فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست ۲(۴): زمستان ۱۴۰۳: ۲۰-۱
Journal of Environmental management and law, Vol.2, Issue 4, 1-20

Journal of Environmental Management and Law
فصلنامه مدیریت و حقوق محیط زیست
https://sanad.iau.ir/en/Journal/jeml

Urban Settlements and Land Use Change and Flood Management with New LID-BMP Approaches (Case Study: of Watershed Affecting Vilashahr City and Islamic Azad University, Najafabad Branch)

Jalil Emadi[1], Sayyed Mohammad Kazemi[2*], Masoud Nasri[3], Sayyed Shahab Amelian[4]

[1] *Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran*
[2] *Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran*
[3] *Water Studies Research Center, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran*
[4] *Department of Industrial Engineering, Shahinshahr Branch, Islamic Azad University, Shahinshahr, Iran*

**Corresponding Author: m.kazemi@phu.iaun.ac.ir*

Original Paper

Received: 2024.07.10
Accepted: 2024.12.15

Keywords:
Urban Watershed Management,
Environmental Hazard Risk,
Urban Flooding,
Low Impact Development.

Abstract

Traditional stormwater management, which often relies on engineered structures such as drainage networks, is not only expensive but also negatively impacts urban water flow and harms the environment. In contrast, modern stormwater management methods, such as Low Impact Development-Best Management Practices (LID-BMPs), focus on letting water soak into the ground and storing runoff locally. This helps lessen the adverse effects of urban growth on the water cycle. Modeling and analysis conducted in the Islamic Azad University, Najafabad Branch watershed clearly showed that land-use changes and an increase in impervious surfaces have led to a substantial rise in surface runoff across various sub-basins. To mitigate this, researchers proposed 189 LID-BMPs (Low Impact Development-Best Management Practices) designs aimed at reducing flooding and improving runoff quality within the university area. The modeling results indicated that fully implementing these suggested scenarios significantly decreased flood volume. For instance, reductions of up to 31,700 cubic meters were observed for a 25-year return period, and 26,400 cubic meters for a 10-year return period. These proposed surface runoff management solutions, grounded in LID-BMP principles, were developed to be environmentally compatible. Their core objectives include reducing surface runoff volume, increasing infiltration, enhancing water quality, and improving urban environmental stability. Ultimately, these strategies can play a vital role in flood control, strengthening groundwater resources, and boosting ecological resilience.

https://doi.org/10.30486/JEML.2025.140403211209578

Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Copyright: © 2023 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the

سکونتگاهای شهری و تغییر کاربری اراضی و مدیریت سیلاب با رویکردهای نوین LID-BMP (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تاثیرگذار بر شهر ویلاشهر و دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد)

جلیل عمادی[۱]، سید محمد کاظمی[۲*]،مسعود نصری[۳]، سید شهاب عاملیان[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، نجف آباد، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات مطالعات آب، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهین شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهین شهر، ایران

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.kazemi@phu.iaun.ac.ir

نوع مقاله:

علمی-پژوهشی

تاریخچه مقاله:

ارسال: ۱۴۰۳/۰۴/۲۰

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۲۵

کلمات کلیدی:

آبخیزداری شهری، خطر پـذیری مخـاطرات محیطی، سیلاب شهری، روش توسعه کم‌اثر.

چکیده

روش‌های سنتی مدیریت رواناب‌های سطحی که مبتنی بر سازه‌های مهندسی مانند شبکه‌های زهکشی هستند، علاوه بر هزینه‌های بالا، باعث تغییرات نامطلوب در هیدرولوژی شهری شده و محیط‌زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در مقابل، روش‌های نوین مدیریت رواناب مانند توسعه کم‌اثر (LID-BMP)، بر نفوذ و ذخیره‌سازی موضعی رواناب و کاهش اثرات منفی شهرسازی بر چرخه آب تأکید دارند. برای تحلیل مکانی حرکت رواناب‌ها در محدوده ۱۰ حوزه آبخیز به مساحت ۱۲۲۷۳ هکتار و محوطه دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد به مساحت ۲۹۴ هکتار مورد استفاده قرار گرفت. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از حیث ماهیت و روش توصیفی – تحلیلی است. تعیین سناریوهای مدیریت سیلاب فرآیندی پیچیده است. این امر از جهات مختلف و انتخاب مدل مناسب بارش-رواناب (StormCAD) می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. نتایج مدلسازی و تحلیل‌های انجام‌شده در حوزه آبخیز دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد نشان داد که تغییرات کاربری اراضی و افزایش سطوح نفوذناپذیر، باعث افزایش قابل توجه رواناب سطحی در زیرحوضه‌های مختلف شده است. در مجموع ۱۸۹ طرح LID-BMP برای کاهش سیلاب و بهبود کیفیت رواناب در محدوده دانشگاه پیشنهاد شد. میزان کاهش سیلاب با اجرای کامل سناریوهای پیشنهادی، در مدلسازی با دوره بازگشت ۲۵ ساله، حجم سیلاب تا ۳۱۷۰۰ مترمکعب و در دوره بازگشت ۱۰ ساله تا ۲۶۴۰۰ مترمکعب کاهش یافته است. راهکارهای پیشنهادی مدیریت رواناب سطحی ، با تمرکز بر توسعه کم‌اثر (LID) و روش‌های مدیریتی بهینه (BMP)، مبتنی بر اصول سازگار با محیط زیست با هدف کاهش حجم رواناب سطحی، افزایش نفوذ، بهبود کیفیت آب و تقویت پایداری محیط زیست شهری طراحی شده‌اند و می‌توانند نقش مؤثری در کنترل سیلاب، تقویت منابع آب زیرزمینی و افزایش تاب‌آوری محیط زیستی ایفا کنند.

مقدمه

امروزه کمتر شهری در نواحی خشک و نیمه خشک یافت می‌شود که در نتیجه توسعه و گسترش بافت شهری خود با مشکل مسیل‌ها و نحوه ساماندهی و مسیریابی آن‌ها مواجه نباشد (Nasri et al., 2007). در دهه‌های اخیر، بحث جمع آوری و کاهش رواناب سطحی شهری از اجزاء مهم برنامه‌ریزی و عمران مناطق شهری قرار گرفته است. برنامه‌ریزی مدیریت آب‌های سطحی در ارتباط با نحوه عملکرد شبکه دفع آب‌های سطحی و جمع آوری از اهمیت بالایی برخوردار است. توسعه شهرنشینی تغییرات شدیدی را در مورفولوژی حوضه¬های آبخیز ایجاد می¬کند. تجاوز به حریم رودخانه¬ها، مسیل‌ها و آبراهه¬ها، باعث تغییر الگوی زهکشی طبیعی و جاری شدن جریان‌های بیش از ظرفیت آبراهه¬ها و مسیل‌ها در این عرصه‌ها می¬شود. به واسطه قطع درختان و تخریب پوشش گیاهی و ایجاد سطوح نفوذناپذیر (خیابان‌ها، پشت بام‌ها، پارگینگ¬ها و ...)، علاوه برکاهش نفوذپذیری منطقه و عدم تغذیه مناسب آب‌های زیرزمینی، باعث افزایش دبی پیک سیلاب و ایجاد جریان‌های سیلابی شدید و همچنین کاهش کیفیت منابع آب با انتقال رواناب‌های حاوی رسوبات، میکروارگانیسم¬ها، فلزات و آلودگی¬های شیمیایی به نواحی پایین‌دست می-شوند (Xu et al, 2017).

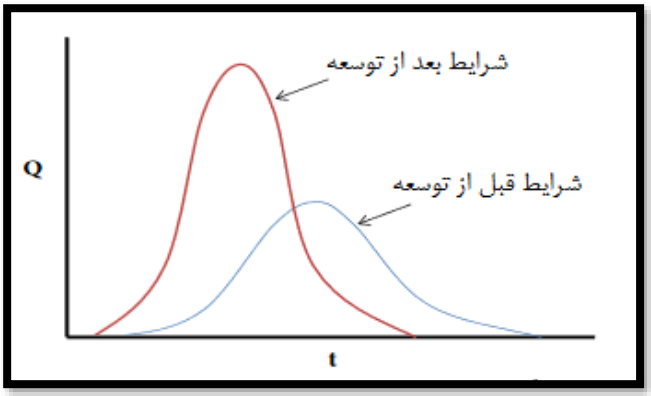
در سال‌های اخیر نیاز روزافزون برای ذخیره‌ی آب سطحی جهت بهره‌وری هرچه بیشتر آب در اکثر شهرها و کشورهای دنیا به وجود آمده است (Goodarzi & Hossaini, 2019). سیستم‌های جمع‌آوری، هدایت و دفع آب‌های سطحی ناشی از بارندگی از اجزا مهم برنامه‌ریزی و عمران در مناطق شهری هستند و هرگونه سهل انگاری در طراحی صحیح آن‌ها می‌تواند علاوه بر هدررفت هزینه‌ها، مشکلاتی را در سیستم بهره‌برداری برای جوامع شهری ایجاد نماید. استحصال آب باران روشی است که به کمک آن می‌توان از باران در محل بارش بهره‌برداری نمود و علاوه بر جلوگیری از خارج شدن رواناب از دسترس و آلودگی آن‌ها، صرفه جویی قابل توجهی در مدیریت منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌عمل آورد (Tabatabaei Yazdi et al., 2009). افزایش جمعیت، پیشرفت علم و گسترش تاسیسات صنعتی و کمبود مکان برای ساخت و ساز، خصوصا در کلانشهرها، باعث شده است تا تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوضه‌های آبریز شهری یا نزدیک به شهرها ایجاد شود. این تغییرات عموما به صورت توسعه نواحی شهری در بستر و حریم مسیل‌ها و آبراهه‌ها و تغییر کاربری اراضی و کاهش نفوذپذیری زمین بروز می‌کند (Arman et al., 2019). در گذشته رویکردهای مدیریت رواناب سطحی و سیلاب‌های شهری، بر اساس جمع‌آوری، انتقال و دفع سیلاب‌ها بوده است در حالی که رویکردهای مدرن در مدیریت سیلاب‌های شهری، بر بکارگیری روش‌هایی که حداکثر تطابق را با فرآیندهای چرخه طبیعی آب سطحی داشته باشد، تأکید دارد (Zha et al., 2021). مدیریت رواناب سطحی یک نگرانی عمده در مناطق شهری است که بیشتر نتیجه شهرنشینی گسترده است. برای کاهش رواناب سطحی شهری و بهبود کیفیت آب، از روش‌های توسعه کم اثر (LID) در مناطق شهری استفاده می‌شود (Rezaei et al., 2021). از جمله علل گرایش پژوهشگران و محققین مختلف به رویکردهای نوین رواناب‌های سطحی شهری، می‌توان به حفظ عملکردهای هیدرولوژیک پیش از توسعه از طریق حفظ/ ایجاد منظر طبیعی، حفظ الگوهای زهکشی و زمان‌بندی حوزه آبریز شهری و اطمینان از اثر بخشی طرح‌ها با کنترل رواناب در مقیاس کوچک اشاره کرد (Bixler et al., 2020). بررسی‌ها نشان می‌دهد مدیریت روانآب سطحی برای شهروندان مهم است. امروزه بسیاری از شهرهای مهم جهان، برای کاهش اثرات توسعه شهر خود بر کیفیت و کمیت رواناب، به مفهوم توسعه پایدار توجه کرده و از تکنولوژی‌های مدرن سبز مدیریتی، که شامل روش‌های بهینه مدیریتی (BMP) و روش‌های توسعه کم اثر (LID) هستند، بهره می‌گیرند (Lin et al., 2021). تکنیک‌های توسعه کم اثر (LID) یکی از راه‌های نوین مدیریت رواناب‌های شهری در حال حاضر هستند یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در به کارگیری این اقدامات مدیریتی انتخاب ترکیب، جانمایی و ابعاد بهینه‌ای از این تکنیک‌ها است به‌گونه‌ای که نتایج موثرتری را در کاهش هزینه‌ها و کاهش بار آلودگی‌ها داشته باشد. در مدیریت جامع رواناب‌های سطحی می‌توان با تکنیک‌های مدیریت ساخت و بهینه‌سازی مقاطع اجرایی در مسیر هدایت و تعریف مناطق استحصال آب باران با بهره گیری از رویکردهای نوین مدیریت آب سطحی زمینه سازی استفاده چند منظوره را در ایجاد نوع کاربری و هزینه سرمایه‌گذاری فراهم نمود (Dong et al., 2021).

مطالعات رواناب شهری با هدف برنامه‌ریزی در کنترل کمیت و کیفیت سیلاب و تخمین خسارات ناشی از آن دنبال می‌گردد. یکی از مهمترین چالش‌های پیشروی تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان، چگونگی انتخاب ترکیب بهینه اقدامات نوین در مدیریت سیلاب است (Goodarzi & Hossaini, 2019).

متغیرهای مستقل این تحقیق در این پژوهش، نوع کاربری اراضی شامل مناطق نفوذپذیر (مانند فضای سبز) و نفوذناپذیر (مانند سطوح آسفالته، بام‌ها و معابر) و میزان بارش از لحاظ شدت، مدت و فراوانی بارندگی در دوره‌های بازگشت مختلف (۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ ساله) و شیب زمین و توپوگرافی، بر اساس نقشه‌های رقومی ارتفاع (DEM) و روش‌های مدیریتی پیشنهادی شامل روش‌های LID و BMP مانند بام سبز، باغچه بارانی، ترانشه نفوذی، سطوح نفوذپذیر و مخازن است و متغیرهای وابسته شامل حجم رواناب تولیدی و زمان تمرکز است. توجه به موضوع تحقیق و ظرفیت بالای دانشگاه برای اجرای پایلوت پروژه‌های سبز شهری با توجه مالکیت واحد بر اراضی و توان مدیریتی بالا، امکان اجرای پایلوت طرح‌های LID به‌صورت عملیاتی و بومی‌شده فراهم نموده است و نیاز به افزایش تاب‌آوری دانشگاه در برابر تغییرات اقلیمی و توجه به وقوع بارش‌های شدید و غیرمنتظره ناشی از تغییرات اقلیمی، مدیریت هوشمند رواناب‌ها نقش حیاتی در ایمنی کالبدی و عملکردی دانشگاه می‌تواند به عنوان معرفی یک الگو در مدیریت شهری در آینده به عنوان توجه به اجرای روش‌های توسعه کم اثر مورد توجه قرار گیرد.

مدیریت سیلاب و کاربست روش‌های توسعه کم اثر

مدیریت سیلاب یکی از چالش‌های مهم در بسیاری از مناطق جهان است که به دلیل تغییرات اقلیمی، افزایش جمعیت و توسعه شهری، اهمیت بیشتری یافته است. سیل‌ها یکی از بزرگ‌ترین خطرات طبیعی برای توسعه پایدار بشمار میرود. این پدیده به دلیل عوامل اقلیمی و جمعیتی در حال وخیم‌تر شدن است چارچوب مدیریت جامع سیل دو دهه پیش توسعه یافت، تا روش‌هایی برای مقابله با این مشکلات فراهم کند. این چارچوب با توجه به پیچیدگی‌ها و نیازهای چندجانبه، به عنوان یک ابزار اساسی برای کاهش خطرات سیل و افزایش تاب‌آوری جوامع در برابر این خطرات شناخته می‌شود (Khajehnejad et al., 2024).



شکل ۱ – تفاوت دبی سیلاب نسبت به زمان قبل و بعد از توسعه حوضه شهری (Lin et al., 2021)

Fig. 1- The difference in flood discharge concerning the pre- and post-urban development of the basin (Lin et al., 2021)

مدیریت سیلاب با استفاده از روش‌های توسعه کم اثر (LID) به کاهش تأثیرات منفی سیلاب‌ها و حفظ کیفیت آب کمک می‌کند. این روش‌ها شامل جمع‌آوری آب باران، استفاده از مصالح نفوذپذیر، ایجاد حوضچه‌های ذخیره‌سازی، کاشت گیاهان بومی و طراحی سقف‌های سبز هستند. مزایای این رویکرد شامل کاهش هزینه‌ها، بهبود کیفیت آب، حفاظت از محیط زیست و افزایش تاب‌آوری جوامع در برابر

تغییرات اقلیمی است. همکاری بین نهادهای دولتی، مهندسان و جامعه محلی برای دستیابی به نتایج مطلوب در مدیریت محیط زیست و توسعه پایدار ضروری است (Shahnazi, 2024). دوازده اصل اساسی در مدیریت سیلاب شهری عبارتند از (Lin et al., 2021):

۱- **هر سناریوی مدیریت ریسک سیلاب با دیگری متفاوت است: هیچ نسخه یکسان و پیش نویسی برای مدیریت سیلاب وجود ندارد.**

شناختن نوع، منبع و احتمال جاری شدن سیل، دارایی‌های در معرض خطر و آسیب‌پذیری آن‌ها از جمله اقدامات مناسب مدیریت ریسک سیلاب در شهر است. تناسب اقدامات برای شرایط و واقعیت‌های محلی بسیار مهم است: یک مانع سیل در یک مکان اشتباه می‌تواند با قطع ارتباط آبراهه تا تخلیه به رودخانه یا هدایت آب به مناطق آسیب‌پذیر پایین دست، سیلاب را شدیدتر کند و سیستم‌های هشدار سریع فقط می‌توانند تأثیر محدودی بر کاهش خطر طغیان ناشی از سیل داشته باشند.

۲- **طراحی برای مدیریت سیل باید بتواند با آینده متغیر و نامشخص کنار بیاید.**

تأثیر شهرنشینی در مدیریت سیل در حال حاضر مهم است و همچنان ادامه خواهد داشت. اما در آینده کاملاً قابل پیش‌بینی نخواهد بود. علاوه بر این، در دراز مدت، حتی بهترین مدل‌های طغیان و پیش‌بینی‌های آب و هوایی منجر به مقدار زیادی عدم اطمینان می‌شود. این بدان دلیل است که آب و هوای آینده به اقدامات انسان‌های غیرقابل پیش‌بینی در مورد آب و هوا بستگی دارد و به این دلیل است که آب و هوا به سناریوهایی نزدیک می‌شود که قبلاً هرگز دیده نشده است. بنابراین تصمیم‌گیران پیرامون ریسک سیل باید تدابیری را در نظر بگیرند که در شرایط تغییر آب و هوا نسبت به عدم اطمینان و سناریوهای مختلف طغیان قوی باشد.

۳- **شهرنشینی سریع مستلزم ادغام مدیریت ریسک سیل در برنامه ریزی منظم شهری است.**

برنامه‌ریزی و مدیریت شهری که مدیریت ریسک سیل را تلفیق می‌کند یک نیاز اساسی است که شامل کاربری زمین، پناهگاه، زیرساخت‌ها و خدمات است. گسترش سریع مناطق ساخته شده شهری همچنین فرصتی را برای توسعه سکونتگاه‌های جدید فراهم می‌کند که از همان ابتدا مدیریت یکپارچه سیل را در خود جای داده‌اند. عملیات کافی و نگهداری دارایی‌های مدیریت سیل نیز یک مسئله مدیریت شهری است.

٤- **یک استراتژی یکپارچه مستلزم استفاده از اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای و معیارهای مناسب برای "برقراری تعادل" است.**

تصور نمی‌شود که دو نوع اقدامات یاد شده متمایز از یکدیگر باشد؛ بلکه مکمل یکدیگر هستند. هر روش سهم به سزایی در کاهش خطر سیل دارد اما موثرترین استراتژی‌ها معمولاً چندین معیار را ترکیب می‌کنند که ممکن است از هر دو نوع باشد. شناسایی روش‌های مختلف کاهش خطر برای انتخاب روش‌هایی که به بهترین وجه اهداف فعلی و در آینده را برآورده می‌کنند، مهم است.

۵- **اقدامات سازه‌ای بسیار مهندسی شده می تواند خطر را در بالادست و پایین دست منتقل کند.**

اقدامات سازه‌ای طراحی شده می‌تواند در صورت استفاده مناسب بسیار موثر باشد. با این حال، آن‌ها به طور مشخص خطر سیل را در یک مکان کاهش می‌دهند در حالی که ممکن است آن را در مکان دیگر افزایش می‌دهند. مدیران سیلاب شهری باید در نظر بگیرند که این اقدامات چه تاثیری در کل حوضه آبریز دارد.

٦- **حذف کامل ریسک از پدیده سیلاب، غیر ممکن است.**

اقدامات مهندسی سخت برای دفاع در سطح از پیش تعیین شده طراحی شده است. آن‌ها ممکن است شکست بخورند. سایر اقدامات غیرسازه‌ای معمولاً برای به حداقل رساندن و نه جلوگیری از خطر طراحی می‌شوند. همیشه یک خطر باقی می‌ماند که باید برای آن برنامه‌ریزی شود. تدابیر نیز باید به گونه‌ای طراحی شود تا در صورت عدم موفقیت، خسارت بیشتری نسبت به آنچه بدون این اندازه‌گیری اتفاق می‌افتد، وارد نشود.

۷- **بسیاری از اقدامات مدیریت سیل بیش از نقش مدیریت سیل آنها از منافع مشترک برخوردار هستند.**

ارتباط بین مدیریت سیل، طراحی شهری، برنامه‌ریزی و مدیریت و مباحث مربوط به تغییرات آب و هوا سودمند است. به عنوان مثال، سبز شدن فضاهای شهری دارای ارزش رفاهی است و تنوع زیستی را افزایش می‌دهد، از گرمایش شهری تا حدودی جلوگیری می‌کند و می‌تواند وقفه‌های آتش سوزی، تولید مواد غذایی شهری و فضای تخلیه را فراهم کند. بهبود مدیریت پسماند دارای مزایای بهداشتی و همچنین حفظ ظرفیت سیستم زهکشی و کاهش خطر سیل است.

۸- **در نظر گرفتن عواقب گسترده اجتماعی و زیست محیطی مدیریت سیل، بسیار مهم است.**

در حالی که هزینه‌ها و منافع را می‌توان صرفاً اقتصادی تعریف کرد، تصمیمات به ندرت فقط بر اساس ملاحظات اقتصادی است. برخی از پیامدهای اجتماعی و محیط زیستی مانند از بین رفتن انسجام جامعه و تنوع زیستی از نظر اقتصادی به راحتی قابل اندازه‌گیری نیستند. بنابراین قضاوت کیفی در مورد این موضوعات گسترده تر باید توسط مدیران شهری، جوامع در معرض خطر، برنامه‌ریزان شهری و متخصصان ریسک جهانی انجام شود.

۹- **شفافیت مسئولیت ساخت و اجرای برنامه‌های مدیریت سیلاب، بسیار حیاتی است.**

مدیریت یکپارچه خطر سیل شهری اغلب در محدوده تنظیم شده و می‌تواند بین پویایی و انگیزه‌های مختلف تصمیم‌گیری در سطح ملی، منطقه‌ای، شهرداری و جامعه قرار گیرد. توانمند سازی و مالکیت متقابل معضل هجوم توسط ارگان‌ها و افراد مربوطه منجر به اقدامات مثبتی برای کاهش خطر می‌شود.

۱۰- **اجرای اقدامات مدیریت ریسک سیل نیازمند همکاری چند ارگان است.**

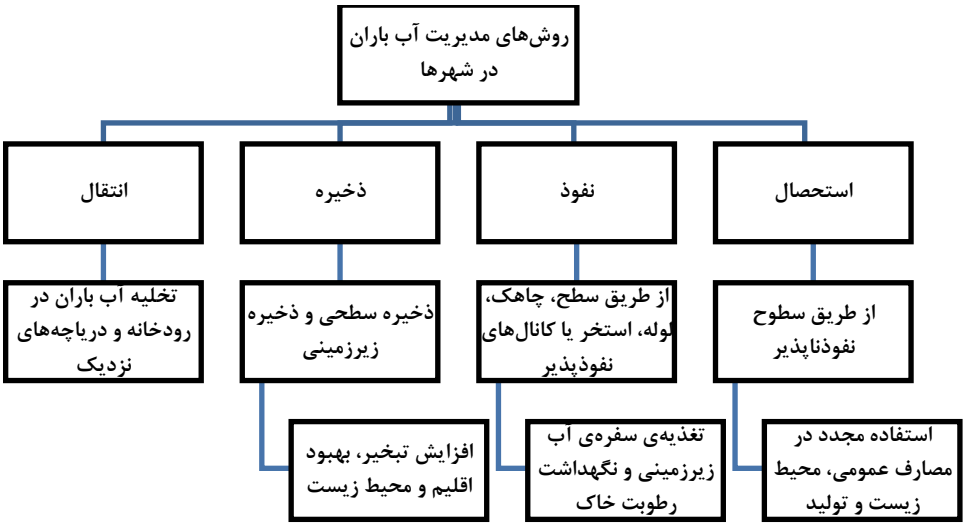
تعامل موثر با افراد در معرض خطر در تمام مراحل عامل اصلی موفقیت است. تعامل باعث افزایش انطباق، افزایش ظرفیت و کاهش تعارضات می‌شود. این امر باید با رهبری قاطع و قاطع دولت ملی و محلی همراه باشد.

۱۱- **ارتباط مداوم برای افزایش آگاهی و تقویت آمادگی لازم است.**

ارتباطات در حال انجام، تمایل افراد به فراموش کردن خطر سیل را خنثی می‌کند. حتی یک فاجعه بزرگ، نیمه عمر حافظه کمتر از دو نسل دارد و تهدیدهای بزرگ پس از گذشت زمانی کوتاه، دیگر بزرگ به نظر نمی‌رسند. بنابراین لازم است تا افزایش آگاهی به صورت مستمر صورت گیرد.

۱۲- **برنامه ریزی بازیابی شرایط پس از سیلاب**

از آنجا که وقایع سیل با وجود بهترین روش‌های مدیریت خطر سیل، به ویرانی جوامع ادامه می‌دهد، برنامه‌ریزی برای بهبود سریع اوضاع پس از سیلاب ضروری است. این شامل برنامه‌ریزی برای منابع مالی و انسانی در دسترس است. در بهترین برنامه‌های بازیابی از فرصت بازسازی برای ایجاد جوامع ایمن‌تر و قوی‌تر که توانایی مقاومت در برابر اتفاقات شدیدتر در آینده را دارند، استفاده می‌شود.



شکل ۲- روش‌های مدیریت آب باران در مناطق شهری (Zhang et al., 2012)

Fig. 2- Urban Rainwater Management Methods (Zhang et al., 2012)

جدول ۱- ملاحظات و دستورالعمل‌های اجرایی روش‌های نوین مدیریت رواناب سطحی (Emadi et al., 2024)

Table 1- Considerations and Implementation Guidelines for Novel Surface Runoff Management Methods (Emadi et al., 2024)

	ملاحظات	دستورالعمل‌های اجرایی
بام‌های سبز (Green Roofs)	•انتخاب گیاهان مقاوم به خشکی و مناسب با شرایط جوی منطقه. •طراحی سیستم زهکشی مناسب برای جلوگیری از تجمع آب. •بررسی بارگذاری سازه برای اطمینان از تحمل وزن اضافی. •استفاده از لایه‌های عایق حرارتی برای بهبود بهره‌وری انرژی. •برنامه‌ریزی برای نگهداری و آبیاری منظم گیاهان.	انجام مطالعات خاک و بارگذاری سازه. طراحی سیستم زهکشی و جمع‌آوری آب باران. انتخاب گیاهان مناسب با توجه به اقلیم. نصب لایه‌های عایق و ریشه‌زدا. برنامه‌ریزی برای نگهداری دوره‌ای.
جاذب‌های آب (Rain Gardens)	•انتخاب مکان مناسب با شیب مناسب برای هدایت آب باران. •طراحی سیستم زهکشی برای جلوگیری از تجمع آب. •استفاده از گیاهان بومی که به جذب آب کمک می‌کنند. •بررسی کیفیت خاک و افزودن مواد مغذی در صورت لزوم. •پایش عملکرد باغچه‌های بارانی و اصلاح آن‌ها در صورت نیاز	تعیین مکان مناسب با شیب مناسب طراحی اندازه و عمق جاذب آب بر اساس میزان بارش. انتخاب گیاهان بومی و مقاوم نصب سیستم زهکشی و جلوگیری از تجمع آب. نظارت بر عملکرد و نگهداری دوره‌ای.
پروژه‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی (Underground Storage Systems)	•ارزیابی ظرفیت خاک برای جذب آب باران. •طراحی سیستم‌های زهکشی برای هدایت آب به مخازن زیرزمینی •انتخاب مصالح با کیفیت برای جلوگیری از نشتی. •بررسی اثرات محیط زیستی و تأثیر بر سطح آب زیرزمینی. •برنامه‌ریزی برای دسترسی به مخازن برای تعمیرات و نگهداری.	انجام مطالعات زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی. طراحی سیستم‌های زهکشی و مخازن زیرزمینی. انتخاب مصالح مناسب برای ساخت مخازن. نصب سیستم‌های کنترل کیفیت آب خروجی. نظارت بر عملکرد و نگهداری دوره‌ای.
سازه‌های نفوذپذیر (Permeable Pavements)	•انتخاب نوع مصالح نفوذپذیر مناسب با توجه به ترافیک مورد انتظار • .طراحی لایه‌های زیرین برای جمع‌آوری و هدایت آب باران.	انتخاب نوع مصالح نفوذپذیر (بتن، آجر، سنگ) طراحی لایه‌های زیرین برای جمع‌آوری آب نصب سیستم‌های زهکشی برای هدایت آب به لایه زیرین

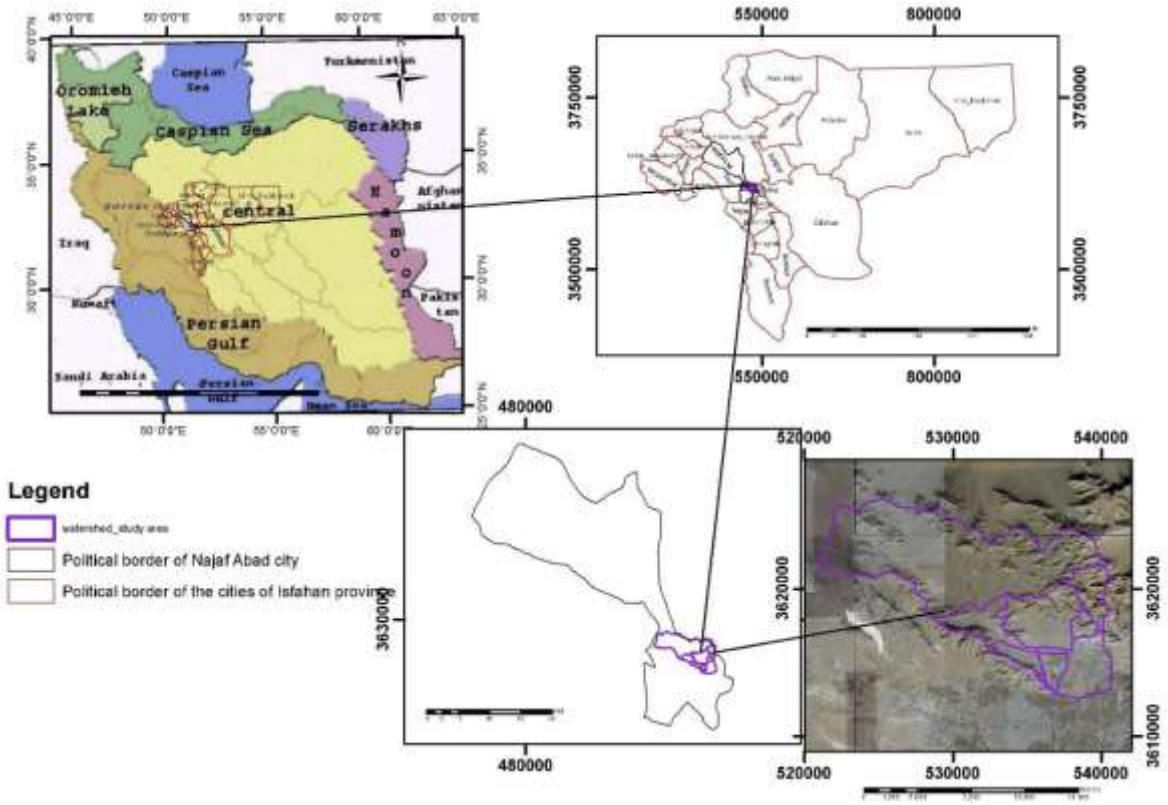
	•بررسی نیاز به نگهداری و تمیزکاری دوره‌ای. •ارزیابی تأثیر بر کیفیت آب و جلوگیری از آلودگی. •برنامه‌ریزی برای آزمایشات دوره‌ای به منظور اطمینان از کارایی	برنامه‌ریزی برای نگهداری و تمیزکاری دوره‌ای. پایش کیفیت آب خروجی و اصلاح در صورت نیاز
کانال‌ها و جوی‌ها (Swales and Ditches)	•طراحی شیب مناسب برای هدایت آب باران به سمت جوی‌ها. •استفاده از گیاهان بومی در کناره‌ها برای جذب آب و تصفیه آن. •بررسی تأثیر بر اکوسیستم محلی •ارزیابی خطر سیلاب و برنامه‌ریزی برای مدیریت آن. •نظارت بر عملکرد جوی‌ها و اصلاح در صورت نیاز	تعیین مکان مناسب با شیب کافی طراحی اندازه و عمق جوی‌ها بر اساس میزان بارش. انتخاب گیاهان بومی برای حاشیه جوی‌ها. نصب سیستم‌های کنترل سیلاب در نقاط بحرانی. نظارت بر عملکرد و نگهداری دوره‌ای

مواد و روش‌ها

سناریوی استفاده از رویکردهای مدرن با استفاده از فضاهای سبز موجود، زمین‌های بایر و همچنین معماری دانشگاه و بر اساس سیستم هیدرولیکی طراحی شده در بخش قبلی، اقدام به استفاده از رویکردهای مدرن در کل محوطه دانشگاه شده است. در کل دانشگاه، تعداد ۲۵ محدوده به عنوان محوطه‌های LID در نظر گرفته شده است. سپس طرح‌های LID و BMP در سراسر این محدوده‌ها جهت نفوذ موضعی باران مورد استفاده قرار گرفته است. در این رویکرد، تا حد امکان از تجمیع معابر و هدایت به سمت باکس‌های LID جلوگیری می‌شود و صرفا رواناب‌های سطحی هر معبر، در نزدیک‌ترین نقطه به همان معبر نفوذ داده می‌شوند. رویکرد دوم در این طرح‌ها، به تله‌اندازی رسوبات و گل ولای و آلاینده‌های آب است که از طریق گردش آب در ترانشه‌های نفوذ، سنگ‌های درشت و فضاهای متخلخل صورت می‌گیرد. بنابراین در کل دانشگاه ۱۸۹ طرح LID پیاده سازی شده است که ۸۹ عدد از زیرحوضه‌های درون دانشگاه را پوشش می‌دهد. در چنین شرایطی، از کانال‌های تیپ به عرض ۲۰ و ۳۰ سانتی متر در عمق ۲۰ سانتی متر به عنوان هدایت کننده سیلاب به طرح‌های LID استفاده می‌شود.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

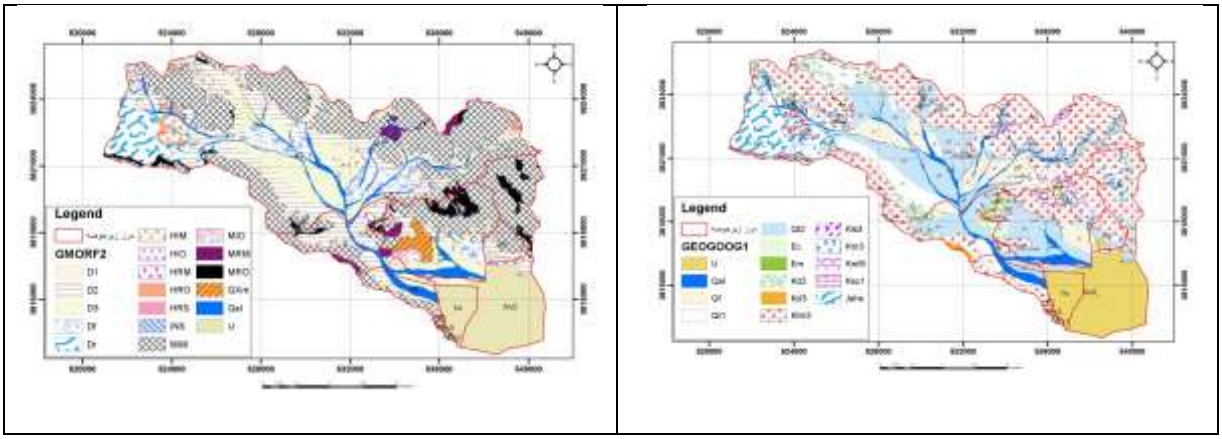
شهر ویلاشهر و دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد در در ناحیه شرقی شهر نجف آباد واقع شده است. شهرستان نجف آباد در موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی عرض از خط استوا و ۵۱ درجه و ۲۱ دقیقه شرقی طول از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. شهرستان نجف آباد با مساحت ۲۸۵۰ کیلومتر از شمال به شهرستان شاهین شهر و میمه و از شرق به شهرستان‌های اصفهان و خمینی شهر، از جنوب به شهرستان فلاورجان و از غرب به شهرستان‌های تیران و کرون و فریدن محدود است. مساحت شهرستان۲۸۰۰، کیلومتر مربع که در ۳۰ کیلومتری غرب اصفهان واقع شده از شمال مشرف به کوهستان خشک و عاری از پوشش گیاهی و از جنوب و شرق به زمین‌های کشاورزی و از غرب به منطقه کرون منتهی می‌گردد.

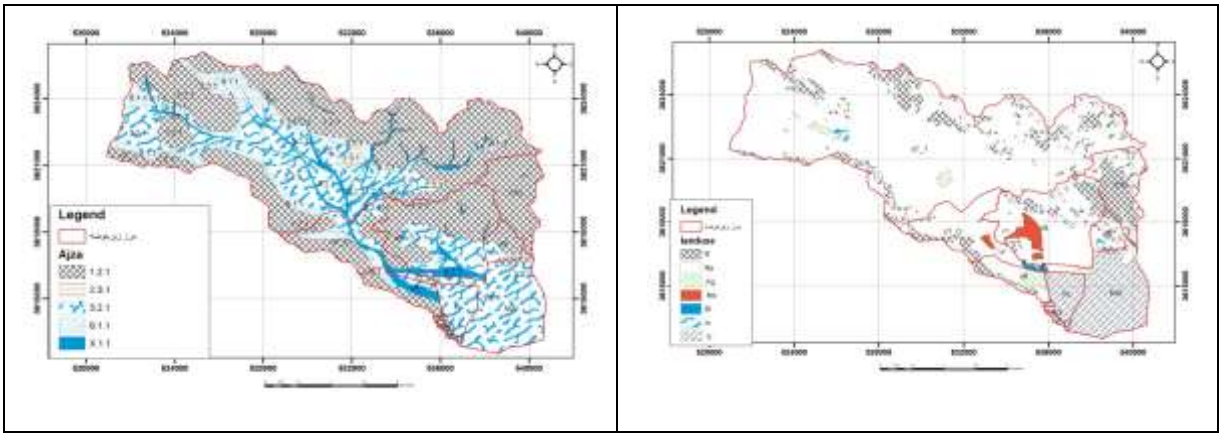


شکل ۳- نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان اصفهان

Fig. 3- Location Map of the Study Area in Isfahan Province

حوضه آبریز دشت نجف آباد از دیدگاه زمین شناسی در بین ارتفاعات پهنه تکتونیکی سنندج- سیرجان محصور شده است. پهنه سنندج –سیرجان به عنوان قسمت حاشیه‌ای ایران مرکزی محسوب می‌گردد. اما روند ساختاری این پهنه مشابه زاگرس بوده و تحت عنوان زاگرس داخلی نیز نامیده شده است این پهنه در طی فرایند باز و بسته شدن اقیانوس تتیس جوان در دوران دوم و اوایل دوران سوم تکامل یافته و بخشی از کوهزاد زاگرس است. مجموعـه سنگهایی که در حوضه نجف آباد رخنمون یافته است شامل توالی‌های رسوبی دوران دوم هستند که به میزان خیلی کم تحت تأثیر فرایند دگرگونی در رخساره دگرگون شده‌اند. آثار دگرگونی در واحدهای شیلی و مارنی به صورت شیستوزیته ضعیف و در واحدهای کربناته به صورت تبلور مجدد دیده می‌شود.





شکل (۴)- نقشه زمین شناسی، ژئومورفولوژی، منابع اراضی و کاربری اراضی محدوده مورد بررسی

Fig. 4- Geological, Geomorphological, Land Resources, and Land Use Map of the Study Area

ایجاد نقشه رقومی محدوده مورد مطالعه

ایجاد نقشه رقومی اولین گام در جهت ایجاد مدل جریان رواناب‌های سطحی است؛ زیرا این نقشه امکان بررسی شیب عمومی منطقه در تمام معابر را میسر می‌سازد. از طریق یک نقشه رقومی با مقیاس مناسب می‌توان به گودی‌ها و ناهمواری‌ها، خط الراس‌ها و احیانا خاکبرداری‌ها و خاکریزی‌های صورت گرفته در منطقه پی برد و بر اساس شرایط موجود، برنامه‌ریزی نمود و نسبت به رفع ناهمواری‌ها نیز اقدام نمود. در همین راستا، کل محوطه دانشگاه آزاد نجف آباد، یک مرتبه به کمک پهپاد نقشه برداری شده است و سپس به کمک GPS دو فرکانسه و برداشت ۹۷۸ نقطه در سطح دانشگاه، اعتبار سنجی شده است. در برداشت زمینی نقاط، سعی شده است تا از طریق برداشت رقوم سطح زمین و رقوم کف (در ناهمواری‌ها)، نقشه برداری پهپاد کالیبره و اعتبار سنجی شود. لازم به ذکر است دوربین نقشه برداری پهپاد از نوع مدل PHANTOM 4 PRO محصول شرکت DJI و GPS نیز از نوع مدل V90 Plus GNSS RTK System است.

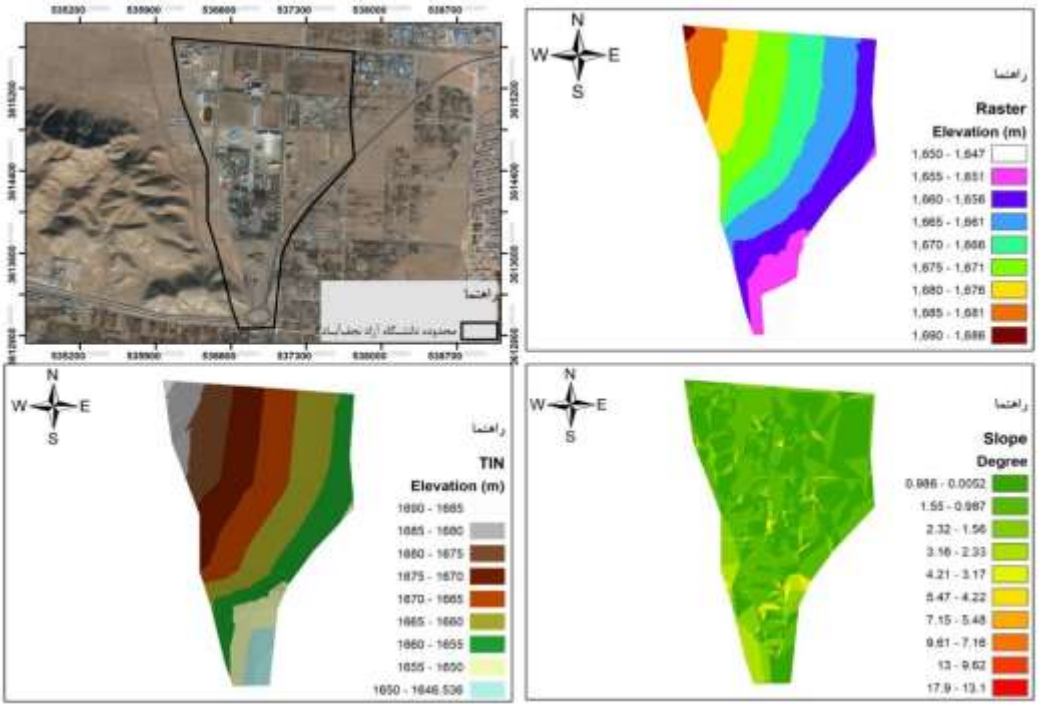
شکل ۵- نقشه‌برداری معابر داخل دانشگاه خاکریزهای ایجاد شده اطراف دانشگاه به منظور کنترل سیلاب‌های برون دانشگاهی

Fig. 5- Mapping of internal university pathways and embankments constructed around the university for controlling external floods

در شکل ۶، نقشه رقومی[1] منطقه مورد مطالعه، شیب محدوده و نقشه شبکه نامنظم مثلثی[2] به همراه تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. تغییرات ارتفاعی محدوده دانشگاه در محدوده ۱۶۹۰- ۱۶۴۶/۵ متر و تغییرات شیب در محدوده ۱۷/۹-

[1] RASTER
[2] TIN

۰/۰۰۵ درجه است. میانگین ارتفاع محدوده ۱۶۶۶ متر از سطح دریا و میانگین شیب ۱/۱۸ درجه است. شناسایی تاسیسات حرکت آب سطحی معابر موجود در دانشگاه، گام دوم در ایجاد شبکه دفع آب‌های سطحی از نوع سازه‌ای و غیرسازه‌ای است. بنابراین در این مرحله، کاربری اراضی، ساختمان‌ها، زمین‌های بایر و مراتع از طریق برداشت هوایی به کمک پهباد مشخص گردید. سپس موقعیت تک تک کاربری‌های اراضی از طریق چندین مرتبه بازدید میدانی و به کمک GPS دو فرکانسه تدقیق شده است.



شکل ۶-نقشه تصویر ماهواره‌ای، طبقات ارتفاعی، جهت و شیب دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

Fig. 6- Satellite image, elevation contours, aspect, and slope map of Islamic Azad University, Najafabad Branch

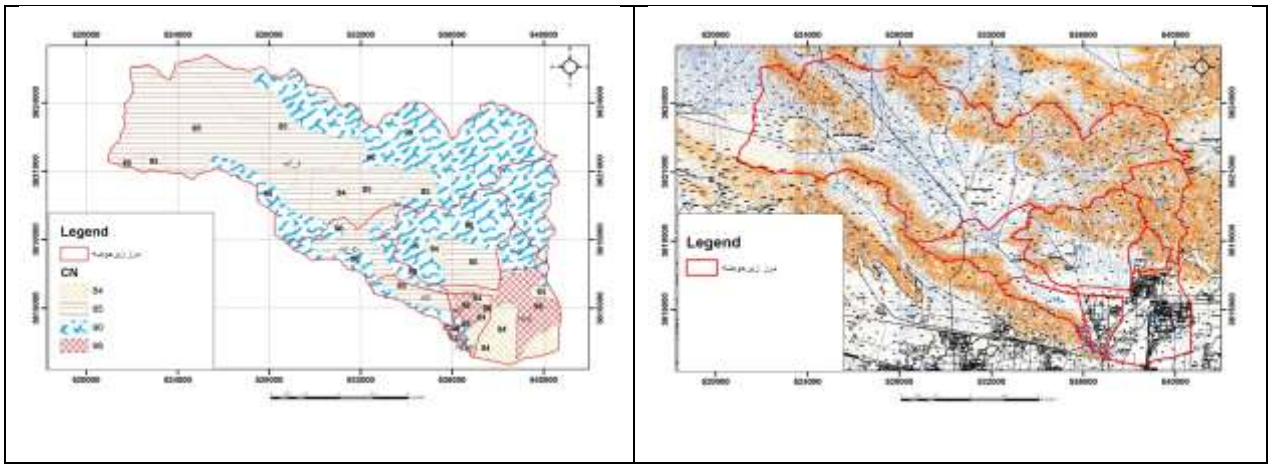
نرم افزار شبیه‌سازی کل سیستم آب حاصل از رگبار را در درون یک مدل به صورت قابل فهم و با مقیاس مناسب، شبیه‌سازی می‌نماید. موتور مدلسازی دینامیکی آب حاصل از رگبار و هیدروگراف‌های رواناب را محاسبه می‌نماید و عکس‌العمل هیدرولیکی درون سیستم‌های داخلی شامل ورودی‌ها، لوله‌ها، آبراهه‌ها، کالورت‌ها و تالاب‌ها را تحلیل می‌نماید. همچنین این امکان را فراهم می‌آورد که برای کاربر و کارفرما مشکلات سیل را نمایش داده و این که چگونه می‌توان این مشکلات را حذف نمود (Nasri et al., 2014)

نتایج

زیرحوضه بندی و برآورد سیلاب‌های برون دانشگاهی

یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای هیدرولوژیکی، فرایندهای بارش-رواناب است که از پارامترهای مختلف فیزیکی و هیدرولوژیکی تأثیر می‌پذیرد. لذا درک و پیش بینی فرایندهای تولید رواناب و انتقال آن به نقطه خروجی حوضه آبخیز یکی از اساسی‌ترین مباحث علم هیدرولوژی محسوب می‌شود (Zoratipour et al., 2009). به طورکلی، یک مدل، نمایشی ساده از یک سامانه پیچیده بوده، در مدل ریاضی رفتار یک سامانه به وسیله یک سری معادلات ریاضی همراه با جملات منطقی، ارتباط بین متغیرها و پارامترها بیان می‌شود. مدل‌های محاسباتی در فرآیند مدلسازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه جایگاه ویژه‌ای دارند. این مدل‌ها خصوصیات فیزیکی و هیدرولوژیکی حوضه شامل نفوذ و بارندگی را در نظر گرفته، سیلاب را در خروجی و در درون حوضه شبیه سازی می‌کند (Goodarzi & Hossaini, 2019).

به منظور تدقیق در برآوردها و همچنین وارد کردن ریزاطلاعات موجود در منطقه که بر اثر تنوع کاربری‌ها، تفاوت در نقاط تمرکز، فاصله از بلوار ریاست جمهوری به وجود آمده‌اند و در نظر گرفتن عوامل دیگر کل محدوده تاثیرگذار به زیرحوضه‌های کوچک‌تر درون‌شهری تفکیک می‌گردند. لازم به ذکر است پارامتر اصلی در تفکیک زیرحوضه ی درون‌شهری وجود نقطه تمرکز مشترک در کل محدوده تفکیک گردید. پس از تعیین ارتفاع بارندگی و مقدار CN، مقدار نگهداشت سطحی و ارتفاع رواناب در هر دوره بازگشت محاسبه و ارائه گردید.



شکل ۷- نقشه زیرحوضه بندی (راست) و CN (چپ) در زیرحوضه‌های برون‌شهری

Fig. 7- Sub-basin delineation map (right) and CN map (left) for exurban sub-basins

جدول ۲- مقادیر بارندگی (میلیمتر) به ازای زمان تمرکز و دوره بازگشت در حوضه مورد مطالعه

Table 2 - Rainfall depths (mm) for various concentration times and return periods in the studied basin

ردیف	زیر حوضه	دوره بازگشت (سال)							
		۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
۱	N۱	۱۱/۰۸	۱۵/۸۱	۱۹/۳۹	۲۴/۱۲	۲۷/۷۰	۳۱/۲۷	۳۴/۸۵	۳۹/۵۸
۲	n۲	۱۱/۴۸	۱۶/۳۸	۲۰/۰۹	۲۴/۹۸	۲۸/۶۹	۳۲/۴۰	۳۶/۱۰	۴۱/۰۰
۳	n۳	۱۲/۴۸	۱۷/۸۱	۲۱/۸۴	۲۷/۱۷	۳۱/۲۰	۳۵/۲۳	۳۹/۲۶	۴۴/۵۹
۴	n۴	۱۱/۹۹	۱۷/۱۰	۲۰/۹۷	۲۶/۰۹	۲۹/۹۶	۳۳/۸۳	۳۷/۷۰	۴۲/۸۲
۵	n۵	۱۱/۹۹	۱۷/۱۰	۲۰/۹۷	۲۶/۰۹	۲۹/۹۶	۳۳/۸۳	۳۷/۷۰	۴۲/۸۲
۶	n۶	۱۱/۹۹	۱۷/۱۰	۲۰/۹۷	۲۶/۰۹	۲۹/۹۶	۳۳/۸۳	۳۷/۷۰	۴۲/۸۲
۷	n۷_۱	۱۱/۹۹	۱۷/۱۰	۲۰/۹۷	۲۶/۰۹	۲۹/۹۶	۳۳/۸۳	۳۷/۷۰	۴۲/۸۲
۸	n۷	۱۱/۶۴	۱۶/۶۱	۲۰/۳۶	۲۵/۳۳	۲۹/۰۹	۳۲/۸۵	۳۶/۶۰	۴۱/۵۷
۹	n۸	۱۲/۱۱	۱۷/۲۸	۲۱/۱۹	۲۶/۳۶	۳۰/۲۷	۳۴/۱۸	۳۸/۰۹	۴۳/۲۶
۱۰	n۹	۱۱/۴۳	۱۶/۳۱	۲۰/۰۰	۲۴/۸۸	۲۸/۵۷	۳۲/۲۶	۳۵/۹۶	۴۰/۸۳
۱۱	n۱۰	۱۲/۷۲	۱۸/۱۵	۲۲/۲۶	۲۷/۶۹	۳۱/۷۹	۳۵/۹۰	۴۰/۰۱	۴۵/۴۳

جدول ۳- مقادیر ارتفاع رواناب (میلیمتر) به ازای دوره بازگشت در حوضه مورد مطالعه

Table 3- Runoff depth (mm) values for different return periods in the studied basin

زیر حوضه	R۲	R۵	R۱۰	R۲۵	R۵۰	R۱۰۰	R۲۰۰	R۵۰۰ mm
N۱	۰/۸۸	۲/۶۹	۴/۵۰	۷/۳۱	۹/۶۷	۱۲/۲۰	۱۴/۸۵	۱۸/۵۳
n۲	۱/۰۰	۲/۹۶	۴/۸۹	۷/۸۶	۱۰/۳۶	۱۳/۰۲	۱۵/۸۱	۱۹/۶۶
n۳	۱/۳۳	۳/۶۷	۵/۹۱	۹/۳۲	۱۲/۱۵	۱۵/۱۴	۱۸/۲۸	۲۲/۵۸

n۴	۱/۱۶	۳/۳۱	۵/۴۰	۸/۵۹	۱۱/۲۵	۱۴/۰۸	۱۷/۰۵	۲۱/۱۳
n۵	۱/۱۶	۳/۳۱	۵/۴۰	۸/۵۹	۱۱/۲۵	۱۴/۰۸	۱۷/۰۵	۲۱/۱۳
n۶	۰/۴۳	۱/۸۴	۳/۳۹	۵/۹۳	۸/۱۴	۱۰/۵۵	۱۳/۱۲	۱۶/۷۳
n۷_۱	۰/۴۶	۱/۹۱	۳/۴۹	۶/۰۷	۸/۳۰	۱۰/۷۴	۱۳/۳۳	۱۶/۹۷
n۷	۰/۴۰	۱/۷۶	۳/۲۶	۵/۷۱	۷/۸۴	۱۰/۱۷	۱۲/۶۶	۱۶/۱۵
n۸	۰/۷۶	۲/۵۶	۴/۴۰	۷/۳۱	۹/۷۸	۱۲/۴۳	۱۵/۲۴	۱۹/۱۴
n۹	۰/۴۷	۱/۸۹	۳/۴۳	۵/۹۲	۸/۰۷	۱۰/۴۱	۱۲/۹۱	۱۶/۴۰
n۱۰	۱/۴۲	۳/۸۴	۶/۱۶	۹/۶۷	۱۲/۵۸	۱۵/۶۵	۱۸/۸۷	۲۳/۲۸

از آنجائی که منطقه مورد مطالعه فاقد ایستگاه هیدرومتری است و هیدروگراف‌های واقعی وجود ندارد، از روش سازمان SCS برای تعیین هیدروگراف واحد مصنوعی و سیلاب استفاده می‌شود. مقادیر عددی هیدروگراف واحد حاصل در جدول مربوطه آورده شده است.

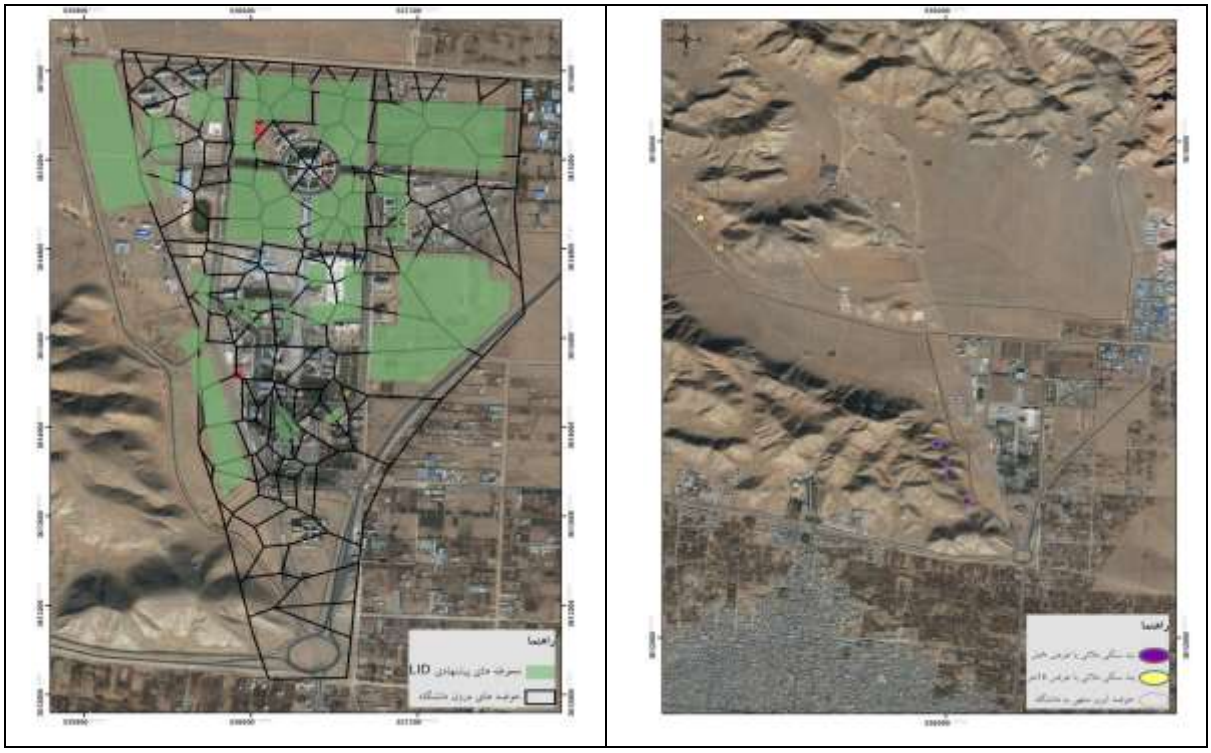
جدول ۴- مقادیر پارامترهای هیدرولوژی در حوضه منطقه طرح

Table 4- Hydrological Parameters in the Study Area Catchment

ردیف	زیر حوضه	مساحت km2	شیب	طول ابراهه اصلی (متر)	CN	Tl hr	Tc hr	D hr	Tp hr	Qp m3/s
۱	N۱	۰/۰۷۱	۳۸/۴	۲۶۰/۰	۹۰/۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۴/۲۰
۲	n۲	۰/۰۶۷	۳۳/۱	۲۸۰/۰	۹۰/۰	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۴	۳/۴۶
۳	n۳	۰/۰۸۵	۴۳/۴	۴۸۰/۰	۹۰/۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۵	۳/۲۴
۴	n۴	۰/۰۹۹	۴۰/۷	۴۴۰/۰	۹۰/۰	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۵	۳/۹۴
۵	n۵	۰/۱۲۳	۴۰/۰	۵۹۰/۰	۹۰/۰	۰/۰۶	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۷	۳/۸۱
۶	n۶	۳/۵۰۹	۲۳/۶	۳۸۴۰/۰	۸۶/۸	۰/۳۹	۰/۶۶	۰/۰۹	۰/۴۴	۱۶/۵۷
۷	n۷_۱	۸۳/۰۹۵	۲۵/۹	۱۳۶۲۰/۰	۸۷/۰	۱/۰۳	۱/۷۲	۰/۲۵	۱/۱۵	۱۵۰/۱۹
۸	n۷	۹۲/۵۴۲	۲۵/۸	۱۸۸۰۰/۰	۸۷/۱	۱/۳۳	۲/۲۲	۰/۳۲	۱/۴۹	۱۲۹/۴۸
۹	n۸	۱۶/۷۶۸	۲۹/۰	۵۴۸۰/۰	۸۸/۴	۰/۴۵	۰/۷۴	۰/۱۱	۰/۵۰	۷۰/۰۴
۱۰	n۹	۲/۴۱۴	۳۸/۹	۲۰۲۰/۰	۸۷/۷	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۰۴	۰/۲۰	۲۵/۳۱
۱۱	n۱۰	۷/۰۵۴	۵۳/۸	۵۱۲۰/۰	۹۰/۰	۰/۲۹	۰/۴۹	۰/۰۷	۰/۳۳	۴۵/۲۰

گزینه‌های اجرایی مدیریت سیلاب

از جمله روش‌های کنترل سیل از منشا می‌توان به اجرای عملیات آبخیزداری مانند احداث سدهای گابیونی، تراس بندی و مدیریت پوشش گیاهی اشاره نمود. لیکن این گونه عملیات باید از نظر تعداد، وسعت و مکان بدقت طراحی شوند تا از یک طرف حداکثر تاثیر را بر کاهش سیل در نقاط خسارت اعمال نمایند و از طرف دیگر به دلایل اقتصادی بیشترین بازده با کمترین عملیات حاصل آید. این نوعی بهینه سازی عملیات است که باید از طریق تلفیق مدل‌های شبیه سازی و بهینه سازی بدان دست یافت (Rostami et al., 2019). با توجه به وسعت حوضه و هیدروگراف پیک سیلاب، حجم مناسبی برای کاهش زمان تمرکز سیلاب حوضه مذکور با خاکبرداری‌ها و گودال‌های غیراصولی ایجاد شده موجود است. بنابراین این سازه پیشنهادی نقش بسزایی در کنترل سیلاب‌ها، جمع‌آوری آن‌ها و انتقال به یک تخلیه‌گاه مطمئن خواهد داشت.



شکل ۸- موقعیت سازه‌های کنترل سیلاب برون‌شهری و نمایی از طرح‌های LID در زیرحوضه‌های درون دانشگاه

Fig. 8 – Location of exurban flood control structures and an overview of LID (Low Impact Development) designs within the university's sub-catchments

طرح عمده پیشنهادی، استفاده از قطعات یکپارچه فضای سبز است. این قطعات یکپارچه باید به طور کامل شخم زده شده و زیر و رو شوند تا مصالح مناسب جهت کنترل و ذخیره آب باران به محتویات خاک اضافه شود و هرگونه محتویات سله بندی شده یا ریزدانه که نفوذپذیری پایینی دارند، حذف شوند. با فواصل معین (۱۰ تا ۱۵ متر)، نواری به عرض ۰.۵ تا ۲ متر حاوی مصالح درشت دانه قلوه سنگ جهت کنترل آلاینده‌ها، زباله‌ها و سایر رسوبات پیشنهاد شده است. ارتفاع این مصالح درشت دانه نسبت به سطح خاک، ۲۵ تا ۴۵ سانتی‌متر است که آب پشت این نوارها متوقف نشود. در عین حال وظیفه دیگر این نوارهای سنگی کاهش شیب و افزایش فرصت نفوذ است. در قسمت ورودی سر ریزها به فضای سبز نیز این مصالح درشت دانه سنگی اجرا می‌شوند. مصالح درشت دانه در کف بستر و لایه‌های علف کاری شده سطحی، لایه کود گیاهی نیز به صورت ترکیبی در کل فضا بکار می‌روند. گیاهانی که در این فضا کاشته می‌شوند می‌توانند ترکیبی از علف، گل و بوته و یا درخت باشند که نسبت به غرقاب شدن و خشکی طولانی مدت مقاوم باشند. حجم گیاهان در ابتدای ورودی سرریز باید زیاد باشد تا فیلتر اولیه یا سیستم پیش تصفیه به وسیله این گیاهان و مصالح درشت دانه صورت گیرد. سپس در طول مسیر با توجه به شیب زمین، هرجا که خط القعر فضای سبز است از ترانشه‌های نفوذی استفاده می‌شود؛ رواناب ورودی به ترانشه به تدریج از طریق کف و دیواره‌ها، به خاک زیرین و اطراف ترانشه نفوذ کرده و سرانجام به سفره آب زیرزمینی می‌رسد. ترانشه نفوذ با انتقال رواناب به درون خاک، نه تنها کیفیت آب را بهبود می‌بخشد، بلکه باعث حفظ تراز طبیعی آب در سایت شده و می‌تواند آب زیرزمینی را تغذیه و حفظ کند. ترانشه نفوذ را می‌توان برای نفوذ رواناب مازاد در یک شبکه آب‌های سطحی طراحی نمود. برای سایت‌های بزرگ‌تر یا مکان‌هائی که فقط مقدار رواناب متناسب با ظرفیت ترانشه به آن انتقال داده می‌شود، یک کنترل سازه‌ای دیگر هم باید برای نگهداشت موقت رواناب‌های اضافی احداث شود.

در سه بخش از دانشگاه، حوضچه‌های موقت خشک پیشنهاد شده است. حوضچه‌های نگهداشت خشک حوضچه‌هایی هستند که دهانه خروجی آن‌ها طوری طراحی شده است که بتواند رواناب را برای یک حداقل زمان (به طور مثال ۲۴ ساعت) نگه دارد تا اجازه دهد مواد

و آلاینده‌ها ته نشین شود. این روش به منطقه وسیعی برای ساخت نیاز دارد و ظرفیت و زهکشی آن به خصوصیات طراحی بستگی دارد. نکات کلیدی در استفاده از این سازه، فضای کافی جهت احداث، توجه به عمق آب زیرزمینی، میزان آلاینده‌های موجود در منطقه، ایمن‌سازی دیواره‌های جانبی حوضچه و لایروبی و نگهداری مستمر آن است.

آبراهه‌هایی که در سطح دانشگاه پیشنهاد شده اند، عموما عرضی تا ۲ متر و ارتفاعی تا ۰/۵ متر دارند که وظیفه آن‌ها هدایت و انتقال رواناب سطحی و نفوذ آن است. طراحی این سازه‌ها با توجه به شیب، طول، عمق، نوع پوشش گیاهی و ... انجام می‌شود. این سازه‌ها جایگزین مناسبی برای جوی‌های بتنی هستند. در طول این کانال‌ها بر خلاف آبراهه‌های زیستی متداول، هیچ نوع پوشش گیاهی به کار نرفته است و صرفا از طریق ایجاد سد سنگی (مصالح درشت) و سرریز، آب به درون باغچه‌های ذخیره باران هدایت می‌شود.

باغچه‌های ذخیره باران، قطعه زمین‌هایی پوشیده از گیاه هستند که برای رواناب ناشی از سطوح نفوذپذیری مانند پشت بام‌ها، پیاده‌روها و ... شرایط نفوذ را فراهم می‌کنند. این سازه مسئولیت کاهش حجم رواناب و آلودگی آن را از طریق نفوذ آن به زمین دارد. باغچه‌های ذخیره باران قالیت طراحی و کارگذاری در انواع خاک و اقلیم‌های متفاوت را دارند. باغچه‌های ذخیره باران از نظر ظاهری مانند یک باغچه معمولی به نظر می‌رسند که پوشیده از انواع گیاهان هستند و معمولا خاک آن‌ها، نفوذپذیر انتخاب می‌شود. زیر این باغچه‌ها فرآیندهای زیادی در حال وقوع است که شرایط هیدرولوژیکی یک سطح جنگلی طبیعی را شبیه‌سازی می‌کند. گیاهانی که برای استفاده در این سازه انتخاب می‌شوند باید نسبت به تحمل حالت غرقابی در زمان بارندگی و تحمل خشکی در فاصله بین بارندگی‌ها را داشته باشند.

ترانشه‌های نفوذی، خندق‌هایی طویل و کم عرضی هستند که درون آن‌ها با ذرات درشت دانه و قطعات سنگ پر می‌شود و معمولا مجرایی برای خروجی ندارند. رواناب ورودی به این سیستم در فضای خالی ما بین ذرات درشت دانه موقتا ذخیره می‌شود و به تدریج از کف و دیواره‌ها به درون خاک اطراف ترانشه نفوذ می‌کند. هدف اصلی این سازه کنترل کیفیت رواناب است. خاک داخل این ترانشه‌ها نفوذپذیری بسیار بالایی دارد که به رواناب ورودی اجازه می‌دهد تا با سرعت بسیار زیادی به زمین نفوذ کند. از مزایایی این سازه کاهش حجم رواناب، کنترل و کاهش آلودگی رواناب و در نهایت تغذیه آب زیرزمینی است. رواناب خروجی از اماکن و محوطه‌هایی همچون پارکینگ‌ها و نواحی اطراف اتوبان‌ها را می‌توان به سمت ترانشه‌های نفوذی هدایت کرد و به داخل زمین انتقال داد. بنابراین ترانشه‌های نفوذی را می‌توان برای زهکشی رواناب یک محوطه به جای جوی‌های بتنی و یا در کنار آن‌ها توصیه نمود.

چاه‌های جذبی، مخازن مکعبی یا استوان‌های حفاری شده در زمین هستند که به وسیله سنگ لاشه پر شده‌اند و دیواره آن‌ها از جنس غلاف‌های آجری، بلوک‌های پیش ساخته بتنی و یا حلقه‌های پلی اتیلن مشبک است که اطراف و درون آن با مواد درشت دانه پر می‌شود. با اتصال چندین چاه جذبی، می‌توان سطوح بزرگتر(همچون بزرگراه‌ها) را زهکشی نمود. چاه‌های جذبی، باعث کاهش حجم و به تاخیر اندازی رواناب ناشی از بارش، تصفیه رواناب و تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌گردند.

طرح‌های پیشنهادی شامل ۱۸۹ طرح LID است که به صورت چاه‌های جذبی، ترانشه‌های نفوذ، باغچه‌های ذخیره باران، جوی‌های نفوذ، حوضچه‌های موقت خشک، سدهای سنگی و آبراهه‌های زیستی است که در ۸۹ زیرحوضه‌های درون دانشگاهی پیاده سازی شده است. عدم وجو زمین‌های بایر و فضاهای سبز، شیب و توسعه ساختمان‌ها به عنوان عامل محدود کننده در پیاده سازی محوطه‌های پیشنهادی در سرتاسر دانشگاه عمل کرده است. این محوطه‌های پیشنهادی مساحتی بالغ بر ۱۰۰/۰۷ هکتار از مساحت دانشگاه را تحت پوشش قرار می‌دهد. بزرگترین باکس پیشنهادی ۲۲ هکتار وسعت دارد که در مجموع نزدیک به ۶۵ طرح LID در این محوطه پیشنهاد شده است. ظرفیت هریک از محوطه‌ها در مدل StormCAD بررسی شده است و به منظور بالا رفتن اطمینان از کارایی سیستم پیشنهادی با توجه به تراکم جمعیتی دانشجویان، کارکنان و اساتید و رفت و آمد، از دوره بازگشت ۱۰ ساله و ۲۵ ساله استفاده شده است.

اساس طرح‌های ارائه شده هدایت آب خیابان‌ها به نزدیکترین فضای سبز یا زمین بایر است، سپس از طریق ایجاد سدهای سنگی کوتاه، فرصت ته نشین شدن رسوبات و نفوذ به رواناب‌های سطحی داده می‌شود و مازاد آن، سرریز می‌شود و به داخل فضاهای سبز هدایت می‌شود. در انتهای هر فضای سبز نیز مجددا رسوبات از طریق سنگ‌های درشت به تله انداخته شده و سپس سرریز به سمت حوضچه‌های

موقت خشک هدایت می‌شود. چندین مرحله پایش کیفی رواناب‌های سطحی موجب تصفیه طبیعی رواناب‌ها شده و بنابراین کیفیت آب منتهی به سرریز در حد مطلوبی خواهد بود. طرح‌های پخش سیلاب به صورت بندهای نعل اسبی در ضلع شرقی دانشگاه به صورت پنج‌گانه (خاکی) به همراه سرریز پیشنهاد شده است. بادام کاری در کپه‌های خاک نیز در تقویت پوشش گیاهی منطقه و همچنین کنترل سیلاب بسیار موثر خواهد بود. در ضلع غربی هم به منظور کنترل سیلاب‌های درون دانشگاه و هم رواناب‌های ورودی از محوطه بیرونی، طرح‌های کنترل سیلاب از طریق کاهش سرعت سیلاب، به تله اندازی رسوبات و کاهش ظرفیت حمل رسوبات و نفوذ موضعی استفاده شده است. در این طرح‌ها، رواناب ضمن چرخش و حرکت مارپیچ بین سنگ‌های درشت، فرصت نفوذ یافته و پوشش گیاهی موجود در این طرح‌ها نیز هم سرعت رواناب را کاهش داده و هم موجب نفوذ بیشتر رواناب می‌شود .

با فرض استفاده از روش‌های غیرسازه‌ای، مدلسازی صورت گرفته در نرم افزار StormCAD نشان داده است که می‌توان حجم سیلاب معادل ۲۶۴ هزار مترمکعب در دوره بازگشت ۱۰ و ۳۱۷ هزار مترمکعب در دوره بازگشت ۲۵ ساله را کنترل نمود. این حجم معادل سیلابی با دوره بازگشت ۱۰ و ۲۵ سال است که در زمان تمر کز هر یک از محوطه‌های پیشنهادی بر اساس روش کرپیچ محاسبه شده است.

شکل ۹- جانمایی طرح‌های LID در زیرحوضه‌های درون دانشگاه (Emadi et al., 2022)

Fig. 9- Layout of LID Designs in Intra-University Sub-Catchments (Emadi et al., 2022)

بحث و نتیجه گیری

عواملی همچون شرایط زمانی و مکانی بارش در حوضه های بالادست (Farzin et al., 2018)، ظرفیت انتقال پایین، پتانسیل رسوب‌گذاری بالا در بستر و اراضی حاشیه‌ای رودخانه‌ها که در مواقع سیلابی شدت می‌یابد، تغییر کاربری در مسیر آبراهه‌ها از گذشته‌های دیرباز تاکنون، وضعیت توپوگرافی و اختلاف ارتفاع محدوده تمرکز سیلاب در زیر حوزه‌های آبخیز تاثیرگذار فرعی با رودخانه اصلی، باعث گردیده بارندگی‌ها عموما با تجمع سیلاب در محدوده ایجاد حوضچه‌های تاخیری بدون رعایت اصول اجرایی در احداث آن همراه باشد. زیرا تخلیه سیلاب به طور ثقلی به دلیل شیب زیاد صورت می‌گیرد و توجه به روش‌های مدیریت سیلاب و آبخیزداری مورد توجه است.

بررسی‌ها نشان داد استفاده از رویکرد تلفیقی نسبت به رویکرد صرفا سازه‌ای موجب کاهش ۴۸ درصدی کل هزینه‌ها و همچنین کاهش ۹۰ درصدی رواناب در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰ ساله می‌شود. در دوره بازگشت‌های ۲۵ تا ۱۰۰ ساله به دلیل افزایش سرعت سیلاب و عدم جود فرصت کافی برای نفوذ، کارآیی رویکردهای غیرسازه‌ای کاهش قابل توجهی دارد. همچنین مشخص گردید رویکرد تلفیقی علاوه بر کاهش دبی رواناب‌های سطحی و هزینه‌های اجرایی، تلاشی است در راستای بازگرداندن حوضه به شرایط طبیعی و همچنین راهکاری است برای استفاده از رواناب با کیفیت برای آبیاری فضاهای سبز است که با تحقیقات Farzin و همکاران (۲۰۱۸) و Bixler و همکاران (۲۰۲۰) و Miremadi و همکاران (۲۰۱۹) قابل مقایسه است. نتایج برای سناریوهای پیشنهادی نشان می‌دهد که بهره‌برداری بهینه و هماهنگ از سیلاب‌ها و رواناب‌های سطحی و ساماندهی حوضچه‌ها ذخیره سازی، باعث بهبود سطح عملکرد حوضچه‌ها در مقایسه با روش فعلی بهره‌برداری که غیر استاندارد بوده و ممکن است موجب مخاطرات محیطی برای منطقه شده است، یکی دیگر از عواملی که اجرای عملیات آبخیزداری و مدیریت حوضه‌های آبخیز را در این محدوده بارزتر می‌کند، مرزی بودن آن است که می‌توان با اجرای عملیات آبخیزداری از خروج منابع آب و خاک مساعد محدوده به سمت مناطق مسکونی پایین دست جلوگیری کرده و از آن بهره‌برداری نمود. بدین ترتیب پیاده سازی طرح ذخیره سازی سیلاب‌ها، تجدید حیات رودخانه‌ها، ایجاد دریاچه حفاظت از سیلاب، استفاده از ترانشه‌های نفوذپذیر، ایجاد سیستم ذخیره آب باران در مزارع و ایجاد روش‌های مکانیکی و بیولوژیک آبخیزداری به عنوان روش‌های نوینی است که در جهت ارتقا تاب آوری با رویکرد مهندسی و مدیریت جامع رواناب‌های سطحی پیشنهاد شده است.

گرچه طرح‌های LID و BMP بهترین گزینه برای بازگرداندن یک حوضه توسعه یافته به شرایط طبیعی است، اما اجرای این روش‌ها در اراضی توسعه یافته دارای مزایا و معایبی است که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است:

- رویکرد صرفا سازه‌ای بهترین گزینه برای جلوگیری از تخریب بیشتر محیط زیست، برهم خوردن شبکه آبراهه‌ها و تراکم زهکشی در یک حوضه آبخیز است.
- علاوه بر حفظ شرایط طبیعی حوضه، این روش به هزینه‌های اجرایی به مراتب کمتری (حدود ۳۰ میلیارد تومان کمتر) نسبت به روش‌های سازه‌ای نیاز دارد.
- همچنین این روش‌ها از طریق تقویت سفره‌های آب زیرزمینی و استحصال آب (ضمن بهبود کیفیت رواناب سطحی)، می‌توانند از لحاظ اقتصاد آب نیز مفید باشند.
- جلوه بصری این طرح‌ها از لحاظ ایجاد پوشش گیاهی، فضای سبز و دریاچه‌های موقت نگهداشت آب، به خصوص در فصل بهار، حائز اهمیت است.
- استفاده از این طرح‌ها نیاز به کانال‌ها و شبکه‌های بزرگ را که آب را از بالادست تا پایین دست با حجم بسیار زیاد هدایت و دفع کنند، بسیار کمتر می‌کند.

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش حاضر، پیشنهادات زیر جهت کاربرد نتایج ارائه می‌گردد:

- ✓ پیاده سازی رویکرد تلفیقی در شهرهای کوهستانی که رواناب‌های سطحی کیفیت مناسبی دارد و مناطقی که تردد وسایل نقلیه کمتر است نظیر دانشگاه‌ها، پادگان‌های نظامی- آموزشی و ...
- ✓ پیاده‌سازی بام سبز در کل ساختمان‌های اداری و آموزشی دانشگاه جهت کاهش پیک سیلاب
- ✓ پیاده‌سازی اولویت بندی شده زیرساخت‌های سبز بر اساس شرایط موجود (اول از فضاهای سبز موجود استفاده شود و سپس زمین‌های بایر به طرح‌های پیشنهادی تبدیل گردد).
- ✓ فرهنگ‌سازی و اطلاع رسانی پیرامون رویکردهای مدرن به‌منظور جلوگیری از اخلال در سیستم (به‌هم خوردن یا مسدود کردن جویچه‌ها، تخریب سنگ چینی‌ها، انسداد آبگذرهای زیرجاده‌ای و از بین بردن پوشش گیاهی داخل زیرساخت‌های سبز بدون آگاهی از عملکرد آن‌ها).

Extended Abstract

Introduction: This paper examines the effects of urbanization and land-use changes on natural hydrological systems, with a particular focus on the resulting increase in surface runoff, reduced water infiltration, and heightened risk of urban flooding. The primary objective is to evaluate contemporary approaches for managing urban floods through Low Impact Development (LID) and Best Management Practices (BMPs). This assessment centers on a case study within the catchment area of Islamic Azad University in Najafabad, Isfahan Province. Urbanization, coupled with alterations in land use, profoundly modifies hydrological patterns, particularly in urban environments. Traditional stormwater management strategies are no longer adequate given the escalating scale and intensity of rainfall events in urban settings.

Materials and methods: This study introduces LID-BMP techniques as environmentally sustainable solutions for managing urban runoff. These methods encompass strategies such as rain gardens, permeable pavements, underground storage systems, and green roofs. Their primary goals are to reduce runoff volume, improve its quality, promote groundwater recharge, and mitigate the adverse effects of floods. The study was conducted in the 294-hectare catchment area of Islamic Azad University of Najafabad. This region is characterized by a mixed urban and semi-urban land use, exhibiting diverse topography, vegetation cover, and hydrological features. Geographic coordinates, slope, and land-use changes were meticulously analyzed, and a detailed assessment of the region's stormwater runoff and infiltration properties was performed using Geographic Information Systems (GIS) tools. This research employed a descriptive-analytical approach, involving the collection of data on rainfall, runoff, land use, and topography. Key hydrological parameters, such as the Curve Number (CN) method, were utilized to model and estimate runoff. StormCAD software, in conjunction with the Soil Conservation Service (SCS) unit hydrograph method, was employed to simulate surface runoff flow and evaluate the effectiveness of various flood management techniques.

Results: The findings indicate that the expansion of urban areas within the study region has led to a substantial increase in surface runoff, ranging from 30% to 40%. The conversion of land use, particularly from agricultural and natural areas to residential and industrial zones, has diminished the soil's infiltration capacity and reduced its ability to absorb natural rainfall. However, the application of modern LID and BMP methods yielded promising results in runoff reduction. By integrating rain gardens, permeable pavements, underground storage tanks, and green roofs, runoff was reduced by over 50% in several sub-catchments within the study area. A variety of LID solutions were proposed for the university campus, including 189 potential designs for rain gardens, permeable pavements, and retention basins. These solutions not only reduced runoff but also improved water quality by filtering pollutants before they entered stormwater drains.

Discussion and Conclusion: The results underscore the significant potential of LID and BMP approaches in mitigating urban flooding, especially in rapidly urbanizing regions. By integrating these strategies into urban planning, cities can effectively reduce the negative impact of stormwater runoff on both the environment and local infrastructure. The study also emphasizes the critical importance of incorporating hydrological management into urban zoning and development plans. Implementing these methods can provide multiple benefits, including reducing flood risks, enhancing surface water quality, replenishing groundwater supplies, and alleviating the burden on traditional stormwater infrastructure.

Keywords: Urban Flood Management, Low Impact Development, Best Management Practices, Stormwater Runoff, Hydrological Systems.

References

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]

Bixler, T., Houle, J., Ballestero, T., & Mo, T. (2020). A spatial life cycle cost assessment of stormwater management syste. *Science of the Total Environment*, 728 (16), 138- 145.

Dong, X., Yuan, P., Song, Y., & Yi, W. (2021). Optimizing Green-Gray Infrastructure for Non-Point Source Pollution Control under Future Uncertainties. *Environmental Research and Public Health*, 18 (14), 181- 193.

Emadi, J., Kazemi, S. M., Nasri, M., & Amelian, S. S. (2022). Technical-Economical Evaluation of integrated Surface Runoff Control Methods using StormCAD Model and LID-BMP Approaches. *Environment and Water Engineering*, *8*(2), 427-439. [In Persian]

Emadi, J., Kazemi, S. M., Nasri, M., & Amelian, S. S. (2024). Development of an Optimization Model for Surface Runoff Management Using Metaheuristic Algorithms. [PhD Dissertation, Islamic Azad University]. Najafabad Branch. [In Persian]

Farzin, S., Noori, H., & Karami, H. (2018). Developing the Performance of Modern Methods Using Multi-Objective Optimization in Urban Runoff Control. *Iran-Water Resources Research*, *14*(3), 45-58. [In Persian]

Goodarzi, M., & Hoseini, A. (2019). Numerical modeling of the flood routing and zoning by Saint-Venant in the river Bostanak. *Journal of Civil and Environmental Researches*, 4(2), 17-31. [In Persian]

Khajehnejad, R., Bahremand, A., & Mohammadrezaei, M. (2024). An overview of integrated flood management in Iran: current status and challenge. *Journal of Aquifer and Qanat*, *5*(1), 183-202. [In Persian]

Lin, J., Yuan, T., & Chen, C. (2021). Water Retention Performance at Low-Impact Development (LID) Field Sites in Taipei, Taiwan. *Sustainability*, 13 (2), 10- 19.

Lin, X., Yuan, P., Song, Y., & Yi, W. (2021). Optimizing Green-Gray Infrastructure for Non-Point Source Pollution Control under Future Uncertainties. *Environmental Research and Public Health*, 18 (14), 181- 193.

Miremadi, S. Z., Karami, H., Hosseini, K., & Hashemi, S. A. A. (2019). Flood Reduction in Urban Basins Using LID- BMPs IN SWMM Model and Selecting The Best Option With AHP- TOPSIS (Case Study: Golestan Area in Semnan). *Journal of Ecohydrology*, *6*(4), 1003-1013. [In Persian]

Nasri, M., Javaheri, M., & Ebrahimi, M S. (2014). *Training Manual for Modeling Runoff Collection and Conveyance Systems Using Civil Storm V8i Softwar*. [In Persian]

Nasri, M., Najafi, A., Modarres, R., & Islamian, S. S. (2007). Regional Flood Modeling in the Southwestern Ardestan Watershed. Journal of Isfahan University, 6, 17. [In Persian]

Rezaei, A., Ismail, Z., Niksokhan, M., Dayarian, M., Ramli, A., & Yusoff, S. (2021). Optimal implementation of low impact development for urban stormwater quantity and quality control using multi-objective optimization. *Environmental Monitoring and Assessment*, 13 (3), 261- 272. [In Persian]

Rostami, M., Saghafian, B., Akhtari, M., Ghermezcheshmeh, B., & Abdeh Kolahchi, A. N. (2019*). Developing a Simulation-Optimization Model for Locating Appropriate Flood Control Measures in Watersheds*. In 7th Comprehensive Flood Management and Engineering Conference, Tehran. [In Persian]

Shahnazi, M. (2024). *Urban environmental resilience against climate change*: *Challenges and solutions. First National Conference on Environmental Future and Sustainability, Tehran.* [In Persian]

Tabatabaei Yazdi, J., Tavakoli, H., Abbasi, A. A., & Abbasi, M. (2009). *Rainwater harvesting, a perspective on optimal urban runoff management (Case study: Mashhad city)*. Urban Watershed Management Conference, Mashhad, Iran. [In Persian]

Xu, T., Hia, H., Wang, Zh., Mao, Xu., Xu, Ch. (2017). SWMM-based methodology for block-scale LID-BMPs planning based on site-scale multi-objective optimization: a case study in Tianjin. *Frontiers of Environmental Science and Engineering*, 11(4), 202-215.

Zha, X., Luo, P., Zhu, W., Wang, S., & Zhenhong, W. (2021). A Bibliometric Analysis of the Research on Sponge City: Current Situation and Future Development Direction. *Ecohydrology*, 10 (3), 66- 79.

Zhang, X., Hu, M., Chen, G., & Xu, Y. (2012). Urban rainwater utilization and its role in mitigating urban waterlogging problems—A case study in Nanjing, China. *Water resources management*, *26*, 3757-3766.

Zoratipour, A., Salageghe, A., Almaali, N., & Askari, H.M. (2009). The assessment of precipitation- runoff model by using of artificial neural network and regression methods (Case study: Minab Basin), *Whatershed Management Research,* 22(83), 69. [In Persian]