

Document Type

Applied Article

پژوهش کاربردی

نوع مقاله

Urban Flood Management With the Aim of Supplying a Portion of the Water Required for the Green Spaces of Ferdowsi University of Mashhad Campus

S. Afrasiabi¹, S. R. Khodashenas^{2*}, A. Mosaedi²

1- M.Sc. Graduate in Water Structures, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

* Corresponding Author Email: khodashenas@um.ac.ir

Received 21-01-2025
Revised 02-04-2025
Accepted 21-04-2025
Available online 16-12-2025

مدیریت سیلاب شهری با هدف تأمین بخشی از آب مورد نیاز فضای سبز پردیس دانشگاه فردوسی مشهد

سعید افراسیابی^۱، سعیدرضا خداشناس^{۲*}، ابوالفضل مساعدی^۲

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* رایانامه نویسنده مسئول: khodashenas@um.ac.ir

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۱/۰۲
تاریخ بازنگری ۱۴۰۴/۰۱/۱۳
تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۲/۰۱
تاریخ انتشار ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

Abstract

چکیده

The expansion of urbanization and increased impervious surfaces have led to higher peak discharge and flood volume in urban areas. Therefore, managing surface runoff in cities using BMP/LID strategies has become increasingly important. This study examines the impact of a storage basin on runoff management for the Delavaran, Sarafrazan, Chaharcheshmeh, and Ab-o-Barq watersheds within the Ferdowsi University of Mashhad (FUM) campus and its role in supplying part of the irrigation water demand for the campus's green spaces. The SWMM rainfall-runoff model was employed for runoff simulation, and model calibration was conducted considering the factors affecting peak discharge. Due to the absence of hydrometric stations, rainfall and peak discharge for 18 rainfall events from October 2023 to October 2024 were measured, and the model was calibrated using the first 13 events. In the validation stage, the average evaluation criteria for the subsequent five events were 2.5, 0.9, and 0.92, respectively. Additionally, the FUM campus's design of a flood storage reservoir with dimensions of 10×40×200 meters demonstrated that it could supply 190,000 cubic meters of the 320,000 cubic meters required for irrigating the campus's green spaces during the study period. The construction of this reservoir is expected to reduce peak flood discharge by up to 38%, decrease the total annual flood volume by 10% at the FUM campus outlet, and supply more than half of the irrigation water needed for the campus green spaces.

Keywords: Flood Storage Reservoir, Rainfall-Runoff Modeling, Ferdowsi University of Mashhad Campus, Green Space, SWMM.

گسترش شهرنشینی و افزایش سطوح غیرقابل نفوذ، باعث افزایش دبی اوج و حجم سیلاب‌ها در مناطق شهری شده است. بنابراین، مدیریت رواناب‌های سطحی در شهرها با استفاده از راهکارهای BMP/LID اهمیت زیادی پیدا کرده است. پژوهش حاضر به بررسی تاثیر حوضچه ذخیره در مدیریت رواناب برای حوضه‌های مسیل دلاوران، سرافرازان، چهارچشمه، آب و برق در محدوده پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و تأمین بخشی از نیاز آبی فضای سبز این مکان پرداخته است. مدل بارش-رواناب SWMM برای شبیه‌سازی رواناب استفاده شد و باتوجه به عوامل تأثیرگذار در دبی اوج، فرآیند کالیبراسیون مدل انجام شد. به دلیل عدم وجود ایستگاه‌های هیدرومتری، بارش و دبی اوج برای ۱۸ رخداد بارش از مهر ۱۴۰۲ تا مهر ۱۴۰۳ اندازه‌گیری و مدل بر اساس ۱۳ رخداد اولیه واسنجی شد. در مرحله صحت‌سنجی، میانگین معیارهای ارزیابی برای پنج رخداد بعدی ۲/۵، ۰/۹ و ۰/۹۲ به‌دست آمد. همچنین، نتایج طراحی یک مخزن ذخیره سیلاب در محل پردیس دانشگاه فردوسی مشهد به ابعاد ۱۰×۴۰×۲۰۰ متر، نشان داد که این مخزن قادر است ۱۹۰ هزار متر مکعب از ۳۲۰ هزار متر مکعب آب مورد نیاز آبیاری فضای سبز پردیس دانشگاه فردوسی مشهد را در بازه زمانی مطالعاتی تأمین کند. احداث این مخزن باعث کاهش حداکثر ۳۸٪ دبی پیک سیلاب و کاهش ۱۰٪ حجم کل سیلاب خروجی سالانه از خروجی پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و تأمین بیش از نیمی از آب مورد نیاز فضای سبز این پردیس خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: مخزن ذخیره سیلاب، مدل‌سازی بارش-رواناب،

پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، فضای سبز، SWMM

How to cite this article:

Afrasiabi, S., Khodashenas, S.R. & Mosaedi, A. (2025). Urban flood management with the aim of supplying a portion of the water required for the green spaces of Ferdowsi University of Mashhad campus. Journal of Water and Sustainable Development, 12(3), 4-16. <https://doi.org/10.22067/jwsd.v12i3.2501-1398>

با رشد سریع ساخت و سازهای شهری و همین‌طور ایجاد و توسعه زیر ساخت‌ها، سیلاب در حوضه‌های شهری شدیدتر و بیشتر شده است (Bhattacharya, ۲۰۱۰). مدل‌سازی رواناب حاصل از بارندگی در حال حاضر اهمیت زیادی دارد. زیرا رویدادهایی چون شهرنشینی، رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی باعث تغییرات چشمگیر در خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌های شهری شده است. این تغییرات باعث افزایش رواناب شده و نیاز به سیستم‌های مناسب جهت مدیریت آن را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. در گذشته، سیستم‌های زهکشی و شبکه‌های آب سطحی برای تخلیه سریع سیلاب طراحی می‌شدند، اما توسعه سریع شهری و اشباع شبکه‌ها موجب ناکارآمدی سیستم‌ها و بروز آبگرفتگی در مناطق شهری شده است (تاج‌بخش و خدانشناس، ۱۳۹۱). این مشکلات می‌تواند خسارات زیادی به زیرساخت‌ها و فعالیت‌های اقتصادی وارد کند و همچنین تردد را مختل کند (Schmitt و همکاران، ۲۰۰۴). آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا، برای حل این مشکلات، از مفهوم توسعه با اثرات کم (LID) استفاده می‌کند که بر مدیریت رواناب و کاهش حجم سیلاب تأکید دارد. این اقدامات شامل استفاده از روش‌های مدیریتی همچون مخازن ذخیره سیلاب، ترانشه‌های نفوذ، جوی باغچه‌ها و روکش‌های نفوذپذیر است که علاوه بر کنترل سیلاب، به بهبود کیفیت آب، افزایش تغذیه آب‌های زیرزمینی و کاهش دمای محیط کمک می‌کنند (Jia و همکاران، ۲۰۰۲). مفهوم بهترین اقدامات مدیریتی سیلاب (BMP) به مجموعه‌ای از تکنولوژی‌ها و روش‌های مدیریتی اطلاق می‌شود که هدف آن کاهش تأثیرات توسعه شهری بر رژیم جریان آب‌های سطحی است (Chow و همکاران، ۱۹۸۸). همچنین در کشورهای پیشرفته‌ای چون هلند، سیلاب‌ها به‌طور هدفمند به مناطق پست هدایت و جمع‌آوری شده و از آن برای تأمین آب ایستگاه‌های آتش‌نشانی استفاده می‌شود (Jang و همکاران، ۲۰۰۷). پیش‌بینی سیلاب به عنوان یکی از مهمترین روش‌های کاهش خطر سیلاب محسوب می‌شود. مدیریت سیلاب در مناطق شهری در شرایط بارش‌های شدید و سیل‌آسا بسیار ضروری است، زیرا این پدیده‌ها می‌توانند آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی فراوانی به بار آورند (قبادی، ۱۳۹۷).

خدانشناس و تاج‌بخش (۱۳۹۱) شبکه زهکشی رواناب سطحی در حوضه آبریز اقبال شرقی واقع در شهر مشهد را با استفاده از شبیه‌سازی توسط SWMM بررسی کردند. آن‌ها همچنین کارایی حوضچه‌های تأخیری را نیز بررسی کردند و ۳ مکان جهت احداث این حوضچه‌ها را شناسایی کردند. ارزیابی عملکرد شبکه توسط مدل SWMM نشان داد که در محدوده مورد مطالعه ۶ مجرا دچار مشکل بود. بدیعی‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) به منظور تعیین ابعاد بهینه‌ی شبکه زهکشی شهر گرگان از مدل هیدرولوژی-هیدرولیکی SWMM استفاده

کردند. نتایج به‌دست آمده از واسنجی مدل نشان داد که دبی اوج و حجم جریان ناشی از شبیه‌سازی با مقادیر مشاهداتی تطابق خوبی داشته است. احمدی شرف و تجریشی (۱۳۹۳) روشی ابتکاری برای جانمایی حوضچه‌های ذخیره برای استفاده بهینه از این تاسیسات با بهره‌گیری از SWMM برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی-هیدرولیکی، GIS و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای حوضه درکه شهر تهران ارائه کردند. خروجی حاصل نقشه‌ای بود که میزان تناسب هر نقطه از حوضه را برای احداث حوضچه نشان داد. با الگوریتم ارائه شده می‌توان روند جانمایی این تاسیسات و سایر BMP ها را در سطح یک شهر بهبود بخشید. مختارپور و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از قابلیت‌های مدل SWMM برای منطقه ۴ شهر تهران، با توجه به عوامل محیطی، دو طرح از بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) تحت سناریوی شبکه نفوذ و مخازن تأخیری جهت کنترل حداکثر رواناب از نظر کمی انجام دادند. نتایج نهایی گویای عدم کارایی مناسب در بخش‌های مختلف شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی موجود در محدوده مورد مطالعه بود. همچنین استفاده از راهکارهای مدیریتی موجب شد زمان رسیدن به دبی اوج هیدروگراف سیل ۱۵ دقیقه افزایش یابد. شکوهی‌مهر و همکاران (۱۳۹۸) میزان اثر بخشی مخازن کنترل سیلاب در کاهش دبی اوج سیلاب با استفاده از مدل SWMM در آبریز شرق تهران برای بارش‌های با تداوم مختلف در ۴ نقطه شبکه، در دوره بازگشت‌های مختلف ۲ و ۲۵ سال را بررسی کردند. نتایج حاصل در این ۴ نقطه نشان داد که مخازن دارآباد و سرخه حصار در بارش بادوره بازگشت ۲ سال و تداوم ۳ ساعته و مخازن حوضه تهرانپارس در بارش با دوره بازگشت ۲۵ سال و تداوم ۲۴ ساعت، به ترتیب با مقادیر ۷۸٪، ۳۹٪، ۱۸٪، ۲۹٪، بیشترین تأثیر را در کاهش دبی اوج رواناب داشتند. وفایی و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی به ارزیابی خطر سیلاب در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد پرداختند که با استفاده از مدل HEC-RAS و داده‌های میدانی، پهنه‌بندی سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف انجام شد. نتایج نشان داد که کانال‌های موجود توانایی عبور سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ و ۱۰ ساله را دارند، اما در دوره‌های بازگشت بالاتر، به دلیل محدودیت‌های سازه‌ای، آب‌گرفتگی رخ می‌دهد. در نتیجه، راهکارهایی مانند ایجاد دیواره‌های حفاظتی و افزایش ظرفیت مقاطع خروجی برای کاهش خسارات پیشنهاد دادند. جزائری و همکاران (۱۴۰۲) با هدف شبیه‌سازی شبکه جمع‌آوری رواناب سطحی در منطقه دو شهرداری تهران مدل SWMM را استفاده کردند. ایشان به منظور استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر، روش‌های استفاده از شبکه باران، ترانشه نفوذ و ترکیب هر دو روش را بررسی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد دبی اوج سیلاب در دوره بازگشت ۱۰ سال، در سناریوی اول (شامل ۱۰۴۹ بشکه باران) ۲۲٪، در سناریوی دوم (شامل ۲۰۹۸ بشکه باران) ۳۱٪، در روش ترانشه نفوذ ۲۹٪ و در روش ترکیبی ۵۰٪ کاهش خواهد داشت. امینی یزدی و

فغور مغربی (۱۴۰۲) در پژوهشی، تأثیر مخازن تأخیری بر کنترل سیلاب در حوضه شرق مشهد را بررسی کردند. مدل سازی با استفاده از SWMM5.0 و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام شد. با ارزیابی ۱۱ سناریو مختلف (اقتصادی-هیدرولیک)، سناریو استفاده از چهار مخزن تأخیری به عنوان بهترین راهکار هیدرولیکی شناخته شد. همچنین، سناریو استفاده از دو مخزن تأخیری به عنوان بهترین راهکار اقتصادی شناخته شد. ایشان به این نتیجه رسیدند که استفاده از مخازن تأخیری می تواند جریان سیلاب را به طور موثر کاهش دهد و زمان اوج سیلاب را افزایش دهد. Bhaskar و همکاران (۲۰۱۶) با انجام پژوهشی بر روی یک حوضه در کلارکسبرگ، مریلند که شامل ۷۳ تاسیسات مدیریت آب باران با تمرکز بر نفوذ، در یک حوضه آبخیز ۱۱/۱ کیلومتری طی سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴، دریافتند که استفاده از روش های توسعه کم اثر علاوه بر کاهش خطرات ناشی از سیلاب ها، باعث بهبود وضعیت آب های زیرزمینی نیز می شود. Jiang و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند چین کشوری است که سریع ترین رشد شهرنشینی در دهه های گذشته را تجربه کرده که این مسئله سبب ایجاد سیلاب های جدی در شهرها شده است. به این منظور ایشان، سیلاب شهری در شهر دونگوان در جنوب چین را که به سرعت شهرنشین شده است، شبیه سازی نمودند. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که برای بارش های با دوره بازگشت ۱ ساله، منطقه مورد مطالعه هیچ سیلابی نخواهد داشت، اما برای بارش های با دوره های بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۰ ساله منطقه مورد مطالعه زیر آب خواهد رفت. نتایج ایشان نشان داد که مدل SWMM برای پیش بینی سیلاب در شهرها امیدوارکننده است. Takele و Bibi (۲۰۲۲) با هدف بررسی اثرات استفاده از زمین و تغییرات آب و هوایی بر اوج رواناب و حجم سیل و همچنین ارزیابی اثر بخشی توسعه کم اثر با استفاده از SWMM (نسخه ۵/۱) به این نتیجه رسیدند که شهر Dodola افزایش قابل توجهی را در سطح غیر قابل نفوذ تجربه کرده و همچنین نشان داد اوج رواناب و حجم سیلاب در منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر جداگانه و ترکیبی تغییرات شدت بارندگی به دلیل تغییرات آب و هوایی و افزایش سطح غیرقابل نفوذ افزایش یافته است. Swathi و همکاران (۲۰۱۸) مدل مدیریت سیلاب SWMM را برای پردیس دانشگاهی BITS Pilani در حیدرآباد هند، بررسی کردند. در این پژوهش از رویداد بارندگی سال ۲۰۰۶، معادله نفوذ هورتون و آنالیز مسیریابی جریان با استفاده از روش موج پویا برای مدل سازی استفاده شد. نتایج ایشان نشان داد در هیچ گره پس زدگی و سرریز جریان وجود ندارد که حاکی از آن است سیستم جمع آوری رواناب

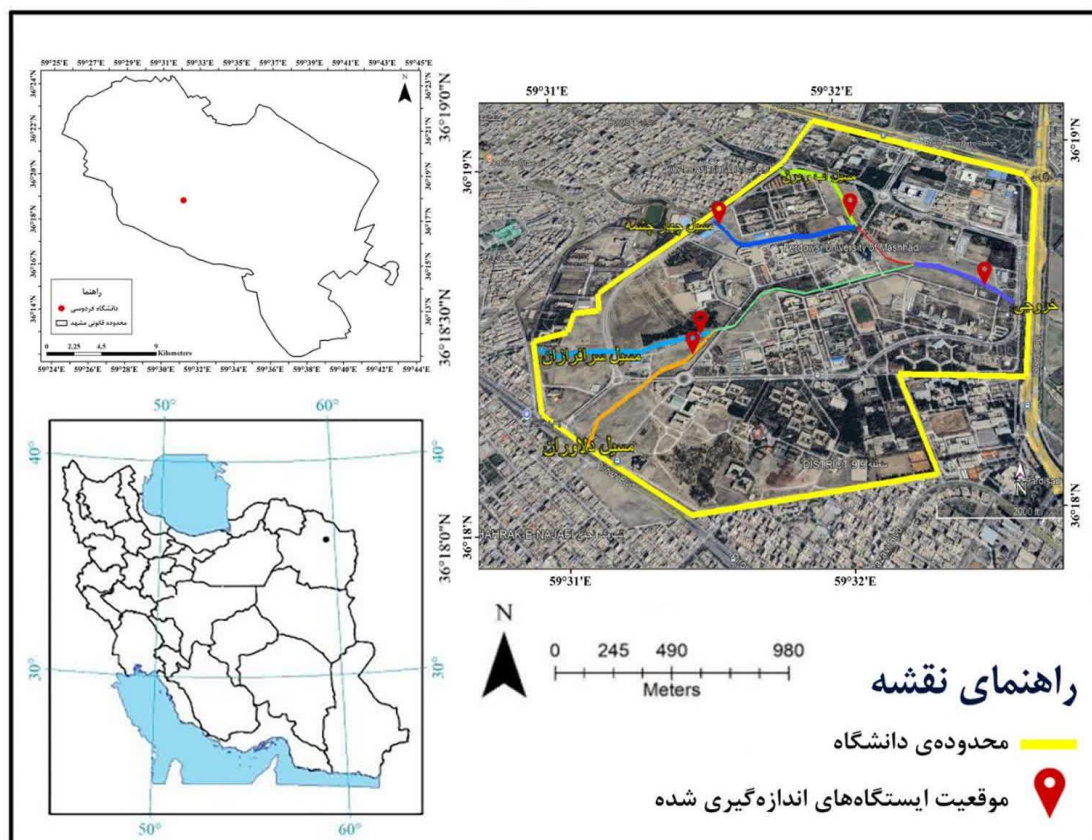
دانشگاهی به خوبی برنامه ریزی شده و ظرفیت حمل کافی برای واقعه بارانی شبیه سازی شده دارد. باتوجه به توسعه روز افزون و اهمیت منطقه ای و جهانی شهر مشهد به دلیل قرار گرفتن مرقد مطهر امام رضا (ع)، کنترل سیلاب و رواناب در این شهر، طراحی مناسب و همینطور آگاهی از عیوب طراحی قدیمی کانال ها و جوی های موجود در مشهد اهمیت خاصی پیدا می کند. به گفته مسئولین شهر مشهد در سال ۱۳۹۴، سیلاب سبب مصدومیت ۲ نفر در این شهر شد (پایگاه خبری تابناک، ۱۳۹۴) از طرف دیگر، وقوع بارندگی سیل آسا در تاریخ ۲۶ اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ در این شهر که در ۲۰ سال اخیر بی سابقه بود متأسفانه بیش از ۱۰ کشته و مصدوم را در پی داشت. بنابراین، باتوجه به اهمیت فرهنگی، گردشگری، سیاسی و اقتصادی شهر مشهد در بعد ملی و بین المللی، نیاز به مطالعه و بررسی های علمی و به کارگیری روش های نوین کنترل و حفاظت شهرها در مقابل سیل ضروری به نظر می رسد. بنا براین، هدف از این پژوهش مدل سازی سیلاب شهری (با استفاده از مدل SWMM) در بخشی از حوضه شهری مشهد (شامل حوضه های دلاوران، سرافرازان، چهارچشمه و آب و برق که رواناب آنها به پردیس دانشگاه فردوسی مشهد وارد می شوند) و همچنین امکان سنجی ذخیره رواناب و طراحی حوضچه ذخیره رواناب در پردیس این دانشگاه به منظور آبیاری فضای سبز این پردیس می باشد.

مواد و روش ها

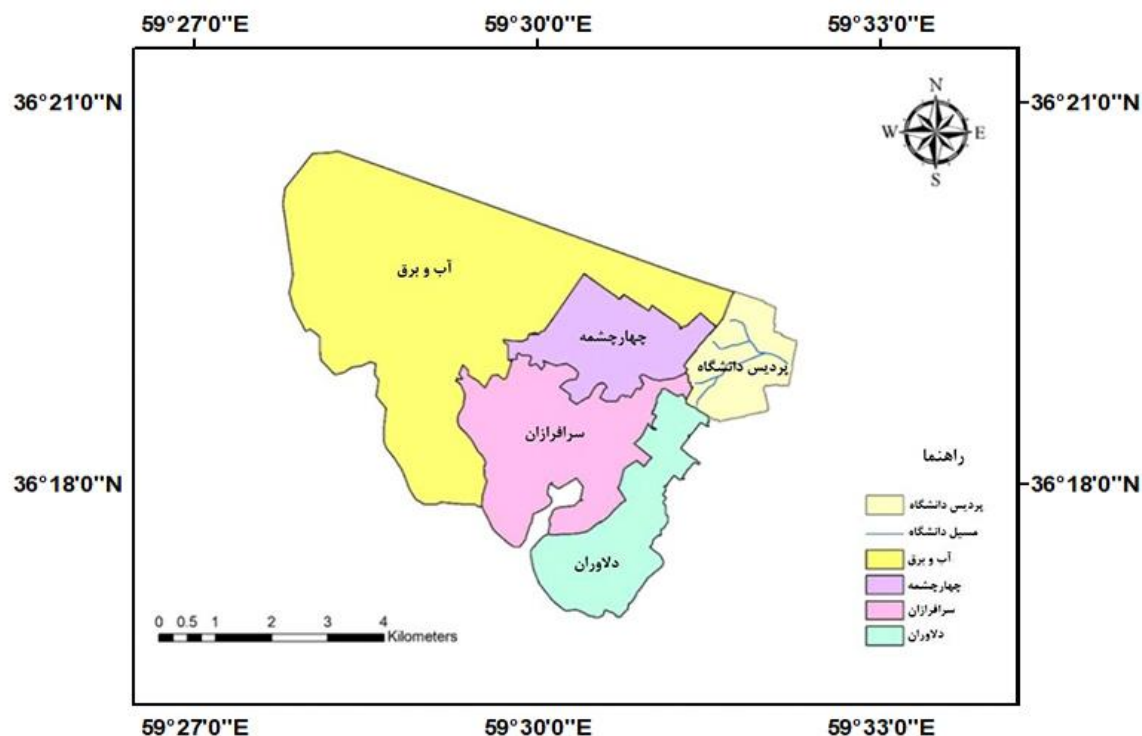
معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه شهری بالادست پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، محدوده مورد مطالعه در این پژوهش می باشد. پردیس دانشگاه فردوسی مشهد با وسعت حدود ۲/۷۷ کیلومتر مربع در منطقه ۹ شهرداری شهر مشهد واقع شده است. این محل از شمال به بلوار وکیل آباد، از شرق به بلوار کلانتری، از جنوب به بلوار پیروزی و از غرب به بلوار باهنر محدود می شود. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی پردیس دانشگاه فردوسی مشهد به همراه محدوده و کانال های اصلی آن نشان داده شده است.

منطقه ۹ مشهد دارای ۳ ناحیه و ۱۲ محله می باشد که آب های سطحی در این منطقه به وسیله مسیل ناحیه آب و برق جمع آوری می شود. این مسیل از بلوار برونسی شروع و بعد از گذشتن از اراضی پاچنار و تقاطع با بلوارهای هفت تیر، هنرستان، هاشمیه، کوثر و بلوار شهید باهنر به محدوده پردیس دانشگاه فردوسی مشهد وارد می شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و کانال‌های اصلی آن



شکل ۲- مرز زیر حوضه‌های مربوط به محدوده مورد مطالعه

این مسیل در محدوده مورد مطالعه (دانشگاه فردوسی مشهد) با دیگر مسیل‌های دانشگاه مانند: مسیل دلاوران، سرافرازان و چهارچشمه ترکیب شده (شکل ۲) و در نهایت از قسمت شرقی دانشگاه خارج شده و بعد از ورود به باغ ملک

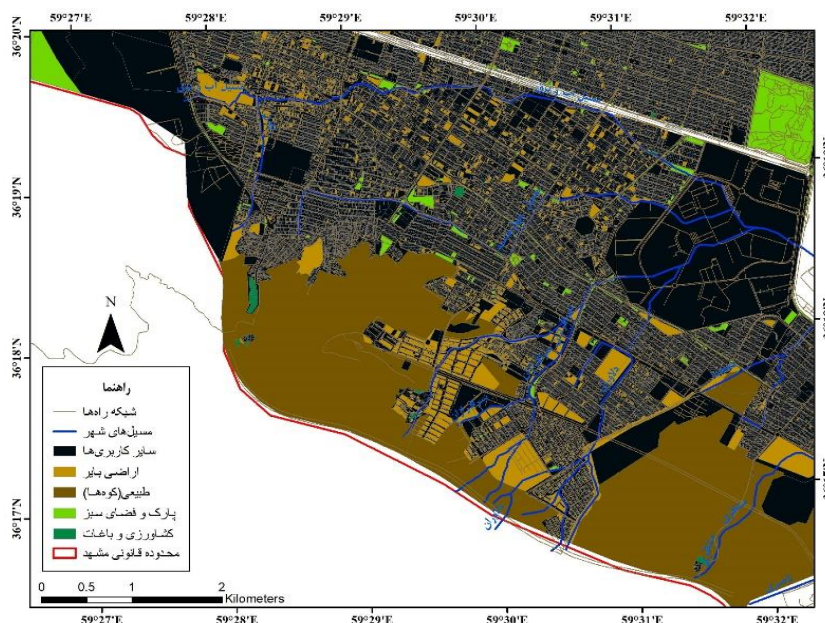
نشریه آب و توسعه پایدار سال دوازدهم، شماره سوم، آذر ماه ۱۴۰۴

آباد در موقعیت ابتدا بلوار خیام به مسیل اقبال غربی پیوسته و در نهایت کل جریان وارد رود کشف رود می‌شود.

شبیه‌سازی در مدل SWMM

مدل مدیریت رواناب SWMM که برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده ارائه شد، یک مدل شبیه‌ساز بارش-رواناب پویا با مبنای فیزیکی است (Rossman, ۲۰۱۵). به طور کلی پارامترهای بخش ورودی مدل شامل ۶ مورد اصلی از متغیرهای محیطی می‌باشد که عبارتند از: ۱- داده‌های اقلیمی (بارش، دما، تبخیر و...)، ۲- مشخصات محدوده (زیرحوضه‌ها و پارامترهای نفوذ)، ۳- مشخصه‌های جریان‌های زیر سطحی، ۴- سیستم انتقال (لوله‌ها، کانال‌ها، مخازن ذخیره، گره‌ها و...)، ۵- پارامترهای مرتبط با کیفیت و آلودگی و ۶- کنترل‌های توسعه با اثرات کم.

برای همه مدل‌سازی‌ها ضرورتی بر وارد کردن تمام این پارامترها وجود ندارد (Niazi و همکاران ۲۰۱۷). یکی از کلیدی‌ترین پارامترهای ورودی در مدل SWMM، درصد سطوح یا اراضی نفوذ ناپذیر در زیرحوضه‌ها است. به همین دلیل، از لایه اطلاعاتی کاربری اراضی در حوضه جنوب غربی شهر مشهد که به طرح تفصیلی این ناحیه مربوط می‌شود، استفاده شد (شکل ۳). با این وجود تنها تکیه بر این اطلاعات کافی نیست، زیرا این نقشه‌ها جزئیات کاملی را ارائه نمی‌دهند. در بخش کوهستانی، کاربری‌ها به هتل‌ها، پردیس دانشگاه فردوسی و فضاهای سبز محدود است. بسیاری از زمین‌ها بایر هستند و این فضاها در نقشه کاربری اراضی به‌درستی نشان داده نشده‌اند. همچنین، فضاهای سبز در بلوارهای شهر و محوطه هتل‌ها وجود دارد.

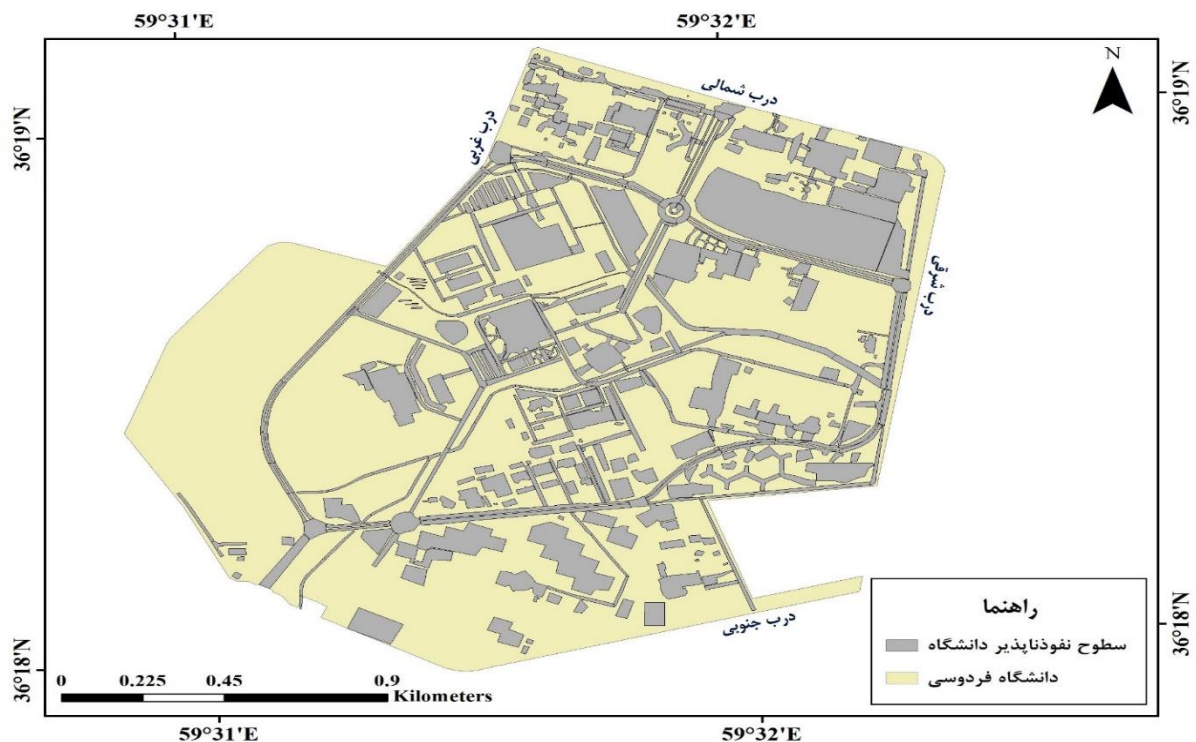


شکل ۳- تعیین سطوح نفوذ ناپذیر در زیر حوضه‌ها

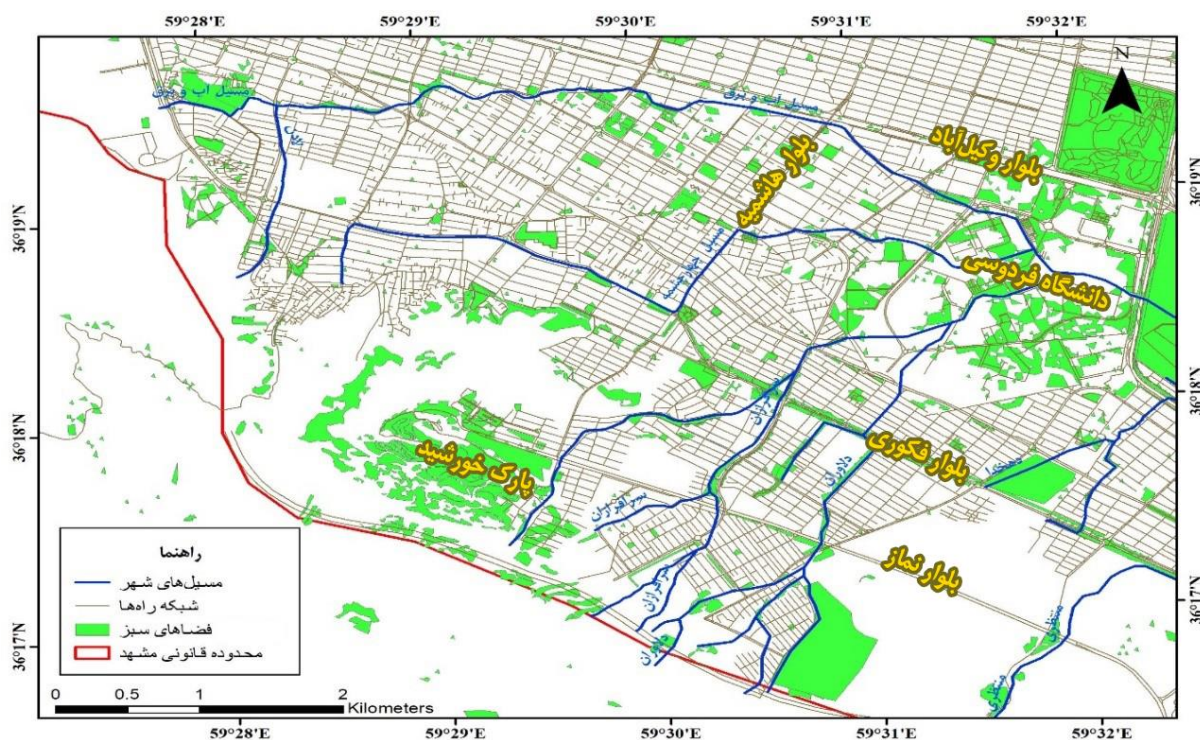
محیط نرم‌افزار Arcmap 10.2، مساحت پیکسل‌های موجود (فضاهای سبز شهری) در هر حوضه محاسبه و میزان سطوح نفوذپذیر حوضه‌ها در مدل SWMM ثبت شد. سایر پارامترها مانند: اطلاعات ارتفاعی در گره‌ها با استفاده از لایه داده‌های دیجیتال ارتفاع (DEM) برای شهر مشهد استخراج شد و در مدل ثبت شد. برای کانال‌ها، داده‌هایی شامل ابعاد، طول، زبری و دبی پایه از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی و جدول‌های راهنمای مدل ثبت شد. داده‌های ورودی برای زیرحوضه‌ها مانند مساحت زیرحوضه‌های تقسیم‌بندی شده، در نرم‌افزار Arcmap محاسبه شد، درصد نفوذناپذیری طبق توضیحات پیشین محاسبه و زبری سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر با استفاده از جدول‌های پیشنهادی به مدل افزوده شد.

برای تحلیل داده‌ها، با بهره‌گیری از سامانه GEE^۳ از تصاویر سنجنده Sentinel 2 سال ۲۰۲۳ با رزولوشن ۳۰ متر استفاده شد. پس از بررسی مشخصات تصاویر، شاخص پوشش گیاهی (NDVI^۴) به کمک کدنویسی در زبان جاوا اسکریپت محاسبه و استخراج شد. همچنین، از تصاویر ماهواره‌ای در سامانه Google Earth برای استخراج سطوح نفوذناپذیر و نفوذپذیر پردیس دانشگاه فردوسی استفاده شد که در شکل (۴) نمایش داده شده است.

اطلاعات استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های شهرداری همپوشانی شده تا میزان سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر هر زیرحوضه به دقت مشخص شود. وضعیت فعلی سطوح نفوذپذیر در حوضه در شکل (۵) نشان داده شده است. سپس با استفاده از ابزارهای Arctool box در



شکل ۴- تعیین سطوح نفوذ ناپذیر پردیس دانشگاه فردوسی مشهد



شکل ۵- تعیین نهایی سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر در زیرحوضه‌های مطالعاتی

باتوجه به نوع خاک و عرض معادل در زیرحوضه‌ها باتوجه به راهنمای مدل بر اساس تقسیم مساحت هر زیر حوضه بر طول آبراهه همان حوضه محاسبه شده و در مراحل کالیبراسیون و واسنجی به‌طور دقیق‌تر تعیین شد. برای شبیه‌سازی در مدل، نوع فرآیند بارش-رواناب، روندیابی جریان به‌صورت موج دینامیک و روش محاسبه نفوذ انتخاب

چالاب سطوح نفوذناپذیر بر اساس جدول‌های مربوطه تعیین و برای سطوح نفوذپذیر باتوجه به مقادیر پیشنهادی مدل و تفکیک کردن فضای سبز و زمین‌های بایر به‌صورت میانگین وزنی محاسبه شد. برای درصد سطوح نفوذ ناپذیر بدون چالاب، مقدار پیش‌فرض ۵۰ درصد در نظر گرفته شد، زیرا اطلاعات دقیقی در دسترس نبود. همچنین، پارامترهای نفوذ

شد. در تنظیمات مربوط به موج دینامیک، برای بخش اول نحوه حل معادلات سنت و نانت تعیین شده و سپس شرایط جریان در کانال باتوجه به عدد فرود و شیب سطح آب انتخاب شد. برای محاسبات افت جریان، از میان روابط هیزن ویلیامز و داریسی ویسباخ، رابطه هیزن ویلیامز انتخاب شد.

داده‌های اندازه‌گیری شده (بارش و ارتفاع سیلاب)

یکی از اصلی‌ترین ورودی‌های مدل، داده‌های مربوط به بارش است. به دلیل عدم یکنواختی بارش در شهر، فاصله زیاد حوضه مورد مطالعه تا ایستگاه سینوپتیک مشهد، اهمیت

زمان شروع، پایان و شدت بارش، میزان بارش از ۱۰ مهرماه ۱۴۰۲ تا ۱۰ مهرماه ۱۴۰۳ که شامل ۱۸ رخ داد بود در محدوده پردیس دانشگاه فردوسی مشهد اندازه‌گیری شد. همچنین، ارتفاع آب در چهار کانال ورودی به دانشگاه فردوسی مشهد و یک کانال خروجی از پردیس دانشگاه فردوسی مشهد با نصب اشل اندازه‌گیری شد. نمونه‌ای از اندازه‌گیری‌ها در شکل (۶) مشاهده می‌شود.

یکی از نمونه اندازه‌گیری‌های صورت گرفته از عمق آب در کانال‌ها و ارتفاع بارش در طی مدت بارندگی و همین‌طور محاسبه دبی در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۶- اندازه‌گیری عمق رواناب حاصل از بارش در کانال‌های پردیس دانشگاه فردوسی مشهد

جدول ۱- برداشت دبی اوج در تاریخ ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

کانال	موقعیت جغرافیایی	ساعت شروع	ساعت پایان	ارتفاع بارش (mm)	عمق آب در کانال (cm)	دبی (m3/s)
دلوران	59°31'24.268"	0:00	2:00	9	15	3.39
	36°18'20.471"					
59°31'23.774"	9				1.25	
36°18'21.865"						
59°31'24.639"	75				4.13	
36°18'40.839"						
59°31'47.504"	12				2.02	
36°18'44.474"						
59°32'10.061"	23				8.8	
36°18'32.074"						

شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل

برای ارزیابی کمی عملکرد مدل از روابط ریاضی ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE^*$)، ضریب نش-ساتکلیف (NS^*) و ضریب تبیین (R^2) با مقایسه مقادیر دبی اوج مشاهداتی و شبیه‌سازی استفاده شده است.

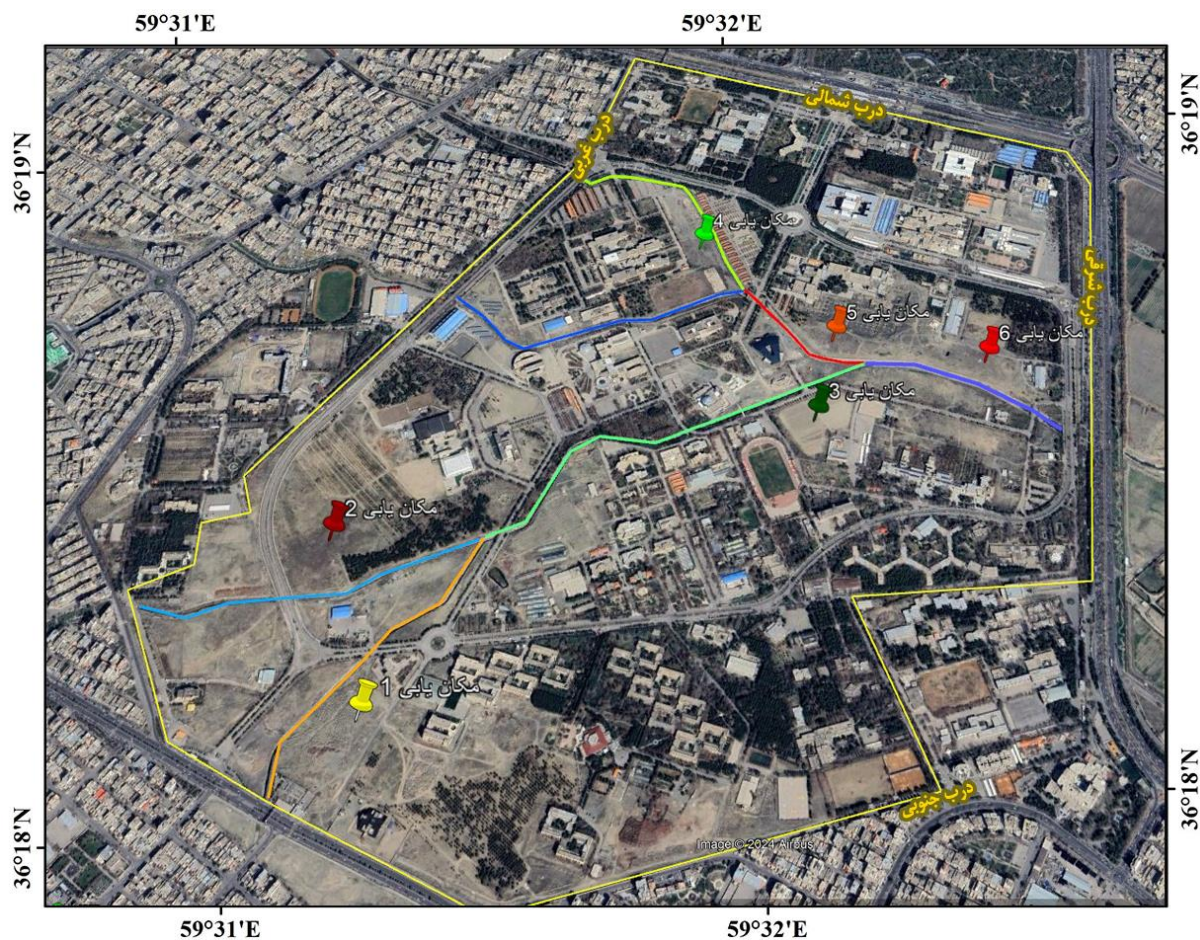
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{n}} \quad (1)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{res}}{SS_{tot}} \quad (3)$$

در این روابط، مجموع مربعات باقی مانده با نماد (SS_{res})، مجموع مربعات کل با نماد (SS_{tot})، دبی اوج مشاهداتی با نماد (Q_o) و دبی شبیه‌سازی شده با (Q_s) نشان داده می‌شود. همچنین، میانگین مقادیر مشاهداتی به صورت $\bar{Q}_o$ و n به تعداد داده‌های مشاهداتی یا شبیه‌سازی اشاره دارد. هرچه

مقدار $RMSE$ کوچکتر باشد، نشان‌دهنده اختلاف کمتر بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است و این امر به دقت بالاتر مدل اشاره دارد. ضریب نش-ساتکلیف دارای دامنه تغییرات بین ۱ تا منفی بی‌نهایت است. اگر مقدار این ضریب مثبت باشد، به این معنا است که دقت مقادیر شبیه‌سازی شده نسبت به میانگین مقادیر مشاهداتی بهتر است. اما اگر مقدار آن منفی باشد، این نشان‌دهنده عدم تطابق خروجی مدل با ماهیت سیستم است. حداقل مقدار قابل قبول برای این ضریب در شبیه‌سازی ۵/۰ است و هرچه این ضریب به ۱ نزدیکتر باشد، دقت شبیه‌سازی مدل بیشتر خواهد بود (Nash و Sutcliffe، ۱۹۷۰). مقدار ضریب تبیین یا تعیین بین ۰ تا ۱ متغیر است: هرچه این مقدار به عدد ۱ نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده تطابق بهتر مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده و توانایی بیشتر مدل در پیش‌بینی تغییرات است. اگر مقدار $R^2=0$ باشد، به این معناست که مدل هیچ توضیحی برای واریانس داده‌ها ارائه نمی‌دهد.



شکل ۷- مکان پایی اولیه به منظور احداث مخزن ذخیره سیل در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد

مخزن ذخیره

مخزن‌های نگهداشت یا ذخیره از جمله رویکردهای نوین مدیریت رواناب شهری می‌باشند که در مطالعات مهندسی ارزش قابل استفاده می‌باشند. مهمترین موضوع در استفاده

از این مخازن، وجود فضای کافی جهت احداث آن‌ها در شهرهای پرتراکم است. مکان‌های مناسب برای ساخت این مخازن، قطعات فضای سبز، پارک‌ها یا برخی فضاهای باز شهر است، که به خطوط اصلی زهکشی نزدیک باشد تا طول خط

انتقال از کانال زهکش اصلی به مخزن کوتاه باشد و هزینه‌های مربوط به حداقل خود برسد. با استفاده از بازدهی‌های میدانی در پردیس دانشگاه فردوسی و استفاده از نقشه‌های گوگل ارث، شش نقطه برای احداث مخزن مکان‌یابی شد که در شکل (۷) نشان داده شده است. از جمله عوامل تاثیر گذار در انتخاب این شش مکان می‌توان، وجود فضای کافی در این نقاط، نزدیک بودن این مکان‌ها به کانال‌های انتقال سیلاب و در نتیجه آن کاهش هزینه احداث کانال انتقال رواناب از کانال‌ها به مخازن را نام برد.

نتایج و بحث

نتایج مدل‌سازی بارش-رواناب در کل حوضه مطالعاتی

پس از انجام آنالیز حساسیت مدل، مشخص شد که درصد سطوح نفوذناپذیر و عرض معادل بیشترین تأثیر را بر دبی اوج سیلاب خروجی دارند. همچنین، پارامترهای درصد سطوح نفوذناپذیر، شیب متوسط، عرض معادل و ضریب زبری سطوح نفوذناپذیر به طور قابل توجهی بر رواناب ناشی از بارش‌های کم و زیاد تأثیر می‌گذارند، بنابراین باتوجه به این نکات مدل SWMM کالیبره شد. پس از کالیبره کردن مدل بر اساس دبی مشاهداتی اندازه‌گیری شده در ۱۳ رویداد بارش (از ابتدا مهر ۱۴۰۲ تا نیمه اول اردیبهشت ماه ۱۴۰۳، جدول (۳))،

با تغییر موثرترین پارامترهای ورودی در محدوده مجاز و منطقی، مناسب‌ترین مقادیر معیارهای خطا سنجی در هر حوضه تعیین شدند (جدول ۲). در حوضه دلاوران RMSE از ۱/۳ به ۰/۲۸، مترمکعب بر ثانیه کاهش یافت، NS از ۰/۰۶۴- به ۰/۹۵ افزایش و R^2 از ۰/۸۶ به ۰/۹۵، تغییر یافت. در حوضه سرافرازان RMSE از ۰/۳۶ به ۰/۱۱، مترمکعب بر ثانیه کاهش یافت، NS از ۰/۲۶ به ۰/۹۲ افزایش و R^2 از ۰/۹۴ به ۰/۹۷، در حوضه چهارچشمه RMSE از ۰/۷۸ به ۰/۳۱، مترمکعب بر ثانیه کاهش یافت، NS از ۰/۶۲ به ۰/۹۴ افزایش و R^2 از ۰/۹۳ به ۰/۹۶، در حوضه آب و برق RMSE از ۳/۸ به ۰/۱۵، مترمکعب بر ثانیه کاهش یافت، NS از ۰/۵۱ به ۰/۹۲، در حوضه خروجی RMSE از ۲/۹۲ به ۰/۶۲، و در آخر در حوضه پردیس دانشگاه فردوسی RMSE از ۲/۹۲ به ۰/۵۱، کاهش یافت، NS از ۰/۳۹- به ۰/۹۵ افزایش و R^2 از ۰/۸۸ به ۰/۹۶ تغییر یافت. برای مرحله صحت سنجی مدل نیز از ۵ رویداد بارش (از نیمه دوم اردیبهشت ماه ۱۴۰۳ تا مهر ماه ۱۴۰۳، جدول (۳)) استفاده شد و نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. شاخص‌های RMSE، NS و R^2 به ترتیب به طور میانگین برابر با $2/5 \text{ mm}^3/\text{s}$ و ۰/۹ و ۰/۹۲ ارزیابی شدند. بر مبنای نتایج معیارهای خطاسنجی، مدل SWMM عملکرد مطلوب در حوضه شهری مورد مطالعه در برآورد دبی پیک سیلاب دارد.

جدول ۲- نتایج عملکرد مدل SWMM برای برآورد دبی اوج سیلاب در مراحل مختلف بر اساس شاخص‌های اعتبارسنجی

نام حوضه	نتایج اولیه مدل			واسنجی (۱۳ رویداد)			صحت‌سنجی (۵ رویداد)		
	RMSE	NS	R2	RMSE	NS	R2	RMSE	NS	R2
دلاوران	۱/۳۲۸	-۰/۰۶۴	۰/۸۶۰	۰/۲۸۲	۰/۹۵۰	۰/۹۵۰	۳/۰۴۵	۰/۹۳۴	۰/۹۴۴
سرافرازان	۰/۳۶۲	۰/۲۶۳	۰/۹۴۴	۰/۱۱۳	۰/۹۲۰	۰/۹۷۰	۲/۶۶۰	۰/۸۲۰	۰/۹۴۰
چهارچشمه	۰/۷۸۳	۰/۶۲۰	۰/۹۳۲	۰/۳۱۳	۰/۹۴۰	۰/۹۶۰	۲/۷۶۲	۰/۹۲۵	۰/۹۴۵
آب و برق	۳/۸۰۱	-۳۶/۵۳۸	۰/۶۱۷	۰/۱۵۰	۰/۹۴۰	۰/۹۴۰	۱/۵۸۱	۰/۹۲۵	۰/۹۳۰
خروجی حوضه	۲/۹۲۵	-۰/۳۹۰	۰/۸۸۰	۰/۵۱۲	۰/۹۵۰	۰/۹۶۰	۵/۱۱۶	۰/۹۲۸	۰/۹۳۲

جدول ۳- میزان بارش در طول دوره مطالعاتی (۱۴۰۲-۱۴۰۳)

۱۴۰۲									
تاریخ	۲۰ مهر	۲۳ مهر	۸ آذر	۱۷ دی	۷ بهمن	۲۸ بهمن	۵ اسفند	۱۵ اسفند	۲۲ اسفند
میزان بارش (میلی متر)	۷/۳	۳/۱	۶/۵	۲/۵	۹/۱	۶/۱	۶/۸	۴/۸	۱۳/۲
۱۴۰۳									
تاریخ	۲۴ فروردین	۲۵ فروردین	۲۶ فروردین	۵ اردیبهشت	۱۹ اردیبهشت	۲۶ اردیبهشت	۲۹ اردیبهشت	۲۲ تیر	۲۳ تیر
میزان بارش (میلی متر)	۹/۱	۶/۷	۸	۱۶/۵	۱۹	۲۵	۲۲	۸/۳	۱۰

نتایج احداث مخزن

همانگونه که در بخش قبل تشریح شد، بر اساس معیارهایی که برای مکان‌یابی مخزن وجود دارد، در ابتدا ۶ مکان به

منظور ذخیره سیل در محدوده پردیس دانشگاه فردوسی مشهد شناسایی شدند. باتوجه به بازدهی‌های میدانی به عمل آمده از این شش مکان، محاسبه مساحت‌های در دسترس در

هر مکان و دیگر عوامل تاثیر گذار مکان شماره شش (پشت ساختمان حفاظت فیزیکی دانشگاه فردوسی مشهد) برای احداث مخزن و جانمایی در مدل انتخاب شد. لذا ظرفیت مخزن به گونه‌ای طراحی شد که ظرفیت کل مخزن در یک بارش کاملاً پر نگردد چرا که ممکن است از بارش‌های گذشته نیز بخشی از ظرفیت مخزن اشغال شده باشد. از طرف دیگر، حقایق پایین دست هم باید رعایت شود و شاید نتوان تمامی جریان سیل را به سمت مخزن هدایت نمود. برای رعایت حقایق پایین دست تراز کانال انتقال آب به مخزن، مقداری

بالتر از کف کانال اصلی (خروجی) در نظر گرفته شد تا در بارش‌های کم، حقایق پایین دست رعایت شده و مشکلی برای پایین دست ایجاد نشود. با اجرای مدل در گزینه‌های مختلف از نظر تراز کف کانال، ارتفاع کف کانال انتقال آب به مخزن، ۱۳ سانتی‌متر بالاتر از کف کانال اصلی در نظر گرفته شد تا نکات بیان شده رعایت شود. نتایج به دست آمده از مدل بعد از طراحی کانال انتقال سیلاب، طراحی مخزن و اجرا شدن مدل برای هر بارش در جدول (۴) ارائه شده است.

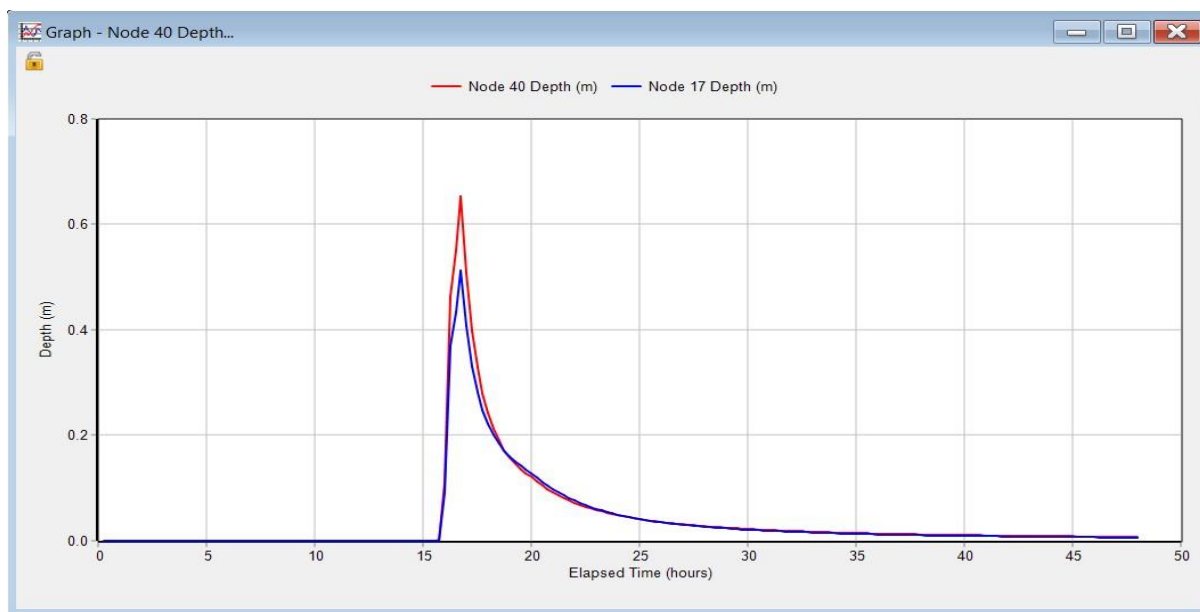
جدول ۴- نتایج حاصل از شبیه‌سازی دبی و حجم سیل بر اساس مدل SWMM در دو حالت (قبل و بعد از احداث مخزن)

تاریخ بارش	دبی اوج در خروجی حوضه (m ³ /s)	حجم سیلاب در خروجی حوضه (10 ³ m ³)	دبی اوج خروجی پس از طراحی مخزن (m ³ /s)	حجم سیلاب خروجی پس از طراحی مخزن (10 ³ m ³)	حجم آب ذخیره شده در مخزن (10 ³ m ³)	درصد پرشدگی مخزن
۲۰ مهر	۵۶۳/۵	۲۵۲/۷۶	۰۵۹/۵	۳۰۱/۷۴	۸۷۸/۱	۳/۲
۲۳ مهر	۰۲۸/۲	۲۳۶/۳۶	۰۲۸/۲	۲۳۶/۳۶	۰	۰
۸ آذر	۶۱۵/۵	۳۰۱/۶۹	۱۰۱/۵	۹۰۸/۶۷	۳۲۶/۱	۷/۱
۱۷ دی	۷۹۹/۰	۹۷۹/۲۱	۷۹۹/۰	۹۷۹/۲۱	۰	۰
۷ بهمن	۶۴۹/۸	۳۵۲/۹۳	۰۹۴/۷	۸۵۷/۸۷	۴۲۲/۵	۸/۶
۲۸ بهمن	۱۸۱/۶	۵۸۴/۶۸	۵۴۳/۵	۷۴۴/۶۷	۷۷۷/۰	۱
۵ اسفند	۲۳۸/۲	۱۵۴/۷۲	۲۳۸/۲	۱۵۴/۷۲	۰	۰
۱۵ اسفند	۵۴۸/۱	۰۷۴/۴۹	۵۴۸/۱	۰۷۴/۴۹	۰	۰
۲۲ اسفند	۶۷۵/۲	۲۳۶/۱۵۱	۶۷۵/۲	۲۳۶/۱۵۱	۰	۰
۲۴ فروردین	۶۴۴/۳	۴۹۳/۱۰۲	۶۲/۳	۳۶۱/۱۰۲	۰۹۸/۰	۱/۰
۲۵ فروردین	۸۱۸/۳	۱۵/۷۲	۷۶۸/۳	۹۸۲/۷۱	۱۳۹/۰	۲/۰
۲۶ فروردین	۰۸۴/۵	۶۷۵/۸۱	۷۴۱/۴	۱۲۴/۸۰	۵۱۳/۱	۹/۱
۵ اردیبهشت	۱۰۵/۷	۶۸۴/۱۷۴	۱۲۸/۶	۸۸۶/۱۶۱	۷۴۱/۱۲	۹/۱۵
۱۹ اردیبهشت	۰۸۹/۳۹	۲۳۴/۱۹۱	۸۸۸/۲۴	۱۷۹/۱۵۱	۷۸۱/۳۹	۷/۴۹
۲۶ اردیبهشت	۸۱۱/۵۲	۵۴۲/۲۶۸	۶۵۵/۳۲	۸۵۱/۱۹۹	۴۵۱/۶۸	۶/۸۵
۲۹ اردیبهشت	۶۵۸/۴۱	۸۹۸/۲۲۴	۲۱۶/۲۶	۱۹۷/۱۷۳	۴۸۲/۵۱	۴/۶۴
۲۲ تیر	۷۳۹/۴	۸۸۴/۹۰	۴۸۹/۴	۳۰۷/۸۹	۵۴۶/۱	۹/۱
۲۳ تیر	۵۵۴/۵	۱۷۴/۱۰۹	۰۷۶/۵	۴۰۶/۱۰۵	۷۳۱/۳	۷/۴

پس از طراحی مخزن به ابعاد ۲۰۰×۴۰×۱۰ متر نتایج حاصل شده از مدل SWMM نشان داد این مخزن می‌تواند ۱۹۰ هزار متر مکعب از ۳۲۰ هزار متر مکعبی که در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد برای آبیاری فضای سبز مصرف می‌شود را تأمین کند. علاوه بر این، حداکثر دبی پیک سیلاب در صورت احداث مخزن در مقایسه با شرایط موجود، ۳۸٪ کاهش پیدا می‌کند که در شکل (۸) به صورت گراف در گره قبل و بعد از مخزن آورده شده است. حجم کل سیلاب خروجی از حوضه ۱۰٪ کاهش پیدا می‌کند. ضمناً، میانگین دبی اوج در کل دوره شبیه‌سازی شده ۲۸٪ کاهش را نشان می‌دهد.

از آنجایی که کانال خروجی سیلاب از پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، از باغ ملک آباد، و از مجاورت ایستگاه مترو و بلوار

خیام عبور می‌کند، با احتمال بالایی می‌توان ادعا کرد که ذخیره بخشی از سیل در مخزن به کاهش دبی اوج و در نتیجه کاهش خطرات احتمالی حاصل سیلاب‌ها در این محدوده‌ها کمک خواهد کرد. لازم به ذکر است در بارش‌های تاریخ‌های ۲۳ مهر ماه ۱۴۰۲ و ۱۵ ام، ۱۲ ام اسفند ماه ۱۴۰۲ حجم آب قابل ذخیره در مخزن صفر بوده است. زیرا حداکثر ارتفاع جریان حاصل از این بارش‌ها در خروجی کانال پردیس دانشگاه کمتر از ۱۳ سانتی‌متر بوده است و در نتیجه هیچ روانایی به سمت مخزن (که تراز کف کانال آن ۱۳ سانتی‌متر بالاتر از تراز کف کانال اصلی می‌باشد) هدایت نشده است.



شکل ۸- هیدروگراف سیل در گره قبل و بعد از مخزن مربوط به بیشترین دبی پیک سیلاب طی دوره مطالعاتی (۱۴۰۳/۰۲/۲۶)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش که با هدف بررسی امکان کاهش حجم و دبی پیک سیلاب شهری خروجی از پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و تأمین بخشی از آب مورد نیاز فضای سبز این پردیس انجام شد، ابتدا مقادیر بارندگی و دبی حاصل شده از هر بارش در هر یک از کانال‌های ورودی به این پردیس طی دوره مطالعاتی از ۱۴۰۲/۰۷/۰۱ تا ۱۴۰۳/۰۷/۰۱ اندازه‌گیری و سپس باتوجه به دبی‌های اوج مشاهداتی برداشت شده در هر کانال از هر منطقه، از مدل SWMM استفاده شد. پس از انجام آنالیز حساسیت مدل، مشخص شد که پارامترهای درصد سطوح نفوذناپذیر، شیب متوسط، عرض معادل و ضریب زبری سطوح نفوذناپذیر به طور قابل توجهی بر رواناب ناشی از بارش‌ها تأثیر می‌گذارند. پس از تعیین پارامترهای تأثیرگذار، مدل با ۱۳ رویداد بارش که داده‌های آن اندازه‌گیری شده بود، کالیبره و با ۵ رویداد بارش بعدی صحت‌سنجی شد. با طراحی یک مخزن ذخیره سیلاب در محدوده پردیس دانشگاه فردوسی مشهد در مدل SWMM، اجرای مدل برای هر بارش نتایج نشان داد که با احداث مخزنی به حجم حدود ۸۰ هزار متر مکعب نه تنها دبی پیک سیلاب در طی این دوره مطالعاتی ۳۸ درصد کاهش پیدا می‌نماید، بلکه حداکثر حجم سیلاب خروجی از پردیس دانشگاه فردوسی مشهد در طی این دوره نیز ۲۶ درصد کاهش می‌یابد. علاوه بر این، کل حجم سیلاب خروجی از پردیس دانشگاه فردوسی مشهد در طی این دوره مطالعاتی ۱۰ درصد کاهش پیدا می‌نماید. ضمن اینکه با احداث این مخزن با ذخیره ۱۹۰ هزار متر مکعب جریان در طی بارش‌های مختلف بیش از نیمی از آب مورد نیاز آبیاری فضای سبز دانشگاه فردوسی مشهد که ۳۲۰ هزار

متر مکعب در سال است، به راحتی تأمین کرد و در نتیجه نه تنها فشار کمتری به منابع آب زیرزمینی این شهر وارد می‌شود بلکه تا حدودی پایین دست از خطر سیل محافظت می‌شود. پیشنهاد سناریوهای دیگری از نحوه انحراف جریان به مخزن و همچنین ابعاد دیگری از مخزن مورد بررسی قرار گرفته تا ایده آل‌ترین عمق آبرگیری از مسیل اصلی و حجم مخزن با هدف تأمین بیشترین حجم آب قابل استفاده در آبیاری فضای سبز و همچنین مدیریت رواناب سطحی در پایین دست مسیل تأمین شود.

- ابعاد حقوقی بهره‌برداری از رواناب‌های سطحی و احداث مخزن ذخیره سیلاب در پردیس دانشگاهی
- اصولاً کنترل سیلاب شهری و بهره‌برداری از آن دو هدف اصلی را محقق می‌سازد

a. از حجم و دبی سیلاب می‌کاهد و مانع خسارت به پایین دست می‌شود

b. با ذخیره سازی یا نفوذ سیلاب از حجم آب مورد استفاده در فضای سبز شهری می‌کاهد و به آب زیر زمینی کمک می‌کند.

باتوجه به موارد فوق شهرداری‌ها و نهادهای مرتبط با آب باید در جهت کمک به این مسئله به دانشگاه کمک نمایند و حتی بعضی از هزینه‌های مربوطه را باتوجه به اینکه مساحت قابل توجهی از زمین‌های دانشگاه در این جهت مورد استفاده قرار می‌گیرد را متقبل شوند. به هر صورت تعامل بین چند ارگان مانند آب منطقه‌ای، شهرداری، محیط‌زیست و دانشگاه برای استفاده بهینه در این مورد بسیار مهم است.

- ۴ تهران). فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۸ (۴)، ۲۹-۱۸.
- وفایی، مسعود، دستورانی، محمدتقی، و رستمی خلج، محمد. (۱۴۰۱). ارزیابی خطر سیلاب در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد و ارائه سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل HEC-RAS. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳ (۳)، ۲۲۵-۲۳۹. doi: 10.22098/mmws.2022.11815.1173
- Bhaskar, A. S., Hogan, D. M., & Archfield, S. A. (۲۰۱۶). Urban base flow with low impact development. *Hydrological Processes*, 30(18), 3156-3171. Doi: 10.1002/hyp.10808
- Bhattacharya, N. (2010). Flood risk assessment in Barcelonnette, France. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., & Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Jiang, L. E. I., Chen, Y. A. N. G. B. O., & Wang, H. U. A. N. Y. U. (2015). Urban flood simulation based on the SWMM model. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 368, 186-191. Doi: 10.5194/piahs-368-186-2015
- Jang, S., Cho, M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., Kim, L., & Aksoy, H. (2007). Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Desalination*, 212(1), 344-356. Doi: 10.1016/j.desal.2007.05.005
- Jia, H., Lu, Y., Yu, S., & Chen, Y. (2002). Planning of LID-BMPs for urban runoff control (The case of Beijing Olympic Village). *Separation and Purification Technology*, 2012, 84, 112-119. Doi: 10.1016/j.seppur.2011.04.026
- Niazi, M., Nietch, C., Maghrebi, M., Jackson, N., Bennett, B. R., Tryby, M., & Massoudieh, A. (2017). Storm water management model: Performance review and gap analysis. *Journal of Sustainable Water in the Built Environment*, 3(2), 04017002. Doi: 10.1061/JSWBAY.0000817
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290. Doi: 10.1016/0022-1694(70)90255-6
- Rossman, L.A. (2015). *Storm Water Management Model Users Manual Version 5.1*. United States Environmental Protection Agency, EPA-600/R-14/413b
- Swathi, V., Srinivasa Raju, K., & Singh, A. P. (2018). Application of Storm Water Management Model to an Urban Catchment. In V. Singh, S. Yadav & R. Yadava (Eds.), *Hydrologic Modeling (Water Science and Technology Library, Vol. 81, pp. 175-184)*. Springer Singapore. DOI: 10.1007/978-981-10-5801-1_13
- Schmitt, T.G., Thomas, M., & Etrich, N. (2004). Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems. *Journal of Hydrology*, 299(3-4), 300-311. DOI: 10.1016/S0022-1694(04)00374-9
- Bibi, T. (2022). Modeling urban stormwater management in the town of Dodola based on landuse and climate change using SWMM 5.1. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 44, 101267. DOI: 10.1016/j.ejrh.2022.101267
- امینی یزدی، مهدی، و فغفور مغربی، محمود. (۱۴۰۲). بررسی استفاده از حوضچه تاخیری بر شبکه جمع آوری آب های سطحی به وسیله شبیه سازی (مطالعه موردی: کال اقبال شرقی مشهد). *مجله علمی سامانه های سطوح آبگیر باران*، ۱۱ (۲)، ۱۶-۱۰. <http://jircsa.ir/article-1-454-fa.html>
- احمدی شرف، ابراهیم، و تجریشی، مسعود. (۱۳۹۳). جانمایی حوضچه های ذخیره با استفاده از مدل شبیه ساز SWMM و تصمیم گیری چندمعیاره مکانی جله آب و فاضلاب، ۲۵ (۶)، ۶۶-۵۷.
- بدیعی زاده، سامان، بهره مند، عبدالرضا، و دهقانی، امیراحمد. (۱۳۹۴). مدیریت سیلاب شهری از طریق شبیه سازی رواناب سطحی با استفاده از مدل SWMM در شهر گرگان، استان گستان. *نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک*، ۲۲ (۴)، ۱۵۵ تا ۱۷۰. Doi: [10.1001.1.23222069.1394.22.4.9.7](https://doi.org/10.1001.1.23222069.1394.22.4.9.7)
- پایگاه خبری تابناک. (۱۳۹۴). نگاه شما: باران سیل آسا در مشهد، کد خبر: ۴۹۸۴۳۷. تاریخ انتشار: ۱۳۹۴/۲/۲۰. <https://www.tabnak.ir/fa/news>
- تاج بخش، محمد، و خدانشناس، سعیدرضا. (۱۳۹۱). بازنگری شبکه زهکشی رواناب سطحی با استفاده از شبیه سازی و کاربرد حوضچه های تاخیری (مطالعه موردی: حوضه آبریز اقبال شرقی، مشهد). *دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)*، ۲۲ (۱)، ۱۲۳-۱۰۹. <https://sid.ir/paper/147872/fa>
- جزائری، پریسا، فضل اولی، رامین، مسعودیان، محسن، و جواهری، نصراله. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر روش های توسعه ای کم اثر بشکه ذخیره آب باران و ترانشه نفوذ بر کاهش مقادیر دبی اوج سیلاب های شهری. *نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۱۳ (۳)، ۴۳۷-۴۶۲. doi: 10.22125/iwe.2023.169909
- شکوهی مهر، الهام، صالحی نیشابوری، سیدعلی اکبر، و یزدی، جعفر. (۱۳۹۸). ارزیابی استفاده از مخازن تعدیل سیلاب شهری در کاهش دبی اوج رواناب در بارش با تداوم های مختلف. *هجدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران*. دانشگاه تهران، تهران. <https://civilica.com/doc/999057>
- قبادی، فاطمه. (۱۳۹۷). مدل سازی سیلاب شهری (مطالعه موردی: حوضه چهل بازه گلستان). *پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران*.
- مختارپور، اکبر، خدانشناس، سعیدرضا، و داوری، کامران. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات دبی سیلاب شهری با دو روش روسازی متخلخل و ترانشه نفوذ، (مطالعه موردی: منطقه

4. Normalized Difference Vegetation Index
5. Root Mean Square Error
6. Nash-Sutcliffe

پی‌نوشت‌ها

1. Low Impact Development
2. Best Management Practice
3. Google Earth Engine