

## شبیه‌سازی رگبار - آب‌گرفتگی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهری دامغان

ابراهیم یوسفی مبرهن<sup>۱</sup>، کریم سلیمانی<sup>۲</sup>، قربان وهاب‌زاده<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۸

### چکیده

با افزایش شهرنشینی، شرایط سطح زمین و آب و هوا توسط فعالیت‌های انسانی تغییر کرده است. این امر منتج به جاری شدن سیلاب و مشکلات آب‌گرفتگی مکرر در مناطق شهری می‌شود. مدل‌های رگبار-آب‌گرفتگی مبتنی بر هیدرولوژی و هیدرودینامیک به تعداد زیادی داده ورودی (جزئیات زمین، سیستم فاضلاب و داده کاربری اراضی) نیازمند است. در این مقاله به منظور تعیین سریع وضعیت آب‌گرفتگی تنها با چند داده ورودی و معمولاً در دسترس، یک روش شبیه‌سازی رگبار-آب‌گرفتگی شهری (USISM) مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارائه شده است. روش USISM یک نوع مدل هیدرولوژیکی توزیعی ساده شده بر اساس مدل ارتفاع رقومی می‌باشد. در این روش، فرورفتگی‌ها در زمین به عنوان سطوح اصلی آب‌گرفتگی در نظر گرفته می‌شوند. مقدار آبی که می‌تواند در هر فرورفتگی ذخیره شود توزیع نهایی آب‌گرفتگی را نشان می‌دهد. سطح رواناب حوضه و حداکثر حجم ذخیره برای هر فرورفتگی و جهت جریان بین این فرورفتگی‌ها همه در شبیه‌سازی نهایی آب‌گرفتگی در نظر گرفته شده‌اند. روش سازمان حفاظت خاک آمریکا برای محاسبه رواناب رگبار، و یک معادله بیلان آبی برای محاسبه ذخیره آب در هر فرورفتگی استفاده شده است. نتیجه نشان می‌دهد که روش USISM می‌تواند مکان‌های نهایی آب‌گرفتگی در منطقه شهری را پیدا و عمق و سطح آب‌گرفتگی را به سرعت محاسبه نماید. روش USISM برای شبیه‌سازی رگبارهای با مدت زمان کوتاه در یک منطقه شهری با داده های ورودی محدود و معمولاً در دسترس، ارزشمند است.

واژه‌های کلیدی: حوضه شهری، روش شبیه‌سازی رگبار-آب‌گرفتگی شهری، سامانه اطلاعات جغرافیایی، فرورفتگی.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران \_ گیلان، رودسر، خ شهدا. ۰۹۱۱۲۴۳۴۴۹۶، e.yousefi.m@Gmail.com (مسئول مکاتبه)

<sup>۲</sup> استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. ۰۹۱۱۱۵۲۱۸۵۸، solaimani2001@yahoo.co.uk

<sup>۳</sup> استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. ۰۹۱۱۱۶۵۴۳۷، gh.vahabzadeh@sanru.ac.ir

## مقدمه

با تغییر آب و هوای جهانی و افزایش شهرنشینی، فراوانی و شدت بلایای طبیعی و آسیب حاصله ناشی از آن به دلیل فعل و انفعالات بین عوامل طبیعی و مصنوعی افزایش یافته است. شکل مهمی از بلایای طبیعی در بسیاری از شهرها غرقابی شدن است، که چالش‌های دشواری را برای هیدرولوژیست‌ها به خاطر شدت قوی این وقایع و پاسخ زمانی کوتاه آن ایجاد می‌کند (Bonta, 2004; Apel et al., 2009; Cheng, 2010). افزایش شهرنشینی در دهه‌های اخیر و رشد سریع شهرها به سمت حوضه‌های بالادست، همچنین پدیده تغییر اقلیم و تاثیر بر الگوهای مکانی و زمانی بارش، فرایندهای بارش-رواناب را در حوضه‌های شهری به‌شدت تحت تاثیر قرار داده است (کریمی، ۱۳۹۲). پیچیدگی‌های موجود در محیط‌های شهری و زیرساخت‌های زهکشی حوضه‌های شهری تاثیری بالقوه بر رواناب طبیعی دارد (Chen et al., 2009). آبرگرفتگی در مناطق شهری در نتیجه ایجاد نقص و یا هر نوع ناکارآمدی در سیستم‌های زهکشی شهری، موجب وارد شدن خسارات زیادی به ساختمان‌ها و دیگر زیرساخت‌های عمومی و خصوصی می‌شود. گذشته از این، آبرگرفتگی خیابان‌ها می‌تواند موجب کندشدن و یا توقف کامل سیستم‌های ترافیکی شود و همچنین پیامدهای غیرمستقیم از جمله قطع ارتباطات و فرصت‌های تجاری را نیز به همراه خواهد داشت (Reuterwall and Thoren., 2009).

مدل‌سازی کارآمد سیلاب، یک ابزار سودمند در توسعه پایدار شهری برای پیش‌بینی فوری سیلاب و مدیریت منابع آب است. مدل‌های رگبار-آبرگرفتگی شهری می‌تواند بر مبنای الگوریتم محاسبات، در سه گروه مدل‌های هیدرولوژیکی، هیدرودینامیکی و ساده شده طبقه‌بندی شود (Zhang and Pan., 2014). مدل‌های رایج هیدرولوژیکی که به منظور شبیه‌سازی سیلاب شهری استفاده شده است شامل SWMM، UCURM (مدل رواناب شهری دانشگاه سینسیناتی)، RRLM (مدل آزمایشگاهی پژوهش جاده)، ILLUDAS (شبیه‌ساز زهکشی شهری منطقه ایلی

نویز)، TRLL (آزمایشگاه پژوهشی راه و ترابری) می‌باشد. در اغلب پژوهش‌ها، آبرگرفتگی شهری با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی انجام گرفته است (Hsu et al., 2000; Jokic. and Maidment., 2004; Pradeep et al., 2006; Jang et al., 2007; Zhao et al., 2008; Sharifian et al., 2010; Wei et al., 2012; Gallo et al., 2013; Liu et al., 2013., Naulin et al., 2014., Miller et al., 2014). مدل LISFLOOD-FP (Betes and De Roo, 2000; Fewtrell et al., 2011) و مدل‌هایی بر مبنای "روش اتوماتیک همراه" (Dottori and Todini, 2011; Ghimire et al., 2013). متعلق به این دسته هستند. مزیت این مدل‌ها مبنای فیزیکی معین بوده و می‌تواند تغییرات زمانی و مکانی رواناب را تعیین کند در عوض دارای یک گام زمانی کوچک و به داده ورودی مفصل نیازمند است گرچه محدودیت کمتری نسبت به مدل‌های هیدرودینامیکی و هیدرولوژیکی دارد. دسته دوم شامل مدل‌هایی است که فقط مقدار نهایی آبرگرفتگی را شبیه‌سازی می‌کند. الگوریتم‌های محاسباتی آن‌ها بر مبنای بیلان آب است، و تبادل آب توسط گرانث و توپوگرافی انجام می‌شود.

مدل‌های RFIM (Krupka et al., 2007), RFSM (Gouldby et al., 2008; Lhomme et al., 2008), ISIS FAST (CH2M HILL, 2013), GUFIM (Chen et al., 2009) and FCDC (Zhang et al., 2014a)) متعلق به این دسته اند. مزیت این مدل‌ها سرعت بالای محاسبات و توانمندی کافی آن‌هاست. محدودیت‌های آن‌ها عدم شبیه‌سازی فرآیند آبرگرفتگی و جریان می‌باشد. اغلب مدل‌هایی که در این تحقیق به آن‌ها اشاره شد، روی الگوریتم پخشیدگی جریان تمرکز می‌کنند. این مدل‌ها برای شبیه‌سازی آبرگرفتگی رودخانه‌ای نسبت به آبرگرفتگی بارانی به دلیل عدم بررسی تولید رواناب مناسب‌ترند. در این تحقیق، ما یک روش شبیه‌سازی آبرگرفتگی-رگبار شهری (USISM) مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارائه می‌دهیم. این روش، ساده شده‌ای از یک مدل هیدرولوژیکی توزیعی است و شامل مولفه‌هایی از مدل‌های آبرگرفتگی و رگبار-رواناب است. فرآیندهای تبخیر، نفوذ و زهکشی سیستم

سال هفتم • شماره بیست و پنجم • پاییز ۱۳۹۵

نادیده گرفته می‌شود و معادله ۱ ساده شده و می‌تواند به صورت معادله ۲ بیان گردد:

$$R_s = R - S \quad (۲)$$

کل رواناب با روش SCS محاسبه می‌شود (McCuen, 1982; Woodward et al., 2003).

$$R = \frac{(P-0.25Sr)^2}{P+0.8Sr} \quad (۳)$$

$$Sr = \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right) \quad (۴)$$

P: مقدار بارش (میلی‌متر)

Sr: پتانسیل نگهداری حداکثر رطوبت خاک

(میلی‌متر)

CN: شماره منحنی رواناب

رواناب سیستم فاضلاب (S) بخش مهمی از تعادل آب در مناطق شهری است، اما به دست آوردن مقدار دقیق این پارامتر در عمل بسیار دشوار است. دلیل اول این است که شبیه‌سازی یک جریان مخلوط از رواناب‌های سطحی و رواناب سیستم فاضلاب بسیار دشوار است. دلیل دوم این است که بدست آوردن اطلاعات دقیق سیستم فاضلاب بسیار سخت است. در برخی مناطق به دلیل شبکه زهکشی قدیمی این مقدار نادیده گرفته می‌شود.

### محاسبه آب‌گرفتگی

برای محاسبه شرایط آب‌گرفتگی از هر فرورفتگی، ابتدا باید حوضه هر فرورفتگی مشخص شود و پس از آن رواناب سطحی برای هر فرورفتگی محاسبه می‌شود. سپس وضعیت "فرورفتگی با تراز بالا" (برخی از فرورفتگی‌ها به دلیل توپوگرافی محلی می‌تواند دچار آب‌گرفتگی شود، اگر چه ارتفاع متوسطشان بالاتر از بقیه نقاط است) و اتصال فرورفتگی محاسبه می‌شود.

(Yan et al., 2010) رواناب‌های سطحی باید فرورفتگی‌های سطح فعلی اول را پر کند. اگر یک فرورفتگی از آب لبریز شود، آب اضافی به سمت

فاضلاب تا حدی ساده شده است، بطوری که USISM می‌تواند آب‌گرفتگی را با اطلاعات معمولاً در دسترس و محدود، شبیه‌سازی کند.

### مواد و روش‌ها

با استفاده از USISM، شرایط نهایی آب‌گرفتگی به جای فرآیند سیل محاسبه می‌شود. بسته به نیروی گرانش آب، تمام مناطق سراسیب فقط می‌تواند جریان همگرایی داشته باشند و نمی‌تواند دچار آب‌گرفتی شود؛ فقط مناطق که دارای فرورفتگی هستند، می‌تواند دچار آب‌گرفتگی شود. برای بدست آوردن حجم، سطح و عمق آب‌گرفتگی در یک منطقه، سه مرحله باید دنبال شود.

مرحله اول: تعیین فرورفتگی‌ها از DEM در یک منطقه، محاسبه منحنی حجم، و به دست آوردن حداکثر حجم ذخیره سازی.

مرحله دوم: محاسبه رواناب ناشی از رگبار و پیدا کردن این‌که چگونه رواناب‌های بسیاری از منطقه به هر فرورفتگی جریان دارد.

مرحله سوم: تعیین جهت جریان از فرورفتگی‌ها و محاسبه سطح و عمق هر یک از فرورفتگی که دچار آب‌گرفتگی شده با استفاده از معادله بیلان آب.

### محاسبه رواناب

بیلان آبی از واقعه رگبار می‌تواند به صورت معادله ۱ نشان داده شود:

$$R_s = R - S - E \quad (۱)$$

که در آن Rs: مقدار رواناب سطحی (میلی‌متر)

R: مقدار کل رواناب (میلی‌متر)

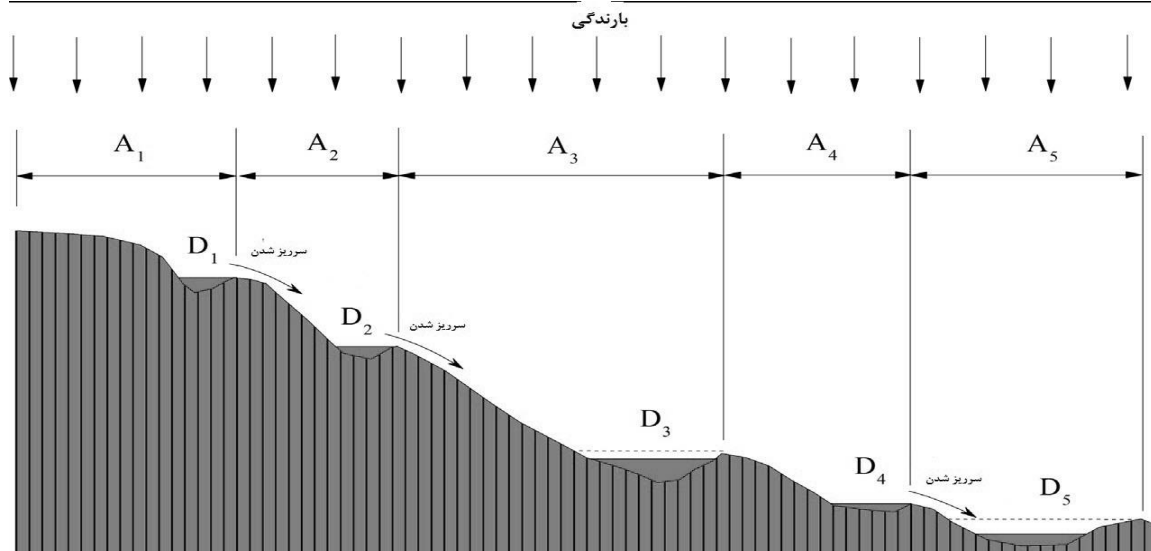
S: مقدار از رواناب سیستم فاضلاب (میلی‌متر)

E: مقدار تبخیر (میلی‌متر)

بدلیل اینکه در محیط شهری، تبخیر نسبت به واحد سطح تقریباً ۰/۵ درصد حجم کل بارندگی رگبار سه روز است (Apirumanekul, 2001)، تبخیر

ریزش هر نقطه) برای محاسبه جهت جریان و تقسیم حوضه آبخیز با توجه به رتبه، از بالادست به پایین دست استفاده خواهد شد.

فرورفتگی پایین دست جریان می‌یابد. بنابراین، برای محاسبه آبگرفتگی، رابطه پیوستگی بین فرورفتگی‌ها نیز باید مشخص شود. تصویر نقشه مسیر جریان در شکل ۱ نشان داده شده است. سپس، فرورفتگی‌ها با استفاده از DEM پرشده منهای DEM اصلی، محاسبه می‌شود. در ادامه یک الگوریتم D8 (جهت هشت‌گانه



شکل (۱): فرآیند آب بارندگی جابجا شده بین فرورفتگی‌ها  $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5$  فرورفتگی‌ها هستند؛  $A_1, A_2, A_3, A_4$  و  $A_5$  به ترتیب حوضه‌های این فرورفتگی‌ها هستند. خط تیره‌ها حداکثر ذخیره فرورفتگی‌ها را نشان می‌دهد.

اگر  $V_i$  از حداکثر ذخیره آب تجاوز کند، فرورفتگی به طور کامل پر شده و آب اضافی را در امتداد مسیر شبکه رودخانه به فرورفتگی بعدی منتقل می‌کند. نتیجه نهایی آبگرفتگی، عمق و سطح فرورفتگی‌ها هستند. نمودار جریان الگوریتم یکپارچه در شکل (۲) نشان داده شده است.

#### منطقه مورد مطالعه

دامغان بین ۵۴ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. شهر دامغان در دامنه جنوبی البرز و در ۱۲۰ کیلومتری شرق سمنان و ۷۰ کیلومتری غرب شاهرود واقع شده است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نسبت به استان و کشور در شکل ۳ نشان داده شده است.

حجم رواناب‌های سطحی برای هر فرورفتگی بر اساس رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

$$V_i = R_s \times A_i = (R - S) \times A_i \quad (5)$$

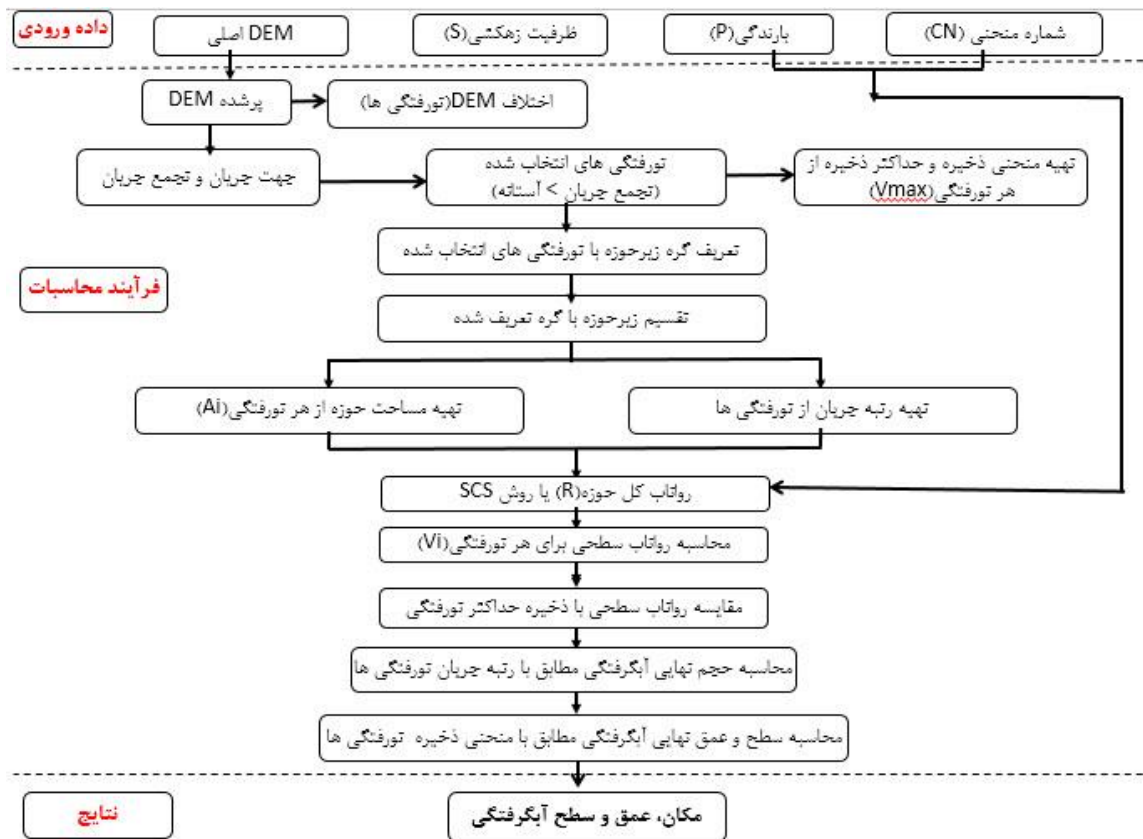
حجم رواناب سطحی و سطح حوضه آبخیز برای هر فرورفتگی به ترتیب  $V_i$  و  $A_i$  می‌باشد. رواناب سیستم فاضلاب (S) را میتوان با سرعت متوسط زهکشی آب در مدت زمان رگبار برآورد کرد. ما حجم رواناب سطحی  $V_i$  هر یک از فرورفتگی‌ها را با حداکثر ذخیره‌سازی که فرورفتگی می‌تواند نگه دارد مقایسه می‌کنیم. اگر  $V_i$  کمتر از این حداکثر است،  $V_i$  حجم نهایی آبگرفتگی از فرورفتگی مربوطه خواهد بود، و سطح و عمق آبگرفتگی آن را می‌توان با استفاده از منحنی ذخیره‌سازی محاسبه کرد. در غیر این صورت،

## سال هفتم • شماره بیست و پنجم • پاییز ۱۳۹۵

بارندگی سالانه را به خود اختصاص داده است. بخش اصلی حوضه شهری دامغان به علت بافت قدیمی و سنتی از ظرفیت زهکشی ناچیزی برخوردار بوده لذا رواناب سیستم فاضلاب نادیده گرفته می‌شود، بنابراین با بارش متوسط، آب‌گرفتگی جدی در شهر رخ می‌دهد. آمارها نشان می‌دهد که دامغان دارای ۸ مناطق غرقاب بزرگ با عمق آب ۱۰-۵۰ سانتی‌متر که به مدت ۱-۳ ساعت طول می‌کشد وجود دارد. زمانی که باران متوسط یا سنگین رخ می‌دهد برخی از مناطق حوضه شهری دامغان مانند خیابان امام خمینی، خیابان جانباز، خیابان حرفه و فن، خیابان شریعتی، خیابان موسوی دامغانی، خیابان شهدا و خیابان محله که اغلب مناطق گسترده ای از آب گرفتگی هستند مشاهده می‌شود. بنابراین، حوضه شهری دامغان به عنوان منطقه مورد مطالعه برای شبیه‌سازی آب گرفتگی انتخاب شد.

قسمت اعظم مساحت شهرستان دامغان را دشت و قسمت دیگر را کوهستان تشکیل می‌دهد. شیب دشت دامغان از شمال غرب به جنوب شرق است که از چاه جام، به سمت دشت کویر باز هم از ارتفاع آن کاسته می‌شود تا اینکه کوه‌های کم ارتفاع واقع در جنوب، چاله یا دشت دامغان را از دشت کویر، جدا می‌کند.

یکی از ویژگی‌های چنین مناطقی وقوع بارندگی‌هایی با تداوم کوتاه و شدت بالا می‌باشد بطوریکه کل بارندگی سالانه در عرض چند روز از سال در منطقه نازل می‌گردد. از طرف دیگر با توجه به پوشش گیاهی ضعیف منطقه و همچنین وضعیت زمین‌شناسی، توپوگرافی و کاربری اراضی، وقوع بارندگی با شدت بالا منجر به جریان یافتن آب و ایجاد رواناب و آب‌گرفتگی در حوضه شهری می‌شود. متوسط بارش سالانه ۱۳۸ میلی‌متر است ( شهرداری دامغان، ۱۳۹۳). بطور کلی رژیم بارندگی محدوده مطالعاتی مدیترانه‌ای بوده و حداکثر بارندگی‌ها در فصل بهار می‌باشد که به طور متوسط ۳۸ درصد

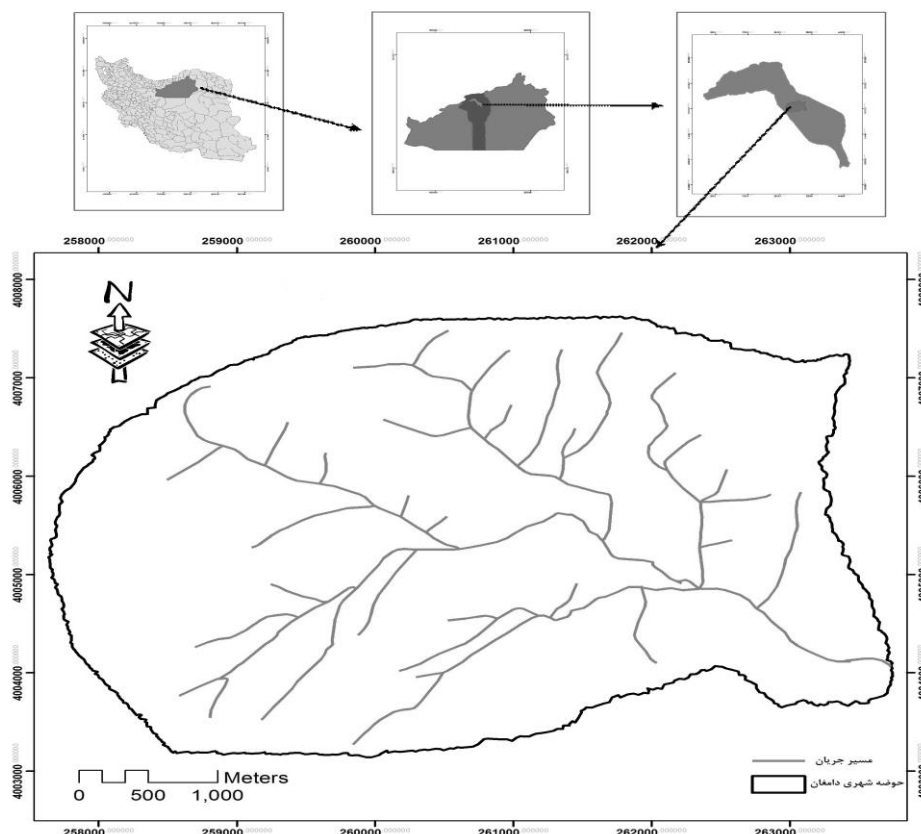


شکل (۲): نمودار جریان مسیر USISM و الگوریتم محاسبات.

#### داده های مورد استفاده

برای تعیین حجم اصلی بارش از ایستگاه دانشگاه آزاد استفاده شده است. یک رگبار متوسط که در ۱۹ فروردین ماه سال ۱۳۹۳ صورت گرفته برای شبیه سازی آبگرفتگی انتخاب شده است. این واقعه به

مدت زمان دو ساعت، با مقدار بارش ۱۸٫۷ میلی متر در ساعت اول و ۱۳٫۴ میلی متر در ساعت دوم است. از آنجا که دانشگاه آزاد تنها ایستگاه بارش در (۲۵۰۰ هکتار) این منطقه کوچک مورد مطالعه است، لذا بارش می تواند به عنوان بارش متوسط استفاده گردد.



شکل (۳): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شماره منحنی (CN) حوضه شهری ۸۶ می‌باشد و حداکثر پتانسیل نگهداری رطوبت خاک (Sr) ۴۱,۳ میلی‌متر است.

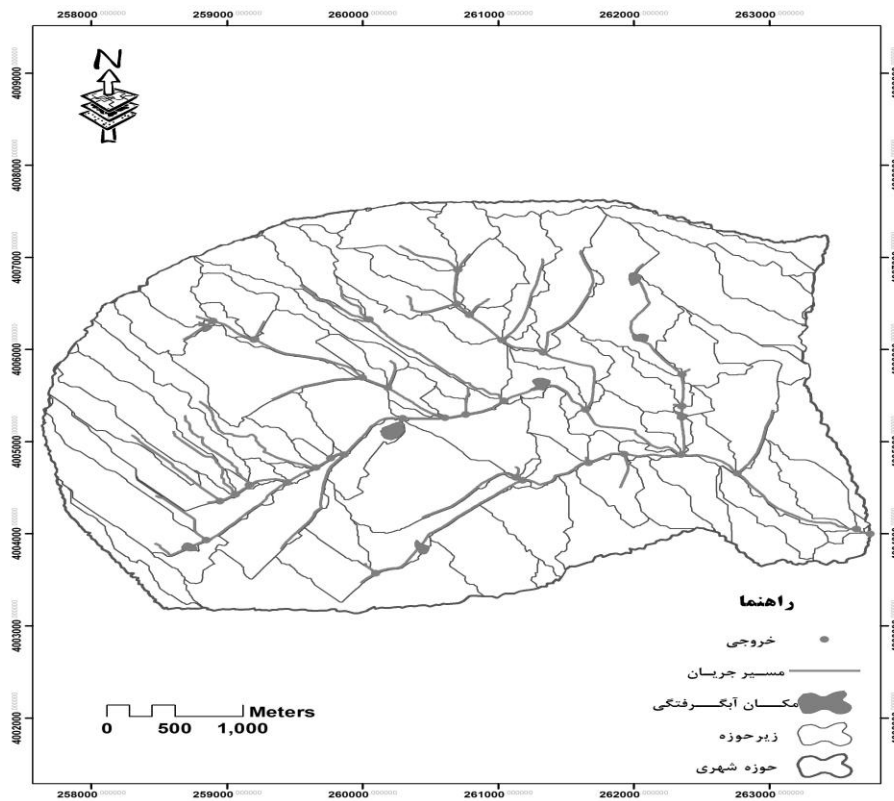
۳- آبرفتگی فرورفتگی از بالادست به پایین دست، همچنین مقدار آب در هر منطقه آبرفته مطابق معادله (۵) محاسبه می‌شود. اگر فرورفتگی بالادست پر نشود، حوضه بالایی تنها رواناب برای فرورفتگی فعلی پشتیبانی می‌کند. اگر فرورفتگی بالادست پر شود، آب اضافی را به فرورفتگی پایین دست متصل به جریان به راه می‌افتد. در نهایت، مقدار آب در هر فرورفتگی را به دست می‌آوریم و عمق و سطح آبرفتگی بر اساس منحنی ذخیره‌سازی فرورفتگی محاسبه می‌شود. شبیه‌سازی موقعیت، سطح و عمق آبرفتگی واقعه رگبار مورد نظر با روش USISM در جدول (۱) ارائه شده است.

### محاسبه آبرفتگی

با توجه به روند USISM، آبرفتگی حوضه شهری دامغان از رگبار انتخاب شده طی مراحل زیر محاسبه می‌شود:

۱- بر اساس DEM و GIS فرورفتگی‌ها و زیرحوضه‌های منطقه مورد مطالعه را به دست می‌آوریم. تنظیم آستانه تجمع جریان به ۱٪ از حداکثر تجمع جریان، و فرورفتگی‌هایی که تجمع جریان آنها بیشتر از آستانه است را به عنوان فرورفتگی‌های آب گرفتگی انتخاب می‌کنیم، در نتیجه تعیین سطح بالادست حوضه برای هر فرورفتگی و رتبه همگرایی بین این فرورفتگی‌ها تسهیل می‌شود. فرورفتگی‌های نهایی، زیر حوضه‌ها و جریان در شکل (۴) نشان داده شده است.

۲- در این مرحله رواناب سطحی و رواناب کل منطقه مورد مطالعه را محاسبه می‌نماییم. با توجه به اینکه



شکل (۴): فرورفتگی‌ها، زیر حوضه‌ها و جریان محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه

جدول (۱): شبیه‌سازی موقعیت، سطح و عمق آبرفتگی واقعه اول با روش USISM

تعداد	مکان آبرفتگی	مساحت زیر حوضه	حجم رواناب سطحی فرورفتگی	حداکثر حجم ذخیره فرورفتگی	حجم آبرفتگی نهایی مترمکعب	عمق آبرفتگی سانتی‌متر
۱	خیابان امام خمینی	۲۱۷۲۸۰	۱۹۰۵,۵	۶۰۳۷	۱۹۰۵,۵	۳۵,۴
۲	خیابان جانباز	۵۵۷۴۹۶	۴۸۸۹,۲	۳۹۷۴	۳۹۷۴	۵۰,۸
۳	خیابان حرفه و فن	۱۸۰۸۱۲	۱۵۸۵,۷	۸۳۶۴۴	۱۵۸۵,۷	۶,۹
۴	خیابان شریعتی	۷۲۶۵۲۸	۶۳۷۱,۷	۵۰۹۵	۵۰۹۵	۵۴,۴
۵	خیابان شریعتی	۷۲۶۵۲۸	۶۳۷۱,۷	۴۹۹۱	۴۹۹۱	۶۰,۹
۶	خیابان موسوی دامغانی	۱۹۵۳۲۰	۱۷۱۳	۹۱۰۴	۱۷۱۳	۱۲,۵
۷	خیابان شهدا	۳۲۳۱۲۴	۲۸۳۳,۸	۱۹۹۱۰	۲۸۳۳,۸	۲۹,۱
۸	خیابان محله	۱۴۲۲۱۶	۱۲۴۷,۲	۱۱۵۷۴	۱۲۴۷,۲	۲۱,۷



سال هفتم • شماره بیست و پنجم • پاییز ۱۳۹۵

شبهه‌سازی آبگرفتگی دارد، به‌ویژه برای مناطقی با آبگرفتگی کوچک. به طور کلی، مناطق آب‌گرفته در مقیاس بزرگ با تغییرات دقیق عوارض زمین، اختلاف زیادی وجود ندارد، در حالی که در مناطقی با مقیاس کوچک، اختلاف تا حد زیادی وجود دارد. همچنین، توانایی تشخیص پایین عوارض زمینی منتج به ناپدید شدن مناطق فعلی می‌شود. علاوه بر این، سطح بستر بزرگراه و راه‌آهن در مناطق شهری و امکانات حائل کوچک مانند میکروتوپوگرافی، شبهه‌سازی سیلاب شهری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، داده‌های توپوگرافی با قدرت تفکیک بالا به منظور بهبود صحت شبهه‌سازی مهم است. دوم، الگوریتم تقسیم زیرحوضه بر اساس الگوریتم D8 است، که در مناطق مسطح به‌خوبی کار نمی‌کند. اگر منطقه شبهه‌سازی مسطح باشد و نتوان به‌درستی زیرحوضه را تقسیم نمود، برخی از روش‌های کمکی به منظور بهبود دقت و صحت شبهه‌سازی وجود دارد از جمله BURNING (Maidment, 1996)، AGREE (Hellweger, 1996)، ANUDEM (Hutchinson, 2004) و WDGB (Zhang et al., 2014b) که بایستی برای ایجاد زیرحوضه مورد استفاده قرار گیرد. این مطالعه براساس مفروضات ساده‌شده خاصی است. اول، با توجه به پیچیدگی چاه آب شهری، خطوط لوله و دیگر امکانات زهکشی، در فرایند زهکشی تفاوت در شبهه‌سازی زهکشی در عمل با ظرفیت زهکشی یکپارچه (به تدریج باید ظرفیت زهکشی افزایش یابد) عملیات انتقال فاضلاب به عنوان یک نرخ جریان قابل انتقال دائم و ثابت برای واقعه رگبار در نظر گرفته شده است. این ساده‌سازی می‌تواند باعث بیش‌تخمینی انتقال فاضلاب در دوره معین از یک واقعه رگبار شود، همچنین در صورتی که مازاد جریان وجود داشته شود باعث کم تخمینی انتقال گردد. علاوه بر این، نادیده گرفتن توزیع مکانی فرایند زهکشی (به طور یکنواختی توزیع شده) خطای شبهه‌سازی تولید می‌کند. دوم، از بارش متوسط منطقه برای شبهه‌سازی آبگرفتگی منطقه مورد مطالعه استفاده شد، در حالی که منطقه

## نتایج و بحث

عمق و سطح آبگرفتگی برای واقعه ۱۹ فروردین ۱۳۹۳ اندازه‌گیری و داده‌های شبهه‌سازی شده در جدول (۲) آمده است.

هشت مکان ذکر شده در جدول زیر، با توجه به مشاهدات میدانی دچار آبگرفتگی می‌باشند. این مکان‌ها همه متعلق به سطوح فرورفته‌ای هستند که از شبهه‌سازی به دست آمده‌اند و نشان می‌دهد که روش USISM به طور موثر می‌تواند سطح آبگرفتگی را تعیین نماید. در جدول (۲)، عمق اندازه‌گیری شده، عمق متوسطی برای منطقه آبگرفتگی می‌باشد و حجم اندازه‌گیری شده از حاصلضرب عمق آبگرفتگی در سطح آبگرفتگی محاسبه می‌شود.

نتیجه جدول ۳ حاکی از آن است که در این واقعه رگبار، متوسط خطاهای نسبی عمق آبگرفتگی ۶٪ می‌باشد، در حالی که متوسط خطاهای نسبی مساحت و حجم آبگرفتگی به ترتیب ۲۲٪ و ۵۰٪ می‌باشد لذا روش USISM قابلیت بالاتری در شبهه‌سازی عمق نهایی آبگرفتگی نسبت به سطح و حجم آبگرفتگی دارد. علاوه بر این، با بررسی جدول مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و شبهه‌سازی به این نتیجه دست می‌یابیم که نتایج شبهه‌سازی برای مناطقی با آبگرفتگی بزرگ به‌دلیل کمتر بودن متوسط خطاهای نسبی (خیابان شریعتی) بهتر از مکان‌هایی با آبگرفتگی کوچک (خیابان حرفه‌وفن و موسوی دامغانی) هستند. یکی از دلایل اصلی این می‌باشد که عوارض زمینی در حجم و سطح فرورفتگی مخصوصاً برای فرورفتگی‌های کوچک تحت تاثیر بیشتری نسبت به عمق آبگرفتگی هستند که این نتایج با نتایج حاصل از تحقیق ژانگ و پن (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

روش USISM وضعیت آبگرفتگی را بر اساس بیان آبی برای هر فرورفتگی و زیرحوضه محاسبه می‌کند. بنابراین جهت شبهه‌سازی دقیق و درست، توانایی تشخیص فرورفتگی و تقسیم زیرحوضه بسیار مهم است. در روش فوق رعایت دو نکته حائز اهمیت است؛ اول: دقت عوارض زمین، که تاثیر زیادی بر

آن جهت شبیه‌سازی آبرفتگی بسیار مهم است. از آنجا که ظرفیت زهکشی در طول رگبار به طور یکنواخت در نظر گرفته شده است؛ اگر شدت بارندگی کمتر از ظرفیت زهکشی سیستم فاضلاب باشد باعث خطا شبیه‌سازی می‌شود. بنابراین، در صورتی که رگبار به طور کلی (بدون گام زمانی) در نظر بگیریم، نتیجه شبیه‌سازی کمتر از مقدار واقعی خواهد بود. اگر بتوان سری زمانی داده‌های بارندگی را بدست آورد، آبرفتگی باید با هر داده گام زمانی با استفاده از روش USISM محاسبه شود. اگر سری زمانی داده‌های بارندگی در دسترس نباشد، یک رگبار کوتاه مدت برای روش USISM مناسب‌تر است.

مطالعه کوچک و بارش به طور یکنواخت توزیع شده باشد قابل قبول است. اگر شرایط رضایت‌بخش نباشد، به منظور بهبود دقت شبیه‌سازی به ایستگاه بارش بیشتری نیاز است و داده‌های متفاوت بارش باید برای محاسبه رواناب زیرحوضه‌های متفاوت مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این در منطقه مورد مطالعه، شماره منحنی CN به عنوان یک مقدار واحد در نظر گرفته شده است بخاطر اینکه منطقه مورد مطالعه کوچک و وضعیت سطح زمین‌های مشابه است قابل قبول می‌باشد، در غیر این صورت، بر اساس شرایط هر یک از زیرحوضه‌ها، CN باید دارای مقادیر مختلفی باشد. روش USISM وضعیت نهایی آبرفتگی ناشی از یک رگبار را شبیه‌سازی می‌کند، بطوری که مدت و شدت

جدول (۲): مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عمق (سانتی‌متر)، سطح (مترمربع) و حجم (مترمکعب) در رگبار

مکان‌های آبرفتگی	عمق اندازه‌گیری	عمق شبیه‌سازی	درصد خطای نسبی عمق	سطح اندازه‌گیری	سطح شبیه‌سازی	درصد خطای نسبی سطح	حجم اندازه‌گیری	حجم شبیه‌سازی	درصد خطای نسبی حجم
خیابان امام خمینی	۳۰	۳۵,۴	۱۸	۴۰۰۰	۵۳۸۴	۳۵	۱۲۰۰	۱۹۰۵,۵	۵۹
خیابان جانباز	۴۰	۵۰,۸	۲۷	۶۱۰۰	۷۸۲۸	۲۸	۲۴۴۰	۳۹۷۴	۶۳
خیابان حرفه و فن	۱۰	۶,۹	-۳۰	۳۸۶۰۰	۲۲۹۹۶	-۴۰	۳۸۶۰	۱۵۸۶	-۵۹
خیابان شریعتی	۴۵	۵۴,۴	۲۱	۷۹۰۰	۹۳۶۰	۱۸	۳۵۵۵	۵۰۹۵	۴۳
خیابان شریعتی	۵۰	۶۰,۹	۲۲	۷۰۰۰	۸۲۰۰	۱۷	۳۵۰۰	۴۹۹۱	۴۳
خیابان موسوی دامغانی	۱۵	۱۲,۵	-۱۶	۹۵۰۰	۱۳۶۶۸	۴۴	۱۴۲۵	۱۷۱۳	۴۰
خیابان شهدا	۳۰	۲۹,۱	-۳	۷۰۰۰	۹۷۲۴	۳۹	۲۱۰۰	۲۸۳۳,۸	۴۵
خیابان محله	۲۰	۲۱,۷	۹	۴۲۰۰	۵۷۳۶	۳۷	۸۴۰	۱۲۴۷,۲	۴۸

جدول (۳): متوسط درصد خطای نسبی وضعیت آبرفتگی

متوسط درصد خطای نسبی عمق	متوسط درصد خطای نسبی سطح	متوسط درصد خطای نسبی حجم
۶	۲۲,۲	۵۰

سال هفتم • شماره بیست و پنجم • پاییز ۱۳۹۵

برخی از محدودیت‌ها که در این روش وجود دارد که شامل: ۱- روش USISM از مدل flatwater (آب یکنواخت) به جای یک مدل دینامیکی مبتنی بر فیزیک استفاده می‌کند، بنابراین روش USISM می‌تواند تنها وضعیت نهایی آبرفتگی از یک رگبار را محاسبه کند و نمی‌تواند روند آبرفتگی را مشخص نماید. ۲- در شبیه‌سازی با روش USISM، پارامترهای زیادی مانند ظرفیت زهکشی سیستم فاضلاب و کاربری اراضی در مکان‌های مختلف ساده شده‌اند. تمام این پارامترها می‌توانند باعث خطاهایی در شبیه‌سازی آبرفتگی شوند. به منظور بهبود برنامه مدل، واسنجی حساسیت پارامترهای مدل و کار صحت‌سنجی بیشتر باید در آینده انجام شود. با توجه به این مزایا و محدودیت‌ها، روش USISM برای استفاده تحت شرایط زیر توصیه می‌شود: (۱) فقدان داده سیستم فاضلاب دقیق برای منطقه شهری؛ (۲) در مناطقی که عمق و سطح آبرفتگی بسرعت باید تخمین زده شود. (۳) رگباری که مدت زمان آن کوتاه و آبرفتگی تنها با بارندگی ایجاد می‌شود، نه سیلاب رودخانه‌ای.

## نتیجه‌گیری

روش شبیه‌سازی آبرفتگی ناشی از رگبار، مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (USISM) جهت شبیه‌سازی سیلاب شهری معرفی شده است. در این تحقیق از حوضه شهری دامغان در استان سمنان به عنوان منطقه مورد مطالعه برای شبیه‌سازی موقعیت آبرفتگی ناشی از رگبار استفاده شد. روش USISM، در مقایسه با مدل هیدرولوژیکی توزیعی و مدل هیدروپدینامیکی دارای مزایای زیر است:

- ۱- به داده‌های ورودی کمی نیاز دارد بخصوص اطلاعات سیستم فاضلاب در منطقه شبیه‌سازی.
- ۲- زیرحوضه‌ها بر اساس DEM تقسیم و جریان بین فرورفتگی‌ها در نظر گرفته شده است. سرعت شبیه‌سازی سریع می‌باشد و نتیجه شبیه‌سازی با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده قابل قبول است. ۳- فرآیند شبیه‌سازی بسیار ساده است. اپراتورها بدون دانش قابل توجهی از هیدرولوژی و هیدرولیک می‌توانند آبرفتگی ناشی از رگبار را با استفاده از USISM محاسبه کنند.

## منابع

- کریمی، و. ۱۳۹۲. آنالیز و پیش‌بینی سیلاب شهری بابلسر با استفاده از مدل‌سازی وقایع رگباری. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- Amaguchi, H., A. Kawamura, J. Olsson and T. Takasaki. 2012. Development and testing of a distributed urban storm runoff event model with a vector-based catchment delineation. *J. Hydrol.* 420–421, 205–215.
- Apel, H., G. T. Aronica, H. Kreibich and A. H. Thielen. 2009. Flood risk analyses—how detailed do we need to be? *Nat. Hazards* 49, 79–98.
- Apirumanekul, C., 2001. Modeling of Urban Flooding in Dhaka City. Master Thesis No. WM-00-13, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- Bates, P. D and A. P. J De Roo. 2000. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *J. Hydrol.* 236 (1): 54–77.
- Bonta, J. V. 2004. Development and utility of Huff curves for disaggregating precipitation amounts. *Appl. Eng. Agric.* 20 (5): 641–653.
- CH2M HILL, 2013. ISIS FAST. <<http://www.isisuser.com/isis/isisfast.asp>>.
- Chen, J., A. A. Hill and L. D. Urbano. 2009. A GIS-based model for urban flood inundation. *J. Hydrol.* 373, 184–193.
- Cheng, X. T. 2010. Urban water disasters and strategy of comprehensive control of water disaster. *J. Catastrophol.* 25 (s): 10–15.

Dottori, F and E. Todini. 2011. Developments of a flood inundation model based on the cellular. : Testing different methods to improve model performance. Phys. Chem. Earth Parts ABC 36: 266–280.

Fernandez, D. S and M. A. Lutz. 2010. Urban flood hazard zoning in Tucuman province, Argentina, using GIS and multi criteria decision analysis. Engineering geology. 111: 90-98.

Fewtrell, J. T., A. Duncan, C. C. Sampson, J. C. Neal, and P. D. Bates. 2011. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LIDAR data. Physics and Chemistry of the Earth. In press. DOI: 10. 1016/j. pce. 2010. 12. 011.

Gallo, E. L., P. D. Brooks, K. A. Lohse and J. E. T. Mclain. 2013. Land cover controls on summer discharge and runoff solution chemistry of semi-arid urban catchments. J. Hydrol. 485: 37–53.

Ghimire, B., A. S. Chen, M. Guidolin, E. C. Keedwell, S. Djordjevic and D. A. Savic. 2013. Formulation of a fast 2D urban pluvial flood model using a cellular automata approach. J. Hydro inform. 15 (3): 676–686.

Gouldby, B., P. Sayers, J. Mulet-Marti, M. A. A. M. Hassan and D. Benwell. 2008. A methodology for regional-scale flood risk assessment. Proc. ICE-Water Manage. 161 (3): 169–182.

Hellweger, R. 1996. AGREE.aml. Center for Research in Water Resources, the University of Texas at Austin, Austin, TX.

Hsu, M. H., S. H. Chen, and T. J. Chang. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm drainage system. J. Hydrol. 234: 21–37.

Jang, S., M. Cho and J. Yoon. 2007. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. Desalination 212: 344–356.

Jokic, D. and D. Maidment. 2004. Terrain analysis for urban storm water modeling. Hydrological Processes. (5): 115-124.

Jonathan, P. L and E. V. Baxter. 2012. An assessment of distributed flash flood forecasting accuracy using radar and rain gauge input for a physics-based distributed hydrologic model. J. Hydrol. 412–413, 114–132.

Krupka, M., S. Wallis, S. Pender and S. Neélz. 2007. Some practical aspects of flood inundation modelling, Transport phenomena in hydraulics, Publications of the Institute of Geophysics, Polish Academy of Sciences, E-7 (401): 129–135.

Lagmay, A. M. F., R. P. Agaton, M. A. C. Bahala, J. B. L. Briones, K. M. C. Cabacaba, C. V. C. Caro, L. L. Dasallas, L. A. L. Gonzalo, C. N. Ladiero, J. P. Lapidez, M. T. F. Mungcal, J. V. R. Puno, b, M. M. A. C. Michael Ramos, J. Santiago, J. K. Suarez and J. P. Tablazon., 2015. Devastating storm surges of Typhoon Haiyan. I. Journal of Disaster Risk Reduction. 11: 1–12.

Lhomme, J., P. Sayers, B. Gouldby, P. Samuels, M. Wills and J. Mulet-Marti. 2008. Recent Development and Application of a Rapid Flood Spreading Model, River Flow 2008, September. <[http://eprints.hrwallingford.co.uk/223/1/HRPP361-Recent\\_development\\_and\\_application\\_of\\_a\\_rapid\\_flood\\_spreading\\_method.pdf](http://eprints.hrwallingford.co.uk/223/1/HRPP361-Recent_development_and_application_of_a_rapid_flood_spreading_method.pdf)>.

Leopold, L. B. 1968. Hydrology for urban land planning. A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use, U.S. Geol. Circ. 554, USGS, Washington, DC. Pp: 16-28.

Liu, A., P. Egodawtta, A. Guan and A. Goonetilleke. 2013. Influence of rainfall and catchment characteristics on urban stormwater quality. Science of the Total Environment, 444: 255-262.

Maidment, D. 1996. GIS and hydrological modelling: an assessment of progress. In: Third International Conference on GIS and Environmental Modelling, Santa Fe, NM, 20–25 January, 1996.

Mark, O., S. Weesakul, C. A. Pirumanekul, S. B. Aroonnet and S. Djordjevic. 2004. Potential and limitations of 1D modeling of urban flooding. J. Hydrol. 35: 159–172.

Mccuen, R.H. 1982. A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Method. Prentice- Hall Inc., Englewood Cliffs, 67–97.

- Meesuk, V., Z. Voinovich, A. E. Mynett and A. F. Abdullah. 2015. Urban flood modelling combining top-view LiDAR data with ground-view SfM observations. *A. in Water Resources*. 75: 105–117.
- Mignot, E., A. Paquier and S. Haider. 2006. Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations. *J. Hydrol.* 327 (1/2), 186–199.
- Miller, D. J., H. Kim, R. T. Kjeldsen, J. Packman, S. Grebby and R. Dearden. 2014. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. *Journal of Hydrology*, 515: 59–70.
- Naulin, J.-P., O. Payrastre and E. Gaume. 2014. Spatially distributed flood forecasting in flash flood prone areas: Application to road network supervision in Southern France. *J. Hydrol.* 486: 88–99.
- Pradeep, K. B., J. A. Barry and Y. L. James. 2006. Runoff quality analysis of urban catchments with analytical probabilistic models. *J. Water Resour. Plann. Manage.* 132 (1), 4–14.
- Qiu, J.W., N. Li and X.T. Cheng. 2000. The simulation system for heavy rainfall in Tianjin City. *J. Hydraulic Eng.* 11: 34–42.
- Reuterwall, L, and Thoren. 2009. Identification of flood risk area in an open storm water system whit MIKE URBAN- senia town, Malaysia, Msc. Thesis, water and Enviroment Engineering, Department of Chemical Enginereeng, Land University, 90pp.
- Rossmann, L. A. 2004. Storm water management model: User's manual Version 5.0 [EB/OL]. <[http://www.epa.gov/ednrmrml/models/swmm/epaswmm5\\_user\\_manual .pdf](http://www.epa.gov/ednrmrml/models/swmm/epaswmm5_user_manual.pdf)>.
- Schubert, J. E., B. F. Sanders, M. J. Smith and N. G. Wright. 2008. Unstructured mesh generation and landcover-based resistance for hydrodynamic modeling of urban flooding. *Adv. Water Resour.* 31: 1603–1621.
- Schumann, G. J., J. C. Neal, D. C. Mason and P. D. Bates. 2011. The accuracy of sequential aerial photography and SAR data for observing urban flood dynamics, a case study of the UK summer 2007 floods. *Remote Sens. Environ.* 115: 2536–2546.
- Sharifian, R. A., A. Roshan, m. Afaltoni, A. Jahadi and M. Zolghadr. 2010. Uncertainty and sensitivity analysis of SWMM model in computation of manhole water depth and sub catchment peak flood. *J. procedia social and behavioral sciences.* 2: 7739-7740.
- Smith, M.B. 2006. Comment on 'Analysis and modeling of flooding in urban drainage systems'. *J. Hydrol.* 317: 355–363.
- Wei, O.Y., B. B. Guo and F.H. Hao. 2012. Modeling urban storm rainfall runoff from diverse underlying surfaces and application for control design in Beijing. *J. Environ. Manage.* 113: 467–473.
- Woodward, D. E., R. H. Hawkins, R. Jiang, A. T. Hjelmfelt, J. A Van Mullem and Q. D. Quan. 2003. Runoff curve number method: examination of the initial abstraction Ratio. In: *Proc. ASCE Conf. Proc., Philadelphia, PA*, vol. 118: p. 308.
- Xie, Y. Y., D. M. Li and P. Y. Li. 2005. Research and application of the mathematical model for urban rainstorm water logging. *Adv. Water Sci.* 16 (3): 384–390.
- Yan, J., Y. Zhang, J. Zhang and X. Yang. 2011. The method of urban rain- flood utilization based on environmental protection. *Energy procedia.* 5: 403-407.
- Zhang, S. H and B. A. Pan. 2014. An urban storm-inundation simulation method based on GIS. *J. Hydrol.* 515: 260–268.
- Zhang, S.H., T. W. Wang and B. H. Zhao. 2014a. Calculation and visualization of flood inundation based on a topographic triangle network. *J. Hydrol.* 509: 406–415.
- Zhang, S.H., B. H. Zhao and D. E. Eho. 2014b. Watershed characteristics extraction and subsequent terrain analysis based on digital elevation model in flat region. *J. Hydrol. Eng.*
- Zhao, D. Q., J. N. Chen and Q. Y. Tong. 2008. Construction of SWMM urban drainage network model based on GIS. *China Water Wastewater* 24 (7): 88–91

## Urban Storm-Inundation Simulation Based-on GIS In Damghan Urban Watershed

E. Yousefi Mobarhan<sup>۱</sup>, K. Solaimani<sup>۲</sup> and Gh.vahabzadeh<sup>۳</sup>

### Abstract

With the increasing of urbanization, conditions of the underlying surface and climate conditions have been changed by human activities. This resulted in more frequent floods and inundation problems in urban areas. Storm-inundation Models based on hydrology and hydrodynamics require a large amount of input data (detailed terrain, sewer system and land use data). In this paper, in order to determine inundation conditions quickly with only a few usually available input data, an urban storm-inundation simulation method (USISM) based on geographic Information System (GIS) is proposed. The USISM is a simplified method of distributed hydrological model based on DEM, in this method depressions in terrain are regarded as the basic inundated area. The amount of water that can be stored in a depression indicates the final inundation distribution. The runoff and maximum storage volume for each depression and the flow direction between these depressions are all considered in the final inundation simulation. The SCS method is used to calculate storm runoff and a water balance equation is used to calculate the water storage in each depression. The result reveals that the USISM method could find the inundation locations in the Damghan Urban Watershed and quickly calculate inundation depth and area. The USISM is valuable for simulating storms of short duration in an Urban Watershed with a few in commonly available input data.

**Keywords:** Depression, GIS, Urban Watershed, USISM.

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, 09113272853, E.Yousefi.M@gmail.com

<sup>2</sup> Professor, College of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University.

<sup>3</sup> Assistance Professor, College of Natural Resources, Sari Agricultural Science and Natural Resources University.