نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، ص. ۱۰۹-۹۸

Journal of Water and Soil
Vol. 23, No. 3, Fall 2009, p. 98-109

ارزیابی روش‌های تلفات باران در شبیه سازی هیدروگراف سیل (مطالعه موردی : حوضه آبریز کسیلیان)

حسام سید کابلی*[۱] - علی محمد آخوندعلی [۲]

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۰/۱۴
تاریخ پذیرش: ۸۸/۳/۳۱

چکیده

هدف از تحقیق جاری ارزیابی روش‌های تلفاتی است که بر حجم رواناب و شکل آبنمود تولیدی ناشی از مدل‌های هیدرولوژیکی موثر می‌باشد. در این تحقیق با اعمال روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت (شاخص φ)، تلفات اولیه- پیوسته با نرخ ثابت، تلفات نسبی و SCS در مدل باران-رواناب کلارک، آبنمودهای خروجی ناشی از ۲۴ واقعه رگباری از حوضه آبریز کسیلیان محاسبه گردید. سپس ویژگی‌های آبنمودهای محاسبه شده شامل دبی اوج، حجم رواناب و زمان اوج با همین ویژگی‌ها از آبنمودهای متناظر مشاهده شده، مورد مقایسه و تحلیل آماری قرارگرفتند. ارزیابی آماری تأثیر روش‌های تلفات مذکور بر ویژگی‌های آبنمودهای خروجی با آماره‌های متوسط خطای نسبی پیش بینی، شیب خط برازش، ضریب تعیین (R^2) و متوسط جذر میانگین مربعات خطا، به ترتیب منجر به نتایج برتری نسبی روش SCS، اولیه-پیوسته با نرخ ثابت، پیوسته با نرخ ثابت و نسبی گردید.

واژه‌های کلیدی: روش‌های تلفات باران، کسیلیان، هیدروگراف سیل، کلارک

مقدمه

برنامه ریزی برای مهار و مدیریت سیلابها و حفاظت از کیفیت و نیز بهره برداری مناسب از آنها مستلزم درک صحیح و دقیق از مدلسازی باران-رواناب می‌باشد. مهمترین چالشی که مدل کننده ها با آن روبرو می‌باشند انتخاب مدل باران-روانابی است که بتواند گستره وسیعی از سیلابها را بطور صحیح شبیه سازی کند. از آنجائیکه بکارگیری نوع روش تلفات بر روی شکل هیدروگراف سیل، میزان دبی اوج، حجم رواناب و زمان شروع و خاتمه سیل تأثیر می‌گذارد. لذا ارزیابی روش‌های تلفات از اهمیت خاصی در مدلهای هیدرولوژیکی برخوردار می‌باشد.

چاو و همکاران(۵) روش‌های تلفات باران را به دو دسته کلی تقسیم کردند. دسته اول روش‌هایی است که براساس خصوصیات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی حوضه می‌باشند مانند روش شماره منحنی (CN). دسته دوم روش‌هایی هستند که براساس داده‌های باران-رواناب مشاهداتی حوضه بدست می‌آیند مانند روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت (شاخص φ)، تلفات اولیه-پیوسته با نرخ ثابت، تلفات نسبی. این روش‌ها، بدلیل تغییرات توپوگرافی، خصوصیات حوضه (نظیر پوشش گیاهی و خاک) و باران که برقراری ارتباط میان تلفات و خصوصیات حوضه را دشوار می‌سازد، فرآیندهای مختلف تلفات را ترکیب نموده و به طریق ساده شده‌ای با آنها برخورد می‌نمایند. همچنین این روش‌ها نیازمند واسنجی با داده‌های موجود می‌باشند (۶).

کردری (۶) روش‌های تلفات را در پنج گروه تقسیم بندی نمود: روش تلفات نسبی، تلفات پیوسته با نرخ ثابت (شاخص φ)، تلفات اولیه-پیوسته با نرخ ثابت، منحنی یا معادلات نفوذ و روش شماره منحنی. انتخاب و واسنجی هر یک از این روش‌ها به نوع مسئله، داده‌های در دسترس و فرایند رواناب محتمل وابسته می‌باشد.

در موارد طراحی که معمولاً شامل استفاده از رگبارهای بزرگ که سیلاب‌های محتمل را از تمامی سطح حوضه باعث می‌شوند و همچنین فرایند هورتن حکم فرماست روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت و تلفات اولیه-پیوسته با نرخ ثابت بسیار مناسب می‌باشند. همچنین اگر جریان روزمینی اشباع از یک نسبت ثابت بطور عادلانه از یک حوضه آبخیز اتفاق بیفتد، روش نسبی که شامل ضریب ثابتی از باران است می‌تواند روش مناسبی برای طراحی باشد. روش شماره

۲،۱- به ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه هیدرولوژی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: hesamkaboli@yahoo.com)

منحنی که براساس رابطه بین باران و رواناب می‌باشد در صورت وجود داده‌های کافی جهت تخمین تلفات مناسب است. روش SCS نسبت به انتخاب شماره منحنی و روش تخمین زمان تمرکز بسیار حساس بوده و اغلب نسبت به رواناب‌های مشاهداتی دارای تأخیر می‌باشد. اغلب هیدرومتئولوژیست‌ها از روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت با در نظر گرفتن رابطه بین تلفات اولیه و بارش پیشین استفاده می‌کنند (۶). روش‌هایی که تلفات اولیه را ناچیز شمرده‌اند نسبت به دیگر روش‌ها دبی اوج بیشتری را نسبت به داده‌های مشاهداتی شبیه سازی کرده‌اند (۷). هاروی (۸) نشان دادند که روش نسبی می‌تواند نسبت به روش تلفات پیوسته با نرخ ثابت در جنوب و جنوب غربی استرالیا بویژه در طول فصل زمستان بهتر واقع می‌شود. هیل و همکاران (۹) در تحقیقات خود نشان دادند که مفهوم جریان روی زمینی اشباع با مدل تلفات اولیه–نسبی تطابق دارد. همچنین نتایج این تحقیقات حاکی از آن است که مدل تلفات اولیه–نسبی در پیش بینی صحیح دبی‌های طراحی نسبت به مدل تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت، نتایج ضعیف‌تری را تولید می‌نماید. کنن (۱۰) نشان داد که بهتر است روش تلفات اولیه–نسبی برای حوضه‌های طبیعی و روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت عمدتاً برای حوضه‌های شهری و یا حوضه‌هایی که بخشی از آنها شهری شده‌اند بکار روند. آخوندعلی (۳) دو روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت و تلفات اولیه–نسبی را در تخمین هیدروگراف سیل در حوضه آبریز کریک شرقی واقع در استرالیا مورد ارزیابی قرار داد. میزان دبی اوج هیدروگراف سیل در روش تلفات اولیه–نسبی در مقایسه با روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت حدود ۹ درصد کمتر محاسبه شده است. با این حال تفاوت بین دبی اوج محاسباتی و مشاهداتی در روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت ناچیز می‌باشد. لذا روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت در مقایسه با روش تلفات اولیه–نسبی در برآورد دبی اوج سیل بهتر عمل می‌نماید. همچنین ارتفاع رواناب و زمان رسیدن به دبی اوج در هر دو روش یکسان می‌باشد اما شکل هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی در روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت دارای تطابق بیشتری است. چاهینیان و همکاران (۴) در تحقیقی با استفاده از روش هیدروگراف واحد به ارزیابی چهار مدل نفوذ (فیلیپ ، مورل–سیتوکس، هورتن و SCS) در شبیه سازی ۲۸ رخداد سیل در مقیاس مزرعه‌ای پرداختند. نتایج حاکی از آن است که بطور نسبی مدل SCS کمترین تناسب را در شبیه‌سازی هیدروگراف داراست.

هدف از این مقاله ارزیابی روش‌های تلفات، در برآورد رواناب‌های سطحی حوضه آبریز کسیلیان به مساحت ۶۷/۵ کیلومتر مربع واقع در شمال ایران می‌باشد. انتخاب روش‌های تلفات براساس طبقه بندی انجام شده توسط چاو و همکاران (۵) می‌باشد که شامل: سه مدل تلفات مفهومی یکپارچه ساده (تلفات پیوسته با نرخ ثابت (شاخص φ)، تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت، تلفات نسبی) و روش ساده SCS می‌باشد. این روش‌ها بدلیل تعداد پارامترهای کم و کاربرد گسترده‌شان در مدلهای هیدرولوژیکی مانند HEC-HMS انتخاب شده‌اند (۱۴).

مواد و روش‌ها

روش تلفات اولیه –پیوسته با نرخ ثابت

مفهوم زیربنایی روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت این است که حداکثر تلفات بالقوه باران (f_c) در سراسر یک رخداد ثابت است. به این ترتیب اگر (P_t) عمق باران در طی یک فاصله زمانی t تا $t+\Delta t$ باشد، باران مازاد (Pe_t) در طی همان فاصله زمانی با معادله زیر تعریف می‌شود:

$$Pe_t = \begin{Bmatrix} P_t - f_c & if\ \ P_t > f_c \\ 0 & otherwise \end{Bmatrix} \qquad (۱)$$

تلفات اولیه (I_a) برای نشان دادن میزان تلفات برگاب و چالاب به مدل افزوده می‌گردد. این تلفات قبل از شروع جریان سطحی رخ می‌دهد. بنابراین تا زمانیکه باران انباشته بر ناحیه نفوذپذیر فراتر از حجم تلفات اولیه نشود، هیچ جریان سطحی رخ نمی‌دهد، لذا باران مازاد با معادله زیر توصیف می‌گردد:

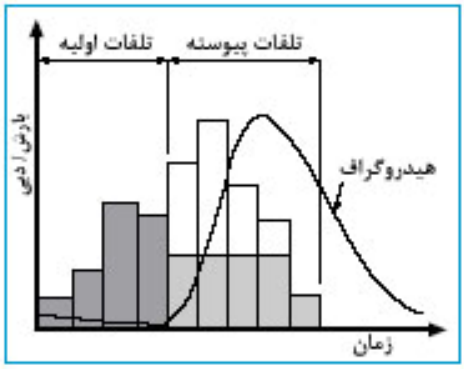
$$Pe_t = \begin{Bmatrix} 0 & if \sum P_t < I_a \\ P_t - f_c & if \sum P_t > I_a \ and \ P_t > f_c \\ 0 & if \sum P_t > I_a \ and \ P_t < f_c \end{Bmatrix} \qquad (۲)$$

روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت در حقیقت شامل یک پارامتر (نرخ ثابت) و یک شرط اولیه (تلفات اولیه) می‌باشد. اینها به ترتیب نشان دهنده خواص فیزیکی خاک‌های حوضه آبریز و کاربری اراضی و شرایط رطوبتی پیشین می‌باشد.

از آنجائیکه نرخ ثابت تلفات پیوسته اندازه گیری نمی‌شود، لذا توصیه می‌گردد که مقدار آن و همچنین میزان تلفات اولیه از طریق واسنجی بدست آید. مفهوم روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت در شکل (۱) بصورت شماتیک نمایش داده شده است.

روش تلفات شماره منحنی SCS

روش شماره منحنی (CN) روشی ساده و مناسب برای پیش‌بینی است. این روش باران مازاد را به عنوان تابعی از باران تجمعی، پوشش خاک، کاربری اراضی و رطوبت پیشین، با استفاده از معادله زیر تخمین می‌زند:



(شکل ۱)- نمایش شماتیک مدل تلفات اولیه –پیوسته با نرخ ثابت (۹)

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \qquad (۳)$$

در حالیکه P_e: باراش مازاد تجمعی تا زمان t؛ P: عمق بارندگی تجمعی تا زمان t؛ I_a: جذب اولیه؛ S: حداکثر پتانسیل نگهداشت؛ معیاری از توانایی حوضه آبریز در جمع کردن و حفظ باران می‌باشد. تا زمانیکه باران تجمعی فراتر از جذب اولیه نباشد، باران مازاد و از اینرو جریان سطحی صفر خواهد بود.

از تحلیل نتایج در بسیاری از حوضه‌های آبریز آزمایشی کوچک، سازمان حفاظت خاک آمریکا یک رابطه تجربی را بین تلفات اولیه و ظرفیت نگهداشت آب در خاک ارائه نموده که بصورت زیر است:

$$I_a = 0.2S \qquad (۴)$$

با قرار دادن این رابطه، در رابطه (۳) معادله بارندگی موثر بصورت زیر در می‌آید.

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad (۵)$$

حداکثر نگهداشت (S) و خصوصیات حوضه از طریق یک واسطه میانی به نام شماره منحنی (CN) به هم مربوط می‌شود. معادله زیر این رابطه را نشان می‌دهد:

$$S = \begin{Bmatrix} \frac{1000 - 10\,CN}{CN} & (in) \\ \frac{25400 - 254\,CN}{CN} & (mm) \end{Bmatrix} \qquad (۶)$$

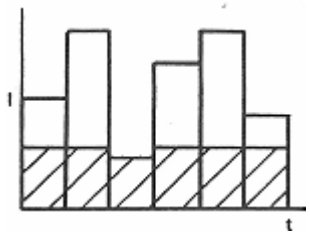
در این رابطه، CN شماره منحنی است که از مقدار ۱۰۰ برای سطوح آزاد آب تا ۳۰ برای خاکهایی که دارای سرعت نفوذپذیری بالائی باشند تغییر می‌کند.

با داشتن مقادیر بارندگی (P) و شماره منحنی حوضه (CN) می‌توان از روی معادلات فوق ارتفاع باران مازاد را بدست آورد. شماره منحنی (CN) برای یک حوضه آبریز می‌تواند به عنوان تابعی از کاربری اراضی، نوع خاک و رطوبت پیشین آبریز، با استفاده از جداول منتشر شده توسط سازمان حفاظت خاک (SCS) تخمین زده می‌شود (۱۲و۱۳). برای آبریزی که متشکل از چندین نوع خاک و کاربری اراضی می‌باشد، یک CN مرکب به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$CN_{composite} = \frac{\sum A_i CN_i}{\sum A_i} \qquad (۷)$$

روش تلفات پیوسته با نرخ ثابت یا شاخص φ

در حوضه‌های آبریز معمولا بدلیل بزرگی مساحت و تغییرات شدیدی که در ظرفیت نفوذ خاکهای نواحی مختلف آن مشاهده می‌شود از ضریب ساده ای به نام شاخص φ استفاده می‌شود. این شاخص معیاری است که مقدار آن در طول مدت بارندگی ثابت فرض می‌شود و نشان دهنده نفوذ پذیری خاکهای حوضه است. شاخص φ نرخ ثابت تلفات باران (cm/hr) می‌باشد که نمایانگر تأثیر توام نفوذ، برگاب و ذخیر سطحی است لذا مقدار آن برابر است با مقدار متوسطی از تلفات آب در طول بارندگی به نحوی که بالاتر از این مقدار متوسط تمامی بارندگی اضافی به رواناب تبدیل شود. مفهوم شاخص φ در شکل (۲) به صورت شماتیک نشان داده‌شده‌است.



(شکل ۲)- نمایش شماتیکی از مدل تلفات پیوسته با نرخ ثابت (شاخص φ) (٦)

اگر فاصله زمانی هیتوگراف باران برابر با Δt و کل زمان باران برابر $M\Delta t$ باشد آنگاه رابطه زیر با فرض برابری ارتفاع باران مازاد

بدست آمده از هیتوگراف باران با عمق رواناب مستقیم حاصله از هیدروگراف سیل نشان دهنده مقدار شاخص φ می‌باشد:

$$r_d = \sum_{m=1}^{M} (R_m - \varphi \Delta t) \qquad (۸)$$

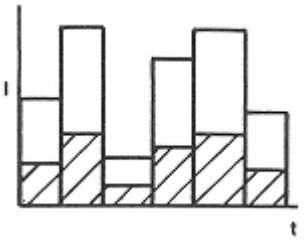
که در آن R_m عمق باران تا فاصله زمانی $m\Delta t$ $(m=1,2,3,\ldots M)$، r_d ارتفاع رواناب حاصله از هیدروگراف جریان سطحی و φ نرخ ثابت تلفات در طول باران می‌باشد.

روش تلفات نسبی

یکی دیگر از روش‌های تلفات، روش تلفات نسبی می‌باشد. این روش براساس اینکه چه نسبتی از باران در هر فاصله زمانی Δt به باران مازاد تبدیل می‌شود، استوار است. در این روش نرخ تلفات ثابت نمی‌باشد و به عمق باران در آن فاصله زمانی وابسته می‌باشد. حال برای اینکه مشخص شود چه درصدی از باران به تلفات تبدیل خواهد شد از مفهوم جریان سطحی استفاده می‌گردد. ضریب رواناب به صورت نسبت رواناب به بارندگی در یک دوره زمانی رخداده تعریف می‌شود. بطور معمول ضریب رواناب برای باران و رواناب در یک رگبار بکار برده می‌شود. همچنین می‌تواند برای باران و جریان آبراهه ای ماهانه یا سالانه استفاده شود. اگر $\sum_{m=1}^{M} R_m$ برابر کل باران و r_d ارتفاع رواناب باشد آنگاه رابطه زیر ضریب رواناب را تعریف می‌کند:

$$C = \frac{rd}{\sum_{m=1}^{M} R_m} \qquad (۹)$$

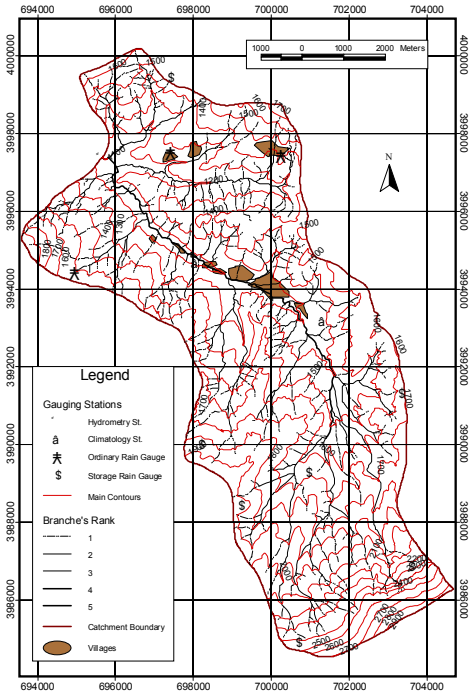
حال با داشتن ضریب جریان سطحی و اعمال آن بر روی هیتوگراف باران، هیتوگراف باران مازاد بدست می‌آید. مفهوم تلفات نسبی در شکل (۳) بصورت شماتیک نمایش داده شده است.



(شکل ۳)- نمایش شماتیکی از مدل تلفات نسبی (٦)

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز معرف کسیلیان دومین حوضه آبریز معرف کشور می‌باشد. این حوضه در بین حوضه‌های اصلی شش گانه ایران در داخل حوضه آبریز دریای خزر قرار گرفته و به این ترتیب معرف مناطق وسیعی از قسمت‌های کوهستانی و جنگلی شمال البرز می‌باشد. موقعیت آن بین عرض‌های جغرافیایی ″۴۵-′۵۸- °۳۵ تا ″۴۵-′۰۷- °۳۶ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۳۰-′۰۱- °۵۳ تا ″۳۰-′۱۷- °۵۳ شرقی واقع شده است. مساحت این حوضه ۶۷/۵ کیلومتر مربع بوده و بین ارتفاعات ۱۱۰۰ تا ۲۹۰۰ متر از سطح آبهای آزاد قرار گرفته است (شکل ۴).



(شکل ٤)- حوضه آبریز معرف کسیلیان

آب و هوای این حوضه نیز با توجه به ضریب اقلیمی دومارتن در گروه بسیار مرطوب و با توجه به ضریب اقلیمی آمبرژه در گروه اقلیم ارتفاعات قرار گرفته‌است. براساس مطالعات خاکشناسی صورت گرفته، نفوذپذیری خاک در سطح حوضه آبریز بطور متوسط بین ۱/۳ تا ۳/۸ میلیمتر در ساعت تخمین زده شده است که طبق طبقه بندی ارائه شده توسط سازمان حفاظت منابع طبیعی ایالات متحده (NRCS) در گروه C قرار گرفته است. پوشش سطحی و کاربری اراضی حوضه آبریز کسیلیان عمدتاً شامل جنگل، مرتع و زمین زراعتی می‌باشد (۱).

گزینش داده ها جهت انجام تحقیق

از میان ۱۳ ایستگاه هواشناسی واقع در این حوضه، چهار ایستگاه ولیک چال، کُله، سنگده و درزیکلا بدلیل کامل بودن آمار بارندگی روزانه در طول دوره آماری ۲۹ ساله (از مهرماه سال ۱۳۴۹ الی مهرماه ۱۳۷۸) جهت استخراج پلی گون تیسن و محاسبه متوسط باران در سطح حوضه انتخاب شده اند.

آمار مربوط به پنج ایستگاه هیدرومتری (ولیک بن)، کلیماتولوژی

(سنگده) و باران سنجی (درزیکلا، ولیک چال و کله) موجود در حوضه بدلیل کامل بودن این آمار در بین تمامی ایستگاه‌های موجود برای دوره آماری به طور دقیق مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. درنتیجه تعداد ۲۴ رخداد باران–رواناب برای واسنجی و صحت سنجی مدلها انتخاب گردید. این رخدادها دارای شرایطی از جمله : مشخص بودن ابتدا و انتهای سیل، انتخاب هیدروگراف‌هایی که دارای زمان پایه و فرم عمومی مشابه یکدیگر می‌باشند؛ همچنین سیلابها باید دارای هیدروگراف باتاج کاملا مشخص باشند زیرا که سیلاب‌های با تاج پهن نشان دهنده تأثیر ذوب برف می‌باشد. بنابراین رخدادها از بین سیلابهای موجود در دوره گرم انتخاب شده اند.

کاربرد مدل HEC-HMS

برای ارزیابی روش‌های تلفات انتخابی ابتدا هیدروگراف سیل ناشی از هیتوگراف باران متناظر شبیه‌سازی‌شده آنگاه این هیدروگراف با هیدروگراف مشاهداتی متناظر مقایسه می‌گردد. در این تحقیق فرآیند شبیه سازی هیدروگراف سیل به‌گونه‌ای است که ابتدا باران مازاد با استفاده از روش‌های تلفات باران انتخابی جدا سپس با بهره گیری از روش هیدروگراف واحد کلارک، هیدروگراف رواناب مستقیم بدست آمده که با افزودن جریان پایه رودخانه‌ای که خود با مدل منحنی افت شبیه سازی شده است، هیدروگراف سیل بدست می‌آید. تمامی این فرآیند توسط مدل HEC-HMS انجام گرفته است.

پارامترهای ورودی به مدل HEC-HMS شامل: هیتوگراف بارش، تخمین اولیه از متغیرهای مربوط به هر روش در فرآیند شبیه سازی و هیدروگراف سیل مشاهداتی می‌باشد. مدل ابتدا با اعمال روش‌های موجود، هیدروگراف سیل را برای ۱۲ رخداد شبیه سازی کرده است، آنگاه با استفاده از هیدروگراف‌های مشاهداتی و روش جستجوی نلدرمید تحت تابع هدف مجموع باقیمانده مربعات، متغیرهای هر روش برای هر واقعه واسنجی شده است. در نهایت برای صحت‌سنجی روش‌ها، با میانگین متغیرهای واسنجی شده به شبیه سازی ۱۲ واقعه رگباری دیگر توسط مدل HEC-HMS پرداخته شده است.

تعیین تخمین اولیه پارامترهای روش‌های تلفات

در روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت، مقدار ارتفاع باران اتفاق افتاده قبل از شروع رواناب به عنوان تخمین اولیه‌ای از مقدار تلفات اولیه به مدل معرفی می‌شود. این مقدار با استفاده از هیتوگراف باران و تفاوت زمانی بین شروع باران و رواناب بدست آمده است. همچنین با استفاده از مطالعات خاکشناسی منطقه و جدول ارائه شده توسط SCS (۱۱) تخمین اولیه نرخ ثابت تلفات پیوسته بطور متوسط برابر ۲/۶ میلیمتر در ساعت برآورد گردیده است.

در روش شماره منحنی (SCS) طبق جدول (۱) و با بکارگیری معادله (۷) مقدار اولیه شماره منحنی (CN) برابر ۷۵/۵ تخمین زده شده است. همچنین تخمین اولیه‌ای از تلفات اولیه با استفاده از معادلات (۴) و (۶) برابر ۱۶/۴ میلیمتر برآورد گردیده است.

در روش تلفات پیوسته با نرخ ثابت یا شاخص φ، تخمین اولیه شاخص با بکارگیری معادله (۸) برای هر داده باران–رواناب بطور جداگانه برآورد گردیده است. در مدل HEC-HMS این روش تلفات بطور مجزا تعریف نشده است. لذا با استفاده از روش تلفات اولیه–پیوسته با نرخ ثابت و با فرض تلفات اولیه صفر به معرفی روش تلفات پیوسته با نرخ ثابت یا شاخص φ به مدل HEC-HMS اقدام شده است.

در روش تلفات نسبی با بکارگیری معادله (۹)، ضریب جریان سطحی برای هر داده باران–رواناب بطور جداگانه‌ای برآوردگردیده است. مدل HEC-HMS فاقد این روش بوده لذا با اعمال ضریب جریان سطحی در هیتوگراف باران متناظر، هیتوگراف باران مازاد به عنوان ورودی مدل لحاظ شده است.

نتایج

ابتدا متغیرهای هر روش بطور جداگانه برای هر یک از ۱۲ واقعه رگباری واسنجی شده است. بطوریکه مقادیر حداکثر، حداقل و میانگین متغیرهای هر روش تلفات انتخابی به شرح جدول (۲) می‌باشد. مقدار میانگین هر متغیر در هر روش به عنوان ورودی به مدل HEC-HMS جهت صحت سنجی آن روش لحاظ گردیده‌است. بنابراین ۱۲ واقعه دیگر با این متغیرها شبیه سازی شده‌اند.

با استفاده از چهار شاخص آماری (میزان خطای نسبی پیش‌بینی، ضریب تبیین R^2، اختلاف نسبت به خط ۴۵ درجه و متوسط جذر میانگین مربعات خطا) هیدروگراف‌های شبیه سازی شده و مشاهده شده از لحاظ دبی اوج، ارتفاع رواناب، زمان رسیدن به دبی اوج و دبی‌های هم عرض مورد مقایسه قرار گرفته اند (جدول ۳). در معادلات ارائه شده در جدول (۳) Xip مقادیر پیش‌بینی‌شده، Xim مقادیر مشاهده شده و a شیب خط برازش می‌باشد. در این معادله مقادیر $a < 1$ نشان دهنده پیش‌بینی کمتر از مقدار واقعی و مقادیر $a > 1$ نشان دهنده پیش‌بینی بیشتر از مقدار واقعی است. همچنین Q_{oij} و Q_{sij} به ترتیب دبی مشاهداتی و محاسباتی در زمان j ام در رخداد سیل i ام، n_i تعداد فاصله زمانی محاسباتی در رخداد i ام و N تعداد هیدروگراف سیل مدلسازی شده می‌باشد. مقادیر شاخصها در جدول (۴) برای هر روش ارائه شده است.

در مرحله واسنجی تمامی روش‌ها با اختلاف بسیار کمی نسبت به هم دبی اوج را برآورد می‌کنند. اما نکته‌ی قابل توجه اینست که تمامی روش‌ها حدود ۱۳ تا ۱۸ درصد دبی اوج را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند.

(جدول ۱)- نوع کاربری اراضی به همراه مساحت و درصد مربوطه در حوضه آبریز معرف کسیلیان

نوع کاربری	مساحت (km^2)	درصد پوشش	CN	CN * (درصد پوشش)/۱۰۰
صخره	۱/۱۳	۱/۶۸	۹۸	۱/۶۵
مناطق روستایی	۰/۹۶	۱/۴۳	۸۲	۱/۱۷
خشک و بدون پوشش	۲/۲۵	۳/۳۳	۹۱	۳/۰۳
زمین مزروعی	۱۷/۷۱	۲۶/۲۳	۸۴	۲۲/۰۳
مرتع	۲/۷۵	۴/۰۸	۷۴	۳/۰۲
جنگل با پوشش فقیر	۲/۶۳	۳/۸۹	۷۷	۳
جنگل با پوشش متوسط	۱/۰۵	۱/۵۶	۷۳	۱/۱۴
جنگل با پوشش خوب	۳۹/۰۲	۵۷/۸	۷۰	۴۰/۴۶
مجموع	۶۷/۵۱	۱۰۰	-	۷۵/۵

(جدول ۲)- پارامترهای واسنجی شده روش‌های تلفات انتخابی

مدل	پارامتر	واحد	حداکثر	حداقل	میانگین
پیوسته(φ)	نرخ تلفات پیوسته	mm/hr	۶/۸	۱/۲	۴/۲
اولیه-پیوسته	تلفات اولیه	mm	۸/۱	۱	۶
	نرخ تلفات پیوسته	mm/hr	۴/۵	۱	۲/۵
نسبی	ضریب جریان سطحی		۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۱۳
SCS	تلفات اولیه	mm	۷/۴	۱/۲	۴/۵
	شماره منحنی		۸۶/۵	۷۴/۳	۸۰/۱

(جدول ۳)- شاخص‌های آماری مورد استفاده

اندازه متوسط خطای نسبی پیش‌بینی	$Ea = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}\frac{\lvert Xip - Xim\rvert}{Xim}$
اختلاف نسبت به خط ۴۵	$Xip = aXim \rightarrow a = \frac{Xip}{Xim}$
متوسط جذر میانگین مربعات خط	$\mathrm{Re}\,latve\,RMSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\sum_{j=1}^{n_i}(Qoij - Qsij)^2}{n_i}\right]^{1/2}$

همچنین از لحاظ برآورد ارتفاع رواناب تمامی روش‌ها با اختلاف بسیار ناچیز نسبت به هم حجم رواناب را برآورد می‌کنند. بطوریکه متوسط خطای پیش بینی در حدود صفر درصد و میزان همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی حدوداً برابر یک می‌باشد. از لحاظ برآورد زمان اوج روش اولیه-پیوسته با نرخ ثابت با متوسط خطای پیش بینی حدود ۴/۸ درصد دارای کمترین خطا و روش نسبی با متوسط خطای تقریبی ۲۴ درصد بیشترین خطای پیش بینی را داراست. روش‌های پیوسته با نرخ ثابت (φ)، اولیه-پیوسته با نرخ ثابت و نسبی حدود یک تا دو درصد زمان اوج را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند؛ در حالیکه مدل SCS زمان اوج را ۷ درصد بیش از مقدار واقعی شبیه سازی می‌کند. بالاترین میزان همبستگی به میران ۰/۹۹ مربوط به روش‌های اولیه-پیوسته با نرخ ثابت، SCS و پیوسته با نرخ ثابت (φ) می‌باشد.

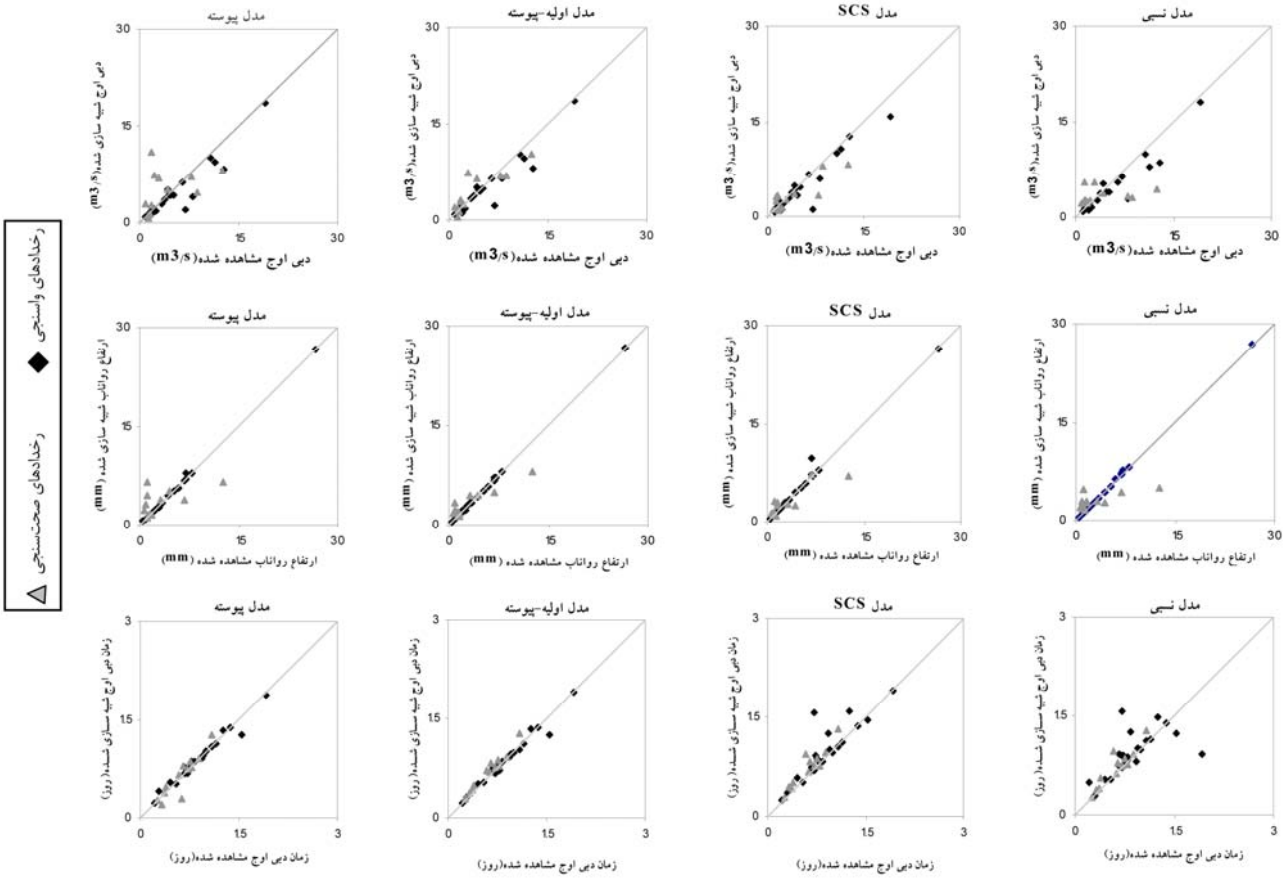
در مرحله صحت سنجی بیشترین و کمترین متوسط خطای نسبی پیش‌بینی دبی اوج هیدروگراف سیل به ترتیب مربوط به روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت (φ) و SCS می‌باشد. روش SCS با متوسط خطای تقریبی ۴۸ درصد دبی اوج را ۲۹ درصد کمتر از دبی اوج واقعی برآورد می‌کند.

(جدول ٤)- مقادیر متوسط خطای نسبی پیش بینی، اختلاف نسبت به خط ٤٥ درجه و ضریب همبستگی مدلها در برآورد دبی اوج، ارتفاع رواناب و زمان اوج

پارامتر مورد ارزیابی	شاخص آماری	مرحله	روش‌های تلفات			
			پیوسته	اولیه-پیوسته	SCS	نسبی
دبی اوج	Ea	واسنجی	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۹
		صحت سنجی	۱/۱۴	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۸۲
	R^2	واسنجی	۰/۹۵	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶
		صحت سنجی	۰/۶	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۵۷
	A	واسنجی	۰/۸۴	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۸۲
		صحت سنجی	۰/۸۵	۰/۹۴	۰/۷۱	۰/۵
ارتفاع رواناب	Ea	واسنجی	۰/۰۳	۰/۰۱۳	۰/۰۳	۰/۰۲۶
		صحت سنجی	۱/۲۵	۰/۷۲	۰/۵۳	۰/۹۹
	R^2	واسنجی	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
		صحت سنجی	۰/۶۲	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۶۴
	A	واسنجی	۱/۰۰۵	۱/۰۰۳	۱/۰۱	۱/۰۱
		صحت سنجی	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۵۶
زمان رسیدن به دبی اوج	Ea	واسنجی	۰/۰۶۸	۰/۰۴۸	۰/۱۴۷	۰/۲۴
		صحت سنجی	۰/۱ ۶	۰/۱۴	۰/۲۰۲	۰/۱ ۶۲
	R^2	واسنجی	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۸۹
		صحت سنجی	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۸	۰/۹۸
	A	واسنجی	۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۰۷	۰/۹۸
		صحت سنجی	۱ /۰۴۷	۱ /۱۲	۱/۱۷	۱ /۱۴
دبی‌های هم عرض	RMSE	واسنجی	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۶۴	۰/۶
		صحت سنجی	۱/۴	۱/۰۶	۰/۸	۱/۱۶

همچنین میزان همبستگی آن حدود ۰/۸۸ بوده که نشان دهنده برازش مناسب بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه سازی شده می‌باشد. روش اولیه-پیوسته با نرخ ثابت در برآورد دبی اوج مشابه SCS بوده بطوریکه متوسط خطای پیش‌بینی آن حدود ۴ درصد بیشتر از SCS است این در حالی است که با میزان همبستگی ۰/۸۸ تنها ۶ درصد کمتر از مقدار واقعی دبی اوج را برآورد می‌کند. بدترین رابطه برازشی با میزان همبستگی ۰/۵۷ مربوط به روش نسبی می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین متوسط خطای نسبی پیش‌بینی ارتفاع رواناب به ترتیب مربوط به روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت (φ) و SCS می‌باشد. مدل SCS با متوسط خطای تقریبی ۵۳ درصد ارتفاع رواناب را ۲۹ درصد کمتر از ارتفاع رواناب مشاهده شده برآورد می‌کند. همچنین میزان همبستگی آن بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه سازی شده حدود ۰/۸۵ می‌باشد. البته روش اولیه-پیوسته با نرخ ثابت از لحاظ برازشی بسیار مشابه SCS بوده با این تفاوت که حدود ۲۰ درصد بیش از روش SCS در برآورد ارتفاع رواناب دچار خطا می‌شود. دو روش پیوسته با نرخ ثابت (φ) و نسبی دارای بدترین رابطه برازشی در برآورد ارتفاع رواناب می‌باشند. از لحاظ زمان اوج کمترین و بیشترین متوسط خطای نسبی پیش‌بینی زمان اوج هیدروگراف سیل به ترتیب مربوط به روش‌های تلفات اولیه-پیوسته با نرخ ثابت و SCS می‌باشد. روش اولیه-پیوسته با نرخ ثابت با متوسط خطای تقریبی ۱۴ درصد زمان اوج را ۱۲ درصد بیش از زمان اوج واقعی برآورد می‌کند. همچنین میزان همبستگی آن بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده حدود ۰/۹۹ می‌باشد. تفاوت ۴ درصدی متوسط خطای بیش‌بینی زمان اوج و همچنین تغییرات ۰/۹۹ تا ۰/۹۸ ضریب تعیین در بین روش‌ها نشان دهنده تفاوت بسیار کم آنها در برآورد زمان اوج نسبت بهم می‌باشد. البته تمامی روش‌ها در مقایسه با هم با تفاوتی حدود ۱۲ درصد نسبت به یکدیگر زمان اوج را بیش از مقدار واقعی آن برآورد می‌کنند. باتوجه به جدول(۴) روش تلفات SCS بهترین برازش را بین هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده برقرار می‌سازد. به عبارتی SCS در شبیه سازی هیدروگراف سیل دارای کمترین خطا می‌باشد.

شکل (۵) نحوه توزیع خطا را نسبت به خط ۴۵ درجه نشان می‌دهد. همچنین در شکلهای (۶a) و (۶b) هیدروگراف سیل شبیه سازی در دو مرحله صحت‌سنجی و واسنجی ارائه شده است.



(شکل ۵)- نحوه توزیع خطای برآورد دبی اوج، ارتفاع رواناب و زمان اوج در رخدادهای واسجی و صحت سنجی نسبت به خط ٤٥ درجه

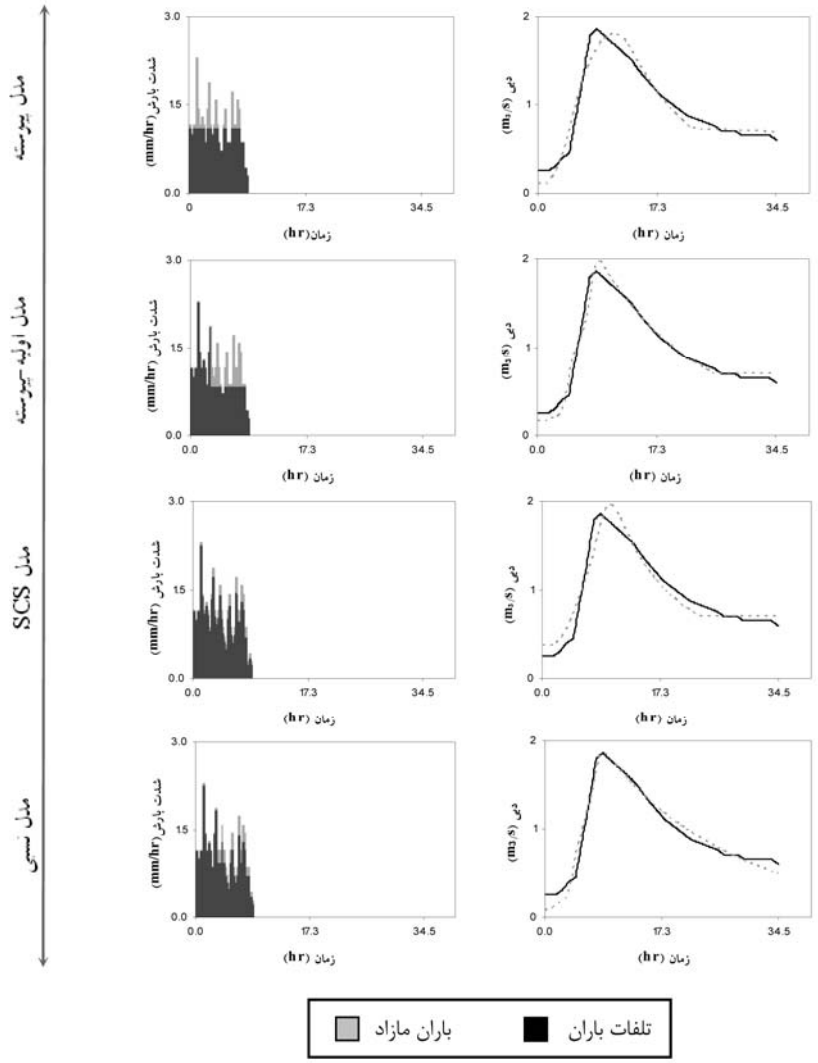
بحث و نتیجه گیری

در مرحله واسنجی روش اولیه-پیوسته با نرخ ثابت نسبت به دیگر روش‌ها بهترین برازش را بین داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده برقرار می‌سازد. همچنین روش‌های پیوسته با نرخ ثابت (φ) و نسبی دارای ضعیف‌ترین کارایی می‌باشند.

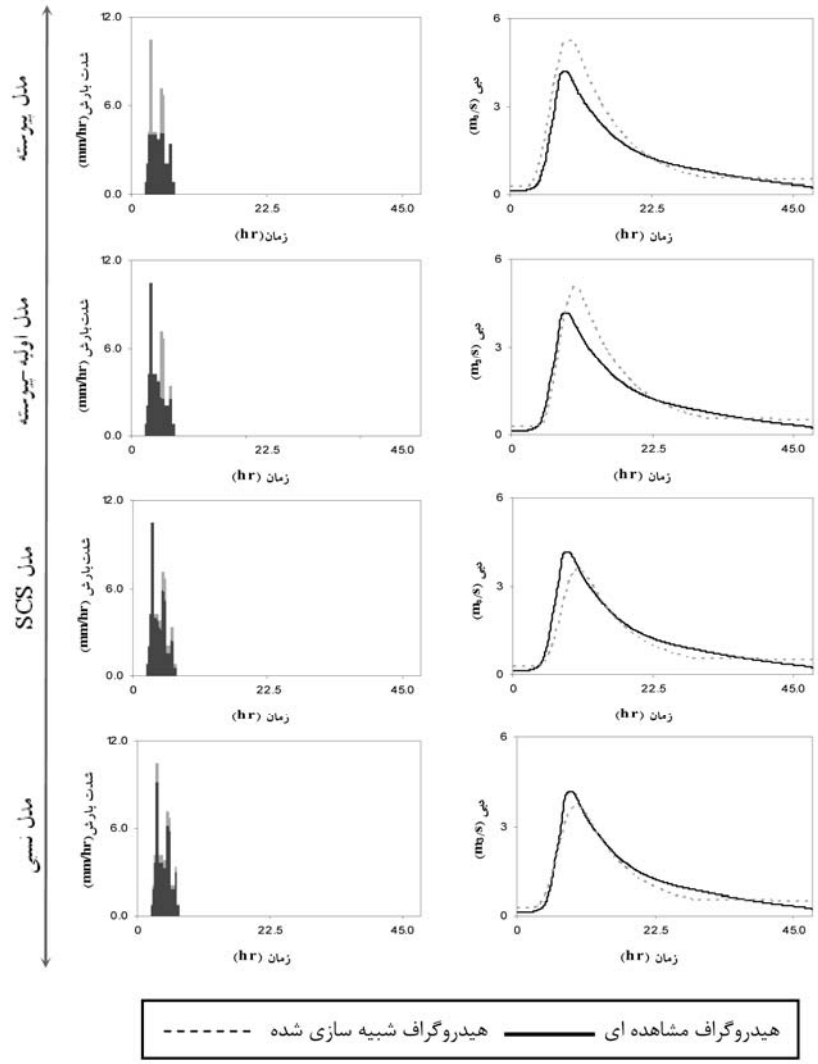
روش SCS از لحاظ برآورد دبی اوج هیدروگراف سیل و ارتفاع رواناب ناشی از باران مازاد نسبت به دیگر روش‌ها دارای کمترین خطای پیش‌بینی می‌باشد. در مقابل روش پیوسته با نرخ ثابت (φ) بیشترین خطا را داراست. این موضوع نشان می‌دهد روش SCS در برآورد باران مازاد بهتر عمل می‌کند. دلیل این امر بنا نهاده شدن این روش براساس مفاهیم چگونگی نفوذ آب در خاک می‌باشد. دو روش نسبی و پیوسته با نرخ ثابت (φ) بدلیل متکی بودن به داده‌های باران-رواناب به شدت وابسته به واسنجی می‌باشند. بنابراین خطای اینگونه روش‌ها بسیار بالا می‌باشد. مطالعات کردری (۶) این موضوع را نیز تایید می‌کند.

مطابق مطالعات فلاول و بلستید (۷) روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت و نسبی به دلیل نادیده گرفتن تلفات اولیه باران دبی اوج بیشتری را نسبت به دیگر روش‌ها برآورد می‌کنند. برخلاف تحقیقات هاروی و همکاران (۸) روش نسبی در حوضه مورد مطالعه نسبت به روش تلفات پیوسته با نرخ ثابت نتایج ضعیف‌تری را تولید می‌کند. این موضوع نشان می‌دهد که موقعیت جغرافیایی و شرایط موجود در منطقه در نتایج حاصله از روش‌های تلفات بسیار موثر می‌باشد.

در برآورد زمان اوج نوع روش‌های تلفات تأثیر چندانی ندارند البته روش‌هایی که به شرایط نفوذ و تلفات اولیه توجه دارند دارای کمترین خطا می‌باشند. روش‌های اولیه-پیوسته با نرخ ثابت و SCS جزء اینگونه روش‌ها هستند. روش نسبی بدلیل وابستگی شدید به توزیع زمانی شدت باران دارای بالاترین خطا در برآورد زمان اوج هیدروگراف سیل می‌باشد. کمترین میزان RMSE مربوط به روش SCS است. بنابراین مدل SCS در برآورد دبی‌های هم عرض دارای بهترین برازش می‌باشد. در نهایت رخدادهایی که با روش تلفات SCS شبیه سازی شده‌اند بهترین برازش را با شرایط واقعی دارا می‌باشند.



(شکل٦a)- مقایسه روش‌های تلفات در شبیه سازی هیدروگراف سیل در مرحله صحت سنجی (واقعه رگباری ٦٢/٧/٢٠)



(شکل٦b)- مقایسه روش‌های تلفات در شبیه سازی هیدروگراف سیلدر مرحله واسنجی (واقعه رگباری٦٦/٨/١٦)

منابع

۱- روزخش ب. ۱۳۷۵. کاربرد GIS در سیستم‌های هشدار دهنده سیل و تعیین پهنه‌های خطر سیل در حوضه آبخیز معرف کسیلیان. پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ۹۶ص.

۲- فضل اولی ر. ۱۳۸۵. مدل شبیه سازی بارش-رواناب با استفاده از شاخص بارش پیشین مطالعه موردی: حوضه‌های آبریز کسیلیان و امامه. پایان نامه دکتری، رشته هیدرولوژی و منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۵۲ص.

3- Akhoond-Ali A.M. 1992. An examination of alternate loss models for flood estimation. M.Sc. Thesis, School of Civil Engineering, New South wales university, pp 95.

4- Chahinian N., Moussa R., Andrieux P., and Voltz M. 2005. Comparison of infiltration models to simulate flood events as the field scale. Journal of Hydrology 306:191-214.

5- Chow V.T., Maidment D.R., and Mays L.W., 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York, NY.

6- Cordery I., 1987. Storm losses and design rainfall excess. In: Australian Rainfall and Runoff, a Guide to Flood Estimation. Institution of Engineers, Australia, pp. 117-126.

7- Flavell D.J., and Belstead B.S. 1986. Losses for design flood estimation in W.A. Hydrol. and Water Resources Symposium, Inst. Engrs Aust., Natl. Conf. Publ., No. 86/13, pp. 203-208.

8- Harvey R.A. 1982. Estimation of the probable maximum flood-Western Australia. Proc. Of Workshop on Spillway Design, Dept of Natl Devel. And Energy, Aust. Water Resources Council, Conf. Series, No. 6, pp. 157-176.

9- Hill P., Mein R., and Siriwardena L. 1998. How much rainfall becomes runoff? Loss modeling for flood

estimation. Cooperative Research Center for Catchment's Hydrology, Report 98/5, Victoria, Australia, 23pp.
10- Kenan D. 2001. The application of runoff routing B model on the Upstream of the Huai River Basin. M.Sc. Thesis, IHE, Delft, the Netherland, 80pp.
11- Skaggs R.W., and Khaleel R. 1982. Infiltration, Hydrologic modeling of small watersheds. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI.
12- Soil Conservation Service .1986. Urban hydrology for small watersheds, Technical Release 55. USDA, Springfield, VA.
13- Soil Conservation Service. 1971. National engineering handbook, Section 4: Hydrology. USDA, Springfield, VA.
14- US Army Corps of Engineers. 2000. Hydrologic modeling system HEC-HMS: Technical Reference Manual. Hydrologic Engineering Center, USA.

Journal of Water and Soil
Vol. 23, No. 3, Fall 2009, p. 98-109

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، ص. ۱۰۹-۹۸

Evaluation of Loss Methods to Simulate flood events

(Case study: Kasilian Basin)

H. Seyyed Kaboli[1]* - A. M. Akhond-Ali[2]

Abstract

The aim of this study, is to evaluate the effect of loss methods application on run-off volume and hydrograph shape used by hydrologic models. In this research, four loss methods including constant loss (φ index), initial loss-loss rate, SCS and constant fraction approach were applied to be evaluated. To do this, Clark Rainfall-Runoff model was applied for 24 storm events from kasilain basin. Then, the characteristics of calculated hydrographs were compared with the same characteristics of the same observed hydrographs. The result of statistical analysis showed that methods of SCS, initial loss-loss rate, constant loss (φ index) and constant fraction loss have relative advantage respectively to be used for the mentioned basin.

Key words: Loss methods, Kasilian, Flood Hydrograph, Clark

1,2- Ph.D Student and Associate Professor, Department of Hydrology, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran, Respectively
(*- Corresponding author Email: hesamkaboli@yahoo.com)