تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال هفدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰
Volume 17, No. 1, Spring 2021 (IR-WRR)
۲۱۲-۲۲۷

بررسی امکان استفاده از رواناب‌های سطحی در شهر مشهد

مهدی نجفی[۱] و بهاره اسکندری تربقان[۲*]

چکیده

یکی از مهمترین اثرات تغییر کاربری اراضی و تبدیل حوضه‌های طبیعی به شهری، کاهش سطوح نفوذپذیر و در نتیجه افزایش احتمال وقوع سیلاب‌های شهری و آبگرفتگی معابر در هنگام بارندگی می‌باشد. با توجه به افزایش بی‌سابقه وسعت شهر مشهد در سال‌های اخیر و به دنبال آن افزایش پتانسیل رواناب ناشی از بارندگی‌ها از یک طرف و کمبود جدی منابع آب از طرف دیگر، انجام یک مطالعه جامع در ارتباط با رواناب‌های سطحی در شهر مشهد و چگونگی مدیریت آنها ضرورت جدی پیدا کرده است. در این تحقیق، پس از انجام حوضه‌بندی با توجه به اطلاعات موجود ابتدا فرآیند بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS برای بخشی از زیرحوضه‌های شهری و طبیعی مشهد واسنجی و سپس حجم رواناب برای کل شهر محاسبه گردیده و در نهایت چگونگی مدیریت و امکان فنی و اقتصادی بویژه ذخیره رواناب تولید شده جهت استفاده در فضای سبز بررسی شده است. نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد که علی‌رغم حجم بالای رواناب تولید شده، انتظار حل مشکل صرفاً با احداث مخزن ذخیره به دلیل محدودیت‌های مکانی به جز در چند نقطه محدود چندان قابل توجیه نیست. به عبارت دیگر نسبت هزینه لازم برای ذخیره و استفاده هر متر مکعب رواناب بسیار بالا و غیراقتصادی است. لذا رویکرد اصلی استفاده از پتانسیل دریاچه‌ها و مخازن موجود و استفاده از ذخیره رواناب حوضه بند گلستان در ۵ کیلومتری جنوب غرب مشهد می‌باشد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی بارش- رواناب، مدیریت رواناب شهری، ذخیره رواناب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۹/۸
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۲/۲۶

۱- کارشناسی ارشد تأسیسات آبیاری، مهندسین مشاور جوی‌آب، مشهد، ایران.
۲- کارشناس ارشد هیدرولوژی، مهندسین مشاور جوی‌آب، مشهد، ایران.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۰ امکانپذیر است.

Investigating the Possibility of Using Surface Runoff in Mashhad

M. Najafi[1] and B. Eskandari Torbaghan[2]*

Abstract

Declining pervious areas is one of the most important effects of land use changes and replacing natural watersheds with urban zones. This phenomenon increases the surface runoff and the possibility of urban floods. In recent years, the unprecedented expansion of urbanized areas of Mashhad City has caused an increase in runoff potential. Since, on the other hand, there is a serious lack of water resources for the city, a comprehensive study on urban surface runoff and methods of managing the runoff has become a serious necessity in Mashhad. In this study, after sub-basin delineation, based on the available data, first the rainfall-runoff process for a number of urban and natural sun-basins was calibrated using HEC-HMS rainfall-runoff model. Then, the volume of surface runoff was computed for the whole city of Mashhad. Finally, management methods of surface runoff especially in terms of runoff storage were considered both technically and economically. The results showed that despite the high volume of produced runoff, runoff management merely based on storage is not reasonable due to spatial restrictions. In other words, the cost ratio for storing and using each cubic meter of runoff is very high and economically not feasible. Consequently, the main approach in runoff storage in Mashhad needs to focus on utilizing the potential of existing lakes and reservoirs. In addition, the other important approach should be based on storing the water released from Golestan Dam located 5 km of the southwest of Mashhad.

Keywords: Rainfall-Runoff Modeling, Urban Runoff Management, Runoff Storage.

Received: November 28, 2020
Accepted: May 18, 2021

1- M.Sc. Graduate of Hydraulic Structures, Jouyab Consulting Enineering, Mashhad, Iran.
2- M.Sc. Graduate of Hydrology, Jouyab Consulting Engineering, Mashhad, Iran. Email: bahareh.eskandari@gmail.com
*- Corresponding Author
Dor: 20.1001.1.17352347.1400.17.1.13.4

۱- مقدمه

شهر مشهد در کمتر از یک قرن گذشته گسترش بی‌سابقه‌ای را تجربه کرده است بطوریکه وسعت این شهر در فاصله زمانی ۱۳۲۰ تا ۱۳۹۵، ۳۱/۵ برابر (Azizi and Khodashenas, 2019) و جمعیت آن نیز در بازه زمانی ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۵ خورشیدی بیش از ۱۸/۹ برابر (Dolati et al., 2016) افزایش پیدا کرده است. افزایش وسعت منطقه شهری به عنوان شاخص کلیدی رشد جمعیت پیوندی ناگسستنی با تغییر کاربری اراضی و تبدیل اراضی طبیعی و کشاورزی به اراضی مسکونی دارد (Jha et al., 2012). تغییر کاربری اراضی به دلیل از بین رفتن پوشش گیاهی و ایجاد سطوح نفوذناپذیر، سبب افزایش دبی اوج سیلاب بویژه در رخدادهای بارش با احتمال وقوع بیشتر (American Society of Civil Engineers and the United States Army Corps of Engineers, 1996)، ایجاد جریان‌های سیلابی شدید و کاهش کیفیت منابع آب می‌شود (Tajbakhsh and Khodashenas, 2008). همچنین افزایش سطوح نفوذناپذیر شهری موجب کاهش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و در نتیجه افت سطح ایستابی می‌گردد. مطالعات انجام شده در ارتباط با پیش‌بینی تغییرات در بارش‌های حدی مشهد نشان‌دهنده افزایش فراوانی وقوع و شدت سیلاب در طی قرن حاضر در این شهر و در نتیجه افزایش احتمال آسیب به زیرساخت‌ها و مناطق شهری می‌باشد (Kouhi et al., 2013).

از طرف دیگر به دلیل کمبود جدی منابع آب در کنار افزایش جمعیت و توسعه ساختارهای شهری موضوع امنیت آبی[۱] و لزوم فراهم کردن بدون وقفه خدمات آب شهری، اهمیت بسیار زیادی پیدا کرده است (Karamouz, 2012). به همین دلیل امروزه رویکرد رایج در مدیریت رواناب‌های شهری از جمع‌آوری، انتقال و دفع رواناب‌ها به کنترل و کاهش رواناب‌ها و انتقال آلودگی ناشی از آنها تغییر کرده است. اصل اساسی این رویکرد نوین که به روش‌های موسوم به توسعه کم اثر[۲] معروف شده‌اند، نزدیک نگهداشتن هیدرولوژی منطقه توسعه‌یافته به وضعیت قبل از توسعه شهری استوار است (Panahi and Esmaili, 2018) و طیف وسیعی از روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای را دربرمی‌گیرد. احداث آبراهه با پوشش گیاهی[۳]، حوضچه‌های نگهداشت زیستی یا باغ باران[۴]، ترانشه‌های نفوذپذیر[۵]، سنگفرش یا روکش نفوذپذیر[۶]، بام سبز[۷] و چاه‌های جذبی[۸] از جمله روش‌های سازه‌ای توسعه کم اثر هستند. اقداماتی از قبیل به حداقل رساندن تعرض و حفظ اراضی طبیعی، کاهش سطوح نفوذناپذیر و ایجاد گسست در آنها، بهره‌برداری از گیاهان بومی منطقه و احیای خاک نیز در گروه روش‌های غیرسازه‌ای توسعه کم اثر قرار می‌گیرند. رویکرد روش‌های توسعه کم اثر به دنبال راه‌هایی است که با استفاده از شرایط طبیعی منطقه آب تا حد ممکن در محل، نگهداشته شده و کیفیت آن حفظ گردد. با این حال روش‌های مورد استفاده در رویکرد سنتی که به توسعه قراردادی[۹] نیز شهرت دارند، همچنان در محدوده‌های شهری که عملیات توسعه کم اثر در آنها بکار نرفته و یا امکان استفاده از آنها مشکل می‌باشد از جایگاه مهمی برخوردار می‌باشند. اقداماتی از قبیل استفاده از مخازن و استخرهای متمرکز مدیریت رواناب، سیستم‌های زه‌کشی، سازه‌های ورودی به سیستم انتقال، کانال‌ها و جوی‌های بتنی در حاشیه خیابان‌ها در زمره روش‌های قراردادی قرار دارند (Ahiablame et al., 2012). مطالعات انجام شده توسط Karami et al. (2016) نشان داده است که در راستای مدیریت رواناب‌های شهری ترکیب بهینه دو رویکرد سنتی و نوین به نتایج بهتری در کاهش چشمگیر خطر آبگرفتگی و نیز کاهش آلودگی منتهی می‌شود. همچنین، Farzin et al. (2018) نشان داده‌اند که استفاده از روش‌های توسعه کم اثر در سطح وسیع تر الزاماً به معنای کارآیی و کنترل بیشتر کمیت و کیفیت سیلاب‌های شهری نیست.

قبل از هرگونه برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در ارتباط با مدیریت رواناب‌ها می‌بایست حجم رواناب، دبی اوج و هیدروگراف حاصل از بارندگی محاسبه گردد. بطورکلی بیشتر مطالعات صورت گرفته در ارتباط با رواناب‌های سطحی شهر مشهد به حوضه‌های بالادست این شهر محدود می‌شود. Ghasemi and Faghfour Maghrebi (2015) با بهره‌گیری از مدل SWMM شبکه زه‌کشی آب و برق مشهد را شبیه‌سازی کرده و با توجه به توپوگرافی منطقه ضمن پیشنهاد استفاده از حوضچه‌های تأخیری به عنوان بهترین روش جمع‌آوری رواناب‌های سطحی نسبت به جانمایی و طراحی آنها اقدام کرده‌اند. در یک مطالعه دیگر دبی طراحی مسیل اقبال‌شرقی واقع در حاشیه جنوبی شهر مشهد با استفاده از نرم‌افزار SWMM و HEC-1 محاسبه و نتایج حاصل با یکدیگر مقایسه گردیده است (Khani and Faghfour Maghrebi, 2017).

بطورکلی انتخاب مدل‌های بارش- رواناب باید بگونه‌ای باشد که با حداقل داده‌های موجود بهترین پاسخ‌ها محاسبه گردد، لذا در گزینش مدل مناسب تعداد و پیچیدگی بخش‌های مختلف لزوماً گویای مناسب بودن آن نیست (American Society of Civil Engineers and the United States Army Corps of Engineers, 1996). با وجود کاربرد گسترده و جامعیت مدل SWMM که بوسیله آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا برای شبیه‌سازی مدیریتی و پیش‌بینی کمی و کیفی سیلاب حوضه‌های شهری تهیه شده است، بخش هیدرولوژیکی مدل SWMM نیازمند داده‌های بسیاری است که در شرایط فقدان داده‌های کافی برآورد این اطلاعات و یا استفاده از معادل

تجربی آنها میزان خطای مـدل‌سازی را افزایش می‌دهـد، بـه همین دلیل در طرح «مدیریت جامع آب‌های سطحی شهر تهران» برای مـدل‌سازی حـوضه بـه منظور محاسبه سیلاب و حجم رواناب از نرم‌افزارهای HEC-1 و HEC-HMS استفاده شـده است (WIUT, 2017). هر چند در مدل‌های یکپارچه هیدرولوژیکی مانند HEC-HMS خصوصیات فیزیکی و تغییرات سری زمانی پارامترهای هواشناسی در سطح حوضه به صورت یکنواخت در نظر گرفته می‌شود اما در شرایط فقدان اطلاعات لازم و داده‌های مکانی مورد نیاز، عملاً استفاده از مدل‌های توزیعی اگر غیر ممکن نباشد با خطای بیشتری مواجه خواهد بود. در جدول ۱ به چند مطالعه دیگر در سال‌های اخیر در ارتباط با تخصیص بهینه آب و استفاده از روش‌های توسعه کم اثر و محدودیت‌های این مطالعات اشاره گردیده است.

در مطالعه حاضر که با هدف مدیریت کاربردی استفاده از رواناب‌های سطحی شهر مشهد انجام گرفته، با توجه به کمبود اطلاعات و نقص در داده‌ها تلاش گردیده است که پارامترهای مدل بارش- رواناب (HEC-HMS) تا حد امکان بر اساس شرایط فیزیکی هر حوضه شامل تراکم بناهای مسکونی و تجاری، وجود پارک‌ها و فضای سبز و همچنین نحوه دفع آب باران از پشت بام‌ها تعیین گردد.

Table 1- Studies on optimal allocation of water resources

جدول ۱- چند مطالعه در ارتباط با تخصیص بهینه منابع آب

Author(s)	Title	Study Objectives	Conclusion(s)	Constraint(s)
Mitchell et al. (2001)	Modeling the urban water cycle	Changing the idea of surface water disposal and using runoff as a potential water resource	The urban water balance model used in this research was successful to simulate the urban water cycle in order to reuse stormwater and wastewater.	Requiring detailed information to obtain a better understanding of the input and output flows in the study area.
Abdolghafoorian et al. (2012)	Urban Water Management Considering Reclaimed Wastewater and Runoff as a New Water Resource for City of Tehran, Iran	Investigating storm runoff reuse and wastewater recycling as renewable water resources in Tehran	The study shows with upgrading wastewater treatment plants and urban surface runoff control, there will be good water resources for irrigating green spaces.	High initial investment
Binesh et al. (2015)	Investigating the effect of applying BMPs on quantity and quality of urban floods	Determining critical flood points and solving their problems using the best management practices	The study concludes that permeable pavements as one of the best management methods (BMPs) reduce flood peaks and eliminate pollution. Bioswales, another BMP method, are more efficient in terms of reducing flood recession time. Consequently, combining the two mentioned BMP methods has the best results.	The study focuses on only two BMP methods.
Radmehr and Araghinejad (2016)	Optimal Urban Flood Management Using Spatial Multi Criteria Decision Making Approach	Creating flood potential maps based on multi-criteria decision making to achieve proper urban planning	Their study concludes that applying a multi-criteria decision making approach in GIS environment is a powerful tool in preparing high precision flood maps.	Requiring accurate information on topography, land use, precipitation, peak discharges, the groundwater level of observation wells
Peng et al. (2019)	Effects of Low-Impact Development on Urban Rainfall Runoff under Different Rainfall Characteristics	The effects of LIDs on storm flooding in urban areas under different rainfall characteristics	The results show LID scenarios are more efficient in flood control during smaller rainfall return periods and longer storm events. In addition, the study introduces best LID methods to use separately or in combination with other methods.	The influence of locations of peak rainfall intensity on runoff is not clear.

همچنین از سه ایستگاه باران‌سنجی برای محاسبه مقادیر بارندگی در نقاط مختلف شهر مشهد استفاده شده است. به این ترتیب پس از تعیین مقدار و الگوی بارش مناسب با توجه به وسعت محدوده مطالعاتی و میزان اطلاعات موجود ابتدا فرآیند بارش- رواناب برای بخشی از زیرحوضه‌های شهری و طبیعی مشهد با استفاده از مدل HEC-HMS واسنجی و سپس حجم رواناب در زیرحوضه‌های شهری و از جمله در زه‌کش‌های اصلی شهر مشهد محاسبه شده است. در مرحله بعد راهکارهای مناسب و مبتنی بر واقعیت‌های موجود برای استفاده و مدیریت صحیح رواناب‌های سطحی ارائه گردیده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات حوضه مطالعاتی

شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی و دومین کلان شهر ایران با وسعتی معادل ۳۲۸ کیلومتر مربع بین ۵۹ درجه و دو دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و هفت دقیقه عرض شمالی در حاشیه جنوبی رودخانه کشف‌رود واقع شده است. مشهد از شمال به کوه‌های هزارمسجد و از جنوب و غرب به کوه‌های بینالود محدود می‌گردد. شهر مشهد دارای سه زهکش اصلی به نام‌های مسیل چهل‌بازه، مسیل اقبال‌غربی و مسیل اقبال‌شرقی می‌باشد که با توجه به جهت شیب شهر در امتداد جنوب غرب به شمال شرق جریان دارند و در نهایت به کشف‌رود منتهی می‌شوند (شکل ۱). شهر مشهد از سیزده منطقه شهرداری شامل مناطق دوازده‌گانه و منطقه ثامن (بافت اطراف حرم رضوی) تشکیل شده است.

۲-۲- روش تحقیق

در این پژوهش با بررسی نقشه مسیل‌ها و کانال‌های شهرداری و نقشه رقومی ۱:۲۰۰۰ شهر مشهد، نقاط خروجی رواناب در مناطق مختلف شهرداری تعیین شد و با توجه به وضعیت کاربری اراضی و بازدیدهای میدانی، ۸۵ زیر حوضه شهری در مناطق یک تا یازده و منطقه ثامن شناسایی گردید. همچنین با توجه به قرارگیری شهر مشهد در دامنه شمالی ارتفاعات بینالود در بارندگی‌های شدید مسیل‌های مناطق ۷، ۸ و ۹ شهر مشهد پذیرای رواناب زیر حوضه‌های طبیعی خارج شهری نیز می‌باشند، به این ترتیب ۲۶ زیر حوضه خارج شهری منتهی به محدوده شهری نیز تعیین شد. لازم به ذکر است که در این پژوهش، محاسبه حجم رواناب در منطقه ۱۲ شهرداری مشهد به دلیل ناکافی بودن اطلاعات انجام نگرفته است. برای شناسایی آسان‌تر زیرحوضه‌های مناطق مختلف نام همه حوضه‌ها با حرف D آغاز می‌شود و بعد از آن شماره منطقه شهرداری و پس از خط تیره، زیر حوضه‌های شهری با حرف S و زیر حوضه‌های طبیعی برون شهری با NB به همراه شماره حوضه قرار می‌گیرند.

پس از بررسی آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی شهر مشهد، ایستگاه‌های «سینوپتیک مشهد»، «آب و برق» و «اداره مشهد» (شکل ۱) برای انجام تحلیل‌های بارندگی و محاسبه عمق باران طرح با دوره بازگشت ۲ سال برای مناطق مختلف به شرح مندرج در جدول ۲ مورد استفاده قرارگرفتند.

در این پروژه عمق بارندگی با استفاده از روابط عمق- مدت- تناوب[10] یا DDF ایران که توسط Ghahraman and Abkhezr (2004) ارائه شده است برای ۶ تداوم بارش (جدول ۳) محاسبه شد. توزیع زمانی بارش نیز برای تداوم‌های مورد نظر از نتایج مطالعات صورت گرفته برای کل استان خراسان (Hatami-Yazd et al., 2005) که در آن عمق بارش برای چهارک‌های زمانی اول تا چهارم محاسبه شده است، بدست آمد. شکل ۲، هایتوگراف بارندگی در مشهد را نشان می‌دهد.

۲-۳- شبیه‌سازی بارش- رواناب

به کمک نرم‌افزار HEC-HMS که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی انجمن مهندسین ارتش امریکا ارائه شده است، می‌توان یک حوضه آبریز با انواع مسائل مربوط به آن از جمله رواناب شهری را مدل و شبیه‌سازی کرد. با توجه به وسعت کلان‌شهر مشهد، میزان اطلاعات در دسترس و هدف پروژه مبنی بر محاسبه حجم رواناب قابل استحصال، نرم‌افزار HEC-HMS به دلیل برخورداری از مجموعه متنوعی از مدل‌های ریاضی برای محاسبه اجزای مختلف فرایند بارش- رواناب مورد استفاده قرار گرفت.

در این پژوهش از مدل«شرایط اولیه و نرخ ثابت»[11] که از دو پارامتر نرخ حداکثر بالقوه تلفات بارندگی (f_c) و تلفات اولیه (I_a) تشکیل شده است، برای محاسبه تلفات استفاده شد. در این مدل تا زمانی‌که در بخش نفوذپذیر حوضه، بارش تجمعی بر تلفات قالب نشود و حجم مازاد بر تلفات به وجود نیاید رواناب وجود نخواهد داشت بنابراین بارش مازاد به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$pe_t = \begin{cases} 0 & \text{if } \sum p_i < I_a \\ p_t - f_c & \text{if } \sum p_i > I_a \text{ and } p_t > f_c \\ 0 & \text{if } \sum p_i > I_a \text{ and } p_t < f_c \end{cases} \qquad (۱)$$

که در آن $\sum p_i$ = بارش تجمعی و pe_t = بارش مازاد می‌باشد.

بطور معمول در حوضه‌های شهری برای تبدیل بارش مازاد به جریان سطحی مدل مفهومی موج سینماتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما این روش به اطلاعات صحیحی در مورد طول جریان مؤثر بر روی سطوح نفوذپذیر و نفوذناپذیر حوضه و ضریب زبری سطوح مختلف حوضه نیاز دارد.

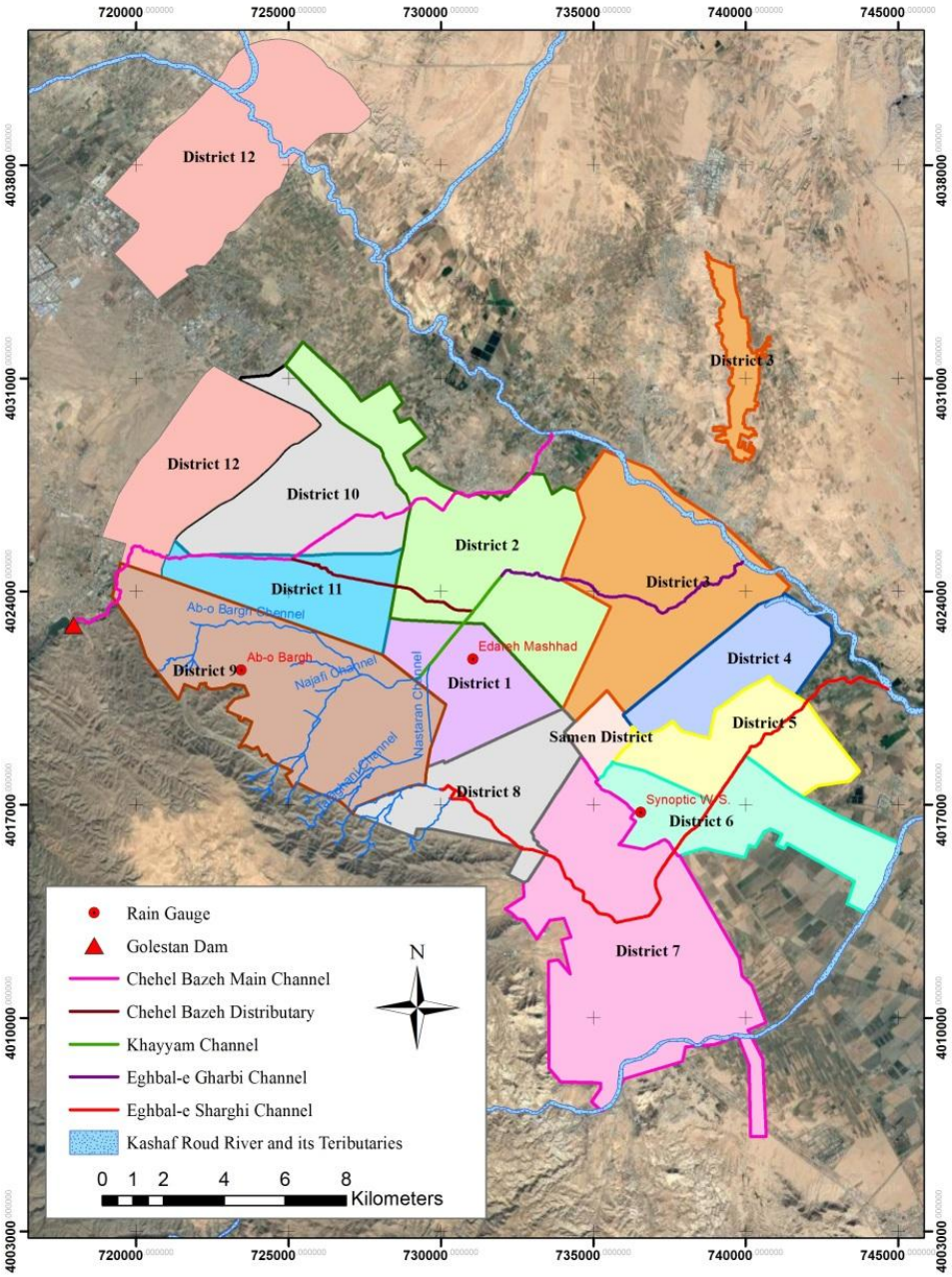


Fig. 1- The position of main channels and Mashhad municipality areas

شکل ۱- موقعیت مسیل‌ها و مناطق شهرداری مشهد

Table 2- Municipal areas covered by rain gauge stations

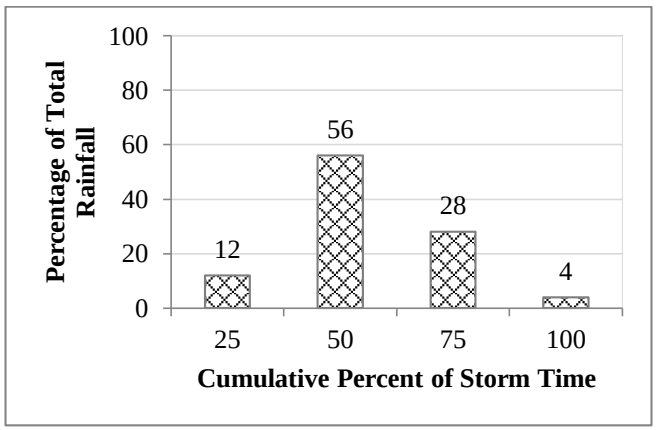
جدول ۲- مناطق شهرداری تحت پوشش ایستگاه‌های باران سنجی

Station	Owner	Covered Districts
Edareh Mashhad	Regional Water Company of Khorasan Razavi	1, 2, 3 and Samen
Synoptic Weather Station	Meteorological Organization	4, 5, 6, 7 and 8
Ab-o Bargh	Meteorological Organization	9, 10 and 11

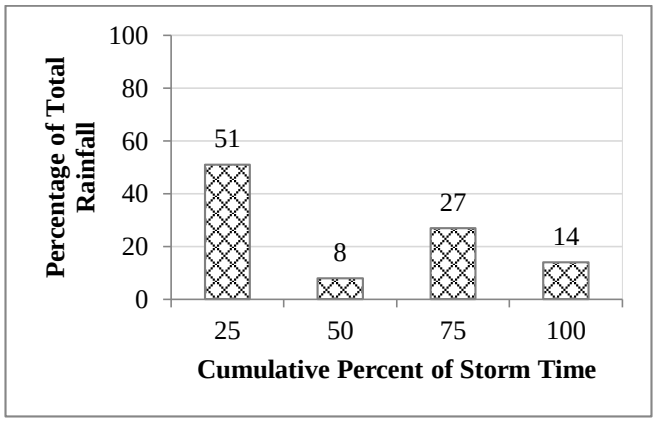
Table 3- Rainfall depth at the selected stations (mm)

جدول ۳- عمق بارش در ایستگاه‌های منتخب برحسب میلی‌متر

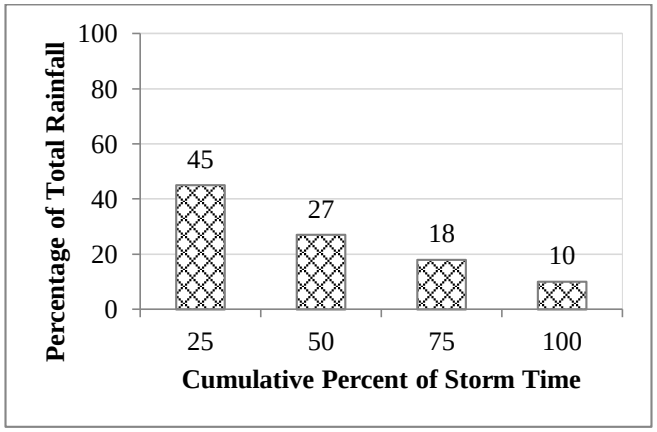
Station	Duration (min)					
	15	60	120	180	360	1440
Edareh Mashhad	3.3	6.4	8.8	11.1	15	26.4
Synoptic Weather Station	3.5	6.8	9.4	11.7	15.6	26.4
Ab-o Bargh	3.6	7	9.6	12	16.2	28.8



(a) Rainfall durations of less than 3 hours



(b) Rainfall durations between 3 hours and 6 hours



(c) Rainfall durations of more than 12 hours

Fig. 2- Dimensionless temporal pattern histogram in Mashhad synoptic station

شکل ۲- الگوی توزیع زمانی بدون بعد بارش در ایستگاه سینوپتیک مشهد برای: (a) تداوم‌های کمتر از ۳ ساعت، (b) تداوم‌های بین ۳ تا ۶ ساعت و (c) تداوم‌های بیشتر از ۶ ساعت

همچنین مطالعات نشان داده است که این مدل برای حوضه‌های بزرگتر از ۲/۵ کیلومتر مربع مناسب نیست (Ponce, 1991). در این حالت استفاده از مدل‌های نظری مانند هیدروگراف واحد پیشنهاد شده است (HEC, 2000). در این پژوهش روش هیدروگراف واحد اشنایدر که برای تحلیل حوضه‌های بدون آمار توسعه یافته است و برای مناطق شهری نیز کاربرد دارد (Mays, 1996) مورد استفاده قرار گرفت. در روش اشنایدر از خصوصیات فیزیکی حوضه برای تخمین پارامترهای هیدروگراف واحد استفاده می‌شود و زمان تأخیر، دبی اوج و زمان پایه هیدروگراف به عنوان مشخصات اصلی هیدروگراف واحد درنظر گرفته می‌شوند. در مدل هیدروگراف واحد اشنایدر در نرم‌افزار HEC-HMS پارامترهای زمان تأخیر (t_p) و ضریب پیک جریان (C_p) به عنوان ورودی به مدل تعریف می‌شوند. برای محاسبه زمان تأخیر روابط تجربی متعددی ارائه شده است اما بطورکلی مطالعات گوناگون مقدار زمان تأخیر را بین ۵۰ تا ۷۰ درصد زمان تمرکز حوضه تخمین می‌زنند (HEC, 2000). در این پژوهش زمان تأخیر برابر با ۶۰٪ زمان تمرکز زیرحوضه‌ها درنظر گرفته شد. در رابطه اشنایدر دبی اوج برحسب مترمکعب بر ثانیه از رابطه تجربی زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q_p = \frac{2.778 C_p A}{t_p} \qquad (۲)$$

A= مساحت حوضه (km^2)، t_p = زمان تاخیر (hr) و C_p = ضریب پیک جریان که بیانگر میزان شیب هیدروگراف بدست آمده از یک واحد بارش است و با دبی پیک رابطه مستقیم دارد. این ضریب نشان‌دهنده ظرفیت حوضه در ذخیره‌سازی آب است و بهترین روش تعیین آن واسنجی می‌باشد.

۲-۴- واسنجی مدل

عملیات واسنجی مدل HEC-HMS به روش تصحیح مکرر پارامترها، بهینه‌سازی[۱۲] نامیده می‌شود. در طی فرآیند واسنجی پارامترهای معرفی شده به مدل با هدف دستیابی به نتایج همگون با داده‌های واقعی و طبیعی تصحیح می‌شوند. فرآیند واسنجی با محاسبه بهترین برازش بین هیدروگراف‌های محاسبه شده و مشاهده‌شده انجام می‌پذیرد که مقدار کمی بهترین برازش تابع هدف[۱۳] نامیده می‌شود. در این پژوهش جهت کمینه کردن تابع هدف و یافتن مقادیر بهینه پارامترها، از روش جستجوی شیب یک متغیره[۱۴] استفاده گردید. در شروع عملیات بهینه‌سازی برای تمام پارامترهای مورد نظر شامل I_a، f_c، t_p و C_p مقادیر اولیه‌ای اختیار شد. نرم‌افزار با درنظر گرفتن تمام المان‌های بالادست در محل هیدروگراف مشاهده شده یک هیدروگراف در محل المان این هیدروگراف محاسبه می‌نماید و سپس با استفاده از هیدروگراف‌های مشاهده و محاسبه شده مقدار تابع هدف در محل المان محاسبه می‌شود. مقادیر پارامترها با استفاده از روش جستجوی انتخاب شده، تصحیح و تابع هدف مجدداً برای المان دارای هیدروگراف مشاهده شده استفاده می‌گردد. این روند تا هنگامیکه مقدار تابع هدف به اندازه کافی کوچک شده باشد ادامه می‌یابد. شکل ۳ تصویر شماتیک روند واسنجی پارامترها در HEC-HMS را نشان می‌دهد.

برای واسنجی مدل بارش- رواناب شهر مشهد از تنها ایستگاه آب‌سنجی مستقر در داخل شهر، موسوم به ایستگاه «خیام» واقع در مسیل خیام (شکل ۴) متعلق به شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی استفاده شد. در این ایستگاه آماربرداری و ثبت رخداد سیل عملاً از سال آبی ۹۸-۹۷ آغاز شده است. کامل‌ترین سری زمانی برداشت شده مربوط به واقعه بارندگی ۷ تیر ماه ۹۸ با مقدار بارش ۱۵/۴ میلی متر و دبی اوج ۵/۶ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد (شکل ۵).

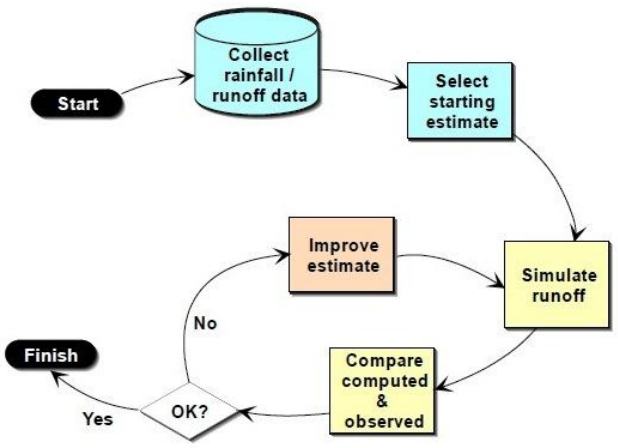


Fig. 3- Schematic of calibration procedure (Source: HEC, 2000)
شکل ۳- تصویر شماتیک روند واسنجی

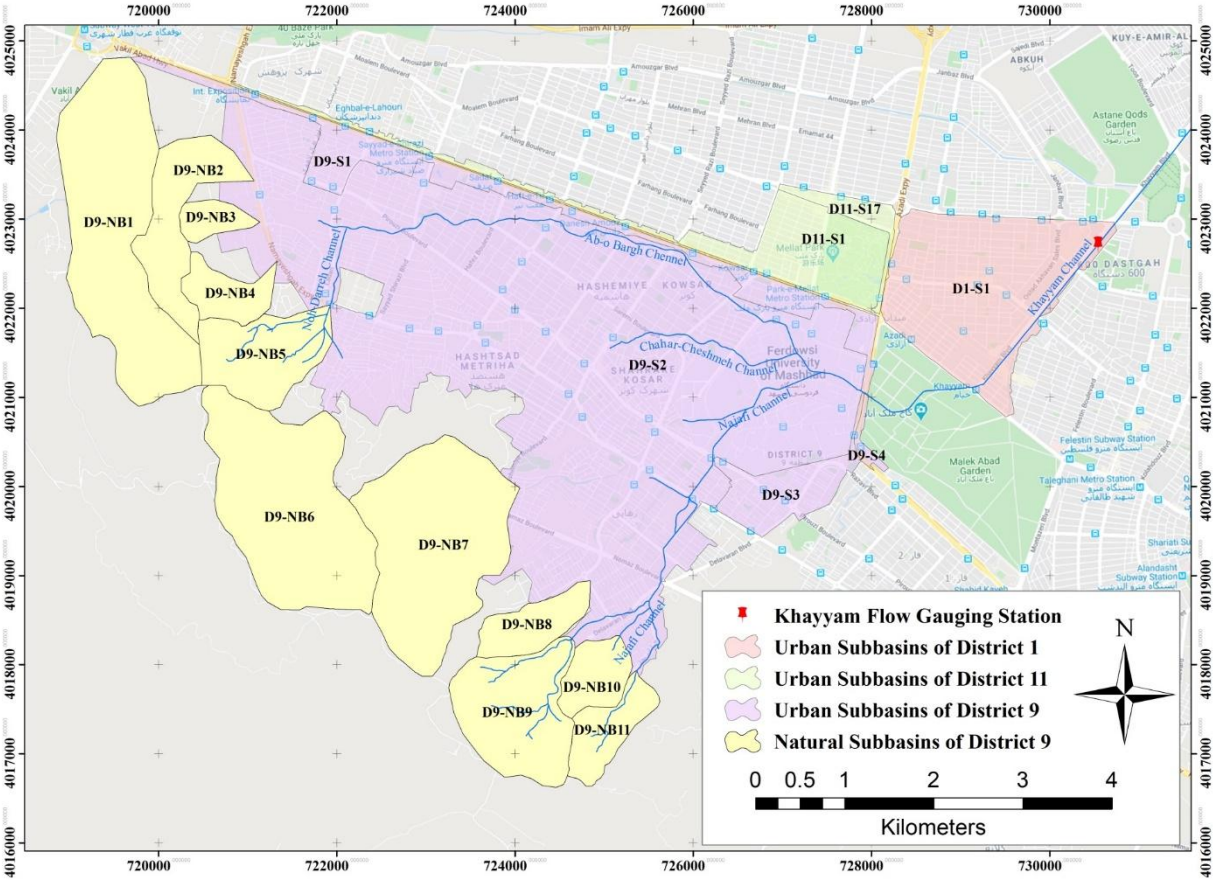


Fig. 4- Subbasins participating in runoff production at Khayyam flow gauging station

شکل ۴- حوضه‌های مشارکت کننده در تولید رواناب ایستگاه هیدرومتری کال خیام

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- تحلیل نتایج واسنجی

با توجه به مدل‌های محاسبه تلفات و رواناب، پارامترهای I_a، f_c، t_p و C_p در تمام حوضه‌های موثر در تولید رواناب مورد بررسی و بهینه‌سازی قرارگرفتند. نتایج حاصل از واسنجی نشان داد که می‌بایست مقدار تلفات اولیه (I_a) چه در زیرحوضه‌های طبیعی و چه در زیرحوضه‌های شهری افزایش یابد لذا مقادیر I_a برای زیرحوضه‌های طبیعی از مقدار اولیه ۱۲/۷ میلی‌متر به ۱۹/۰۵ میلی‌متر تغییر یافت که در دامنه قابل قبول برای این پارامتر نیز قرار دارد (USACE, 1994). برای زیرحوضه‌های شهری به استثنای زیر حوضه D9-S2 نیز مقدار I_a از ۲/۵۷ میلی‌متر به ۵ میلی‌متر تغییر کرد. در زیر حوضه D9-S2 که بزرگترین زیرحوضه محدوده شهری مشهد است و مساحت آن در حدود ۱۱ برابر متوسط سایر زیرحوضه‌های شهری می‌باشد، مقدار تلفات اولیه به ۸/۲ میلی‌متر افزایش یافت.

مقدار نرخ ثابت تلفات نیز با توجه به ظرفیت نفوذ غالب خاک‌های مشهد مقدار اولیه ۲ میلی‌متر بر ساعت درنظر گرفته شده بود، اما پس از واسنجی این مقدار به ۳/۸۱ میلی‌متر بر ساعت افزایش یافت. در جدول ۴ مقادیر بهینه پارامترهای مدل محاسبه تلفات ارائه گردیده است.

در این پژوهش برای محاسبه زمان تمرکز حوضه از روش سرعت جریان که در حوضه‌های شهری متداول است و به صورت حاصل‌جمع زمان پیمایش جریان ورقه‌ای و زمان پیمایش جریان در کانال که با استفاده از معادله مانینگ محاسبه می‌گردد (Maidment, 1993) استفاده شد. نتایج حاصل از واسنجی زمان تأخیر که به صورت تابعی از زمان تمرکز محاسبه شده بود ($t_p = 0.6\ t_c$) نشان داد که به دلیل عدم اطلاع از سرعت واقعی جریان مقادیر محاسبه شده قابل اطمینان نمی‌باشد بنابراین با توجه به امکان استفاده از رابطه کرپیچ در زیرحوضه‌های شهری (Akan and Houghtalen, 2003) در مقادیر زمان تمرکز و زمان تأخیر بازنگری شد که در سعی‌های[۱۵] مجدد

عملیات واسنجی مقادیر بهینه به مقادیر محاسبه اولیه نیز بسیار نزدیک بود. نتایج عملیات واسنجی در ارتباط با مقادیر بهینه پارامتر ضریب جریان نیز نشان داد که این مقادیر به خوبی با تخمین اولیه که در مناطق شهری با توجه به درصد نفوذناپذیری حوضه محاسبه شده‌اند، سازگاری دارد.

۳-۲- نتایج مدل بارش- رواناب شهر مشهد

با توجه به اینکه تأثیر تغییر کاربری اراضی و تبدیل اراضی شهری به طبیعی در رویدادهای بارندگی با احتمال وقوع بالاتر، شدیدتر از بارندگی‌های با دوره بازگشت طولانی‌تر است (ASCE, 1996)، مدل بارش- رواناب برای شش تداوم بارش با دوره بازگشت ۲ سال برای کل شهر مشهد اجرا شد و حجم رواناب تولیدی در هر یک از زیرحوضه‌ها و همچنین زه کش‌های اصلی شهر (جدول ۵) محاسبه گردید.

مسیل چهل‌بازه مهمترین زه‌کش در بخش شمال و شمال‌غرب مشهد است که علاوه بر جمع‌آوری و هدایت آبهای سطحی محدوده شهری به دلیل قرارگرفتن در پایین دست سد تاریخی گلستان جریان خروجی از سرریز این سد را نیز به رودخانه کشف‌رود هدایت می‌کند. این مسیل در محل پل دانشجو در بزرگراه امام علی (ع) به دو شاخه اصلی و فرعی تقسیم می‌شود. شاخه اصلی چهل‌بازه پس از عبور از منطقه قاسم‌آباد مشهد، بزرگراه آسیایی و میدان معراج از محدوده شهری خارج می‌شود و نهایتاً به کشف‌رود می‌ریزد. همه رواناب منطقه ۱۰ شهرداری مشهد و بخش کوچکی از رواناب منطقه ۱۱ تــوسط شاخه اصلی چهل‌بازه به سمت کشف‌رود هدایت می‌گردد.

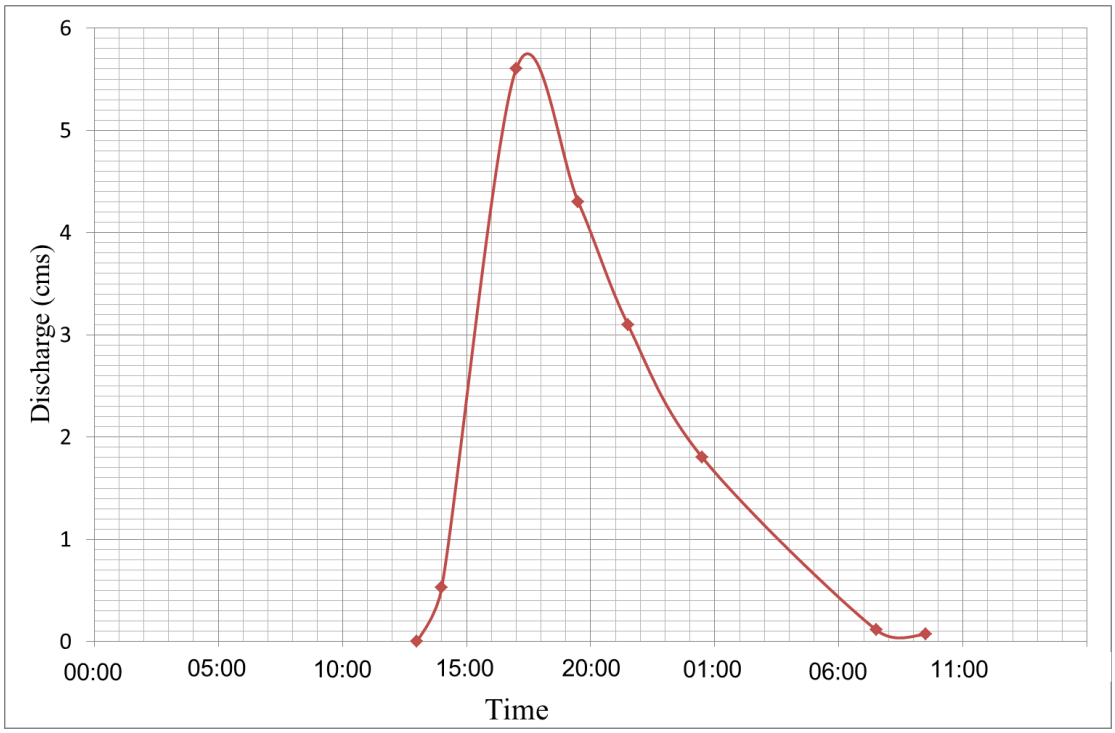


Fig. 5- Flow time series recorded on June 26 and 27, 2019 at Khayyam flow gauging station

شکل ۵- هیدروگراف دبی ثبت شده در روزهای ۷ و ۸ تیر ماه ۹۸ در مسیل خیام

Table 4- Optimized values of loss model parameters

جدول ۴- مقادیر بهینه پارامترهای مدل محاسبه تلفات

Parameter		Initial Value	Optimized Value
Initial Loss (mm)	Urban Subbasins	2.57	5*
	Natural Subbasins	12.7	19.05
Constant Rate (mm/hr)		2	3.81

*except for subbasin 2 in District 9 (D9-S2)

Table 5- Runoff volume in Mashhad main channels and outlets

جدول ۵- حجم کل رواناب خروجی به زه‌کش‌ها و خروجی‌های شهر مشهد

Outlet Name	Covered Districts	Drainage Area (km^2)	Runoff Volume (1000 M3)					
			15-min Rainfall	1-hr Rainfall	2-hr Rainfall	3-hr Rainfall	6-hr Rainfall	24-hr Rainfall
Eghbal-e Sharghi	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, and Samen	91.5	62	150.9	231.1	240.3	326.4	478.9
Eghbal-e Gharbi	1, 2, 3, 9, and 11	78.6	70.6	167.3	251.3	268.5	369.8	565.2
Chehel Bazeh Main Channel	10 and 11	27.3	30.2	74.5	112.9	118.6	161.8	239.6
Forest Areas	7	13.83	3.6	8.2	12.2	13.3	17.7	26.9
Kashaf Roud Tributaries	2, 4, and 7	15.6	18	42.1	63.7	67.9	92.1	138.7
Malek Abad Garden Lands	9	2.81	2.2	5.3	7.9	8.4	11.4	17
Suburban Areas of Mashhad	3	1.5	1.4	3.3	5	5.2	7.3	11.2
	6	0.53	0.6	1.4	2.1	2.2	2.9	4.2
	7	0.6	0.6	1.5	2.3	2.3	3.1	4.5
	Total Value	2.63	2.6	6.2	9.4	9.7	13.3	19.9

شاخه فرعی مسیل چهل‌بازه نیز پس از پیوستن به مسیل خیام در بلوار خیام شمالی به اقبال‌غربی می‌پیوندد.

مسیل اقبال‌شرقی که سرشاخه‌های آن رواناب ارتفاعات شمالی بینالود را جمع‌آوری می‌کند در محدوده کوهسنگی مشهد با حرکت به سمت شرق در محل پادگان ارتش، بزرگراه را قطع کرده در امتداد حاشیه جنوبی بزرگراه همچنان به سمت شرق ادامه مسیر می‌دهد و بعد از عبور از فرودگاه تا ۷۵ متری رضوی امتداد دارد و در نهایت به کشف‌رود می‌پیوندد. مطالعات صورت گرفته در این پژوهش نشان می‌دهد که تمام یا بخشی از رواناب همه مناطق شهرداری مشهد به استثنای منطقه ۱۰ و ۱۱ وارد اقبال‌شرقی می‌شوند.

مسیل اقبال‌غربی از ادغام چند مسیل در محدوده اراضی دانشگاه فردوسی مشهد بوجود می‌آید و بعد از عبور از باغ ملک آباد به موازات بلوار خیام امتداد می‌یابد و در محل آپارتمان‌های مرتفع مسیل چهل‌بازه فرعی به آن متصل می‌شود و با حرکت به سمت شمال شرق در انتها به کشف‌رود می‌ریزد.

بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش نشان داد بخش عمده‌ای از رواناب مناطق ۲، ۹ و ۱۱ شهرداری مشهد و همچنین قسمت عمده‌ای از رواناب مناطق ۱ و ۳ به‌وسیله اقبال‌غربی به سمت کشف‌رود هدایت می‌شود. علی‌رغم اینکه مساحت زه‌کشی اقبال‌غربی از مساحت زه‌کشی مسیل اقبال‌شرقی کمتر می‌باشد (جدول ۵)، اما حجم روانابی که به اقبال‌غربی وارد می‌شود بیشتر است که این موضوع را می‌توان ناشی از موقعیت کوهستانی اراضی بالادست مسیل اقبال‌غربی دانست.

مطالعات انجام شده در این پژوهش نشان داد که علاوه بر سه خروجی اصلی فوق بخشی از رواناب مناطق ۲، ۴ و ۷ شهرداری مشهد به‌وسیله سایر سرشاخه‌های کشف‌رود از جمله کال طرق و چند سرشاخه دیگر از شهر خارج می‌شود. همچنین، در منطقه ۷ تعدادی از حوضه‌های شهری و طبیعی وارد بوستان جنگلی طرق می‌شوند و رواناب تعدادی از زیرحوضه‌های مناطق ۳، ۶ و ۷ شهرداری مشهد به اراضی کشاورزی حاشیه شهر وارد می‌شود که از جمله در منطقه ۳ با وارد شدن فاضلاب مناطق مسکونی به یک معضل تبدیل شده است. بخشی از رواناب منطقه ۹ شهرداری مشهد نیز توسط مسیل‌های قدیمی موسوم به وکیل‌آباد و رضاشهر وارد اراضی باغ ملک‌آباد می‌گردند.

۳-۳- اقدامات مدیریتی مناسب

بطورکلی برنامه‌ریزی‌ها می‌بایست برای دو دسته رواناب انجام پذیرد:

- استفاده از رواناب حاصل از بارش حوضه‌های غیرشهری

از جمله مهمترین اقدامات مدیریتی در ارتباط با حوضه‌های غیرشهری می‌توان به مدیریت جایگزین استفاده از رواناب رها شده از سد تاریخی

گلستان اشاره کرد. با توجه به اینکه معمولاً همه ساله از اوایل اسفند تا اواخر اردیبهشت به مدت حدود ۲/۵ تا ۳ ماه رواناب قابل توجهی در حدود ۵ تا ۶ میلیون متر مکعب (بسته به میزان بارش سالانه) از این سد به سمت مشهد و حوضچه‌های تغذیه مصنوعی حاشیه بلوار امام علی(ع) رهاسازی می‌شود، می‌توان با مذاکره و اخذ موافقت شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، معادل رواناب تولیدی و رها شده به سمت کشف‌رود (زیر حوضه‌های شهری) از این رواناب که هم به لحاظ کیفی و هم قابلیت برنامه‌ریزی بهتر می‌باشد، برای فضای سبز شهر مشهد استفاده نمود.

- اقدامات مدیریتی مربوط به رواناب حوضه‌های شهری

رویکرد کلی جهت بهره‌برداری از رواناب در محدوده حوضه‌های شهری شامل تلفیقی از روش‌های کلاسیک و نوین می‌باشد که با توجه به شرایط محلی و امکان اجرای هر کدام از روش‌ها برای شهر مشهد پیشنهاد می‌گردد:

الف- احداث مخازن ذخیره آب‌های سطحی

یکی از راهکارهای سودمند در مدیریت رواناب‌های سطحی، ذخیره پتانسیل آبی حاصل از بارندگی است. بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نشان داد در دو موقعیت در شهر مشهد (شکل ۶) شامل (a) حاشیه کال چهل‌بازه قبل از تقاطع بلوار دانشجو با بزرگراه امام علی (ع) در محدوده منطقه ۱۱ شهرداری و (b) در محدوده منطقه ۹ شهرداری مشهد در ضلع جنوبی تقاطع بلوار لادن با لادن ۲۳ که محل اتصال مسیل «نه‌دره» به «آب و برق» نیز هست احداث مخازن خاکی به حجم ۳۰۰۰۰ متر مکعب توصیه می‌گردد. در موقعیت اول رواناب چهار زیر حوضه منطقه ۱۱ مجموعاً به مساحت ۳/۶ کیلومتر مربع و در موقعیت دوم رواناب محدوده‌ای به وسعت ۸/۹۵ کیلومتر مربع در موقعیت‌های پیشنهادی زهکشی می‌شود. در جدول ۶ دبی اوج و حجم رواناب حاصل از بارش‌های مختلف در محل‌های پیشنهادی ارائه شده است.

علاوه بر پیشنهاد احداث مخازن فوق، در بررسی‌های انجـــام شده در بـــرخی از مناطق شهرداری با توجه به شرایط محـــلی امکان احداث مخازن کوچک در چند محل مناسب به شرح جدول ۷ وجود دارد.

ب- استفاده از پتانسیل ذخیره دریاچه‌های موجود

با توجه به پیش‌بینی زمان وقوع بارش‌ها و امکان برنامه‌ریزی برای استفاده از ظرفیت ذخیره دریاچه‌های مصنوعی ایجاد شده در پارک‌ها و فضای سبز به عنوان روشی کم‌هزینه و موثر، در این پژوهش پتانسیل ذخیره آب در دریاچه‌های موجود در سطح شهر مشهد مورد ارزیابی قرار گرفت که اطلاعات آن در جدول ۸ ارائه گردیده است.

ج- استفاده از روش‌های توسعه کم‌اثر

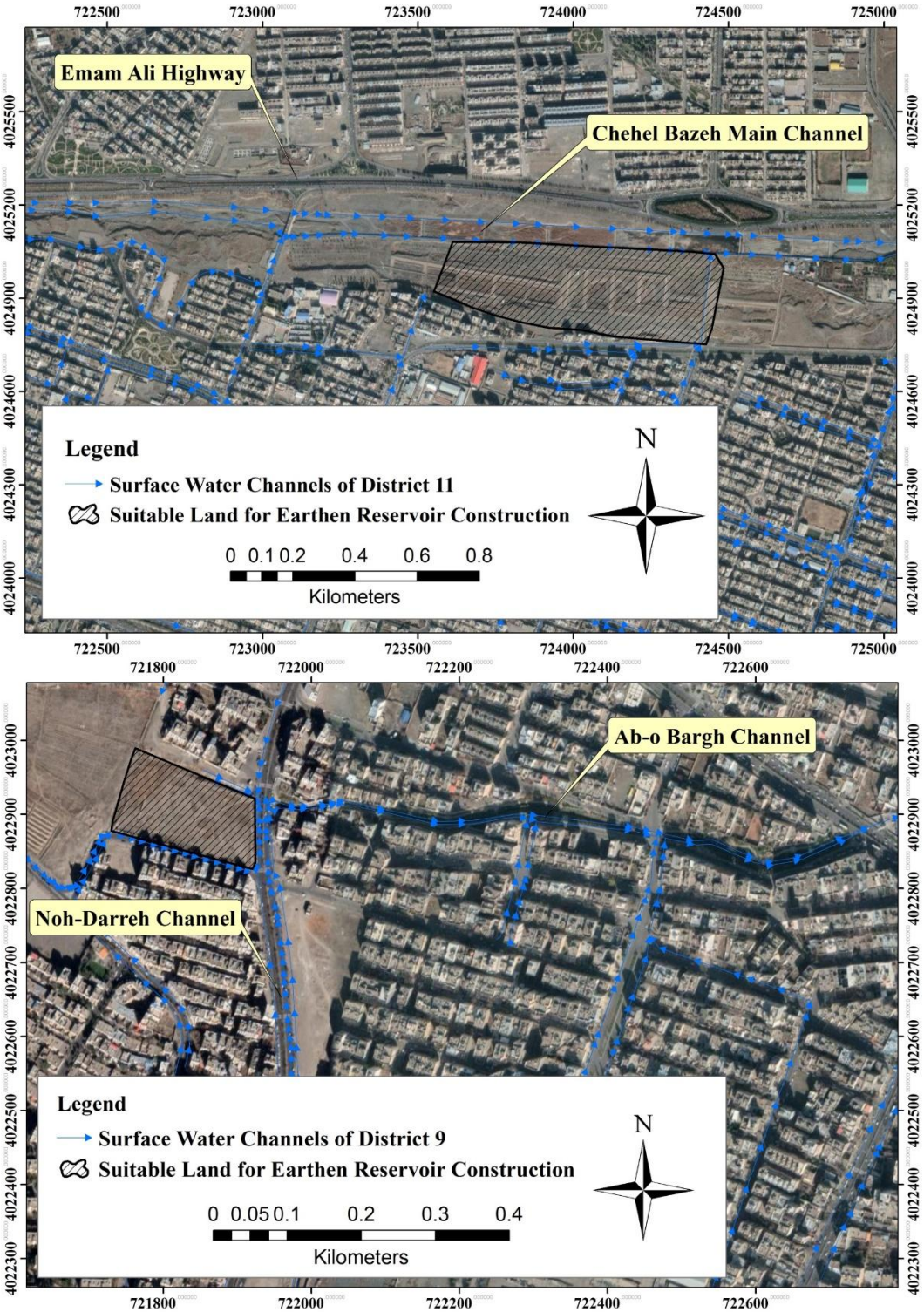
همان‌طور که در بخش مقدمه نیز اشاره شد با پیشرفت فنی در زمینه شبکه جمع‌آوری آبهای سطحی، روش‌های نوین در مدیریت بهینه رواناب‌های سطحی مطرح گردیده‌اند که با کم کردن اثرات توسعه شهری حوضه بر رژیم جریان از حجم رواناب سطحی و آلودگی آن می‌کاهند و شامل انواع روش‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌باشند. بطورکلی روش‌های غیرسازه‌ای روش‌های نرم‌افزاری هستند که با صرف هزینه‌های اندک در کاهش حجم رواناب و خسارات احتمالی آن موثرند. علاوه بر روش‌های مورد اشاره در قبل می‌توان به ایجاد سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیل، پیشگیری از ساخت و ساز و توسعه در مناطق پر خطر، تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها و آزادسازی بستر اشاره کرد. با توجه به اینکه تلفیق روش‌های غیرسازه‌ای و سازه‌ای مؤثرتر از هر یک از روش‌ها به‌صورت مجزا می‌باشد، در جدول ۹ برخی از روش‌های سازه‌ای توسعه کم اثر (LID) مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

از ابتدای پژوهش حاضر استفاده از روش‌های نوین مدیریت رواناب‌های شهری مورد توجه قرار داشت که با توجه به بازدیدهای به عمل آمده از مناطق سیزده‌گانه شهرداری مشهد محل‌هایی که در حال حاضر امکان استفاده از روش‌های توسعه کم اثر در آنها وجود دارد، در جدول ۱۰ به همراه روش مناسب ارائه شده است.

Table 6- Calculated rainfall depth and runoff volume at Chehel Bazeh Channel in Emam Ali Highway and Noh-Darreh Channel

جدول ۶- عمق بارش و حجم رواناب تولید شده در حاشیه مسیل چهل‌بازه و مسیل نه‌دره برای تداوم‌های مختلف بارندگی

Rainfall Duration	Rainfall Depth (mm)	Runoff Volume (m3)	
		Chehel Bazeh	Noh-Darreh
15 min	3.6	4000	3700
1 hr	7	9900	8800
2 hr	9.6	15000	13100
3 hr	12	15800	14200
6 hr	16.2	21600	19300
24 hr	28.8	32100	29800



(a) Chehel Bazeh Channel

(b) Noh-Darreh Channel

Fig. 6- The location of the proposed earthen water reservoirs with a volume of 30,000 m^3

شکل ۶- موقعیت مخازن خاکی پیشنهادی با حجم ۳۰۰۰۰ متر مکعب

Table 7- Suitable places to build small water reservoirs to store surface runoff
جدول ۷- محل‌های مناسب برای احداث مخازن کوچک جهت ذخیره آب‌های سطحی

No.	Place	District
1	Basij Park	4
2	Heights of Namaz Boulevard	9
3	Shahid Mazaheri Square on Hejab Boulevard	10
4	Shahid Esmailzadeh Square on Andisheh Boulevard	10
5	Amiriyeh 25th	12
6	Car market on Majidiyeh Boulevard	12

Table 8- Investigating the possibility of storing surface runoff in the artificial lakes of Mashhad
جدول ۸- بررسی امکان ذخیره رواناب‌های سطحی در دریاچه‌های موجود در سطح شهر مشهد

No.	Location of the Lake	Water Storage Potential of the lake (m^3)	Water Transfer Distance (m)	Water Transfer method to the lake	Note
1	Pardis Qaem Park	7500	1600	by Gravity	First option
2	Pardis Qaem Park	7500	1000	by Pumping	Second option
3	Mellat Park	14000	-	by Gravity	There are concerns about sediment volume and water quality.
4	Vafa Park	1500	< 500	by Gravity	-
5	Kooh-Sangi Park	52000	-	-	The maximum runoff can be stored is 3000 m^3, which has no quantitative and qualitative justification.
6	Vahdat Park	6000	1000	by Pumping	-
7	Behesht Park	2500	< 500	by Gravity	-
8	Eram Park	9000	1500	by Gravity	-
9	Raja Park	1848	2500	by Gravity	The lake can be used to store runoff from Eghbal-e Sharghi Channel.

د- ضرورت ساماندهی مسیل اقبال‌شرقی

با توجه به اهمیت و نقش اساسی مسیل اقبال‌شرقی در جمع‌آوری و هدایت رواناب‌های بخش وسیعی از شهر مشهد ساماندهی قسمت‌هایی از این مسیل که فاقد ساماندهی است می‌تواند مانع از آبگرفتگی و آب‌افتادگی در برخی نقاط شهری از جمله در بلوار نماز و پل انقلاب گردد.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

با توجه به وسعت کلان‌شهر مشهد و فقدان اطلاعات کافی، استفاده از مدل‌های نظری مانند هیدروگراف واحد اشنایدر همراه با واسنجی پارامترهای مربوطه برآورد نسبتاً مناسبی از حجم رواناب تولید شده و دبی اوج در اختیار قرار می‌دهد. بررسی‌های انجام گرفته در این پژوهش برای مدیریت بهینه رواناب‌های سطحی شهر مشهد با هدف استفاده هر چه بیشتر از این پتانسیل آبی و در عین حال رفع مشکلاتی همچون آبگرفتگی و آب‌افتادگی در برخی نقاط شهری نشان داد به دلیل محدودیت‌های مکانی از یک طرف و حجم بالای رواناب تولیدی احداث مخازن به جز در چند نقطه مستعد (جدول ۷)، فاقد توجیه اقتصادی می‌باشد. با توجه به نقش مؤثر روش‌های توسعه کم‌اثر در کاهش آلودگی منابع آب، افزایش تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و کیفیت رواناب‌های سطحی ضروری است که استفاده از این روش‌ها بویژه در طرح‌های آینده جهت توسعه یا اصلاح معابر و المان‌های شهری مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد.

Table 9- Comparison among some LID methods

جدول ۹- مقایسه چند روش LID

LID Method	Advantages	Disadvantages
Absorbing well	Cost saving, groundwater replenishment	Improper for soils with low permeability
Bioswale/Vegetated Swale	Visually appealing, providing a biological filtration system, protecting against land erosion, being more cost-effective than traditional curb and gutter systems	Requiring more maintenance, unsuitable for areas with steep slope, being a potential source of odor and mosquitoes if water is left stagnant
Curb Drains	Draining water rapidly to the surface water drainage system or green space on the sides of streets and highways	Having a higher construction cost than general curbs
Detention Ponds	Storing water, Slowing down water flow and reducing peak runoff, suitable for dry areas, having multi-purpose use, improving water quality	The slope of the site and the contributing area are important, and an emergency spillway is necessary for safety during storm events.
Green/Vegetated Roof	Collecting and filtering stormwater, providing beautiful landscape and urban amenities, reducing the temperature on the roof, absorbing environmental noise pollution, improving air quality	Requiring major costly changes to the building
Infiltration Trenches	Groundwater replenishment, providing a biological infiltration system and retaining heavy metals, offering water to plants (where vegetated)	The possibility of being clogged with pollutants and sediment, requiring regular maintenance, unsuitable for areas with steep slope
Permeable Pavement	Reducing runoff volume, Groundwater replenishment	High costs of preparing this type of pavements, and low durability
Retention Ponds	Storing water, Slowing down water flow and reducing peak runoff, improving water quality	Sediment accumulation and high maintenance costs

Table 10- Suitable places to use Low Impact Development (LID) methods in Mashhad

جدول ۱۰- مکان‌های مناسب جهت بکارگیری روش‌های توسعه کم‌اثر در شهر مشهد

No.	Place	Method	District
1	Malek Abad Boulevard	Bioswale	1
2	The intersection of Majd Boulevard and Abkooh Street	Bioswale	1
3	The intersection of Kolahdooz Boulevard and Abkooh Street	Bioswale	1
4	Basij Park on the side of the highway next to the gas station	Curb drain systems with water drainage system to transfer runoff to the park swales	4
5	The intersection of Rostami Boulevard and the highway next to Arghavan Park	Curb drain systems to transfer runoff to the park swales	6
6	The sides of Ghadir Highway	Curb drain systems to transfer runoff to the green space on the sides of the highway	6
7	The sides of Emam Ali Highway	Curb drain systems to transfer runoff to the green space on the sides of the highway	10

بطورکلی در شرایط فعلی رویکرد اصلی در جمع‌آوری و مدیریت رواناب‌های سطحی در شهر مشهد استفاده از پتانسیل دریاچه‌ها و مخازن موجود و همچنین جلب رضایت شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی برای تفاهم و توافق استفاده از آب رهاشده‌ی سد تاریخی گلستان در ازای رواناب زهکشی شده از زهکش‌های شهری به سمت کشف‌رود می‌باشد.

پی‌نوشت‌ها

1- Water Security
2- Low Impact Development Methods
3- Bioswale
4- Bioretention/Rain Garden
5- Infiltration Trenches
6- Permeable Pavement
7- Vegetated Roofs
8- Absorbing Wells
9- Conventional Development
10- Depth-Duration-Frequency
11- Initial and Constant Method
12- Optimization
13- Objective Function
14- Univariate-Gradient Method
15- Trials

۵- مراجع

Abdolghafoorian A, Tajrishy M, and Abrishamchi A (2012) Urban water management considering reclaimed wastewater and runoff as a new water resource for city of Tehran, Iran. Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab 23(4):29–42 (In Persian)

Ahiablame LM, Engel BA, and Chaubey I (2012) Effectiveness of low impact development practices: Literature review and suggestions for future research. Water, Air, & Soil Pollution 223(7):4253–4273

Akan AO and Houghtalen RJ (2003) Urban hydrology, hydraulics, and stormwater quality. Engineering Applications and Computer Modeling, Wiley

American Society of Civil Engineers and the United States Army Corps of Engineers (1996) River hydraulics: Technical engineering & design guides as adapted from U.S. Army Corps of Engineers, NO. 18. New York, NY: ASCE Press

ASCE (1996) Hydrology handbook. New York: American Society of Civil Engineers, ASCE Press

Azizi J and Khodashenas SR (2019) The effect of Mashhad city development on its flooding during 1941- 2016. Iran-Watershed Management Science & Engineering 13(45):118–128 (In Persian)

Binesh N, Nazariha M, Niksokhan MH, and Sarang A (2015) Investigating the effect of applying BMPs on quantity and quality of urban floods. The Third National Conference on Flood Management and Engineering with Urban Flood Approach, Tehran (In Persian)

Dolati J, Lashkaripour GR, and Hafezi Moghaddas N (2016) Investigation of environmental impacts of city development on aquifer and water resources case study of Mashhad. 6 th National Conference on Water Resources Management, Kordestan (In Persian)

Farzin S, Noori H, and Karami H (2018) Performance development of modern methods using multi-objective optimization in urban runoff control. Iran-Water Resources Research 14(3):45–58 (In Persian)

Ghahraman B and Abkhezr H (2004) Improvement in intensity-duration-frequency relationships of rainfall in Iran. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 8(2):1–14 (In Persian)

Ghasemi S and Faghfour Maghrebi M (2015) Investigation of the best method for collecting surface runoff in Mashhad (Case Study: Mashhad Ab-o Bargh District). 14th Iranian Hydraulics Conference, Zahedan, 1–8 (In Persian)

Hatami-Yazd A, Taghvaee-Abrishami AA, and Ghahraman B (2005) Rainfall temporal pattern for Khorasan Province. Iran-Water Resources Research 1(3):40–50 (In Persian)

HEC (2000) Hydrologic modeling system HEC-HMS. Technical Reference Manual, Davis, C A: US Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center

Jha AK, Bloch R, and Lamond J (2012) Cities and Flooding. The World Bank, Available at: https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8866-2

Karami M, Ardeshir A, and Behzadian Kourosh (2016) Hazard management of inundation and pollutants in urban floods using optimal conventional and novel strategies. Iran-Water Resources Research 11(3):100–112 (In Persian)

Karamouz M (2012) Preface: Water security in urban areas. Iran-Water Resources Research 7(4):0–1 (In Persian)

Khani S and Faghfour Maghrebi M (2017) Comparison of estimates of runoff peak discharge based on SWMM and HEC-HMS models using ASSA software. 16th Iranian Hydraulics Conference, Ardabil (In Persian)

Kouhi M, Babaeian I, Mousavi–Baygi M, Farid Hosseini A, and Khazanedari L (2013) Projected changes in precipitation extremes of Mashhad during the twenty first century. Iran-Water Resources Research 9(1):61–74 (In Persian)

Maidment DR (1993) Handbook of hydrology. McGraw-Hill

Mays LW (1996) Water resources handbook. McGraw-Hill

Radmehr A and Araghinejad S (2016) Optimal urban flood management using spatial multi criteria decision making approach. Amirkabir Journal of Civil and Environmental Engineering 48(3):227–240 (In Persian)

Tajbakhsh M and Khodashenas SR (2008) Using new methods of urban flood control for optimal use of water resources. National Conference on Water Resources Development, Zahedan (In Persian)

USACE (1994) Flood-runoff analysis, EM 1110-2-1417. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers

WIUT (2017) Urban flood management training course-SWMM. Tehran: Water Institute-University of Tehran (In Persian)

Mitchell VG, Mein RG, and McMahon TA (2001) Modelling the urban water cycle. Environmental Modelling & Software 16(7):615–629

Panahi G and Esmaili K (2018) Recommendation of new approaches for urban flood management. Journal of Water and Sustainable Development 5(1):93–100 (In Persian)

Peng Z, Jinyan K, Wenbin P, Xin Z, and Yuanbin C (2019) Effects of low-impact development on urban rainfall runoff under different rainfall characteristics. Polish Journal of Environmental Studies 28(2):771–783

Ponce VM (1991) The kinematic wave controversy. Journal of Hydraulic Engineering 117(4):511–525