

Journal of Water and Wastewater, Vol. 30, No.3, pp: 114-121

Simulating of LID-BMP Methods on Urban Runoff (Case Study: District 22, Tehran)

A. Poursahebi¹, M. Zakeri Niri², S. Moazami Ghoudarzi³

1. MSc. Student, Faculty of Engineering, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Assist. Prof., Young Researchers and Elite Club, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran
(Corresponding Author) Zakeri@iiu.ac.ir
3. Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Environmental Science Research Center, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran

(Received May 29, 2017 Accepted Nov. 11, 2017)

To cite this article :

Poursahebi, A., Zakeri Niri, M., Moazami Ghoudarzi, S., 2019, "Simulating of LID-BMP methods on urban runoff (case study: district 22, Tehran)." Journal of Water and Wastewater, 30(3), 114-121.
Doi: 10.22093/wwj.2018.87608.2415 (In Persian)

Abstract

Nowadays, low impact development (LID) and best management practice (BMP) are being used to reduce the impact of urban development on the runoff quantity. Regarding to this and according to Tehran position and its development, this research was conducted using SWMM model to study the effect of LID-BMP methods on runoff in district 22 of Tehran city, Iran, with area of 54000 ha. This study included five scenarios: current situation, green roof, permeable pavement, vegetative swale and green roof-permeable pavement-vegetative swale. The study was conducted for rainfall in 5 return periods (i.e. 2, 5, 10, 50 and 100 year) in 19 sub-basins. Results: The results showed that the effectiveness of all methods to reduce runoff was increased up to the return period of 50-yr and then reduced for the 100-yr return period. Green roof and vegetative swale had the most and the least effect on runoff, respectively. In addition, comparison of peak flow of these methods with the results from the Tehran Runoff Management Master Plan revealed that green roof was most effective on the peak flow reduction.

Keywords: Runoff, Best Management Process, Low Impact Development, Street Flooding.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۰، شماره ۳، صفحه: ۱۲۱-۱۱۴

شبیه‌سازی روش‌های LID-BMP بر میزان رواناب شهری (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران)

عطیه پورصاحبی^۱، محمود ذاکری نیری^۲، صابر معظمی گودرزی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران و مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، واحد اسلامشهر،

دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

۲- استادیار، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، اسلامشهر، ایران

(نویسنده مسئول) Zakeri@iaau.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، مرکز تحقیقات علوم زیست محیطی، واحد اسلامشهر،

دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

دریافت ۹۶/۳/۸ پذیرش ۹۶/۸/۲۰

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

پورصاحبی، ع، ذاکری نیری، م، معظمی گودرزی، ص، ۱۳۹۸، "شبیه‌سازی روش‌های LID-BMP بر میزان رواناب شهری (مطالعه موردی: منطقه ۲۲ تهران)" مجله آب و فاضلاب، ۳۰(۳)، ۱۲۱-۱۱۴. Doi: 10.22093/wwj.2018.87608.2415

چکیده

کاربرد روش‌های توسعه کم‌اثر و مدیریت بهینه از جمله راهکارهای مناسب برای کاهش اثرات توسعه شهری بر مقدار سیلاب است. به این منظور با توجه به موقعیت شهرستان تهران و توسعه روزافزون آن، پژوهش حاضر در مورد اثر روش‌های LID-BMP با استفاده از مدل SWMM بر میزان رواناب منطقه ۲۲ تهران با مساحت ۵۴۰۰۰ هکتار انجام شد. این پژوهش شامل پنج سناریوی شرایط فعلی، بام سبز، صفحه نفوذپذیر، جوی باغچه و بام سبز- صفحه نفوذپذیر- جوی باغچه در پنج دوره بارش (۲، ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله) برای ۱۹ زیرحوضه در این منطقه بود. نتایج نشان داد که اثربخشی هر سه روش در کاهش رواناب با افزایش دوره بازگشت بارش تا ۵۰ سال اجرای روند صعودی داشت ولی در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، اثر این روش‌ها کاهش یافت. اجرای بام سبز بیشترین و جوی باغچه کمترین اثر را در کاهش مقدار رواناب داشتند. همچنین مقایسه دبی پیک این روش‌ها نسبت به طرح جامع مدیریت سیلاب تهران نشان داد که بام سبز بیشترین اثر را بر کاهش دبی پیک سیلاب داشت.

واژه‌های کلیدی: رواناب، روش بهینه مدیریتی، روش توسعه کم‌اثر، سیلاب شهری

۱- مقدمه

کاهش رواناب شهری انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به پژوهش‌های (Hsu et al., 2000) و (Booth et al., 2002) اشاره کرد. این پژوهشگران روش‌های مختلفی ارائه کردند که اساس آن‌ها در جهت کاهش زمان تمرکز و زمان تأخیر بود. با توجه به این پژوهش‌ها می‌توان روش توسعه کم‌اثر^۱ را به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در کاهش رواناب شهری بیان کرد که شامل راهکارهای ارائه شده توسط پژوهشگران پیشین است (Young et al., 2009). این

شهرسازی و توسعه آن سبب ایجاد تغییرات در چرخه هیدرولوژی، تخریب زیرساخت‌های زهکشی و افزایش دبی پیک، سرعت و حجم رواناب ناشی از بارش می‌شود (Walsh et al., 2012). علی‌رغم این که خسارات ناشی از سیل پس از زمین‌لرزه بیشترین خسارات را به مناطق شهری وارد می‌کند (Ahmadisharaf and Tajrishy., 2014)، توجه به این رخداد از سابقه طولانی برخوردار نیست. بنابراین توجه به کاربرد روش‌هایی به منظور کاهش اثرات منفی رواناب ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات متعددی در مورد

¹ Low Impact Development



روش‌های LID-BMP بر میزان رواناب منطقه ۲۲ تهران انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۵ روی منطقه ۲۲ شهرستان تهران با مساحت ۵۴۰۰۰ هکتار و واقع در پایین دست حوضه‌های آبریز رودخانه کن و وردیج انجام شد (شکل ۱). به‌منظور شبه‌سازی رواناب حاصل از بارش در این منطقه، ابتدا نقشه عوارض مختلف، شبکه زهکشی و کاربری‌های موجود در محیط اتوکد تهیه شده، سپس به مدل SWMM فراخوانی شد. با توجه به طرح جامع شهرداری تهران و نظرات کارشناسان این سازمان، منطقه مورد نظر به ۱۹ زیرحوضه تقسیم و به مدل معرفی شد. در این پژوهش با فرض سه روش LID-BMP، پنج سناریو به‌منظور ارزیابی میزان رواناب در نظر گرفته شد. این سناریوها شامل وضعیت فعلی منطقه (سناریو ۱)، بام سبز (سناریو ۲)، ایجاد صفحه نفوذپذیر (سناریو ۳) و احداث جوی باغچه (سناریو ۴) و ترکیب هر سه مدل LID-BMP شامل بام سبز، صفحه نفوذپذیر و جوی باغچه (سناریو ۵) بودند.



Fig1. Location of Tehran 22nd district in Tehran and Iran
شکل ۱- موقعیت منطقه ۲۲ تهران در شهرستان تهران و کشور ایران

سناریوی ۲ در زیرحوضه‌های ۳، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۴ و ۱۸، سناریوی ۳ برای زیرحوضه‌های ۴، ۵، ۶، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۷ و ۱۹ و سناریوی ۴ نیز برای زیرحوضه‌های ۶، ۱۸ و ۱۹ تعیین شد. در جدول ۱ برخی از پارامترهای ورودی و در جدول ۲ مشخصات هر کدام از روش‌های LID-BMP در جدول ۲ نشان داده شده است. به‌منظور بررسی تأثیر هر سناریو در شرایط مختلف بارش، میزان بارندگی با دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به مدل معرفی شد.

روش برای نخستین بار در مریلند آمریکا اعمال شد و شامل سناریوهایی مانند بشکه باران، جوی باغچه و سطوح نفوذپذیر است که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا^۱ (EPA) در مدل مدیریت رواناب حوضه‌های شهری^۲ نیز گنجانده شده است.

با استفاده از این مدل به‌راحتی می‌توان اثر هر کدام از این سناریوها را بر تغییرات رواناب در حوضه‌های شهری بررسی کرد. به این منظور، پژوهش‌های مختلفی روی این روش با استفاده از مدل SWMM انجام شده است. سلیمانی و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از مدل SWMM و با فرض سناریوهای سنتی (افزایش ابعاد کانال) و نوین (جوی باغچه) به شبه‌سازی میزان رواناب ایجاد شده در شهر گلستان در استان تهران پرداختند (Soleimani et al., 2015). این پژوهشگران نشان دادند که سیستم جوی باغچه کارایی بهتری نسبت به روش سنتی داشت و قادر به کاهش ۵۹ درصد سیلاب در این منطقه بود.

در پژوهشی در سال ۲۰۱۷ به ارزیابی استفاده از سیستم توسعه کم‌اثر (استفاده از بشکه) توسط مدل SWMM در بارش‌های طولانی مدت و تک‌رخداد پرداخته شد و نشان داده شد که دقت استفاده از این سیستم در بارش‌های طولانی مدت بیشتر است (Campisano et al., 2017).

در پژوهش دیگری، لوآن و همکاران در سال ۲۰۱۷ با استفاده از مدل SWMM و سیستم‌های توسعه کم‌اثر به ارزیابی بارش در شهر پکن پرداختند. این پژوهشگران گزارش کردند که در بارش‌های با دوره بازگشت کمتر از ۵ سال و به‌ویژه بارش‌های با دوره بازگشت یک سال، این روش‌ها از کارایی مناسبی برخوردار هستند (Luan et al., 2017).

هانگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ به ارزیابی و مدل‌سازی ابزارهای کاهش رواناب با استفاده از مدل SWMM پرداختند. ایشان از سه سناریوی سنگ فرش متخلخل، جمع‌آوری باران و بام سبز استفاده کردند و نشان دادند که سنگ فرش متخلخل بهترین ابزار در کاهش رواناب است. و حدود ۳۰ درصد میزان رواناب را کاهش می‌دهد (Huang et al., 2017).

با توجه به اهمیت توجه به ایجاد رواناب در شهرستان تهران و عدم مطالعات کافی در این مورد، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر

¹ U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)

² Storm Water Management Model (SWMM)



جدول ۱- برخی پارامترهای ورودی به مدل SWMM

Table 1. Some of SWMM input parameters

Sub basin	Residential area (ha)		Park area (ha)		Maximum elevation (m)		Minimum elevation (m)		Slope		Curve number		
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	
1	11	0	0	40.7	30.1	1397	1294	1225	1219	9	4	76	76
2	12	11.1	0	38.5	14	1544	1269	1239	1257	15	1	76	76
3	13	29.8	0	18.8	13.4	1449	1303	1257	1228	13	6	77	76
4	14	68.1	41.2	30.3	64.8	1379	1716	1253	1267	7	14	77	79
5	15	54.8	0	64.4	37.1	1375	-	1268	-	4	0	76	76
6	16	0	0	12.2	24.1	1335	1309	1281	1228	5	5	76	76
7	17	9.1	7.9	19.4	57.4	1305	1339	1240	1257	5	3	76	76
8	18	75.7	105.8	10.5	31.6	1287	1564	1227	1241	4	16	79	78
9	19	49.5	65.1	11.4	29.9	1391	1299	1267	1254	10	2	78	77
10	-	0	-	11.1	-	1278	-	1263	-	1	-	76	-

جدول ۲- مشخصات LIDهای مورد استفاده

Table 2. Characteristics of LID methods applied in this study

LID	Parameters	Vegetative Swale	Permeable Pavement	Green Roof	Unit
Surface	Berm Height	20	30		mm
	Manning Coefficient	0.24	0.05	0.1	-
Pavement	Thickness		150		mm
	Void Ratio		0.21		-
	Permeability		100		mm.h ⁻¹
Soil	Thickness			12	mm
	Porosity			0.5	-
	Field Capacity			0.2	-
	Wilting Point			0.1	-
	Hydraulic Conductivity			0.5	mm.h ⁻¹
Storage	Slope			10	%
	Thickness		900		mm
	Porosity		75		-
Drainage	Hydraulic Conductivity				mm.h ⁻¹
	Flow Exponent		0.5		-
Slope	Offset Height		6		mm
			1	1	1
Plant Cover		90	90	90	%

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (2)$$

به منظور ارزیابی نتایج شبیه سازی مدل SWMM برای سناریوهای مختلف از آماره میانگین جذر مربعات خطا^۱، میانگین خطای مطلق^۲ و شاخص نش-سانتلیف^۳ به ترتیب به صورت معادلات ۱، ۲ و ۳ استفاده شد

¹ Root Mean Squared Error (RMSE)

² Mean Absolute Error (MAE)

³ Nash-Sutcliffe (NSE)



۰/۱۸، ۰/۲۱ و ۰/۲۰ مترمکعب بر ثانیه به‌دست آمد. میزان RMSE برای این زیرحوضه‌ها نیز به‌ترتیب برابر ۰/۲۷، ۰/۲۴ و ۰/۲۹ متر مکعب بر ثانیه تعیین شد.

این نتایج نشان داد که میزان اثر بخشی بام سبز با افزایش دوره بازگشت بارش کمتر شده است به‌طوری که برای زیرحوضه‌های ۴، ۵ و ۱۸ به‌ترتیب ۰/۹۴، ۰/۹۵ و ۰/۹ برابر کاهش یافت. نتایج مشابه نیز در دوره‌های بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌دست آمد. این نتایج نشان داد که با افزایش دوره بازگشت بارش، کاربرد بام سبز اثر بیشتری بر کاهش دبی پیک و میزان رواناب تولیدی خواهد داشت.

بیشترین اثربخشی اجرای سناریو ۳ (سطح نفوذپذیر) در دوره بازگشت ۵ ساله در زیرحوضه‌های ۴، ۵ و ۱۷ به‌دست آمد (جدول ۴). میزان MAE برای این زیرحوضه‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۱۷، ۰/۲۰ و ۰/۱۸ و میزان RMSE به‌ترتیب برابر ۰/۲۱، ۰/۲۴ و ۰/۲۵ مترمکعب بر ثانیه تعیین شد.

در دوره بازگشت ۱۰ ساله، بیشترین اثر صفحه نفوذپذیر بر کاهش دبی اوج رواناب در زیرحوضه‌های ۵، ۱۱ و ۱۹ به‌دست آمد. در این زیرحوضه‌ها مقدار MAE به‌ترتیب برابر با ۰/۰۶، ۰/۰۶ و ۰/۰۵ متر مکعب بر ثانیه بود. مقدار RMSE نیز به‌ترتیب برابر با ۰/۰۸، ۰/۱۲ و ۰/۰۷ به‌دست آمد.

در همه زیرحوضه‌های اشاره شده، با افزایش دوره بازگشت بارش اثربخشی سطح نفوذپذیر بر کاهش مقدار رواناب و دبی پیک بیشتر شد. بیشترین اثر صفحه نفوذپذیر در دوره بازگشت ۵۰ ساله در زیرحوضه‌های ۵، ۱۱، ۱۴ و ۱۹ مشاهده شد به‌طوری که مقدار MAE برای این زیرحوضه‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۰۶، ۰/۰۹، ۰/۰۷ و ۰/۰۷ متر مکعب بر ثانیه به‌دست آمد. مقدار RMSE نیز برای این زیرحوضه‌ها به‌ترتیب برابر ۰/۰۸، ۰/۱۹، ۰/۰۷ و ۰/۱۰ متر مکعب بر ثانیه تعیین شد.

استفاده از سناریوی ۴ (جوی باغچه) در دوره بازگشت ۵ ساله در زیرحوضه‌های ۶، ۱۸ و ۱۹ سبب تغییرات اندکی در دبی اوج رواناب شد (جدول ۵). در بهترین حالت نیز تنها سبب تغییرات جزئی در زیرحوضه ۱۹ شد. مقادیر MAE و RMSE برای این زیرحوضه به‌ترتیب برابر ۰/۰۹ و ۰/۰۲ متر مکعب بر ثانیه تعیین شد که نشان دهنده عملکرد ضعیف این سناریو در کاهش رواناب بود. در دوره بازگشت ۱۰ ساله، اجرای سناریوی ۴ (جوی باغچه) در

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

که در این معادلات

P_i مقادیر رواناب شبه‌سازی شده در سناریوی ۱ (بدون اعمال LID و BMP)، O_i مقادیر شبه‌سازی شده رواناب توسط مدل SWMM برای هر سناریو، n تعداد زیرحوضه‌ها و \bar{O} میانگین مقادیر شبه‌سازی شده رواناب برای سایر سناریوها است. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق در بدترین شرایط برابر صفر است که این نشان دهنده عدم تأثیر روش‌های مدیریت سیلاب بر کاهش دبی رواناب است.

۳- نتایج و بحث

مقایسه نتایج تغییرات دبی رواناب با دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای سناریوی ۲ (بام سبز) در ۱۹ زیرحوضه منطقه تهران در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج مشابه برای سناریوهای ۳، ۴ و ۵ نیز به‌ترتیب در جداول ۴، ۵ و ۶ مشاهده می‌شود. این نتایج به‌ترتیب بر اساس مقایسه سناریوهای ایجاد بام سبز، ایجاد جوی باغچه، ایجاد سطح نفوذپذیر و ایجاد بام سبز-جوی باغچه-سطح نفوذپذیر نسبت به وضعیت فعلی به‌دست آمده است.

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، ایجاد سناریوی ۲ (بام سبز) در دوره بازگشت ۵ ساله در برخی زیرحوضه‌ها سبب کاهش محسوس دبی پیک رواناب شد ولی در برخی زیرحوضه‌ها نیز اثر کمتری بر این عوامل داشت. مهم‌ترین علت میزان اثربخشی این سناریو را می‌توان مساحت در نظر گرفته شده برای ایجاد بام سبز در هر زیرحوضه دانست. البته اختلاف کاربری اراضی و تراکم ساختمان‌های موجود در هر زیرحوضه نیز بر میزان کارایی بام سبز اثر گذاشته است.

این نتایج در پژوهش‌هایی مانند (Carter and Jackson, 2007, 2007, 2007, Hilten et al., 2008, Getter et al., 2007) نیز گزارش شده است. این سناریو در دوره بازگشت ۱۰ ساله در زیرحوضه‌های ۴، ۵ و ۱۸ بیشترین اثربخشی را در کاهش رواناب تولیدی داشت به‌طوری که میزان MAE برای این زیرحوضه‌ها به‌ترتیب برابر



جدول ۳- مقایسه اجرای سناریو ۲ (بام سبز) نسبت به وضعیت فعلی بر میزان رواناب (مترمکعب بر ثانیه)

زیرحوضه‌های مورد بررسی در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

Table 3. Comparison of Scenario 2 (green roof) to Scenario 1 (current situation) in the case of sub-basins runoff ($m^3 \cdot s^{-1}$) for 2, 5, 10, 50 and 100 year return periods

Sub basin	5-year return period			10-year return period			50-year return period			100-year return period		
	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE
3	0.16	0.11	-14.63	0.19	0.11	-12.33	0.22	0.11	-1.93	0.22	0.11	-0.21
4	0.21	0.17	-33.31	0.24	0.18	-28.85	0.32	0.20	-9.31	0.29	0.19	-1.10
5	0.24	0.20	-45.69	0.27	0.21	-55.35	0.27	0.21	-55.35	0.35	0.23	-1.49
8	0.10	0.07	-14.64	0.13	0.08	-12.23	0.14	0.07	-0.70	0.13	0.07	-14.34
9	0.11	0.06	-8.42	0.14	0.07	-7.04	0.14	0.06	0.19	0.15	0.06	0.36
14	0.10	0.08	-24.95	0.14	0.11	-28.42	0.24	0.20	-23.63	0.28	0.24	-12.94
18	0.25	0.18	-19.93	0.29	0.20	-15.79	0.33	0.20	-1.41	0.30	0.18	0.26

جدول ۴- مقایسه اجرای سناریو ۳ (صفحه نفوذپذیر) نسبت به وضعیت فعلی بر میزان رواناب (مترمکعب بر ثانیه)

زیرحوضه‌های مورد بررسی در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

Table 4. Comparison of Scenario 3 (permeable pavement) to Scenario 1 (current situation) in the case of sub-basins runoff ($m^3 \cdot s^{-1}$) for 2, 5, 10, 50 and 100 return periods

Sub basin	5-year return period			10-year return period			50-year return period			100-year return period		
	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE
4	0	0	0.76	0.04	0.02	0.61	0.06	0.03	-0.59	0.07	0.04	0.086
5	0.06	0.05	0.64	0.08	0.06	0.35	0.08	0.06	0.35	0.13	0.01	0.62
6	0.03	0.01	0.90	0.04	0.01	0.88	0.07	0.02	0.88	0.07	0.02	0.88
11	0.10	0.05	0.64	0.12	0.06	0.65	0.19	0.09	0.65	0	0	1
12	0.04	0.02	0.71	0.05	0.02	0.71	0.08	0.04	0.72	0	0	1
14	0.05	0.04	-0.32	0.04	0.03	0.96	0.07	0.07	0.74	0.08	0.08	0.76
17	0.04	0.03	0.95	0.04	0.03	0.96	0.06	0.05	0.96	0	0	1

جدول ۵- مقایسه اجرای سناریو ۴ (جوی باغچه) نسبت به وضعیت فعلی بر میزان رواناب (مترمکعب بر ثانیه)

زیرحوضه‌های مورد بررسی در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

Table 5. Comparison of Scenario 4 (vegetative swale) to Scenario 1 (current situation) in the case of sub-basins runoff ($m^3 \cdot s^{-1}$) for 2, 5, 10, 50 and 100 return periods

Sub basin	5-year return period			10-year return period			50-year return period			100-year return period		
	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE
6	0.024	0.006	0.95	0.004	0.001	0.99	0.006	0.002	0.99	0.007	0.002	0.99
18	0.01	0.006	0.99	0.014	0.007	0.99	0.02	0.01	0.99	0.02	0.01	0.99
19	0.02	0.009	0.97	0.006	0.003	0.99	0.007	0.004	0.99	0.008	0.004	0.99



جدول ۶- مقایسه اجرای سناریو ۵ (بام سبز، صفحه نفوذپذیر و جوی باغچه) نسبت به وضعیت فعلی بر میزان رواناب (مترمکعب بر ثانیه) زیرحوضه‌های مورد بررسی در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله

Table 6. Comparison of Scenario 5 (green roof, permeable pavement and vegetative swale) to Scenario 1 (current situation) in the case of sub-basins runoff ($m^3 \cdot s^{-1}$) for 2, 5, 10, 50 and 100 return periods

Sub basin	5-year period			10-year period			50-year period			100-year period		
	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE	RSME	MAE	NSE
2	0	0	1	0	0	1	0.24	0.07	0.18	0	0	1
3	0.16	0.11	-14.63	0.19	0.11	-12.33	0.31	0.15	-57.30	0.22	0.11	-0.12
4	0.22	0.07	-34.01	0.26	0.18	-39.14	0.42	0.29	-86016	0.34	0.21	-3.81
5	0.25	0.20	-31.18	0.29	0.22	-49.74	0.29	0.22	49.74	0.42	0.28	-5.30
6	0.04	0.01	0.77	0.05	0.01	0.69	0.13	0.04	-1.82	0.08	0.02	0.68
8	0.10	0.07	-14.34	0.13	0.08	-12.23	0.22	0.10	-61.19	0.13	0.07	-14.34
9	0.11	0.06	-8.42	0.14	0.07	-7.04	0.24	0.09	-38.60	0.15	0.06	0.36
11	0.10	0.05	-0.16	0.12	0.06	-0.16	0.25	0.11	-5.54	0	0	1
12	0.04	0.02	0.20	0.05	0.02	0.21	0.11	0.05	-4.04	0	0	1
14	0.15	0.12	-24.49	0.20	0.16	-43.47	0.34	0.20	-118.9	0.37	0.31	-55.63
17	0.04	0.03	0.95	0.04	0.03	0.95	0.24	0.14	-0.70	0.07	0.06	0.96
18	0.31	0.18	-34.71	0.39	0.21	-54.74	0.57	0.26	-110.37	0.61	0.29	-116.46
19	0.06	0.04	0.71	0.07	0.05	0.69	0.20	0.11	-2.03	0.13	0.08	0.70

پرداخته شد. نتایج نشان داد که در بین سناریوهای مورد استفاده، اجرای بام سبز بیشترین و اجرای جوی باغچه کمترین اثر را در کاهش مقدار رواناب داشتند.

همچنین با افزایش دوره بازگشت بارش تا ۵۰ سال، اثربخشی روش‌های LID-BMP افزایش یافت. پس از این دوره، از شدت اثر بخشی این روش‌ها کاسته شد. مقایسه اثر هر کدام از سناریوها نسبت به طرح جامع نیز نشان داد که اجرای صفحه نفوذپذیر کمترین اثر و سناریوهای بام سبز و جوی باغچه بیشترین اثر را بر کاهش دبی پیک رواناب داشتند.

بر اساس نتایج این پژوهش و با توجه به این که جوی باغچه برای سایت‌های صنعتی و زمین‌های با شیب زیاد مناسب نیست و این روش اگر به درستی نگهداری نشود، نسبت به سایر روش‌های LID-BMP در معرض تخریب بیشتری قرار می‌گیرد، بام سبز به‌عنوان کاراترین روش در مدیریت رواناب در این منطقه پیشنهاد می‌شود.

۵- قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از حمایت‌های دانشگاه آزاد اسلامی در انجام این پژوهش اعلام می‌دارند.

زیرحوضه‌های ۶، ۱۸ و ۱۹ نیز اثر اندکی بر تغییرات دبی اوج سیلاب نشان داد. تغییر دوره بازگشت بارش از ۵ به ۱۰ سال و همچنین از ۱۰ به ۵۰ سال تقریباً اثری بر دبی رواناب تولید شده نداشت. با این وجود اثرات جزئی در کاهش رواناب تولید شده در زیرحوضه‌های ۶، ۱۸ و ۱۹ مشاهده شد. در این سناریو، افزایش دوره بازگشت بارش به ۱۰۰ سال نیز بر تغییرات رواناب اثر نداشت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوی ۵ (بام سبز+صفحه نفوذپذیر+جوی باغچه) نشان داد که زیرحوضه‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۷ و ۱۹ نسبت به وضعیت فعلی کاهش رواناب داشتند (جدول ۶). با این وجود میزان کاهش رواناب در زیرحوضه‌های ۳ و ۶ برابر با مقدار به‌دست آمده در سناریوی ۲ بود. علت آن نیز عدم اثربخشی دو سناریوی ۳ و ۴ بر میزان کاهش رواناب بود. بهترین شرایط کاهش رواناب در زیرحوضه‌های ۵ و ۱۸ مشاهده شد به طوری که میزان MAE این زیرحوضه‌ها به ترتیب برابر ۰/۲۰ و ۰/۱۸ متر مکعب بر ثانیه به‌دست آمد.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی اثر روش‌های بام سبز، صفحه نفوذپذیر و جوی باغچه بر میزان رواناب ناشی از بارش در منطقه ۲۲ تهران



References

- Ahmadisharaf, E. & Tajrishy, M. 2015. Siting detention basins using SWMM and spatial multi-criteria decision making. *Journal of Water and Wastewater*, 25(6), 57-66. (In Persian)
- Booth, D.B., Hartley, D. & Jackson, R. 2002. Forest cover, impervious-surface area, and the mitigation of stormwater impacts. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(3), 835-845.
- Campisano, A., Catania, F.V. & Modica, C. 2017. Evaluating the SWMM LID editor rain barrel option for the estimation of retention potential of rainwater harvesting systems. *Urban Water Journal*, 14(8), 876-881.
- Carter, T. & Jackson, C.R. 2007. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning*, 80(1-2), 84-94.
- Getter, K.L., Rowe, D.B. & Andresen, J.A. 2007. Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. *Ecological Engineering*, 31(4), 225-231.
- Hiltner, R.N., Lawrence, T.M. & Tollner, E.W. 2008. Modeling stormwater runoff from green roofs with HYDRUS-1D. *Journal of Hydrology*, 358(3-4), 288-293.
- Hsu, M.H., Chen, S.H. & Chang, T.J. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. *Journal of Hydrology*, 234(1-2), 21-37.
- Huang, T., Wang, Y. & Zhang, J. 2017. Simulation and evaluation of low impact development of urban residential district based on SWMM and GIS. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing, Hangzhou, China, Vol. 74, No. 1, p. 012009.
- Luan, Q., Fu, X., Song, C., Wang, H., Liu, J. & Wang, Y. 2017. Runoff effect evaluation of LID through SWMM in typical mountainous, low-lying urban areas: A case study in China. *Water*, 9(6), 439.
- Soleymani, M., Behzadian, K. & Ardeshtir, A., 2015. Evaluation of strategies for modifying urban storm water drainage system using risk-based criteria, *Journal of Water & Wastewater*, 26 (6), 16-29. (In Persian)
- Walsh, C.J., Fletcher, T.D. & Burns, M.J. 2012. Urban stormwater runoff: A new class of environmental flow problem. *PLoS One*, 7(9), Article No. 45814.
- Young, K.D., Kibler, D.F., Benham, B.L. & Loganathan, G.V. 2009. Application of the analytical hierarchical process for improved selection of storm-water BMPs. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 135(4), 264-275.

