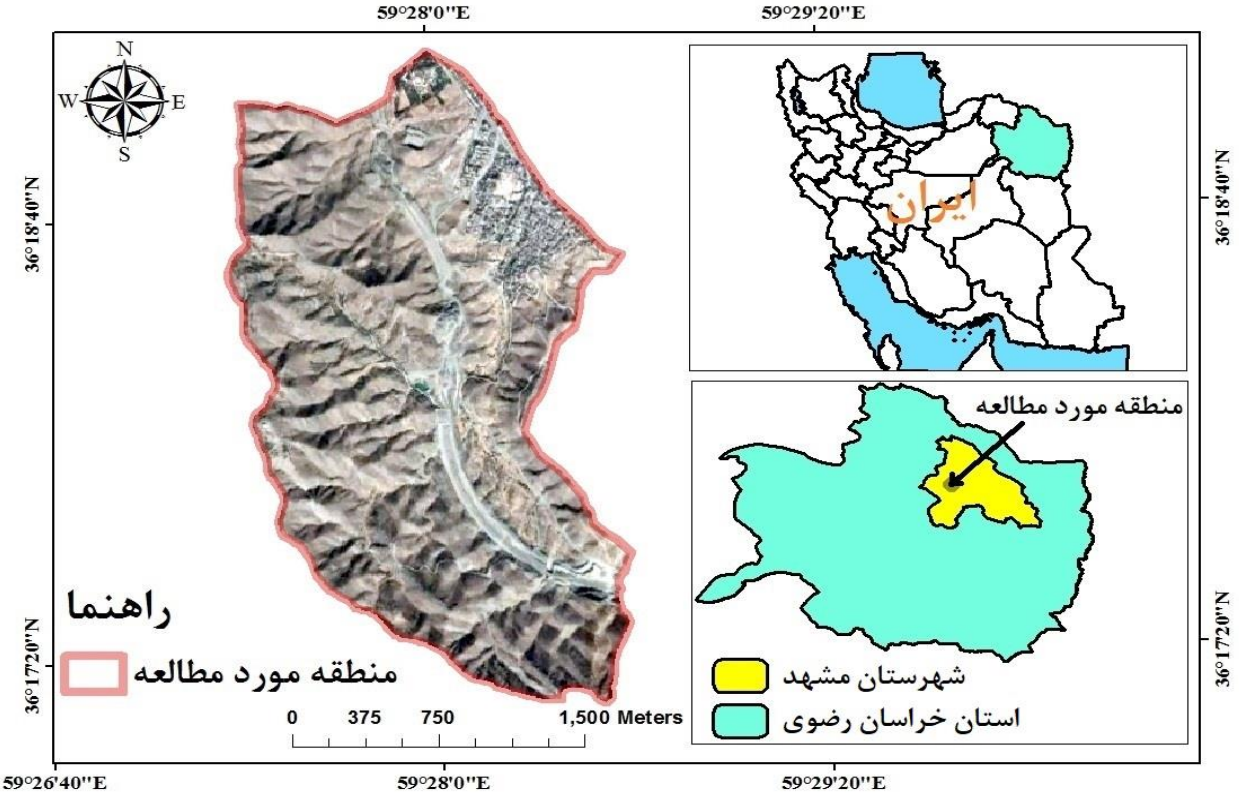
هدف از این مطالعه بررسی اثرات روش‌های توسعه کم‌اثر بر خصوصیات رواناب شهری با استفاده از مدل SWMM در بخش جنوب غربی منطقه ۹ شهرداری مشهد می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

شهرستان مشهد، مرکز استان خراسان رضوی در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه و در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته کوه‌های بینالود و هزار مسجد قرار گرفته است. وسعت شهر مشهد حدود ۲۰۴ کیلومتر مربع است. ارتفاع متوسط این شهر ۹۸۵ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. شهر مشهد دارای آب و هوای متغیر، اما معتدل و متمایل به سرد و خشک است و از تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و نسبتا مرطوب برخوردار است. شهر مشهد با توجه به موقعیت جغرافیایی خود در مسیر حرکت سیلاب‌ها و تند آب‌ها قرار گرفته است و معمولا در یک دوره سی یا چهل ساله امکان سیل‌گیری در منطقه وجود دارد. علاوه برآن، شهر مشهد به علت گسترش بر سطح دشت و مخروطه افکنه‌های آبرفتی تحت تاثیر شرایط توپوگرافی، شیب تند و زهکشی ضعیف همیشه در اثنای بارش‌های شدید با سیلاب‌های ناگهانی و آب‌گرفتگی مواجه بوده است.

محدوده مورد مطالعه بخش جنوب غربی منطقه ۹ شهرداری مشهد است که با وسعتی بیش از ۳۲۷۵ هکتار و جمعیت بالغ بر ۳۲۹۵۶۲ نفر و شرایط آب و هوایی معتدل و متمایل به سرد و خشک، از سمت شمال به بولوار وکیل‌آباد و بولوار ملک‌آباد، از جنوب همجوار با رشته‌کوه بینالود، از شرق به میدان جهاد و کوهسنگی و از غرب به سه‌راهی طرقبه و شاندیز منتهی می‌گردد. حوضه مورد مطالعه علاوه بر مناطق شهری دارای مناطق کوهستانی و شیب‌دار است که می‌توان در آن علاوه بر سناریوهای توسعه کم‌اثر شهری از سناریوهای غیر شهری هم استفاده کرد. شکل ۱، موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

به طور کلی آب‌های جاری ناشی از بارندگی در سطح شهرمشهد به سه طریق می‌توانند از محدوده خود خارج شوندکه به ترتیب عبارتند از:

جوی‌ها و کانال‌ها: جوی‌ها و کانال‌ها مهمترین عامل در جمع‌آوری و انتقال آب‌های سطحی به خارج شهر هستند. در بخش‌های مختلف شهر به علت وجود شیب مناسب، جوی‌ها و کانال‌ها عمل جمع‌آوری و انتقال آب‌ها را به خوبی انجام می‌دهند.

چاه: استفاده از چاه به علت قابلیت نفوذپذیری کم خاک و هزینه بسیار سنگین تخلیه، جهت دفع آب‌های سطحی پشت بام‌ها و حیاط در شهر مشهد امری معمول نیست.

ماشین کفکش: شهرداری برای جمع‌آوری و انتقال آب اماکنی که دچار آب گرفتگی می‌شوند، از این روش استفاده می‌کند. با تمام این احوال در داخل منطقه مورد بررسی به علت وجود پوشش کف نامناسب و سطوح ناهموار و جاگیری نامناسب دریچه‌های فاضلاب، هنگام بارندگی آب باران بر روی سطح معابر باقی می‌ماند که در نتیجه به این مسئله باید توجه خاص شود [۴].

روش تحقیق

در این تحقیق برای ایجاد مدل هیدرولوژیکی در بخش جنوب غربی منطقه ۹ شهرداری مشهد و نیز بررسی تاثیر LID بر دبی اوج سیلاب از مدل SWMM استفاده گردید. در این مدل با استفاده از اطلاعات هواشناسی و مشخصات فیزیکی حوزه آبخیز و زهکش‌های حوضه، هیدروگراف خروجی از حوضه شبیه‌سازی می‌شود. خروجی‌های مدل نیز به صورت جدولی و گرافیکی بوده و مهمترین آن‌ها شامل هیدروگراف سیلاب ورودی و میزان ظرفیت اشغال شده، عمق، سرعت و عدد فرود در زمان‌های

مختلف در مجاری، نقاط و بازه‌های بحرانی براساس شاخص کاربر و همچنین هیدروگراف سیلاب خروجی از زیرحوزه‌ها می‌باشد [۱۱]. نظر به اینکه مدل SWMM قابلیت مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های شهری و همچنین مدل‌سازی کیفی رواناب را دارد و با توجه به این که اخیرا قابلیت مدل‌سازی LID های مختلف نیز در این مدل اضافه شده است، این مدل، می‌تواند به عنوان ابزاری مفید در راستای مدیریت کاراتر حوضه‌های شهری و حتی غیر شهری مورد استفاده قرار گیرد [۱۲، ۱۳].

داده‌های مورد نیاز مدل SWMM

داده‌های مورد نیاز مدل SWMM شامل، خصوصیات فیزیکی زیرحوضه‌ها، مشخصات شبکه زهکشی و داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی منطقه مورد مطالعه می‌باشند. در این تحقیق، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، در نرم‌افزار ArcGIS، شیب محاسبه و مرز زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه تعیین شد. سپس با استفاده از نقشه کاربری اراضی شهری در هر زیرحوضه مساحت قسمت‌های نفوذناپذیر محاسبه و از طریق بازدیدهای میدانی تصحیح گردید. برای تعیین پارامتر زبری کانال‌ها نیز علاوه بر راهنمای مدل از بازدیدهای میدانی متعدد و بهره‌گیری از نظر کارشناسان مجرب استفاده شد و مقدار این پارامتر در هر کانال بر اساس شرایط همان بازه‌ی مشخص، تعیین شد. مشخصات اتصالات و محل ورود رواناب هر زیرحوضه به مجاری شبکه زهکشی از طریق بازدید میدانی تعیین و مشخصات فیزیوگرافی اتصالات با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. همچنین بعضی از پارامترهای اتصالات مانند رقوم کف، طول و عرض جغرافیایی و حداکثر عمق اتصال با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مشخص گردید. در نهایت در منطقه مورد مطالعه ۵ زیرحوضه، مشخص گردید. از آنجا که برآورد رواناب در مدل SWMM و سایر مدل‌های جمع‌آوری رواناب شهری بر اساس مقادیر بارش است، این اطلاعات از مهمترین و اساسی‌ترین اطلاعات مورد استفاده مدل هستند. اطلاعات بارش با استفاده از منحنی‌های شدت – مدت – فراوانی شهر مشهد با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله استخراج شد. پس از آماده‌سازی داده‌های بارندگی، داده‌های مذکور به همراه سایر اندازه‌گیری‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه به مدل SWMM وارد شد و مقادیر دبی شبیه‌سازی گردید.

اعمال سناریوهای مختلف (ابزارهای توسعه کم‌اثر)

پس از به‌دست آوردن ماکزیمم دبی خروجی در شرایط فعلی، نوبت به تعیین ماکزیمم دبی خروجی در شرایط فعلی با اعمال روش های LID می‌رسد. با توجه به شرایط توسعه شهری منطقه، ۳ گزینه تبدیل ۶۰ درصد اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت، روکش نفوذپذیر و آسفالت متخلخل برای این مطالعه انتخاب گردید. در این تحقیق با اعمال محدودیت‌هایی از قبیل امکان جانمایی ابزارها، محدودیت زمین، مالکیت اراضی و محدودیت اجرا، درصدی از مساحت هر زیر حوضه به ابزارهای توسعه کم‌اثر اختصاص داده شد. بعد از مدل‌سازی شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی در نهایت انتخاب LIDها، ۳ سناریو با بارندگی دوره بازگشت مختلف برای تحلیل کمی در نظر گرفته شده است. در جدول ۱ خصوصیات سناریوها ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات سناریوهای استفاده شده در منطقه مورد مطالعه

شماره سناریو	توضیحات
۱	تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت
۲	آسفالت متخلخل
۳	روکش نفوذپذیر

تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت

منطقه مورد مطالعه توسط اراضی کوهستانی و مرتعی محصور شده و در مواقع بارانی به خصوص بارندگی‌های شدید احتمال وجود رواناب در محدوده شهری بسیار زیاد است و مرز محدوده مورد نظر دارای هردو محدوده کوهستانی و شهری می باشد. به همین دلیل جهت کاهش ایجاد رواناب و افزایش نفوذپذیری در اراضی شیبدار در منطقه مورد مطالعه این سناریو مورد بررسی قرار گرفت.

روکش نفوذپذیر

زهکش‌های خشکه‌چینی ترانشه‌های پرشده از سنگ می‌باشند که برای جمع‌آوری سریع و تزریق رواناب به منابع زیرزمینی از کناره‌ها، انتها و کف طراحی شده‌اند. این تاسیسات با توجه به این که از سنگ پر شده‌اند، تنها ۱/۳ مقدار آبی را که یک گودال خالی می‌تواند نگه دارد، در خود جا می‌دهند و معمولا قادر به جمع‌آوری جریان‌های کند و متوسط با توجه به حجم آن‌ها می‌باشند. این روش عموما برای مناطق شیب‌دار کاربرد کمتری داشته مگر آن‌که حجم جریان کم باشد و تنها می‌بایست در مکان‌های بدون رسوب مانند پارک‌ها، پارکینگ‌ها، بام‌ها، پیاده‌روها و کنار جاده‌ها استفاده شوند.

آسفالت متخلخل

یکی از انواع روسازی که در جهان به‌کار گرفته می‌شود، آسفالت متخلخل است که در مناطق پر بارش کاربردهای فراوانی دارد. بارزترین خصوصیت آسفالت متخلخل قابلیت زهکشی آن است که به دلیل وجود درصد بالایی از فضای خالی و تخلخل و وجود مصالح نفوذپذیر، منجر به انتقال آب‌های سطحی به لایه‌های زیرین و نهایتا زهکشی آن می‌شود. وقتی این نوع آسفالت در رویه راه استفاده شود، جریان آب می‌تواند از میان خلل و فرج آن عبور کرده و زهکش گردد.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و گوگل ارث درصد مساحت اراضی که تحت سناریوهای مختلف قرار می‌گیرند تعیین شد که درصد مساحت هر سناریو در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، ۱۲ درصد سطح اشغالی محدوده شامل خیابان، ۸ درصد پیاده‌رو و ۱۶ درصد اراضی شیب‌دار با شیب بالای ۳۰ درصد بوده است.

جدول۲. کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه و روش‌های LID ممکن برای استفاده در هر کاربری

نوع پوشش زمین	درصد اشغال سطح محدوده	روش‌های LID
خیابان‌ها	۱۲	روکش نفوذپذیر- آسفالت نفوذپذیر
پیاده‌روها	۸	پیاده‌رو نفوذ پذیر-ترانشه نفوذ
اراضی شیب‌دار	۱۶	تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت

پس از مدل‌سازی و اجرای مدل، سناریوهای ذکر شده روی مدل اعمال گردید. در جدول ۳ درصد تغییرات دبی اوج برای دوره بازگشت‌های مختلف (۲- ۵-۱۰- ۲۵-۵۰ و ۱۰۰ ساله) در سناریوهای مختلف ارائه شده است. همانطور که مشخص است سناریو آسفالت متخلخل در کاهش میزان دبی اوج در دوره بازگشت‌های ۲- ۵-۱۰-۲۵-۵۰ و ۱۰۰ ساله بهترین عملکرد و سناریو روکش نفوذپذیر کمترین عملکرد را از خود نشان داده است.

این سناریو به‌دلیل افزایش نفوذ سیلاب و رواناب به سفره‌های آب زیرزمینی و درصد تغییرات دبی اوج نسبت به سناریوهای دیگر بهترین عملکرد را دارد. کبارفرد و همکاران [۶] طی نتایج خود در زمینه ارزیابی روش توسعه کم اثر و تعیین بهترین راه‌کارهای مدیریتی کمی سیلاب شهری در شهر تبریز با استفاده از نرم‌افزار swmm به این نتیجه رسیدند که روش‌های توسعه کم اثر ترانشه

نفوذ و روسازی متخلخل در دوره بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله در شرایط یکسان حدود ۸ الی ۱۰ درصد، عملکرد بهتری را در کاهش دبی اوج رواناب خروجی از حوضه آبخیز دارد و به عنوان بهترین و کاراترین راه‌کار مدیریتی شناسایی شده است.

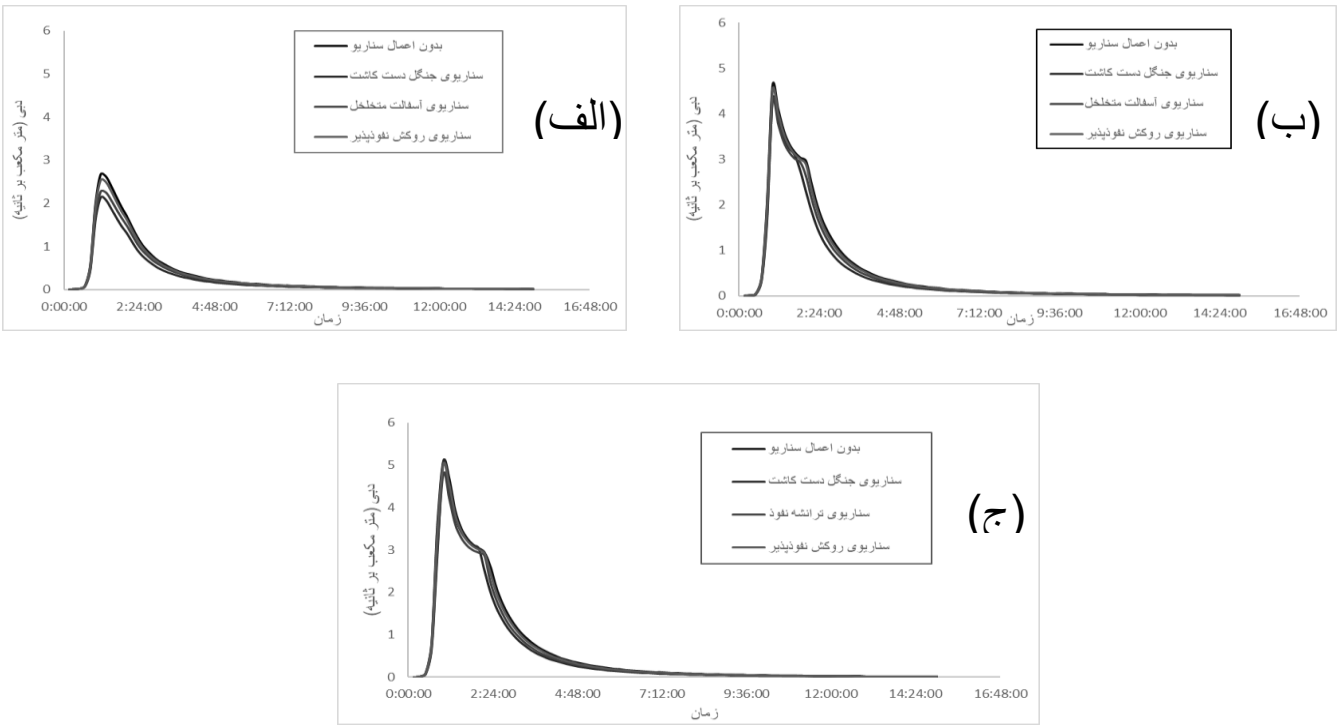
جدول۳. درصد تغییرات دبی اوج برای دوره بازگشت مختلف در سناریوهای مختلف

سناریو	دوره بازگشت					
	دو ساله	پنج ساله	ده ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله
تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت	۱۹/۸۵	۱۱/۵۹	۶/۰۶	۲/۲۲	صفر	صفر
روکش‌های نفوذپذیر	۴/۸۶	۴/۱	۲/۱۶	۱/۲۱	۱/۱۸	۱/۵۳
آسفالت متخلخل	۱۴/۹۸	۱۳/۵۲	۶/۹۲	۴/۸۴	۵/۵۱	۶/۵۱

جدول ۴ درصد تغییرات حجم رواناب در دوره بازگشت های مختلف و شکل ۲ هیدروگراف سیلاب را برای سناریوهای مختلف در دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰ و ۵۰ ساله نشان می‌دهد. با اعمال سناریوهای تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت، روکش‌های نفوذپذیر، آسفالت نفوذپذیر به مدل مشاهده شد که سناریوهای مختلف در دوره بازگشت‌های پایین می‌توانند تاثیر به‌سزایی در دبی اوج و حجم رواناب خروجی داشته باشند. اما در دوره بازگشت‌های بالابه دلیل وجود وقایع حدی با شدت و ارتفاع بارندگی زیاد، سناریوهای تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت و روکش‌های نفوذپذیر تأثیر چندانی در کاهش دبی اوج سیلاب ندارند.

نتایج جدول ۴ نشان می دهد که تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت بیشترین تاثیر را در کاهش حجم رواناب خروجی در دوره بازگشت‌های مختلف نسبت به دو سناریو دیگر دارد.

دلیل این امر آن است که با کاشت درختان در ارتفاعات با شیب بالای ۳۰ درصد به دلیل ایجاد تاج پوشش درختان، برخورد قطرات باران به زمین به حداقل رسیده و مانع کوبیدگی خاک و افزایش خلل و فرج خاک می‌شود که باعث افزایش چشمگیر نفوذپذیری به داخل خاک شده و ایجاد رواناب در مواقع شدید بارندگی به مناطق شهری پایین دست را به حداقل می‌رساند. با توسعه ریشه درختان در داخل خاک، استحکام بافت خاک افزایش یافته و مانع ایجاد پدیده ریزش در مواقع سیلابی به پایین دست خواهد شد. وهابی و همکاران [۷] طی تحقیقات خود در زمینه تاثیر پارامترهای ادافیکی بر مقدار رواناب با استفاده از شبیه‌ساز باران در ۱۴۱ کرت آزمایشی درحوزه آبخیز طالقان به این نتیجه رسیدند که از میان متغییرهای موثر بر میزان رواناب درصد تراکم پوشش گیاهی از نظر درجه تاثیر در اولویت اول قرار دارد. درصد تراکم پوشش گیاهی در شدت بارندگی های ۲۴/۵ و ۳۲ میلی متر در ساعت به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۰۳- و ۰/۸۷۲- با مقدار رواناب در سطح ۰/۰۱ معنی دار است.



شکل۲. هیدروگراف سیلاب در سناریوهای مختلف با دوره بازگشت الف) ۲ ساله ب)۱۰ ساله ج)۵۰ ساله

جدول٤. درصد تغییرات حجم رواناب برای دوره بازگشت مختلف در سناریوهای مختلف

سناریو	دوره بازگشت					
	دو ساله	پنج ساله	ده ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله
تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت	۲۳/۳۶	۱۸/۶۱	۱۵/۷۸	۱۳/۹۵	۱۲/۴۵	۱۱/۱۴
روکش‌های نفوذپذیر	۵	۴/۱۳	۳/۴۹	۳/۴۲	۳/۵۲	۳/۷۸
آسفالت نفوذپذیر	۱۳/۴۴	۱۰/۸۱	۹/۵۸	۹/۵۳	۹/۷۸	۱۰/۷۲

نتیجه‌گیری

با توجه به مقایسه نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار SWMM در حوزه مورد مطالعه، با توجه به این که خاک منطقه مورد مطالعه نفوذپذیری متوسط دارد و به‌دلیل عدم استفاده از پوشش نفوذپذیر و شیبداربودن نسبی منطقه سعی برآن شد از بین روش‌های مختلف توسعه کم‌اثر، روش‌هایی استفاده شود که باعث افزایش نفوذ و ذخیره رواناب شوند. بنابراین سناریوهای تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت، آسفالت متخلخل و روکش‌های نفوذپذیر مورد مطالعه قرار گرفت. پس از مدل‌سازی و اجرای مدل، سناریوهای ذکر شده روی مدل اعمال گردید. میزان دبی برای دوره بازگشت‌های مختلف ۲-۵-۱۰-۲۵-۵۰ و ۱۰۰ساله در سناریوهای مختلف ارائه شده است. درصد تغییرات دبی اوج در دوره بازگشت ۱۰ ساله سناریوی تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت ۶/۰۶ درصد، آسفالت متخلخل ۶/۹۲ درصد، روکش‌های

نفوذپذیر ۲/۱۶ درصد است. براساس درصد تغییرات دو پارامتر میزان دبی اوج و حجم رواناب خروجی، مشاهده شد که سناریوی روکش نفوذپذیر تاثیر کمتری بر دبی اوج و حجم رواناب دارد پس با توجه به تأثیر کمتر و همچنین هزینه بالای اجرای این سناریو نتیجه می‌شود که این سناریو نمی‌تواند بهترین گزینه باشد. سناریوی جنگل دست کاشت نیز در دوره بازگشت‌های پایین می‌توانند تاثیر به‌سزایی در دبی اوج داشته باشند. اما در دوره بازگشت‌های بالابه دلیل وجود وقایع حدی با شدت و ارتفاع بارندگی زیاد و قرار گرفتن مناطق شهری در پایین دست حوضه، تأثیر چندانی در کاهش دبی اوج سیلاب ندارد. نهایتا سناریوی آسفالت متخلخل در کاهش پارامترهای دبی اوج و حجم رواناب خروجی بهترین عملکرد را داشته است. با توجه به این که منطقه مورد مطالعه مشرف به اراضی غیر شهری است سناریوی تبدیل ۶۰ درصد از اراضی با شیب بالای ۳۰ درصد به جنگل دست کاشت می‌تواند علاوه بر کاهش دبی اوج در دوره بازگشت‌های پایین، حجم رواناب را در دوره بازگشت‌های مختلف کاهش دهد. این سناریو علاوه براین که هزینه کمی دارد باعث ایجاد یک منطقه تفریحی و بهبود شرایط اکولوژیکی منطقه می‌شود. از این رو، توصیه می‌شود از بین سه سناریو ذکر شده به‌کارگیری این سناریو در منطقه مورد مطالعه ا ز نظر سایر موارد نیز مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت مناسب‌ترین سناریو با در نظر گرفتن موضوعات مدیریت سیل شهری، فوائد محیط زیستی و همچنین تفرجگاهی انتخاب شود.

٤- مراجع

[۱] صیامی، پ.(۱۳۹۱). بررسی آثار و دلایل وقوع سیل. مجموعه مقالات کنفرانس ملی آبخیزداری شهری، https://www.civilica.com/Paper-ICCACS01-ICCACS01_551.html

[۲] سردشتی، م. (۱۳۸۸)، نقش مدیریت سیلاب در توسعه پایدارشهری، مجموعه مقالات کنفرانس ملی مدیریت سیلاب شهری، https://www.civilica.com/Paper-USWM01-USWM01_013.html

[۳] لنگری، م. کاویانپور، م. بهرامی، ج. کلابی، ح. ۱۳۹۳،کاربرد روشهای توسعه کم‌اثر بر رواناب شهری مطالعه موردی شهرستان بجنورد،اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران،تهران.

[۴] شیخله، س. بایزیدی، م. رضایی، و. ۱۳۹۸. اثر تغییرات کاربری اراضی بر خروجی هیدروگراف سیلاب، سومین کنفرانس هیدرولوژی نیمه خشک با محوریت آب –انسان –طبیعت

[۵] عقیلی، ن. ظریف صنایعی، ح. هاتفی، م. ۱۳۹۹. اولویت بندی روشهای توسعه کم‌اثر به منظور مدیریت رواناب سطحی شهری، با استفاده از روش TOPSIS و Fuzzy TOPSIS (مطالعه موردی: شهرک سپاهانشهر اصفهان)

[۶] کبارفرد، م. فضل اولی، ر. ضرغامی، م. اکبرپور، ا. ۱۳۹۶. ارزیابی کاراترین روش توسعه کم اثر و تعیین بهترین راه‌کار مدیریتی کمی سیلاب شهری با استفاده از رخدادهای به‌هنگام، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد۱۲. ص ۵۲-۴۰

[۷] وهابی، ج. مهدیان، م. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر پارامترهای ادافیکی بر مقدار رواناب با استفاده از شبیه‌ساز باران، پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۸۳

[8] Randall ,M., Sun, F., Zhang, Y., Bergen Jensen, M. 2019. Evaluating Sponge City volume capture ratio at the catchment scale using SWMM. Journal of Environmental Management. 246, 745-757.

[9] Bae, C., Dong Kun, L. 2019. Effects of low-impact development practices for flood events at the catchment scale in a highly developed urban area. Journal Pre-proof.

[10] Yang, W., Brüggemann, K., Seguya, K., Ahmed, E. 2020. Measuring performance of low impact development practices for the surface. Environmental Science and Ecotechnology.

[11] Kim, J., and Joo, J. 2018. Evaluation of Low Impact Development using EPA SWMM-LID Modeling. 13th International Conference on Hydroinformatics. 1078–1080.

[12] Birgani, Y.T., and Yazdandoost, F. 2018. An Integrated Framework to Evaluate Resilient Sustainable Urban Drainage Management Plans Using a Combined-adaptive MCDM Technique. Water Resources Management. 32(8): 2817-2835.

[13] Scott, A.L. 2010. Sanitary sewer design using EPA Storm Water Management Model (SWMM), Computer Applications in Engineering Education. 18(2): 203-212.