

بهره‌گیری از مدل SWMM در تعیین قابلیت جمع‌آوری و استحصال رواناب شهر بابلسر، استان مازندران

نگین قادری^{۱*}، کریم سلیمانی^۲، عطااله کاویان^۳ و مصطفی رشیدپور^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، استاد،
دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ^۳ دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم
کشاورزی و منابع طبیعی ساری و ^۴ عضو هیئت علمی مجتمع آموزش عالی هراز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۶

چکیده

حوزه‌های آبخیز شهری به دلیل توسعه، دارای رفتار هیدرولوژیکی پیچیده‌تری نسبت به حوضه‌های طبیعی هستند که شناخت پاسخ هیدرولوژیکی آن‌ها به طراحی مناسب تسهیلات کنترل سیلاب کمک خواهد کرد. در این پژوهش، با استفاده از مدل SWMM، به بررسی پتانسیل تولید رواناب شهری در بخشی از محدوده شهری بابلسر پرداخته شد. هدف از این بررسی، تحلیل قابلیت استحصال آب جمع‌آوری شده باران در دوره‌های بازگشت‌های مختلف برای کاربرد در مصارف شهری است. بدین‌منظور، در مدل SWMM، منطقه ۶۵/۶۹ هکتاری مطالعاتی در قالب شش واحد هیدرولوژیکی (از ۵/۹۴ تا ۱۶/۸۲ هکتار)، شش گره خروجی و چهار کانال تعریف شد و ارتفاع رواناب حاصل از بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف به دست آمد. با توجه به این نتایج، مقدار بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال برابر ۷۰/۳۷ میلی‌متر است که از این مقدار، ۳۳/۷۳ میلی‌متر صرف نفوذ و ۳۵/۶۰ میلی‌متر نیز مربوط به رواناب است. نتایج پژوهش نشان داد که در حدود ۵۲/۱ درصد از بارش طرح شهر بابلسر می‌تواند قابلیت تبدیل شدن به رواناب را داشته باشد. بیشترین ضریب رواناب در واحد هیدرولوژیک S3 است که در دوره بازگشت ۱۰۰ سال، مقداری برابر ۰/۶۳۷ دارد. در این حال، کمترین ضریب رواناب در واحد هیدرولوژیک S1 است که مقدار آن در دوره بازگشت دو سال برابر ۰/۳۵۲ است. همچنین، نتایج نشان داد که ضریب رواناب با دوره بازگشت ارتباط مستقیم دارد و بارش‌های بزرگ‌تر، ضریب رواناب بالاتری دارند. از طریق سامانه‌های جمع‌آوری، علاوه بر کاهش خطرات سیلاب شهر بابلسر، یک منبع مکمل آبی که جبران‌کننده بخشی از مصرف خانوارها در بخش غیرشرب است، به مدیریت منابع آب پرداخت.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز شهری، رواناب، کاربری اراضی، مدل SWMM، نفوذپذیر

مقدمه

همکاران، (۲۰۱۲). محدودیت دسترسی به منابع آب شیرین و پایدار در اغلب نقاط دنیا به‌خصوص در خاورمیانه در دهه‌های آتی متأسفانه چشم‌انداز روشن و مناسبی نیست، تأمین آب برای بخش‌های مصرف خانگی، کشاورزی و صنعت در حال حاضر یکی از

کمتر از یک درصد آب‌های شیرین جهان برای شرب، کشاورزی و دیگر مصارف عمومی قابل دسترسی است. علاوه بر کمیت ناچیز این منابع، توزیع بسیار ناهمگون نیز به اهمیت آن افزوده است (Saadoldin و

روش‌های جمع‌آوری آب باران روشی متداول برای تأمین آب با به‌کارگیری انواع سطوح آبیگر در مناطق دارای محدودیت وجود رودخانه و منابع آب زیرزمینی بوده است (Evenari و همکاران، ۱۹۸۲). در جهان مدرن، استحصال آب باران به‌عنوان یک گزینه برای تأمین آب در کشورهای در حال توسعه و حتی توسعه‌یافته، عمدتاً در محلی که در آن منابع آب معمولی وجود ندارد و یا هزینه‌های سنگینی دارد می‌باشد (Yaziz، ۱۹۸۹؛ Younos و Lawson، ۲۰۱۱). کشور ایران نیز به‌دلیل رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه بخش‌های کشاورزی و صنعتی، پیوسته با افزایش تقاضای آب مواجه است (Hashemizadeh و همکاران، ۲۰۱۰). در مناطق پرجمعیت که آلودگی باعث کاهش کیفیت آب شده است، بخش قابل توجهی از آب مورد نیاز برای مصارف غیرشرب را از طریق جمع‌آوری آب باران از پشت‌بام‌ها، حیاط منازل، سطوح غیرقابل نفوذ زمینی مانند سطح خیابان‌ها، زمین‌های بازی دارای سطح غیرقابل نفوذ و غیره می‌توان تأمین کرد (Appan، ۱۹۹۷). با توجه به افزایش روزافزون جمعیت و گرم‌شدن کره زمین و همچنین، معضل کمبود آب، موضوع استحصال آب باران در بسیاری از مناطق به‌خصوص مناطق خشک که سامانه‌های معمولی آب موفق به تأمین نیازهای مردم نشده و دارای توزیع نامنظم بارش است، مورد توجه واقع شده است. برداشت آب باران جایگزین طبیعی است که در همه‌جا موجب حل مشکلات تأمین آب ساکنان جوامع روستایی، نیمه‌شهری و شهری شده است (Oni و همکاران، ۲۰۰۸) و به‌عنوان یکی از استراتژی‌های مناسب ذکر شده که بخشی از این آب برای مقابله با تغییرات آب و هوایی در آینده مورد نیاز است (Pandey و همکاران، ۲۰۰۳؛ Rutashobya، ۲۰۰۸؛ Mukheibir، ۲۰۰۸؛ Salas و همکاران، ۲۰۰۹). استفاده از سامانه جمع‌آوری آب باران در محیط‌های شهری از جمله در منازل مسکونی، تجاری و آبیاری و فضاهای سبز شهری می‌تواند تا میزان زیادی در کاهش آلودگی آب‌ها، کاهش رواناب ناشی از آب باران، کاهش مصرف آب شهری (۵۰-۳۰ درصد) و صرفه‌جویی در هزینه‌های هنگفت تصفیه آب شهری تأثیرگذار باشد (Parvanehkhah، ۲۰۰۷). در

مهمترین چالش‌های دولت‌ها در بسیاری از مناطق جهان است و به همین خاطر اکنون تمایل به روش‌های کم‌هزینه و نیز پایدار و محلی در تأمین و نگهداری آب سالم و پاک افزایش پیدا کرده است، عمده‌ترین این روش‌ها به عملیات استحصال آب باران باز می‌گردد. به‌طوری که اولین شواهد استفاده از فنون استحصال آب باران در صحرای نقب (فلسطین) در ۴۰۰۰ سال قبل بوده است (Saadoldin و همکاران، ۲۰۱۲). منظور از استحصال آب باران، جمع‌آوری رواناب‌های سطحی از یک سطح (پشت‌بام، خیابان‌ها، محوطه اطراف خانه و سطوح آزاد زمین) و استفاده مفید از آن اطلاق می‌شود. جمع‌آوری آب باران قبل از رسیدن به زمین، این قابلیت را دارد که آب قبل از آلودگی زیاد، جمع‌آوری شود. لذا، برای بسیاری از مصارف خانگی، صنعتی و آبیاری مناسب خواهد بود. یکی از روش‌هایی که به‌طور مستقیم می‌تواند باعث کاهش اتکا به منابع آب معمول نظیر آب‌های زیرزمینی و رودخانه‌ها باشد، استحصال آب باران از سطوح آبیگر است. از آنجا که بارندگی معمولاً به‌صورت نابرابر در سرتاسر سال توزیع شده است، استحصال آب باران تنها می‌تواند به‌عنوان یک منبع مکمل برای مصارف خانگی، صنعتی و کشاورزی استفاده شود و در وضعیت‌های اقلیمی خوب و زمان‌هایی که بارندگی کافی باشد، جمع‌آوری آب باران می‌تواند به‌طور مؤثری مکمل سایر منابع آب مانند مصارف خانگی (شستشوی البسه، ظروف و وسایل)، کولر و تهویه مطبوع، دستشویی و توالت، مصارف صنعتی، فضای سبز، شرب دام و غیره در مقیاس کوچک باشد. مثال جالب در این مورد، جمع‌آوری آب از پشت بام ساختمان‌ها و منازل، باند فرودگاه‌ها، سطح خیابان‌ها و سطوح غیرقابل نفوذ روزمینی در پارک‌ها در کشور سنگاپور است. همچنین، امروزه از آب‌های جمع‌آوری شده برای آبیاری فضاهای سبز، تأمین آب برای سامانه‌های خنک‌کننده ساختمان‌ها و آتش‌نشانی در کشورهای سنگاپور، تایوان، انگلستان و ژاپن استفاده می‌شود (Zolfaghari، ۲۰۱۱). با وجود کمبود روزافزون منابع آب، استحصال آب باران به‌عنوان یک راه حل جایگزین عملی و امیدوارکننده برای مقابله با کمبود آب است (Oni و همکاران، ۲۰۰۸). شواهد تاریخی حاکی از آن است که

منطقه به‌ویژه قرارگیری آن بر جانب جنوبی دریای خزر، جابه‌جایی مداوم پشته‌ها و ناهای امواج غربی بر روی منطقه و استقرار رشته‌کوه‌های مرتفع و توپوگرافی پیچیده بروز چنین پیچیدگی را در الگوی بارش در پی داشته است. در این میان وقوع بارش‌های شدید از ویژگی‌های ذاتی اقلیم سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود. به‌طوری‌که برخی از ایستگاه‌های خزری در اغلب سال‌ها تقریباً نیمی از مجموع بارش سالانه خود را با آستانه بالاتر از ۳۰ میلی‌متر در روز دریافت می‌دارند (Mofidi و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین، با توجه به اهمیت جمع‌آوری رواناب شهری و بارندگی‌های بالا در نوار ساحلی شمال کشور، در این پژوهش، به بررسی قابلیت استحصال آب باران در شهر بابلسر پرداخته شد. با توجه به اهمیت جمع‌آوری رواناب شهری و بارندگی‌های بالا در نوار ساحلی شمال کشور، بدین منظور از مدل هیدرولوژیکی SWMM استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه: شهرستان بابلسر در طول جغرافیایی ۳۹° ۵۲' و عرض ۴۲° ۳۶' در قسمت مرکزی استان مازندران قرار گرفته و از شمال به دریای خزر، از جنوب به شهرستان بابل، از شرق به شهرستان جویبار و از غرب به شهرستان محمودآباد محدود شده است (شکل ۱). شهرستان بابلسر در حاشیه بزرگ‌ترین دریاچه جهان و سواحل زیبا قرار دارد که یکی از مهمترین مناطق توریستی و مهمان‌پذیر کشور است. این شهرستان به‌علت قرار گرفتن در مسیر شاهراه شرق به غرب استان مازندران، با وجود پلاژهای متعدد در نوار ساحلی و اماکن اختصاصی مختلف از جمله اقامتگاه‌های سازمانی و یلاهای دریاکنار، خزرشهر، دریاسر و همچنین، عبور رودخانه بابلرود از مرکز شهر بر جلوه و زیبایی آن افزوده و این شهر را در یک موقعیت ممتاز توریستی قرار داده است.

جمع‌آوری داده‌ها: پژوهش حاضر، به‌منظور برآورد پتانسیل جمع‌آوری آب باران در پشت بام‌ها، جاده‌ها، فضای سبز و اراضی کشاورزی در دوره بازگشت‌های ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، پنج و دو سال با استفاده از مدل

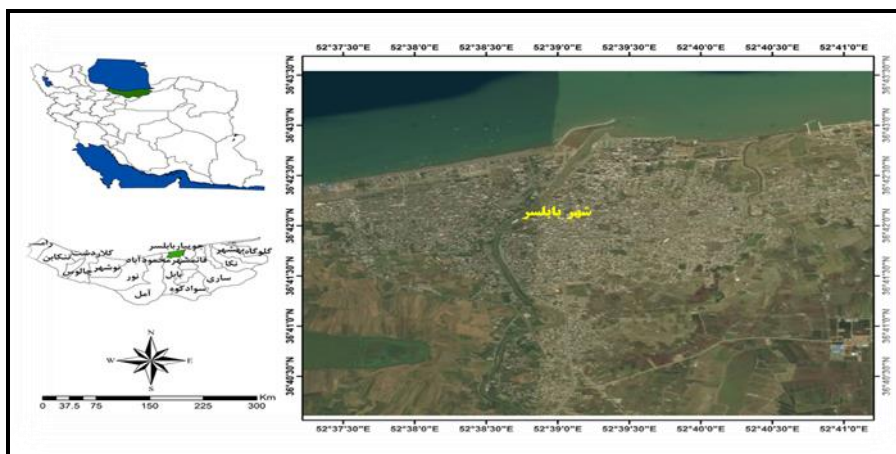
خصوص مطالعاتی که در داخل و خارج کشور در زمینه استحصال آب باران انجام گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

Rashidi Mehrabadi و Saghafian (۲۰۱۲) در شهر تهران با به‌دست آوردن ضریب رواناب و مقدار بارندگی روزانه و مساحت بام‌ها، به محاسبه حجم استحصال آب باران از پشت بام‌ها منازل مسکونی پرداختند. آب جمع‌آوری‌شده به‌وسیله شیب پشت بام به طرف ناودانی یا چاهک‌هایی به سمت مخزن جمع‌آوری آب هدایت می‌شوند. Dastourani (۲۰۱۲) به مطالعه حجم آب قابل جمع‌آوری از جاده‌ها پرداخت و به این نتیجه دست‌یافت که استفاده از جاده‌ها و بزرگراه‌ها به‌عنوان سطوح عایق آماده به‌منظور جمع‌آوری آب، روش بسیار مناسب و مقرون به صرفه‌ای محسوب می‌شود و آب جمع‌آوری‌شده از سطح بزرگراه‌ها را می‌توان به مزارع اطراف هدایت کرد و یا برای درختکاری و ایجاد فضای سبز در اطراف بزرگراه‌ها و جاده‌ها استفاده کرد. Rostami Khalaj و همکاران (۲۰۱۲) در شهرک امام علی (ع) شهر مشهد، مطالعه حساسیت متغیرهای مؤثر بر دبی اوج سیلاب شهری با به‌کارگیری مدل SWMM^۱ را بررسی کردند. Al-Mutairi و Zaghoul (۲۰۱۰) در شهر کویت از مدل SWMM به‌منظور برآورد رواناب با توجه به بارش باران در مناطق شهری استفاده کردند. Younos و Lawson (۲۰۱۱) در محیط‌های شهری به ویژگی‌های رواناب شهری و تأثیر بالقوه برداشت آب باران پشت بام بر روی سامانه زهکشی رواناب‌های سطحی، شرب و آب‌های زیرزمینی پرداخته‌اند. Belmeziti و همکاران (۲۰۱۳) در شهر پاریس به ارزیابی پتانسیل جمع‌آوری آب باران پرداختند و نشان دادند که می‌توان با استفاده از آب باران استحصال‌شده در حدود ۱۰ درصد مجموع آب آشامیدنی را فراهم کرد. همچنین، دریافتند که برداشت آب باران از ساختمان‌ها برای هدف تأمین آب خانگی کافی است. در سواحل جنوبی دریای خزر بارش به‌عنوان مهمترین عنصر اقلیمی و پدیده جوی از توزیع زمانی و مکانی پیچیده‌ای برخوردار است. موقعیت جغرافیایی منحصر به فرد این

^۱ Storm Water Management Model

داده‌های اقلیمی برای دوره آماری ۱۳۲۹ تا ۱۳۸۸ تجزیه و تحلیل شده است. در جدول ۱، مقادیر بارش و دمای ماهانه و سالانه ایستگاه بابلسر آمده است. بر این اساس، متوسط دمای سالانه شهر بابلسر برابر ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه نیز حدود ۸۸۹/۳ میلی‌متر است.

SWMM مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور بررسی وضعیت اقلیم شهر بابلسر، از آمار ایستگاه سینوپتیک این شهر استفاده شد. ایستگاه سینوپتیک بابلسر با مختصات ۵۲/۳۹ درجه طول جغرافیایی و ۳۶/۴۳ درجه عرض جغرافیایی و ارتفاع ۲۱- متر از سطح دریا در داخل محدوده شهر بابلسر و در مجاورت رودخانه بابل رود واقع شده است. بدین منظور

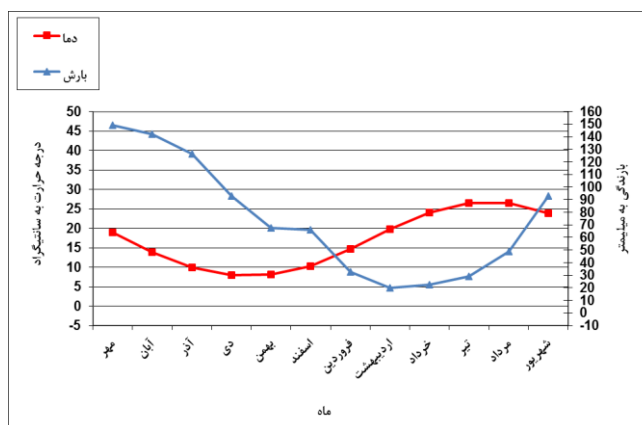


شکل ۱- موقعیت شهر بابلسر

جدول ۱- مقادیر بارش و دمای ماهانه و سالانه ایستگاه بابلسر

سال	فروردین	اردیبهشت	مهر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مهر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	مهر	مهر	سالانه
دمای کمینه	۹/۷	۹/۷	۵/۹	۴/۷	۷/۱	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۱/۳	۱۳/۳
دمای بیشینه	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۳/۹	۱۱/۷	۱۳/۴	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۱۸/۱	۲۰/۸
دمای متوسط	۱۹	۱۹	۹/۹	۸	۸/۲	۱۰/۳	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۰/۳	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۷/۱
بارندگی متوسط	۱۴۹	۱۴۹	۱۲۶/۴	۹۲/۷	۶۷/۵	۶۶	۳۲/۷	۳۲/۷	۶۶	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۳۲/۷	۸۸۹/۳
بیشینه بارندگی ۲۴ ساعته	۲۱۹	۲۱۹	۹۰	۵۸	۴۸	۵۳	۵۲	۵۳	۵۳	۵۲	۵۳	۵۲	۵۳	۵۲	۵۳	۵۲	۵۳	۵۲	۵۳	۵۲	۵۳	۲۱۹	

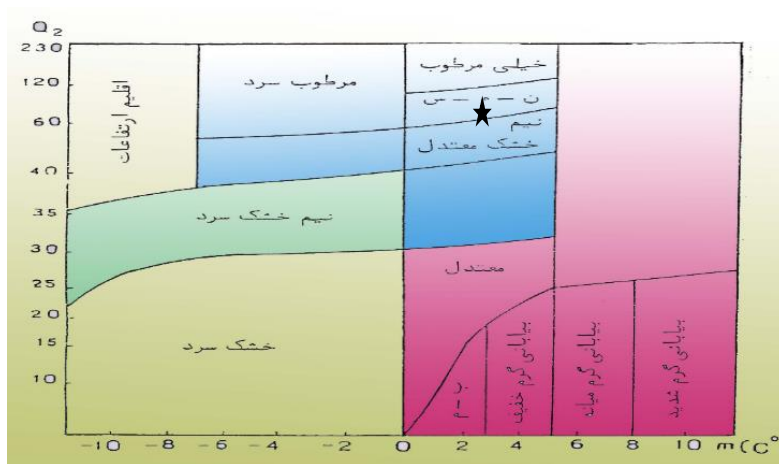
دما برحسب درجه سانتی‌گراد و بارش برحسب میلی‌متر است.



شکل ۲- منحنی آمپروترمیک ایستگاه بابلسر

میلادی) تا اواخر مرداد (ماه آگوست میلادی) به‌عنوان دوره خشک و از اوایل شهریور تا اواخر فروردین به‌عنوان دوره مرطوب تلقی می‌شود.

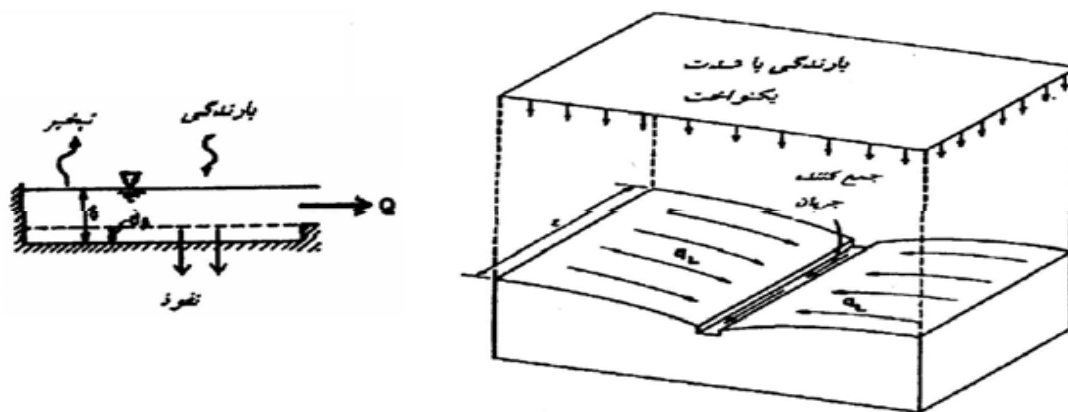
منحنی آمبروترمیک نیز بر اساس داده‌های متوسط بارش و دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک بابلسر ترسیم شده است (شکل ۲). همان‌طور که مشاهده می‌شود، از اوایل اردیبهشت (ماه می



شکل ۲- اقلیم شهر بابلسر در اقلیم‌نمای آمبروزه

از اطلاعات هواشناسی و مشخصات فیزیکی حوضه و شبکه زهکشی آن، هیدروگراف خروجی حوزه آبخیز شبیه‌سازی می‌شود. این مدل، یکی از پیشرفته‌ترین روش‌ها به‌منظور تحلیل برآورد سیلاب و آبدهی کانال‌ها محسوب می‌شود. در این روش محاسبه هیدروگراف در مسیل‌ها، شبکه‌های آب‌های سطحی شهری و نیز انتقال آب‌های سطحی به‌صورت جریان آزاد و تحت فشار صورت می‌پذیرد. در این مدل هر حوزه آبخیز به حوزه‌های آبخیز کوچک‌تر تقسیم می‌شود و سطح هر زیرحوضه به‌عنوان مخزن غیرخطی عمل می‌کند.

همچنین، اقلیم منطقه طبق نمودار آمبروزه در شکل ۳ آمده است. بر اساس این نمودار، اقلیم شهر بابلسر در طبقه نیمه‌مرطوب سرد قرار می‌گیرد. ساختار مدل SWMM: این مدل، یک مدل مدیریت رواناب ارائه‌شده به‌وسیله آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا برای شبیه‌سازی واقعه رگبار مجزا یا شبیه‌سازی طولانی‌مدت کمیت و کیفیت رواناب در مناطق شهری است که استفاده از آن برای برنامه‌ریزی، تجزیه و تحلیل و طراحی در ارتباط با رواناب شهری است. این مدل، یک مدل پویا برای شبیه‌سازی بارش رواناب است. در این روش، با استفاده



شکل ۴- نحوه محاسبه رواناب سطحی و انجام روندیابی در مدل هیدرولوژیکی (Nix, ۱۹۹۴)

خروجی جریان‌ها، به شش واحد هیدرولوژیکی شهری تقسیم شد. همچنین، وضعیت کاربری‌ها در هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی نیز بررسی شد که بر این اساس، کاربری‌های اصلی در سه گروه ساختمانی (مسکونی، آموزشی، انبار، تجاری، در حال ساخت، درمانی بهداشتی، صنعتی کارگاهی، فرهنگی مذهبی، مسکونی، ورزشی، پذیرایی و جهانگردی)، باغ و فضای سبز و نهایتاً بایر و متروکه تقسیم شدند.

روش انجام پژوهش: در این پژوهش، بخشی از محله‌های غربی بابل رود از شهر بابلس به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شده است (شکل ۵). به‌منظور شبیه‌سازی سیلاب و تبدیل بارش به رواناب، از مدل هیدرولوژیکی-هیدرولیکی SWMM استفاده شده است. بدین‌منظور، ابتدا از شهرداری بابلس، نقشه مسیر آبگذرهای کوچه‌ها و خیابان‌ها تهیه شد. در مرحله بعد، محدوده مطالعاتی با توجه به مسیر



شکل ۵- تعیین محدوده مورد بررسی از شهر بابلس

موضوع که شبیه‌سازی رواناب ناشی از بارش است، از مقادیر ذوب برف، تبخیر و تعرق و سرعت باد صرف نظر شده است.

در مرحله بعد، با توجه به نقشه شبکه زهکشی، مشخصات گره‌ها (محل تقاطع جریان) در مدل SWMM تعریف شد. در مدل مربوط به منطقه مطالعاتی، بیشینه عمق محل تقاطع برابر یک متر فرض شد و از مقدار عمق اولیه آب و سطح ماندابی صرف نظر شد. در مرحله بعد، مشخصات کانال‌های هدایت جریان در مدل SWMM وارد شد. لازم به ذکر است، در این پژوهش، از روش موج سینماتیک برای روندیابی جریان در داخل کانال‌ها استفاده شد.

پس از تعیین و ترسیم واحدهای هیدرولوژیکی، مشخصات زیرحوضه‌ها در مدل SWMM تعریف شد. در این پژوهش، از روش شماره منحنی برای تعیین مقدار نفوذ استفاده شد که مقادیر CN¹ بر اساس نوع کاربری و وضعیت هیدرولوژیکی خاک تعیین شد و درصد سطوح نفوذناپذیر معادل با ۵۰ درصد مساحت کاربری‌های ساختمانی و خیابان و کوچه تعیین شد. همچنین، ضریب زبری مانینگ (N) و ذخیره چلابی برای سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر با توجه به جداول مربوطه در مدل SWMM و شرایط فیزیوگرافی منطقه تعیین شدند. لازم به ذکر است، با توجه به هدف

¹ Curve Number

رگبار ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف برای شبیه‌سازی سیل مد نظر قرار گرفت. سپس، با مدل‌سازی بارش-رواناب SWMM، شدت و حجم رواناب استحصالی هر یک از واحدهای هیدرولوژیک برآورد شد. در نهایت، با توجه به مقادیر ارتفاع بارش و ارتفاع رواناب، مقادیر ضریب رواناب دوره بازگشت‌های مختلف به‌دست آمد و به تحلیل نتایج پرداخته شد.

نتایج و بحث

مقادیر پارامترهای مدل نفوذ برای روش SCS با توجه به خصوصیات زیرحوضه‌ها و راهنمای مدل SWMM در جدول ۲ آمده است. مطابق با منحنی شدت-مدت-فراوانی و الگوی زمانی بارش، اطلاعات بارش طرح (بیشینه بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مختلف) در جدول ۳ آمده است.

همچنین، شکل هندسی آبگذر مستطیل باز با عمق یک متر و عرض ۴۰ سانتی‌متر انتخاب شد که نمایانگر شکل و وضعیت هیدرولیک جوی و انهار محدوده شهری هستند. ضریب زبری کانال نیز برابر ۰/۱۵ در شرایط کانال بتنی در نظر گرفته شد.

از آنجایی که حوزه‌های آبخیز شهری اغلب کوچک هستند و از نظر اندازه از چند هکتار تا چند صد هکتار تغییر می‌کنند، لذا فرض می‌شود که بارش بر روی حوزه آبخیزی با این اندازه، از طریق یک ایستگاه تأمین می‌شود. به این منظور از آمار بارندگی ایستگاه سینوپتیک بابلسر استفاده شد. در این پژوهش، الگوی توزیع زمانی بارش‌های رگباری در ایستگاه‌های سینوپتیک شمال ایران بر اساس تحقیقات Telvari و همکاران (۲۰۰۳) در فواصل زمانی شش ساعته تعریف شد. برای بررسی شدت و حجم رواناب بارش تولیدی،

جدول ۲- پارامترهای معادله نفوذ به روش شماره منحنی در منطقه مطالعاتی

نوع کاربری	عدد شماره منحنی	هدایت هیدرولیکی (میلی‌متر در ساعت)	تعداد روزهای لازم برای خشک‌شدن خاک اشباع
ساختمان و جاده آسفالت	۹۲	۰/۵	۲
باغ و فضای سبز	۵۲	۰/۵	۴
بایر و متروکه	۷۵	۰/۵	۳

جدول ۳- مقدار و الگوی زمانی بارش طرح محدوده مطالعاتی

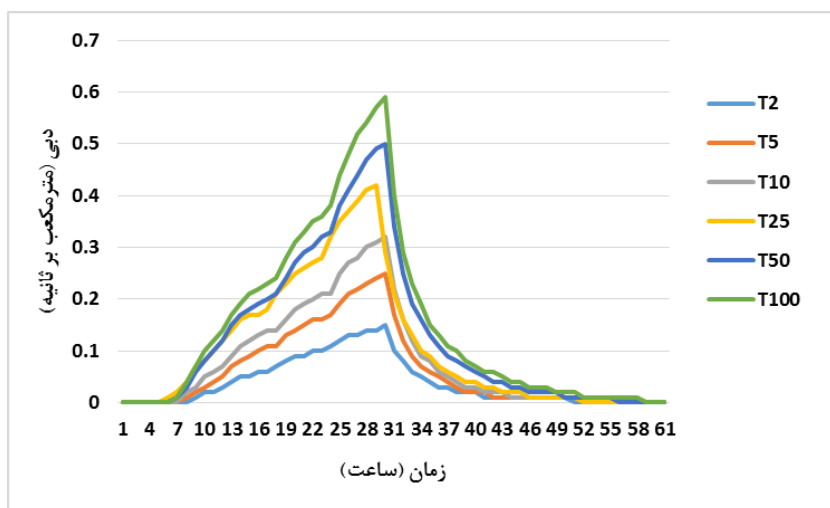
دوره بازگشت (سال)	مقدار بارش (میلی‌متر)	بارش الگوی زمانی (میلی‌متر)		
		چارک اول (۱۵ درصد)	چارک دوم (۲۰ درصد)	چارک سوم (۳۷ درصد)
۲	۳۰/۰۷	۴/۵۱	۶/۰۱	۸/۴۲
۵	۴۶/۲۱	۶/۹۳	۹/۲۴	۱۲/۹۴
۱۰	۵۶/۹۱	۸/۵۴	۱۱/۳۸	۱۵/۹۳
۲۵	۷۰/۳۷	۱۰/۵۶	۱۴/۰۴	۱۹/۷۲
۵۰	۸۰/۴۳	۱۲/۰۶	۱۶/۰۹	۲۲/۵۲
۱۰۰	۹۰/۳۷	۱۳/۵۶	۱۸/۰۸	۲۵/۲۹

و در دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله با افزایش قابل توجهی (به‌ترتیب ۲/۷۳ و ۴/۵۳ میلی‌متر) روبرو بوده است. در مورد روندیابی نیز، حجم ذخیره‌شده در بازه‌ها در دوره بازگشت‌های دو تا ۵۰ ساله ثابت و برابر ۰/۰۰۶ هزار متر مکعب و در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برابر ۰/۰۲۳ هزار متر مکعب است.

جداول ۴ و ۵ مشخصه‌های رواناب و روندیابی مدل SWMM را برای کل محدوده مطالعاتی نشان می‌دهند. همچنین، شکل ۶ هیدروگراف حاصل از بارش طرح در دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد. طبق این نتایج، ذخیره سطحی نهایی در دوره بازگشت‌های دو تا ۲۵ سال برابر ۱/۰۴ میلی‌متر است

جدول ۴- مشخصه‌های رواناب مدل SWMM برای محدوده مطالعاتی

دوره بازگشت (سال)	ارتفاع بارش (میلی‌متر)	ارتفاع نفوذ (میلی‌متر)	ارتفاع رواناب (میلی‌متر)	ذخیره سطحی نهایی (میلی‌متر)
۲	۳۰/۰۷	۱۵/۹۸	۱۳/۰۳	۱/۰۴
۵	۴۶/۲۱	۲۴/۱۸	۲۰/۹۹	۱/۰۴
۱۰	۵۶/۹۱	۲۸/۸۳	۲۷/۰۴	۱/۰۴
۲۵	۷۰/۳۷	۳۳/۷۳	۳۵/۶۰	۱/۰۴
۵۰	۸۰/۴۳	۳۵/۰۷	۴۲/۶۳	۲/۷۳
۱۰۰	۹۰/۳۷	۳۵/۳۲	۵۰/۵۲	۴/۵۳



شکل ۶- هیدروگراف بارش طرح با دوره بازگشت‌های مختلف برای کل سامانه

جدول ۵- مشخصه‌های روندیابی مدل SWMM برای کل محدوده مطالعاتی

دوره بازگشت (سال)	جریان ورودی حاصل از بارش (هزار متر مکعب)	جریان خروجی بیرونی (هزار متر مکعب)	جریان خروجی درونی (هزار متر مکعب)	حجم ذخیره نهایی (هزار متر مکعب)
۲	۸/۵۶	۶/۸۱	۱/۷۸	۰/۰۰۶
۵	۱۳/۷۹	۱۰/۳۸	۳/۴۶	۰/۰۰۶
۱۰	۱۷/۷۷	۱۳/۰۷	۴/۷۶	۰/۰۰۶
۲۵	۲۳/۳۹	۱۶/۸۶	۶/۶۰	۰/۰۰۶
۵۰	۲۸/۰۱	۱۹/۹۶	۸/۱۴	۰/۰۰۶
۱۰۰	۳۳/۱۹	۲۳/۴۹	۹/۷۷	۰/۰۲۳

در تحلیل رواناب مدل SWMM کل سامانه یا منطقه مطالعاتی، نتایج نشان می‌دهد که در دوره بازگشت‌های دو، پنج و ۱۰ سال، ارتفاع نفوذ بیشتر از ارتفاع رواناب است، ولی در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال، ارتفاع رواناب بیشتر از ارتفاع نفوذ شده است. از طرفی، تغییرات ارتفاع نفوذ در دوره بازگشت‌های بالا، کمتر از دوره بازگشت‌های پایین است، بنابراین، پتانسیل سیل‌خیزی منطقه در دوره

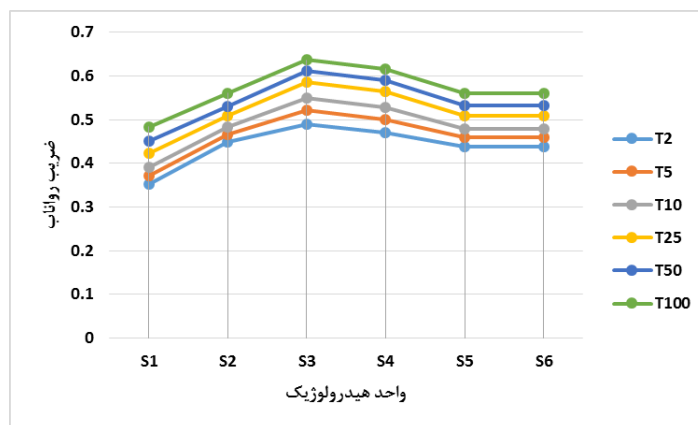
جدول ۶ و شکل ۷، ضریب رواناب هر یک از واحدهای هیدرولوژیک را در دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد. مطابق با این نتایج، بیشترین ضریب رواناب در واحد هیدرولوژیک S3 است که در دوره بازگشت ۱۰۰ سال مقداری برابر ۰/۶۳۷ دارد. در این حال، کمترین ضریب رواناب در واحد هیدرولوژیک S1 است که مقدار آن در دوره بازگشت دو سال برابر ۰/۳۵۲ است.

مقادیر شماره منحنی نیز می‌توان دریافت که بالا بودن سطح کاربری‌های ساختمانی و مساحت کم کاربری‌های باغی و فضای سبز در افزایش پتانسیل تولید رواناب و کاهش نفوذپذیری واحدهای هیدرولوژیک مهمترین اثرگذاری را داشته است. با توجه به این‌که سطح کاربری ساختمان عمدتاً از نوع سنگفرش، آسفالت و سیمان است، اساساً جزء کاربری نفوذناپذیر تلقی می‌شود. از طرفی، این تحلیل نشان می‌دهد که ضریب رواناب با دوره بازگشت ارتباط مستقیم دارد و بارش‌های بزرگ‌تر ضریب رواناب بالاتری دارند.

بازگشت‌های بالا بیشتر است. از طرفی، ذخیره سطحی یا همان چالاب در دوره بازگشت‌های کوتاه، یکسان است، اما در دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ سال، ذخیره چالابی افزایش پیدا کرده است. این نتیجه نشان می‌دهد که با وجود تغییرات کم‌نفوذ در دوره بازگشت‌های بالا، بخشی از ارتفاع رواناب صرف ذخیره چالابی می‌شود. با توجه به نتایج، بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت دو سال برای کل سامانه، حدود ۸/۵۶ هزار متر مکعب رواناب تولید می‌کند. همچنین، در دوره بازگشت ۱۰۰ سال، حجم رواناب تولیدی بارش طرح در حدود ۳۳/۱۹ هزار متر مکعب است. از بررسی

جدول ۶- ضریب رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف

واحد هیدرولوژیک	دوره بازگشت (سال)					
	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲
S1	۰/۴۸۴	۰/۴۵۰	۰/۴۲۴	۰/۳۹۲	۰/۳۷۱	۰/۳۵۲
S2	۰/۵۶۱	۰/۵۳۱	۰/۵۰۹	۰/۴۸۳	۰/۴۶۵	۰/۴۴۸
S3	۰/۶۳۷	۰/۶۱۲	۰/۵۸۶	۰/۵۴۹	۰/۵۲۱	۰/۴۹۰
S4	۰/۶۱۶	۰/۵۹۱	۰/۵۶۴	۰/۵۲۷	۰/۵۰۰	۰/۴۷۱
S5	۰/۵۶۰	۰/۵۳۳	۰/۵۰۹	۰/۴۷۹	۰/۴۵۹	۰/۴۳۹
S6	۰/۵۶۰	۰/۵۳۲	۰/۵۰۸	۰/۴۷۸	۰/۴۵۹	۰/۴۳۹



شکل ۷- تغییرات ضریب رواناب در دوره بازگشت‌های مختلف

به وقوع حوادث غیرمترقبه‌ای همچون سیل می‌شود که علاوه بر آب‌خیزهای غیرشهری، در آب‌خیزهای شهری نیز مشکلاتی را در پی دارد. در این حال، استفاده از سامانه‌های جمع‌آوری آب باران می‌تواند نقش مؤثری در کاهش خطرات سیلاب‌های شهری داشته باشد و از طرفی، به‌عنوان یک منبع مکمل، جبران‌کننده بخشی از مصرف خانوارها در بخش غیرشرب به‌کار آیند. در این پژوهش، به‌منظور شفاف‌سازی پتانسیل سیل‌خیزی

نتیجه‌گیری

مدیریت جامع آب‌خیز دربرگیرنده اقدامات متعددی است که در نهایت به توسعه پایدار آن ختم می‌شود. دستیابی به این امر مستلزم نگرش همه‌جانبه و دقیق به فرایندهای داخل و خارج حوزه آب‌خیز است. در این بین، فرایند تبدیل بارش به رواناب نقش مهمی در عملکرد حوزه‌های آب‌خیز دارد. به‌طوری‌که غالباً کمبود و یا فزونی هر یک از مؤلفه‌های بارش و یا رواناب منجر

منبع مکمل می‌تواند در آبیاری باغ‌ها و فضای سبز، شستشوی محوطه‌ها و تأسیسات، آتش‌نشانی و بخش تفرجگاهی باشد که بدین‌صورت می‌توان یک برنامه‌ریزی صحیحی در بخش مدیریت منابع آب در منطقه مطالعاتی به اجرا درآورد.

مناطق شهری، با استفاده از مدل SWMM وضعیت تولید رواناب در بخشی از شهر بابلسر بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که در مورد بارش‌های با دوره بازگشت متوسط (دو ساله) در حدود ۸/۵۶ هزار متر مکعب آب باران قابل جمع‌آوری است که می‌تواند در مصارف غیرشرب به‌کار رود. مهمترین استفاده از این

منابع مورد استفاده

1. Belmeziti, A., O. Coutard and B.D. Gouvello. 2013. A new methodology for evaluating Potential for Potable Water Savings (PPWS) by using rainwater harvesting at the urban level: the case of the municipality of Colombes (Paris region). *Water*, 5(1): 312-326.
2. Evenari, M., L. Shanan and N. Tadmor. 1982. *The Negev, the challenge of a desert*. 2nd Edition, Harvard University Press, 464 pages.
3. Mukheibir, P. 2008. Water resources management strategies for adaptation to climate-induced impacts in South Africa. *Water Resources Management*, 22: 1259-1276.
4. Mehrabadi, M.H. and B. Saghafiyan. 2013. The optimization of reservoir levels in residential homes in the cities. 9th International Congress of Civil Engineering, University of Isfahan (in Persian).
5. Mofidi, A., A. Zarin and Gh.R. Janbazeghobadi. 2008. Determining the synoptic pattern of severe winter precipitation and compare it with the pattern of severe precipitation on the southern shores of the Caspian Sea. First International Conference of Environmental Changes in the Caspian Region, Mazandaran (in Persian).
6. Nix, S.J. 1994. *Urban storm water modeling and simulation*. Lewis Publishers, Boca Raton, 212 pages.
7. Oni, S., I.E. Ege, Ch. Asenime and S.A. Oke. 2008. Rainwater harvesting potential for domestic water supply in Edo State. *Journal of Management and Social Sciences*, 2(2): 87-98.
8. Pandey, D.N., A.K.G. Upta and D.M. Anderson. 2003. Rainwater harvesting as adaptation to climate change. *Current Science*, 85(1): 46-59.
9. Parvanehkhah, R., M. Toloie and K. Siamardi. 2007. Application of direct rainwater harvesting system in urban environments. The 2nd Iranian National Conference on Applied Research in Water Resources, Zanjan (in Persian).
10. Rostami Khalaj, M., M. Mahdavi, Sh. Khalighi Sigarodi and A. Salajaghe. 2012. Sensitivity analysis of the variables influencing the urban flooding using SWMM model. *Journal of Watershed Management*, 3(5): 12-23 (in Persian).
11. Rutashobya, D.G. 2008. Climate change scenarios, impacts and adaptation strategies in Africa. In: Petermann, T. (Ed.), *Towards Climate Change Adaptation, Building Adaptive Capacity in Managing African Transboundary River Basins, a Case Studies from African Practitioners and Researchers*. InWEht-Internationale Weiterbildung und Entwicklung gGmbH Capacity Building International, Germany. ISBN: 978-3-939394-28-0.
12. Salas, J.C., K.W.K. Nig and A. Lo. 2009. Rainwater harvesting providing adaptation opportunities to climate change. A Report Prepared for UNEP by Stockholm Environment Institute York, UK/Stockholm Resilience Centre, Stockholm, Sweden. ISBN: 978-92-807-3019-7.
13. Telvari, A., M. Ghanbarpoor, N. Ghiasi, A. Abbasi and M. Arabkhedri. 2004. Investigation of rainfall characteristics in relation to flood estimation methods. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 98 pages (in Persian).
14. Tripathi, A.K. and U.K. Pandey. 2005. Study of rainwater harvesting potential of Zura Village of Kutch District of Gujarat. *Journal of Human Ecology*, 18(1): 63-67.
15. Yaziz, M.I., H. Gunting, N. Sapari and A.W. Ghazali. 1989. Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*, 23: 761-765.
16. Younos, T. and S. Lawson. 2011. Rainwater harvesting: a holistic approach for sustainable water management in built environments. Extended Abstract, Low Impact Development Symposium, September 26-28, 2011, Philadelphia.
17. Zaghoul, N.A. and B.L. Al-Mutairi. 2010. Water harvesting of urban runoff in Kuwait. Sharif University of Technology, 2010: 236-243.
18. Zolfaghari, H. 2011. Take a look at ways to collect rainwater for domestic use. The 2nd Iranian National Conference on Applied Research in Ware Resources, Zanjan (in Persian).