



## Research Paper

## Technical-Economical Evaluation of Integrated Surface Runoff Control Methods using StormCAD Model and LID-BMP Approaches

Jalil Emadi<sup>1</sup>, Sayyed Mohammad Kazemi<sup>2\*</sup>, Masoud Nasri<sup>3</sup> and Sayyed Shahab Amelian<sup>4</sup>

<sup>1</sup>PhD Scholar, Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

<sup>3</sup>Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Dolatabad Branch, Islamic Azad University, Dolatabad, Iran

<sup>4</sup>Assist. Professor, Department of Industrial Engineering, Shahinshahr Branch, Islamic Azad University, Shahinshahr, Iran

### Article information

**Received:** July 18, 2021

**Revised:** October 08, 2021

**Accepted:** October 09, 2021

### Keywords:

Green Infrastructure  
Hydraulic Simulation  
Rational Method  
Urban Environment  
Urban Flood

\*Corresponding author:

[kaviani@eng.ikiu.ac.ir](mailto:kaviani@eng.ikiu.ac.ir)



### Abstract

The risk of floods in urban basins compared to non-urban basins has increased and has caused a lot of damage to urban infrastructure. Hence, it is necessary to use approaches that, while preventing the detrimental effects on the urban environment, provide maximum efficiency in runoff management projects at the source. Therefore, in the present study, the combination of structural and non-structural methods of flood management and technical-economic comparison of these methods were studied. Bentley StormCAD software was used as a hydraulic model for structural design, and modern LID-BMP approaches were used as non-structural methods for surface runoff management. Modern approaches included were soakaway, infiltration trench, rain gardens, temporary dry detention basin, and vegetated swale. The results of the hydraulic analysis of the network showed that the average flow rate in the whole network is 370 l/s and the minimum flow rate is equal to 10 l/s, which justifies the possibility of using non-structural methods. A comparison of methods showed that the use of an integrated approach to a purely structural approach has reduced costs by 48% and runoff by 90% over a 2-to-10-year return period. During the 50-and 100-year return periods, it also reduced surface runoff at the outlet points of the basin by 74 and 59%, respectively.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



### Introduction

Harmful human activities often lead to an increase in floods. Population growth, advances in science, the expansion of industrial facilities, and the lack of space for construction, especially

in metropolitan areas, have led to drastic changes in the morphology of urban or near-urban watersheds. On the other hand, the harms of urban development include the destruction of trees and vegetation and the reduction of land permeability, and thus the reduction of



groundwater resources, which are considered serious damage to the environment of the urban area. Thus, these changes increase the risk of flooding roads and significantly increase maintenance costs and potential financial and human losses. Computational models are used to investigate the hydrological and hydraulic processes in surface runoff systems within cities and basins. These models take into account the hydrological characteristics of the basin including infiltration and rainfall and simulate the hydraulic properties including flow, velocity, and slope at different points within the basin. One of these models is the Bentley StormCAD, which by solving precipitation flow calculations by numerical methods, makes it possible to design suitable drainage systems in different conditions. However, the design of networks using only hydraulic models and structural methods (such as open and covered canals or drainage pipes and runoff collection), in addition to being unaffordable, is also not compatible with the urban environment. Among the hydrological control measures that are mainly based on the infiltration and local storage of runoff on a small scale are Low Impact Development (LID) methods and Best Management Practice (BMP). The purpose of these methods is to try to return the urban basin to natural conditions and prevent the spread of impermeable and low-impermeable lands in the urban area. As a result of using these methods, the total volume of runoff at the basin outlet is reduced and its quality is improved. Among the reasons for the tendency of various researchers to new approaches to urban surface runoff, it is possible to maintain pre-development hydrological functions by maintaining/creating a natural landscape, maintaining drainage patterns and scheduling urban catchment areas, and ensuring the effectiveness of small-scale runoff control projects. Other previous studies lack detailed hydrological and hydraulic analysis of surface runoff networks and different types of green infrastructure, their design criteria and characteristics, integration of surface runoff collection networks with green infrastructure in an urban catchment, spatial and temporal scale, and analysis of model application analysis and economic review of the design. Therefore, in the present study, first, the hydraulic-hydrological aspects of runoff management in the university are investigated, and then through modeling, a combination of structural and non-structural methods of runoff management along with the economic comparison is presented.

## Materials and Methods

In the StormCAD model, the most common method of calculating the peak runoff discharge in small basins is the rational method. According to this method, the maximum amount of runoff is obtained when the rainfall period is equal to the concentration-time in the watershed. To calculate A in the Rational method and according to the purpose of the study, dividing the basin into a large number of sub-basins can have several advantages:

- Reducing the area of sub-basins and reducing the discharge of surface runoff
- Ability to create local plans for green infrastructure due to the small size of the basins
- Reducing the need for flood collection and management structures

Therefore, based on the runoff collector nodes (units) defined at the beginning and end of each passage according to the general slope of the ground, Thiessen polygons have been drawn to create study sub-basins. Thiessen polygon method is considered one of the interpolation methods in which the value of a point is attributed to all points that are located in the area of the points. In spatial information systems, in this regard, Najafabad Azad University with an area of 294.7 ha is divided into 134 small sub-basins and a surface water collection, conduction, and disposal network is created in the Bentley StormCAD model.

## Results

According to the hydrological-hydraulic modeling and also the use of new approaches separately and in combination with structural approaches in the collection, Conveyance, and disposal of surface runoff of Najafabad Azad University, the results showed that the use of the integrated approach compared to the purely structural approach reduces the total costs by 48% and also reduces the runoff by 90% in the return period of 2 to 10 years. In the return period of 25 to 100 years, due to the increase in flood speed and lack of sufficient opportunity for penetration, the efficiency of non-structural approaches has a significant reduction. Telescopic increase of geometric dimensions of canals by moving from upstream to the outlet of the basin, an increase of impermeable uses by creating concrete or stone and cement canals, high operating costs, and the need for a suitable outlet for safe disposal of surface runoff, the main disadvantages of structural approaches in this Have been researching. Lack of application in a high return period and the need for structures

to guide runoff into LID areas are the disadvantages of new approaches. The use of LID-BMP designs in the return period of 2, 5, and 10 years, on average, reduces the discharge above 90% at the outlets. This is done through the local infiltration of surface runoff into each of the green infrastructures. However, in the 25 and 50-year return period, due to the increase in flood intensity and speed and lack of sufficient opportunity for local infiltration, as well as insufficient dimensions of infiltration ponds and biological waterways, the controlled runoff decreases and in the 100-year return period up to 59% of total discharge. Assuming the use of non-structural methods, modeling in StormCAD software has shown that flood volume of 264,000 m<sup>3</sup> in the 10-year return period and 317,000 m<sup>3</sup> in the 25-year return period can be controlled. This volume is equivalent to a flood with a return period of 10 and 25 years, which is calculated based on the Kerpich method at the time of concentration of each of the proposed areas.

### Conclusions

A comparison of methods has also shown that the use of an integrated approach to a purely structural approach has reduced costs by 48% and runoff by 90% over a 2 to 10-year return period. During the 50- and 100-year return periods, it also reduced surface runoff at the outlet points of the basin by 74% and 59%, respectively.

### Acknowledgment

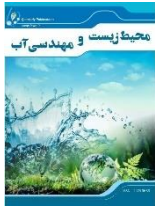
The authors are thankful to the Islamic Azad University, Nahjafabad Branch for their cooperation and support

### Data Availability

The data can be sent on request by the corresponding author via email.

### Conflicts of Interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: [www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

مقاله پژوهشی

## ارزیابی فنی - اقتصادی روش های تلفیقی کنترل رواناب های سطحی به کمک مدل StormCAD و رویکردهای LID-BMP

جلیل عمادی<sup>۱</sup>، سیدمحمد کاظمی<sup>۲\*</sup>، مسعود نصری<sup>۳</sup> و سید شهاب عاملیان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، اصفهان، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دولت آباد، اصفهان، ایران  
<sup>۴</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهین شهر، اصفهان، ایران

### اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۴/۲۷]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۷/۱۶]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۷/۱۷]

### واژه های کلیدی:

روش استدلالی  
 زیرساخت های سبز  
 سیلاب شهری  
 شبیه سازی هیدرولیکی  
 محیط زیست شهری  
 \*نویسنده مسئول:

[kaviani@eng.ikiu.ac.ir](mailto:kaviani@eng.ikiu.ac.ir)



### چکیده

ریسک سیلاب در حوضه های شهری نسبت به حوضه های غیرشهری افزایش یافته است و موجب وارد شدن خسارات زیادی به زیرساخت های شهری شده است. از همین روی، استفاده از رویکردهایی که ضمن جلوگیری از اثرات مخرب تأثیرگذار بر محیط زیست شهری، حداکثر بهره وری را در طرح های مدیریت رواناب در مبدأ فراهم کند، ضروری به نظر می رسد. بنابراین، در پژوهش حاضر، به تلفیق روش های سازه ای و غیرسازه ای مدیریت سیلاب و مقایسه فنی-اقتصادی این روش ها پرداخته شد. از نرم افزار Bentley StormCAD به عنوان مدل هیدرولیکی طراحی روش های سازه ای و از رویکردهای نوین LID-BMP به عنوان روش های غیرسازه ای مدیریت رواناب های سطحی استفاده شد. رویکردهای نوین شامل چاه جذبی، ترانشه نفوذ، باغچه ذخیره باران، حوضچه موقت خشک و آبراهه زیستی بودند. نتایج بررسی هیدرولیکی شبکه نشان داد که میانگین دبی در کل شبکه  $370 \text{ l/s}$  و کمترین میزان دبی، معادل  $10 \text{ l/s}$  است که امکان استفاده از روش های غیرسازه ای را توجیه پذیر نموده است. همچنین مقایسه روش ها نشان داد که استفاده از رویکرد تلفیقی نسبت به رویکرد صرفاً سازه ای موجب کاهش  $48\%$  هزینه ها و  $90\%$  رواناب در دوره بازگشت های ۲ تا  $10 \text{ yr}$  شد. در دوره بازگشت  $50$  و  $100 \text{ yr}$  نیز تا  $74\%$  و  $59\%$  از دبی رواناب سطحی را در نقاط خروجی حوضه کاهش داد.

### ۱- مقدمه

آبخیز شهری یا نزدیک به شهرها ایجاد شود (Abd-Elhamid et al. 2020). این تغییرات عموماً به صورت توسعه نواحی شهری در بستر و حریم مسیل ها و آبراهه ها و تغییر کاربری اراضی و کاهش نفوذپذیری زمین بروز می کند

فعالیت های مضر بشری، اغلب افزایش سیلاب ها را در پی دارد. افزایش جمعیت، پیشرفت علم و گسترش تأسیسات صنعتی و کمبود مکان برای ساخت و ساز، به ویژه کلان شهرها، باعث شده است تا تغییرات شدیدی در مورفولوژی حوضه های



کاهش یافته و کیفیت آن نیز بهبود می‌یابد (González-Álvarez et al. 2020).

از جمله علل گرایش پژوهش‌گران 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 اثربخشی طرح‌ها با کنترل رواناب در مقیاس کوچک اشاره کرد (Kumar and Joshi 2015; Karami et al. 2016). در یکی از اولین پژوهش‌ها در زمینه مدل‌سازی طرح‌های توسعه کم اثر، Elliott and Trowsdale (2007) ۱۰ مدل از سری مدل‌های سیلاب شهری را بررسی و مقایسه کردند. مقایسه آن‌ها شامل توانایی‌های مدل‌سازی کمی و کیفی است. در مطالعه آن‌ها، برخی جنبه‌ها مانند دقت در مقیاس زمانی و مکانی؛ دامنه آلاینده‌ها، مدل‌سازی تولید و جابجایی آلاینده‌ها با جزئیات مورد ارزیابی قرار گرفتند؛ در حالی که جنبه‌های دیگر مانند روش‌های برآورد رواناب، مسیریابی جریان، توانایی‌های مدل‌سازی هیدرولوژیکی و بحث دقیق در مورد روش‌ها از مدل‌سازی زیرساخت‌های سبز<sup>۳</sup> نادیده گرفته می‌شوند. آن‌ها بیان نموده‌اند که مدیریت صرفاً سازه‌ای رواناب‌های شهری، علاوه بر هزینه‌های بسیار زیاد، دارای معایب محیط‌زیستی بسیاری است که کاهش نفوذپذیری از مهم‌ترین معایب آن است.

Obropta and Kardos (2007) هشت مدل کمی شبیه‌ساز رواناب سطحی را با یکدیگر مقایسه کردند. این مدل‌ها شامل SWMM، StormCAD، HSPF، DR3M-QUAL، MOUSE، Urban Sewers، Hydroworks بوده است. آن‌ها نتیجه گرفتند که رویکردهای ترکیبی شامل مدل‌های هیدرولوژیکی و مدل زیرساخت‌های سبز، باعث کاهش خطاها و کاهش هزینه‌های طراحی سامانه‌های رواناب شهری می‌شوند. (Ahiablame et al. 2012) سه مدل با قابلیت مدل‌سازی LID را بررسی کردند: مدل L-THIA-LID به‌عنوان مدل ارزیابی تأثیر هیدرولوژیکی بلند مدت توسعه کم اثر، SWMM به‌عنوان مدل مدیریت رواناب سطحی و SUSTAIN سامانه‌ای برای تحلیل تصفیه آب و فاضلاب شهری. در مطالعه آن‌ها، رویکردهای LID به‌صورت تلفیقی با رویکردهای سازه‌ای، مورد توجه هستند. سه بررسی دیگر در

(Arman et al. 2019). از سوی دیگر، آسیب‌های توسعه شهرها شامل تخریب درختان و پوشش گیاهی و کاهش نفوذپذیری زمین و در نتیجه کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی است که این مسائل به‌عنوان آسیبی جدی برای محیط‌زیست محدوده شهری به‌شمار می‌روند (Ariza et al. 2019). بنابراین، این تغییرات تشدید خطر سیل‌خیزی و آب‌گرفتگی معابر را در پی خواهد داشت و هزینه‌های تعمیر و نگهداری و خسارات احتمالی مالی و جانی را به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد (Solecki et al. 2011).

برای بررسی فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی موجود در سامانه‌های رواناب سطحی در محدوده شهرها و حوضه‌ها، از مدل‌های محاسباتی استفاده می‌شود. این مدل‌ها خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه شامل نفوذ و بارندگی را در نظر گرفته و خصوصیات هیدرولوژیکی شامل دبی، سرعت و شیب را در نقاط مختلف درون حوضه شبیه‌سازی می‌کند (Hossain et al. 2016). یکی از این مدل‌ها، مدل Bentley StormCAD است که با حل محاسبات جریان‌های بارشی به روش‌های عددی این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان در شرایط مختلف سامانه‌های زه‌کشی مناسبی طراحی کرد (Jia et al. 2012). اما طراحی شبکه‌ها صرفاً با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و به کمک روش‌های سازه‌ای (مانند کانال‌های روباز و سرپوشیده یا لوله‌های زهکش و جمع‌آوری رواناب)، علاوه بر اینکه مقرون‌به‌صرفه نبوده، با محیط‌زیست شهری نیز همخوانی ندارد. این نوع طراحی، شهر را مجدداً به سمت کم نفوذپذیر شدن هدایت می‌کند (Noori et al. 2018). از جمله اقدامات کنترل‌کننده هیدرولوژیکی که به‌طور عمده مبتنی بر نفوذ و ذخیره‌سازی موضعی رواناب در مقیاس کوچک هستند، روش‌های توسعه کم اثر<sup>۱</sup> و روش‌های بهینه مدیریتی<sup>۲</sup> یا به‌اختصار روش‌های LID-BMP است (Hai 2020). هدف این روش‌ها، تلاش برای برگرداندن حوضه شهری به شرایط طبیعی و جلوگیری از گسترش اراضی نفوذناپذیر و کم نفوذپذیر در محدوده شهری است. در نتیجه استفاده از این روش‌ها، حجم کلی رواناب در خروجی حوضه

1 Low Impact Development

2 Best Management Practice

3 Green Infrastructure, GI



زیرساخت‌های سبز، معیارها و خصوصیات طراحی آن‌ها، ادغام شبکه‌های جمع‌آوری رواناب سطحی با زیرساخت‌های سبز در یک حوضه آبریز شهری، تجزیه و تحلیل مقیاس مکانی و زمانی و تجزیه و تحلیل کاربرد مدل و بررسی اقتصادی طرح است. بنابراین در پژوهش حاضر ابتدا به بررسی جنبه‌های هیدرولیکی- هیدرولوژیکی مدیریت رواناب در دانشگاه پرداخته شده و سپس از طریق مدل‌سازی، تلفیق روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای مدیریت رواناب به همراه مقایسه اقتصادی ارائه شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد با مساحت ۲۹۴/۷ در ضلع شمالی شهر نجف‌آباد و ضلع غربی شهر اصفهان قرار گرفته است. استقرار بیش از ۲۰۰۰۰ نفر جمعیت در دانشگاه، بیش از ۲۲ دانشکده و مرکز تحقیقاتی و ۱۹۳ کارگاه و آزمایشگاه در کنار قرارگیری این دانشگاه در دامنه کوه موجب شده است هر ساله مشکلات آب‌گرفتگی و رواناب سطحی در این دانشگاه دیده شود که در نتیجه آن برخی از تأسیسات زیربنایی نظیر جاده‌ها و شبکه‌های آب، برق و گاز آسیب دیده‌اند (Anonymous 2021). همچنین وجود اراضی بایر، بیشه‌زار و فضاهای سبز وسیع موجود در دانشگاه، ایده استفاده از رویکردهای نوین را در قالب طرح‌های LID-BMP در این دانشگاه توجیه‌پذیر نموده است. در همین راستا، کل محوطه دانشگاه آزاد نجف‌آباد، یک مرتبه به کمک پهباد نقشه‌برداری و سپس به کمک GPS دو فرکانسه و برداشت ۹۷۸ نقطه در سطح دانشگاه، عملیات نقشه‌برداری تکمیل شد. در برداشت زمینی نقاط، سعی شده است تا از طریق برداشت رقوم سطح زمین و رقوم کف (در ناهمواری‌ها)، نقشه‌برداری پهباد کالیبره و اعتبارسنجی شود. لازم به ذکر است دوربین نقشه‌برداری پهباد از نوع مدل PHANTOM 4 PRO محصول شرکت DJI و GPS نیز از نوع مدل V90 Plus GNSS RTK System است. در شکل (۱)، نقشه‌های رقومی منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.

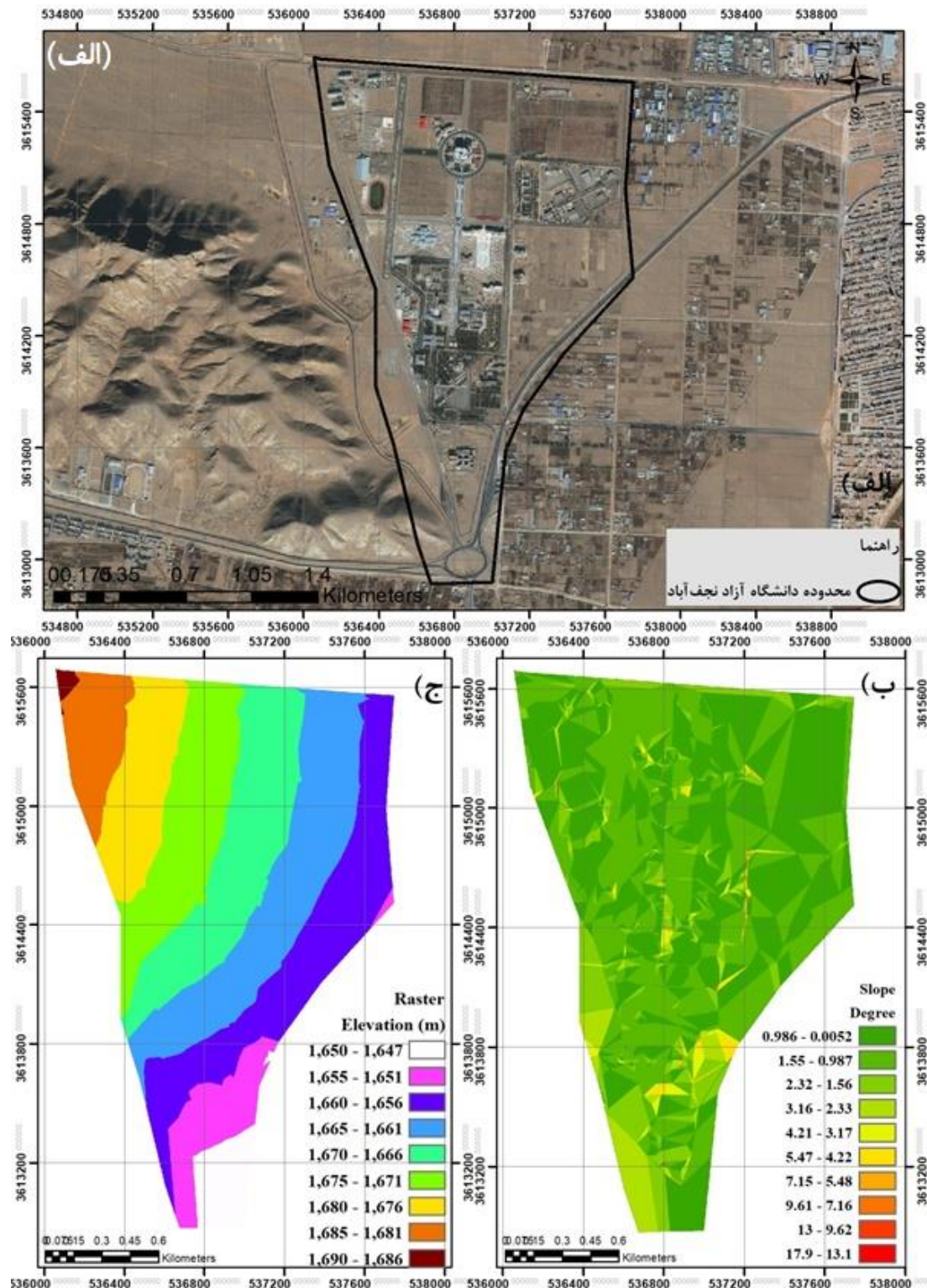
مورد مدل‌های LID بر جنبه خاصی مانند نفوذ، کیفیت آب یا جنبه‌های اقتصادی متمرکز شده است. در پژوهش (Campisano et al. (2017) به ارزیابی استفاده از سامانه‌های توسعه کم اثر در قالب شبکه‌های ذخیره باران با استفاده از مدل SWMM<sup>۱</sup> پرداخته شد. بارش طرح، بارش‌های طولانی‌مدت و تک رخداد انتخاب شده است که نتایج نشان داده است که دقت استفاده از این سامانه‌ها در بارش‌های طولانی‌مدت بیشتر است. (Niazi et al. (2017) قابلیت SWMM را برای شبیه‌سازی کیفیت آب در حوزه‌های آبخیز دارای LID<sup>۲</sup> ارزیابی کرد. در پژوهش آن‌ها توانایی مدل برای شبیه‌سازی کمیت رواناب سطحی مورد بحث قرار نگرفته است. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که SWMM با کاربردهای هیدرولوژیکی در مقیاس بزرگ و متوسط سازگار است. علاوه بر این، مطالعه آن‌ها نشان داد که SWMM برای شبیه‌سازی جابجایی آلاینده‌ها در زیرساخت‌های سبز باید بهبود یابد.

(Ghashghaezadeh et al. (2019) نقاط حساس به آب‌گرفتگی در سیستم رواناب سطحی را شناسایی و بهترین گزینه‌های عملیاتی جهت کنترل سیلاب را ارزیابی کردند. نتایج نشان می‌دهد با اعمال سناریو پشت‌بام سبز میزان دبی در حدود ۱۸ تا ۱۹٪ و با اعمال سناریو جوی باغچه نسبت به سناریو بدون استفاده از راهکار مدیریتی میزان دبی در حدود ۹ تا ۱۱٪ کاهش می‌یابد. طبق نتایج به دست آمده پشت‌بام سبز بهترین راهکار و عملکرد را دارد. (Poursahebi et al. (2019) اثر روش‌های LID-BMP را با استفاده از مدل SWMM بر میزان رواناب منطقه ۲۲ تهران با مساحت ۵۴۰۰۰ ha بررسی کردند. مقایسه نتایج تغییرات دبی رواناب با دوره بازگشت‌های مختلف سناریوهای توسعه کم اثر نسبت به وضعیت فعلی نشان می‌دهد که ایجاد سناریوهای LID در برخی زیرحوضه‌ها سبب کاهش دبی اوج رواناب شده و به‌طور کلی اجرای بام سبز بیش‌ترین و اجرای جوی باغچه کم‌ترین اثر را در کاهش رواناب دارد.

سایر مطالعات قبلی فاقد تحلیل دقیق هیدرولوژیکی و هیدرولیکی شبکه رواناب‌های سطحی و انواع مختلف

<sup>۱</sup>Storm Water Management Model

<sup>۲</sup>Low Impact Development



شکل ۱- (الف) تصویر ماهواره‌ای، (ب) طبقات شیب، و (ج) طبقات ارتفاع دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد  
 Fig. 1 a) Satellite image, b) Slope, and c) RASTER of Islamic Azad University of Najafabad

آبخیز باشد. این مفهوم را از نظر ریاضی می‌توان به صورت رابطه (۱) ارائه نمود (Camilo et al. 2020).

$$Q = 1/360 CIA \quad (1)$$

که،  $Q$  حداکثر میزان رواناب یا دبی اوج سیل ( $m^3/s$ ) با دوره بازگشتی برابر دوره بازگشت رگبار،  $C$  ضریب رواناب (بدون

## ۲-۲- مدل StormCAD

در این مدل از رایج‌ترین روش محاسبه دبی اوج رواناب سطحی در حوضه‌های کوچک یعنی روش استدلالی استفاده می‌شود. مطابق این روش، حداکثر میزان رواناب زمانی حاصل می‌شود که دوره بارندگی معادل با زمان تمرکز در حوضه

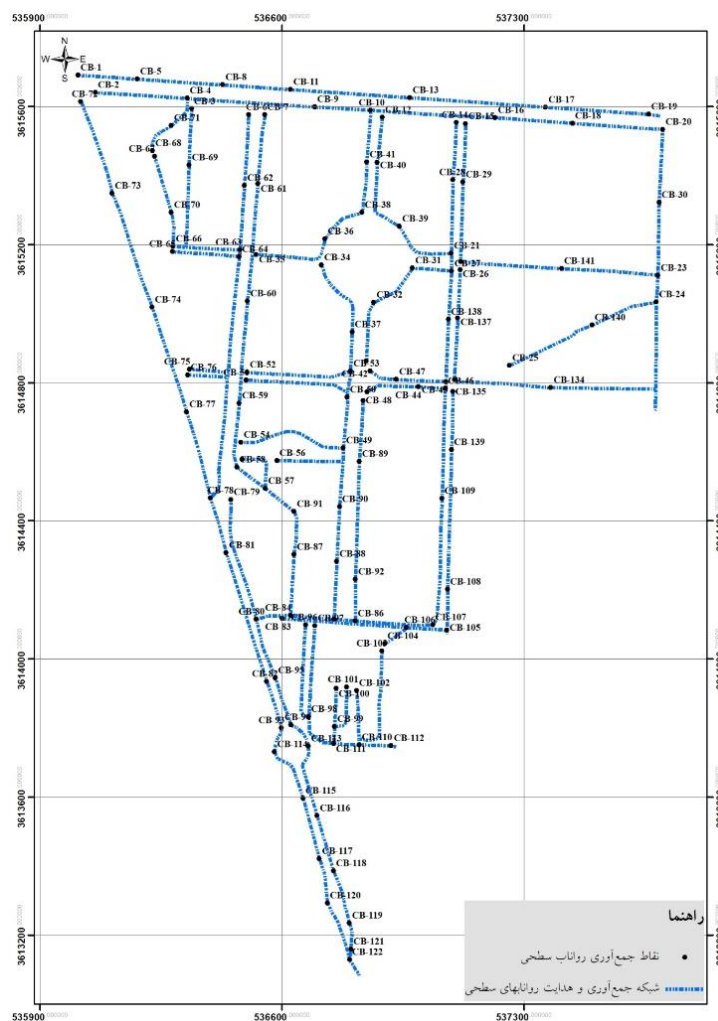
که،  $P_t$  مقدار بارندگی برای پایه زمانی مورد نظر (mm)، و  $T$  پایه زمانی مورد نظر ( $T_c$ ) بر حسب hr است. در روش استدلالی برای محاسبه زمان تمرکز اغلب از فرمول کریچ (Bala) مطابق رابطه (۳) استفاده می‌شود که عبارت است از (et al. 2009).

$$T_c = 0.0003L^{0.77}S^{0.385} \quad (۳)$$

که،  $T_c$  زمان تمرکز (hr)،  $L$  حداکثر طول مسیر حرکت آب (m) و  $S$  شیب زمین (m/m) است. مبنای روش استدلالی این است که حداکثر رواناب حوزه در زمانی ایجاد خواهد شد که تمامی اجزای آن حوزه در تشکیل رواناب نقش داشته باشند و باران نیز به‌طور یکنواخت روی سطح حوزه بیارد.

(بعد) ثابت در طول بارش،  $I$  حداکثر شدت بارندگی در زمان تمرکز ( $mm/hr$ ) و  $A$  مساحت حوضه آبخیز (ha) است. یکی از عوامل مورد نیاز جهت برآورد شدت و مقدار بارندگی‌های کوتاه‌مدت در روش مذکور، حداکثر بارش ۲۴ hr ( $P_{24}$ ) است. بدین منظور و با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه از آمار ایستگاه سینوپتیک نجف‌آباد استفاده شده است. پس از محاسبه  $P_{24}$ ، با استفاده از رابطه (۲) مقدار بارندگی برای پایه زمانی مورد نظر بر حسب mm محاسبه می‌شود (Shinma and Reis 2013).

$$P_t = 0.489P_{24}T^{0.225} \quad (۲)$$



شکل ۲- مدل هیدرولیکی شبکه رواناب‌های سطحی منطقه مورد مطالعه

Fig. 2 Hydraulic model of surface runoff network in the study area

زیرحوضه‌ها و کاهش دبی رواناب‌های سطحی؛ امکان ایجاد طرح‌های موضعی زیرساخت‌های سبز با توجه به کوچک بودن زیرحوضه‌ها؛ و کاهش نیاز به سازه‌های جمع‌آوری و هدایت سیلاب.

## ۲-۳- ایجاد زیرحوضه‌های دانشگاه

برای محاسبه  $A$  در روش استدلالی و با توجه به هدف مطالعه، تقسیم حوضه به تعداد زیادی زیرحوضه می‌تواند چندین مزیت به همراه داشته باشد از جمله: کاهش مساحت



تقسیم‌بندی شده است و شبکه جمع‌آوری، هدایت و دفع آب‌های سطحی در مدل Bentley StormCAD ایجاد و در شکل (۲) نمایش داده شده است.

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- مدل‌سازی هیدرولیکی

خروجی‌های مدل هیدرولیکی نرم‌افزار Bentley StormCAD شامل پارامترهای هیدرولیکی مختلف نظیر سرعت، دبی، شیب، رقوم کف و سطح سازه و عمق اجرایی استخراج شد. در مرحله بعدی، مقدار دبی و سرعت در تمامی شبکه جمع‌آوری و هدایت آب‌های سطحی به طول  $m$  ۲۴۶۷۱ محاسبه و در جدول (۱)، خلاصه اطلاعات نمایش داده شده است.

جدول ۱- مقادیر دبی در سیستم جمع‌آوری رواناب‌های سطحی دانشگاه آزاد نجف‌آباد

Table 1 Flow Discharge in the surface runoff collection system of Islamic Azad University of Najafabad

Parameter	Return Period (Year)					
	2	5	10	25	50	100
	Discharge ( $m^3/s$ )					
Mean	0.26	0.37	0.45	0.56	0.65	0.74
Max	2.19	3.16	3.89	4.86	5.59	6.33
Min	0.005	0.01	0.015	0.02	0.03	0.04
Std.d	0.31	0.44	0.54	0.68	0.79	0.89
	Velocity (m/s)					
Mean	1.75	1.93	2.00	2.11	2.24	2.41
Max	4.55	5.08	5.39	5.72	5.93	5.92
Min	0.280	0.33	0.350	0.39	0.41	0.43
Std.d	0.77	0.85	0.90	0.94	0.97	1.04

منطقه و معابر موجود، بیشینه، کمینه و میانگین شیب در کل سیستم به ترتیب معادل  $0.03$ ،  $0.26$  و  $m/m$   $0.119$  است. شیب منفی در قسمت‌های بسیار کمی از سیستم به دلیل گودی‌های موجود در سطح زمین و خاک‌برداری یا خاک‌ریزی‌های صورت گرفته دیده می‌شود. بنابراین دامنه تغییرات شیب در محدوده قابل قبول قرار دارد.

در گام بعدی، ابعاد هندسی استاندارد کانال‌های بتنی مستطیلی شکل به مدل StormCAD معرفی و طراحی ابعاد بهینه جهت عبور مطمئن سیلاب، توسط مدل صورت گرفته است. سپس براساس طول هریک از مقاطع اجرایی و به کمک فهرست‌بهای آبیاری-زهکشی سال ۱۴۰۰، برآورد مالی هزینه احداث شبکه در جدول (۲) ارائه شده است.

بنابراین براساس گرہ‌ها (واحد‌ها) ی جمع‌کننده رواناب که در ابتدای و انتهای هر معبر با توجه به شیب عمومی زمین تعریف شده‌اند، چندضلعی‌های تیسسن<sup>۱</sup> جهت ایجاد زیرحوضه‌های مطالعاتی، ترسیم شده است. به کمک شبکه تیسسن روش پلیگون تیسسن به‌عنوان یکی از روش‌های درون‌یابی محسوب می‌شود که در آن، ارزش یک نقطه را به کلیه نقاطی که در مساحت منطقه‌ای آن نقطه قرار می‌گیرند، نسبت می‌دهند. در سامانه‌های اطلاعات مکانی، پلی‌گون‌های تیسسن روشی است که در آن ارزش موقعیت‌های نمونه‌برداری نشده با ارزش نقاط همسایه نمونه‌برداری شده، مساوی می‌شود. در همین راستا، دانشگاه آزاد نجف‌آباد با مساحت  $294/7$  ha، به  $134$  زیرحوضه کوچک

همان‌گونه که در جدول (۱) مشخص است در دوره بازگشت  $5$  yr (مبنای طراحی سازه‌ای)، میانگین دبی در کل شبکه،  $370$  l/s است. همچنین کم‌ترین میزان دبی، معادل  $10$  l/s است. این موضوع بدین معنی است که در صورتی که رواناب‌های سطحی در سطح دانشگاه تجمیع نشود و به‌صورت موضعی بررسی شود، میزان دبی آن‌ها نسبتاً پایین است و امکان بررسی روش‌های غیرسازه‌ای وجود دارد. حتی در دوره بازگشت‌های بالاتر نظیر  $25$  yr، کم‌ترین میزان دبی  $20$  l/s است که استفاده از روش‌های موضعی و غیرسازه‌ای را توجیه‌پذیر ساخته است. همچنین میانگین سرعت جریان سیلابی رواناب‌های سطحی در کل شبکه در دوره بازگشت  $2$ ،  $5$  و  $10$  yr به ترتیب  $1/93$ ،  $1/75$  و  $m/s$   $2$  است که در محدوده مجاز سرعت‌های سیلابی قرار دارد. با توجه به شبکه جمع‌آوری، هدایت و دفع آب‌های سطحی ایجاد شده براساس شیب عمومی

جدول ۲- برآورد مالی هزینه احداث شبکه جمع‌آوری، هدایت و دفع آب‌های سطحی

Table 2 Financial estimation of the cost of constructing a network for collecting, directing and disposing of surface runoff

Conduit Description (mm)	Cost (Rial)	Length (m)	Total Cost (Rial)
200 x 200	13650000	1,612.70	22013355000
300 x 200	13725000	2,543.30	34906792500
400 x 200	13830000	1,683.70	23285571000
500 x 200	13910000	2,087.90	29042689000
500 x 300	26800000	2,301.80	61688240000
610 x 610	27900000	9,486.00	264,659,400,000
914 x 610	31330000	2,177.80	68230474000
1,219 x 610	54236000	1,184.50	64242542000
1,219 x 914	56875000	1,187.50	67539062500
1,524 x 914	62456300	406.3	25375994690
Total Length	-	24,671.40	660,984,120,690

### ۳-۲- رویکردهای نوین

در گام بعدی، زیرساخت‌های سبز (GI) در قالب طرح‌های LID-BMP در نقاط مختلف شبکه جانمایی شده است. این طرح‌ها شامل ۱۸۹ طرح GI است که به صورت حوضچه‌های نگهداشت زیستی<sup>۲</sup>، چاه‌های جذبی<sup>۳</sup>، ترانشه‌های نفوذ<sup>۴</sup>، باغچه‌های ذخیره باران<sup>۵</sup>، حوضچه‌های موقت خشک<sup>۶</sup>، سدهای سنگی با ارتفاع تا ۰/۵ m و آبراهه‌های زیستی<sup>۷</sup> طراحی و در ۸۹ زیرحوضه درون دانشگاهی پیاده‌سازی شده است. عدم وجود زمین‌های بایر و فضاهای سبز، شیب و توسعه ساختمان‌ها به‌عنوان عامل محدودکننده در پیاده‌سازی محوطه‌های پیشنهادی در سرتاسر دانشگاه عمل کرده است. این محوطه‌های پیشنهادی در مجموع مساحتی بالغ بر ۱۰۰/۰۷ ha از مساحت دانشگاه را تحت پوشش قرار می‌دهد. بزرگ‌ترین زیرساخت سبز پیشنهادی ۲۲ ha وسعت دارد که در مجموع نزدیک به ۶۵ طرح GI را در خود جای داده است. ظرفیت هریک از محوطه‌ها در مدل StormCAD بررسی شده است و به‌منظور بالا رفتن اطمینان از کارایی سیستم پیشنهادی با توجه به تراکم جمعیتی و رفت‌وآمد، از دوره‌های بازگشت ۱۰ و ۲۵ yr استفاده شد. در شکل (۳)، جانمایی طرح‌های پیشنهادی در زیرحوضه‌های درون دانشگاهی ارائه شده است.



شکل ۳- جانمایی طرح‌های LID در زیرحوضه‌های درون دانشگاه  
Fig. 3 LID assembly within the university basins

اساس طرح‌های ارائه شده هدایت آب خیابان‌ها به نزدیک‌ترین فضای سبز یا زمین بایر است، سپس از طریق ایجاد سدهای سنگی کوتاه، فرصت ته‌نشین 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 مجدداً 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. با فرض استفاده از روش‌های غیرسازه‌ای، مدل‌سازی

<sup>1</sup>Green Infrastructures

<sup>2</sup>Bio Retention

<sup>3</sup>Soakaway

<sup>4</sup>Infiltration Trenches

<sup>5</sup>Rain Gardens

<sup>6</sup>Dry Detention Basin

<sup>7</sup>Vegetated Swale

## ۳-۳- مقایسه فنی - اقتصادی

جدول (۴)، میزان دبی در خروجی شبکه دفع آب‌های سطحی را در رویکرد صرفاً سازه‌ای و رویکرد تلفیقی را نشان داده است. همانطور که مشخص است استفاده از طرح‌های LID- BMP در دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ yr، به‌طور میانگین بالای ۹۰٪ دبی را در محل خروجی‌ها کاهش می‌دهد. این امر از طریق نفوذ موضعی رواناب سطحی در هر یک از زیرساخت‌های سبز صورت می‌گیرد. اما در دوره بازگشت‌های بالا، به دلیل افزایش شدت و سرعت سیلاب و عدم وجود فرصت کافی برای نفوذ موضعی و همچنین کافی نبودن ابعاد حوضچه‌های نفوذ و آبراهه‌های زیستی، میزان رواناب کنترل شده کاهش می‌یابد و در دوره بازگشت ۱۰۰ تا ۵۹٪ از دبی کل، به کمک طرح‌های LID کاهش می‌یابد. گرچه این رقم نسبت به دوره بازگشت‌های پایین‌تر به مراتب کم‌تر است، اما همچنان نقش زیرساخت‌های سبز در کاهش دبی کل رواناب در خروجی‌ها، قابل توجه است.

صورت گرفته در نرم افزار StormCAD نشان داده است که می‌توان حجم سیلاب معادل  $264000 \text{ m}^3$  در دوره بازگشت ۱۰ و  $317000 \text{ m}^3$  در دوره بازگشت ۲۵ yr را کنترل نمود. این حجم معادل سیلابی با دوره بازگشت ۱۰ و ۲۵ yr است که در زمان تمرکز هر یک از محوطه‌های پیشنهادی براساس روش کرپیچ محاسبه شده است. در جدول (۳)، هزینه‌های اجرایی طرح‌های LID محاسبه و ارائه شده است. بر همین مبنا هزینه‌های اجرایی به حدود نصف سناریوی سازه‌ای تقلیل یافته است.

جدول ۳- هزینه‌های اجرایی طرح LID و کانال‌های هدایت آب به سمت زیرساخت‌های سبز

Table 3 Execution costs of LID project and water Conveyance channels to the GI

Basin	Sub basins	Area (m <sup>2</sup> )	Cost (1000 Rial)
Total	189	1000720.5	5,442,000
	200×200 mm	24671 m	336,022,050
	Total		341,464,000

جدول ۴- مقایسه دبی رواناب در سه خروجی به کمک طرح‌های سازه‌ای و رویکرد تلفیقی

Table 4 Comparison of runoff Discharge in three outlets with the help of structural design and integrated approach

Outfall	System CA (ha)	Return Period (Year)					
		2	5	10	25	50	100
		Discharge (m <sup>3</sup> /s)					
OF-1	Structural Approach	1.93	2.79	3.42	4.27	4.95	5.66
	Integrated Approach	0.177	0.216	0.319	0.865	1.217	2.23
	Difference (%)	-90.83	-92.26	-90.67	-79.74	-75.41	-60.60
OF-2	Structural Approach	2.19	3.16	3.89	4.86	5.58	6.33
	Integrated Approach	0.196	0.229	0.343	0.943	1.414	2.79
	Difference (%)	-91.05	-92.75	-91.18	-80.60	-74.66	-55.92
OF-3	Structural Approach	1.41	2.03	2.49	3.13	3.62	4.11
	Integrated Approach	0.149	0.209	0.287	0.678	0.956	1.56
	Difference (%)	-89.43	-89.70	-88.47	-78.34	-73.59	-62.04
	Mean Differences (%)	-90.44	-91.57	-90.11	-79.56	-74.55	-59.52

در سال‌های مختلف و افزایش چشم‌گیر هزینه‌ها خواهد شد. از سوی دیگر طرح‌های LID-BMP گرچه هزینه اجرایی بسیار کمی دارند، اما حتماً به سازه‌های هدایت‌کننده سیلاب به درون آن‌ها نیاز است که همین امر، لزوم تلفیق روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای را نشان می‌دهد.

همچنین مقایسه اقتصادی سناریوهای مختلف، در جدول (۵) انجام شده است. آن‌گونه که مشخص است استفاده از رویکرد تلفیقی نسبت به رویکرد صرفاً سازه‌ای، ۴۸٪ از هزینه‌های اجرایی طرح را کاهش داده است. ضمن اینکه طرح‌های سازه‌ای به دلیل زمان‌بر و هزینه‌بر بودن، معمولاً طی چند سال اجرا می‌شوند و همین موضوع باعث افزایش تورم طرح

جدول ۵- مقایسه اقتصادی سناریوهای مختلف

Table 5 Economic comparison of different scenarios

FID	Cost (1000 Rial)	Percentage Difference of Structural Approach
Non- Structural Approach	5,442,000	-99.18
Integrated Approach	341,464,000	-48.34
Structural Approach	660,984,120.69	-

#### ۴- نتیجه‌گیری

۴- عدم کاربرد در دوره بازگشت‌های بالا و نیاز به سازه‌های هدایت‌کننده رواناب به درون محوطه‌های LID، معایب رویکردهای نوین هستند.

#### سیاسگزاری

از همه اساتید محترم که در بخش‌های مختلف این پژوهش راهنمایی نموده و در هرچه پربارتر شدن مقاله نقش داشته‌اند به خصوص جناب آقای دکتر آرندیان، نهایت سپاس را داریم.

#### دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولیدشده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

#### تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

با توجه به مدل‌سازی هیدرولوژیکی- هیدرولیکی صورت گرفته و همچنین استفاده از رویکردهای نوین به صورت مجزا و تلفیقی با رویکردهای سازه‌ای در جمع‌آوری، هدایت و دفع رواناب‌های سطحی دانشگاه آزاد نجف‌آباد، موارد زیر به عنوان خلاصه نتایج پژوهش حاضر ارائه می‌شود.

۱- استفاده از رویکرد تلفیقی نسبت به رویکرد صرفاً سازه‌ای موجب کاهش ۴۸٪ کل هزینه‌ها و همچنین کاهش ۹۰٪ رواناب در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰ yr می‌شود.

۲- در دوره بازگشت‌های ۲۵ تا ۱۰۰ yr به دلیل افزایش سرعت سیلاب و عدم جود فرصت کافی برای نفوذ، کارایی رویکردهای غیرسازه‌ای کاهش قابل توجهی دارد.

۳- افزایش تلسکوپی ابعاد هندسی کانال‌ها با حرکت از بالادست به سمت خروجی حوضه، افزایش کاربری‌های کم‌نفوذپذیر از طریق ایجاد کانال‌های بتنی یا سنگ و سیمان، بالا بودن هزینه‌های اجرایی و نیاز به خروجی مناسب جهت دفع مطمئن رواناب‌های سطحی، معایب اصلی رویکردهای سازه‌ای در این پژوهش بوده‌اند.

#### References

- Anonymous (2021). The Islamic Azad University of Najafabad. Available at <https://iaun.ac.ir/>.
- Abd-Elhamid, H., Zeleňáková, M., Vranayová, Z. and Fathy, I. (2020). Evaluating the impact of urban growth on the design of storm water drainage systems. *Water J.*, 12(6), 3-22.
- Ahiablame, L., Engel, B. and Chaubay, I. (2012). Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. *Water Air Soil Pollut.*, 223(2), 4253- 4273. DOI: [10.1007/s11270-012-1189-2](https://doi.org/10.1007/s11270-012-1189-2).
- Ariza, S., Martinez, J., Murioz, A., Quijano, J., Rodriguez, J. and Diaz, M. (2019). A multicriteria planning framework to locate and select sustainable urban drainage systems (SUDS) in consolidated urban area. *Sustain.*, 11(2), 3- 34. doi:10.3390/su11082312.
- Arman, N., Shahbazi, A., Faraji, M. and Dehdari, S. (2019). Effect of urban development on runoff generation by SWMM, case study: Khuzestan Province, Izeh. *Watershed Eng. Manage.*, 11(3), 750- 758 [In Persian].
- Bala, S., Islam, A., Chowdhury, U. and Rahman, R. (2009). Performance of flood control works around Dhaka city during major floods in Bangladesh, 2<sup>nd</sup> International Conference on Water & Flood Management (ICWFM-2009), Dhaka, Bangladesh.
- Camilo, M., Nakahashi, R., Vieira, J. and Okawa, C. (2020). Computational modelling of urban drainage network using LID alternatives in a sub-basin in Maringá city, Paraná, Brazil. *Universidade Federal de Santa Maria J.*, 8(1), 481- 492. Doi.10.5902/2236117062657.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, m., Friedler, E. and Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *J. Water Resour.*, 11(6), 226- 241. doi: 10.1016/j.watres.2017.02.056.
- Elliott, A. H. and Trowsdale, S. A. (2007). A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environ. Model. Software*, 22(4), 394-405.



- Ghashghaezadeh, N., Moradi, A., Malekian, A., Holisaz, A. and Mahdavi, R. (2019). Urban water challenge and urban runoff management scenarios (Case study: parts of Bandar Abbas City). *J. Urban Plan. Knowledge*, 2(3), 71- 83.
- González-Álvarez, A., Molina-Pérez, J., Meza-Zúñiga, B. and Mouthón-Bello, J. (2020). Assessing the performance of different time of concentration equations in urban ungauged watersheds: Case study of Cartagena deIndias, Colombia. *J. Hydrol.*, 47(7), 2- 18. doi:10.3390/hydrology7030047.
- Hai, D. M. (2020). Optimal planning of low-impact development for TSS control in the upper area of the Cau Bay River Basin, Vietnam. *Water J.*, 533(12), 2-15. doi:10.3390/w12020533.
- Hossain, S., Islam, A., Ali, M. and Fahad. G.R. (2016). Impact of climate change of Brahmaputra River basin on urban drainage of Goranchatbari, Dhaka. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 7(6), 765-779.
- Jia, H., Lu, Y., Yu, S. and Chen, Y. (2012). Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village. *Separat. Purifi. Technol.*, 84(6), 112- 119.
- Karami, M., Ardeshir, A. and Behzadian, K. (2016). Hazard management of inundation and pollutants in urban floods using optimal conventional and novel strategies. *Iran. Water Resour. Res.*, 11(3), 100- 113 [In Persian].
- Kumar, P. and Joshi, V. (2015). Applications of hydrological model SWAT on the upper watershed of river subarnarekha with special reference to model performance and its evaluation. *J. Basic Appl. Eng. Res.*, 8(1), 23-41.
- Niazi, M., Nietch, Ch., Maghrebi, M. and Jackson, N. (2017). Storm water management model: performance review and gap analysis. *J. Sustain. Water Built Environ.*, 3(2), 18-30.
- Noori, H., Farzin, S. and Karami, H. (2018). Performance development of modern methods using multi-objective optimization in urban runoff control. *Iran. Water Resour. Res.*, 14(3), 57- 70 [In Persian].
- Obropta, C. and Kardos, J. (2007). Review of urban stormwater quality models: deterministic, stochastic, and hybrid approaches. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 43(6), 1508- 1523. [Doi: 10.1111/j.1752-1688.2007.00124](https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00124).
- Poursahebi, A., Zakeri Niri, M. and Moazzami Goodarzi, S. (2019). Simulating of LID-BMP methods on urban runoff (Case study: District 22, Tehran). *J. Water Wastewater*, 30(3), 114-121.
- Shinma, A. and Reis, R. (2013). Incorporating Multi- event and multi-site data in the calibration of SWMM. *Proced. Eng.*, 70(11), 75- 87.
- Solecki, W., Leichenko, R. and O' Brien, K. (2011). Climate change adaptation strategies and disaster risk reduction in cities: connections, contentions and synergies. *Current Opinion Environ. Sustain.*, 3(3), 135-141.

#### How to cite this paper:

Emadi, J., Kazemi, S. M., Nasri, M. and Amelian, S. S. (2022). Technical-economical evaluation of integrated surface runoff control methods using stormCAD model and LID-BMP approaches. *Environ. Water Eng.*, 8(2), 427-439. DOI: 10.22034/JEWE.2021.295790.1597