



## فصلنامه علمی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری

سال ۱۱، شماره پیاپی ۴۱، تابستان ۱۳۹۹

شاپا چاپی: ۲۲۲۸-۵۲۲۹ - شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵-۲۴۷۶

<http://jupm.miau.ac.ir>

مقاله پژوهشی

# تاثیر الگوی توزیع بارش و معادله نفوذ در شبیه‌سازی سیلاب شهری مطالعه موردی: حوضه عبدالسلام کنگان

محمد رفیع رفیعی: استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جهرم، جهرم، ایران

زهرا قدم پور: استادیار گروه عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

تورج سبزواری: دانشیار گروه عمران، واحد استهبان، دانشگاه آزاد اسلامی، استهبان، ایران

پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۹

صص ۱۷۹-۱۹۶

دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۱

### چکیده

یکی از پرکاربردترین مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی جریان در شبکه دفع آبهای سطحی شهری، مدل *SWMM* است. این مدل همچون سایر مدل‌های جامع، در برگزیده دامنه گسترده‌ای از داده‌ها و اطلاعات ورودی است. در چنین شرایطی احتمال دارد به دلیل عدم دسترسی به داده‌های واقعی یا پایین بودن دقت اندازه‌گیری آنها، نتایج مدل چندان قابل اطمینان نباشند. میزان این عدم قطعیت بسته به حساسیت مدل به داده‌های ورودی متفاوت است. هدف از پژوهش حاضر بررسی حساسیت مدل *SWMM* به الگوها و زیرمدل‌های مورد استفاده در آن می‌باشد. بدین ترتیب که ضمن بررسی تاثیر ۵ تیپ توزیع مصنوعی الگوی بارندگی، ۴ طول گام زمانی تعریف داده‌های بارش، ۳ مدل نفوذپذیری و نهایتاً ۲ روش روندیابی هیدرولیکی بر دبی حداکثر سیلاب، حساسیت مدل به این الگوها و زیرمدل‌ها مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. به منظور تحلیل حساسیت مدل، از روش گرافیکی و آنالیز همبستگی استفاده گردید. بر اساس نتایج حاصله، بیشترین حساسیت مدل به طول گام‌های زمانی بارندگی تشخیص داده شد که در آن با تغییر گام زمانی از ۱۵ دقیقه به ۹۰ دقیقه، دامنه تغییرات نسبی دبی اوج به ۲۶/۵٪ و ۳۷/۵٪ هم رسید. بعد از آن مدل، با ضرایب اسپیرمن حدود ۱، نسبت به معادله نفوذ انتخابی، از بیشترین حساسیت برخوردار بود اما میزان حساسیت مدل به تیپ الگوی توزیع بارندگی، بسته به شرایط تعریف شده برای شبیه‌سازی، متغیر تشخیص داده شد.

**واژگان کلیدی:** سیلاب شهری، مدل *SWMM*، الگوی توزیع بارندگی، معادلات نفوذ، آنالیز حساسیت.

**مقدمه:**

سیل و سیل خیزی حوضه های شهری باید به عنوان یک معیار مهم در برنامه ریزی شهرها و توسعه های شهری در نظر گرفته شود (Shieh, 2003). سیل همیشه یکی از منابع بحران ساز در ایران بوده و هر ساله در نقاط مختلف کشورمان خسارات زیادی را موجب می‌گردد. تعیین پتانسیل سیل خیزی زیر حوضه‌ها از جمله مطالعات پایه و اساسی است که می‌تواند گامی مهم در زمینه بستر سازی جهت کاهش خسارات سیل و برنامه‌ریزی جامع در این راستا محسوب گردد. آگاهی از میزان پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبخیز می‌تواند در تدوین برنامه‌های مختلف برای مدیریت بحران، اختصاص بودجه لازم، مدیریت منابع آب، آبخیزداری و برنامه‌های مقابله با فرسایش بسیار مفید باشد (Azimi Aghdash, 2018). توسعه شهری در شهرهای ساحلی جنوبی ایران و افزایش سطوح نفوذناپذیر، باعث کاهش زمان تمرکز، افزایش حداکثر دبی سیلاب و در نتیجه افزایش احتمال وقوع خسارات مالی و جانی و مشکلاتی همچون اختلال در تردد شهری (Heydarzadeh, et al., 2017: 204)، آب گرفتگی معابر و مناطق مسکونی، انتشار آلودگی از طریق سرریز رواناب آلوده (Rostami Khalaj et al., 2012: 82) شده است. یکی از دلایل عمده این امر، همچون بسیاری از مناطق جهان، کافی نبودن ظرفیت سیستم‌های زهکشی دفع آب‌های سطحی با توجه افزایش نرخ جمعیت شهرنشینی است (Wu et al., 2011: 371). از این رو مدل‌سازی سیلاب شهری به منظور درک ظرفیت گذردهی جریان در اجزاء مختلف شبکه دفع رواناب سطحی، اخیراً مورد توجه محققین قرار گرفته است (Mark et al., 2004: 284; Seth et al., 2006: 1552). بر این اساس در دهه اخیر، مدل‌های هیدرولوژیکی مبتنی بر فیزیک حوضه‌های آبریز، به منظور محاسبه رواناب سطحی و انتقال آلودگی در شبکه زهکشی، ارائه شده‌اند (Akdoğan & Güven, 2016: 831) که در بین آنها مدل SWMM (Huber & Dickinson, 1988) بدلیل قابلیت شبیه‌سازی هیدرولیکی سیستم‌های زهکشی مصنوعی رایج در مناطق شهری، بیشتر از بقیه در مطالعات سیلاب شهری مورد استفاده قرار گرفته است (Denault et al., 2006: 685; Hsu et al., 2000: 21; Meierdiercks et al., 2010: 932 داده‌های بارندگی ورودی به SWMM می‌تواند واقعی (حاصله از اندازه‌گیری‌های واقعی) یا مصنوعی (تولید شده از یک توزیع زمانی با تداوم معین) باشد. پژوهش حاضر در نظر دارد تأثیر الگوها و زیرمدل‌های SWMM شامل: ۱- الگوی باران طرح و گام‌های زمانی معرفی آن به مدل، ۲- زیر مدل نفوذپذیری و ۳- روش روندیابی بر دبی رواناب سطحی در نقطه خروجی حوضه و حساسیت پارامترهای مربوطه مورد بررسی قرار گیرد.

**پیشینه و مبانی نظری تحقیق:**

تا کنون پژوهش‌های متعددی در زمینه تحلیل حساسیت مدل SWMM به پارامترهای مختلف صورت گرفته است. رابری و همکاران (Rabori et al., 2017: 91) حساسیت مدل SWMM را نسبت به پارامترهای مختلف هیدرولیکی و هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار دادند. در ایران نیز پژوهش‌هایی در زمینه تحلیل حساسیت مدل SWMM صورت گرفته است. به عنوان مثال (Rostami Khalaj et al., 2014: 88) حساسیت متغیرهای موثر بر دبی اوج سیلاب شهری شامل هشت پارامتر درصد مناطق نفوذناپذیر، شیب، عرض معادل، ضریب زبری مانینگ و ارتفاع دخیره آب در مناطق نفوذپذیر و نفوذناپذیر را در شهرک امام علی (ع) مشهد مورد بررسی قرار دادند. در اغلب مطالعات تحلیل حساسیت SWMM، تأکید عمده بر ضرایب و پارامترهای هیدرولوژیکی بوده است (Sun et al., 2014, Gülbaz & Zang et al., 2015: 11, Kazezyilmaz-Alhan, 2013). پژوهش حاضر به جای تمرکز بر ضرایب و فاکتورها، بر الگوها و زیرمدل‌های مورد استفاده مدل متمرکز شده است. بدین ترتیب که میزان حساسیت مدل به توزیع مصنوعی انتخابی برای الگوی یک بارندگی با تداوم مشخص، همچنین گام‌های زمانی انتخابی در الگوی بارش معرفی شده از یک سو و میزان تأثیرگذاری مدل نفوذپذیری از سوی دیگر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جهت بررسی حساسیت مدل به شاخص‌های هیدرولیکی، شبیه‌سازی شرایط فوق‌الذکر با استفاده از دو روش روندیابی جریان ماندگار و موج سینماتیکی مورد مقایسه قرار گرفته است.

**مواد و روش تحقیق:**

در این مطالعه برای مدلسازی حوضه آبریز از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰ و بررسی‌های میدانی استفاده گردید. خلاصه اطلاعات و پارامترهای ورودی مربوط به مدلسازی حوضه آبریز در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین ابعاد کانال‌های موجود شبکه به ۱۰ تیپ شامل ۱ تیپ کانیوو و ۹ تیپ کانال مستطیلی تقسیم‌بندی گردیده و در جدول ۲ ارائه گردیده است. تصویر شماره ۱ محدوده مطالعاتی و زیرحوضه‌های آبریز شهری (الف) را به همراه مسیر کانال‌های اصلی شبکه دفع آبهای سطحی (ب) نشان می‌دهد.

جدول ۱- خلاصه اطلاعات و پارامترهای ورودی به مدل

پارامتر	اراضی نفوذ ناپذیر بدون ذخیره سطحی (%)	شیب کلی حوضه (%)	ضریب زبری -N کانال	ضریب زبری -N سطح قابل نفوذ	ضریب زبری -N سطح غیر قابل نفوذ	مساحت نفوذناپذیر (%)
مقدار	۲۵	۲/۴۸	۰/۰۱۴	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۹۰

منبع: مطالعات میدانی نویسندگان، ۱۳۹۸.

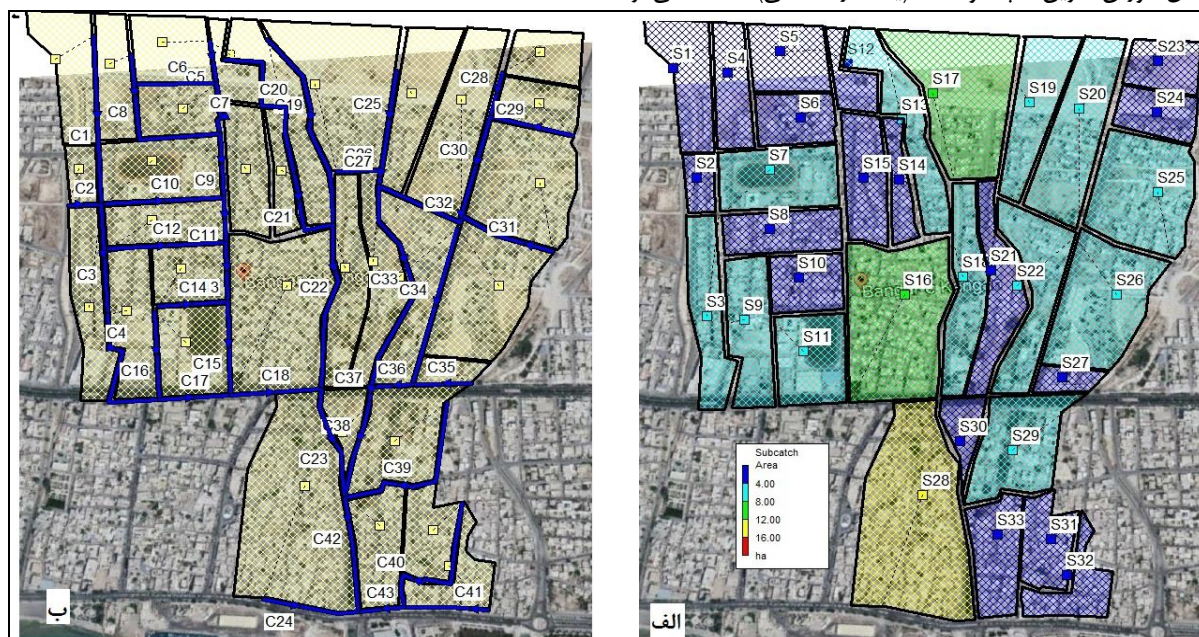
جدول ۲- مجموع طول کانال موجود از هر تیپ در حوضه آبریز عبدالسلام

تیپ کانال	K1	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
عرض (m)	۰/۳۵	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴	۰/۴۵	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۲
عمق (m)	۰/۱۵	۰/۲	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۶۵	۱
مجموع	۸۸۶۲/۷	۱۹۸۰/۵	۲۲۳۳/۰	۷۰۲/۰	۶۳۶/۰	۲۳۴/۹	۱۹۲/۸	۳۳۱/۸	۳۵۶/۲	۳۶۲/۴

منبع: مطالعات میدانی نویسندگان، ۱۳۹۸.

### زیرمدل‌های نفوذ:

نفوذ بر فرآیند تولید رواناب مؤثر است و آشکارا تحت تأثیر خصوصیات هیدرولیکی خاک و بافت متخلخل آن می‌باشد (Sivakumar, ۲۰۱۵). در مدل SWMM به منظور محاسبه میزان نفوذ خاک و تحلیل رواناب ایجاد شده، از سه زیرمدل مبتنی بر سه معادله رایج نفوذ شامل هورتن، گرین-امپت و SCS (یا شماره منحنی) استفاده می‌گردد.



تصویر ۱- زیرحوضه‌های آبریز (الف) و موقعیت کانال‌های اصلی جمع‌آوری کننده سیلاب شهری (ب) در محدوده مورد مطالعه (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸).

### مشخصات بارندگی:

در تحقیق حاضر، ایستگاه باران سنجی کنگان با طول دوره آماری ۳۴ سال به عنوان ایستگاه مبنا انتخاب گردید. ارتفاع باران ۶ ساعته با دوره بازگشت ۵ ساله معادل ۴۶/۵ میلی‌متر بدست آمد. الگوی توزیع بارش ۶ ساعته با استفاده از توزیع مصنوعی باران ارائه شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) است (U.S. Soil Conservation Service, 1973:12). بر این اساس پنج تیپ بارندگی ۶ ساعته SCS شامل SCS I، SCS IA، SCS II، SCS IIFL و SCS III انتخاب گردید. از طرفی به منظور بررسی تأثیر گام‌های زمانی انتخابی هر توزیع بارش بر نتایج مدل، برای هر یک از توزیع‌های پنج‌گانه فوق چهار گام زمانی شامل ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه مد نظر قرار گرفت. بر

این اساس، با استفاده از نرم‌افزار پشتیبان طراحی و مدیریت سیلاب (SMADA) (Curran, 1980) یک واقعه بارندگی با تداوم ۶ ساعته و ارتفاع ۴۶/۵ میلی‌متر، با ۲۰ الگوی بارش متفاوت (۵ تیپ توزیع بارش ۴× گام زمانی مختلف) تهیه گردید.

**روندیابی هیدرولیکی:** SWMM معادلات جریان یک بعدی، متغیر تدریجی و غیرماندگار را حل کرده و از این طریق، تراز سطح آب در هر گره و دبی و عمق جریان را برای هر گام زمانی، به روش‌های جریان ماندگار، موج سینماتیکی و موج دینامیکی شبیه‌سازی تعیین می‌کند. در پژوهش حاضر دو روش موج سینماتیکی و جریان ماندگار مورد بررسی قرار گرفته است.

**تحلیل حساسیت مدل:** در تحقیق حاضر به منظور تحلیل حساسیت مدل SWMM از دو روش گرافیکی و آنالیز همبستگی استفاده شده است. از روش مجموعه‌های قابل دسترس عمومی شده به‌عنوان روش گرافیکی استفاده شده است. در این روش وابستگی متغیر  $y$  به پارامتر  $x$  به صورت مشتق  $\frac{dy}{dx}$  بیان می‌شود. این مشتق جزئی سپس به منظور دستیابی به یک شاخص بدون بعد نرمالیز شده و در نتایج به صورت درصد تغییرات ارائه گردیده است. شیب این نمودارها که به عنوان نسبت تغییرات<sup>۲</sup> (ROV) خوانده می‌شود معرف روند افزایشی یا کاهش تغییرات خروجی با افزایش متغیر ورودی بوده و همچنین نرخ تغییرات نسبی پارامتر خروجی را نسبت به تغییرات نسبی پارامتر ورودی نشان می‌دهد. در روش‌های آنالیز همبستگی<sup>۳</sup> (CA)، به منظور تحلیل حساسیت مدل SWMM به مدل نفوذ انتخابی، روش روندیابی و تابع توزیع و گام زمانی بارندگی در الگوی بارش ورودی از ضریب همبستگی مرتبه‌ای اسپیرمن<sup>۴</sup> (SPEA) استفاده شده است. این ضریب که با عبارت  $\rho$  نشان داده می‌شود به صورت زیر تعریف می‌گردد (Gan et al, 2014:281):

$$\rho_{x_i, y} = \frac{\sum_{k=1}^N (x_i^k - \bar{x}_i)(y^k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (x_i^k - \bar{x}_i)^2 \cdot \sum_{k=1}^N (y^k - \bar{y})^2}}$$

که در آن  $x_i$  مرتبه ورودی  $X_i$ ،  $y$  مرتبه خروجی  $Y$  و  $k$  مبین  $k$ امین نقطه نمونه‌ای می‌باشد. هر چه  $\rho_{x_i, y}$  بزرگ‌تر باشد، حساسیت مدل به پارامتر  $X_i$  بیشتر خواهد بود. بندر کنگان در فاصله ۲۲۰ کیلومتری جنوب شرق بوشهر در طول جغرافیایی ۵۲-۰۴ شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷-۵۰ شمالی در حاشیه خلیج فارس، در ارتفاع متوسط حدود ۱۲ متر از سطح دریا و بر روی رسوبات آبرفتی بنا شده است. شرایط بارندگی و اقلیم منطقه که معمولاً به‌صورت رگبارهای شدید می‌باشد، همچنین حوضه‌های آبریز فاقد پوشش گیاهی با شیب تند، کنگان را در زمره شهرهای سیل خیز استان بوشهر قرار داده است. در گذشته به دلیل وسعت کم بافت شهری، خسارت سیلاب یا رسوبات ناشی از آن چندان محسوس نبوده است. اما امروز توسعه سریع شهری، تسطیح و آسفالت شدن معابر و افزایش ضریب رواناب آنها از یکسو همچنین افزایش قیمت اراضی محدوده شهر و اطراف آن و در نتیجه گسترش ساخت و ساز در حریم مسیل‌ها و کوچک و کانالیزه کردن مقاطع طبیعی آنها، خسارات ناشی از سیل را دوچندان و بحث دفع آبهای سطحی درون شهری را دچار پیچیدگی نموده است. یکی از حوضه‌های آبریز شهری حوضه عبدالسلام است که در آن شبکه‌ای از کانال‌های سطحی آب را جمع‌آوری و به سمت زهکش اصلی یعنی مسیل عبدالسلام تخلیه می‌کنند.

### بحث و ارائه یافته‌ها:

برای حوضه آبریز مورد مطالعه، با توجه به ۵ تیپ بارندگی مورد بررسی، با ۴ گزینه گام زمانی باران طرح، ۳ معادله نفوذ و ۲ شیوه روندیابی سیلاب، در مجموع ۱۲۰ هیدروگراف برای یک واقعه بارندگی ۶ ساعته به ارتفاع ۴۶/۵ میلی‌متر، به دست آمد. مقادیر دبی حداکثر هیدروگراف‌های مربوط به هر ترکیب از فاکتورهای فوق تعیین گردیده و در جدول ۵ ارائه شده است. فارغ از روش روندیابی، مدل نفوذ و تیپ الگوی بارش، با طولانی شدن گام زمانی در هر توزیع بارندگی، دبی هیدروگراف بیشتر شده است. همچنین در تمامی الگوهای بارش و روش‌های روندیابی مورد بررسی، با مدل‌های شماره منحنی، گرین-امپت یا هورتن مقادیر حاصله برای دبی حداکثر سیلاب کاهش یافته است. از سوی دیگر صرف‌نظر از گام زمانی، معادله نفوذ یا روش روندیابی انتخابی، همواره بیشترین مقادیر دبی حداکثر سیلاب به ترتیب برای الگوهای SCS II، SCS I، SCS III و SCS IA به دست آمده است. نکته قابل توجه این‌که مقادیر دبی پیک به دست

<sup>1</sup>. Generalized Reachable Sets

<sup>2</sup>. Ratio of Variation

<sup>3</sup>. Correlation Analysis

<sup>4</sup>. Spearman Rank Correlation Coefficient

آمده برای حوضه آبریز، در شرایط انتخاب روش روندیابی موج سینماتیکی به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگ‌تر از مقادیر حاصله از به کارگیری روش جریان ماندگار می‌باشد. هر چند این مقادیر برای گزینه‌های مختلف الگوی بارندگی، گام زمانی و نفوذ از روند یکسانی تبعیت می‌کنند. همان‌گونه که در جدول ۵ دیده می‌شود، از ترکیب‌های مختلف مدل نفوذ، الگوی بارش و روش روندیابی مقادیر متغیری برای دبی پیک رواناب به دست آمده است. بر اساس جدول مذکور بیشترین تغییرات دبی بین ۱/۶۷ مترمکعب بر ثانیه برای سناریو الف (استفاده از معادله نفوذ هورتن، روش روندیابی جریان ماندگار و الگوی بارش *SCS IA* با گام‌های زمانی ۱۵ دقیقه) و ۷/۴۳ مترمکعب بر ثانیه برای سناریو ب (استفاده از معادله نفوذ *SCS*، روش روندیابی موج دینامیک و الگوی بارش *SCS II* با گام‌های زمانی ۹۰ دقیقه) مشاهده شده است. بنابراین می‌توان این دو سناریو را به عنوان شرایط کرانی<sup>۱</sup> در نظر گرفت. تاثیر این دو سناریو بر نتایج شبیه‌سازی در تصاویر ۲ و ۳ نشان داده شده است. تصویر ۲ مقادیر عمق آب در هر کانال اصلی شبکه را برای سناریوهای الف و ب نشان می‌دهد. مقادیر عمق جریان در تمامی کانال‌های شبکه در سناریو الف به طور قابل ملاحظه‌ای کوچک‌تر از مقادیر عمق جریان حاصله در سناریو ب می‌باشند. بر اساس پروفیل سطح آب در کانال‌های پایین‌دست شبکه برای هر دو سناریو (تصویر ۳) می‌توان دریافت که در سناریو الف کانال انتهایی حوضه آبریز، به خوبی قابلیت گذردهی سیلاب طرح ۵ ساله را داراست. اما در سناریو ب همین کانال با همین ابعاد پاسخگوی تخلیه سیلاب نمی‌باشد. درحالی‌که مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز، تداوم و مقدار کل باران طرح در تمام سناریوها، ثابت بوده است. همین امر نشان‌گر حساسیت مدل به مدل‌ها و پارامترها مورد بررسی می‌باشد. در ادامه، به منظور آنالیز میزان این حساسیت از دو روش تحلیل حساسیت استفاده شده است.

### بحث و نتایج:

**تحلیل حساسیت مدل به روش گرافیکی:** میزان تغییرات دبی حداکثر سیلاب در خروجی حوضه نسبت به درصد تغییرات گام زمانی انتخابی در تعریف الگوی بارندگی در تصویر ۴ ارائه شده است. منحنی‌های *SCS*، *GA* و *Ho* به ترتیب این تغییرات را در شرایط انتخاب روش شماره منحنی (*SCS*)، گرین امپت و هورتن به عنوان معادلات نفوذ در شبیه‌سازی جریان با استفاده از روش روندیابی موج سینماتیکی و جریان ماندگار نشان می‌دهند. اولین نکته در این منحنی‌ها صعودی بودن آن‌ها در هر شرایط است. بدین معنی که فارغ از نوع توزیع بارش، معادله نفوذ انتخابی یا روش مورد نظر برای روندیابی، میزان گام زمانی انتخابی در تحلیل بارش، با دبی جریان رابطه مستقیم دارد. به عبارتی با انتخاب گام‌های زمانی طولانی‌تر شرایط است. بدین معنی که فارغ از نوع توزیع بارش، معادله نفوذ انتخابی یا روش مورد نظر برای روندیابی، میزان گام زمانی انتخابی در تحلیل بارش، با دبی جریان رابطه مستقیم دارد. به عبارتی با انتخاب گام‌های زمانی طولانی‌تر میزان دبی حداکثر رواناب افزایش یافته است. اما این روند افزایشی در شرایط مختلف شبیه‌سازی یکسان نبوده است. بدین ترتیب که *ROV* دبی نسبت به گام زمانی برای توزیع‌های مختلف متفاوت است. در این بین توزیع بارش *SCS IA* و بعد از آن *SCS I* هم در روندیابی به روش موج سینماتیکی و هم به روش جریان ماندگار، برای تمام معادلات نفوذ از بیشترین دامنه تغییرات برخوردار است. به این ترتیب که دامنه تغییرات دبی حداکثر در شرایط روندیابی موج سینماتیک و جریان ماندگار به ترتیب به ۲۶/۵ (تصویر ۴- الف-*GH*) درصد و ۳۷/۶ درصد (تصویر ۴- ب-*Ho*) هم رسیده است. این در شرایطی است که مدل نسبت به تغییرات گام زمانی بارش در توزیع‌های بارش *SCS II* و *SCS IIFL* و به خصوص در صورت استفاده از روش نفوذسنجی منحنی شماره منحنی (*SCS*)، از کمترین میزان حساسیت برخوردار می‌باشد.

به منظور بررسی تأثیر روندیابی بر میزان حساسیت مدل به تغییرات گام زمانی بارش می‌توان منحنی‌های متناظر الف و ب را با هم مقایسه نمود. براین اساس، در شرایط روش روندیابی موج سینماتیکی، مدل حساسیت کمتری نسبت به گام زمانی بارش نشان داده است. به این ترتیب که حداقل-حداکثر دامنه تغییرات دبی اوج سیلاب نسبت به تغییرات گام زمانی بارش در شرایط روندیابی موج سینماتیکی و روش جریان ماندگار به ترتیب ۴/۵\_۲۶/۵ و ۷/۶\_۳۷/۶ درصد به دست آمده است. درصد تغییرات دبی حداکثر رواناب نسبت به معادلات نفوذ انتخابی، برای شرایط انتخاب روش موج سینماتیک و جریان ماندگار جهت روندیابی سیلاب، به ترتیب در تصاویر ۵ و ۶ نشان داده شده است. این تغییرات در چهار نمودار الف، ب، ج، د به ترتیب برای گام‌های زمانی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه ارائه شده است. روند

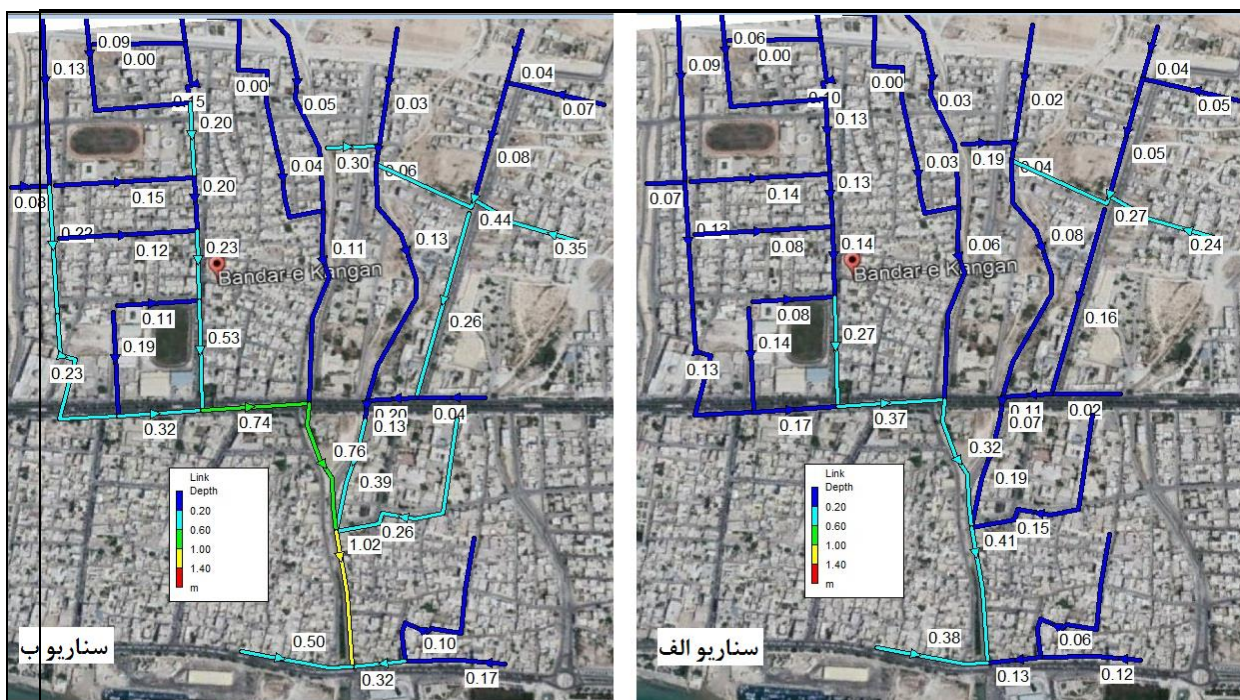
<sup>1</sup>. *Extreme Conditions*



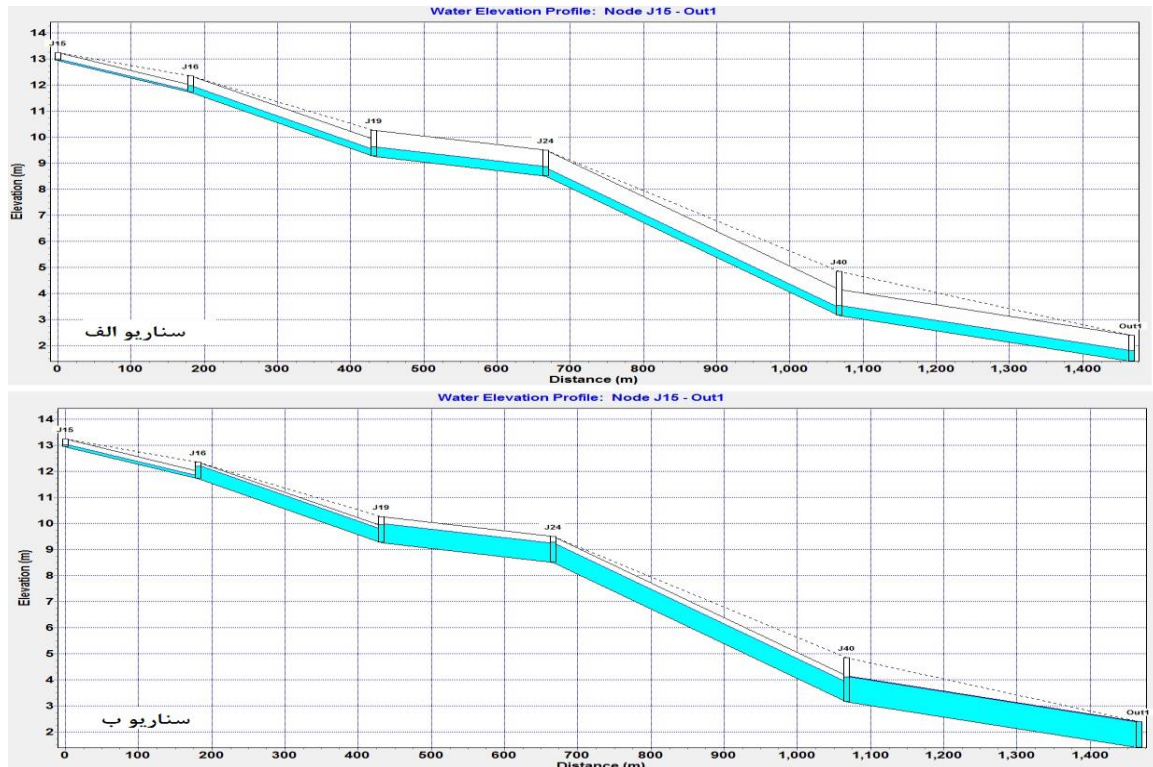
جدول ۵- مقادیر دبی حداکثر هیدروگراف خروجی حوضه (بر حسب  $m^3/s$ ) مورد مطالعه در سناریوهای مختلف تیب توزیع بارندگی، گام زمانی، معادله نفوذ و روش روندیابی (منبع: مطالعات نویسندگان، ۱۳۹۸)

تیپ توزیع بارندگی					گام زمانی (min)	مدل نفوذ	روش روندیابی
SCS III	SCS II FL	SCS II	SCS IA	SCS I			
۶.۳۸	۶.۸۲	۷.۱	۵.۴۴	۶.۳۶	۱۵	شماره منحنی (SCS)	موج سینماتیکی
۶.۶۳	۷	۷.۲۳	۵.۹۹	۶.۶۵	۳۰		
۶.۹۲	۷.۳۵	۷.۳۵	۶.۵۷	۷.۲۴	۶۰		
۷.۰۶	۷.۳	۷.۴۳	۷.۱۵	۷.۳۸	۹۰		
۶.۳۴	۶.۷۹	۷.۰۷	۵.۳۹	۶.۳۳	۱۵		
۶.۵۹	۶.۹۸	۷.۲	۵.۹۶	۶.۶۲	۳۰		
۶.۸۹	۷.۱۶	۷.۳۳	۶.۵۳	۷.۲۱	۶۰		
۷.۰۳	۷.۲۷	۷.۴۱	۷.۱۲	۷.۳۶	۹۰		
۶.۳۵	۶.۸	۶.۵	۵.۷	۶.۳۳	۱۵		
۶.۵۹	۶.۹۸	۶.۷	۵.۹۶	۶.۶۲	۳۰	هورتن	موج سینماتیکی
۶.۸۹	۷.۱۶	۶.۹۳	۶.۵۳	۶.۷۶	۶۰		
۷.۰۳	۷.۲۷	۷.۴۱	۷.۱۲	۷.۳۶	۹۰		
۲.۱۱	۲.۳۲	۲.۴۸	۱.۷	۲.۰۹	۱۵		
۲.۲۱۳	۲.۴۲	۲.۵۶	۱.۹۲۸	۲.۲۳	۳۰		
۲.۳۷	۲.۵۳	۲.۶۳	۲.۱۸	۲.۵۶	۶۰		
۲.۴۵	۲.۶	۲.۶۸	۲.۵	۲.۶۵	۹۰		
۲.۰۹	۲.۳	۲.۴۶	۱.۶۸	۲.۰۷	۱۵		
۲.۱۹	۲.۴	۲.۵۴	۱.۹۱	۲.۲۱	۳۰		
۲.۳۵	۲.۵۱	۲.۶۱	۲.۱۶	۲.۵۴	۶۰	شماره منحنی (SCS)	جریان ماندگار
۲.۴۳	۲.۵۸	۲.۶۶	۲.۴۸	۲.۶۳	۹۰		
۲.۰۷۸	۲.۲۹۲	۲.۴۵	۱.۶۶۸	۲.۰۶	۱۵		
۲.۱۷۸	۲.۳۹	۲.۵۳	۱.۹	۲.۲۰۴	۳۰		
۲.۳۴	۲.۴۹۶	۲.۶۰۴	۲.۱۵	۲.۵۳	۶۰		
۲.۴۲۵	۲.۵۷۸	۲.۶۵۷	۲.۴۷۶	۲.۶۲۳	۹۰		

منبع: یافته های تحقیق، ۱۳۹۷.

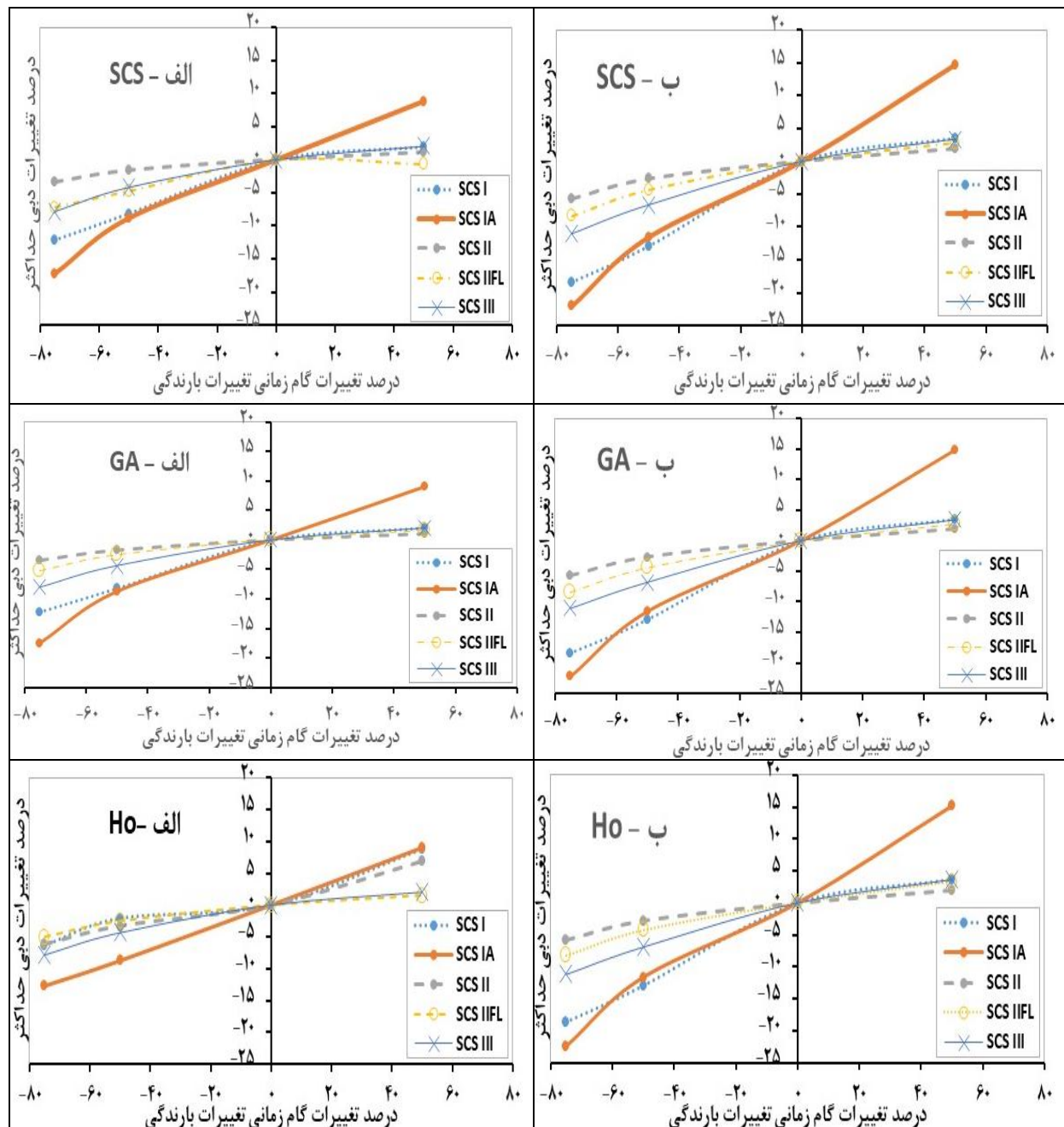


تصویر ۲- تغییرات عمق جریان در سطح شبکه اصلی در دو شرایط کرانی سناریو الف و ب - (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸).



تصویر ۳- پروفیل سطح آب در کانال‌های خروجی شبکه در دو شرایط کرانی سناریو الف و ب- (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸).

نزولی منحنی‌ها نشانگر کاهش مقادیر دبی حداکثر سیلاب حاصل با تغییر معادله نفوذ از شماره منحنی به گرین-امپت و سپس هورتن می‌باشد. به طوری که دبی حداکثر سیلاب حاصل از انتخاب معادله نفوذ شماره منحنی و هورتن به ترتیب از بیشترین و کمترین مقدار برخوردار بوده است. همچنین تأثیر الگوی بارندگی پیشنهادی بر حساسیت مدل نسبت به معادله نفوذ، از روند مشخصی برخوردار نبوده است. به عنوان مثال، در شرایط به کارگیری روش روندیابی موج سینماتیکی و انتخاب گام‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای در الگوی بارندگی (منحنی ۵- الف)، بیشترین حساسیت مدل به معادله نفوذ، در شرایط استفاده از الگوی توزیع بارش *SCS IA* مشاهده شده است. به گونه‌ای که دامنه تغییرات دبی اوج به معادله نفوذ به  $\frac{1}{3}$  درصد می‌رسد. بعد از آن، حساسیت مدل به معادله نفوذ انتخابی به ترتیب با به کارگیری الگوهای توزیع بارش *SCS I*، *SCS III*، *SCS II* و *SCS IIFL* به ترتیب کاهش یافته است.

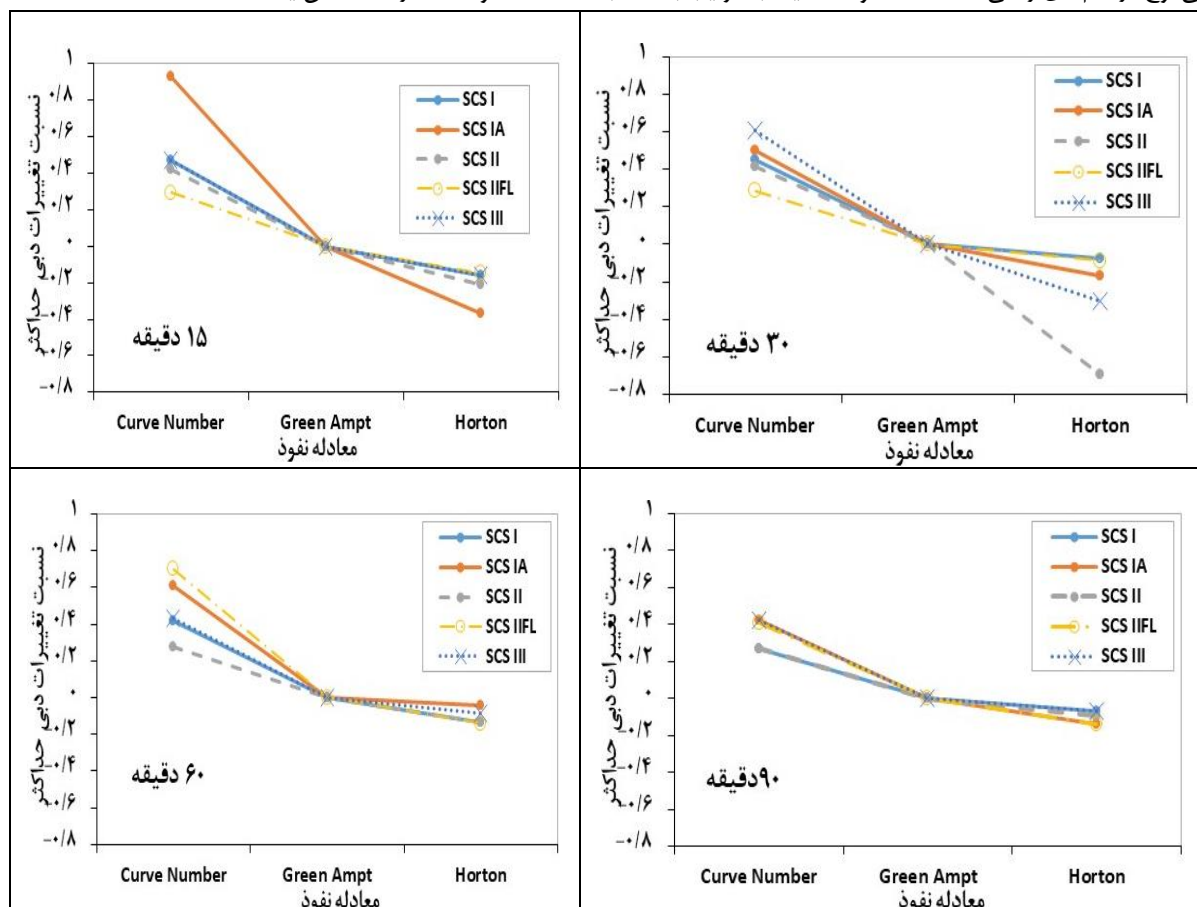


تصویر ۴- درصد تغییرات دبی حداکثر سیلاب در خروجی حوضه نسبت به درصد تغییرات گام زمانی الگوی بارندگی برای مدل‌های نفوذ روش شماره منحنی (SCS)، گرین امپت (GA) و هورتن (Ho) بر اساس روندیابی موج سینماتیکی (الف) و جریان ماندگار (ب)

در این الگوها دامنه تغییرات دبی اوج، از ۰/۶۴ تا ۰/۴۴ درصد کاهش یافته است. اما چنین ترتیبی را نمی‌توان در شرایط گام‌های زمانی ۳۰، ۶۰ یا ۹۰ دقیقه مشاهده نمود. تأثیر سایر الگوها نیز بر حساسیت مدل، متفاوت از شرایط گام زمانی ۱۵ دقیقه است. در این جا بعد از SCS II به ترتیب، الگوهای بارش SCS I، SCS IA، SCS III و در نهایت SCS IIFL بیشترین حساسیت نسبت به معادله نفوذ را در مدل ایجاد کرده‌اند. این عدم وجود روند مشخص در تأثیر الگوی توزیع بارندگی بر حساسیت مدل نسبت به معادله نفوذ را می‌توان در سایز گام‌های زمانی نیز مشاهده نمود. همین امر در شرایط انتخاب روش روندیابی جریان ماندگار نیز قابل مشاهده است. از نظر تأثیر گام زمانی پیشنهادی بر حساسیت مدل نسبت به انتخاب معادله نفوذ، می‌توان با مقایسه نمودارهای ۵- تا ۵- د نتیجه گرفت که با طولانی کردن

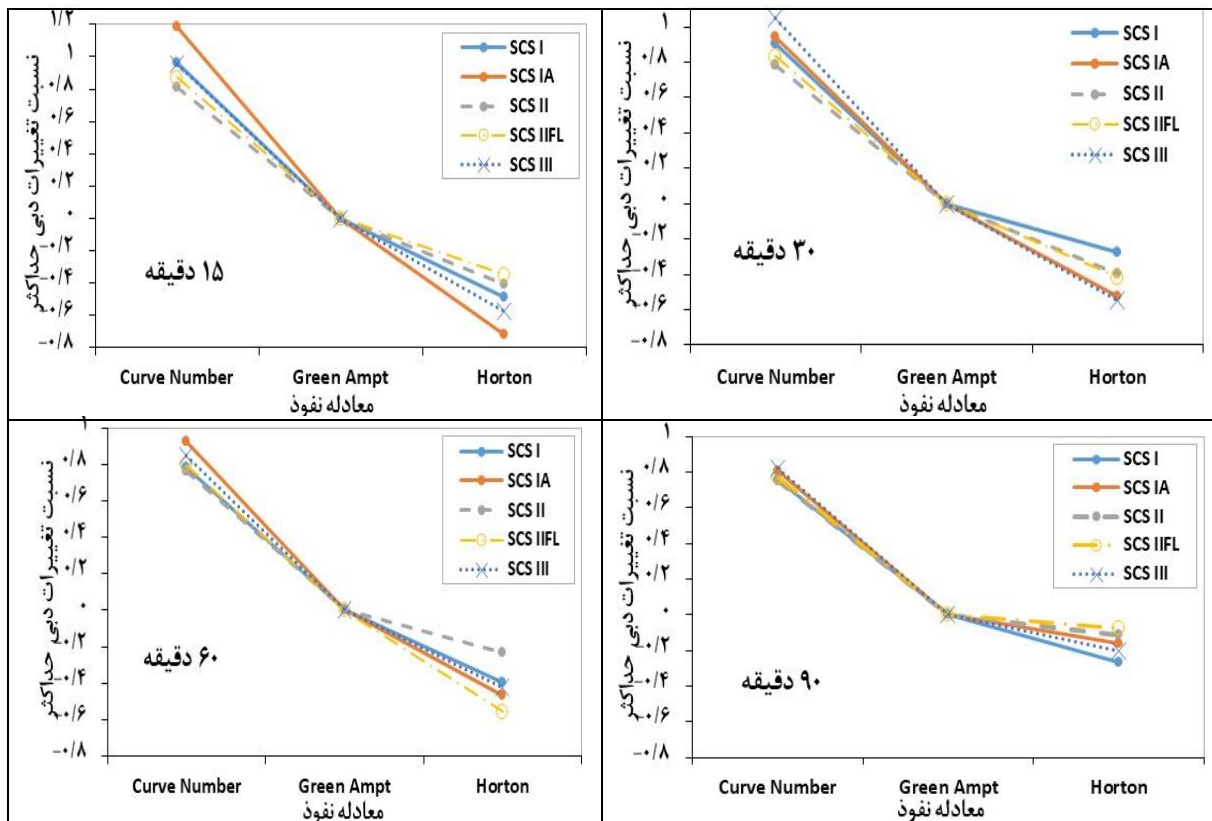


گام‌های زمانی در الگوی بارش از حساسیت مدل نسبت به معادله نفوذی انتخابی کاسته شده است. به طوری که بیشترین درصد تغییرات دبی اوج در گام‌های زمانی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه به ترتیب به  $1/3$ ،  $1/1$ ،  $0/89$  و  $0/56$  درصد کاهش یافته است.



تصویر ۵- درصد تغییرات دبی حداکثر رواناب نسبت به معادلات نفوذ انتخابی، برای شرایط انتخاب روش روندیابی موج سینماتیک و گام‌های زمانی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه- (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸).

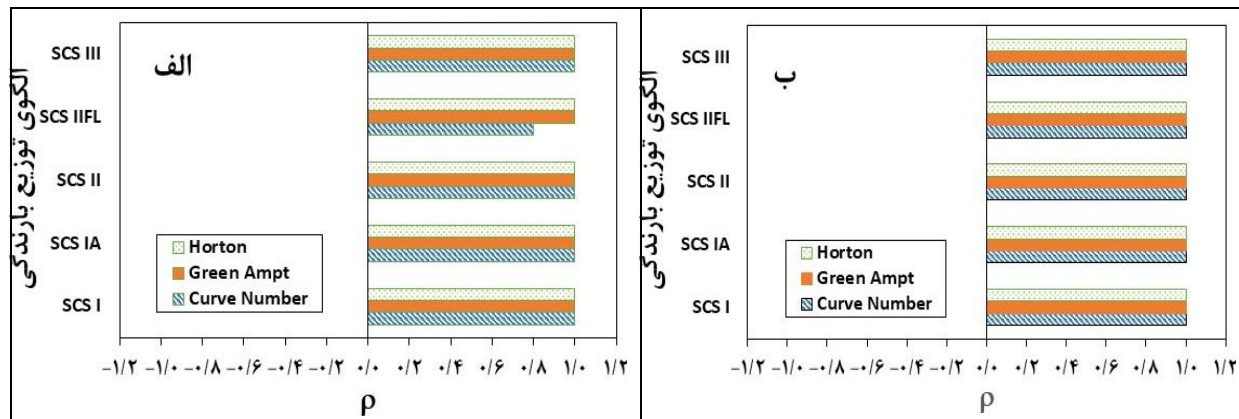
این کاهش شیب درصد تغییرات دبی اوج نسبت به معادلات نفوذ مختلف در شرایط انتخاب روش جریان ماندگار در روندیابی سیل نیز قابل مشاهده است (نمودارهای ۶- الف تا ۶- د). در این جا نیز دامنه تغییرات دبی اوج نسبت به معادله نفوذ انتخابی برای گام‌های زمانی ۱۵ تا ۹۰ دقیقه به ترتیب از  $1/9$  تا ۱ درصد کاهش داشته است. هر چند شیب کلی همه منحنی‌ها در شرایط به کارگیری روش موج سینماتیکی (تصویر ۵) نسبت به جریان ماندگار (تصویر ۶) کمتر بوده است. به این ترتیب که حداقل-حداکثر دامنه تغییرات دبی اوج به دست آمده در شرایط انتخاب روش موج سینماتیکی  $0/33 - 1/3$  درصد می‌باشد. این در حالی است که مقادیر مذکور در شرایط به کارگیری روش روندیابی جریان ماندگار  $0/85 - 1/9$  درصد حاصل شده است که این امر نشانگر حساسیت کمتر مدل به معادله نفوذ انتخابی در شرایط استفاده از موج سینماتیکی می‌باشد. به منظور مقایسه حساسیت مدل نسبت به گام زمانی الگوی بارندگی با حساسیت آن نسبت به معادلات نفوذ می‌توان درصد تغییرات حاصله ناشی از تغییرات هر کدام از این دو پارامتر را مورد مقایسه قرار داد. بر این اساس، حداقل-حداکثر دامنه‌های درصد تغییر دبی اوج نسبت به تغییر در گام‌های زمانی باران طرح  $4/5 - 37/6$  درصد حاصل گردیده است. در حالی که حداقل-حداکثر دامنه‌های درصد تغییر دبی اوج نسبت به معادله نفوذ انتخابی  $0/33 - 1/9$  درصد به دست آمده است. این امر نشانه حساسیت بیشتر مدل نسبت به گام‌های زمانی انتخابی در مقایسه با معادلات نفوذ می‌باشد.



تصویر ۶- درصد تغییرات دبی حداکثر رواناب نسبت به معادلات نفوذ انتخابی، برای شرایط انتخاب روش روندیابی جریان ماندگار و گام‌های زمانی ۱۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه - (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸).

**تحلیل حساسیت مدل به روش آنالیز همبستگی:**

ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن ( $\rho$ ) برای سنجش میزان حساسیت مدل به گام‌های زمانی بارندگی، الگوی توزیع بارش و معادله نفوذ انتخابی محاسبه گردید. تصویر ۷- الف و ۷- ب گراف‌های تورنادو<sup>۱</sup> میزان  $\rho$  حاصله برای پارامتر گام‌های زمانی را به ترتیب در شرایط به کارگیری روش روندیابی موج سینماتیکی و جریان ماندگار نشان می‌دهند. با توجه به نتایج حاصله الگوی توزیع بارندگی، معادله نفوذ و یا روش روندیابی انتخابی تأثیری در حساسیت مدل به گام‌های زمانی آمار بارش ندارند. تقریباً در تمام موارد، ضریب همبستگی اسپیرمن برابر ۱ به دست آمده که نشانگر حساسیت بالای مدل به گام‌های زمانی انتخابی در معرفی داده‌های بارندگی است. مقادیر مثبت  $\rho$  نشانگر رابطه مستقیم دبی حداکثر سیلاب با طول گام‌های زمانی انتخابی می‌باشد.



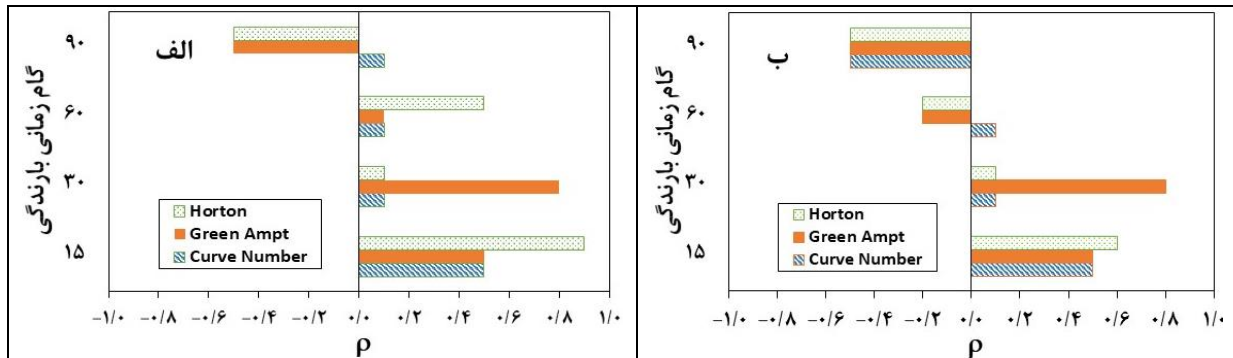
تصویر ۷- مقادیر ضریب اسپیرمن برای پارامتر گام زمانی بر اساس معادلات نفوذ و الگوهای مختلف بارندگی در شرایط به کارگیری روش روندیابی موج سینماتیکی (الف) و جریان ماندگار (ب) - (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۸).

<sup>۱</sup>. Tornado graphs

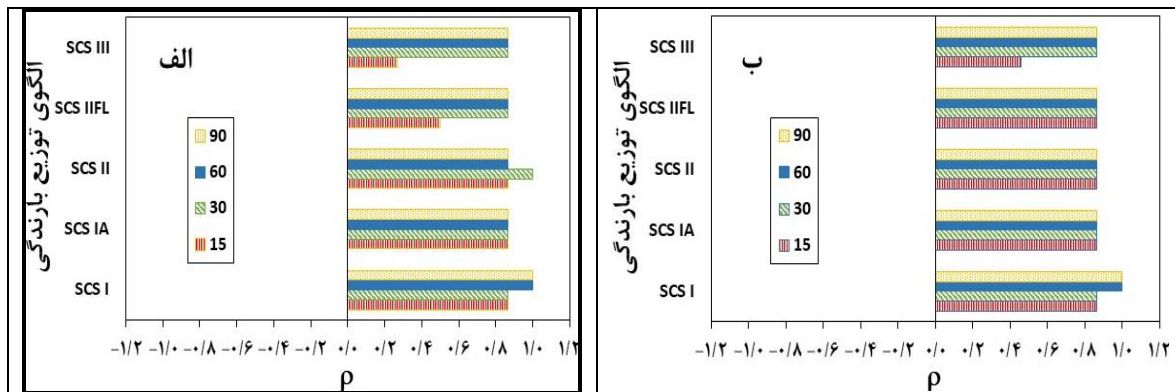
مقادیر ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن در تحلیل حساسیت مدل به نوع الگوی بارش انتخابی بین ۰/۵- تا ۰/۹ (در شرایط روندیابی به روش سینماتیکی) و ۰/۵- تا ۰/۸ (در شرایط روندیابی به روش جریان ماندگار) به دست آمده و در گراف‌های تورنادو تصویر ۸ نشان داده شده‌اند. با توجه به نتایج حاصله و مقادیر متغیر به دست آمده برای می‌توان دریافت که تغییر گام‌های زمانی، معادله نفوذ و روش روندیابی جریان در حساسیت مدل به نوع الگوی بارش مورد استفاده، تأثیرگذار هستند اما تأثیر آنها از روند منظم و مشخصی برخوردار نیست. در مقابل، تأثیر ویژگی‌های بارش ورودی (شامل الگوی بارندگی و گام‌های زمانی انتخابی) بر حساسیت مدل نسبت به نوع مدل نفوذ انتخابی، قابل توجه است. این روند در گراف‌های تورنادو تصویر ۹ قابل مشاهده است. مقادیر به دست آمده در تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای نفوذ بین ۰/۲۷ تا ۱ (در شرایط روندیابی به روش موج سینماتیکی) و ۰/۴۶ تا ۱ (در شرایط روندیابی به روش جریان ماندگار) متغیر است. به عبارتی حساسیت مدل نسبت به معادله نفوذ در شرایطی کم و در شرایطی بسیار زیاد است. به این ترتیب که با توجه به روند تغییرات  $\rho$ ، حساسیت مدل به معادله نفوذ با طولانی‌تر شدن گام زمانی انتخابی بیشتر شده است. از طرفی با تغییر الگوی بارندگی از *SCS I*، *SCS IA*، *SCS II*، *SCS IIFL* به *SCS III* از مقدار کاسته شده است. بر این اساس حساسیت مدل به معادله انتخابی در شرایط استفاده از الگوی بارندگی *SCS I* بیشتر است و با طولانی شدن گام‌های زمانی بر این حساسیت افزوده شده است.

### نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادها:

برای یک واقعه بارندگی با ارتفاع معین، صرف‌نظر از نوع روش روندیابی، معادله نفوذ و تیپ الگوی بارش؛ افزایش گام‌های زمانی از ۱۵ دقیقه به ۹۰ دقیقه در معرفی باران طرح به مدل باعث افزایش دبی حداکثر سیلاب در نقطه خروجی حوضه شده است. همچنین در شرایط یکسان، بیشترین مقادیر دبی اوج هیدروگراف به ترتیب در شرایط به کارگیری زیرمدل‌های نفوذ شماره منحنی (*SCS*)، گرین-امپت و هورتن به دست آمده است. از سوی دیگر، با تغییر الگوی بارندگی از *SCS IA* به *SCS III*، *SCS IIFL* و *SCS II* به ترتیب مقدار دبی اوج برآورد شده در نقطه خروجی افزایش یافته است. در تحلیل حساسیت انجام شده، هر دو روش گرافیکی و آنالیز همبستگی از نتایج مشابهی برخوردار بودند.



تصویر ۸- مقادیر ضریب اسپیرمن برای تیپ توزیع بارندگی بر اساس معادلات نفوذ و گام‌های زمانی مختلف در شرایط به کارگیری روش روندیابی موج سینماتیکی (الف) و جریان ماندگار (ب)



تصویر ۹- مقادیر ضریب اسپیرمن برای معادلات نفوذ بر اساس تیپ‌های مختلف توزیع بارندگی و گام زمانی متغیر در شرایط به کارگیری روش روندیابی موج سینماتیکی (الف) و جریان ماندگار (ب)

با توجه به این نتایج، از بین پارامترهای مورد بررسی، مدل بیشترین حساسیت را نسبت به گام‌های زمانی بارندگی نشان داده است. به طوری که دامنه تغییرات نسبی دبی اوج در شرایط روندیابی به روش موج سینماتیکی و جریان ماندگار به ترتیب به ۲۶/۵٪ و ۳۷/۵٪ هم رسیده است. ضریب حساسیت اسپیرمن نیز حداکثر و عمدتاً معادل ۱ به دست آمده است. معادله نفوذ انتخابی، در مرتبه بعدی حساسیت مدل قرار دارد. مقادیر بالای نسبت تغییرات و همچنین مقادیر نزدیک به ۱ ضریب اسپیرمن نشان‌دهنده حساسیت بالای مدل به معادله نفوذ می‌باشد. میزان حساسیت مدل به تیپ الگوی توزیع بارندگی، بسته به شرایط تعریف شده برای شبیه‌سازی، متغیر بود. بدین ترتیب که در ترکیب‌های مختلف معادله نفوذ-گام زمانی-روش روندیابی، نسبت تغییرات مدل و همچنین میزان مقادیر به دست آمده برای ضریب اسپیرمن متغیر بود. بدین منظور پیشنهادهای زیر مطرح می‌شود:

- تحقیق حاضر تنها حساسیت و میزان تغییرات خروجی‌های مدل، نسبت به ترکیب مختلف داده‌های ورودی را مورد بررسی قرار داده و قادر به تشخیص برتری هر ترکیب یا سناریو نسبت به سایر ترکیب‌ها نمی‌باشد. در صورت وجود تجهیزات هیدرومتری، می‌توان با مقایسه دبی برآورد شده و اندازه‌گیری شده، بهترین ترکیب از الگوها و زیرمدل‌ها که از دقت بالاتری برخوردار است را تشخیص داد.
- پژوهش حاضر برای یک حوضه آبریز کوچک شهری انجام شده و هر چند این حوضه، از نظر شیب‌بندی معابر و نقطه خروجی و تخلیه نهایی، مستقل از سایر حوضه‌های شهر کنگان می‌باشد اما کل شهر را در بر نمی‌گیرد. در صورت دسترسی به مشخصات حوضه‌های آبریز و ابعاد و اندازه‌های کانال‌های شبکه دفع آبهای سطحی کل شهر می‌توان مطالعه حاضر را در سطح بزرگ‌تر و حتی برای کلان‌شهرها نیز انجام داد.

### References:

۱. Akdoğan, Z., Güven B. (2016): ASSESSING THE SENSITIVITY OF SWMM TO VARIATIONS IN HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC PARAMETERS: A CASE STUDY FOR THE CITY OF ISTANBUL. *Global NEST Journal*, 18(4), pp: 831-841.
۲. Azimi Aghdash, M. (2018). "Methods of planning management and urban designing", Noavar publications.
۳. Bushenkov, V.A., Chernyky, O.L., Kamenev, G.K., & Lotov, A.V. (1995): MULTIDIMENSIONAL IMAGES GIVEN BY MAPPINGS: CONSTRUCTION AND VISUALIZATION. *Pattern Recognition, and Image Analysis*, 5 (1), pp: 35-56.
۴. Curran, Timothy M. (1980): SMADA: STORMWATER MANAGEMENT AND DESIGN AID. *Retrospective Theses and Dissertations*. 476. <http://stars.library.ucf.edu/rtd/476>.
۵. Denault, C., Millar, R. G., & Lence, B. J. (2006): ASSESSMENT OF POSSIBLE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE IN AN URBAN CATCHMENT. *Journal of the American Water Resources Association*, 42, pp: 685-697.
۶. Gan Y., Qingyun Duan Q., Wei Gong, W., Charles Tong C., Yunwei Sun Y., Chu W., Ye A., Miao C., & Di, Z. (2014): A COMPREHENSIVE EVALUATION OF VARIOUS SENSITIVITY ANALYSIS METHODS: A CASE STUDY WITH A HYDROLOGICAL MODEL. *Environmental Modelling & Software*. 51, pp: 269-285.
۷. Gülbaz, S., Kazezyılmaz-Alhan, C. (2013): CALIBRATED HYDRODYNAMIC MODEL FOR SAZLIDERE WATERSHED IN ISTANBUL AND INVESTIGATION OF URBANIZATION EFFECTS. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(1), pp: 75-84.
۸. Heydarzadeh, M., Nohegar, A., Malekian, A., & Khurani, A. (2017). "Assessment and Sensitivity analysis quantity of runoff and drainage system in coastal urban area (Case study: Bandar Abbas coastal city)", *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(3), 203-218.
۹. Hsu, M. H., Chen, S. H., & Chang, T. J. (2000): INUNDATION SIMULATION FOR URBAN DRAINAGE BASIN WITH STORM SEWER SYSTEM, *Journal of Hydrology*, 234, pp: 21-37.
۱۰. Huber W.C., Dickinson R.E. (1988): STORM WATER MANAGEMENT MODEL, VERSION 4: USER'S MANUAL, EPA- 600/3 88/001a, U.S. EPA, Georgia.
۱۱. Mancipe -Munoz, N., Buchberger, S., Suidan, M., & Lu, T. (2014): CALIBRATION OF RAINFALL-RUNOFF MODEL IN URBAN WATERSHEDS FOR STORMWATER MANAGEMENT ASSESSMENT. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(6), pp: 250-257



۱۲. Mark, O., Weesakul, S., Apirumanekul, C., Aroonnet, S.B., & Jordjevic, S. (2004): *POTENTIAL AND LIMITATIONS OF 1D MODELING OF URBAN FLOODING*. *Journal of Hydrology*, 299, pp: 284-299.
۱۳. Meierdiercks, K. L., Smith, J. A., Baeck, M. L., & Miller, A. J. (2010): *ANALYSES OF URBAN DRAINAGE NETWORK STRUCTURE AND ITS IMPACT ON HYDROLOGIC RESPONSE*. *Journal of the American Water Resources Association*, 46, pp: 932-943.
۱۴. Rabori A.M., Reza Ghazavi R., & Ahadnejad Reveshty M. (2017): *SENSITIVITY ANALYSIS OF SWMM MODEL PARAMETERS FOR URBAN RUNOFF ESTIMATION IN SEMI-ARID AREA*. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 10( 5), pp: 284-294.
۱۵. Rostami Khalaj, M., Mahdavi, M., Khalighi Sigarodi, Sh., & Salajeghe, A. (2012). "Sensitivity Analysis of Variables Affecting on Urban Flooding Using SWMM Model", *Journal of Watershed Management Research*, 5, 81-91.
۱۶. Seth, I., Soonthornonda, P., & Christensen, E.R. (2006): *USE OF GIS IN URBAN STORM-WATER MODELING*. *Journal of Environmental Engineering*, 32, pp: 1550-1552.
۱۷. Shieh, E. (2003): *INTRODUCTION TO URBAN PLANNING*. 225 pages. ISBN: 964-454-078-6 .
۱۸. Sivakumar B. (2015): *NETWORKS: A GENERIC THEORY FOR HYDROLOGY?*. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(3), pp: 761-768.
۱۹. Sun, N., Hall, M., Hong, B., & Zhang, L. (2014): *IMPACT OF SWMM CATCHMENT DISCRETIZATION: CASE STUDY IN SYRACUSE, NEW YORK*. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19 , pp: 223-234.
۲۰. U. S. Soil Conservation Service (1973): *A METHOD FOR ESTIMATING VOLUME AND RATE OF RUNOFF IN SMALL WATERSHEDS, SC-TP-149*, Department of Agriculture.
۲۱. Wu, J.B., Guo, K.Z., Wang, M.X., & Xu, B. (2011): *RESEARCH AND EXTRACTION OF THE HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS BASED ON GIS AND DEM*. *Proceedings of the 2011 IEEE 2nd International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering*. Wuhan, pp: 371-374.
۲۲. Zhang, W., Li, T., & Dai, M. (2015): *UNCERTAINTY ASSESSMENT OF WATER QUALITY MODELING FOR A SMALL-SCALE URBAN CATCHMENT USING THE GLUE METHODOLOGY: A CASE STUDY IN SHANGHAI, CHINA*. *Environmental Science and Pollution Research*, pp: 1-9.



Research Paper

**Effect of Rainfall Distribution Pattern and Infiltration Equation on Urban Flood Simulation; A Case Study: Kangan Abdossalam Basin.**

**Mohammad Rafie Rafiee**<sup>1</sup>: Assistant Professor, Department of Water Sciences & Engineering, College of Agriculture: Jahrom University, Jahrom, I.R. Iran. Postal Code: 74137-66171.

**Zahra Ghadampour**: Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, I.R.Iran.

**Toraj Sabzvari**: Associate Professor, Department of Civil Engineering, Estahban Branch, Islamic Azad University, Estahban, I.R.Iran.

Received: 2018/10/13

PP: 193-196

Accepted: 2019/4/18

**Abstract**

SWMM is one of the common models used in hydrologic and hydraulic simulations of surface runoff flow throughout urban drainage networks. As any comprehensive model, SWMM needs a wide range of parameters as its input data, which usually involve measurement inaccuracies and approximations leading to model output uncertainty. The degree of such uncertainty depends on model sensitivity to each input data. This article aims to study SWMM sensitivity to patterns and sub-models used in the simulations process. Therefore, alongside examining the effect of 5 different synthetic precipitation patterns, 4 time steps of rainfall data, 3 infiltration models and 2 routing methods on runoff peak discharge values; the sensitivity of SWMM to these patterns and sub-models was analyzed. Graphical and Correlation Analysis (CA) methods were used to analyze the model sensitivity. According to the results, the model was most sensitive to rainfall time-step in which a change from 15 min to 90 min, increased peak discharge values as 26.5 and 37.5 percent. In the next level, the model was most sensitive to infiltration methods with spearman coefficients close to 1. However, the model degree of sensitivity to rainfall different distribution patterns was variable, depending on the simulation scenarios predefined.

**Key words:** Urban flood, SWMM, Rainfall distribution pattern, Infiltration equations, Sensitivity analysis.

**Extended abstract**

**Introduction:**

Urban development in the southern coastal cities of Iran and increasing impermeable increases flood discharge, and consequently the likelihood of life and financial losses along with problems such as disruption to urban traffic, flooding of streets and residential areas, diffusion of pollution through runoff. Therefore, urban flood modeling has recently attracted the attention of researchers to identify the flow capacity of different components in a runoff drainage network. SWMM is one of the most widely used hydrological and hydraulic simulation models in urban surface water disposal network. Like any comprehensive model, SWMM requires a wide range of input data which may result in unreliable outputs, due to the lack of accessible measured data or low accuracy in measurements. The degree of such uncertainty depends on the model sensitivity to the input data. In most studies of SWMM sensitivity analysis, the emphasis has been on hydrological coefficients and parameters. The present study focuses on the methods and sub-models used in the model, rather than focusing on

<sup>1</sup>. Corresponding Author's, Email: mrrafiee73@gmail.com, Tel: +989173077681

coefficients and factors. This study investigates the model sensitivity to: (a) the selected synthetic distribution for a specific rainfall with a predefined duration, (b) the time steps used for defining the rainfall pattern, (c) the infiltration model, and (d) the selected routing method.

### **Methodology:**

The basin to be studied is Abdul-Salam, one of the urban basins of Kangan city. The city has always been exposed to flood hazards and damages, due to heavy rainfall, steep slope, urban development and consequent increase of impermeability and runoff coefficient. In this study, topographic maps with a scale of 1:500 and field surveys were used to define the characteristics of surface water collection system and the gradient of streets, alleys and canals. Three sub-models including Horton, Green-Ampt and SCS are developed in SWMM to calculate water infiltration into the soil and consequently to analyze runoff flow. Rainfall input data were provided based on the distribution functions developed by the US Soil Conservation Authority. Five SCS 6-hour rainfall types including SCS I, SCS IA, SCS II, SCS IIFL and SCS III were selected. On the other hand, in order to investigate the effect of precipitation time steps on model results, four time steps including 15, 30, 60 and 90 minutes were considered for each of the above five distributions. On the other hand, in order to analyze the hydraulic flow in SWMM model, two kinematic wave and steady-state routing methods were used to solve the Saint-Venant equations and thus predict water level in each node, the flow rate and flow depth in each conduit.

In the present study, in order to analyze the sensitivity of SWMM model, two methods of graphical and correlation analysis have been used. In the graphical method the dependence of the variable  $y$  on the parameter  $x$  is expressed as a derivative of  $\frac{\partial y}{\partial x}$ . This partial derivative is then normalized to obtain a dimensionless index and presented as a percentage of changes in the results. The slope of such graphs, known as the ratio of variations (ROV), represents the increasing or decreasing trend of output changes with increasing input variables and also shows the rate of relative changes of the output parameter to relative changes of the input. Spearman rank correlation coefficient ( $\rho$ ) was used in the correlation analysis (CA) methods to analyze the sensitivity of SWMM to the selected infiltration sub-model, routing method, rainfall distribution and rainfall pattern time steps.

### **Results and discussion:**

According to the 5 rainfall distribution patterns, with 4 design rainfall time step, 3 infiltration equations and 2 flood routing methods, a total of 120 hydrographs were obtained for a 6-hour 46.5 mm rainfall event in the studied basin. Based on the results, the hydrograph peak discharge increased with the extension of time step in each rainfall distribution, regardless of the routing method, selected infiltration models. Also, for all the rainfall distribution patterns and the routing methods studied, the values obtained for the peak flow discharge were reduced with SCS models, Green-Ampt and Horton, respectively. On the other hand, regardless of the time step, infiltration model or routing methods, the highest peak flow values were always obtained for SCSII, SCS IIFL, SCS I, SCS III and SCS IA, respectively. It should be noted that the values of peak flow obtained by kinematic wave routing method are significantly higher than those obtained for steady flow method. However, these values follow the same trend for different rainfall patterns, time steps, and infiltration models.

Regardless of rainfall distribution type and routing method, the length of rainfall time steps is directly related to the flow rate. In other words, by choosing longer time steps, the peak runoff flow rate is increased. But this increasing trend has not been the same in different simulation conditions. Thus, the ROV of flow rates with time steps is different in different rainfall distributions. Meanwhile, the SCS IA and SCS I rainfall distribution include the widest range of variations in both kinematic wave and steady flow routing methods. In other words, the model sensitivity to rainfall time steps is at highest when using the SCS IA rainfall distribution pattern.

### **Conclusion:**

While choosing the kinematic wave routing method, the model is less sensitive to the changes of rainfall time steps. So that, under the kinematic wave and steady flow routing method, the minimum-



*maximum relative changes of peak flow with the relative changes of time step were 4.5-26.5 and 7.6-37.6 percent, respectively. The descending trend of ROV curves shows the decrease in maximum flow rates with time, from SCS to Green-Ampt and then Horton methods. So that in all simulation conditions, peak flow rates obtained from SCS and Horton models were the highest and lowest values, respectively. Also, the effect of rainfall distribution on the model sensitivity to the infiltration sub-models did not follow a significant trend. The highest sensitivity of the model to the infiltration sub-models is observed while applying SCS IA rainfall distribution pattern. Subsequently, the model sensitivity to the infiltration sub-models was reduced by using SCS I, SCS III, SCS II and SCS IIFL distributions, respectively.*

*According to the variable values obtained for, it can be concluded that the change of time steps, infiltration sub-models and flow routing methods are effective in model sensitivity to the rainfall distribution pattern applied. Their effect, however do follow a significant trend. In contrast, the effect of rainfall characteristics (including distribution pattern and time steps) on SWMM sensitivity to infiltration sub-models model is significant.*

