

## Flood Management in the Eighth District of Herat City using Low Impact Development and Their Evaluation with EPA-SWMM Model

S. Samim<sup>1</sup>, F. Hajian<sup>2\*</sup>, D. Moazami<sup>3</sup>

1,3- MSc Student and Assistant Professor, Department of civil engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran. 2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Neishabour Branch, Islamic Azad University, Neishabour, Iran.

\*(Corresponding Author Email: f.hajian@yahoo.com)

Received: 01-05-2021

Revised: 04-08-2021

Accepted: 06-09-2021

Available Online: 19-03-2022

## مدیریت سیلاب ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان با استفاده از روش‌های توسعه کم اثر و ارزیابی آنها با مدل EPA-SWMM

صمیم صمیم<sup>۱</sup>، فرهاد حاجیان<sup>۲\*</sup>، دانیال معظمی<sup>۳</sup>

۱ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه عمران، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران. ۲- استادیار گروه عمران، واحد نیشابور، دانشگاه آزاد اسلامی، نیشابور، ایران.

\*(نویسنده مسئول، E-Mail: f.hajian@yahoo.com)

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۱۲/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

### Abstract

One of the main problems in urban development is the increase of impenetrable levels, which leads to an increase in runoff and the occurrence of urban floods. In this study, the current situation of floods in the eighth district of Herat city was investigated using the EPA-SWMM mathematical model in terms of flooding. Then, six different modes were modeled separately and simultaneously in the form of two methods: low-impact development of rainwater storage barrels (in two different sizes) and biological biomass units. The results of this study showed that by using low-impact development methods, the negative effects of floods with a return period of 10 years can be reduced by at least 40%. After that, simulation has been done using the flood mitigation reservoir method. The results showed that the construction of delayed reservoirs causes a delay in the peak discharge time and reduces the peak flood discharge. Also, the use of flood mitigation reservoir and unit biomass method and rain barrel method with larger diameter reduces flooding by 80% and the use of unit biomass method and the smaller diameter barrel method reduces the volume of urban floods by 75%.

**Keywords:** Urban Development, Runoff, District 8, Herat City, SWMM.

### چکیده

از اساسی‌ترین مشکلات در توسعه شهری، افزایش سطوح غیرقابل نفوذ می‌باشد که منجر به افزایش رواناب و وقوع سیلاب‌های شهری می‌شود. در این پژوهش، وضع موجود سیلاب‌های ناحیه هشتم شهر هرات با استفاده از مدل ریاضی EPA-SWMM، به لحاظ آبرگرفتنی بررسی شد. سپس شش حالت مختلف به شکل اجرای دو روش توسعه کم اثر بشکه ذخیره آب باران (در دو اندازه مختلف) و واحد زیست‌ماند بیولوژیکی، به‌طور جداگانه و هم‌زمان مدل‌سازی شد. نتایج این پژوهش نشان داد با به‌کارگیری روش‌های توسعه کم‌اثر می‌توان اثرات منفی سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰ سال را حداقل ۴۰ درصد کاهش داد. پس از آن با بهره‌گیری از روش مخزن تعدیل سیلاب، شبیه‌سازی صورت گرفته است. نتایج نشان داد، احداث مخازن تأخیری، موجب تأخیر در زمان وقوع دبی اوج و کاهش دبی اوج سیلاب می‌شود. همچنین به‌کارگیری مخزن تعدیل سیلاب و روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر بزرگتر موجب کاهش ۸۰ درصدی محل‌های آبرگرفتنی و به‌کارگیری روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران با قطر کوچکتر، موجب کاهش ۷۵ درصدی کاهش حجم سیلاب شهری می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** توسعه شهری، رواناب، ناحیه هشتم، شهر هرات، SWMM.

پژوهشی ضمن تشریح عوامل موثر در ایجاد سیلاب شهری با دوره بازگشت‌های مختلف به بیان راهکارهای عملی در خصوص مدیریت آن پرداختند. از جمله راهکارهایی که اثرات سیلاب را کاهش می‌دهد، به کار بردن روش‌های غیر سازه‌ای در جهت کنترل سیلاب می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷).

کاویانپور و بهزادی پور (۱۳۹۵) برای کاهش سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۱۰ و ۱۰۰ ساله تأثیر روش‌های توسعه کم اثر (LID)<sup>۲</sup> را بررسی نمودند. نتایج نشان داد اعمال LID میزان ماکزیمم دبی ورودی به رودخانه قمرود را کاهش می‌دهد و باعث کاهش خسارات می‌شود. همچنین کاویانپور و همکاران، (۱۳۸۹)، ضمن بررسی وضعیت گسترش شهر تهران در طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۷، اثر روش‌های توسعه کم اثر در کاهش حجم و دبی اوج سیلاب را بررسی نمودند. سلطانی و همکاران (۱۳۹۳) اثر اقدامات کنترلی و مدیریتی همچون بام و خیابان‌های سبز، مخازن کنترلی در کاهش رواناب را تا ۷۰٪ پیش‌بینی نمودند. سعیدی و شامی (۱۳۹۴) نیز بر استفاده از روش‌های مدیریتی در کاهش سیلاب تأکید کردند.

در حال حاضر مناسب‌ترین مدل برای بررسی روش‌های توسعه کم اثر بر کاهش سیلاب مدل SWMM می‌باشد. به‌عنوان مثال، سبزی و نصری (۱۳۹۰)، تأثیر روش‌های توسعه کم اثر و دفع آب‌های سطحی با استفاده از مدل SWMM برای شهر زواره با ۵ زیرحوضه را بررسی نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند، کاهش پیامدهای زیان‌بار با طراحی ظرفیت کافی شبکه‌های جمع‌آوری و دفع آب‌های سطحی قابل قبول بوده است. Smith و همکاران (۲۰۰۵)، از مدل SWMM در حوضه آبریز دره ریزور در آنتاریو کانادا، برای بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر سیلاب شهری استفاده کردند و آن را مدل مناسبی برای ارزیابی سیلاب شهری گزارش نمودند، آنها در این مطالعه، نتایج مدل‌سازی سیلاب شهری به کمک مدل SWMM را که توسط محققین پیشین از جمله Choi و همکاران (۲۰۰۲) انجام شده بود تأیید کردند.

مطالعات زیادی در خصوص کاربرد مدل SWMM در سیلاب شهری انجام شده است. پژوهش‌های همچون پژوهش Zeng و همکاران (۲۰۲۱) با کمک سامانه‌های برخط از قدرت نرم‌افزار مدل SWMM برای مدیریت سیلاب شهری استفاده نمودند. ایشان از توانایی مدل SWMM تحت وب در مدیریت بلادرنگ رواناب شهری استفاده نمودند. Zhiyu و همکاران (۲۰۲۱) با کمک شناسایی عدم قطعیت‌های محیط عملکرد مدل SWMM در شرایط مختلف را بررسی کردند. ایشان با استفاده از عدم قطعیت‌ها به صورت کاربردی به شناخت راه‌حل‌های کاهش رواناب توجه نمودند. Iglesias-Rey و همکاران (۲۰۱۷)، از ترکیب روش رگرسیون‌گیری و مدل SWMM برای شناسایی دقیق‌تر نقاط سیلاب گرفته استفاده نمودند. همچنین برخی از محققان

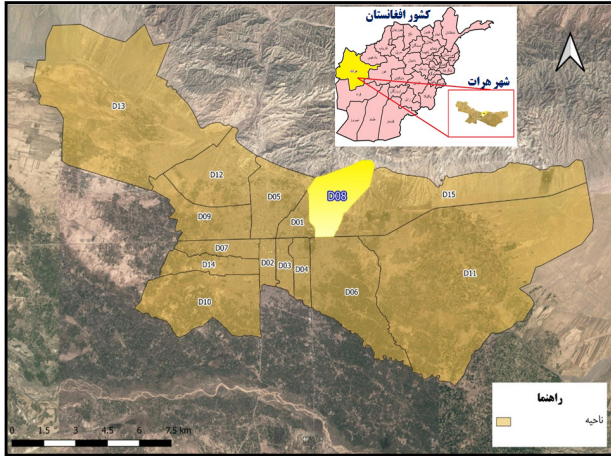
سالانه وقوع سیلاب، در کشورهای مختلف دنیا، جان و مال بسیاری از مردم را به خطر می‌اندازد. از دلایل سیل‌گرفتگی، تغییر کاربری اراضی، توسعه شهرنشینی، ساخت و سازهای غیر اصولی، وجود سیستم فاضلاب قدیمی و وسعت یافتن اراضی غیر قابل نفوذ در مناطق شهری می‌باشند. به طوری که اکثر مساحت مناطق شهری توسط اراضی غیرقابل نفوذ پوشیده شده و باران با شدت بالا موجب جمع شدن رواناب و بروز سیل یا آبگرفتگی در این مناطق می‌شود (Fernandes, ۲۰۱۰). این موضوع در بسیاری از مناطق شهری افغانستان موجب بروز سیلاب‌های خسارت‌بار شده است.

سازمان ملل تخمین زده که جمعیت جهان از ۲٫۹ میلیارد ساکن شهری در دهه ۱۹۹۰ به ۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۳۰ افزایش خواهد یافت. یک عارضه جانبی و ناخواسته تراکم جمعیت، افزایش تعداد افراد در معرض سیل می‌باشد. به خصوص، با رشد بی‌سابقه جمعیت در کشورهای آسیایی، تغییرات ناشی از تغییر اقلیم چالش‌های عمده‌ای را برای شهرها به وجود آورده است (Zevenbergen و همکاران ۲۰۱۰). رشد چشمگیر جمعیت و تغییر اقلیم هر دو تأثیرات منفی و تشدید کننده‌ای بر مخاطره‌آمیز بودن سیلاب دارند (Mashaël, Mohammed, ۲۰۱۵؛ Shammaa و همکاران، ۲۰۰۲).

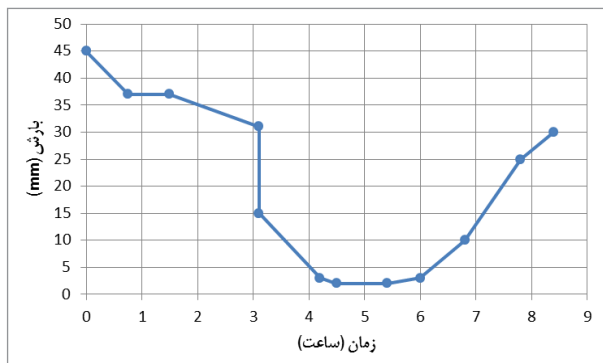
رشد سریع شهرسازی و شهرنشینی در افغانستان، مشکلاتی از جمله آب‌گرفتگی مسیرهای سطح شهری و خطرات ناشی از گسترش سیلاب (به واسطه عدم وجود سیستم زهکشی مناسب و بی‌نظمی‌های کانال‌ها و مسیل‌ها) از مشکلات بنیادی بسیاری از حوزه‌های شهری این کشور است. شهر هرات به‌عنوان یکی از مهمترین شهرهای این کشور، هر ساله به هنگام سیلاب خسارت‌های زیادی را متحمل می‌شود. در در این پژوهش ناحیه هشتم شهر هرات مطالعه خواهد شد. این ناحیه با مساحت ۵/۷ کیلومتر مربع و با جمعیت حدود ۳۰ هزار نفر یکی از بزرگترین نواحی هرات می‌باشد. در این ناحیه توسعه شهری و تغییر رژیم هیدرولوژیکی موجب فزونی سیلاب شده است. از همین رو تلاش شده اثر روش‌های توسعه کم اثر شامل توسعه مخازن تعدیل سیلاب، و روش واحد زیست‌ماند بیولوژیکی و روش بشکه ذخیره آب باران در شرایط سیلابی با دوره‌های بازگشت متفاوت بررسی شود. برای رسیدن به هدف مذکور، جهت شبیه‌سازی و برآورد رواناب در منطقه مورد مطالعه از مدل ریاضی EPA-SWMM<sup>۱</sup> جهت مدیریت رواناب‌ها و سیلاب‌های شهری استفاده شد.

## پیشینه پژوهش

شبکه‌های سیلاب‌رو درون شهر عموماً برای سیلاب با دوره بازگشت ۲ تا ۱۰ سال و گاهی تا ۲۰ سال طراحی می‌شوند (Chen و همکاران، ۲۰۰۹). اورعی زارع و ثقفیان (۱۳۹۰)، در



شکل ۱- موقعیت ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان



شکل ۲- نمودار سری زمانی بارش ماه مارچ (۲۰۲۰)

#### • مراحل مدل‌سازی با SWMM

برای شبیه‌سازی باران-رواناب محدوده مورد مطالعه روش SCS برای محاسبه نفوذ انتخاب شد. همچنین برای مدل‌سازی نفوذ در مدل SWMM از روش عدد منحنی SCS و در مورد مسیر یابی هیدرولیکی از روش موج دینامیکی (به‌منظور لحاظ نمودن کلیه عوامل معادله مومنتم) استفاده شد. همچنان انتخاب LID ها از خود مدل SWMM استخراج شده است. در مدل‌سازی با کمک مدل SWMM سه روش برای روندیابی وجود دارد: الف) جریان دائمی (پایدار)؛ ب) جریان سینماتیک؛ ج) جریان دینامیک. چنانچه در مدل‌سازی، تمام ترم‌های معادله مومنتوم در تحلیل جریان وارد شوند نوع موج جریان دینامیک است. چنانچه در تمام ترم‌های معادله مومنتوم از جز شیب کف و شیب خط انرژی صرف نظر شود نوع جریان سینماتیک خوانده می‌شود. برای شبیه‌سازی بارش-رواناب ناحیه هشتم شهر هرات روش روندیابی موج دینامیکی انتخاب شده است که در مقالات متعدد به کاربرد آنها اشاره شده است (محمودلی سامانی و شایان‌نژاد محمد، ۱۳۷۹). در مدل SWMM دو روش برای محاسبه افت وجود دارد: ۱) داریسی وایسباخ و ۲) هیزن ویلیامز که برای شبیه‌سازی

با ترکیب مدل SWMM با سایر مدل‌ها نتایج بهتری به دست آوردند. به‌عنوان مثال Phillips و همکاران (۲۰۰۵)، مدل‌سازی یک بعدی و دو بعدی سیستم زهکشی شهری با استفاده از مدل XP-SWMM و TUFLOW انجام دادند. نتایج نشان داد ترکیب و استفاده از مدل‌های ذکر شده جهت تهیه نقشه آبگرفتگی در مناطق شهری و طراحی سیستم زهکشی بسیار مفید است. Dongquan و همکاران (۲۰۰۹) برای شبیه‌سازی بارش و رواناب در حوضه شهری Macau از مدل SWMM و GIS استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از GIS در به‌دست آوردن برخی از پارامترهای مهم مدل SWMM بسیار مفید است و وقتی پارامترهای کافی در دسترس باشد مدل SWMM انعطاف‌پذیری قابل ملاحظه‌ای دارد. Chen و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای مدل دو بعدی UIM<sup>۲</sup> را با مدل یک بعدی SWMM برای شبیه‌سازی جریان رو سطحی و زیرسطحی برای تهیه نقشه آب گرفتگی یکی کردند. باتوجه‌به اینکه در این مطالعه مقدار بارندگی و ظرفیت کانال برابر بود؛ علت آب گرفتگی می‌تواند در نتیجه تمرکز جریان در یک کانال در مدت زمان کوتاه باشد. همچنین نتایج نشان داد ترکیب یک مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نتایج بهتری نسبت به استفاده از یک نوع مدل دارد. در این پژوهش برخلاف پژوهش‌های گذشته انواع روش‌های توسعه کم اثر بر کاهش سیلاب ناحیه هشتم شهر هرات افغانستان بررسی و مقایسه شد.

#### روش انجام پژوهش

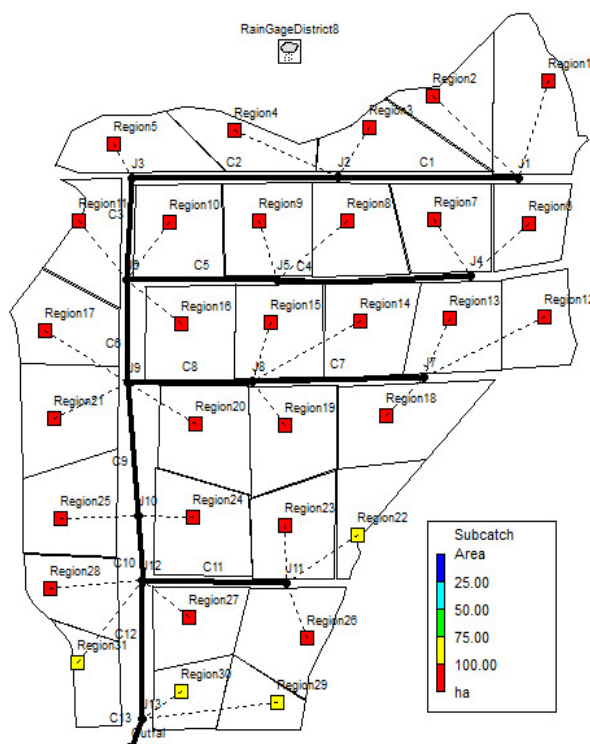
##### • منطقه مورد مطالعه

شهر هرات از سمت شمال به جمهوری ترکمنستان و ولایت بادغیس، در جنوب به ولایت فراه و بخشی از ولایت غور و از سمت شرق به ولایت بادغیس و غور و از غرب با جمهوری اسلامی ایران همسایه است. هرات ۶۱۳۱۵ کیلومترمربع وسعت دارد. در این پژوهش ناحیه هشتم از شهر هرات بررسی خواهد شد. ناحیه هشتم شهر هرات بر اساس طرح‌های جامع مصوب سال‌های ۱۳۴۹ و ۱۳۷۰ مورد توجه قرار گرفته است. موقعیت این منطقه در ناحیه هشتم شهر هرات در شکل (۱) ارائه شده است. ناحیه مذکور ۵/۷ کیلومتر مربع مساحت دارد. مطابق شکل (۱)، ناحیه هشتم شهر هرات در قسمت شمالی شهر قرار گرفته است. این منطقه از چند محله مهم تاریخی و با پتانسیل بالای رشد در طی سال‌های متمادی تشکیل شده است. میانگین بارش در هرات در زمستان ۴۳ در بهار ۳۸ در تابستان ۲ و در پاییز ۳۰ میلی‌متر است. همچنین تعداد روزهای یخبندان به‌طور متوسط ۱۲۰ روز در سال است. نمودار سری زمانی بارش ساعتی در شکل (۲) نمایش داده شده است.

بارش-رواناب محدوده مورد مطالعه روش محاسبه افت هیزن ویلیامز برگزیده شده است. مراحل انجام شبیه‌سازی در این مدل به شرح ذیل است:

(۱) جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های کمی شامل: اطلاعات مربوط به شبکه‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی، نقشه محدوده مورد مطالعه، آمار و اطلاعات رگبارها؛ (۲) تعریف شماتیک زیر حوضه‌های محدوده مورد مطالعه و رسم کلیه گره‌ها، اتصالات، خروجی در نرم‌افزار SWMM؛ (۳) تعریف مشخصات بارندگی و اطلاعات بارش برای مدل؛ (۴) تنظیمات اجرایی مدل و آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامترها؛ (۵) کالیبراسیون مدل؛ (۶) تعریف سناریوها و شبیه‌سازی سناریوهای لازم جهت مدیریت بهتر آب‌های سطحی منطقه.

سیستم زهکشی ناحیه هشتم شهرداری هرات از توپوگرافی منطقه تبعیت می‌کند. در ابتدا نقشه شیب بر اساس فایل DEM استخراج و ترسیم شده است. میانگین شیب منطقه ۱/۴ درصد می‌باشد که نشان دهنده این است که منطقه شیب ملایمی دارد. سپس مرز حوضه و زیرحوضه‌ها بر اساس توپوگرافی منطقه و شبکه زهکشی، با استفاده از نرم افزار ArcGIS به صورت شکل (۳) ترسیم شده است. کانال جمع‌آوری آب‌های سطحی در محدوده مورد مطالعه به فرم مستطیلی روباز با عرض کف ۱ و عمق ۱/۵ متر می‌باشد. کلیه کانال‌های موجود بتنی بوده و مقدار ضریب زبری ۲/۲۴ در نظر گرفته شده است.



شکل ۳- مرز زیر حوضه‌ها با توجه به نقشه کاربری اراضی

برای محاسبه نفوذ، از روش عدد منحنی SCS و در مورد مسیریابی هیدرولیکی از روش موج دینامیکی استفاده شده است. همچنین برای شبیه‌سازی باران-رواناب در محدوده مورد مطالعه از روش بارش ۶ ساعته با دوره‌های بازگشت ۲، ۵ و ۱۰ ساله به ترتیب ۱۰، ۲۵ و ۴۳ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. در انتها به منظور آنالیز حساسیت مدل، میزان تأثیرگذاری پارامترها بر روی نتایج مدل ارزیابی شده است. در این پژوهش میزان تأثیرگذاری ۴ پارامتر شیب کانال، زبری کانال، CN<sup>۲</sup> حوضه و درصد نفوذپذیری بر روی نتایج مدل ارزیابی شد.

### نتایج و بحث

همانطور که ملاحظه شد، در ابتدا برای منطقه مورد مطالعه شبکه مجاری انتقال و گره‌های اتصال طراحی و تعریف شده است. مشخصات شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی ناحیه هشتم شهر هرات شامل: ۳۱ زیر حوضه، ۱۳ گره، ۱۳ اتصال و ۱ خروجی می‌باشد. باتوجه به شکل (۲) حداکثر مساحت یک زیرحوضه ۲۲۱ هکتار و مساحت کل زیرحوضه‌ها ۴۶۰۳ هکتار می‌باشد. در ادامه شبیه‌سازی برای کاهش سیلاب به شش روش انجام شده است. این شش روش عبارتند از:

- (۱) ادامه شرایط موجود؛
- (۲) استفاده از روش توسعه کم اثر بشکه باران؛
- (۳) روش زیست ماند بیولوژیکی؛
- (۴) استفاده از مخزن تعدیل سیلاب؛
- (۵) ترکیب روش بشکه باران و روش زیست ماند بیولوژیکی؛ و
- (۶) استفاده از مخزن تعدیل سیلاب همراه با دو روش بشکه باران و زیست ماند بیولوژیکی. مدت زمان تحلیل جریان نیز، ۱۲ ساعت در نظر گرفته شد.

### - ادامه شرایط موجود بدون استفاده از روش‌های توسعه کم اثر

نتایج مدل‌سازی هیدرولیکی در این روش نشان داد در زمان وقوع سیلاب با دوره برگشت ۲ ساله، به علت اضافه بار هیدرولیکی، ۱۰ درصد گره‌ها دچار آبگرفتگی شده و شبکه قادر به عبور کل سیلاب در این دوره بازگشت نمی‌باشد. در مدل‌سازی با دوره بازگشت ۵ سال، نتایج نشان داد وضعیت عبور سیلاب در این دوره بازگشت نسبت به سیل ۲ ساله، شرایط نامناسب‌تری را دارد به نحوی که حدود ۲۵ درصد از محل‌های عبور سیلاب دارای آبگرفتگی می‌باشند (جدول ۱). در ادامه در مدل‌سازی برای سیلاب ۱۰ سال که به منظور ارائه یک ارزیابی کامل از پتانسیل آسیب‌پذیری شبکه انجام گرفت، نتایج نشان داد میزان محل‌های آبگرفتگی ۴۰ درصد می‌باشد.

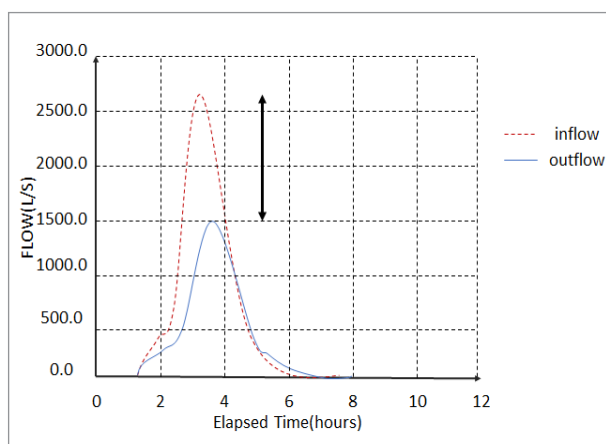


جدول ۱- حجم فرار آب در هر گره در دوره بارگشت ۵ سال

گره	متوسط عمق (m)	ماکزیمم عمق (m)	وضعیت آبگرفتگی
J1	۰/۰۷	۰/۵۰	ندارد
J2	۰/۲۸	۰/۶۰	ندارد
J3	۰/۰۷	۰/۶۸	ندارد
J4	۰/۰۸	۰/۵۰	ندارد
J5	۰/۱۳	۰/۶۰	ندارد
J7	۰/۰۶	۰/۷۸	دارد
J8	۰/۱۲	۰/۸۹	دارد
J10	۰/۱۳	۰/۵۶	ندارد
J11	۰/۰۵	۰/۷۷	دارد
J12	۰/۲۶	۰/۸۹	دارد
J13	۰/۱۹	۰/۰۳	ندارد
J6	۰/۱۱	۰/۶۰	ندارد
J9	۰/۲۴	۰/۹۸	دارد
Outfal	۰/۱۸	۰/۸۹	دارد

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش بشکه باران با قطر بزرگ

در شکل (۵) مقایسه هیدروگراف ورودی به مخزن و خروجی از آن تأثیر مناسب به کارگیری دو روش مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش بشکه باران با قطر بزرگ را در این روش نشان می‌دهد. اجرای روش بشکه باران با ابعاد بزرگ، در وضع موجود باعث کاهش حداقل ۴۰ درصد میزان فرار آب از گره‌ها می‌شود، این موضوع باعث افزایش دبی هیدروگراف خروجی نسبت به دبی هیدروگراف وضع موجود می‌شود، در این روش احداث مخزن، موجب تعدیل کاهش سیلاب در حدود ۴۰ درصد می‌شود. لازم به ذکر است روش‌های کاهش پیک سیلاب، از طریق کاهش زمان تمرکز و در نتیجه فرصت دادن به خروج سیلاب از خروجی حوضه آبریز شهری به کاهش خسارت‌های شهری کمک می‌کند.



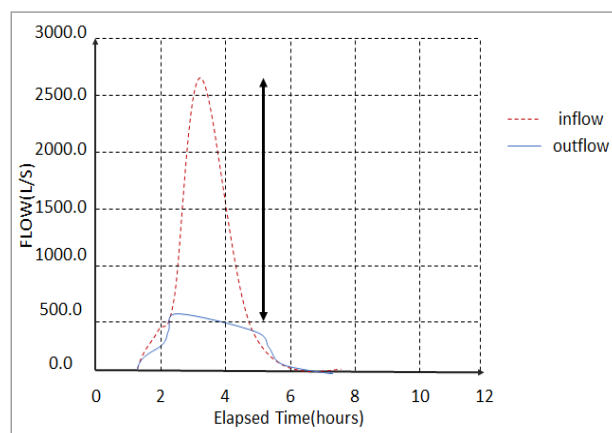
شکل ۵- نمودار کاهش پیک سیلاب در روش مخزن به همراه روش بشکه باران با قطر بزرگ و تعدیل سیلاب ۱۰ ساله

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب

از پرکاربردترین روش‌های کاهش دبی اوج سیل، مخازن تعدیل سیلاب است که یک مخزن با ذخیره کردن بخشی از حجم سیلاب، باعث کاهش اوج رواناب سطحی می‌شود (Coffmam و همکاران، ۲۰۰۰). مقدار دبی اوج سیل در هیدروگراف ورودی، در دوره بازگشت ۱۰ سال و در وضع موجود با فرض بهسازی کانال‌ها و بدون هیچ‌گونه آبگرفتگی در حدود ۲۵۰۰ لیتر بر ثانیه محاسبه شده است (شکل ۴). در این روش حدود ۸۰٪ از پیک سیلاب کاهش می‌یابد.

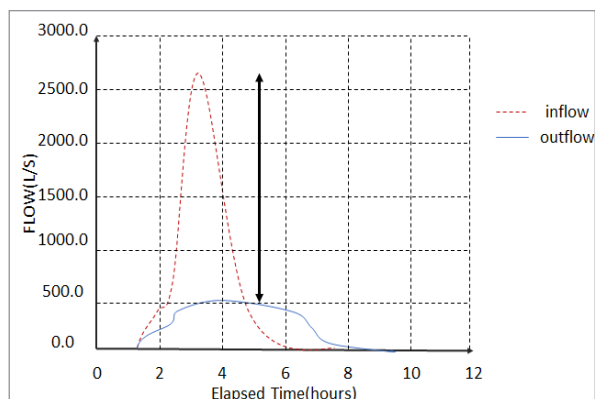
- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش بشکه باران با قطر کوچک

طبق نتایج به دست آمده (شکل ۶) اجرای روش توسعه کم اثر بشکه باران با ابعاد کوچک، در وضع موجود، باعث کاهش میزان فرار آب از گره‌ها (حداقل ۱۰ درصد) می‌شود، این موضوع باعث افزایش دبی هیدروگراف خروجی نسبت به دبی هیدروگراف وضع موجود می‌شود، در این روش احداث مخزن، تعدیل توانایی تعدیل حدود ۲۰ درصد از دبی پیک سیلاب و کاهش آن را داشته است. در این روش از آنجایی که روش توسعه به کار گرفته شده با قطر کوچکتر، نسبت به روش توسعه بشکه باران با قطر بزرگتر، خروج درصد رواناب کمتری را باعث می‌شود و در نتیجه زمان تاخیر در این روش در مقایسه با روش در مقایسه با روش نوین با قطر بزرگتر کمتر می‌باشد.



شکل ۴- نمودار کاهش پیک سیلاب با به کار گیری احداث مخزن تعدیل سیلاب در سیل ۱۰ ساله

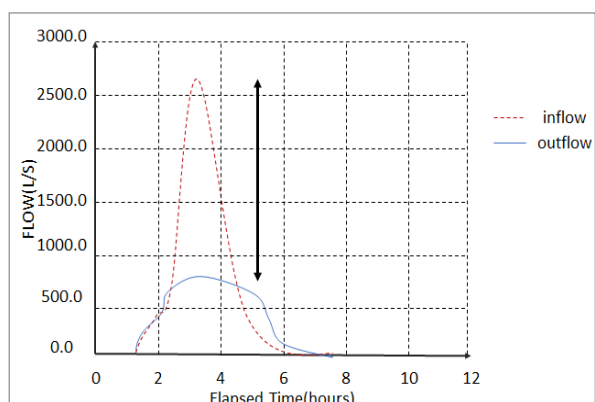
کاهش حداقل ۸۰ درصد رواناب فرار آب از گره‌ها، مشاهده شد و باعث ایجاد تعدیل بالا در شبکه شدند. زمان تاخیر نیز به میزان قابل توجهی در حدود ۱/۵ ساعت افزایش یافت (شکل ۸).



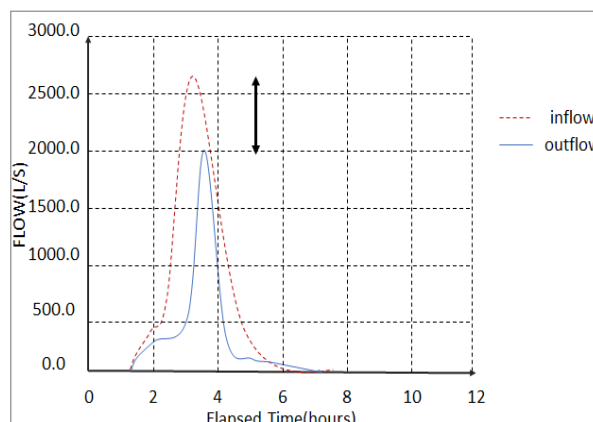
شکل ۸- نمودار کاهش پیک سیلاب در روش واحد زیست ماند و روش بشکه باران با قطر بزرگتر و تعدیل سیلاب ۱۰ ساله

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست ماند و روش بشکه باران با قطر کوچکتر

کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست ماند و روش بشکه باران با قطر کوچکتر نیز همانند روش کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست ماند و روش بشکه باران با قطر بزرگتر نتایج بسیار مشابه و نزدیکی را نشان داد و بیشترین تأثیر طبق مشاهده نتایج به دست آمده است. همانطور که پیش از این گفته شد، نتایج شبیه سازی نشان داد اجرای هر یک از روش‌های توسعه کم اثر به تنهایی، باعث بهبود شرایط وضع موجود می‌شوند و طبق نتایج، موثر و کارآ بودن ترکیب این روش‌ها به خوبی قابل مشاهده است. به طوری که با مدل سازی این روش ترکیبی، کاهش حداقل ۷۵ درصد رواناب در شبکه شدند (شکل ۹). همانطور که در شکل (۹) ملاحظه می‌شود افزایش زمان پیک با دبی اوج کوچکتر امکان عبور سیلاب از نقطه خروجی را افزایش خواهد داد.

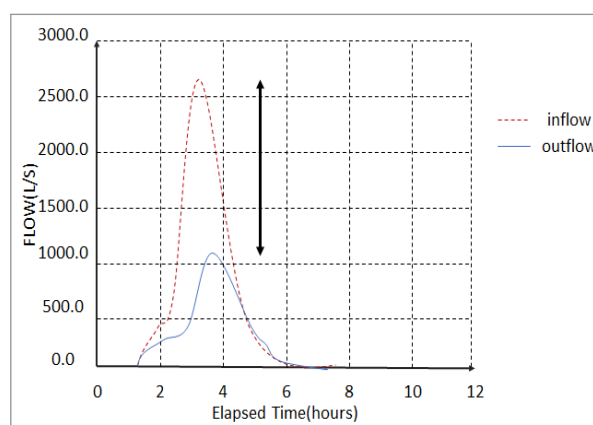


شکل ۹- نمودار کاهش پیک سیلاب در روش واحد زیست ماند و روش بشکه باران با قطر کوچکتر و تعدیل سیلاب ۱۰ ساله



شکل ۶- کاهش پیک سیلاب در روش مخزن تعدیل سیلاب سیلاب ۱۰ ساله

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست ماند طبق نتایج، این روش باعث کاهش حداقل ۸۰ درصد از محل‌های که آبگرفتگی دارند و حداقل ۵۰ درصد از میزان حجم فرار آب، شده است. در این روش پس از مدل سازی شبکه تنها با اجرای روش واحد زیست ماند، دبی هیدروگراف خروجی شبکه محاسبه شد. پس از آن با به کارگیری هم‌زمان مخزن تعدیل سیلاب و احداث آن در مدل، ضمن محاسبه ابعاد مخزن نتایج مدل سازی نشان داد احداث مخزن باعث تعدیل سیلاب و کاهش دبی پیک سیلاب، به میزان تقریباً ۶۰ درصد شده است (شکل ۷).



شکل ۷- نمودار کاهش پیک سیلاب در روش واحد زیست ماند و تعدیل سیلاب ۱۰ ساله

- کاربرد مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست ماند و روش بشکه باران با قطر بزرگتر

نتایج نشان داد اجرای هر یک از روش‌های توسعه کم اثر به تنهایی، باعث بهبود شرایط وضع موجود می‌شوند و همچنین طبق نتایج، موثر و کارآ بودن ترکیب این روش‌ها نیز به خوبی قابل مشاهده است به طوری که با مدل سازی این روش ترکیبی،

## • آنالیز حساسیت

دانست. بر اساس یافته‌های این پژوهش، عمده آبرگرفتی‌ها در شبکه‌های فرعی اتفاق افتاده و مدل‌سازی و تحلیل هیدرولیکی در این پژوهش سبب مشخص شدن محل‌های پس‌زدگی جریان و غرقاب شدن بازه‌ها شده است.

در مدل SWMM از نتایج پروفیل سطح آب می‌توان برای تهیه نقشه مناطق در معرض خطر و مدیریت حوضه‌های شهری جهت کاهش خطرات سیلاب شهری استفاده نمود. همچنین می‌توان از نتایج پروفیل سطح آب با دوره بازگشت‌های مختلف جهت بررسی و ارزیابی سیستم انتقالی رواناب شهری استفاده نمود و مشخص کرد که چه مناطقی در اثر وقوع سیل با دوره بازگشت‌های مختلف تحت تأثیر قرار می‌گیرند و برای انجام پروژه‌های سیلاب چه مناطقی در اولویت کاری قرار می‌گیرند.

برای تصمیم‌سازی صحیح و قابل قبول در راستای انجام مدیریت رواناب‌های سطحی شهری و کنترل سیلاب، مجموعه‌ای از عوامل و شرایط می‌تواند کمک کننده باشد و مدیران باید نسبت به شرایط مناطق خطرات سیل در آن مناطق در مرحله اول آگاهی کسب کنند و اطلاعات لازم و موثر در اتخاذ تصمیمات را جمع‌آوری کنند. سپس با بررسی آنها و در نظر گرفتن شرایط اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی مناطق هدف و نظر کارفرما تصمیمات را اتخاذ نمود.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد اجرای هر یک از روش‌های توسعه کم اثر به تنهایی، بهبود شرایط وضع موجود را باعث می‌شوند و همچنین طبق نتایج، موثر و کارآ بودن ترکیب روش مخزن تعدیل سیلاب به همراه روش واحد زیست‌ماند و روش بشکه باران به خوبی قابل مشاهده است به طوری که با مدل‌سازی این روش ترکیبی، کاهش حداقل ۷۵ درصد رواناب فرار آب از گره‌ها، باعث ایجاد تعدیل بالایی در شبکه جمع‌آوری رواناب شهری شدند.

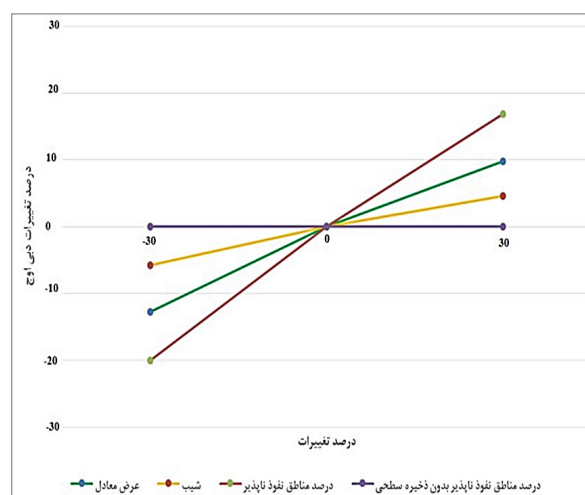
پیشنهاد می‌شود در ادامه پژوهش حاضر، نتایج این پژوهش از طریق تحلیل‌های آماری و تحلیل رگرسیونی ارزیابی شود و گزینه‌های تعدیل سیلاب مقایسه شود. همچنین در جهت کاربردی نمودن نتایج، با کمک نظرات کارشناسان خبره منطقه می‌توان از طریق روش‌های تحلیل سلسله مراتبی نسبت به انتخاب گزینه‌های برتر، بر اساس معیارهای شهری اقدام نمود.

عرض معادل: منظور از عرض معادل همان عرض مستطیل معادل بر حسب کیلومتر می‌باشد.

## پی‌نوشت

- 1-Environmental Protection Agency
- 3-Storm Water Management Model
- 2-Low Impact Development
- 3-Urban Inundation Model
- 4-Curve Number

آنالیز حساسیت چهار پارامتر «درصد اراضی نفوذناپذیر»، «عرض معادل»، «شیب زیرحوضه» و «درصد مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی» انجام شد. از بین نتایج مختلف مدل SWMM، دبی اوج سیلاب که مؤثرترین پارامتر برآورد سیلاب است به‌عنوان متغیر وابسته مد نظر بود. هرکدام از چهار پارامتر مذکور در تمام زیرحوضه‌ها به مقدار  $\pm 10$ ،  $\pm 15$  و  $\pm 30$  درصد تغییر (از مقادیر اولیه کاهش و افزایش) داده شد و با تغییر مقدار هر پارامتر مدل اجرا و تأثیر آن‌ها بر دبی اوج سیلاب خروجی حوضه اندازه‌گیری شد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت مدل نشان داد در بین تمام متغیرهای بررسی شده، پارامتر «درصد مناطق نفوذناپذیر» بیشترین تأثیر را بر روی دبی اوج دارد. همچنین درصد «مناطق نفوذناپذیر بدون ذخیره سطحی» کمترین تأثیر را بر روی دبی اوج خواهد داشت. بعد از آن «درصد مناطق نفوذناپذیر»، «عرض معادل» و «شیب» بیشترین تأثیر را بر دبی اوج خواهد داشت (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- میزان تغییر پارامترهای موثر بر دبی اوج (برحسب درصد)

## نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش، مدل‌سازی رواناب ناحیه هشتم شهر هرات با استفاده از مدل مدیریت رواناب سطحی SWMM، انجام گرفت نتایج حاصل از این تحقیق به شرح ذیل می‌باشد.

نتایج حاکی از آن است هنگام اجرای پروژه‌های کنترل سیلاب شهری، مناطقی که از لحاظ ابعاد ظرفیت کافی برای عبور رواناب سطحی را ندارند، در اولویت قرار دارند. در محدوده مورد مطالعه نتایج نشان داد، تمام منطقه به‌خصوص نواحی جنوبی و شرقی، از لحاظ خطر سیل آبرگرفتی و کارایی شبکه زهکشی تقریباً در شرایط نامساعدی قرار دارد. در واقع آبرگرفتی معابر و خیابان‌ها را می‌توان ناشی از کمبود ظرفیت هیدرولیکی کانال و کمبود ظرفیت موضعی

- off modeling using an automatic catchment-discretization approach, (case study in Macau). *Environmental earth sciences*, 59: 465–472.
- Fernandes M. H. 2010. Flood damage estimation beyond stage-damage function: an Australian example. *Journal of Flood Risk Management*, 3(1): 88-96.
- Iglesias-Rey P.L, Martínez-Solano F.J. and Ribelles-Aquilar J.V. 2017. Extending EPANET Capabilities with Add-In Tools. *Procedia Engineering*, 186: 626-634.
- Marsalek J., EdWatt W., Zeman E. and Sieker F. 2000. *Flood Issues in Contemporary Water Management*. Dordrecht eBook. Publisher Series Title NATO Science Series.
- Mashael Mohammed A. S. 2015. *Flood Control Management for the City and Surroundings of Jeddah, Saudi Arabia*. Springer Natural Hazards. EBook. Series Title Springer Natural Hazards. Publisher Name Springer, Dordrecht. New York City, United States.
- Phillips BC. Yu S., Thompson GR. and Silva N. 2005. 1D and 2D Modelling of urban drainage systems using XP-SWMM and TUFLOW. 10th International Conference on Urban Drainage. Institute of Environment & Resources Technical University of Denmark Bygningstorvet.
- Shammaa Y., Zhu D. Z., Gyurek L. L. and Labatiuk C. W. 2002. Effectiveness of dry ponds for stormwater total suspended solids removal. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 29(2): 316-324.
- Smith D., Li J. and Bunting D. 2005. A PCSWMM/GIS-based water balance model for the Reesor Creek watershed, *Atmospheric Research* 77: 388 – 406.
- Zeng Z., Yuan X., Liang j. and Li Y. 2021. Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management, *Environmental Modelling & Software*, 135: 104887.
- Zevenbergen C., Cashman A., Evelpidou N., Pasche E., Garvin S. and Ashley R. 2010 *Urban\_Flood\_Management*. Book Number. CRC Press. 1st Edition. United States..
- Zhiyu Sh., Lei X., Hongxiang Ch., Scott A.Y., ZuoleZheng abZhengsong W. and Qiang He. 2021. Designing and implementing an SWMM-based web service framework to provide decision support for real-time urban stormwater management. *Environmental Modelling & Software*, 135: 104887.
- اورعی زارع، ص. و ثقفیان، ب. ۱۳۹۰. روش‌های غیرسازه‌ای کنترل سیلاب و ارزیابی خسارت‌های مستقیم و غیر مستقیم در حوضه‌های درون شهری. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.
- رضایی، ف.، بهره مند، ع. ر.، شیخ، و.، دستورانی، م. ت. و تاج بخش، س. م. ۱۳۹۷. کالیبراسیون و ارزیابی مدل SWMM در شبیه‌سازی رواناب منطقه ۹ شهرداری مشهد. آب و توسعه پایدار، ۵(۲): ۹۱-۱۰۰.
- سبزی، ع و نصری، م. ۱۳۹۰. کاربرد مدل SWMM در برآورد رواناب در حوضه شهری زواره، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیر کبیر. تهران.
- سعیدی، ع. ر. و شامی، م. ر. ۱۳۹۴. بررسی روند مدیریت بحران در سیلاب توجال پاکدشت ورامین، هفتمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران. تهران.
- سلطانی، ک.، سلیمانی بابرصاد، ح. و رضانی پوردستجردی، ف. ۱۳۹۳. روش‌های نوین معماری و شهرسازی در توسعه کم اثر (LID). اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. موسسه آموزش عالی مهر اروند. مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار. تهران.
- کاویانپور، م. ر.، مقیمی، ا. و شریفی، س. ۱۳۸۹. تعیین اثرات کاربرد روش توسعه کم اثر (Low Impact Development) در کاهش سیلاب‌های شهری و شبکه جمع آوری آب‌های سطحی شهر تهران، اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب‌های شهری. تهران.
- کاویانپور، م. ر. و بهزادی پور، ا. ۱۳۹۵. نقش کاربردی روش‌های نوین مدیریت سیلاب شهری در کاهش ریسک و خطرپذیری سیلاب. چهارمین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری. دانشگاه صنعتی خواجه‌نصرالدین طوسی تهران.
- محمودولی سامانی ج. و شایان نژاد، م. ۱۳۷۹. مقایسه روش‌های موج سینماتیکی و موج تطابق پخشیدگی با موج دینامیکی در روندیابی سیل در رودخانه‌ها. نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید (نشریه بین المللی علوم مهندسی)، ۱۱(۲): ۲۹-۴۳.
- Chen J., Hill A. A. and Urbano L. D. 2009. A GIS- based model for urban flood inundation. *Journal of Hydrology*, 373(1–2): 184-192.
- Choi K.-S. and Ball J. 2002. Parameter estimation for urban runoff modelling. *Urban Water*, 4(1): 31-41.
- Coffmam L., Clar M. and Weinstein N. 2000. Low impact development management strategies for wet weather flow (WWF) control. Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management. United States.
- Dongquan Z., Jining C., Haozheng W., Qingyuan T., Shangbing C. and Zheng S. 2009. GIS-based urban rainfall-run-