

## برآورد هیدروگراف رواناب در حوضه فاقد آمار بدون استفاده از داده های پوشش خاک و کاربری اراضی

میثم سالاری جزی<sup>۱</sup>، خلیل قربانی<sup>۲</sup>، محمد عبدالحسینی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۹

### چکیده:

مدل SCS یکی از مهم ترین مدل های برآورد هیدروگراف سیلاب در حوضه های فاقد آمار است و نیازمند داده های پوشش گیاهی، کاربری اراضی، ویژگی های فیزیوگرافی و آگاهی از وضعیت رطوبت پیشین سطح حوضه می باشد اما در حوضه هایی که دارای این داده ها نیستند استفاده از این مدل با محدودیت مواجه است. در تحقیق حاضر تلاش شده است تا رابطه پیشنهادی بین زمان تأخیر و زمان تز و برآورد زمان تمرکز بر مبنای برآورد سرعت سیلاب در زمان اوج به عنوان راه حلی برای غلبه بر این محدودیت مورد بررسی قرار گیرد. نتایج مدل پیشنهادی با نتایج مدل متداول SCS با در نظر گرفتن چهار رویداد بارش-رواناب در حوضه آبریز امامه با استفاده از معیارهای درصد خطا در برآورد حجم رواناب (PEV)، درصد خطا در برآورد دبی اوج رواناب (PEP)، درصد خطا در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج رواناب (PETP) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مقایسه گردید. نتایج نشان می دهد مقادیر میانگین PEV، PEP، PETP و RMSE برای مدل SCS - مدل پیشنهادی به ترتیب  $(-6/35)$  -  $(-6/45)$ ،  $(0/97)$  -  $(-48/38)$ ،  $(-27/38)$  -  $(46/08)$  و  $(1/4)$  -  $(2/55)$  می باشد. هر دو مدل تمایل به بیش برآوردی حجم رواناب و کم برآوردی زمان رسیدن به اوج دارند در حالیکه مدل متداول SCS میل به کم برآوردی و مدل پیشنهادی میل به بیش برآوردی دبی اوج دارند. همچنین مقایسه RMSE در کنار سایر معیارها نشان می دهد در صورت عدم دسترسی به داده های مورد نیاز مدل متداول SCS، مدل پیشنهادی می تواند به طور نسبی تخمین قابل پذیرشی از هیدروگراف رواناب ارائه دهد.

واژه های کلیدی: حوضه های فاقد آمار، زمان تأخیر، زمان تمرکز، سیلاب، مدل SCS.

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۰۹۳۵۵۷۱۵۲۵۵، [meysam.salarijazi@gmail.com](mailto:meysam.salarijazi@gmail.com)

(مسئول مکاتبه)

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۰۹۱۱۳۷۷۴۵۸۳، [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

<sup>۳</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۰۹۱۳۱۶۶۳۰۵۵، [abdolhosseini@gau.ac.ir](mailto:abdolhosseini@gau.ac.ir)

## مقدمه:

هرچند معیار طراحی در بسیاری از طرح‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، پارامترهای حجم و حداکثر دبی رواناب است، ولی در طراحی برخی سیستم‌های آبی، به ویژه در طرح‌های مهار سیلاب، اعم از روش‌های مدیریتی یا روش‌های غیر سازه‌ای و نیز روش‌های سازه‌ای، برآورد هیدروگراف مورد نیاز است. همچنین شکل هیدروگراف بیانگر نحوه پاسخ حوضه نسبت به بارندگی است. در بسیاری از حوضه‌های آبریز که اندازه‌گیری بارندگی انجام نمی‌گیرد نیاز به طراحی سازه‌های آبی است که به نحوی بایستی بر اساس خصوصیات حوضه به طور مصنوعی برای آن هیدروگراف تولید تا مبنای طراحی قرار بگیرد. این موضوع به خصوص در حوضه‌های کوچک مطرح می‌باشد چون به دلیل هزینه بالای ایجاد ایستگاه‌های اندازه‌گیری و نیز هزینه نگهداری آن، با مشکل عدم وجود آمار بارش- رواناب مواجه می‌باشد. در زمینه برآورد سیلاب با استفاده از تئوری هیدروگراف واحد و نیز هیدروگراف‌های واحد مصنوعی تحقیقات مختلفی انجام شده است. فرضیه هیدروگراف واحد را برای محاسبه هیدروگراف رواناب مستقیم ناشی از هیستوگرام بارندگی موثر حوضه ارائه شد که از همان زمان تا به حال به طور گسترده‌ای در هیدرولوژی کاربردی مورد استفاده قرار گرفته است (Singh, 1988). هیدروگراف رواناب مستقیم ناشی از یک واحد بارندگی موثر که به طور یکنواخت و با شدتی یکنواخت روی حوضه باریده باشد، هیدروگراف واحد حوضه نامیده می‌شود. جانستن و کراس (۱۹۴۹) فرضیات هیدروگراف واحد را به خوبی بیان کرده‌اند (Singh, 1988). بر اساس مطالعات صورت گرفته محققان زیادی فرضیه هیدروگراف واحد را به منزله یک روش کاربردی مفید می‌دانند. این فرضیه به خصوص در محدوده سیل‌های مشاهده شده در حوضه‌های طبیعی مناسب است. علاوه بر این، این

تئوری منطبق بر جبر خطی است که روش‌های آن ساده و به سادگی قابل درک است. بنابراین تا وقتی که روش‌های کارآمد غیرخطی دقیق و ساده ساخته نشوند، هیدروگراف واحد پرترفدار بوده و استفاده از آن مرسوم خواهد بود. Pilgrim., 1976 استفاده از ردیاب‌های رادیواکتیو زمان تأخیر را در برابر بارندگی‌های متفاوت اندازه‌گیری نموده و نتیجه گرفت در طی یک بارندگی یکنواخت سرعت جریان آب در شبکه آبراهه‌ها تقریباً یکنواخت بوده و در اثر تغییر در شدت و مدت بارندگی، سرعت جریان و زمان تأخیر حوضه نیز تغییر می‌یابد. در حالت کلی اثرات ذخیره‌ای و زمان تأخیر حوضه در ازای افزایش میزان رواناب تمایل به کاهش دارند. با توجه به این نکات این محقق رابطه‌ای میان زمان حرکت رواناب و دبی حداکثر رواناب ارائه نموده است. Morgan., 1962 از مدل SCS برای شبیه سازی رواناب در دوازده حوضه مختلف استفاده کرده و نتایج را قابل مقایسه با مدل‌های اشنایدر و کامونز و میشل دانسته‌اند. Mostaghimi & Mitchell., 1982 نتایج مدل SCS، مدل استدلالی و مدل چو را بر روی تعدادی از حوضه های کوچک و متوسط در ایالت ایلینویز بررسی و دقت بهتر مدل SCS را در برآورد دبی اوج سیلاب نتیجه‌گیری کرده‌اند. Choudhury & Nongthombam., 2012 از مدل SCS بدون استفاده از داده های پوش خاک در دو حوضه در هند استفاده و روش پیشنهادی خود را یک روش مناسب برای حوضه های فاقد آمار بیان کرده‌اند. Noori et al. 2012 اثر تغییر در مقدار پارامتر جذب اولیه در مدل SCS را نسبت به مقدار پیش فرض بررسی و بهبود نتایج برآورد دبی اوج سیلاب را با انتخاب مقدار کمتر برای این پارامتر نتیجه گیری کرده‌اند. مجیدی و همکاران از مدل‌های SCS و استدلالی برای برآورد سیلاب در یک حوضه در ایران استفاده کرده و برتری مدل SCS را نتیجه گرفته‌اند. Luxon et al. 2013 با

کریگر و SCS برای برآورد سیلاب حداکثر در رودخانه ای در کرمانشاه بهره برده و استفاده از روش SCS را به علت ملاحظات اقلیمی، زمین شناسی و فیزیوگرافی توصیه کرده‌اند. نوری و همکاران (۱۳۹۱) مدل‌های اشنایدر و SCS را در حوضه آبریز قروه با در نظر گرفتن پنج رویداد بارش مورد مقایسه قرار داده‌اند و نتایج بهتر مدل SCS را در شبیه سازی دبی اوج سیلاب نتیجه گیری کرده‌اند. به هر حال در برخی از کاربردهای مدل SCS ممکن است داده های پوشش خاک و کاربری اراضی ممکن است در دسترس نباشد که در این صورت لازم است مدل‌های دیگر مورد بررسی قرار گیرند. مطالعه حاضر با در نظر گرفتن ویژگی‌های ارزشمند مدل متداول SCS به بررسی یک روش پیشنهادی برای استفاده از این مدل در شرایط عدم دسترسی به داده های فوق‌الذکر می‌پردازد. در روش پیشنهادی تلاش می‌گردد تا بر اساس مفهوم سرعت جریان، زمان تمرکز و بر این اساس زمان تأخیر برآورد شود و از این مقدار در مدل اولیه استفاده شود. به طور مشخص اهداف این مطالعه به تفکیک به صورت ذیل می‌باشد.

الف- کارایی مدل پیشنهادی سازمان حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا (SCS) در حوضه مورد مطالعه (حوضه امامه) بررسی می‌شود.

ب- یک روش ساده برای تخمین زمان تأخیر به صورت پویا ارائه می‌شود.

ج- کارایی روش پیشنهادی (استفاده از مدل SCS در حوضه‌ها فاقد آمار بدون دسترسی به داده های پوشش خاک و کاربری اراضی) در مقایسه با مدل متداول SCS مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

### مواد و روش‌ها:

#### منطقه مورد بررسی:

با توجه به هدف اصلی تحقیق حاضر که مدل‌سازی در حوضه های فاقد آمار و تحلیل آن است دسترسی به اطلاعات قابل اتکا ضروری است (Singh & Frevert, 2002). حوضه آبریز معرف امامه

استفاده از هیدروگراف واحد مثلثی به شبیه سازی سیلاب ورودی به سد سیا در زیمباوه پرداختند و با توجه به مقایسه نتایج شبیه سازی با مقادیر مشاهده شده دقت کاملاً مناسب این مدل را نتیجه گیری کرده‌اند. Sule & Alabi, 2013 از سه مدل اشنایدر، گری و SCS برای شبیه‌سازی ویژگی‌های هیدروگراف مصنوعی یک حوضه در نیجریه استفاده کرده و کاربرد هر سه مدل را مناسب توصیف کرده‌اند. Jeon et al. 2014 از چندین روش منطقه‌ای سازی پارامتر مدل SCS استفاده کرده و در تحقیق خود از اطلاعات چهارده حوضه آبریز بهره برده‌اند و در نهایت روش نزدیک‌ترین همسایگی مکانی را روش مناسب‌تر معرفی کرده‌اند. Tessema et al. 2014 دو روش مختلف را برآورد پارامتر نگهداشت در روش SCS در محیط SWAT مورد بررسی قرار داده‌اند. در روش اول نگهداشت با تغییرات محتوای رطوبت پروفیل خاک تغییر می‌کند و در روش دوم این پارامتر با تبخیر و تعرق تجمعی گیاه تغییر می‌یابد. نتایج شبیه سازی نشان داده که روش اول موجب شبیه سازی بهتر جریان‌های کم و روش دوم منجر به نتایج مناسب‌تر شبیه سازی دبی اوج سیلاب می‌شود. در زمینه استفاده از مدل SCS در ایران نیز تحقیقات مختلفی انجام شده است. ملکی‌نژاد و کوثری (۱۳۸۷) با انجام تحلیل حساسیت بر روی مدل SCS، شماره منحنی را به عنوان حساس‌ترین پارامتر موثر در نتایج شبیه سازی معرفی کرده‌اند. صادقی و همکاران (۱۳۸۷) کاربرد مدل SCS را در چهار حوضه آبریز در شرایط قبل و بعد از واسنجی مورد بررسی قرار داده و کارایی مناسب مدل واسنجی شده را در دو حوضه گزارش کرده‌اند. سبزواری و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از نرم افزار HEC-HMS و نیز محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی، شبیه سازی رواناب را در حوضه کسلیان مورد بررسی قرار داده‌اند. ایشان از مدل انتقال SCS برای برآورد رواناب و از روش تأخیر برای روند یابی در رودخانه استفاده کرده و نتیجه رضایت بخش از شبیه سازی را بیان کرده‌اند. کرکوتی و همکاران (۱۳۸۹) از روش‌های

است. این هیدروگراف یک هیدروگراف واحد مصنوعی است که در آن نسبت دبی به دبی اوج به عنوان محور قائم در بازه ۰ تا ۱ و نسبت زمان به زمان رسیدن به دبی اوج (زمان متناظر با بازوی بالارونده هیدروگراف) در محور افقی است. با در نظر داشتن زمان تأخیر برآورد شده بر مبنای شماره منحنی و نیز زمان تداوم بارش مازاد می‌توان هیدروگراف واحد مصنوعی SCS را برای آن استخراج کرد. در شکل ذیل این منحنی نشان داده شده است. تقریباً ۳۷/۵ درصد سطح زیر نمودار این هیدروگراف در سمت بازوی بالارونده واقع شده است. همچنین این روش بیان می‌کند که این هیدروگراف واحد بدون بعد توسط هیدروگراف مثلثی معادلی می‌تواند نشان داده شود. مقادیر  $T_p$  و  $q_p$  بر این اساس می‌تواند تخمین زده شود که به ترتیب دارای بعد ساعت و متر مکعب بر ثانیه به ازای یک سانتی متر می‌باشند. با در نظر گرفتن اطلاعات بسیاری از حوضه های کوچک و متوسط سازمان حفاظت خاک اندازه زمانی بازوی پایین رونده هیدروگراف مثلثی را معادل ۱/۶۷ برابر اندازه زمانی بازوی بالا رونده آن در نظر گرفت. با توجه به اینکه سطح زیر نمودار باید برابر با یک واحد رواناب باشد می‌توان نشان داد که رابطه ذیل برقرار است.

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \quad (1)$$

که در این رابطه  $C=2.08$  و  $A$  مساحت حوضه بر حسی کیلومتر مربع می‌باشد. با مطالعه بسیاری از حوضه‌های روستایی در اندازه‌های مختلف مشخص شد که زمان تأخیر حدود ۰/۶ زمان تمرکز حوضه می‌باشد ( $t_p = 0.6T_c$ ). همان طور که از شکل مشخص است زمان رسیدن به دبی اوج می‌تواند بر حسب زمان بارش موثر و نیز زمان تأخیر به صورت ذیل بیان شود. با توجه به معادلات بیان شده و استفاده از شکل‌ها می‌توان برای یک حوضه معین هیدروگراف واحد مصنوعی را برآورد کرد. مشخص می‌شود که در نهایت

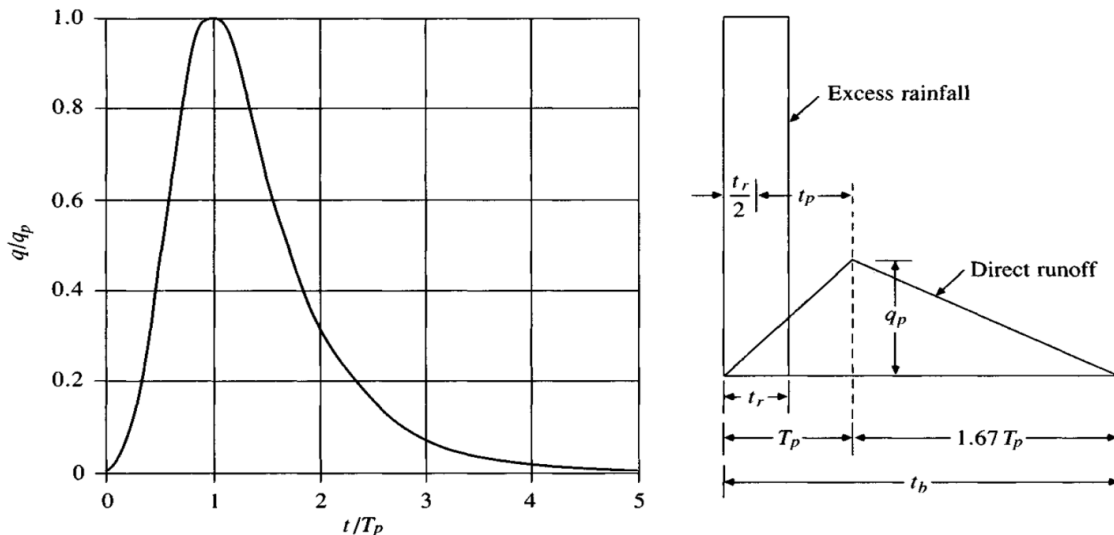
یک حوضه آبریز معرف کشور است که موقعیت آن بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵°-۵۱°-۰۰ تا ۳۵°-۵۷°-۰۰ شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۱°-۳۲°-۰۰ تا ۳۹°-۰۰-۵۱° شرقی واقع شده است. این حوضه در بین حوضه‌های اصلی شش‌گانه ایران در داخل حوضه آبریز مرکزی قرار گرفته است و معرف محدوده وسیعی از دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی بوده و قسمت‌های کوهستانی مذکور را از لحاظ آب و هوایی، پوشش گیاهی و زمین‌شناسی، تحت پوشش خود قرار می‌دهد. مساحت این حوضه ۳۷/۲ کیلومتر مربع می‌باشد. ایستگاه هیدرومتری کمرخانی در محل خروجی حوضه واقع شده که کل سطح حوضه را تحت پوشش خود قرار داده می‌دهد. نیز ایستگاه کلیماتولوژی امامه با ۲۹ سال آمار تقریباً در مرکز ثقل حوضه قرار گرفته است. نفوذپذیری خاک در سطح حوضه آبریز معرف امامه به طور متوسط بین ۱/۳ تا ۳/۸ میلی‌متر در ساعت تخمین زده می‌شود و از این بابت خاک‌های حوضه طبق طبقه‌بندی ارائه شده توسط سازمان حفاظت منابع طبیعی ایالات متحده (NRCS) در گروه C قرار می‌گیرد (فضل اولی، ۱۳۸۵). با در نظر گرفتن کاربری اراضی بخش‌های مختلف حوضه به طور متوسط شماره منحنی برابر با ۸۶/۵ برآورد می‌شود. با در نظر گرفتن روابط ارائه شده توسط NRCS پارامترهای زمان تأخیر، ضریب نگهداشت و زمان تمرکز به ترتیب برابر با ۱/۵۷ ساعت، ۳/۹ سانتیمتر و ۲/۶۲ ساعت برای این حوضه تخمین زده می‌شود (فضل اولی، ۱۳۸۵).

#### مدل هیدروگراف واحد بدون بعد SCS: مدل

مشهور SCS میزان بارش مازاد را به عنوان تابعی از بارش تجمعی، پوشش گیاهی کاربری اراضی و رطوبت قبلی خاک حوضه بیان می‌کند. تا زمانی که بارندگی تجمعی مازاد بر جذب اولیه غلبه نکند و بارش مازاد ایجاد نشود، روانابی تولید نمی‌شود. هیدروگراف واحد بدون بعد و تک اوجی SCS از تحلیل تعداد زیادی از هیدروگراف‌های واحد طبیعی حوضه‌هایی که از نظر اندازه و موقعیت جغرافیایی متفاوتند استخراج شده

مدل SCS در واقع وابسته به پارامتر بسیار مهم شماره منحنی است.

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (2)$$



شکل (۱): هیدروگراف بدون بعد SCS و هیدروگراف واحد مثلثی

که در آن  $T_c$  زمان تمرکز بر حسب ساعت،  $L$  طول زهکش اصلی رودخانه بر حسب کیلومتر،  $V$  سرعت پیک بر حسب  $m/s$  و عدد  $0.2778$  ضریب تبدیل می‌باشد. سپس بر اساس رابطه پیشنهادی SCS میزان زمان تأخیر برآورد شود. سرعت بیان شده در رابطه فوق سرعت معادل دبی اوج می‌باشد. دلیل این انتخاب اینست که بخش عمده جریان رودخانه در محدوده دبی اوج از حوضه خارج می‌شود-Rodríguez Iturbe et al. 1982 با فرض این که سرعت جریان در کل شبکه زهکشی ثابت است و در تمام حالات زمان بارش موثر از زمان تمرکز حوضه آبریز رتبه یک بزرگتر می‌باشد. رابطه کلی زیر را برای محاسبه سرعت اوج جریان ارائه دادند:

$$V_{\Omega} = \alpha_{\Omega}^{0.6} (i_r A_{\Omega})^{0.4} \quad (4)$$

در این رابطه  $V_{\Omega}$  سرعت اوج جریان (متر بر ثانیه)، پارامتر موج جنبشی  $\alpha_{\Omega}$  ( $s^{-1} m^{-1/3}$ )،  $A_{\Omega}$  مساحت

#### مدل پیشنهادی:

با توجه به ویژگی‌های مناسب منحنی‌ها و معادلات استخراج شده در مدل SCS استفاده از آن مورد توجهی باشد. مهم‌ترین محدودیت در فرآیند محاسبات در این روش برآورد شماره منحنی حوضه است که فرآیندی مستلزم صرف زمان و هزینه نسبتاً بالا است. بنابراین در روش پیشنهادی سعی می‌شود با استفاده از مفهوم زمان تمرکز در مواردی که این محدودیت وجود دارد امکان استفاده از مدل SCS فراهم شود.

در این مدل پیشنهاد می‌شود که با استفاده از رابطه ذیل ابتدا زمان تمرکز برآورد شود (Adib et al. 2010; Adib et al. 2011; Sahoo et al. 2006)

$$T_c = 0.2778 \frac{L}{V} \quad (3)$$

چنانچه  $B \geq 10h$  باشد بر اساس مطالعات تجربی می‌توان  $p$  یا محیط خیس شده را معادل  $B$  در نظر گرفت:

$$\alpha_s = \frac{S^{1/2}}{nB^{2/3}} \quad m = 5/3 \quad (۹)$$

در عمل بهتر است بر اساس رابطه دبی-سطح مقطع جریان در محل ایستگاه آب سنجی، مقدار پارامتر موج جنبشی را برآورد نمود. در مقاطع منظم از قبیل مستطیل، ذوزنقه ای و مثلثی بر اساس میانگین ضریب زبری مانینگ و روابط موجود میان سطح مقطع، محیط خیس شده و شعاع هیدرولیکی می‌توان مقدار پارامتر موج جنبشی را به دست آورد. Ghahraman, 1995 نشان داد که برای برآورد پارامتر موج جنبشی از رابطه ذیل می‌توان استفاده کرد. بر این اساس ایشان ضرایب ثابت معادله را برای ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه (کمرخانی) تعیین کرد.

$$\alpha = z \cdot Q^x \quad (۱۰)$$

مقدار  $Z$  و  $x$  به ترتیب ۴/۹۲۶۹ و ۰/۵۰۰۹ - برآورد شده است. در مورد وقایع منفرد سیلاب، انتخاب وقایع به گونه‌ای صورت گرفت که هر رویداد سیل معرف یک واقعه مستقل و مناسب برای موضوع مورد مطالعه بوده است. بنابراین داده‌های ورودی و خروجی (بارش-رواناب) به طور متناظر انتخاب گردید. بدین منظور ابتدا در یک دید کلی و بنا بر آمار مشاهده‌ای، کلیه وقایع سیلابی ثبت شده مورد بررسی دقیق قرار گرفت و در نهایت ۴ واقعه انتخاب گردید جهت انجام تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شدند.

#### تعیین دبی پایه و شاخص نفوذ $\phi$ :

از آنجایی که هدف این تحقیق محدود به مدل کردن رویدادهای سیل می‌باشد، بارش مازاد با نرخ نفوذ یکنواخت محاسبه شد. بعد از جدا کردن دبی پایه

حوضه آبریز (متر مربع) و  $i_r$  شدت بارش موثر (متر بر ثانیه) می‌باشد. رابطه مذکور در برآورد سرعت اوج جریان توسط Sorman, 1995 مورد ارزیابی قرار گرفته است. نامبرده به منظور برآورد دبی و زمان اوج آبنمود جریان خروجی سه حوضه آبریز واقع در عربستان سعودی نشان داد که این رابطه نسبت به سایر روش‌های هیدرولیکی در برآورد سرعت جریان از کارایی مناسبی برخوردار است. پارامتر موج جنبشی  $\alpha_\Omega$  در واقع بیانگر میانگینی از خصوصیات هیدرولیکی آبراهه اصلی در محل خروجی حوضه آبریز می‌باشد. نظر به اینکه دبی برابر حاصل ضرب سرعت در سطح مقطع جریان می‌باشد لذا می‌توان رابطه‌ی دبی - سطح مقطع را به شکل زیر برقرار ساخت:

$$Q = xA^m \quad (۵)$$

به طور مشابه می‌توان بین دبی و عمق جریان نیز رابطه برقرار کرد. با در نظر گرفتن معادله مانینگ خواهیم داشت:

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{P}\right)^{2/3} S^{1/2} A = \frac{S^{1/2} A^{5/3}}{nP^{2/3}} \quad (۶)$$

از مقایسه رابطه فوق می‌توان نوشت:

$$x = \frac{S^{1/2}}{nP^{2/3}} \quad m = 5/3 \quad (۷)$$

که  $S$  شیب آبراهه در محل خروجی حوضه،  $n$  ضریب زبری مانینگ،  $p$  محیط خیس شده (متر)، سطح مقطع خیس شده (متر مربع)  $R$  شعاع هیدرولیکی جریان (متر) و  $x$  هم ارز پارامتر موج جنبشی می‌باشد. برای مثال در یک آبراهه مستطیلی با عرض  $B$  و عمق  $h$  می‌توان نوشت:

$$Q = \frac{S^{1/2} (Bh)^{5/3}}{n(B+2h)^{2/3}} \quad (۸)$$

$$PEP = (1 - Q_{pc} / Q_{po}) \times 100 \quad (13)$$

$$PETP = (1 - T_{pc} / T_{po}) \times 100 \quad (14)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{ci} - Q_{oi})^2} \quad (15)$$

که در روابط فوق :

$PEV$  : درصد خطا در برآورد حجم،  $VOL_c$  : حجم محاسبه شده،  $VOL_o$  : حجم مشاهده شده،  $PEP$  : درصد خطا در برآورد دبی اوج،  $Q_{pc}$  : دبی اوج محاسبه شده،  $Q_{po}$  : دبی اوج مشاهده شده،  $PETP$  : درصد خطا در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج،  $T_{pc}$  : زمان رسیدن به دبی اوج محاسبه شده،  $T_{po}$  : زمان رسیدن به دبی اوج مشاهده شده،  $Q_{ci}$  : دبی  $i$  ام محاسباتی،  $Q_{oi}$  : دبی  $i$  ام مشاهداتی.

### نتایج و بحث:

برای بررسی روش پیشنهادی تعدادی چهار رویداد انتخاب شد. تلاش شد تا انتخاب رویدادها بر اساس معیارهای بیان شده در بخش پیشین باشد. علاوه بر این معیارها معیار دیگری که در انتخاب این رویدادها در نظر گرفته شد توجه به دامنه تغییرات هیدروگراف رواناب بود بدین صورت که هیدروگراف هایی به واکنش های متفاوت از نظر بزرگی سیل مد نظر قرار گرفت. نتایج شبیه سازی هیدروگراف رواناب برای چهار رویداد انتخابی و نیز میزان معیارهای خطای محاسبه شده متناظر در شکلها و جداول ذیل ارایه شده است.

از رواناب مشاهده شده، از حجم رواناب مشاهده شده برای برآورد شاخص نفوذ ( $\phi$ ) استفاده شد. برای محاسبه شاخص  $\phi$  به صورت زیر عمل شد:

۱- دبی پایه به مقدار ثابت برآورد شد. ۲- دبی رواناب محاسبه شد. ۳- حجم و عمق رواناب محاسبه شد. ۴- با استفاده از رابطه زیر مقدار شاخص نفوذ محاسبه گردید.

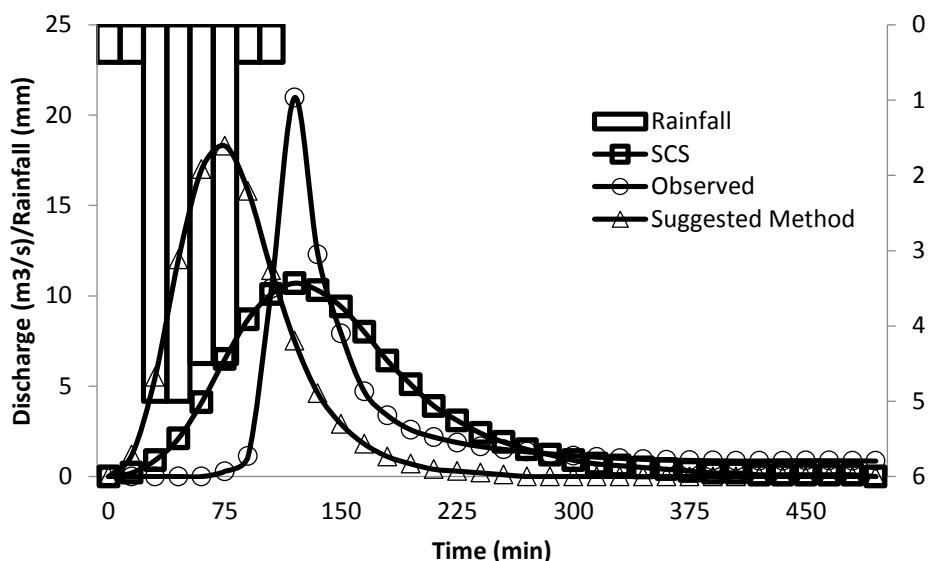
$$r_d = \sum_{m=1}^M (R_m - \phi \Delta t) \quad (11)$$

که در آن  $R_m$  پالسهای بارندگی موثر،  $r_d$  عمق رواناب،  $\phi$  شاخص نفوذ و  $\Delta t$  بازه های زمانی می باشد. در محاسبات به ترتیب از بارندگی های بزرگ تر به سمت کوچک تر استفاده می شود تا جایی که  $\phi$  مقداری مثبت و پایین تر از پایین ترین مقدار بارش موثر اعمال شده باشد. با توجه به فرآیند ذکر شده در بالا برای وقایع سیل انتخابی مقادیر دبی پایه و شاخص نفوذ محاسبه شد. نکته قابل توجه در برآورد دبی پایه این موضوع می باشد که این مقدار باید با شکل هیدروگراف سیل همخوانی داشته باشد و از طرفی مقادیر رواناب از نظر گام های زمانی با بارش موثر تطابق منطقی داشته باشد.

### معیارهای ارزیابی شبیه سازی:

برای ارزیابی نتایج حاصل از شبیه سازی دو مدل در مقایسه با هیدروگراف رواناب مشاهدتی معیارهای زیر مورد استفاده قرار گرفت. درصد خطا در برآورد دبی اوج، درصد خطا در برآورد حجم، درصد خطا در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج و ریشه میانگین مربعات خطا از روابط زیر محاسبه شده اند.

$$PEV = (1 - \frac{VOL_c}{VOL_o}) \times 100 \quad (12)$$



شکل (۲): هیدروگراف‌های شبیه‌سازی و هیدروگراف مشاهداتی رویداد اول

جدول (۱): معیارهای خطا برای شبیه‌سازی رویداد اول

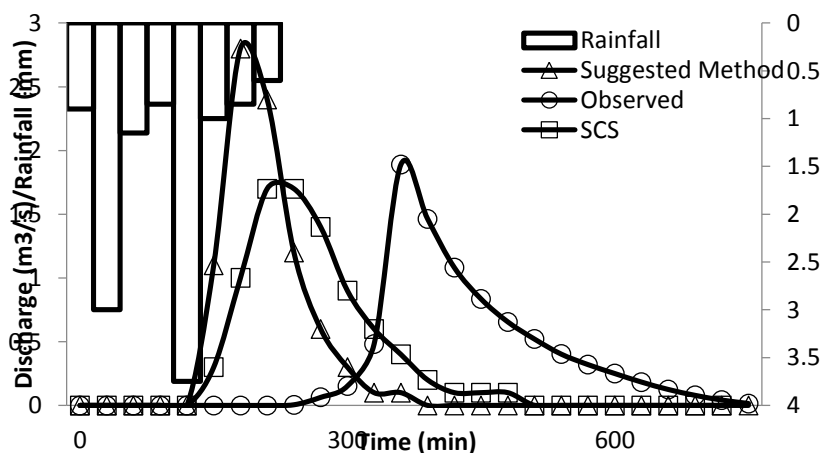
رویداد ۱	PEV	PEP	PETP	RMSE
SCS	-۱۶,۶۲	۴۸,۹۹	۰,۰۰	۲,۸۴
مدل پیشنهادی	-۱۶,۶۲	۱۲,۷۳	۳۷,۵۰	۶,۳۱

برآوردی کمتر از مقدار مشاهده‌ای بوده‌اند. ب- برآورد زمان رسیدن به دبی اوج سیلاب در مدل متداول SCS در این شبیه‌سازی دقیقاً مطابق با هیدروگراف رواناب مشاهداتی است در حالی که مدل پیشنهادی دارای برآورد کمتری از این متغیر است. ج- تحلیل معیار ریشه میانگین مربعات خطا برتری نتایج شبیه‌سازی کل هیدروگراف را در مدل متداول SCS نسبت به مدل پیشنهادی نشان می‌دهد. د- با توجه به تفاوت در برآورد دبی اوج و نیز زمان رسیدن به دبی اوج و همچنین شبیه‌سازی کل هیدروگراف هر دو مدل میزان حجم رواناب را به یک میزان و بیشتر از حجم رواناب مشاهداتی برآورد کرده‌اند.

بررسی شکل فوق نشان می‌دهد که مدل متداول SCS در شبیه‌سازی زمان سیلاب موفق‌تر از مدل پیشنهادی و مدل پیشنهادی در زمینه برآورد اوج سیلاب نسبت به مدل متداول SCS تخمین بهتری داشته است. نیز مدل متداول SCS نرخ تغییرات بازوی بالارونده و پایین رونده را کمتر از هیدروگراف مشاهده‌ای برآورد کرده در حالی که مدل پیشنهادی به شکل منطقی‌تری این برآورد را انجام داده است. تحلیل جدول معیارهای خطا نتایج مناسب‌تری را به صورت زیر ارایه می‌کند.

الف- میزان برآورد دبی اوج سیلاب در مدل پیشنهادی به مراتب از مدل متداول SCS منطقی‌تر و به واقعیت نزدیک‌تر است اگر چه هر دو مدل دارای





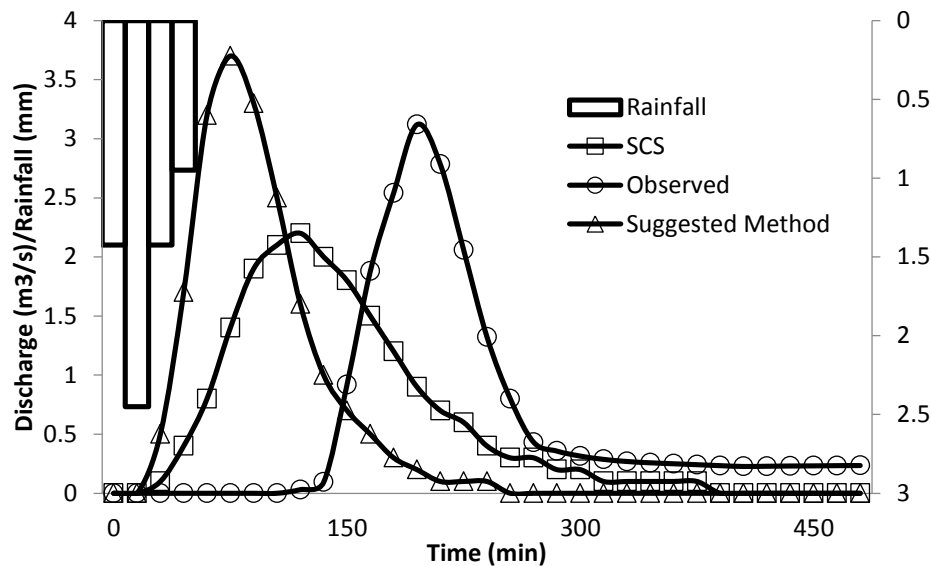
شکل (۳): هیدروگراف های شبیه سازی و هیدروگراف مشاهداتی رویداد دوم

جدول (۲): معیارهای خطا برای شبیه سازی رویداد دوم

رویداد ۲	PEV	PEP	PETP	RMSE
SCS	۰,۷۱	۱۰,۰۵	۴۱,۶۷	۰,۷۷
مدل پیشنهادی	-۰,۴۶	-۴۸,۱۵	۵۰,۰۰	۰,۹۸

مدل پیشنهادی دارای بیش برآورد می‌باشد. ج- تحلیل زمان رسیدن به دبی اوج سیل بیانگر آنست که هر دو مدل تقریباً به اندازه مشابه این متغیر را کمتر از مقدار مشاهده ای برآورد کرده‌اند و در این بین برآورد مدل پیشنهادی از مدل متداول SCS کمتر بوده است. د- با در نظر گرفتن معیار ریشه میانگین مربعات خطا مشخص می‌شود تفاوت در شبیه سازی کل هیدروگراف در دو مدل بسیار پایین است اما به هر حال خطای مدل متداول SCS کمی کمتر بوده است.

با بررسی نتایج شبیه سازی هیدروگراف رواناب در مقایسه با مقادیر مشاهده ای در رویداد دوم مشخص می‌شود که مدل متداول SCS دارای برآورد کمتری برای دبی اوج است در حالی که مدل پیشنهادی این متغیر را بیشتر از مقدار مشاهده شده تخمین زده است. نیز بررسی زمان رسیدن به دبی اوج نیز نشان دهنده آنست که هر دو مدل این متغیر را کمتر از مقدار مشاهده شده برآورد کرده‌اند در حالی که این خطا در مدل متداول SCS وضعیت کمی بهتر را نشان می‌دهد. بررسی جدول، نتایج این شبیه سازی نتایج را به صورت عددی مشخص کرده است. بر این اساس: الف- هر دو مدل دارای خطای بسیار کمی در برآورد حجم سیلاب بوده‌اند. بر این اساس حجم رواناب در مدل پیشنهادی با تفاوت کمی بیشتر و مدل متداول SCS با تفاوت کمی کمتر نسبت به مقدار مشاهده ای برآورد شده است. ب- تحلیل درصد خطا در برآورد دبی اوج بیان می‌کند که مدل SCS با فاصله منطقی و به میزان کمتر این متغیر را برآورد کرده در حالی که



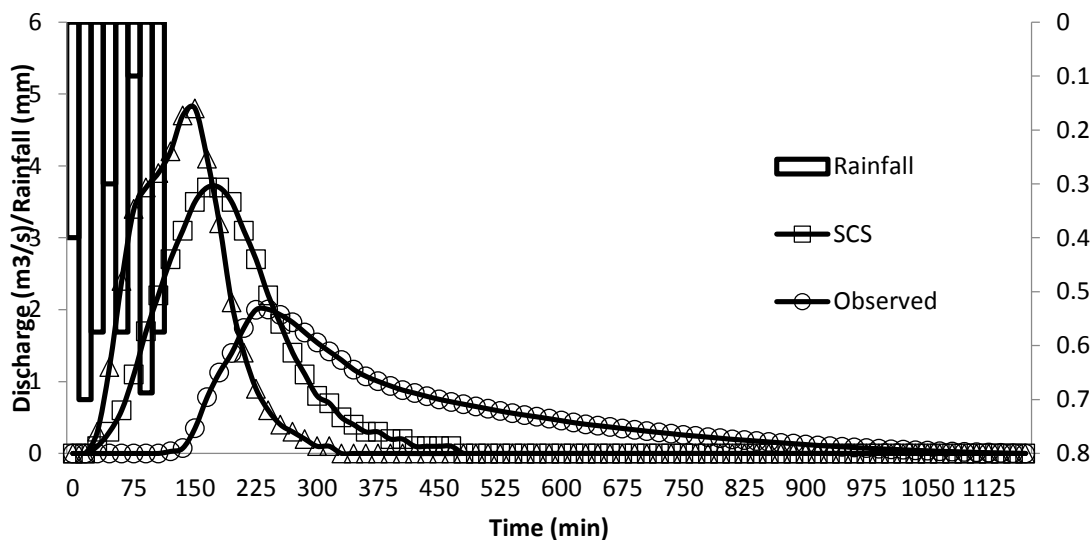
شکل (۴): هیدروگراف‌های شبیه سازی و هیدروگراف مشاهداتی رویداد سوم

جدول (۳): معیارهای خطا برای شبیه سازی رویداد سوم

رویداد ۳	PEV	PEP	PETP	RMSE
SCS	۰,۴۱	۲۹,۴۹	۳۸,۴۶	۱,۰۳
مدل پیشنهادی	۰,۴۱	-۱۸,۵۹	۶۱,۵۴	۱,۵۳

پیشنهادی (۲۹/۴۹ درصد) از میزان خطای مدل متداول SCS (-۱۸/۵۹) بیشتر است با توجه به این نکته که مدل پیشنهادی دارای بیش برآورد و مدل متداول SCS دارای کم برآورد است. ج-با در نظر گرفتن درصد خطا در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج مشخص می شود هر دو مدل این متغیر را کمتر از مقدار مشاهده ای برآورد کرده اند اما برآورد مدل پیشنهادی (۶۱/۵۴ درصد) از مدل متداول (۳۸/۴۶) کمتر است. د- معیار ریشه میانگین مربعات خطا نشان دهنده شبیه سازی بهتر مدل متداول است به نحوی که این معیار برای مدل پیشنهادی حدود ۱/۵ برابر مدل متداول SCS است.

تحلیل هیدروگراف های شبیه سازی شده رویداد سوم نشان می دهد که مدل متداول SCS دبی اوج را کمتر و مدل پیشنهادی دبی اوج را بیشتر نسبت به مقدار مشاهده ای برآورد می کند. همچنین هر دو مدل زمان رسیدن به دبی اوج را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده اند. بررسی عددی معیارهای خطا نیز نتایج ذیل را ارائه می دهد. الف- تحلیل درصد خطا در برآورد حجم سیلاب نشان می دهد هر دو مدل دارای خطای بسیار کمی (کمتر از ۱ درصد) در تخمین حجم رواناب هستند. این خطا در هر دو مدل یکسان است و نشان می دهد که هر دو مدل برآورد کمتری نسبت به حجم رواناب مشاهداتی داشته اند. ب- با در نظر گرفتن خطای برآورد دبی اوج مشخص می شود میزان خطای مدل



شکل (۵): هیدروگراف های شبیه سازی و هیدروگراف مشاهداتی رویداد چهارم

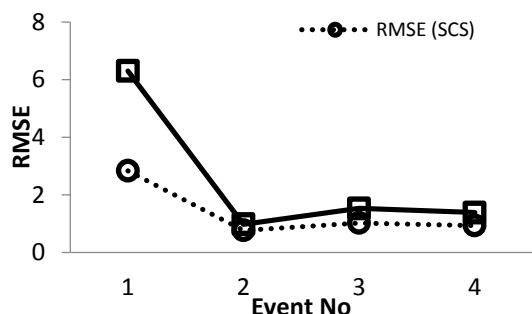
جدول (۴): معیارهای خطا برای شبیه سازی رویداد چهارم

رویداد ۴	PEV	PEP	PETP	RMSE
SCS	-9.90	-84.63	29.41	0.94
مدل پیشنهادی	-9.12	-139.52	35.29	1.39

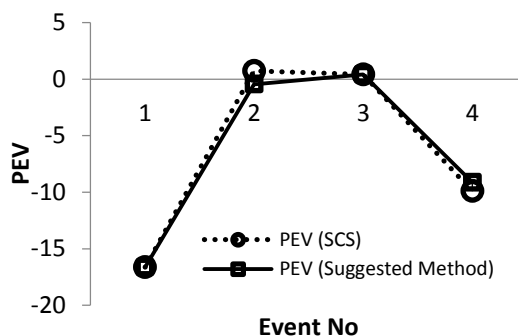
مدل پیشنهادی و ۸۴/۶۳ درصد برای مدل متداول (SCS) و هر دو مدل دارای بیش برآورد بوده‌اند. ج-میزان درصد خطا در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج در مدل پیشنهادی ۳۵/۲۹ درصد که نشان دهنده مقدار بیشتری نسبت این خطا در مدل متداول SCS (۲۹/۴۱ درصد) است. البته تفاوت در این خطا قابل اغماض است. د-همچنین بررسی معیار ریشه میانگین مربعات خطا در این مورد نیز نشان دهند برتری نتایج مدل متداول SCS نسبت به روش پیشنهادی است. با توجه به اهمیت بررسی نتایج شبیه سازی‌های مختلف در کنار یکدیگر نتایج به صورت نمودارهای زیر بیان شده است.

نتایج تحلیل هیدروگراف های شبیه سازی برای رویداد چهارم نشان می‌دهد که هر دو مدل در شبیه سازی بازوی پایین رونده دارای شیب به مراتب بیشتری نسبت به هیدروگراف مشاهداتی هستند. نیز هر دو مدل زمان رسیدن به دبی اوج را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرده‌اند و نیز هر دو مدل نتایج بیش برآورد دبی اوج رواناب را داشته‌اند. بررسی جدول نتایج اطلاعات را با جزئیات بیشتر ارائه می‌کند بر این اساس نتایج ذیل برای این شبیه سازی حاصل می‌شود.

الف- میزان درصد خطا در برآورد حجم سیلاب برای هر دو مدل بسیار به هم نزدیک است (هر دو حدود ۹ درصد) و هر دو مدل حجم رواناب را بیشتر از مقدار مشاهده شده در این رویداد برآورد کرده‌اند. ب- میزان خطا در برآورد دبی اوج در مدل پیشنهادی از مدل متداول SCS بیشتر است (۱۳۹/۵۲ درصد برای

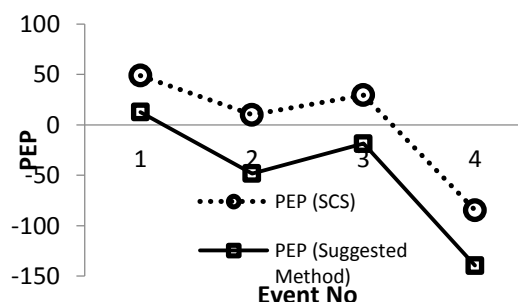


شکل (۹): مقایسه ریشه میانگین مربعات خطا در شبیه سازیها

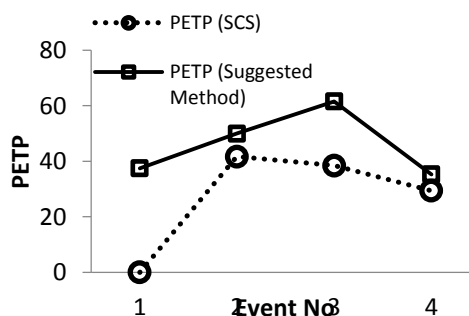


شکل (۶): مقایسه درصد خطا در برآورد حجم رواناب در شبیه سازیها

نتایج مقایسه معیار درصد خطا در برآورد حجم رواناب نشان می‌دهد که در مجموع این خطا در رویدادهای مختلف در دامنه پایینی قرار دارد در اکثر رویدادها نتایج مدل‌ها نشان دهنده برآورد بیشتر نسبت به حجم رواناب مشاهداتی است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که این دو مدل در رویدادهای مختلف برآورد نسبتاً یکسانی برای حجم رواناب سیل داشته‌اند. مقایسه معیار درصد خطا در برآورد دبی اوج بیانگر آنست که مدل پیشنهادی تمایل دارد تا در اکثر موارد بیش برآورد داشته باشد در حالی که مدل رایج SCS تمایل به برآورد کمتر از مقدار مشاهداتی دارد. به هر حال به نظر می‌رسد بیش آوردی مدل اگر در دامنه منطقی باشد دارای ارجحیت نسبت به کم برآورد کردن مدل باشد زیرا موجب افزایش ضریب اطمینان می‌شود. نکته مهم دیگر اینست که دامنه تغییرات معیار درصد خطا در برآورد دبی اوج در دو مدل تقریباً مشابه است و این موضوع احتمالاً به دلیل ویژگی‌های ذاتی برآورد در حوضه های فاقد آمار است. مقایسه معیار خطای زمان رسیدن به دبی اوج بیانگر آنست که مدل پیشنهادی نشان دهنده مقادیر بالاتر این خطا در تمامی رویدادها بوده است. البته به جز یک رویداد در سه رویداد دیگر این تفاوت در حالت قابل قبول قرار داشته است. همچنین هر دو مدل مورد بررسی، در تمامی موارد زمان رسیدن به دبی اوج را کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد کرده‌اند. همان طور که بحث شد از معیار ریشه



شکل (۷): مقایسه درصد خطا در برآورد دبی اوج در شبیه سازیها



شکل (۸): مقایسه درصد خطا در برآورد زمان رسیدن به دبی اوج در شبیه سازیها

رسیدن به دبی اوج رواناب و ریشه میانگین مربعات خطا مقایسه شد. بر این اساس نتایج نشان داد میزان خطا در دو مدل در شبیه سازی حجم رواناب منطقی می باشد به طوری که طبق نتایج درصد خطا در برآورد حجم رواناب در مدل متداول SCS در دامنه (۰/۷۱-۰/۶۲) درصد و در مدل پیشنهادی در دامنه (۰/۴۱-۰/۶۲) درصد قرار دارد. همچنین مشخص شد که به طور کلی مدل های مورد بررسی تمایل به بیش برآورد حجم رواناب در رویدادهای مورد مطالعه داشته اند. بررسی درصد خطا در برآورد دبی اوج رواناب نشان می دهد که این معیار برای مدل متداول SCS در دامنه (۰/۹۷-۰/۶۳) درصد و برای مدل پیشنهادی در دامنه (۰/۳۷-۰/۵۲) درصد قرار دارد. نیز مشخص شد که مدل متداول SCS تمایل به کم برآورد کردن دبی اوج و مدل پیشنهادی تمایل به بیش برآورد کردن دبی اوج دارد. ارزیابی معیار درصد خطا در برآورد دبی اوج رواناب در رویدادهای مورد بررسی نشان دهند دامنه (۰/۶۷-۰/۴۱) درصد برای مدل متداول SCS و نیز (۰/۵۴-۰/۲۹) درصد برای مدل پیشنهادی است. بر این اساس مشخص است که هر دو مدل تمایل دارند زمان رسیدن به دبی اوج را کمتر از مقدار مشاهده ای برآورد کنند که این تمایل در مدل پیشنهادی بیشتر است. در نهایت با در نظر گرفتن معیار ریشه میانگین مربعات خطا مشخص می شود که این معیار برای مدل متداول SCS در دامنه (۰/۸۴-۰/۷۷) و برای مدل پیشنهادی در دامنه (۰/۳۱-۰/۹۸) قرار دارد. این موضوع نشان دهنده برتری مدل متداول SCS نسبت به مدل پیشنهادی در شبیه سازی کل هیدروگراف است اگر چه نگاه جزئی تر مانند تحلیل انجام شده در فصل قبل نشان می دهد که در سه شبیه سازی از چهار شبیه سازی صورت گرفته این تفاوت محسوس نیست. بر این اساس می توان بر اساس شبیه سازی های صورت گرفته به صورت کلی نتایج زیر را در نظر گرفت. الف- هر دو مدل متداول SCS و مدل پیشنهادی میزان حجم رواناب را با دقت کاملاً مناسب و به میزان نزدیک

میانگین مربعات خطا برای ارزیابی نسبی شبیه سازی کل هیدروگراف استفاده شده است. توجه به این معیار در رویدادهای مختلف بیانگر یک نکته بسیار مهم است و آن اینکه به جز در یک مورد تفاوت بین این مقادیر این معیار در دو مدل در رویدادهای مختلف قابل پذیرش است.

### نتیجه گیری:

دسترسی به داده های اطلاعات شیب حوضه و نیز طول رودخانه اصلی و همچنین شماره منحنی خاک، وضعیت رطوبت پیشین، میزان پوشش خاک و کاربری اراضی نیازمند تحلیل مکانی به نسبت گسترده ای است و در صورت عدم دسترسی به این دامنه از داده ها استفاده از مدل SCS به شیوه متداول ناممکن می شود. توسعه روش های استفاده از مدل SCS، در شرایطی که داده های مورد نیاز این مدل همگی در دسترس نیست، دارای اهمیت می باشد. بدین منظور در این تحقیق برآورد زمان تأخیر بر پایه زمان تمرکز و سپس برآورد زمان تمرکز بر اساس یک رابطه مفهومی ساده مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. مهم ترین مزیت در این تصحیح اینست که دیگر نیازی به داده های پوشش خاک و کاربری اراضی و شیب حوضه و... نمی باشد بلکه در این روش تنها محدودیت که جایگزین محدودیت های قبلی می شود تخمین سرعت معادل دبی اوج در خروجی حوضه است. این متغیر بر اساس مفهوم پارامتر موج جنبشی تحلیل شد و در نهایت یک رابطه برای این تخمین محاسبه و ارایه شد. یکی از مهم ترین محاسن این روش جدا از حذف محدودیت های مشروحه در متن اینست که منجر به ارائه یک رابطه دینامیک برای برآورد زمان تمرکز می شود. برای ارزیابی مدل متداول SCS و مدل پیشنهادی از چهار رویداد بارش-رواناب از داده های حوضه آبریز امامه با در نظر گرفتن دامنه متغیر و وسیع دبی اوج سیلاب استفاده و نتایج بر اساس معیارهای درصد خطا در برآورد حجم رواناب، درصد خطا در برآورد دبی اوج رواناب، درصد خطا در برآورد زمان

خروجی حوضه به نظر می‌رسد این مدل بتواند به طور نسبی تخمین قابل پذیرشی از هیدروگراف رواناب آرایه دهد.

### تقدیر و تشکر:

این تحقیق مستخرج از طرح پژوهشی در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به شماره شناسه طرح ۶۸-۳۱۴-۹۲ می‌باشد و نویسندگان بدین وسیله از حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه در این زمینه تشکر می‌نمایند.

به هم شبیه سازی می‌کنند. ب-میزان زمان رسیدن به دبی اوج در هر دو مدل کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌شود و این موضوع در برآورد های مدل پیشنهادی مشخص تر است. ج-مدل متداول SCS تمایل به برآورد کمتر دبی اوج و مدل پیشنهادی تمایل به برآورد بیشتر دبی اوج دارد. د-میزان دقت شبیه سازی هیدروگراف رواناب در مدل متداول SCS به طور نسبی بهتر از مدل پیشنهادی است. ه-با توجه به سهولت مدل پیشنهادی در صورت عدم دسترسی به داده های مورد نیاز مدل متداول SCS در صورت برآورد سرعت معادل دبی اوج

### منابع:

- سبزواری، ت.، ر. اردکانیان، ا. شمسایی، ع. طالبی. ۱۳۸۸. تخمین آب نگار سیلاب حوضه های آبخیز بدون آمار با استفاده از شبیه سازی HEC-HMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کسلیان). مهندسی منابع آب، شماره ۴، صفحه ۱۱-۱
- صادقی، س. ح. ر.، م. مهدوی، س. ل. رضوی. ۱۳۸۷. واسنجی ضریب شاخص حداکثر ذخیره و شماره منحنی مدل SCS در حوزه های آبخیز امامه، کسلیان، درجزین و خانمیرزا. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. شماره ۴، صفحه ۲۴-۱۲.
- ر. فضل اولی. ۱۳۸۷. مدل شبیه سازی بارش-رواناب با استفاده از شاخص بارش پیشین، پایان نامه دکتری، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۵۴ صفحه
- کرکوتی، ع.، م. نظریهها، ا. باغوند، ب. جعفری سلیم، ع. کرباسیو. و ثوق. ۱۳۸۹. برآورد مقدار سیلاب حداکثر به روشهای مشاهده ای، کریگر و SCS مطالعه موردی: رودخانه قره سو در کرمانشاه. محیط شناسی، شماره ۵۵، صفحه ۱۱۰-۹۹.
- ملکی نژاد، ح.، م. کوثری. ۱۳۸۷. تجزیه و تحلیل حساسیت و بررسی نسبی اهمیت عوامل موثر بر دبی اوج در روش شماره منحنی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. شماره ۵، صفحه ۴۰-۳۱.
- نوری، ف.، ج. بهمنش، ب. محمدنژاد، ح. رضایی. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل WMS/HEC-HMS در پیش بینی سیلاب حوضه آب ریز قروه. پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی). شماره ۴، ۲۱۰-۲۰۱.
- Adib, A., M. Salarijazi, M. Vaghefi, M. M. Shooshtari, and A. M. Akhondali. 2010. Comparison between GcIUH-Clark, GIUH-Nash, Clark-IUH, and Nash-IUH models. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 34(2), 91-104.
- Adib, A., M. Salarijazi, M. Vaghefi, M., Mahmoodian-Shooshtari, and A. Akhondali, 2011. Comparison between characteristics of Geomorphoclimatic Instantaneous Unit hydrograph produced by GcIUH based Clark model and Clark IUH model. Journal of Marine Science and Technology, 19(2), 201-209.
- Choudhury, P., and J. Nongthombam, 2012. Application of NRCS Model to Watershed Having No Landcover Data. Environmental Management and Sustainable Development, 1(2), p1-13.
- Ghahraman, B. 1995. Flood Forecasting as Affected by Complete Shape of IUH. Iran of Sci. and Tech. 19 (3), 289-300.
- Jeon, J. H., K. J. Lim, and B. A. Engel, 2014. Regional calibration of SCS-CN L-THIA

- model: Application for ungauged basins. *Water*, 6(5), 1339-1359.
- Luxon, N., M., Christopher, and C. Pius, 2013. Validating the Soil Conservation Service triangular unit hydrograph (SCS-TUH) model in estimating runoff peak discharge of a catchment in Masvingo, Zimbabwe. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 5(3), 157-162.
- Majidi, A., M., Moradi, and H. Vagharfard, 2012. Evaluation of Synthetic Unit Hydrograph (SCS) and Rational Methods in Peak Flow Estimation (Case Study: Khoshehaye Zarrin Watershed, Iran). *International Journal of Hydraulic Engineering*, 1(5), 43-47.
- Morgan, P. E., and S. M. Johnson, 1962. Analysis of synthetic unit-graph methods. *Journal of the Hydraulics Division*, 3279, 199-220.
- Mostaghimi, S., and J. K. Mitchell, 1982. Peak Runoff Model Comparison on Central Illinois Watersheds. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 18: 9-13.
- Noori, N., L., Kalin, P., Srivastava, and C. Lebleu, 2012. Effects of Initial Abstraction Ratio in SCS-CN Method on Modeling the Impacts of Urbanization on Peak Flows. In *Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress* (pp. 20-24).
- Pilgrim, D. H. 1976. Travel times and nonlinearity of flood runoff from tracer measurements on a small watershed. *Water Resources Research*, 12(3), 487-496.
- Rodríguez-Iturbe, I., M., González Sanabria, and R. L. Bras, 1982. A geomorphoclimatic theory of the instantaneous unit hydrograph. *Water Resources Research*, 18(4), 877-886.
- Sahoo, B., Chatterjee, C., N. S., Raghuvanshi, R., Singh, and R. Kumar, 2006. Flood estimation by GIUH-based Clark and Nash models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 11(6), 515-525.
- Singh, V. P. 1988. *Hydrologic Systems: Rainfall-runoff modeling*, vol. 1. Englewood Cliffs, Prentice Hall, NJ.
- Singh, V. P., and D. Frevert, 2002. *Mathematical models of small watershed hydrology and applications*. Water resources publications.
- Sorman, A. U. 1995. Estimation of peak discharge using GIUH model in Saudi Arabia. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 121(4), 287-293.
- Sule, B. F., and S. A. Alabi, 2013. Application of synthetic unit hydrograph methods to construct storm hydrographs. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 5(11), 639-647.
- Tessema, S. M., S. W., Lyon, S. G., Setegn, and U. Mörtberg, 2014. Effects of different retention parameter estimation methods on the prediction of surface runoff using the SCS curve number method. *Water resources management*, 28(10), 3241-3254.

## Estimation of Surface Runoff Hydrograph in Ungauged Basin without Land Cover and Land Use Data

Meysam Salarijazi<sup>1</sup>, Khalil Ghorbani<sup>2</sup>, Mohammad Abdolhosseini<sup>2</sup>

### Abstract

The SCS model is one of most important proposed models for estimation of flood hydrograph in ungauged basins and need to land cover, land use, physiographical properties and antecedent moisture data but using this model is limited for basins with no access to these data. In this study, the lag time based on proposed relation between lag time and time of concentration and estimation of time of concentration based on velocity of flood peak is investigated to overcome to this limitation. The results of proposed model are compared with traditional SCS model in four rainfall-runoff events in Amameh basin using percentage error in volume (PEV), percentage error in peak (PEP), percentage error in time to peak (PETP), and root mean square error (RMSE). The results show the mean of PEV, PEP, PETP and RMSE for SCS-Proposed models are (-6.35)-(-6.45), (0.97)-(-48.31), (27.38)-(56.08) and (1.4)-(2.55) respectively. Both models tend to overestimation of runoff volume and underestimation of time to peak while conventional SCS tend to underestimate and proposed model tend to overestimate flood peak. Also, comparisons of RMSE beside other criteria indicate that with lack of required data for SCS model, the proposed model can present relatively estimation of runoff hydrograph acceptable.

**Keywords:** SCS model, Flood, Ungauged Basin, lag time, Time of Concentration.

---

<sup>1</sup>-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Corresponding Author: meysam.salarijazi@gau.ac.ir

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.