پژوهش های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر به‌منظور مدیریت کیفیت رواناب شهری با استفاده از روش های تصمیم‌گیری چندمعیاره در شهر گرگان

مهتاب فروتن[۱]، فاطمه شکریان[۲*]، کریم سلیمانی[۳]، امیراحمد دهقانی[۴]

۱ –دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، ساری، ایران
۲ –استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، ساری، ایران
۳ –استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع‌طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی ساری، ساری، ایران
۴ –دانشیار، دانشکده‌ی مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان، گرگان، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

در سال‌های اخیر، با رشد سریع جمعیت، توسعه‌ی روزافزون شهر نشینی و صنعتی شدن جوامع، آب‌شناسی (هیدرولوژی) آبخیزهای شهری، دچار تغییرات زیادی شده است. این تغییرات در طی زمان موجب بروز سیلاب و آبگرفتگی معابر در نواحی شهری شده است و از سویی دیگر رخداد سیلاب در مناطق شهری به‌دلیل تراکم جمعیت و امکانات، می‌تواند خسارت‌های جبران ناپذیر و کاهش کیفیت رواناب را به‌همراه داشته باشد. برای مدیریت رواناب‌ها و جلوگیری از جاری شدن سیل و آلودگی آب‌ها رویکردهای نوینی پیشنهاد شده است، که توسعه‌ی کم اثر LID یکی از این رویکردها است. هدف استفاده از این روش، شبیه‌سازی شرایط آب‌شناختی (هیدرولوژیک) منطقه‌ی شهری، قبل از توسعه است. به این منظور در این پژوهش ارزیابی ویژگی‌های کیفیت (BOD,TP,TN) با استفاده از بهترین شیوه‌های مدیریت توسعه‌ی کم اثر (LID/BMPs) در شهر گرگان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

ابتدا اطلاعات مربوط به منحنی‌های شدت–مدت–بارندگی، نقشه‌های کاربری شهری و زمین‌ها و نقشه‌های توسعه‌ی شهری آبخیز گرگان جمع‌آوری شد. برای ایجاد مدل آب‌شناختی در شهر گرگان و بررسی تأثیر LID بر رواناب از مدل EPA-SWMM استفاده شد. با توجه به توسعه‌ی شهری منطقه، شش گزینه‌ی پشت بام سبز، سامانه‌ی ماند زیست‌شناختی (بیولوژیکی)، جوی باغچه، بشکه‌ی باران، ترانشه‌ی نفوذ و روکش‌های نفوذپذیر، با رگبار ۶ ساعته، با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله برای تحلیل کیفی با استفاده از ویژگی‌های نیترات، فسفات و BOD درنظر گرفته‌شد.

نوع مقاله: پژوهشی
***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** shokrian.f@gmail.com
استناد: فروتن، م.، شکریان، ف.، سلیمانی، ک.، دهقانی، ا.ا. ۱۴۰۲. اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر به‌منظور مدیریت کیفیت رواناب شهری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در شهر گرگان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۳): ۲۲-۲.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.359714.1488

تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۶/۰۵،**تاریخ بازنگری:**۱۴۰۱/۰۷/۲۶،**تاریخ پذیرش:**۱۴۰۱/۰۹/۳۰،**تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی۳۶، شماره‌ی ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۴۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه‌های۲ تا ۲۲

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس
© نویسندگان

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از واسنجی و اعتبارسنجی مدل براساس سنجه‌ی ناش–ساتکلیف بیشتر از ۵/۰ نشان داد که برای شبیه‌سازی کیفیت رواناب شهری، مدل SWMM دقت لازم را دارد. نتایج نشان داد که به‌ترتیب سامانه‌ی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر با کاهش آلاینده‌های رواناب سطحی در مقایسه با وضعیت موجود بهترین عملکرد را در بهبود کیفیت رواناب سطحی در منطقه داشتند. به کارگیری روش‌های توسعه‌ی کم اثر در منطقه به عامل‌های مختلفی مانند عامل‌های محیطی، اقتصادی و کارایی آن‌ها بستگی دارد. نتایج گویای آن است که همه‌ی سناریوهای LID انتخاب‌شده در پژوهش در بهبود کیفیت رواناب سطحی مؤثر بوده‌اند، اما هر یک از سناریوها عملکرد متفاوتی را نشان دادند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با وجود اینکه تمام سناریوهای LID بررسی‌شده در این پژوهش در مهارکردن رواناب سطحی و بهبود کیفیت آن مؤثر بوده‌اند، از آنجایی که با اجرای سناریوهای پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر اندازه‌ی فسفات، نیترات و BOD در مقایسه با وضعیت موجود و سایر سناریوها کاهش بیشتری داشت، در نتیجه تأثیر اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر بیشتر بوده است، و پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی، این اقدام‌ها در اولویت‌های اجرایی باشند.

واژگان کلیدی: آب‌های سطحی، فسفات، گرگان، مدل EPA-SWMM، LID

مقـدمه

رعایت نکردن آمایش سرزمین در انتخاب کاربری‌ها و اجرای غیراصولی مانند جنگل‌زدایی منجر به افزایش سطح زمین‌های کشاورزی، افزایش توسعه‌ی شهری، آب‌دهی اوج، فراوانی رخداد سیلاب، فرسایش و رسوب شده است و در نتیجه پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی آن منفی است (سیلورا ۲۰۰۲). مدل SWMM شبیه‌سازی پویای بارش– رواناب (تک رخداد و پیوسته) با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیرسطحی است. در این مدل برآورد سیلاب با روش موج نظام‌مند (سیستماتیک) و ترکیب اجزاء جریان‌های روزمینی و کتحلیله‌شده انجام می‌شود (ناصح‌پور و همکاران ۲۰۲۱، ثمین و همکاران ۲۰۲۲). کیفیت رواناب شهری تابعی از عامل‌های مختلف است و امکان احیای آن به نوع و اندازه‌ی این آلاینده‌ها بستگی دارد، که این آلاینده‌ها شامل موادمعلق و موادمغذی و ... است. موادمغذی مثل نیترات و فسفات و BOD از جمله آلودگی‌های مشاهده‌شده در رواناب شهری است که با ورود به منابع آب مثل دریاچه‌ها، دریاها، آب‌های جاری و زیرزمینی باعث اختلال در چرخه‌ی غذایی این مکان‌ها می‌شود. این موادمغذی از راه‌های مختلفی مانند کودهای شیمیایی (برای رشد گیاهان استفاده می‌شوند)، فضولات حیوانات خانگی و سامانه‌ی تخلیه‌ی فاضلاب‌های انسانی وارد رواناب شهری می‌شوند (هچومی و همکاران۲۰۲۱، وو و همکاران ۲۰۲۱، ژنگ و همکاران ۲۰۲۱). آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا در بررسی مشکلات رواناب شهری از مفهوم توسعه با اثرات کم استفاده می‌کند که بر لزوم استفاده از بهترین اقدام‌های مدیریتی تأکید دارد. مزایای این اقدام‌ها شامل کاهش و به تأخیر انداختن حجم رواناب و آب‌دهی اوج سیلاب‌ها، افزایش تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی، کاهش آلودگی سیلاب‌ها، افزایش تجزیه‌ی کربن، کاهش انرژی‌های گرمازا، بهبود کیفیت هوا، افزایش زیستگاه آبزیان، حیات وحش و تفرجگاه، بهبود سلامت انسان و افزایش ارزش زمین‌ها است (هوآ و همکاران ۲۰۱۳، ژو و همکاران ۲۰۲۲، لیو و همکاران ۲۰۲۱، دارنسامکول و موزینگو ۲۰۲۱).

عینلو و همکاران (۲۰۱۶) اثر توسعه‌ی شهری بر تغییرات حجم رواناب را با استفاده از مدل بارش–رواناب SWMM در آبخیز شهر زنجان بررسی کردند. نتایج مدل نشان داد توسعه‌ی شهری و تبدیل زمین‌ها به سطوح نفوذناپذیر سبب افزایش حجم رواناب شده است به‌طوری که میانگین حجم رواناب در سال ۲۰۱۱ در مقایسه با سال ۲۰۰۰ و ۱۹۵۵ به‌ترتیب ۶۴/۴۵ و ۶۹۸/۵۸٪ و در سال ۲۰۰۰ در مقایسه با سال ۱۹۵۵، ۹۱/۳۷۶٪ افزایش داشته است. یار احمدی و همکاران(۲۰۱۸) با استفاده از مدل EPA-SWMM رگبارهای شش ساعته در دوره‌ی بازگشت‌های طراحی سیلاب ۲، ۵ و ۱۰ سال را برای منطقه‌ی ۶ شهرداری تهران شبیه‌سازی کردند. برای اعتبارسنجی مدل از آمار پنج رخداد بارندگی استفاده شد و سرعت رواناب برآورد شد. شاخص کارایی مدل نیز شامل ناش–ساتکلیف، ریشه‌ی مربع خطا و بایاس بود. نتایج واسنجی مدل مطابقت داده‌های مشاهداتی با شبیه‌سازی‌شده را نشان داد و مشخص شد که مدل برای این منطقه دقت زیاد داشت، به‌طوری که اندازه‌ی ضریب ناش– ساتکلیف

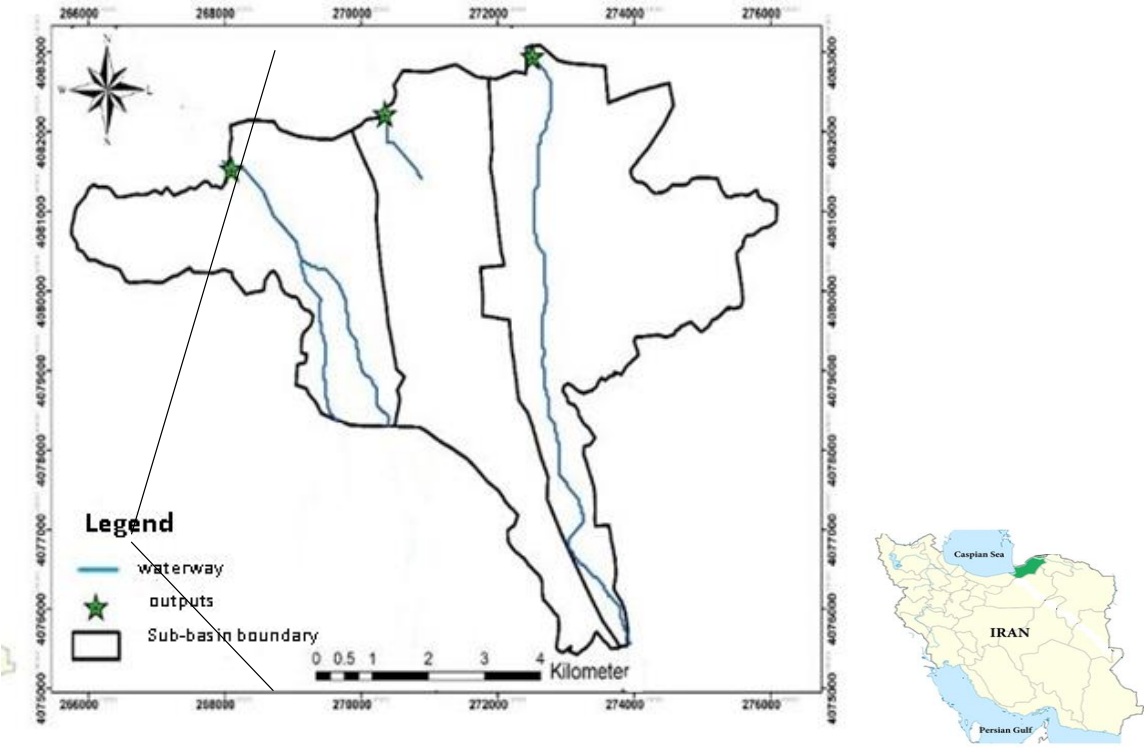
برای بارش‌ها به‌ترتیب ۰/۸۸ ، ۰/۷۱، ۰/۸۹، ۰/۷۴و ۰/۷۷ بود. کرمی و همکاران (۲۰۱۶) مدیریت خطرپذیری آبگرفتگی و آلودگی ناشی از سیلاب شهری را با استفاده از راهکارهای بهینه‌ی متداول و نوین انجام دادند. هدف مدل بهینه سازی، به حداقل‌رساندن سه سنجه‌ی هزینه‌ی اقتصادی، خطرپذیری آبگرفتگی سیلاب و آلودگی آب‌های سطحی بود. نتایج گویای آن بود که برای دستیابی به بهترین جواب لازم است از ترکیب هر دو راهکار سنتی و نوین استفاده شود تا هر دو خطرپذیری آبگرفتگی و آلودگی به اندازه‌ی قابل قبولی کاهش یابند. طاهریون و همکاران (۲۰۱۶) کاربرد بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) در بهبود کمیت و کیفیت رواناب شهری در منطقه‌ی وحیدیه در شمال شهر تهران را بررسی کردند. نتایج نشان داد به‌کارگیری بهترین راهکارهای مدیریتی با درنظر گرفتن دیدگاه‌های اقتصادی تأثیرهای مثبتی در بهبود کمیت و کیفیت رواناب شهری داشت. یانگ و همکاران (۲۰۲۰) مدلسازی رواناب ناشی از سطوح مختلف و کاربرد آن در اجرای برنامه‌های مدیریتی را انجام دادند. بررسی سناریوهای مختلف نشان داد که تنظیم سرعت رشد سطوح نفوذناپذیر می‌تواند بر کاهش آب‌دهی اوج رواناب و کاهش بار آلاینده‌ها تأثیر مثبتی داشته باشد. سونگ و همکاران (۲۰۲۰) کاهش بارهای آلاینده منبع غیر نقطه‌ای و جاری شدن سیل در آبخیزها را از روش مدیریت بارش باران- رواناب آبخیز شهری بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که به مدیریت کارآمد خطرهای ناشی از بلاهای طبیعی که ممکن است در آبخیزهای شهری رخ دهد، نیاز است. سعادت پور و همکاران (۲۰۲۰) در دو پژوهش جداگانه با استفاده از نرم افزار SWMM و دستورالعمل MOPSO، کمیت سیلاب شهرک گلستان در منطقه‌ی ۲۲ شهر تهران را بررسی کردند. براساس نتایج، به‌کارگیری LID -BMPها در سطح آبخیر شهری بررسی‌شده، سبب کاهش ۲۰٪ در بار آلودگی در مقایسه با گزینه‌ی بدون به‌کارگیری این روش‌ها شد. ژو و همکاران (۲۰۲۲) در آبخیز شهری کروکدکریک در ایالات متحده، به‌منظور کاهش بار آلودگی و کاهش رواناب، اجرای بهینه BMPها را با استفاده از دستورالعمل بهینه‌ساز AMALGAM بررسی کردند. نتایج نشان داد که با انتخاب BMP مناسب می‌توان اندازه‌ی بار آلاینده‌ها و حجم رواناب را با صرف هزینه‌های کم کاهش داد. جیا و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل SWMM بهترین روش‌های مدیریتی در مهارکردن رواناب شهری در منطقه‌ی تیانجین چین را بررسی کردند. نتایج بررسی نشان داد که با استفاده از LID-BMP اندازه‌ی حجم رواناب ۷۵٪، آب‌دهی اوج جریان ۲۲٪-۴۶٪ و اندازه‌ی آلودگی جریان ۳۲٪ کاهش یافت. تقی‌زاده و همکاران (۲۰۲۱) با استفاده از مدل SWMM، دستورالعمل MOPSO و روش توسعه‌ی کم اثر کیفیت رواناب شهری در شمال‌غرب تهران را بررسی کردند. نتایج ارزیابی عملکرد BMPهای انجام شده با شرایطی مقایسه شد که یک نوع BMP در منطقه اجرا شده باشد. نتایج نشان داد که با استفاده از این نوع BMP منفرد، اندازه‌ی TSS، TP و TN به‌ترتیب ۹۷٪، ۶۸٪ و ۷۲٪ کاهش یافت. بهترین روش مؤثر برای بهبود کیفیت آب روش نگهداری زیستی است. امیدی و همکاران(۲۰۲۰) رواناب شهری را با استفاده از مدل SWMM و روش TOPSIS شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی دقت خوبی دارد و در نتیجه تولید رواناب به‌دلیل تراکم زیاد مناطق مسکونی و تجاری، درصد مناطق نفوذناپذیر توسعه یافته و کمبود فضای سبز کافی، افزایش یافته است. مقایسه‌ی مدل SWMM و نتایج روش TOPSIS، در انتخاب آبخیزهای فرعی مهم ۸۰٪ انطباق را نشان داد. بنابراین، استفاده از دستورالعمل‌های تصمیم گیری چندمعیاره مانند TOPSIS می‌تواند دقت مدل SWMM را در انتخاب و اولویت‌بندی آبخیزهای فرعی بحرانی افزایش دهد.

محدوده‌ی شهری گرگان به‌عنوان مرکز جغرافیایی استان گلستان، دارای مراکز توریستی، گردشگری فراوانی است. شوربختانه بروز سیلاب های شهری پس از رخدادهای رگباری با شدت نسبتاً زیاد، باعث اختلال در رفت و آمد شده و بر چشم اندازهای شهری تأثیرهای منفی می گذارد. از طرف دیگر بی‌نظمی‌هایی که در شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی این منطقه وجود دارد، باعث تشدید این رخدادها شده است. یکی دیگر از مشکلات مناطق شهری آبگرفتگی در معابر عمومی و مختل شدن رفت و آمد و خسارت‌های ناشی از آن و کاهش کیفیت رواناب است که ناشی از نبود برنامه‌ریزی دقیق شهری است. مدیریت آبخیز شهری به‌منظور کاهش جریان سطحی و تأثیر بر تولید رواناب انجام می شود. به این منظور در این پژوهش ارزیابی ویژگی‌های کیفیت (BOD، TP، TN) با استفاده از بهترین شیوه‌های مدیریت توسعه‌ی کم اثر (LID/BMPs) در شهر گرگان بررسی شد.

مواد و روش‌ها

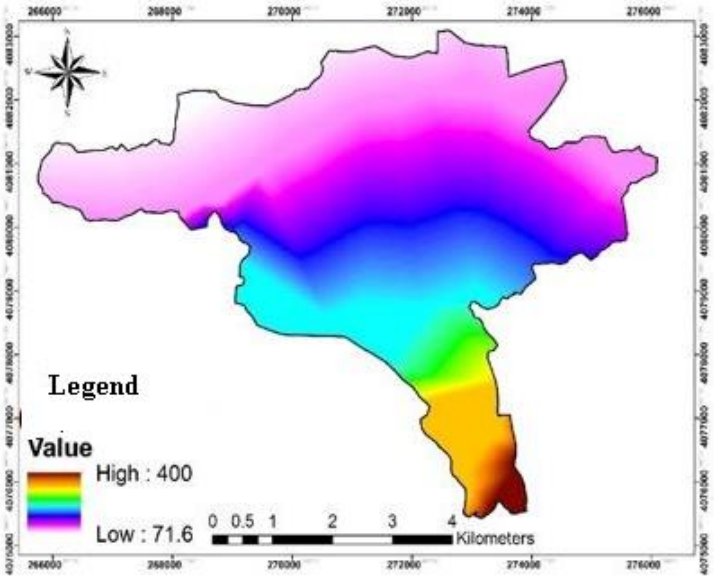
معرفی منطقه‌ی مطالعه‌شده

در این پژوهش کل شهر گرگان به‌عنوان منطقه‌ی پژوهشی درنظر گرفته‌شد. شهر گرگان بین ″۸۴ ′۵۴ °۲۲ تا ″۷۶ °۵۴′۲۹ طول شرقی و ″۵۲ ′۴۷ °۳۶ تا ″۹۵ ′۵۱ °۳۶ عرض شمالی با بلندی ۱۵۵ متر از سطح آب‌های آزاد و مساحت ۳۶۳۲/۸۵ هکتار با جمعیت حدود ۲۷۰ هزار نفر در بخش جنوبی استان گلستان است. شهر گرگان به‌علت نزدیک بودن به دریای خزر از یک سو و وجود رشته کوه البرز در جنوب و جنوب شرقی آن از سوی دیگر، تحت تأثیر جابه‌جایی‌های آب و هوایی محدوده‌ی دریای خزر است (شکل ۱).

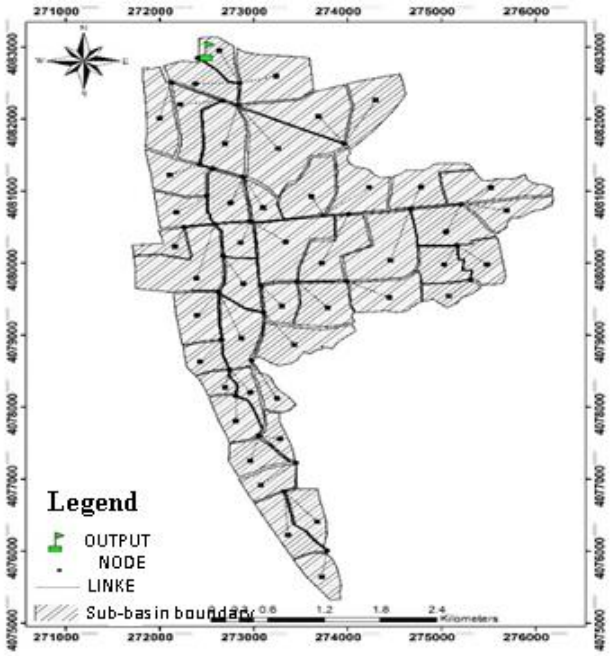


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مطالعه‌شده.
Fig 1- Geographical location of the study area.

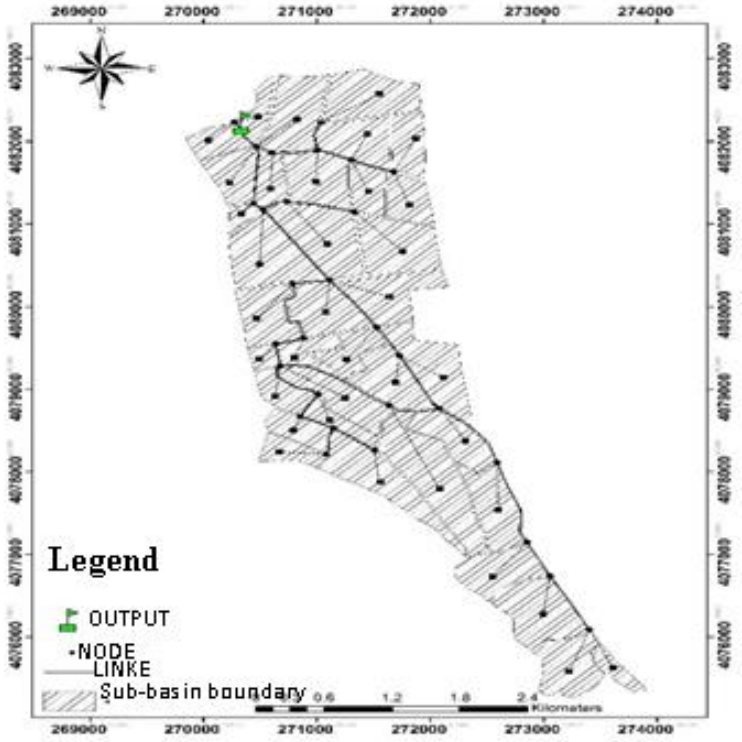
برای ورود اطلاعات آب‌شناختی منطقه و دقت در برآورد مشخصه‌های مدل، زیرآبخیرهای آب‌شناختی و شهری گرگان معین و مشخصه‌های هر زیرآبخیز محاسبه شد. زیرآبخیزها با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) در محیط GIS مشخص شدند (شکل ۲). با توجه به اینکه زیرآبخیزهای شهری خط الرأس مشخصی ندارند، برای تعیین مرز این زیرآبخیزها از اصل کلی خط تقسیم آب با کمک نقشه‌های ارتفاع رقومی، نقشه‌های کاربری زمین‌ها و بازدیدهای میدانی استفاده شد. سرانجام منطقه‌ی مطالعه‌شده به سه زیرآبخیز بخش شرقی، مرکزی و غربی تقسیم شد (شکل ۳،۴،۵). در این پژوهش از مدل SWMM استفاده‌شده است. در این مدل هر آبخیز به آبخیز کوچک‌تر تقسیم شد و سطح هر زیرآبخیز به‌عنوان آبگیر غیرخطی عمل می‌نماید و جریان ورودی از بارش و زیرآبخیزهای بالادست نشأت می‌گیرد. به‌منظور اجرای مدل SWMM ابتدا منطقه‌ی مطالعه‌شده با توجه به نقشه‌ی شبکه‌ی زهکشی و نقشه‌ی کاربری زمین‌ها به تعدادی زیرآبخیز تفکیک شده است و سپس با استفاده از نقشه‌های پستی‌بلندی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مشخصات زیرآبخیزها که شامل مساحت، شیب، عرض، ذخیره‌ی چالابی برای سطوح نفوذپذیر و سطوح نفوذناپذیر، ضریب مانینگ برای سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر وارد مدل می‌شود.



شکل ۲- نقشه‌ی طبقه‌های بلندی منطقه‌ی مطالعه‌شده.
Fig 2- Altitude map of the studied area.

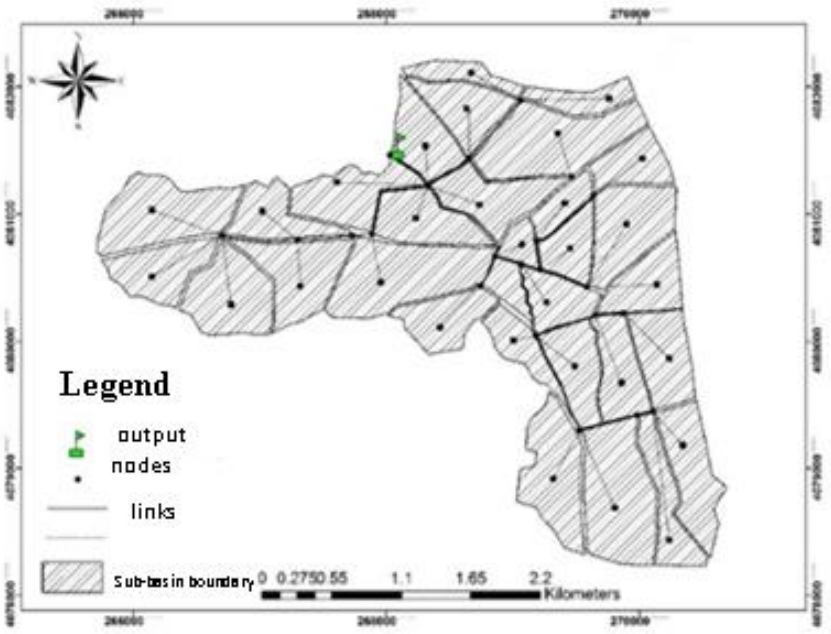


شکل ۳- نمای شماتیک از جانمایی زیرآبخیزهای منطقه‌ی شرقی در محیط مدل.
Fig 3- Schematic view of the placement of sub-catchments in the eastern sub- catchment in the model environment.



شکل ۴- نمای شماتیک از جانمایی زیرآبخیزهای منطقه‌ی مرکزی در محیط مدل.

Fig 4- Schematic representation of the location of the sub-basins of the central part of the basin in the model environment.



شکل ۵- نمای شماتیک از جانمایی زیرآبخیزهای منطقه‌ی غربی در محیط مدل.

Fig 5- Schematic representation of the location of the sub-basins of the western part of the basin in the model environment.

مدل SWMM

نرم‌افزار SWMM برای شبیه‌سازی و مدیریت رواناب و بارش در آبخیزها است. این مدل برای شبیه‌سازی پویای بارش- رواناب با قابلیت احتساب پدیده‌های تبخیر، ذوب برف، چالاب، نفوذ عمقی و جریان‌های زیر سطحی است. آمار و اطلاعات اولیه‌ی لازم برای اجرای مدل عبارت است از: اطلاعات هواشناسی، آب‌سنجی و آب‌شناختی شامل اطلاعات بارش، آب‌نگار سیلاب، اطلاعات زمانی رویدادها است. همچنین اطلاعات مربوط به گیتاشناسی (فیزیوگرافی) و ریخت‌شناسی (مورفولوژی) زیرآبخیزها و نواحی شهری، شامل زمان تمرکز، زمان تأخیر، شماره‌ی منحنی، درصد نواحی نفوذپذیر و نفوذناپذیر، مساحت زیرآبخیز، مساحت هر یک از انواع کاربری زمین‌ها در منطقه‌ی شهری است. این اطلاعات از بانک‌های اطلاعات شهرداری، آب منطقه‌ای شهر، سازمان هواشناسی، استفاده از GIS، انجام بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری تهیه شد.

اطلاعات مربوط به لینک‌ها و کانال‌های شبکه‌ی زهکشی با توجه به نقشه‌ی کاربری زمین‌ها و بازدید میدانی از منطقه، مشخصات کانال‌ها یاداشت‌برداری شد. این مشخصات شامل موقعیت کانال، گره بالادست و پایین‌دست کانال، طول کانال، گودی کانال، عرض کانال و شکل کانال بود. گره‌ها به‌عنوان بخش مرتبط‌کننده لینک‌ها به یکدیگرند و به‌شکل فیزیکی بیان‌گر نقطه‌ی الحاق مجراهای سطحی در طبیعت، منهول در شبکه‌ی فاضلاب و یا اتصالات لوله‌ها می‌باشند. اطلاعات مربوط به این گره‌ها با توجه به بازدید میدانی مشخص شد. تعداد گره‌ها و لینک‌های موجود در زیرآبخیزها در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات زیرآبخیزها در مدل SWMM.

Table 1- Specifications of the sub-catchment in the SWMM model.

	Number of links	Number of nodes	The number of sub-areas
The eastern sub- areas	32	28	46
The central sub- areas	28	28	36
The western sub- areas	21	24	31

نمونه‌برداری و آزمایش‌ها

موقعیت نقطه‌های نمونه‌برداری

با توجه به اهداف پژوهش در مقایسه با مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب سطحی شهر گرگان پس از رخدادهای بارش، نمونه‌برداری از رواناب باید در خروجی آبخیز شهری انجام می‌شد. بنابراین پس از بررسی نقشه‌های تهیه‌شده، محدوده‌ی کلی تعیین، و با بازدیدهای میدانی بهترین نقطه‌ها از لحاظ داشتن مقطع مناسب و سهولت دسترسی انتخاب شد. نمونه‌برداری از رواناب شهری به‌دلیل غیرقابل پیش‌بینی بودن رگبارها و همچنین استفاده نکردن از دستگاه‌های ثبات، کاری سخت و پرهزینه است. به این منظور در این پژوهش برای مدل‌سازی کمی و کیفی رواناب شهر گرگان، از شش رخداد بارش نمونه‌برداری شد (جدول ۲).

جدول۲- زمان‌های نمونه‌برداری از رواناب سطحی شهر گرگان.

Table 2- Sampling times of surface runoff in Gorgan city.

Row	Sampling times
1	1396.10.13
2	1396.10.26
3	1396.11.25
4	1396.12.27
5	1397.01.27
6	1397.02.04

داده‌های کیفی

در این پژوهش سه ویژگی فسفات، نیترات و BOD رواناب سطحی اندازه‌گیری شد. برای نمونه‌برداری باید استانداردهای ذیل رعایت می‌شد:

- جنس محفظه‌ی نمونه‌برداری باید شیشه یا پلاستیک باشد.
- حجم نمونه‌ی لازم برای آزمایش نیترات و فسفات ۱۰۰ میلی‌لیتر و برای آزمایش BOD ۱۰۰۰ میلی‌لیتر است (عسگری‌پور و همکاران ۲۰۱۳).
- نمونه‌برداری به روشی انجام شد که در قسمت بالای بطری هوایی وجود نداشته باشد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن به آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان منتقل شد.

شبیه‌سازی اثر اجرای سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) بر وضعیت کیفیت رواناب شهری

در این پژوهش بعد از رسم کامل شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی و تحلیل حساسیت، ۷ سناریو با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و

۱۰ ساله برای تحلیل درنظر گرفته‌شد. در این پژوهش با اعمال محدودیت‌هایی از قبیل امکان جانمایی ابزارها، محدودیت زمین، مالکیت زمین‌ها و محدودیت اجرا، درصدی از مساحت هر زیرآبخیز به ابزارهای توسعه‌ی کم اثر اختصاص داده شد. برای مقایسه‌ی بهتر LIDها درصدی از پوشش زیرآبخیزها برای راهکارهای ترانشه‌ی نفوذ، جوی باغچه، ماند بیولوژیک، پیاده‌رو نفوذپذیر، بشکه‌ی باران و بام سبز درنظر گرفته‌شد. ویژگی‌های آب‌سنجی و آب‌شناختی رواناب شهری بدون وجود LIDها و با استفاده از نرم افزار SWMM انجام شد. شایان ذکر است این شش LID به‌شکل پیش فرض در مدل SWMM تعریف شده است، که کاربر ویژگی‌های این شش سناریو LID را برای منطقه‌ی پژوهشی خود تعریف می‌کند. مشخصات سناریوهای استفاده‌شده در منطقه‌ی مطالعه‌شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مشخصات سناریوهای استفاده‌شده در منطقه‌ی مطالعه‌شده.

Table 3- Specifications of scenarios used in the study area.

Scenario number	Explanation
1	Simulation without using LID
2	Simulation considering the biological retention system
3	Simulation considering the green roof
4	Simulation considering the penetration trench
5	Simulation considering permeable coatings
6	Simulation considering the rain barrel
7	Simulation considering the atmosphere of the garden

در این پژوهش غلظت املاح در رواناب شهری در سه منطقه‌ی خروجی در طی شش رخداد بارش اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست آمده در دو دسته میانگین‌های غلظت رخدادها و گروه غلظت‌های لحظه‌ای محاسبه و مرتب شد. پس از برازش داده‌ها، توابع توزیعی که براساس آزمون‌های کولموگروف–اسمیرنوف و اندرسون–دارلینگ در سطح معنی‌داری ۹۵٪ تأیید شدند، رتبه‌بندی و تابع برتر در هر نقطه خروجی مشخص شد. برای انتخاب تابع برتر مشترک در هر گروه داده، مجموع رتبه‌های توابع تأییدشده در هر سه نقطه خروجی محاسبه و مناسب‌ترین تابع توزیع تعیین شد. سرانجام با انتخاب توابع برتر، اندازه‌ی مشخصه‌های بهینه هر تابع براساس یکی از روش‌های گشتاورها، گشتاورهای خطی، بیشینه‌ی درست نمایی و برآورد کمینه‌ی مربعات محاسبه شد.

موازنه‌ی اثرات و اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)

اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) با استفاده از روش‌های علمی انجام شد. برای این منظور ابتدا با استفاده از روش فرآیند سلسله مراتبی AHP درجه‌ی اهمیت هر یک از سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) در رابطه با مدیریت رواناب شهری تعیین شد. سپس به منظور وزن‌دهی سناریوهای شناسایی‌شده‌ی توسعه‌ی کم اثر (LID)، طراحی و توزیع پرسش‌نامه مقایسه‌های زوجی با استفاده از روش فرآیند سلسله مراتبی (AHP) انجام شد. برای این منظور، با استفاده از پرسش‌نامه از متخصصان درخواست شد که سنجه‌ها و شاخص‌های مربوطه را به‌شکل زوجی ارزیابی کنند. به این ترتیب، می‌توان وزن یا اهمیت نسبی سنجه‌ها و مرتبط‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی هر سنجه را تعیین کرد. برای انجام مقایسه‌ی زوجی، از مقیاس‌های عددی ۱ تا ۹ که هر کدام نشان‌دهنده‌ی یک درجه اولویت شاخص‌ها در مقایسه با هم هستند، استفاده شد.

در این پژوهش به‌منظور وزن‌دهی سناریوهای شناسایی‌شده‌ی توسعه‌ی کم اثر (LID) جامعه‌ی آماری را کارشناسان، متخصصان و خبرگان منطقه‌ی مطالعه‌شده تشکیل دادند. در این پژوهش با استفاده از روش AHP به‌منظور وزن‌دهی شاخص‌های ارزیابی، از نظر ۲۵ نفر از خبرگان و کارشناسان استفاده شد. در ادامه به‌منظور اولویت‌بندی سناریوهای توسعه‌ی کم اثر (LID) از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و TOPSIS استفاده شد. روش SAW یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به‌کارگیری‌شده در MADM است.

نتایج و بحث

واسنجی مدل SWMM

در این پژوهش برای واسنجی مدل SWMM از شش ویژگی شامل عرض معادل، درصد نفوذناپذیری، ضریب زبری مناطق نفوذناپذیر، ضریب‌زبری مناطق نفوذپذیر، ذخیره‌ی چالابی مناطق نفوذناپذیر و ذخیره‌ی چالابی مناطق نفوذپذیر استفاده شد. این ویژگی‌ها با استفاده از ابزارها و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) تعیین شدند. همچنین در این پژوهش برای ارزیابی کارایی مدل در مرحله‌ی واسنجی از سه شاخص استفاده شد، که اندازه‌ی آن‌ها در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج واسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی آبدهی در رخدادهای بررسی‌شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد و اندازه‌ی NS برای

این رخدادها بیشتر از ۰/۵ است. سامانه‌های جمع‌آوری و دفع آب های سطحی ناشی از بارندگی از اجزاء مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری می‌باشند و هر گونه سهل‌انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می تواند برای جامعه‌های بشری مشکل آفرین باشد. صرف نظر از تأثیرات اقتصادی و اجتماعی، مهندسین شهری همواره نیاز دارند در شرایط آب‌وهوایی مختلف از نحوه پاسخ سامانه‌ی زهکشی شهری اطلاع داشته باشند. در طراحی شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی با افزایش و وسیع‌تر شدن سطح شبکه اندازه‌ی خطاهای طراحی افزایش می‌یابد. برای کاهش این خطا نیاز به طراحی دقیق‌تر شبکه است. استفاده از مدل‌های رایانه‌ای کمک شایانی به طراحی دقیق و به‌دست آوردن طرح اقتصادی می‌کند. با توجه به مشکل کم آبی بهتر است که از BMP هایی که قابلیت تغذیه سفره آب زیرزمینی را دارند، استفاده شود. این فرایند طبیعی در پایداری طولانی مدت منابع آب زیرزمینی تاثیرگذار است، چرا که سرعت برداشت از منابع آب زیرزمینی نباید از سرعت تغذیه آن تجاوز کند.

جدول۴- اندازه‌های شاخص‌های کارایی مدل در مرحله‌ی واسنجی مدل SWMM.

Table 4- Values of model performance indices in calibration phase of SWMM model.

Output number	The event	The level	NSE	R^2	RMSE
Output1	1396.10.13	calibration	0.75	0.83	0.0071
	1396.10.26	calibration	0.85	0.92	0.0016
	1396.11.25	calibration	0.81	0.90	0.0059
	1396.12.27	calibration	0.73	0.80	0.0047
Output2	1396.10.13	calibration	0.70	0.79	0.0045
	1396.10.26	calibration	0.79	0.83	0.0093
	1396.11.25	calibration	0.76	0.82	0.0088
	1396.12.27	calibration	0.69	0.76	0.0055
Output3	1396.10.13	calibration	0.83	0.78	0.0032
	1396.10.26	calibration	0.79	0.85	0.0096
	1396.11.25	calibration	0.77	0.84	0.0076
	1396.12.27	calibration	0.70	0.76	0.0039

اعتبارسنجی مدل SWMM

پس از واسنجی مدل آب‌شناسی، به‌منظور اعتبارسنجی و ارزیابی مدل از دو رویداد در تاریخ‌های ۱۳۹۷/۰۱/۲۷ و ۱۳۹۷/۰۲/۰۴ که بلندی و سرعت رواناب متناظر آن‌ها برداشت‌شده بود، استفاده شد. نتایج به‌دست آمده از اندازه‌های شاخص‌های کارایی مدل در مرحله‌ی اعتبارسنجی از دو رخداد اندازه‌گیری شده در جدول ۵ نشان داده شده است. همچنین نتایج اعتبارسنجی مدل SWMM کارایی و دقت مدل را با اندازه‌ی NS بیشتر از ۰/۵ تایید کرد؛ که نشان‌دهنده‌ی نتایج قابل قبول مدل است و همچنین مشخص شد که مدل مزبور قابلیت شبیه‌سازی رواناب سطحی را دارد. این نتایج با یافته‌های بدیعی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵)، کرمی و همکاران (۲۰۱۶)، کریمی و همکاران (۲۰۱۸)، مطابقت دارد.

جدول۵ – اندازه‌های شاخص‌های کارایی مدل در مرحله‌ی اعتبارسنجی مدل SWMM.

Table 5- Values of model performance indices in the validation phase of SWMM model.

Output number	The event	The level	NSE	R^2	RMSE
Output1	1397.01.27	validation	0.72	0.85	0.0011
	1397.02.04	validation	0.76	0.89	0.0065
Output2	1397.01.27	validation	0.68	0.83	0.0056
	1397.02.04	validation	064	0.80	0.0096
Output3	1397.01.27	validation	0.78	0.90	0.0042
	1397.02.04	validation	0.75	0.88	0.0083

تحلیل حساسیت

برای سناریوسازی مناسب، ابتدا باید اندازه‌ی تأثیر ویژگی‌های مختلف در به‌کارگیری LIDها سنجیده شود. نتایج تحلیل حساسیت مهم‌ترین ویژگی‌ها موجب می‌شود تا مؤثرترین ویژگی‌ها در اندازه‌ی تغییرات آلاینده‌ی خروجی شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی مشخص شوند. فهم دقیق و درست از اثرات این ویژگی‌ها کمک شایانی به تبیین راهکارهای مناسب در مدیریت رواناب خواهد کرد. در این پژوهش برای بررسی حساسیت متغیرهای ورودی مدل SWMM، از روش تحلیل حساسیت جزئی (مطلق) استفاده شد (آرمان و همکاران ۲۰۱۹). ابتدا از بین ویژگی‌های موجود نه ویژگی مؤثر نشان داده شده در جدول (۵) با توجه به دامنه‌ی تغییرات قابل

قبول انتخاب شد. از بین نتایج مختلف مدل SWMM، آب‌دهی اوج سیلاب که مؤثرترین ویژگی برآورد سیلاب است، به‌عنوان متغیر وابسته برای بررسی درنظر گرفته‌شد. با توجه به دامنه‌ی تغییرات قابل قبول (جدول ۶) و همچنین با توجه به این که عکس‌العمل ویژگی‌های بررسی‌شده به تغییرات کم، بسیار ناچیز بود، هر کدام از نه ویژگی مطرح شده در تمام زیر آبخیزها به اندازه‌ی ۵ ± ۱۰ ± ۱۵ ±و ۳۰ ±٪ از اندازه‌ی اولیه کاهش و افزایش داده شد و با تغییر اندازه‌ی هر ویژگی مدل اجرا شد و تأثیر آن‌ها بر آب‌دهی اوج سیلاب خروجی آبخیز اندازه‌گیری شد. از ویژگی‌های حساس و تأثیرگذار مشخص‌شده برای واسنجی مدل استفاده شد. شایان ذکر است نتایج تحلیل حساسیت ویژگی‌های بررسی‌شده نشان داد که درصد نفوذناپذیری در آب‌دهی اوج سیلاب خروجی بیشترین حساسیت را داشت.

جدول۶- نتایج به‌دست آمده از تحلیل حساسیت مدل SWMM.

Table 6 – Results of SWMM model sensitivity analysis.

Row	Parameter	The amount of changes in the output peak flow rate	Range of changes
1	Slope	No significant changes were observed.	5% increase
2	CN	6 %decrease	5% reduction
3	Coefficient of roughness	10% reduction	10% increase
4	Coefficient of roughness	12 %increase	10% reduction
5	Impenetrability	16% increase	10% increase
6	Impenetrability	15% reduction	10% reduction

شبیه‌سازی آماری آلودگی نیترات

شاخص‌های آماری توصیفی آلودگی نیترات در رواناب شهر گرگان در جدول ۷ نشان داده شده است. نتایج بررسی شاخص‌های آماری توصیفی غلظت نیترات برای سه نقطه‌ی خروجی نشان داد، داده‌های میانگین غلظت در نقاط خروجی بررسی‌شده و گروه غلظت‌های لحظه‌ای، از توزیع بهنجار تبعیت می‌کنند.

جدول۷- شاخص‌های آماری توصیفی آلودگی نیترات در رواناب شهر گرگان.

Table 7- Descriptive statistical indices of nitrate contamination in runoff the Gorgan City.

Data	Exit points	Elongation	Crookedness	Standard deviation	Middle	Average
Average concentration of events	1	0.97	1.07	1.88	6.96	7.82
	2	1.32	1.15	2.27	7.88	8.76
	3	1.03	1.1	1.92	7.64	8.38
The series of instantaneous concentrations	1	1.45	1.21	2.04	7.51	8.13
	2	0.87	1.01	1.72	8.23	9.04
	3	1.57	1.25	2.94	8.01	8.89

شبیه‌سازی آماری آلودگی فسفات

شاخص‌های آماری توصیفی آلودگی فسفات در رواناب شهر گرگان در جدول ۸ نشان داده شده است. بررسی آماره‌های توصیفی اندازه‌های فسفات نشان داد، چولگی و کشیدگی همه‌ی داده‌ها مثبت بود. نتایج بررسی شاخص‌های آماری توصیفی غلظت فسفات برای سه نقطه‌ی خروجی نشان داد، داده‌های میانگین غلظت در نقاط خروجی بررسی‌شده و گروه غلظت‌های لحظه‌ای، از توزیع بهنجار تبعیت می‌کنند.

جدول ۸- شاخص‌های آماری توصیفی آلودگی فسفات در رواناب شهر گرگان.

Table 8- Descriptive statistical indices of phosphate pollution in runoff the Gorgan City.

Data	Exit points	Elongation	Crookedness	Standard deviation	Middle	Average
Average concentration of events	1	1.34	1.1	2.83	8.83	9/59
	2	1.4	1.15	3.12	9.55	10.48
	3	1.53	1.23	1.95	9.21	10.1
The series of instantaneous concentrations	1	0.98	1.07	2.77	8.87	9.93
	2	1.57	1.67	2.45	9.63	10.78
	3	1.66	1.83	2.96	9.31	10.39

شبیه‌سازی آماری آلودگی BOD

شاخص‌های آماری توصیفی غلظت BOD در رواناب شهر گرگان در جدول ۹ نشان داده شده است. نتایج بررسی شاخص‌های آماری توصیفی غلظت BOD نشان داد، چولگی داده‌ها در محدوده‌ی بهنجار و به سمت راست و کشیدگی داده‌ها نیز در محدوده‌ی بهنجار است.

جدول ۹- شاخص‌های آماری توصیفی غلظت BOD در رواناب شهر گرگان.

Table 9- Descriptive statistical indices of BOD concentration in runoff the Gorgan City.

Data	Exit points	Elongation	Crookedness	Standard deviation	Middle	Average
Average concentration of events	1	1.3	1.02	2.11	22.19	23.27
	2	0.79	0.15	3.03	21.21	22.85
	3	1.63	1.17	2.34	22.51	23.10
The series of instantaneous concentrations	1	1.17	1.24	1.84	22.47	23.34
	2	0.98	0.74	2.98	21.56	23.02
	3	1.22	0.85	2.68	22.18	23.26

تعریف و شبیه‌سازی سناریوها

در این پژوهش بعد از رسم کامل شبکه‌ی جمع‌آوری آب‌های سطحی و تحلیل حساسیت، ۷ سناریو با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله برای تحلیل درنظر گرفته‌شده است.

سناریوی اول: بدون به‌کارگیری LID

مدل به‌دست آمده از این سناریو به‌منظور پایلوت و حالت مبنا است، که در منطقه‌ی مطالعه‌شده با بارندگی در دوره‌ی بازگشت‌های ۲ و ۵ و ۱۰ ساله بدون اعمال راه‌کارهای نوین مدیریتی، سیلاب تحلیل شد. در این مرحله گروه‌های زمانی بارش با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی مدل اعمال شد و نتایج به‌دست آمده از خروجی‌ها از نظر ویژگی‌های کیفی شامل فسفات، نیترات و BOD بررسی شدند و نتایج آن‌ها در جدول ۱۰ نشان داده شده است.

جدول ۱۰- وضعیت بدون به‌کارگیری LID، برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 10- Unused LID Status for Different Outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	24.53	9.62	11.55
	2	24.11	10.56	12.44
	3	24.37	10.18	12.06
5 years old	1	23.9	8.87	10.8
	2	23.48	9.81	11.69
	3	23.74	9.43	11.31
10 years old	1	23.9	8.87	10.8
	2	23.48	9.81	11.69
	3	23.74	9.43	11.31

سناریوی دوم: سامانه‌ی ماند بیولوژیکی

سامانه‌ی ماند بیولوژیک با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی مدل اعمال شد. نتایج اثرات سناریوی سامانه‌ی ماند بیولوژیک در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کیفیت رواناب سطحی در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۱- اثرات سامانه‌ی ماند بیولوژیک برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 11- Effects of the biological retention system for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.35	8.85	10.76
	2	22.83	9.85	11.88
	3	23.18	9.5	11.45
5 years old	1	22.72	8.1	10.01
	2	22.2	9.1	11.13
	3	22.55	8.75	10.7
10 years old	1	22.33	7.46	9.37
	2	21.81	8.46	10.49
	3	22.16	8.11	10.06

سناریوی سوم: پشت بام سبز

در این سناریو هدف، بررسی اثر بام سبز بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. با توجه به توابع آبشویی و تجمع آلایندگی در این بخش، بررسی آب‌نگارهای خروجی و وضعیت کیفیت رواناب سطحی پس از اعمال مشخصات بام سبز در دوره‌ی بازگشت های ۲، ۵ و ۱۰ ساله در محدوده‌ی مطالعه‌شده انجام شد. نتایج اثرات سناریوی پشت بام سبز در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

جدول۱۲- اثرات سناریوی پشت بام سبز برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 12- The effects of the green roof scenario for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.21	8.91	10.84
	2	22.74	9.75	11.8
	3	23.02	9.52	11.37
5 years old	1	22.58	8.16	10.09
	2	22.11	9	11.05
	3	22.39	8.77	10.62
10 years old	1	22.19	7.52	9.45
	2	21.72	8.36	10.41
	3	22	8.13	9.98

سناریوی چهارم: ترانشه‌ی نفوذ

در این سناریو هدف، بررسی اثر ترانشه‌ی نفوذ بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. با توجه به توابع آبشویی و تجمع آلایندگی در این بخش، بررسی آب‌نگارهای خروجی و وضعیت کیفیت رواناب سطحی پس از اعمال مشخصات ترانشه‌ی نفوذ در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله در محدوده‌ی مطالعه‌شده انجام شد. نتایج اثرات سناریوی ترانشه‌ی نفوذ در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۳ نشان داده شده است.

جدول۱۳- اثرات سناریوی ترانشه‌ی نفوذ برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 13- The effects of the infiltration trench scenario for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.12	8.53	10.62
	2	22.67	9.65	11.69
	3	23.41	9.67	11.63
5 years old	1	22.49	7.78	9.87
	2	22.04	8.9	10.94
	3	22.78	8.92	10.88
10 years old	1	22.1	7.14	9.23
	2	21.65	8.27	10.3
	3	22.39	8.28	10.24

سناریوی پنجم: روکش‌های نفوذپذیر

در این سناریو هدف، بررسی اثر روکش‌های نفوذپذیر بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. در این مرحله گروه های زمانی بارش با دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی مدل اعمال شد و نتایج به‌دست آمده از خروجی‌ها از نظر حجم رواناب، آب‌دهی اوج و ویژگی‌های کیفی شامل فسفات، نیترات و BOD بررسی شدند. نتایج اثرات سناریوی روکش‌های نفوذپذیر در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول۱۴- اثرات سناریوی روکش‌های نفوذپذیر برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲ ، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 14- Scenario effects of permeable covers for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.66	8.72	10.73
	2	22.42	9.95	11.55
	3	23.11	9.74	11.29
5 years old	1	23.03	7.97	9.98
	2	21.79	9.2	10.8
	3	22.48	8.99	10.54
10 years old	1	22.64	7.33	9.34
	2	21.4	8.56	10.16
	3	22.09	8.35	9.9

سناریوی ششم: بشکه‌ی باران

در این سناریو هدف، بررسی اثر بشکه‌ی باران بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. با توجه به توابع آبشویی و تجمع آلایندگی در این بخش، بررسی آب‌نگارهای خروجی و وضعیت کیفیت رواناب سطحی پس از اعمال مشخصات بشکه‌ی باران در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله در محدوده‌ی مطالعه‌شده انجام شد. نتایج اثرات سناریوی بشکه‌ی باران در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۵ نشان داده شده است.

جدول۱۵- اثرات سناریوی بشکه‌ی باران برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲ ، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 15- The effects of the rain barrel scenario for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.08	8.59	10.6
	2	22.91	9.68	11.68
	3	23.53	9.61	11.55
5 years old	1	22.45	7.84	9.85
	2	22.28	8.93	10.93
	3	22.9	8.86	10.8
10 years old	1	22.06	7.2	9.21
	2	21.89	8.29	10.29
	3	22.51	8.22	10.16

سناریوی هفتم: جوی باغچه

در این سناریو هدف، بررسی اثر جوی باغچه بر کیفیت رواناب حاصل از بارش در سطح منطقه‌ی مطالعاتی بود. با توجه به توابع آبشویی و تجمع آلایندگی در این بخش، بررسی آب‌نگارهای خروجی و وضعیت کیفیت رواناب سطحی پس از اعمال مشخصات جوی باغچه در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله در محدوده‌ی مطالعه‌شده انجام شد. نتایج اثرات سناریوی جوی باغچه در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله روی وضعیت کمی و کیفی رواناب سطحی در جدول ۱۶ نشان داده شده است.

جدول۱۶- اثرات سناریوی جوی باغچه برای خروجی‌های مختلف در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله.

Table 16- The effects of the garden climate scenario for different outputs in 2, 5 and 10-years return periods.

Return period	Output number	BOD concentration (mg/l)	Nitrate concentration (mg/l)	Phosphate concentration (mg/l)
2 years old	1	23.42	8.95	10.81
	2	22.96	9.79	11.52
	3	23.32	9.56	11.4
5 years old	1	22.79	8.2	10.06
	2	22.33	9.04	10.77
	3	22.69	8.81	10.65
10 years old	1	22.4	7.56	9.42
	2	21.94	8.4	10.13
	3	22.3	8.17	10.01

نتایج نشان داد به‌ترتیب سامانه‌ی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر بهترین عملکرد را در بهبود کیفیت رواناب سطحی در منطقه‌ی مطالعه‌شده داشتند. در راستای شناخت رابطه‌ی بین شدت بارش و کارایی LIDها می‌توان گفت با افزایش دوره‌ی بازگشت، در اثر اعمال LIDها حجم رواناب بیشتر کاهش یافت. از این رو در بارش‌های یکنواخت هر چه شدت بارش بیشتر شود اندازه‌ی کاهش حجم رواناب در اثر استفاده از LIDها بیشتر خواهد بود. نتایج نشان داد با افزایش دوره‌ی بازگشت، تأثیرات LIDها کمتر شد زیرا با افزایش شدت بارش و افزایش حجم و آبدهی اوج رواناب، تأثیرات این روش‌ها روی ویژگی‌های کیفی کمتر است. در دوره‌های بازگشت بیشتر از ۵۰ و ۱۰۰ ساله کاهش کارایی به‌مراتب بیشتر است. با افزایش دوره‌های بازگشت و به تناسب آن افزایش شدت بارش در زمان ثابت، حجم رواناب بیشتر و غلظت شسته‌شده ثابت است. بنابراین می‌توان گفت اجرای روش‌های توسعه‌ی کم اثر در دوره‌های کمتر بهتر جوابگو است که این اختلاف گرچه در دوره‌ی بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله کم است، اما در دوره‌ی بازگشت‌های بیشتر مثل ۵۰ و ۱۰۰ ساله کارایی LIDها در بحث ویژگی های کیفی رواناب به‌مراتب کمتر است. بنابراین با وجود اینکه تمام سناریوهای LID بررسی‌شده در این پژوهش

در مهارکردن رواناب سطحی و بهبود کیفیت آن مؤثر بوده‌اند، اما تأثیر اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر، بیشتر بوده است و پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود کیفیت رواناب سطحی، این اقدام‌ها در اولویت‌های اجرایی باشند.

مقایسه‌ی سناریوهای LID

وزن‌دهی سنجه‌های ارزیابی

بعد از تعیین ساختار سلسله مراتبی پژوهش، وزن سنجه‌های ارزیابی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) محاسبه شد. وزن‌دهی سنجه‌های ارزیابی مختلف برای اولویت‌بندی سناریوهای LID با استفاده از روش مقایسه‌ی زوجی در جدول ۱۷ آورده شده است. با توجه به جدول ۷، سنجه‌ی حجم رواناب (۰/۲۲۵) بیشترین وزن و سنجه‌ی آب‌دهی بیشینه (۰/۱۶۷) کمترین وزن را داشتند.

جدول۱۷- اندازه‌ی وزن استخراج‌شده برای سنجه‌های ارزیابی با استفاده از روش AHP.

Table 17- Extracted weights for evaluation criteria using the AHP method.

Criteria	Runoff volume	BOD	Nitrate concentration	Phosphate concentration	Maximum flow rate	Standard weight
Runoff volume	1	1	2	2	2	0.225
BOD	1	1	1	2	2	0.212
Nitrate concentration	0.5	1	1	1	2	0.203
Phosphate concentration	0.5	0.5	1	1	1	0.193
Maximum flow rate	0.5	0.5	0.5	1	1	0.167

نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID

دوره‌ی بازگشت ۲ ساله

نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای سه زیرآبخیز خروجی و کل منطقه‌ی مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۲ ساله در جدول ۱۷ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱۷ در خروجی شماره‌ی ۱ اقدام‌های مدیریتی بشکه‌ی باران، روکش نفوذپذیر و ترانشه‌ی نفوذ، به‌ترتیب اولویت اول تا سوم را داشتند. اما در خروجی شماره‌ی ۲ اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و جوی باغچه به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. همچنین در خروجی شماره‌ی ۳ نیز، اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و بشکه‌ی باران به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. سرانجام برای کل منطقه‌ی مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۲ ساله، اقدام‌های مدیریتی بشکه‌ی باران، پشت بام سبز و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند (جدول ۱۸).

جدول۱۸- نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای خروجی‌های آبخیز مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۲ ساله.

Table 18- The results of prioritizing LID scenarios for the outputs of the study area in the 2-years return period.

Output number	Scenario	SAW score	SAW priority	TOPSIS score	TOPSIS priority
number 1	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.764	5	0.637	6
	Simulation considering the green roof	0.771	4	0.779	4
	Simulation considering the penetration trench	0.840	3	0.848	3
	Simulation considering permeable coatings	0.855	2	0.863	2
	Simulation considering the rain barrel	0.947	1	0.955	1
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.629	6	0.772	5
number 2	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.771	5	0.780	4
	Simulation considering the green roof	0.880	1	0.887	1
	Simulation considering the penetration trench	0.757	6	0.764	6
	Simulation considering permeable coatings	0.773	4	0.778	5
	Simulation considering the rain barrel	0.825	2	0.832	2
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.786	3	0.793	3
number 3	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.804	4	0.771	5
	Simulation considering the green roof	0.898	1	0.905	1
	Simulation considering the penetration trench	0.569	6	0.576	6
	Simulation considering permeable coatings	0.850	2	0.857	2
	Simulation considering the rain barrel	0.824	3	0.831	3
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.764	5	0.811	4

دوره‌ی بازگشت ۵ ساله

نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای سه زیرآبخیز خروجی و کل منطقه‌ی مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۵ ساله در جدول ۱۸ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱۸ در خروجی شماره‌ی ۱ اقدام‌های مدیریتی بشکه‌ی باران، روکش نفوذپذیر و ترانشه‌ی نفوذ، به‌ترتیب اولویت اول تا سوم را داشتند. اما،

در خروجی شماره‌ی ۲ اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و جوی باغچه به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. همچنین در خروجی شماره‌ی ۳ نیز، اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و ماند بیولوژیک به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. سرانجام برای کل منطقه‌ی مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۵ ساله، اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت های اول تا سوم را داشتند (جدول ۱۹).

جدول۱۹- نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای خروجی‌های مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۵ ساله.

Table 19- The results of prioritizing LID scenarios for the studied outputs in the 5-years return period.

Output number	Scenario	SAW score	SAW priority	TOPSIS score	TOPSIS priority
number 1	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.767	5	0.662	6
	Simulation considering the green roof	0.823	4	0.773	۵
	Simulation considering the penetration trench	0.843	3	0.849	3
	Simulation considering permeable coatings	0.855	2	0.861	2
	Simulation considering the rain barrel	0.966	1	0.972	1
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.656	6	0.829	4
number 2	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.763	5	0.759	6
	Simulation considering the green roof	0.880	1	0.888	1
	Simulation considering the penetration trench	0.751	6	0.771	5
	Simulation considering permeable coatings	0.773	4	0.781	4
	Simulation considering the rain barrel	0.820	2	0.828	2
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.777	3	0.785	3
number 3	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.843	3	0.850	3
	Simulation considering the green roof	0.937	1	0.944	1
	Simulation considering the penetration trench	0.604	6	0.611	6
	Simulation considering permeable coatings	0.852	2	0.859	2
	Simulation considering the rain barrel	0.824	4	0.768	5
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.761	5	0.831	4

دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله

نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای سه زیرآبخیز خروجی و کل منطقه‌ی مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله در جدول ۲۰ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲۰ در خروجی شماره‌ی یک اقدام‌های مدیریتی بشکه‌ی باران، ترانشه‌ی نفوذ و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت اول تا سوم را داشتند. اما در خروجی شماره‌ی ۲ اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت های اول تا سوم را داشتند. همچنین در خروجی شماره‌ی ۳ نیز، اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و ماند بیولوژیک به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. سرانجام برای کل منطقه‌ی مطالعه‌شده در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله، اقدام‌های مدیریتی بشکه‌ی باران، پشت بام سبز و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند.

جدول۲۰- نتایج اولویت‌بندی سناریوهای LID برای خروجی شماره‌ی ۱ در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله.

Table 20- The results of prioritizing LID scenarios for outlet number 1 in the 10-year return period.

Output number	Scenario	SAW score	SAW priority	TOPSIS score	TOPSIS priority
number 1	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.772	5	0.778	5
	Simulation considering the green roof	0.850	4	0.714	6
	Simulation considering the penetration trench	0.854	2	0.860	2
	Simulation considering permeable coatings	0.853	3	0.859	3
	Simulation considering the rain barrel	0.962	1	0.968	1
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.708	6	0.856	4
number 2	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.771	4	0.779	4
	Simulation considering the green roof	0.882	1	0.890	1
	Simulation considering the penetration trench	0.751	5	0.740	6
	Simulation considering permeable coatings	0.814	3	0.822	3
	Simulation considering the rain barrel	0.857	2	0.865	2
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.732	6	0.759	5
number 3	Simulation without using LID	0.000	7	0.000	7
	Simulation considering the biological retention system	0.870	3	0.877	3
	Simulation considering the green roof	0.921	1	0.928	1
	Simulation considering the penetration trench	0.628	6	0.804	5
	Simulation considering permeable coatings	0.875	2	0.882	2
	Simulation considering the rain barrel	0.824	4	0.831	4
	Simulation considering the atmosphere of the garden	0.797	5	0.635	6

پس از وزن‌دهی سنجه‌های ارزیابی، با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره SAW و TOPSIS سناریوهای LID اولویت‌بندی شد. نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی سناریوهای LID برای منطقه‌ی شماره یک نشان داد، در هر سه دور بازگشت بررسی‌شده اقدام‌های مدیریتی بشکه‌ی باران، روکش نفوذپذیر و ترانشه‌ی نفوذ به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. بنابراین در منطقه‌ی شماره یک، اقدام های مدیریتی بشکه‌ی باران، روکش نفوذپذیر و ترانشه‌ی نفوذ به‌عنوان اقدام‌های مدیریتی برتر معرفی شده و پیشنهاد می‌شود این اقدام‌ها در اولویت اجرایی باشند. اما نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی سناریوهای LID در هر سه دور بازگشت بررسی‌شده برای منطقه‌ی شماره‌ی دو نشان داد، اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و جوی باغچه به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. همچنین نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی سناریوهای LID برای منطقه‌ی شماره‌ی سه نشان داد، در هر سه دور بازگشت بررسی‌شده اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و ماند بیولوژیک به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. بنابراین در منطقه‌ی شماره‌ی سه اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، روکش نفوذپذیر و ماند بیولوژیک بیشترین تأثیر و اولویت را در بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی منطقه داشته‌اند. شایان ذکر است، نتایج به‌دست آمده از اولویت‌بندی سناریوهای LID برای کل منطقه‌ی مطالعه‌شده نشان داد، در هر سه دور بازگشت بررسی‌شده اقدام های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر به‌ترتیب اولویت‌های اول تا سوم را داشتند. بنابراین سرانجام با وجود اینکه تمام سناریوهای LID بررسی‌شده در این پژوهش در مهارکردن رواناب سطحی و بهبود کیفیت آن مؤثر بوده‌اند، اما تأثیر اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر بیشتر بوده است و پیشنهاد می شود به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی، این اقدام‌ها در اولویت‌های اجرایی باشند.

نتیجه‌گیری

در دنیای امروز و در بحث مدیریت رواناب شهری تلاش بر آن است سطوح نفوذپذیر در مقایسه با سطوح نفوذناپذیر افزایش یابد تا رواناب‌های تولیدی در سطح شهر به اندازه‌ی بیشتری در داخل خاک و سفره‌های زیرزمینی نفوذ کند. رواناب شهری هم‌چون منبعی ارزشمند در کنار آب خام و پساب‌ها درنظر گرفته می‌شوند و به این منظور سعی در نگهداری آن‌ها حتی به‌شکل کوتاه‌مدت برای بهبود کیفیت و نفوذ بخشی از آن به داخل سفره‌های زیرزمینی و رهاسازی تدریجی آن است تا ضمن تغذیه‌ی مؤثر آبخوان‌ها از بروز سیلاب جلوگیری شود. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل نشان داد که شبیه‌سازی آب‌دهی در رخدادهای بررسی‌شده انطباق خوبی با داده‌های مشاهداتی داشت، که اندازه‌ی NS برای رخدادهای بیشتر از ۰/۵ بود. بنابراین از این مدل می‌توان برای طرح‌های مدیریت رواناب شهری و طراحی شبکه‌ی زهکشی رواناب شهری در منطقه‌ی مطالعه‌شده استفاده کرد. با انجام تحلیل حساسیت مدل مشخص شد از بین ویژگی‌های استفاده‌شده، درصد مناطق نفوذناپذیر بیشترین تأثیر را روی اندازه‌ی آب‌دهی اوج داشت و ویژگی ضریب زبری مانینگ و شیب به‌ترتیب در رتبه‌ی بعدی بودند. در روش LID با استفاده از ویژگی‌ها و ریخت‌شناسی

طبیعی و ایجاد سازه‌های مطرح در سطح آبخیز، اقدام‌هایی برای کاهش حجم و آب‌دهی اوج رواناب، تصفیه آلودگی رواناب و همچنین افزایش نفوذ و تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی انجام می‌شود. توسعه‌ی کم اثر مزیت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی بسیاری دارد که می‌تواند به تغییرات اندک در مناطق در حال توسعه، حفظ ویژگی‌های محیط‌زیستی و اقتصادی بودن آن در مقایسه با سامانه‌های قدیمی مدیریت رواناب اشاره کرد.

نتایج این پژوهش نشان داد به‌ترتیب سامانه‌ی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر با کاهش اندازه‌های فسفات، نیترات و BOD در مقایسه با سناریوی وضعیت موجود در منطقه‌ی پژوهشی سبب بهبود کیفیت رواناب سطحی شده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که در تمام راهکارهای بررسی‌شده با افزایش دوره‌ی بازگشت، درصد کاهش حجم رواناب نیز افزایش یافت. بنابراین با وجود اینکه تمام سناریوهای LID بررسی‌شده در این پژوهش در مهارکردن رواناب سطحی و بهبود کیفیت آن مؤثر بوده‌اند، و از آنجایی که با اجرای سناریوهای پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش‌های نفوذپذیر اندازه‌های فسفات، نیترات و BOD در مقایسه با وضعیت موجود و سایر سناریوها کاهش بیشتری داشته‌اند، می‌توان نتیجه گرفت تأثیر اقدام‌های مدیریتی پشت بام سبز، بشکه‌ی باران و روکش نفوذپذیر بیشتر بوده است، و پیشنهاد می‌شود به‌منظور بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی، این اقدام‌ها در اولویت‌های اجرایی باشند. اجرای پشت بام سبز هر چند موجب ایجاد هزینه‌هایی برای مالکین ساختمان‌ها می‌شود، ولی مزیت‌هایی همچون کاهش هزینه‌های تهویه‌ی مطبوع، سرمایش و گرمایش، ایجاد زیبایی و طول عمر بیشتر در مقایسه با پوشش‌های معمولی سقف‌ها دارد. اجرای پیاده‌روی نفوذپذیر در حاشیه‌ی خیابان‌های اصلی به جای پیاده‌روی معمولی روش پیشنهادی مناسبی است که لفزون بر کاهش هزینه‌های عمومی (دولتی و شهرداری‌ها)، برای مالکین نیز هزینه‌ای ندارد و باعث کاهش مجموع رواناب خروجی، آبدهی و آلودگی در منطقه می‌شود. جوی باغچه‌ها نیز، کانال‌هایی عریض، کم عمق و با پوشش‌گیاهی هستند که برای کم شدن سرعت رواناب، جذب بیشتر و فیلتر کردن و ته نشین شدن آلودگی‌ها می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

در پایان می‌توان گفت به‌کارگیری مناسب روش‌های توسعه‌ی کم‌اثر در منطقه به عامل‌های مختلفی از جمله عامل‌های محیطی، اقتصادی و کارایی آن‌ها بستگی دارد. همچنین نتایج این پژوهش نشان‌دهنده‌ی این است که تمام سناریوهای LID انتخاب‌شده در بهبود کمیت و کیفیت رواناب سطحی شهر گرگان مؤثر بوده‌اند، اما هر یک از سناریوها عملکرد متفاوتی را از خود نشان داده‌اند. بنابراین ترکیبی از سناریوها نیز در شرایط منطقی بودن هزینه‌های اجرایی، قابل توصیه است.

فهرست منابع

Arman N, Shahbazi A, Faraji M, Dehdari S. 2019. Effect of urban development on runoff generation by SWMM, case study: Khuzestan Province, Izeh. Watershed Engineering and Management. 11(3): 750-758. (In Persian). 10.22092/ijwmse.2018.115272.1353

Asgaripour N, Zaree H, AkhoundAli, AM. 2013. Investigating the Performance of the Sewage Collection System in Relation to the Inflow of Surface Runoff Using the SWMM Model (Case study: Zaytoun, an Employee of Ahvaz City). The First National Conference on Geography, Urban Planning and Sustainable Development. pp. 1-9. (In Persian).

Badiezadeh¬S, bahremand¬A, dehghani A. 2015. Urban Flood Management by Simulation of Surface Runoff Using SWMM Model in Gorgan City, Golestan Province-Iran. Journal of Water and Soil Conservation. 22 (4): 155-170. (In Persian). doi: 20 .1001.1.23222069.1394.22.4.9.7

Darnthamrongkul W, Mozingo LA. 2021. Toward Sustainable Stormwater Management: Understanding Public Appreciation and Recognition of Urban Low Impact Development (LID) in the San Francisco Bay Area.¬Journal of Environmental Management.¬300(4):113716.doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113716

Einloo F, Salajegheh A, Malekian A, Ahadnejad M. 2016. Evaluation of urbanization effect on runoff volume by using Stormwater Management Model (Case Study: Zanjan City Watershed). Iran-Watershed Management Science and Engineering 10(33):37-46.

Hachoumi I, Pucher B, De Vito-Francesco E, Prenner F, Ertl T, Langergraber G, Furhacker M, Allabashi R. 2021. Impact of Green Roofs and Vertical Greenery Systems on Surface Runoff Quality.¬Water.¬13(19):1-34. doi.org/10.3390/w13192609

Hua PQ, Zhuo XL, Guangtao F. 2013. The Effects of Low Impact Development on Urban Flooding Under Different Rainfall Characteristics. Journal of Environmental Management.129: 577-58. doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.08.026

Jia H, Iu Y, Yu S, Chu Y. 2017. Planning of LID-BMPs for Urban Runoff Control: The Case of Beijing Olympic village. Journal of Separation and Purification Technology. 84:112-119. doi.org/10.1016/j.seppur.2011.04.026

Joksimovic D, Alam Z. 2014. Cost Efficiency of Low Impact Development (LID) Stormwater Management Practices. 16th Conference on Water Distribution System Analysis, Procedia Engineering. 89: 734-741. doi:10.1016/j.proeng.2014.11.501

Karami M, Ardeshir A, Behzadian K. 2016. Hazard Management of Inundation and Pollutants in Urban Floods Using Optimal Conventional and Novel Strategies. Iran Water Resources Research. 11(3): 100-112. (In Persian).

Karimi¬S, Ghazanfarpour H, Alimoradipour N. 2018.Comparison and Geographical Analysis of Runoff Risk in Urban Crossings (Case study: Four-Regions of Kerman City). Environmental Hazards. 5(1):17-34. (In Persian). 10.22059/JHSCI.2018.249506.317

Liu T, Lawluvy Y, Shi Y, Yap PS. 2021. Low Impact Development (LID) Practices: A Review on Recent Developments, Challenges and Prospects.¬Water Air and Soil Pollution.¬232(9):1-36. doi.org/10.1007/s11270-021-05262-5

Nasehpour M, Khozeymehnezhad H, Forootan E. 2021.Evaluation of Urban Develop-

ment Impacts on Runoff Using SWMM Model (Case Study: Qom Province). Journal of Environmental Science and Technology.¬22(12): 79-89. (In Persian). doi: ¬10.22034/JEST.2019.45067.4713

Noori H, Farzin S, Karami H. 2018. Performance Development of Modern Methods Using Multi-Objective Optimization in Urban Runoff Control. Iran Water Resources Research. 14(3): 57-70. (In Persian).

Rahimi D. 2009. The Effect of Single Thunders on Flood's Management (Case Study: Farsan Basin). Geography and Environmental Planning. 20(3): 85-100. (In Persian). doi:20.1001.1.20085362.1388.20.3.4.5

Saadatpour M, Delkhosh F, Afshar A, Sandoval Solis S. 2020. Developing a Simulation-Optimization Approach to Allocate Low Impact Development Practices for Managing Hydrological Alterations in Urban Watershed. Journal of Sustainable Cities and Society. 61:1-36. doi.org/10.1016/j.scs.2020.102334

Samim S, Hajian F, Moazami D. 2022. Flood Management in the Eighth District of Herat City Using Low Impact Development and Their Evaluation with EPA-SWMM Model.¬Journal of Water and Sustainable Development.-8(4):111-118. (In Persian). doi:10.22067/JWSD.V8I4.2108.1076

Silveira ALL. 2002. Problems of Modern Urban Drainage in Developing Countries. Water Science & Technology. 45(7): 31-40. doi:10.2166/wst.2002.0114

Song Y, Lee J, Lee E. 2020. Developing a Reliability Index of Low Impact Development for Urban Areas. Water. 12: 29-61.

Taghizadeh S, Salar Kh, Rajaee T. 2021. Hybrid SWMM and Particle Swarm Optimization Model for Urban Runoff Water Quality Control by Using Green Infrastructures (LID-BMPs). ¬Journal of Urban Forestry and Urban Greening. 60: 35-57. doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127032

Taheriyoun M, Falahi A, Asadollahfardi Gh. 2016. Identification of Appropriate Scenario of Best Management Practices (BMPs) to Improve the Quantity and Quality of Urban Runoff, Considering Economic Issues. Iranian Water Researches Journal. 10(21): 85-96. (In Persian).

Wu J, Larm T, Wahlsten A, Marsalek J, Viklander M. 2021. Uncertainty Inherent to a Conceptual Model Storm Tac Web Simulating Urban Runoff Quantity, Quality and Control.¬Urban Water Journal.¬18(5): 300-309. doi.org/10.1080/1573062X.2021.1878240

Xu C, Shi X, Jia M, Han Y, Zhang R, Ahmad S, Jia H. 2022. China Sponge City Database Development and Urban Runoff Source Control Facility Configuration Comparison Between China and the US.¬Journal of Environmental Management.¬304(7): 114241. doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114241

Xu¬T, Jia¬H, Wang¬Zh, Mao X, Xu Ch. 2019. SWMM-Based Methodology for Block-Scale LID-BMPs Planning Based on Site-Scale Multi-Objective Optimization: A Case Study in Tianjin. Journal of Environmental Science and Engineering. 11(1): 32-49. doi.org/10.1007/s11783-017-0934-6

young C, Dong B, Lee K. 2020. Effects of Low-Impact Development Practices for Flood Events at the Catchment Scale in a Highly Developed Urban Area. Journal of Disaster Risk Reduction. 44: 50-74. doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101412

Zeng Zh, Yuan X, Liang J, Li Y. 2021. Designing and Implementing an SWMM-Based Web Service Framework to Provide Decision Support for Real-Time Urban Storm Water Management. ¬Journal of Environmental Modelling and Software. 135:10-39. doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104887

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Prioritization of Low-Impact Development Methods for Quality Management of Urban Surface Runoff, Using the TOPSIS and SAW Method in Gorgan City

Mahtab Forotan[1], Fatemeh Shokrian[*2], Karim Solaimani[3], Amir Ahmad Dehghani[4]

1- Ph.D. in Sciences and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Assistant Professor, Department of Sciences and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Professor, Department of Sciences and Watershed Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Extended Abstract

Introduction and Objective

In recent years, due to the rapid growth of the population, the increasing development of urbanization and the industrialization of societies, as a result, the hydrology of urban watersheds has been accompanied by many changes. These changes over time have caused floods and inundation of roads in urban areas, and on the other hand, flooding in these areas due to the density of population and facilities can cause severe damages and reduce the quality of runoff. New approaches have been proposed to manage runoff and prevent flooding and water pollution, and in this case, the development of low-impact LID is one of these approaches. The purpose of using this technique is to simulate the hydrological conditions of the urban area before development. For this purpose, in this research, the

Article Type: Research Article
***Corresponding Author E-mail:** shokrian.f@gmail.com
Citation: Forotan, M., Shokrian, F., Solaimani, K., Dehghani, A.A. 2023. Prioritization of Low-Impact Development Methods for Quality Management of Urban Surface Runoff, Using the TOPSIS and SAW Method in Gorgan Town. Watershed Management Research. 36(3): 2-22.
DOI: 10.22092/WMRJ.2023.359714.1488
Received: 27 August 2022, **Received in revised form:** 18 October 2022, **Accepted:** 21 December 2022, **Published online:** 23 September 2023
Watershed Management Research, VOL. 36, No.3, Ser. No: 140, Autumn 2023, pp. 2-22.
Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)

evaluation of quality parameters (BOD, TP, TN) was investigated using the best low-impact development management practices (LID/BMPs) in Gorgan city.

Materials and Methods

In the first stage, information related to intensity-duration-rainfall curves, urban and land use maps, and urban development maps were collected for Gorgan urban watershed. EPA-SWMM model was used to create a hydrological model in Gorgan city and investigate the effect of LID on runoff. According to the urban development of the region, six options of green roof, biological system, garden waterway, rain, infiltration trench and permeable covers, with a 6-hour rainstorm were considered with a return period of 2, 5 and 10 years for qualitative analysis using parameters Nitrate, phosphate and BOD.

Results and Discussion

The results of the calibration and validation of the model based on the Nash-Sutcliffe criterion more than 0.5 showed that the SWMM model has the required accuracy for simulating the quality of urban runoff. The results showed that, respectively, the green roof system, rain barrel and permeable covers have the best performance in improving the quality of surface runoff in the region by reducing surface runoff pollutants compared to the existing situation. The use of low-impact development methods in the region depends on various factors, including environmental, economic and efficiency factors. The results indicate that all the LID scenarios selected in the research were effective in improving the quality of surface runoff, but each of the scenarios showed different capabilities.

Conclusion and Suggestions

Even though all the LID scenarios examined in this research were effective in controlling surface runoff and improving its quality, but with the implementation of the green roof, rain barrel and permeable covers, the amounts of phosphate, nitrate and BOD compared to the existing situation and other scenarios has decreased further. As a result, the impact of green roof management measures, rain barrel and permeable cover has been greater. Finally, it is suggested that in order to improve the quantity and quality of surface runoff, these methods should be considered in the implementation priorities.

Keywords: EPA-SWMM models, Gorgan, low Impact Development, Phosphate, Surface Water