

## شبیه سازی و مقایسه روان آب شهری در دو کاربری متفاوت اراضی با استفاده از مدل SWMM مطالعه موردی: حوضه شهری جهرم

مجتبی خلیلی زاده<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳

### چکیده:

سیلاب و آب گرفتگی در مناطق شهری در اثر رگبارهای شدید مشکلات فراوانی را برای بسیاری از شهرها به وجود می آورد. افزایش شهرنشینی، تغییرات کاربری اراضی و توسعه اراضی غیر قابل نفوذ روی مناطق نفوذپذیر اثرات مهمی در وقوع این خطر دارند. مدل مدیریت سیلاب (SWMM) یک مدل هیدرودینامیک شبیه سازی زهکشی و رواناب شهری بوده که به صورت گسترده ای جهت طراحی ها و آنالیزهای مختلف به کار گرفته می شود. در این پژوهش دو نوع کاربری اراضی (سال ۱۳۴۴ و ۱۴۰۰) شهر جهرم جهت مطالعه خصوصیات روان آب برای ۵ رخداد بارندگی انتخاب شدند. آنالیز حساسیت پارامترهای تولید رواناب انجام شده و با استفاده از مدل SWMM پارامترهای بهینه تعیین شدند. نتایج بررسی تغییر کاربری اراضی نشان داد که بیشترین تغییر مربوط به تبدیل باغها و مراتع به اراضی مسکونی و تجاری است به طوری که سطح باغهای شهری ۵ برابر کاهش یافته و همین عامل باعث افزایش حجم سیلاب شهری شده است. همچنین پس از اعتبار سنجی و واسنجی مدل SWMM، مقدار ضریب کارایی ناش ساتکلیف برابر با ۰/۸۸ و مقدار  $R^2$  برابر ۰/۹۱ به دست آمد که نشان از کارایی و مناسب بودن مدل برای حوضه شهری جهرم می باشد. در نهایت نتایج آنالیز حساسیت نیز نشان داد که پارامترهای درصد اراضی غیر قابل نفوذ و مقدار ذخیره بیشترین حساسیت را در دبی اوج سیلاب و ضریب زبری مانینگ کمترین تاثیر را داشته است.

واژه های کلیدی: حوزه آبخیز شهری، کاربری اراضی، مدل SWMM، واسنجی، آنالیز حساسیت.

<sup>۱</sup> استادیار گروه فنی و مهندسی، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران. Mkhz57@gmail.com

## مقدمه

وقوع پدیده های طبیعی چون سیل، تاکنون موجب بروز خسارات زیادی به جوامع بشری شده است. مناطق شهری به علت وجود اماکن مسکونی و تجمع انسان‌ها، با افزایش مناطق غیرقابل نفوذ در برابر سیل آسیب پذیر می‌باشند. در ایران وقوع سیلاب‌های بزرگ در دهه های اخیر از رشد فزاینده‌ای برخوردار بوده، به نحوی که سیل‌های به وقوع پیوسته در دهه‌های اخیر بیش از دو برابر شده است. استفاده از مدل‌ها و روش‌های پیشرفته می‌تواند در کاهش دبی اوج و حجم رواناب مفید واقع شود. امروزه طراحان و مدیران از مدل‌های ریاضی مختلف جهت شبیه‌سازی رواناب در حوزه‌های آبخیز شهری استفاده می‌کنند (عباس‌پور و همکاران، ۲۰۰۷).

مدل‌های مختلفی جهت مدیریت رواناب‌های شهری در دسترس است که شامل مدل HEC-1، مدل‌های TR-20 و TR-55، مدل MOUSE، مدل HydroWorks و مدل SWMM (مرکز مهندسی ارتش آمریکا، ۱۹۸۵، سرویس حفاظت خاک آمریکا، ۱۹۸۳ و ۱۹۸۶، بخش هیدرولیک دانش، ۱۹۹۵، شرکت والینگفورد، ۱۹۹۷، هوبر و دیکسون، ۱۹۸۸).

مدل SWMM یک مدل دینامیکی بارش رواناب جهت شبیه‌سازی مسائل کمی و کیفی رواناب در مناطق شهری می‌باشد (هوبر و دیکسون، ۱۹۸۸). این مدل جنبه‌های هیدرولوژیک شهری، چرخه آب شامل بارندگی، ذوب برف، رواناب سطحی، حرکت آب در شبکه زهکشی و ذخیره آب را شبیه‌سازی می‌کند. مدل SWMM به وسیله آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) توسعه یافته و در بسیاری از حوزه‌های شهری ایالات متحده آمریکا و دیگر مناطق جهان مورد استفاده قرار گرفته است (سلوالینگام و همکاران، ۱۹۸۷، وارویک و تادپالی، ۱۹۹۱، بهادری و همکاران، ۲۰۰۱، بارکو و همکاران، ۲۰۰۸). این مدل در مدیریت رواناب زهکش‌های شهری و روندیابی سیلاب به کار گرفته می‌شود (زاقول، ۱۹۹۸، کمپبل و سولیوان، ۲۰۰۲، هسو و همکاران، ۲۰۰۰).

مدل‌های فیزیکی بارش رواناب نیازمند تخمین یک یا چند پارامتر هستند که واسنجی آنها مخصوصاً در حوزه‌های شهری وسیع مشکل است. واسنجی و تخمین اتوماتیک این پارامترها یکی از راه‌های این مشکل می‌باشد. لیونگو همکاران (۱۹۹۵)، بالاسیکو و همکاران (۱۹۹۸) الگوریتم‌های ژنتیک را جهت واسنجی مدل SWMM پیشنهاد کردند.

زاقول و ابوکیف (۲۰۰۱) از شبکه‌ی عصبی مصنوعی جهت آنالیز حساسیت و واسنجی مدل SWMM استفاده کردند.

اسکات (۲۰۰۶)، مدل SWMM را برای طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی به استفاده نموده است. وی اظهار می‌دارد با اینکه گمان می‌رود SWMM معمولاً ابزاری برای تحلیل سیستم زهکشی سطحی باشد اما می‌توان از آن برای تحلیل و طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی نیز استفاده کرد. وی همچنین نشان داد که پارامترهای مدل SWMM چگونه می‌تواند برای به کار بستن نفوذ و جریان‌های درونی به خوبی جریان‌های پایه سیستم زهکشی زیرزمینی تنظیم شود.

جانگ و همکاران (۲۰۰۷)، از مدل SWMM برای مدیریت رواناب شهری در قبل و بعد از توسعه شهر استفاده کردند و این مدل را در چهار منطقه در کره به کار گرفتند. نتایج حاصل نشان داد که این

مدل می‌تواند خط‌هایی از قبیل دبی اوج کوچک‌تر و زمان تا اوج طولانی‌تر برای شرایط بعد از توسعه را برطرف کند. گمان می‌رود مدل پیشنهاد شده جوابگوی ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی برای توسعه برنامه‌ریزی شهری باشد.

دونگکوان و همکاران (۲۰۰۹)، برای شبیه‌سازی بارش و رواناب در حوضه شهری ماکوا از مدل SWMM و GIS استفاده کردند. نتایج نشان داد که استفاده از GIS در به‌دست آوردن برخی از پارامترهای مهم مدل SWMM بسیار مفید است و مدل SWMM انعطاف‌پذیری قابل ملاحظه‌ای را وقتی پارامترهای کافی در دسترس باشد دارد.

چن و همکاران (۲۰۱۰)، در مطالعه‌ای مدل دو بعدی Urban Inundation Model را با مدل یک بعدی SWMM برای شبیه‌سازی جریان روسطحی و زیرسطحی برای تهیه نقشه آب گرفتگی ادغام کردند. با توجه به اینکه در این مطالعه مقدار بارندگی و ظرفیت کانال برابر بوده است علت آب گرفتگی می‌تواند در نتیجه تمرکز جریان در یک کانال در مدت زمان کوتاه باشد.

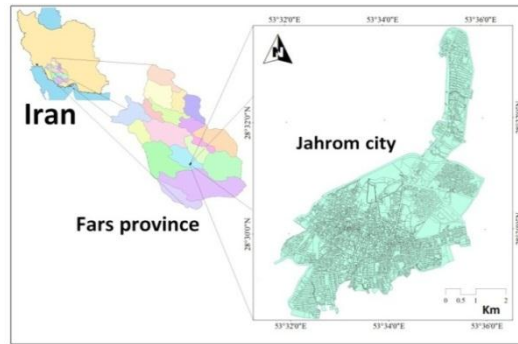
در بعضی از مطالعاتی که در زمینه مدل SWMM ذکر شده از این مدل برای برنامه‌ریزی، مدیریت رواناب شهری و افزایش سطح خدمات شهری استفاده شده‌است که نتایج نشان دهنده‌ی کارایی لازم مدل SWMM برای شبیه‌سازی رواناب در مناطق شهری است و می‌توان از این مدل با سطح اطمینان بالایی برای طراحی و مدیریت در مناطق شهری استفاده نمود. همچنین تلفیق مدل SWMM با سایر مدل‌های هیدرولیکی ابزار مناسبی برای تجزیه و تحلیل سیلاب در مناطق شهری محسوب می‌شود (سوبرامانیا و همکاران، ۲۰۰۵. سینگ و چادهاری، ۱۹۸۶. یان و همکاران، ۱۹۹۳. شریفان و همکاران، ۲۰۱۰).

در این مطالعه مدل SWMM برای حوزه شهری جهرم تعدیل و سازگار شده و سیستم‌های زهکشی و زیرحوزه‌ها با عملیات میدانی و نقشه‌برداری تعریف شدند. همچنین مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر بر اساس نقشه‌های کاربری اراضی ۱۳۴۴ و ۱۴۰۰ تعیین شدند. با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی عمل واسنجی انجام شد و کل ۵ رگبار (storm) جهت اعتباریابی و واسنجی استفاده گردید. مدل کالیبره شده قادر به پیش‌بینی رخدادهای سیلاب با دقت قابل قبولی می‌باشد در نتیجه می‌توان اثر تغییر کاربری اراضی بر رخداد سیلاب را نیز مورد ارزیابی قرار داد.

## مواد و روشها

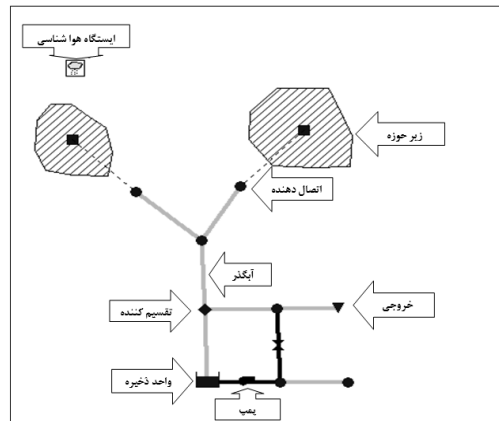
### معرفی حوزه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شهری جهرم در نیمه جنوبی استان فارس در ایران واقع شده است. مساحت کل منطقه مورد مطالعه ۲۵/۲۶ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱). میزان بارندگی در سال بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر می‌باشد و حداکثر گرمای آن ۴۵ و حداقل آن یک درجه سانتیگراد می‌باشد. این منطقه آب و هوایی گرم و متغیر دارد، به طوری که زمستانهای آن سرد و تابستانهای گرم می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز شهری جهرم

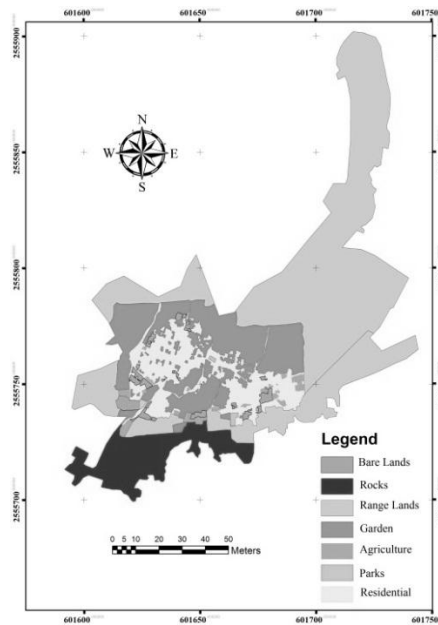
مدل مدیریت رواناب SWMM مدل شبیه‌سازی دینامیک بارش-رواناب است که برای شبیه‌سازی یک رویداد یا کمیت بلندمدت (پیوسته) و کیفیت رواناب از مناطق عمدتاً شهری استفاده می‌شود. بخش رواناب مدل SWMM روی مجموعه‌ای از مناطق زیرحوضه کار می‌کند که بارندگی را دریافت می‌کنند. بخش مسیریابی SWMM این رواناب را از طریق سیستمی از لوله‌ها، کانال‌ها، دستگاه‌های ذخیره/تصفیه، پمپ‌ها و تنظیم‌کننده‌ها منتقل می‌کند. نسخه ۵ مدل SWMM در فرم استاندارد خود دارای ده فرآیند است و قادر است ۵۰۰ زیرحوضه و ۵۰۰ کانال/لوله را شبیه‌سازی کند. شکل ۲ نشان می‌دهد که چگونه مجموعه‌ای از اجزاء بصری SWMM ممکن است با هم مرتب شوند تا یک سیستم زهکشی رواناب را نشان دهند. این اجزاء را می‌توان بر روی نقشه در فضای کاری SWMM نمایش داد.



شکل ۲- موضوعات نمایشی مورد استفاده در مدل SWMM (رژمن، ۲۰۰۵)

## تغییرات کاربری اراضی

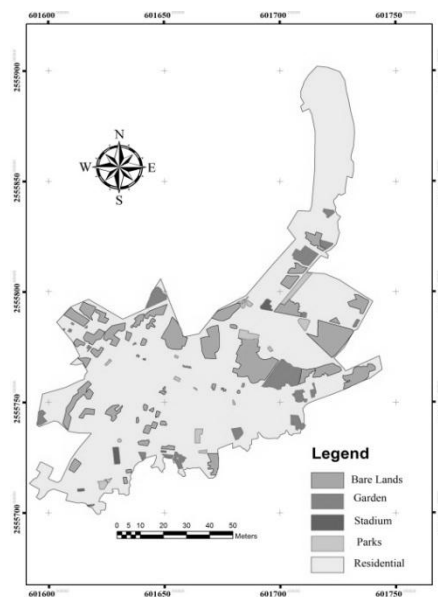
نقشه‌های کاربری اراضی سال ۱۳۴۴ و ۱۴۰۰ از شهرداری شهرستان جهرم به صورت ۴ شیت مجزا با استفاده از عکسهای هوایی، نقشه‌های قدیمی و نقشه‌های طرح تفصیلی جدید و همچنین بازدید میدانی تهیه گردید و محدوده حوضه شهری جهرم تفکیک شد. سپس هر کدام از آنها به صورت موزائیک در کنار هم قرار گرفت. سپس، مساحت کاربری به تفکیک در حوضه مشخص شده و تغییرات آنها بدست آمد. (شکل ۳ و ۴) و جدول (۱).



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز شهری جهرم (۱۳۴۴)

### داده ها

داده های بارندگی از دو ایستگاه باران سنجی در شهر جهرم به دست آمدند. متوسط بارندگی هر زیرحوزه شهری بر اساس میانگین وزنی خطوط نقشه همباران برای دوره بازگشت ۵۰ ساله محاسبه شدند. همچنین ۵ رخداد بارش از سال ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۵ انتخاب گردید. جدول ۲ داده های این بارش ها را نشان می دهد.



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز شهری جهرم (۱۴۰۰)

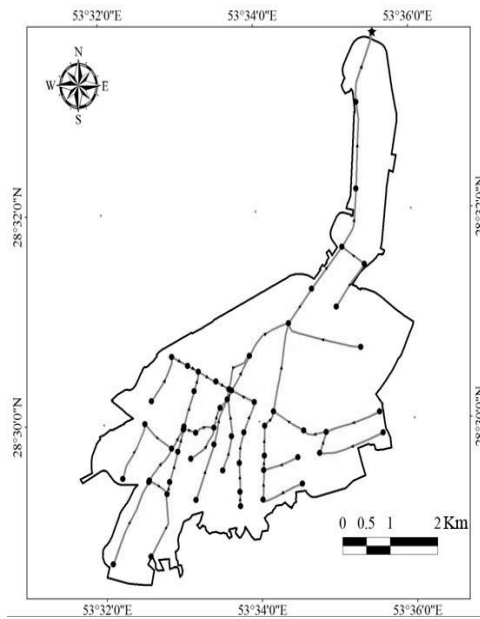
جدول ۱- تغییرات کاربری اراضی در حوضه شهری جهرم از سال ۱۳۴۴ تا سال ۱۴۰۰

کاربری	سال ۱۳۴۴		سال ۱۴۰۰		درصد تغییرات
	مساحت(هکتار)	درصد فراوانی	مساحت(هکتار)	درصد فراوانی	
اراضی باغی	۲۰۳/۴	۲۱/۴	۴۰/۴	۳/۸	-۱۷/۶
اراضی زراعی	۱۵	۱/۶	۰	۰	-۱/۶
فضای سبز	۲	۰/۲	۱۴	۱/۳	+۱/۱
اراضی مرتعی	۵۸۰	۶۱	۰	۰	-۶۱
اراضی مسکونی و تجاری	۱۳۰/۱	۱۳/۷	۸۵۷/۶	۸۱/۴	+۶۷/۷
اراضی بایر	۱۹/۵	۲	۱۴۱/۸	۱۳/۵	+۱۱/۵
جمع	۹۵۰	۱۰۰	۱۰۵۳/۸	۱۰۰	---

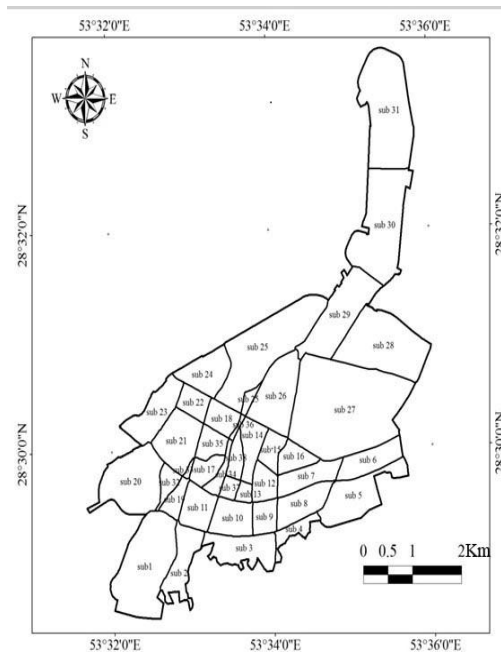
جدول ۲- شرح پنج رویداد بارش مورد استفاده در این تحقیق

تاریخ بارش	عمق بارش(میلی متر)	مدت زمان بارش(ساعت)
۱۵/۸/۱۳۴۹	۳	۹
۲۴/۸/۱۳۵۸	۵	۴
۱۸/۹/۱۳۷۷	۱۰/۵	۷
۲۰/۹/۱۳۸۵	۸/۵	۴
۱۳/۹/۱۳۹۸	۱۲/۵	۵

با استفاده از نقشه کاربری اراضی منطقه و پیمایش میدانی مرز زیر حوضه‌ها تعیین شد و در نهایت منطقه مورد مطالعه به ۳۹ زیر حوضه تقسیم شد سپس داده‌های مربوط به ۵۴ کانال اصلی موجود در حوضه شهری تعیین شدند. (شکل ۴ و ۵)



شکل ۴- نقشه کانال‌های حوزه آبخیز شهری جهرم



شکل ۵- نقشه زیرحوضه‌ها، حوزه آبخیز شهری جهرم

### واسنجی و آنالیز حساسیت

چهار رویداد بارش جهت واسنجی و یک رویداد جهت اعتبار سنجی انتخاب گردید. همچنین جهت انجام آنالیز حساسیت چهار پارامتر که شامل درصد اراضی غیر قابل نفوذ، عرض، مقدار ذخیره (نفوذ) و ضریب زبری مانینگ کانال انتخاب شد که در جدول ۳ نشان داده شده است.

آنالیز حساسیت برای ارزیابی اهمیت پارامترهای مختلف با نشان دادن چگونگی تغییر راه حل‌ها با پارامترها انجام می‌شود. تجزیه و تحلیل حول پارامترهای کالیبره شده بهینه به منظور نشان دادن تأثیر برای مقادیر پارامتر احتمالی انجام شد.

### ضریب ناش ساتکلیف (NSE):

ضریب ناش ساتکلیف (NSE) یک آماره نرمال شده است که مقدار نسبی واریانس باقیمانده را در ارتباط با واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده تعیین می‌کند (ناش و ساتکلیف، ۱۹۷۰).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_i (Q_{m,i} - Q_s)_i^2}{\sum_i (Q_{m,i} - Q_m)^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه،  $Q_m$ : میانگین دبی مشاهداتی،  $Q_s$ : دبی محاسباتی،  $Q_{m,i}$ : دبی مشاهده شده است. ضریب کارایی نشان می‌دهد که نمودار داده‌های مشاهده شده در مقابل شبیه‌سازی شده چقدر با خط ۱:۱ مطابقت دارد.

$NSE=1$  مربوط به تطابق کامل مدل با داده‌های مشاهده شده است.  $NSE=0$ ، نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌های مدل به اندازه میانگین داده‌های مشاهده شده دقیق هستند. جدول ۴ مقادیر مختلف ضریب ناش در مقابل نتیجه ارزیابی نشان می‌دهد.

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در مرحله واسنجی مدل SWMM

نام پارامتر	مقدار قابل انتظار	دامنه تغییرات (%)	
		حداکثر	حداقل
اراضی غیر قابل نفوذ	۰-۹۲(%)	۱۸۰	۵۰
عرض	۱۰-۲۲۲۸(متر)	۱۸۰	۸۰
مقدار ذخیره	۰-۱۲۷(میلی متر)	۱۹۰	۵۰
ضریب زبری مانینگ	۰/۰۲۷-۰/۰۱۳	۲۳۰	۵۰

جدول ۴- مقادیر مختلف ضریب کارایی ناش (ناش و ساتکلیف، ۱۹۷۰)

نتیجه ارزیابی	ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)
بسیار خوب	$0.75 < NES \leq 1$
خوب	$0.65 < NES \leq 0.75$
رضایت بخش	$0.5 < NES \leq 0.65$
غیر قابل قبول	$NES \leq 0.5$

### ضریب تعیین ( $R^2$ )

این ضریب نشان دهنده قسمتی از تغییرات کل (واریانس کل) مقادیر مشاهده شده است که به وسیله مقادیر شبیه سازی شده توجیه می شود. آماره  $R^2$  نسبت پراکندگی بین مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده را نشان می دهد. مقادیر  $R^2$  بین صفر و یک متغیر است، چنانچه مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده برابر باشند مقدار  $R^2$  برابر با یک می باشد (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۷):

$$R^2 = \left\{ \left( \frac{1}{N} \right) \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{(\sigma_x \cdot \sigma_y)} \right\}^2 \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در عبارت بالا:  $N$ ، تعداد کل داده های مشاهداتی.  $x_i$ ، مقادیر مشاهده شده.  $\bar{x}$ ، میانگین مقادیر مشاهده شده.  $y_i$ ، مقادیر پیش بینی شده.  $\bar{y}$ ، میانگین مقادیر پیش بینی شده.  $\sigma_x$ ، انحراف معیار مقادیر مشاهداتی.  $\sigma_y$ ، انحراف معیار مقادیر پیش بینی شده است.

### نتایج و بحث

پارامترهای درصد اراضی غیر قابل نفوذ، عرض، مقدار ذخیره (نفوذ) و ضریب زبری مانینگ کانال به تنهایی و با یکدیگر برای رویدادهای مختلف با انواع توابع هدف موجود در مدل SWMM واسنجی شد. شایان ذکر است که مقدار عددی توابع هدف مختلف با یکدیگر قابل مقایسه نیستند. بنابراین با توجه به مقدار اختلاف بین دبی اوج، حجم سیل و زمان رسیدن به اوج بین دو هیدروگراف مشاهده شده و شبیه سازی شده، بهترین تابع هدف انتخاب گردید. اما مقدار عددی یک تابع هدف در حالات مختلف کالیبراسیون (پارامترها به تنهایی کالیبره شوند یا به صورت ترکیبی با هم) قابل مقایسه است و هرگاه مقدار تابع هدف به کمترین مقدار خود برسد، بهترین حالت واسنجی انجام گرفته است. با توجه به موارد مذکور، بهترین حالت صحت سنجی، واسنجی مقدار ذخیره با تابع هدف شاخص ناش-ساتکلیف و مقدار  $R^2$  می باشد.

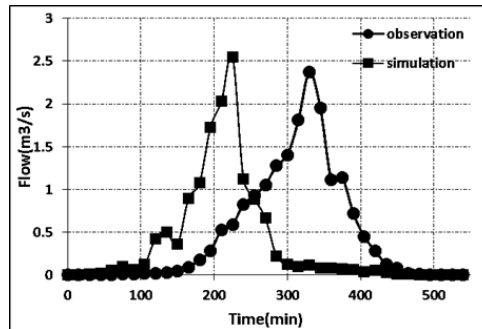
پس از اجرای اولیه مدل SWMM، نتایج شبیه سازی رواناب در حوزه شهری جهرم بدست آمد. به



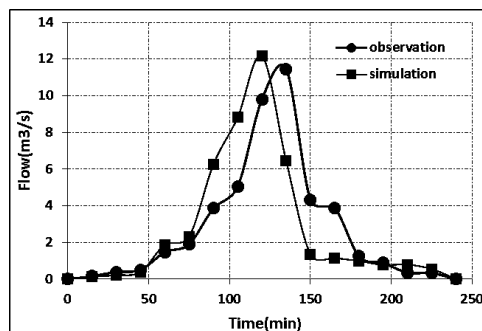
منظور واسنجی مدل از ۴ پارامتر جدول ۳ استفاده شد. نتایج ارزیابی مرحله واسنجی مدل SWMM با توجه به پارامترهای بهینه بدست آمده و شاخصهای آماری برای داده‌های رواناب در جدول ۵ آمده است. همچنین نمودارنتایج شبیه‌سازی شده همراه با داده‌های مشاهداتی در مرحله واسنجی در شکل‌های ۶ تا ۱۰ آمده است.

جدول ۵- مقادیر محاسبه شده شاخص‌های آماری مدل در مرحله واسنجی

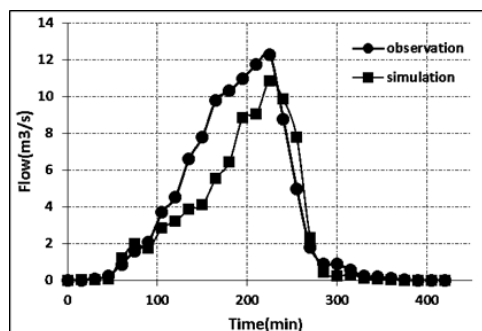
شاخص ارزیابی	مقدار محاسبه شده
NSE	۰/۷۲
R <sup>2</sup>	۰/۸۰



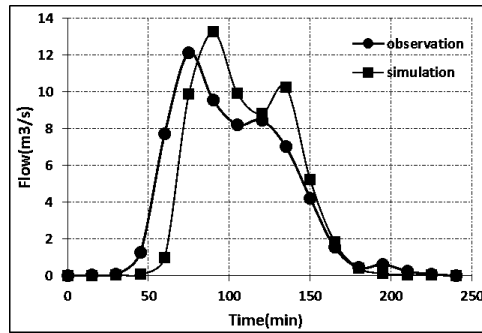
شکل ۶- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده ۱۵/۸/۱۳۴۹



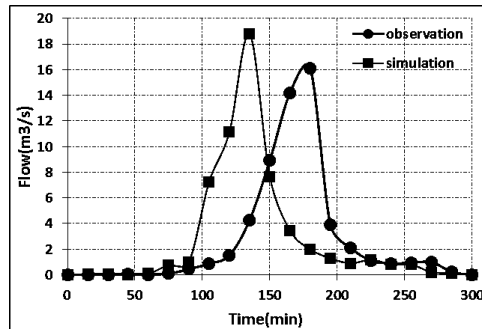
شکل ۷- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده ۲۴/۸/۱۳۵۸



شکل ۸- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده ۱۸/۹/۱۳۷۷



شکل ۹- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده ۲۰/۹/۱۳۸۵

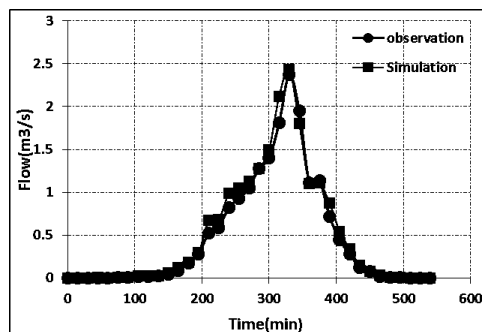


شکل ۱۰- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده ۱۳/۹/۱۳۹۸

پس از واسنجی مدل هیدرولوژی، به منظور اعتبارسنجی مدل از رویداد سال ۱۳۴۹ استفاده گردید و مدل اجرا شد. نتایج شاخصهای آماری برای داده‌های رواناب در جدول ۶ آمده است. نتایج اعتبارسنجی مدل هیدرولوژی با رویداد انتخابی در شکل ۱۱ و جدول ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است شکل هیدروگراف خروجی شبیه‌سازی شده از حوزه مطابقت زیادی با شکل هیدروگراف خروجی واقعی داشته است.

جدول ۶- مقادیر محاسبه شده شاخص‌های آماری مدل در مرحله اعتبارسنجی

مقدار محاسبه شده	شاخص ارزیابی
۰/۸۸	NSE
۰/۹۱	R <sup>2</sup>

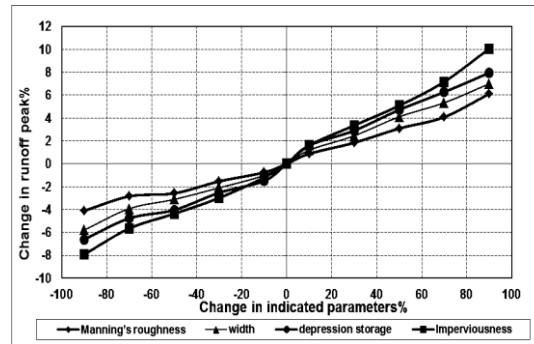


شکل ۱۱- هیدروگراف‌های سیل محاسباتی و مشاهداتی در مرحله اعتبارسنجی

جدول ۷- نتایج اعتبارسنجی مدل SWMM با رویداد سیل ۱۳۴۹

دبی	مشاهده شده	شبیه سازی شده
دبی اوج ( $m^3/s$ )	۲/۳۷	۲/۴۸
زمان تا اوج (min)	۳۳۰	۳۳۰

در نهایت آنالیز حساسیت دبی اوج سیل حوضه شهری جهرم نسبت به تغییرات درصد اراضی غیر قابل نفوذ، عرض، مقدار ذخیره (نفوذ) و ضریب زبری مانینگ کانال انجام شده که شکل ۱۲ نتایج آن را نشان می دهد.



شکل ۱۲- آنالیز حساسیت حوضه شهری جهرم

### نتیجه گیری

در این مطالعه اقدام به شبیه سازی رواناب با استفاده از مدل SWMM در حوضه شهری جهرم واقع در ایران شد. ابتدا نتایج مربوط به تغییر کاربری اراضی از سال ۱۳۴۴ تا ۱۴۰۰ نشان می دهد که بیشترین نوع تغییر کاربری، تبدیل باغها و مراتع به اراضی مسکونی و تجاری می باشد. در حوضه شهری جهرم سطح کل باغهای آن در سال ۱۳۴۴ حدود ۲۰۳/۴ هکتار بوده که در سال ۱۴۰۰ به ۴۰/۴ هکتار رسیده و در حدود ۵ برابر کاهش یافته است. از طرف دیگر مدلسازی بارش رواناب و نتایج مدل SWMM نشان می دهد تبدیل فضاهای سبز (باغها، اراضی مرتعی و زراعی) به مناطق مسکونی باعث کاهش نفوذپذیری و افزایش حجم سیل شده است. جدول (۸)

جدول ۸- تغییرات میانگین حجم سیل از سال ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۸

سال	۱۳۴۹	۱۳۵۸	۱۳۷۷	۱۳۸۵	۱۳۹۸
حجم ( $m^3$ )	۱/۷۶	۳/۴۱	۱۸/۱۲	۶۵/۳۳	۱۱۸/۳۲

نتایج به دست آمده در دوره واسنجی و صحت سنجی نشان از کارایی و مناسب بودن مدل SWMM در شبیه سازی رواناب برای حوضه شهری جهرم می باشد. به طوری که ضریب ناش ساتکلیف برای دوره واسنجی ۰/۷۲ و ضریب  $R^2$  برای این دوره ۰/۸ محاسبه شد و برای دوره صحت سنجی مدل، ضریب ناش ساتکلیف ۰/۸۸ و  $R^2$  به ۰/۹۱ به دست آمد.

نتایج آنالیز حساسیت نیز نشان داد که پارامترهای درصد اراضی غیر قابل نفوذ و مقدار ذخیره بیشترین حساسیت را در دبی اوج سیلاب و ضریب زبری مانینگ کمترین تاثیر را داشته است. بررسی و ارزیابی کاربرد این مدل در شبیه سازی سایر مؤلفه های بیلان آبی مؤثر در حوضه می تواند از جمله موضوعات مطالعات پیشنهادی آتی به وسیله محققین دیگر در این حوزه آبخیز باشد.

## Refrenc:

- 1-Abbaspour, K.C., J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333: 413-430.
- 2- Balascio, C. C., Palmeri, D. J., and Gao, H. 1998. Use of a genetic algorithm and multiobjective programming for calibration of a hydrologic model. *Transactions of the American Agricultural Engineers*, 41,3, 615–619.
- 3- Barco, J., Wong, K. M., & Stenstrom, M. K. 2008. Automatic calibration of the US EPA SWMM model for a large urban catchment. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*, 134,4, 466–474.
- 4-Bhaduri, B., Minner, M., Tatalovich, S., and Harbor, J. 2001. Longterm hydrologic impact of urbanization: A tale of two models. *Journal of Water Resources Planning. Management.*, 127,1, 13–19.
- 5- Campbell, C. W., and Sullivan, S. M. 2002. Simulating time-varying cave flow and water levels using the storm water management model. *Engineering of Geology.*, 65,2, 133–139.
- 6- Chen, A.S., Hsu, M.H., Huang , C.J., & Lien, W.Y. 2010: Analysis of the Sanchung inundation during Typhoon Aere, 2004. *Natural Hazards*.
- 7- Danish Hydraulic Institute. 1995. Mouse: User’s manual and tutorial, Horsholm, Denmark. 345p.
- 8- Dongquan, Z., Jining, C., Haozheng, W., Qingyuan, T., Shangbing, C. and Zheng, S. 2009. GIS-based urban rainfall-runoff modeling using an automatic catchment-discretization approach: a case study in Macau. *Environment of Earth Science*: 59:465–472.
- 9- HR Wallingford Ltd. 1997. HydroWorks on-line manual, Wallingford, United Kingdom.
- 10- Hsu, M. H., Chen, S. H., and Chang, T. J. 2000. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. *Journal of Hydrology.*, 234,1 , 21–37.
- 11- Huber, W. C., and Dickinson, R. E. 1988. Storm water management model user’s manual, version 4, EPA/600/3-88/001a (NTIS PB88-236641/AS), Environmental Protection Agency, Athens, Ga.
- 12- Jang, S., Cho, M., Yoon, J., Yoon, Y., Kim, S., Kim, G., Kim, L. and Aksoy, H. . 2007. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. *Desalination*: 212: 344-356.
- 13- Liong, S. Y., Chan, W. T., and Jaya, S. R. 1995. Peak-flow forecasting with genetic algorithm and SWMM. *Journal of Hydraulic Engineering.*, 121\_8\_, 613–617.
- 14- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. 1970. River Flow Forecasting through Conceptual Model. Part 1—A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- 15- Rossman L. A., 2015. Storm Water Management Model User’s Manual Version 5.1. National Risk Management Research LaboratoryOffice of Research and DevelopmentU.S. Environmental Protection Agency26 Martin Luther King DriveCincinnati, OH 45268
- 16- Scott, AL. 2006, Sanitary sewer design using EPA Storm Water Management Model (SWMM), Department of Civil and Environmental Engineering, Manhattan College, Parkway, Riverdale, New York,: 1047: 1-10.
- 17- Selvalingam, S., Liong, S. Y., and Manoharan, P. C. 1987. Use of RORB and SWMM models to an urban catchment in Singapore. *Advance of Water Resources.*, 102, 79–86.
- 18- Sharifan RA., Roshan A., Aflatoni M., Jahedi A. and Zolghadr M. 2010. Uncertainty and sensitivity analysis of SWMM model in computation of manhole water

depth and subcatchment peak flood. *Procedia Social and Behavioral Sciences*: 2: 7739–7740.

19- Singh, V. P., and Chowdhury, P. K. 1986 . Comparing some methods of estimating mean areal rainfall. *Water Resour. Bull.*, 222, 275–282.

20- Soil Conservation Service. 1983. TR-20: Computer programs for projects formulations-hydrology. Tech. Release 20, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

21- Soil Conservation Service. 1986. TR-55: Urban hydrology for small watersheds. Tech. Release 55, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

22- Subramanian, N. R., Tingyu, L., and Seng, Y. A. 2005. Optimizing warpage analysis for an optimal housing. *Mechatronics*, 15, 111–127.

23- U.S. Army Corp. of Engineers. 1985. HEC-1: Flood hydrograph package. Hydrologic Engineering Center, Davis, Calif.

24- Warwick, J. J., and Tadepalli, P. 1991. Efficacy of SWMM application. *J. Water Resources Planning. Management.*, 117,3 , 352–366.

25- Yuan, W., Okrent, D., and Stenstrom, M. K. 1993. Model calibration for the high-purity oxygen activated sludge process—Algorithm development and evaluation. *Water Sci. Technol.*, 28,11–12, 163–171.

26- Zaghoul, N. A. 1998. Flow simulation in circular pipes with variable roughness using SWMM-EXTRAN Model. *Journal of Hydraulic Engineering.*, 124,1 , 73–76.

27- Zaghoul, N. A., and Abu Kiefa, M. A. 2001. Neural network solution of inverse parameters used in the sensitivity-calibration analyses of the SWMM model simulations. *Advance of Engineering Software*, 32\_7\_, 587–595.

## **Simulation and comparison of urban water flow in two land use modes using SWMM model, Case study: Jahrom urban watershed**

Mojtaba Khalilizade<sup>۱</sup>

### **Abstract**

Floods and flooding in urban areas caused by intense rain events has created problems for total cities. Increasing urbanization, changes in land use, construction unprincipled and impervious land development on vulnerable areas have important effects on the occurrence of this risk. The Storm Water Management Model (SWMM) is a hydrodynamic model for simulating urban drainage and runoff, which is widely used for different designs and analyses. In this article, two types of land use (years 1965 and 2021) of Jahrom city were selected to study the characteristics of water runoff for 5 rainfall events. The sensitivity analysis of runoff production parameters was performed and the optimal parameters were determined using the SWMM model. The results of the land use change study showed that the biggest change is related to the conversion of gardens and rangelands into residential and commercial lands, so that the area of urban gardens has decreased 5 times, and this factor has caused an increase in the volume of urban flooding. Also, after the validation and calibration of the SWMM model, the Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) was equal to 0.88 and the  $R^2$  value was equal to 0.91, which shows the efficiency and suitability of the model for Jahrom urban watershed. Finally, the results of the sensitivity analysis also showed that the parameters of the imperviousness and the depression storage were the most sensitive in the peak flood discharge and Manning's roughness coefficient had the least effect.

**Keywords:** Urban watershed, Land use, SWMM, Calibration, Sensitivity analysis.

---

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran.