Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems

مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران

شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۲-۵۹۷۰

ارزیابی تأثیر روش‌های استحصال آب بر میزان رواناب شهری (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شهری بیرجند)

فاطمه بهشتی سه قلعه[۱]، سید محمد تاج‌بخش فخرآبادی[۲]، علی شهیدی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری گرایش حفاظت آب‌وخاک، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند.
۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست دانشگاه بیرجند.
۳. دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳
صفحات: ۱۲- ۱

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده

رویکردهای جدید مدیریت رواناب مناطق شهری، در تلاش است تا حجم و دبی اوج بارش‌ها و همچنین میزان مواد آلاینده مناطق شهری را به‌اندازه‌ای کاهش دهد که یادآور رواناب‌های حاصل از بارش در دهه‌های قبل از توسعه شهری باشد. نرم‌افزار SWMM، یکی از بهترین مدل‌ها برای کمک در این زمینه است و با استفاده از آن می‌توان اثرات استفاده از روش‌های استحصال آب را در حجم رواناب خروجی، دبی پیک و درنتیجه کاهش آب‌گرفتگی معابر بررسی نمود. شبیه‌سازی شبکه زهکشی شمال شهر بیرجند نشان داد که شبکه فاضلاب شهر بیرجند کارایی لازم برای عبور سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف را نداشته و در قسمت‌های مختلفی دچار آب‌گرفتگی می‌شود. در صورت عدم رفع مشکل از سوی سازمان‌های مربوطه، در آینده نه‌چندان دور انتظار وقوع سیل در سطح وسیع و درنتیجه ایجاد خسارت‌های جبران‌ناپذیر و غیرقابل‌انکار در منطقه می‌رود. به این‌منظور، استفاده از دو روش حوضچه‌های نگهدارنده و جمع‌آوری آب پشت‌بام‌ها که نسبت به مابقی روش‌های استحصال آب، با هزینه کمتری قابل‌استفاده هستند؛ در این مطالعه موردبررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که استفاده از سیستم‌های استحصال آب در کل حوزه آبخیز، از لحاظ صرفه اقتصادی غیرقابل اجرا و توجیه است؛ در بیشتر مطالعات انجام‌شده از این سیستم فقط در بخشی از حوزه آبخیز استفاده می‌شود. نتیجه آن‌که با اعمال روش‌های استحصال آب باران در حوزه آبخیز شهری بیرجند می‌توان شاهد کاهش ۸۰ درصدی حجم رواناب شهر بیرجند بود. از سوی دیگر استفاده از حوضچه‌های نگهدارنده در فضای سبز این شهر می‌تواند به آبیاری فضای سبز کمک نموده و علاوه بر صرفه‌جویی در مصارف آب شهری، در کاهش دبی اوج سیلاب نیز مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: استحصال آب، توسعه شهری، حوزه آبخیز شهری، عکس‌العمل هیدرولوژیکی.

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت در کنار مصرف بی‌رویه آب مشکلات زیادی را در تأمین آب شهری و روستایی کشور فراهم نموده است. ازآنجاکه عمده مصرف آب مربوط به بخش کشاورزی می‌باشد، لذا تحقیق در زمینه منابع آب جایگزین و نیز روش‌های صرفه‌جویی در مصرف آب بسیار ضروری است. ازآنجاکه بارندگی هرچند به مقدار کم تقریباً در همه‌جا اتفاق می‌افتد، قبل از اینکه به سیلاب تبدیل شود و یا در مسیر جریان خود دچار آلودگی گردد، به کمک

[1]Email: f.beheshti@birjand.ac.ir نویسنده مسئول: فاطمه بهشتی

روش‌های استحصال آب می‌تواند جمع‌آوری و مورداستفاده قرار گیرد. برخلاف سیستم‌های متمرکز و بزرگ مانند سدها که نیاز به سرمایه‌گذاری و تکنولوژی پیشرفته دارد، سیستم‌های استحصال آب فناوری ساده دارند و در ابعاد کوچک قابل‌اجرا می‌باشند به همین دلیل از این روش بدون محدودیت مکانی می‌توان استفاده نمود (موسویان، ۱۳۹۹).

استحصال آب بر این اصل استوار است که آب دریافتی در مناطقی از زمین که ممکن است برای کشت گیاهان ناکافی یا نامرغوب باشد، جمع‌آوری‌شده و به بخش‌های دیگر منطقه اضافه شود. اجرای طرح جمع‌آوری آب باران سبب می‌شود تا آب موردنیاز در دسترس گیاهان اراضی تحت کشت قرار گیرد و درنتیجه منجر به تولید اقتصادی می‌گردد (سعادت فومنی و همکاران، ۱۳۹۶).

روش‌ها و سیستم‌های مختلفی برای کاهش اثرات نامناسب رواناب شهری وجود دارد؛ برخی از این روش‌ها که در آمریکا تحت عنوان روش‌های بهینه مدیریت سیلاب (BMPs[1]) نامیده می‌شود، بر مقدار سیلاب تمرکز می‌نمایند، درحالی‌که برخی دیگر، تکیه بر کیفیت جریان دارند و تعدادی هم بر هر دو موضوع توجه می‌نمایند (Akhavan Bloorchian et al., 2016)

روش‌های جلوگیری از آلودگی تحت عناوینی چون روش‌های توسعه کم اثر (LID[2])، یا تکنیک‌های فرا سازه‌ای سبز[3] در غالب سیستم‌های زهکش پایدار در انگلستان، طراحی شهری حساس به آب (WSUD[4]) در استرالیا و همچنین در خاورمیانه با انجام اقداماتی چون بام‌های سبز، کنترل ترکیبات شیمیایی سوخت اتومبیل‌ها و کودهای شیمیایی دنبال می‌شود. همچنین سیستم‌های کاهش رواناب[5] شامل اقداماتی چون حوضچه‌های نفوذ، سیستم‌های نگه‌دارنده‌ی طبیعی، تالاب‌های مصنوعی، حوضچه‌های نگهدارنده و سایر ابزار مشابه می‌باشد (Thomas et al., 2016)

مدل SWMM[6] نخستین مدل جامع برای بررسی رواناب شهری و یکی از پیشرفته‌ترین مدل‌های رایانه‌ای در این زمینه به‌حساب می‌آید که حاصل پژوهش بخش منابع آب آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا می‌باشد (عینلو، ۱۳۹۳).

بررسی تحقیقات انجام‌شده در زمینه آبخیزداری شهری و روش‌های استحصال آب در حوزه آبخیز شهری، نشان می‌دهد که عمده پژوهش‌ها در کشورهای صنعتی و پیشرفته انجام‌گرفته است. این امر نشان می‌دهد که برخلاف اهمیت و غیرقابل‌انکار بودن جایگاه این مبحث در مدیریت شهری، تحقیق و پژوهش در خصوص آن هنوز در کشورهای درحال-توسعه مانند ایران، موضوعی نوین بوده و اقدامات مطالعاتی و اجرایی گسترده‌ای صورت نگرفته است (رضایی گروی، ۱۳۹۷).

حیدری و همکاران (۱۳۹۳)، با استفاده از نرم‌افزار SWMM به شبیه‌سازی مخازن آب باران پرداختند و توانستند ثابت کنند که آب باران جمع‌آوری‌شده توسط این سیستم‌ها می‌تواند نیاز آبی ۵ ماه خشک باغچه‌های خانگی منطقه موردمطالعه را تأمین نماید. همچنین سیستم‌های جمع‌آوری آب باران موجب کاهش حدود ۴۳ درصدی رواناب کل و ۵۷/۲ درصدی حجم کل و ۳۸/۴ درصدی دبی در نقطه خروجی می‌شود.

خواجه‌نصیری و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از نرم‌افزار ASSA و GIS به مطالعه این موضوع پرداختند که آیا استفاده از حوضچه‌های تأخیری می‌تواند به کاهش حجم سیلاب خروجی از حوزه در منطقه آب و برق مشهد کمک کند یا خیر و به این نتیجه دست یافتند که استفاده از حوضچه‌های تأخیر بسیار در کاهش دبی پیک سیلاب مؤثر بوده و حتی کاهش دبی پیک به ۳۶/۷ درصد نیز در سناریوهای پیشنهادی دیده شد.

بهرامی و همکاران (۱۳۹۴)، استفاده از ابزارهای ذخیره کم اثر و به عبارتی استفاده از روش‌های استحصال آب

1.Best Management Practice
2.Low Impact Development
3.Green Infrastructure Techniques
4 . Water-Sensitive Urban Design
5.Runoff Mitigation Systems
6.Storm Water Management Model

باران، در مناطق شهری را یکی از مؤثرترین روش‌های کاهش رواناب شهری دانسته و به‌منظور بررسی میزان تأثیر استفاده از ابزارهای توسعه کم اثر از نرم‌افزار SWMM کمک گرفتند و نتیجه آن‌که استفاده از روش‌های توسعه کم اثر، کاهش ۵۰ درصدی زمان تمرکز و کاهش ۳۵ تا ۵۰ درصدی دبی اوج را به همراه دارد.

رجب نژاد (۱۳۹۶)، رویکردهای پشت‌بام سبز، ترانشه نفوذ، روکش نفوذپذیر و روش ترکیبی ترانشه نفوذ و روکش نفوذپذیر را با مدل‌سازی در نرم‌افزار SWMM موردبررسی قرارداد و نتیجه آن‌که استفاده از روش ترکیبی بیشترین اثر در کاهش حجم رواناب و کاهش بار آلایندگی رواناب را دارا می‌باشد.

میرعمادی (۱۳۹۷)، با استفاده از مدل SWMM، توانست به این نتیجه برسد که استفاده از بشکه‌های جمع‌آوری آب باران، می‌تواند تا ۸۱ درصد دبی اوج سیلاب را کاهش نماید و از طرفی اصلاح ابعاد کانال کمترین تأثیر را بر روی دبی اوج سیلاب داشت.

Misni و همکاران (۲۰۱۷)، با تأکید بر روی حوزه آبخیز شاه علم[1] مالزی، به این نتیجه رسیدند که استفاده از سیستم زهکشی با پوشش گیاهی مناسب می‌تواند دبی اوج رواناب را تا ۷/۹ درصد کاهش دهد و چیزی حدود ۸۱ مترمکعب در ساعت از حجم رواناب بکاهد. شایان‌ذکر است که استفاده از روش‌های استحصال بر افزایش کیفیت آب نیز بسیار مؤثر بوده است.

Jun و همکاران (۲۰۱۹)، به این مهم دست یافتند که روش‌های استحصال آب می‌تواند کاهش بسزایی در مقدار دبی پیک سیلاب داشته به‌طوری‌که حتی بعضی از روش‌ها باعث کاهش ۹۰ تا ۱۰۰ درصدی دبی اوج سیلاب می‌باشد؛ بنابراین استفاده از روش‌های استحصال آب برای کاهش حجم رواناب و دبی اوج سیلاب در حوزه‌های آبخیز شهری توصیه می‌شود.

امروزه رویکردهای نوین مدیریت رواناب شهری در طراحی شبکه‌های جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی، به‌طور فزاینده‌ای برای کاهش عوارض هیدرولوژیکی و جانبی ساخت‌وساز و توسعه در حوزه شهری مورداستفاده قرار می‌گیرد (سعادت فومنی و همکاران، ۱۳۹۶).

شهر بیرجند نیز که پس از تقسیمات کشوری ۱۳۸۳، به‌عنوان مرکز استان خراسان جنوبی مشخص گردید؛ به‌یک‌باره با رشد چشمگیر جمعیت و درنتیجه توسعه غیراصولی شهر روبرو گردید و درنتیجه شهر بیرجند با شرایط توپوگرافی خاص با مشکل آب‌گرفتگی خیابان‌ها و معابر در باران‌های سیلابی روبرو شد. لذا در این بررسی هدف آن بوده که نقش سیستم‌های استحصال آب را در آبخیزداری شهری و کاهش رواناب و دبی اوج سیلاب‌های شهری بیرجند مشخص نموده و راهکار اجرایی کم‌هزینه را در این راستا پیشنهاد نماید.

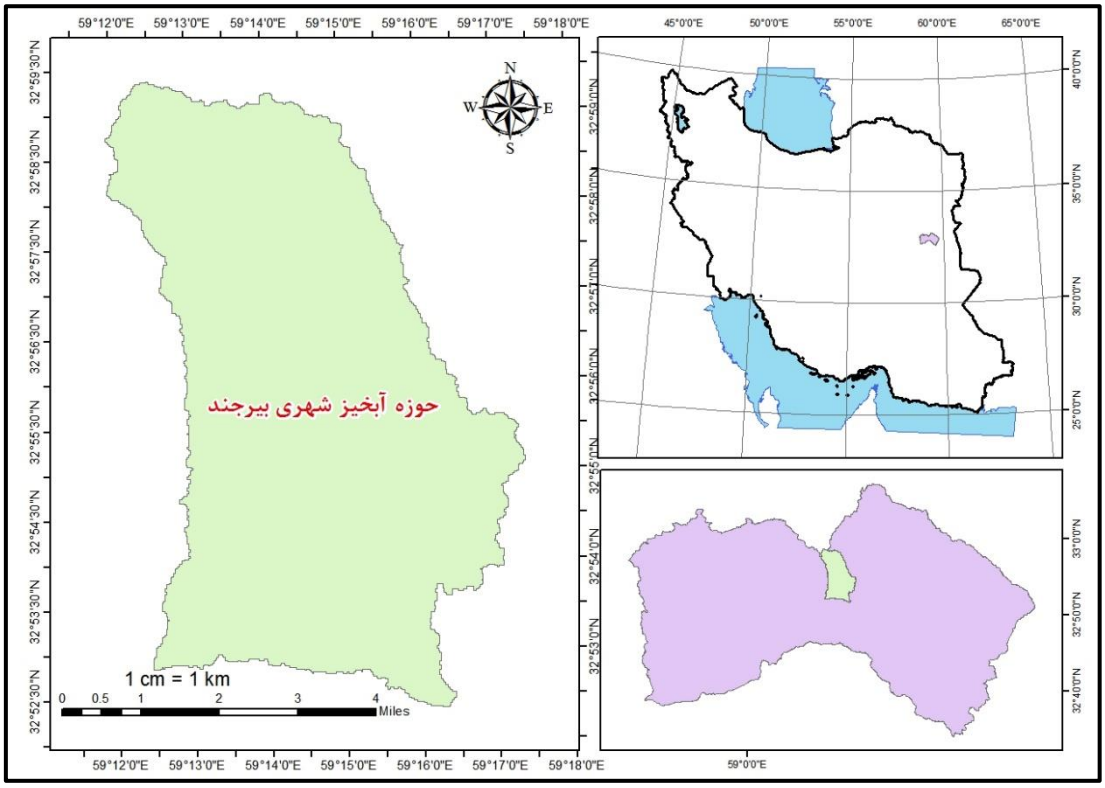
مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

شهرستان بیرجند مرکز استان خراسان جنوبی در شرق ایران می‌باشد. این شهرستان از شمال به شهرستان قاینات، از شمال شرق به شهرستان زیرکوه، از شرق به شهرستان‌های درمیان و سربیشه، از جنوب به شهرستان خوسف و از غرب به شهرستان سرایان محدود است. حوزه آبخیز شهری بیرجند در محدوده جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۱ دقیقه و ۵۷ ثانیه تا ۵۹ درجه و ۱۷ دقیقه و ۱۹ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۳۲ درجه و ۵۹ دقیقه و ۲۳ ثانیه عرض شمالی واقع‌شده است. عرض شمالی واقع‌شده است. در شکل ۱ نقشه محدوده موردمطالعه مشاهده می‌شود.

این حوزه با میانگین بارش سالانه ۱۵۹ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت ۱۷/۶۹ ازنظر تقسیمات اقلیمی در اقلیم نیمه‌خشک سرد با استفاده از روش اقلیم نمای آمبرژه قرارگرفته است (مطالعات تفصیلی حوزه آبخیز دهلکوه اداره کل منابع طبیعی خراسان جنوبی،۱۳۹۹).

1.Shah Alam



شکل (۱): محدوده حوزه آبخیز موردمطالعه

روش تحقیق

تعیین زیر حوزه‌های منطقه موردمطالعه

به‌منظور بررسی اثر توسعه شهری بر میزان رواناب شهر بیرجند از منطقه شمالی شهر که در طول چند دهه اخیر توسعه چشم‌گیری داشته است استفاده شد؛ و از سوی دیگر قسمت‌هایی از حوزه آبخیز مطالعاتی (به‌خصوص قسمت جنوب غرب) براثر توسعه غیراصولی شهر در مسیر رودخانه اصلی شهر بناشده و باعث انسداد مسیر رودخانه شده است و می‌تواند در بارش‌ها با دوره بازگشت بلندمدت باعث ایجاد سیلاب‌های غیرمنتظره و خطرآفرین گردد. به‌منظور تسریع در انجام کار از نرم‌افزار GIS و گوگل ارث برای تعیین زیر حوزه‌های منطقه استفاده شد و درنهایت ۱۰۸ زیر حوزه برای انجام مراحل تحقیق در نرم‌افزار SWMM به این مدل وارد شد. نرم‌افزار SWMM این قابلیت را دارا می‌باشد که با شبیه‌سازی روش‌های استحصال آب، بتوان این موضوع را بررسی کرد که چه مقدار ابزارهای ذخیره‌ای در کاهش حجم رواناب و افزایش کیفیت آب خروجی اثرگذار می‌باشد و درواقع از این طریق می‌توان به دنبال راهکار مناسب برای احیای چرخه طبیعی حیات پیش از توسعه شهری و بازسازی چرخه هیدرولوژیک آب بود.

تعیین ضریب زبری جریان روی سطوح نفوذپذیر، نفوذناپذیر، کانال‌ها و آبراهه‌ها

راه مناسب در تخمین صحیح‌تر ضریب زبری مانینگ، شناخت عوامل مؤثر در این ضریب می‌باشد. این عوامل عبارت‌اند از زبری بستر کانال، نامنظمی سطح مقطع، پوشش گیاهی، شکل مسیر، وجود موانع در مسیر جریان و حتی عمق و دبی جریان که علاوه بر تأثیر درافت طولی در مسیر جریان تا حدودی دربرگیرنده افت‌های ناشی از تغییر شکل جریان نیز می‌باشد (پورصاحبی و همکاران، ۱۳۹۵). استفاده از جداول کمکی، عملی‌ترین روش در برآورد مقدار ضریب زبری مانینگ می‌باشد (ناصح‌پور، ۱۳۹۸). نمونه‌ای از این جداول همراه با توضیحات لازم در راهنمای مدل SWMM موجود است که در این مطالعه از این جداول برای برآورد ضریب زبری جریان روی سطوح نفوذپذیر، نفوذناپذیر و کانال‌ها استفاده‌شده است. با توجه به این‌که در محدوده شهری مناطق نفوذناپذیر اغلب از جنس آسفالت و یا جنس

نزدیک به آن می‌باشد؛ بنابراین ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر در اکثر موارد ۰/۰۱۵ در نظر گرفته شد (رضایی گروی، ۱۳۹۷).

اندازه‌گیری نفوذ

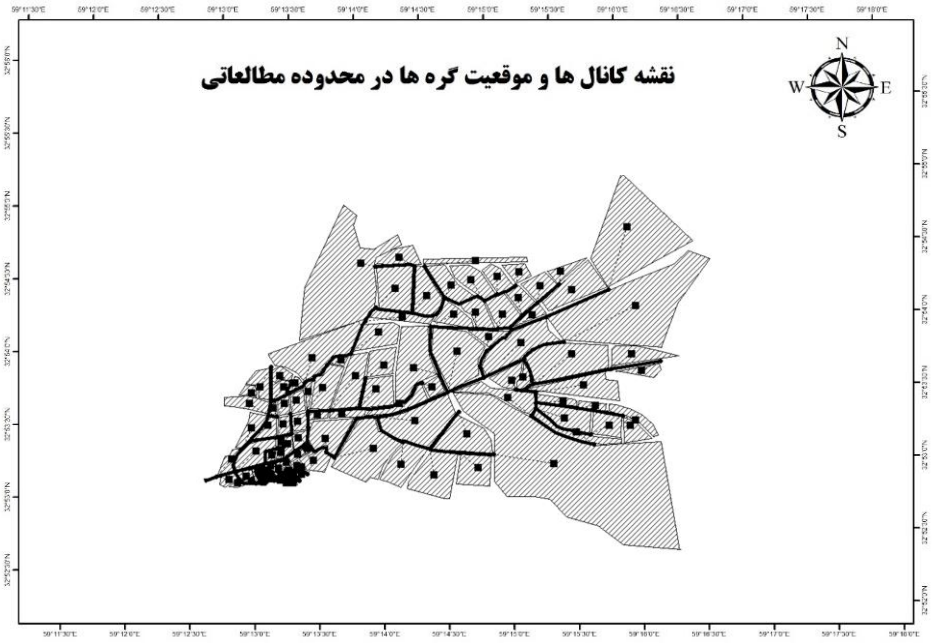
برای مناطق نفوذپذیر، SWMM یکی از مدل‌های نفوذ پیشنهادی هورتن[1] گرین-آمپت[2] اصلاح‌شده و روش حفاظت خاک آمریکا (SCS[3]) را به کار می‌برد. روش حفاظت خاک آمریکا در مناطقی که ایستگاه هیدرومتری ندارد؛ پیشنهاد می‌شود و به‌طور گسترده‌ای در دنیا برای برآورد سیل در حوزه‌های کوچک و متوسط استفاده می‌شود (نخعی کارگر، ۱۳۹۷)؛ که در این مطالعه نیز از روش حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده شد.

خصوصیات فیزیکی زیر حوزه‌ها

به‌منظور شبیه‌سازی بارش-رواناب و پهنه‌بندی سیلاب به یکسری پارامتر ورودی به مدل از قبیل عرض معادل زیر حوزه، شیب، مساحت زیرحوزه‌ها، درصد اراضی نفوذناپذیر، ضریب زبری مانینگ و ذخیره سطحی نیاز است.

مقادیر مربوط به مساحت (هکتار)، عرض معادل (متر)، شیب (درصد) و درصد مناطق نفوذناپذیر با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و نقشه ارتفاعی حوزه مدنظر در محیط GIS به‌دست آمد.

سایر اطلاعات موردنیاز از طریق بازدید میدانی و نقشه‌های در دسترس کسب گردید. برای تعریف مجرای عبور آب در شبکه، لازم است تا داده‌های موردنیاز آن تکمیل گردد. این داده‌ها عبارت‌اند از: نام مجرا، نام گره ورودی، نام گره خروجی، شکل مقطع عرضی، حداکثر عمق، طول مجرا و ضریب زبری، شکل (۲) جانمایی گره و کانال‌ها را در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد.



شکل (۲): نقشه جانمایی کانال‌ها و گره‌ها در محدوده مطالعاتی

ارزیابی تأثیر روش‌های استحصال آب بر میزان رواناب شهری

بررسی و تحقیقات گسترده (حجتی مروست، ۱۳۹۰؛ Mihir Pal et al., 2020) نشان می‌دهد که برای مهار پیامدهای منفی شهرسازی و توسعه شهرها می‌بایست اقدامات سازمان‌یافته‌ای در جهت احیای چرخه طبیعی انجام داد.

1 Horton
2 Green-Ampet model
3 The U.S.Soil Conservation Service(SCS)

این اقدامات از بالادست حوزه آبخیز شهری تا نقطه خروجی و حتی پایین‌دست حوزه که محل تخلیه رواناب شهری با بار آلودگی فراوان می‌باشد؛ تعریف می‌گردد. توسعه غیراصولی شهر بیرجند و ساخت مناطق مسکونی در مسیر رودخانه اصلی یکی از عمده‌ترین مشکلات آب‌گرفتگی این شهر می‌باشد؛ اما نباید فراموش کرد رشد چشم‌گیر شهر، باعث جایگزینی کاربری اراضی کشاورزی و مرتعی به کاربری مسکونی و درنتیجه افزایش سطوح نفوذناپذیر حوزه می‌شود. این موضوع به‌طور غیرمنتظره‌ای باعث افزایش رواناب می‌گردد.

به دنبال افزایش رواناب منطقه شهری، آب‌گرفتگی معابر و افزایش بار آلودگی رواناب خروجی دور از انتظار نیست. لذا در این تحقیق؛ از مدل SWMM استفاده گردیده و اثرات استفاده از روش‌های استحصال آب را در حجم رواناب خروجی، دبی پیک و درنتیجه کاهش آب‌گرفتگی معابر بررسی شد.

به‌منظور بررسی اثرات روش‌های استحصال آب از دو روش حوضچه‌های نگهدارنده و جمع‌آوری آب پشت‌بام‌ها که نسبت به مابقی روش‌ها، با هزینه کمتری قابل‌استفاده می‌باشد موردبررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که استفاده از سیستم‌های استحصال آب در کل حوزه، از قابل‌اجرا نمی‌باشد و در واقعیت به‌هیچ‌وجه نمی‌توان در کل حوزه از روش-های استحصال آب استفاده نمود و همچنین در بیشتر مطالعات انجام شده از این سیستم‌ها فقط در بخش‌هایی از حوزه استفاده می‌شود؛ لذا با فرض این‌که فقط ۲۰ درصد منطقه موردمطالعه از سیستم‌های استحصال آب استفاده نماید؛ نتایج خوبی حاصل گردید (رجب‌نژاد، ۱۳۹۶. حلب‌چی، ۱۳۹۶).

با توجه به این موضوع که دوره بازگشت قابل‌قبول در حوزه‌های آبخیز شهری بین ۲ تا ۱۰ سال می‌باشد (رضایی-گروی، ۱۳۹۷)؛ در این قسمت نیز نتایج حاصل از استفاده از روش‌های استحصال آب در دو دوره بازگشت ۵ و ۱۰ سال و باهدف بررسی اثرات آن در حجم و دبی پیک آن موردبررسی قرار می‌گیرد. لازم به ذکر است با توجه به تعداد بالای زیرحوزه‌ها و مشابهت نتایج در کل حوزه، اطلاعات به‌دست‌آمده فقط برای ۵ حوزه آورده شد.

بحث و نتایج

تأثیر استفاده از روش‌های استحصال آب در شهر بیرجند با دوره بازگشت ۵ سال

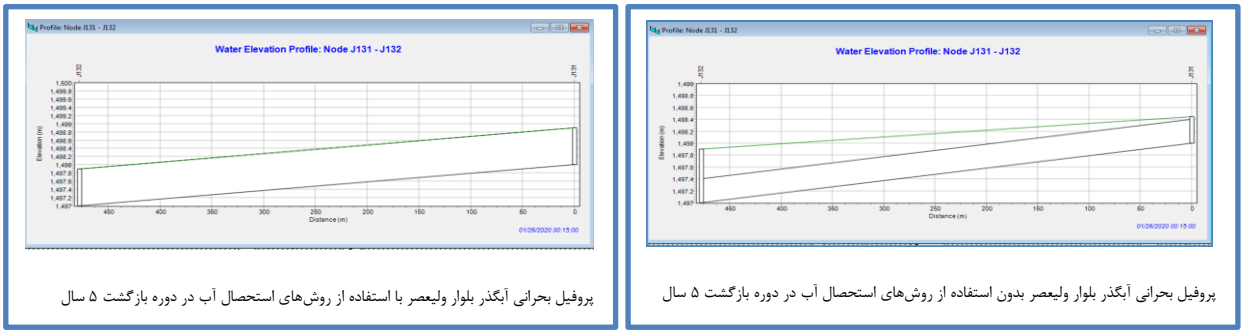
در این سناریو، ۲۰ درصد از مساحت هر زیرحوزه به استفاده از روش‌های استحصال آب اختصاص داده شد و برای مناطق مسکونی از روش جمع‌آوری آب پشت‌بام و برای اراضی با کاربری کشاورزی و یا فضای سبز از روش حوضچه‌های نگهدارنده استفاده گردید. نتایج در جدول (۱) نمایش داده‌شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد. استفاده از سیستم‌های استحصال آب باعث کاهش حجم رواناب و دبی اوج در خروجی هر یک از زیرحوزه‌ها شده است که قابل‌تعمیم به‌کل حوزه می‌باشد.

جدول (۱): بررسی تأثیر اقدامات استحصال آب بر رواناب حوزه آبخیز شهر بیرجند در دوره بازگشت ۵ سال

نام زیرحوزه	قبل از اجرای اقدامات استحصال آب		بعد از اجرای اقدامات استحصال آب			
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	حجم رواناب (هزار مترمکعب)	دبی اوج (مترمکعب برثانیه)	حجم رواناب (هزار مترمکعب)	درصد کاهش دبی اوج	درصد کاهش حجم سیلاب
S1	۳/۹۰	۶۲/۹۰	۰/۵۱	۱۲/۲۱	۸۶/۹	۸۰/۵۹
S9	۰/۷۰	۳/۷۵	۰/۰۹	۰/۷۳	۸۷/۱۴	۸۰/۵
S12	۱/۲۰	۴/۸۸	۰/۱۶	۰/۹۵	۸۷/۷	۸۰/۵
S18	۱/۵۰	۸/۹۵	۰/۲۰	۱/۷۴	۸۶/۶۷	۸۰/۶
S32	۲/۴۰	۲۸/۹۵	۰/۳۱	۵/۶۲	۸۷/۱	۸۰/۵۸

به‌طور خلاصه می‌توان بیان داشت حوزه آبخیز شهر بیرجند با استفاده از روش‌های استحصال آب، به‌طور متوسط با کاهش ۸۷ درصدی دبی اوج و ۸۰ درصدی حجم رواناب در خروجی حوزه روبرو گردید. این نتایج با پژوهش سایر محققان ازجمله حلب‌چی (۱۳۹۶) و میرعمادی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد.

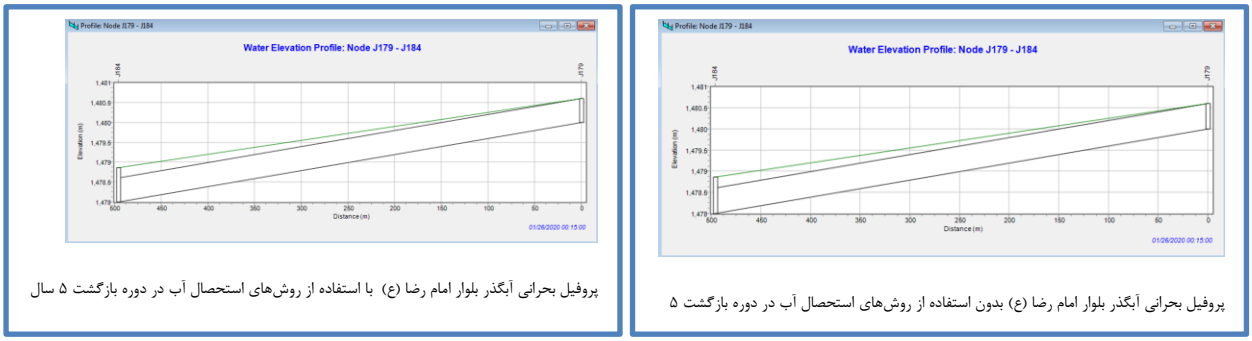
مقایسه پروفیل بحرانی آبگذرهای عنوان‌شده در دو سناریوی قبل و بعد استفاده از روش‌های استحصال آب، تأثیر این روش‌ها را کاملاً قابل باور می‌کند که دو نمونه از پروفیل‌های بحرانی برای نمونه در شکل‌های (۳) و (۴) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود استفاده از روش‌های استحصال آب باعث کاهش محسوس و در مواردی از بین رفتن کامل مشکل آب‌گرفتگی آبگذرها گردیده و می‌توان بدون صرف هزینه‌های زیاد قادر به کنترل مشکل آب‌گرفتگی معابر شهر بیرجند شد. البته باید در نظر داشت این مدل برای شرایط فعلی حوزه شهری بیرجند طراحی گردیده است و در صورت برطرف نشدن مشکل توسعه غیراصولی شهر از یک‌سو و سیستم زهکشی قدیمی شهر از سوی دیگر شاید نیاز به به‌روزرسانی مدل بوده و مدل فعلی جوابگو نباشد.



پروفیل بحرانی آبگذر بلوار ولیعصر با استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۵ سال

پروفیل بحرانی آبگذر بلوار ولیعصر بدون استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۵ سال

شکل (۳): پروفیل‌های بحرانی آبگذر بلوار ولیعصر در دوره بازگشت ۵ سال

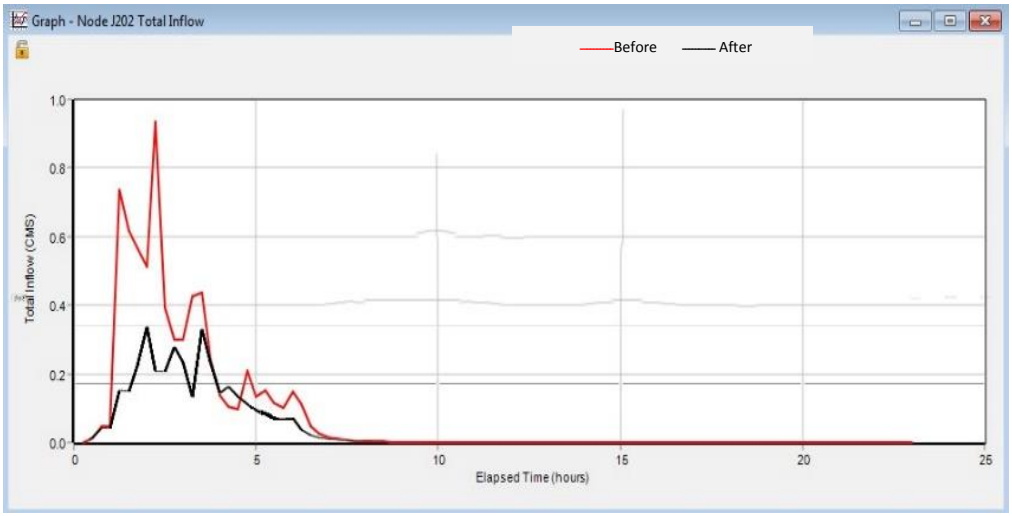


پروفیل بحرانی آبگذر بلوار امام رضا (ع) با استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۵ سال

پروفیل بحرانی آبگذر بلوار امام رضا (ع) بدون استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۵

شکل (۴): پروفیل‌های بحرانی آبگذر بلوار امام رضا(ع) در دوره بازگشت ۵ سال

مقایسه نمودار آخرین گره حوزه موردمطالعه که به خروجی حوزه متصل می‌شود نیز حکایت از کارایی استفاده از روش‌های استحصال آب، در کاهش حجم سیلاب و دبی اوج دارد. شکل (۵) نمودار حجم رواناب در نقطه خروجی قبل و بعد از اجرای روش‌های استحصال آب را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان این‌گونه عنوان کرد که استفاده از روش‌های استحصال آب باعث کاهش ۱۹ تا ۴۵ درصدی حجم رواناب و ۳۵ تا ۵۰ درصدی دبی اوج سیلاب در نقطه خروجی حوزه شهری بیرجند می‌شود و به‌علاوه استفاده از این روش‌ها باعث افزایش ۵۰ درصدی زمان تمرکز حوزه خواهد شد.



شکل (۵): مقایسه نمودار روند و حجم جریان در نقطه خروجی حوزه قبل و بعد از استفاده از روش‌های استحصال آب

تأثیر استفاده از روش‌های استحصال آب در شهر بیرجند با دوره بازگشت ۱۰ سال

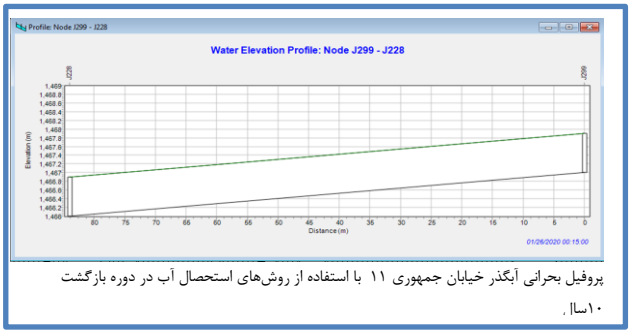
به‌منظور بررسی عملکرد استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۱۰ ساله، نیز با شبیه‌سازی و فرض اعمال روش‌های مدیریتی استحصال آب حوضچه‌های نگهدارنده و جمع‌آوری آب باران پشت‌بام‌ها در ۲۰ درصد مساحت هر زیرحوزه، نتایج جدول (۲) به‌دست آمد و همان‌طور که انتظار می‌رفت روش‌های مدیریتی استحصال آب در دوره بازگشت‌های ۱۰ ساله نیز مؤثر بوده است.

جدول (۲): بررسی تأثیر اقدامات استحصال آب بر رواناب حوزه آبخیز شهر بیرجند در دوره بازگشت ۱۰ سال

نام زیرحوزه	قبل از اجرای اقدامات استحصال آب		بعد از اجرای اقدامات استحصال آب			
	دبی اوج (مترمکعب برثانیه)	حجم رواناب (هزار متر مکعب)	دبی اوج (مترمکعب برثانیه)	حجم رواناب (هزار متر مکعب)	درصد کاهش دبی اوج	درصد کاهش حجم سیلاب
S1	۷/۵۰	۱۵۶/۷۱	۱/۲۹	۳۴/۳۹	۸۲/۸	۷۸/۱
S9	۱/۴	۹/۶۰	۰/۲۷	۲/۲۷	۸۰/۷	۷۶/۴
S12	۲/۶۱	۱۱/۴۰	۰/۴۴	۲/۴۹	۸۳/۱۴	۷۸/۲
S18	۳/۱۰	۲۴/۳۱	۰/۵۷	۵/۳۱	۸۱/۶	۷۸/۲
S32	۵/۳۲	۷۳/۵۰	۰/۹۳	۱۵/۶۱	۸۲/۵	۷۸/۸

روش‌های استحصال آب، در بارندگی با دوره بازگشت ۱۰ سال باعث کاهش ۸۱ درصدی دبی اوج و ۷۸ درصدی حجم رواناب در رواناب حوزه می‌شود. تحقیق حاضر نشان می‌دهد میزان کارایی این روش در دوره بازگشت ۵ سال بیشتر از ۱۰ سال می‌باشد که با نتایج قاسمی و فغفور مغربی (۱۳۹۷) مطابقت دارد.

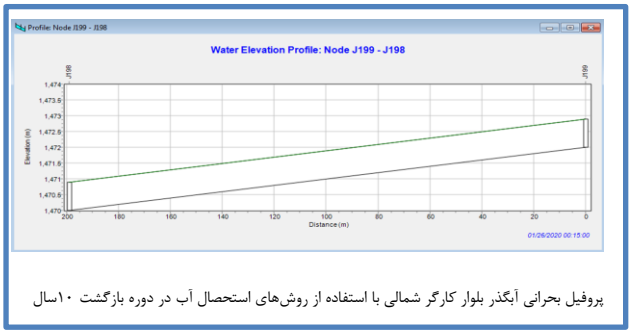
مقایسه پروفیل بحرانی آبگذرهای نیز، تأثیر استفاده از روش‌های استحصال آب را کاملاً تأیید می‌نماید و دو نمونه از پروفیل بحرانی آبگذر در بارندگی با دوره بازگشت ۱۰ سال پس از استفاده از روش‌های مدیریتی استحصال آب در شکل‌های (۶) و (۷) آورده شده است. در دوره بازگشت ۱۰ سال نیز استفاده از روش‌های استحصال آب تأثیر بسزایی در کاهش رواناب شهری و درنتیجه کاهش آب‌گرفتگی آبگذرها می‌شود.



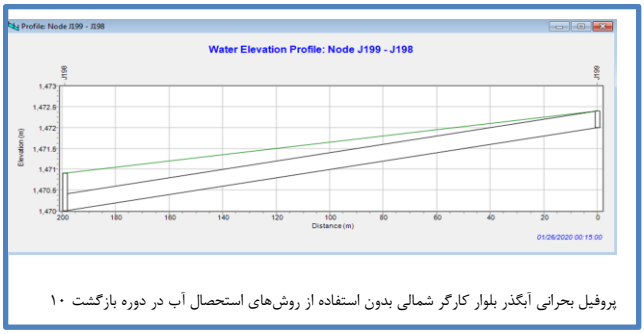
پروفیل بحرانی آبگذر خیابان جمهوری ۱۱ با استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۱۰سال

پروفیل بحرانی آبگذر خیابان جمهوری ۱۱ بدون استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۱۰

شکل(۶): پروفیل‌های بحرانی آبگذرخیابان جمهوری ۱۱ در دوره بازگشت ۱۰ سال



پروفیل بحرانی آبگذر بلوار کارگر شمالی با استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۱۰سال

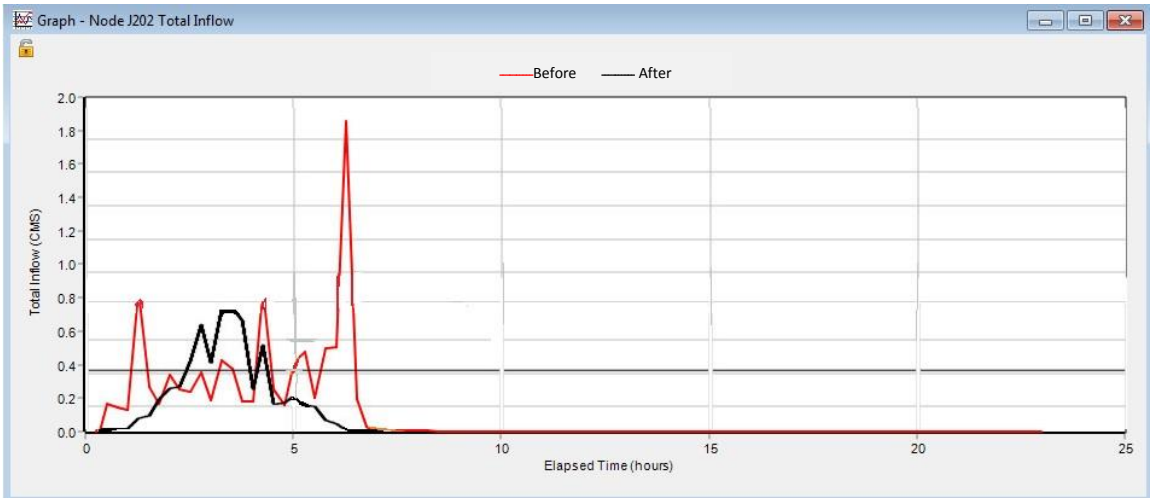


پروفیل بحرانی آبگذر بلوار کارگر شمالی بدون استفاده از روش‌های استحصال آب در دوره بازگشت ۱۰

شکل (۷): پروفیل‌های بحرانی آبگذرخیابان جمهوری ۱۱ در دوره بازگشت ۱۰ سال

در دوره بازگشت ده سال نیز مقایسه نمودار آخرین گره حوزه موردمطالعه که به خروجی حوزه متصل می‌شود؛ حکایت از کارایی استفاده از روش‌های استحصال آب، در کاهش حجم سیلاب، دبی اوج و زمان تمرکز دارد. به‌طوری‌که طبق تحلیل نمودار می‌توان به کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی حجم رواناب، ۲۰ تا ۴۰ درصدی دبی اوج و افزایش ۴۰ درصدی زمان تمرکز حوزه شهری بیرجند در نقطه خروجی حوزه با اعمال روش‌های استحصال آب رسید.

شکل (۸) نمودار حجم رواناب در نقطه خروجی قبل و بعد از اجرای روش‌های استحصال آب را نشان می‌دهد.



شکل (۸): نمودار روند و حجم جریان در نقطه خروجی حوزه قبل و بعد از استفاده از روش‌های استحصال آب

نتیجه‌گیری

شهر بیرجند پس از این‌که به‌عنوان مرکز استان خراسان جنوبی انتخاب شد؛ با رشد فزاینده‌ای روبرو گردید که نتیجه آن گسترش غیراصولی شهر در مسیر زهکش‌های اصلی شهر و انسداد آن‌ها از یکسو و افزایش چشم‌گیر سطوح نفوذناپذیر از سوی دیگر بود. ارزیابی مدلSWMM نشان می‌دهد اثرگذارترین عامل در دبی اوج شهر بیرجند، درصد مناطق نفوذناپذیر می‌باشد. پس از شبیه‌سازی بارش-رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف، ناکارآمدی سیستم زهکشی شهر بیرجند در انتقال رواناب حاصل از بارش‌های با دوره بازگشت‌های مختلف تأیید شد. استفاده از روش‌های استحصال آب که در جهان با عنوان روش‌های مدیریتی نوین شناخته می‌شود؛ می‌تواند راهکار مناسبی برای سیستم زهکشی نامناسب شهر بیرجند باشد. به این منظور از نرم‌افزار SWMM، کمک گرفته شد تا با شبیه‌سازی اثرات استفاده از روش‌های استحصال آب در شهر بیرجند، بتوان راهکار مناسب را ارائه نمود. نتایج حاکی از آن است که با اعمال روش‌های استحصال آب باران می‌توان شاهد کاهش ۷۸ تا ۸۰ درصدی حجم رواناب و ۸۲ تا ۸۸ درصدی دبی اوج شهر بیرجند و همچنین افزایش ۴۰ تا ۵۰ درصدی زمان تمرکز حوزه آبخیز شهری بیرجند در دوره بازگشت ۵ تا ۱۰ سال باشیم. از سوی دیگر استفاده از حوضچه‌های نگهدارنده در فضای سبز این شهر می‌تواند در آبیاری فضای سبز کمک نموده و علاوه بر صرفه‌جویی در مصارف آب شهری، در کاهش دبی اوج سیلاب نیز مؤثر باشد.

منابع

۱. بهرامی، ج.، ف. فاروقی، ا. حسینی و د. رفیعی (۱۳۹۴) تأثیر ابزارهای نفوذ و ذخیره‌ای توسعه کم اثر در مدیریت رواناب شهری سنندج. مجله آب و فاضلاب ۱۲۴-۱۱۸ (۵) ۲۸.

۲. پورصاحبی، ع.، م. ذاکری نیری و ص. معظمی گودرزی (۱۳۹۵) ارزیابی کاربردهای توسعه کم اثر LID و بهترین روش‌های مدیریتی BMD بر کمیت و کیفیت سیلاب شهری مطالعه موردی منطقه ۲۲ تهران. کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران (۲۶ و ۲۷ بهمن‌ماه ۱۳۹۵).

۳. حجتی‌مروست، ا. (۱۳۹۰) ارائه مدل بیلان آب جهت بررسی رواناب شهری در بخشی از شهر تهران. پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

۴. حلب‌چی، ا. (۱۳۹۶) روش توسعه کم اثر (LID) در کاهش رواناب‌های سطحی (مطالعه موردی: مسیل دلاوران (سرافرازان) مشهد). پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد. موسسه آموزش عالی خاوران.

۵. حیدری، ه.، م. کاویان‌پور اصفهانی و م. پورحسن زارع (۱۳۹۳) بررسی تأثیر به‌کارگیری سیستم‌های جمع‌آوری آب باران در مناطق با اقلیم گرم و خشک، جهت مصارف آبیاری فضای سبز خانگی. یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسر کشور.

۶. خواجه‌نصیری، ع.، ح. گلکارحمزیی‌یزد و م. طاوسی (۱۳۹۴) استفاده از حوضچه‌های تأخیری جهت تعدیل و کاهش سیلاب با نرم‌افزار ASSA و GIS. چهارمین همایش ملی سامانه‌های سطوح آبگیر باران. بهمن ماه ۱۳۹۴.

۷. رجب‌نژاد، م. (۱۳۹۶) استفاده از روش‌های نوین (LID-BMPs) در مدیریت رواناب شهری با رویکرد کاهش آلاینده‌ها. پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد. دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم.

۸. رضایی‌گروی، ف. (۱۳۹۷) بررسی پاسخ هیدرولوژیکی مناطق همگن شهری به بارش و تعیین کارایی شبکه زهکشی به کمک شبیه‌سازی رواناب شهری (مطالعه موردی: بخشی از شهر مشهد). پایان‌نامه جهت اخذ درجه دکتری تخصصی. دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۹. سعادت فومنی، م.، ب. ملک‌محمدی و ا. صالحی (۱۳۹۶) مکان‌یابی سیستم‌های سلول ماند بیولوژیکی در مدیریت رواناب شهری با استفاده از منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی، مورد شناسی: منطقه یک شهر تهران. مجله جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، ۵۶-۳۹: (۲۴)۱۳۹۶.

۱۰. شرکت مهندسی مشاور هیدروپی (۱۳۹۹) مطالعات تفضیلی حوزه آبخیز دهلکوه بیرجند. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری خراسان جنوبی.
۱۱. عینلو، ف. (۱۳۹۳) اثر تغییر کاربری و توسعه شهری بر تولید رواناب (مطالعه موردی: شهر زنجان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
۱۲. قاسمی، ث. و م. فغفور مغربی (۱۳۹۴) حوضچه‌های تأخیری، راهکاری جهت توسعه و مدیریت پایدار شهری. سامانه‌های سطوح آبگیر باران (۶)۳، ۱۳۹۴.
۱۳. میرعمادی، ز.، ح. کرمی، خ. حسینی و ع. هاشمی (۱۳۹۷) کاهش سیلاب در حوزه‌های شهری با استفاده از LID-BMPS در مدل SWMM و انتخاب گزینه برتر با استفاده از روش AHP-TOPSIS. هشتمین همایش سطوح آبگیر ایران، آذر ۱۳۹۸.
۱۴. موسویان، ن. (۱۳۹۹). روش‌های استحصال آب باران. سایت مدیریت منابع آبان ۱۳۹۹.
۱۵. ناصح‌پور، م. (۱۳۹۸). بررسی تغییرات پوشش اراضی و ابزارهای توسعه کم‌اثر ب پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز شهری با استفاده از SWMM (مطالعه موردی: شهر قم). پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
۱۶. نخعی کارگر، ک. (۱۳۹۷). پیش‌بینی سیلاب در حوضه‌های شهری با استفاده از نرم‌افزار SWMM، مطالعه موردی: منطقه۸ شهرداری کرج. پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد. دانشکده مهندسی عمران و مـکانیک. دانشـگاه غیاث‌الدین جمشید کاشانی.

17. Akhavan Bloorchian A., Jianpeng Z., Abdolreza O., Laurent A. and Mark G. *(2016). Low Impact Development for Controlling Highway Stormwater Runoff-Performance Evaluation and Linkage to Cost Analysis.* International Low Impact Development Conference 2016.
18. Jun Q.L., James C. Y., Guo B. and Liang Wang W. *(2019). Runoff Capture Methods Developed for Stormwater Low-Impact Development Designs*, J. Hydrol. Eng., 2019, 24 (4): 04019005.
19. Mihir P., Malabika B. and Pankaj K. *(2020). Use of HEC-HMS Software for Quantitative Assessment ofWater of Dumboor Reservoir, Tripura, India. International* Journal for Research inApplied Science & Engineering Technology (IJRASET*), pp 495- 500.*
20. Misni A., Alamah F. and Noor A. *(2017). Low Impact Development: Minimising stormwater runoff in a case study of section 13, Shah Alam, Malaysia*. Water Resources Management *IX:205-215.*
21. Thomas J., Lynn S., Mahmood H., Nachabe E. and Sarina J. *(2016). SWMM-5 Nitrate Removal Model for Denitrifying Stormwater Biofilters.* World Environmental and Water Resources Congress *2016:61-66.*

Evaluating the effect of water harvesting methods on urban runoff (Case study: Birjand urban watershed)

Fatemeh Beheshti Se Ghale[*1], Seyyed Mohammad Tajbakhsh Fakhrabadi[2], Ali Shahidi[3]

1. M.Sc. Student in Watershed Science and Engineering, majoring in water and soil protection, Faculty of Natural Resources and Environment, Birjand University.
2. Associate Professor, Birjand University Faculty of Natural Resources and Environment.
3. Associate Professor of the Faculty of Agriculture, Birjand University.

Received: 2022/04
Accepted: 2022/06

Abstract

New approaches to urban runoff management seek to reduce the volume and discharge of rainfall peaks as well as the amount of pollutants in urban areas to a level that is reminiscent of rainfall runoff in the decades before urban development. SWMM software is one of the best models to help in this field and it can be used to study the effects of using water harvesting methods on the volume of runoff and peak flow and thus reduce flooding of roads. Simulation of the drainage network in the north of Birjand city showed that the sewerage network of Birjand city does not have the necessary efficiency to pass floods with different return periods and is flooded in different parts. If the problem is not solved by the relevant organizations, in the not too distant future, it will witness a large flood and as a result, irreparable damage will be undeniable. For this purpose, using two methods of holding ponds and collecting water from the roofs, which can be used at a lower cost than other methods of water extraction; , in this study was examined. Considering that the use of water extraction systems in the whole basin is economically unfeasible and justified. In most studies, this system is used only in a part of the field. As a result, by applying rainwater extraction methods in Birjand urban watershed, we can see an 80% reduction in runoff volume in Birjand. On the other hand, the use of ponds in the green space of the city can help irrigate the green space and in addition to saving urban water consumption, is also effective in reducing the peak discharge of floods.

Keywords: Urban development, SWMM, Water extraction, Urban watershed, Hydrological reaction.

[1] E-mail: f.beheshti@birjand.ac.ir