

ارزیابی رابطه SCS در تعیین تلفات اولیه باران در حوضه آبریز دالکی

رضا محمدی مطلق*، نوید جلال کمالی و امیر جلال کمالی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۴

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی رابطه تلفات اولیه باران (Ia) در حوضه‌های آبریز است که توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) ارائه شده است. بدین منظور حوضه آبریز دالکی در جنوب غرب ایران مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از GIS، مدل ریاضی HMS و تعدادی وقایع بارش - رواناب اتفاق افتاده در منطقه، ضمن واسنجی برخی از فرانسج‌ها از قبیل شماره منحنی (CN)، تلفات اولیه باران و ضرایب ماسکینگام (X و K)، مدل بارش - رواناب حوضه مورد نظر از طریق دو الگوریتم جستجوی شیب تک متغییر و نلدر و مید تهیه گردید. نتایج اولیه پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم شیب تک متغییر در مرحله واسنجی و اعتباریابی مدل از دقت بهتری نسبت به الگوریتم نلدر و مید برخوردار می‌باشد. در ادامه با استفاده از فرانسج‌های شماره منحنی و تلفات اولیه باران واسنجی شده به روش الگوریتم جستجوی تک متغییر، ضریب بین تلفات اولیه باران با پتانسیل نگهداشت سطحی آب در هر یک از زیر حوضه‌ها تعیین شد. نتایج حاصل از این مرحله از پژوهش نشان می‌دهد که حداقل، حداکثر و میانگین این ضرایب به ترتیب برابر با ۰/۱۳، ۰/۴۳ و ۰/۱۹ می‌باشد که حاکی از دقت بالای رابطه ارائه شده توسط SCS $Ia=0.2S$ در تعیین تلفات اولیه باران در حوضه‌های آبریز است. بنابراین در انجام فرآیندهای مدل‌سازی بارش - رواناب در این حوضه آبریز می‌توان به رابطه تلفات اولیه باران ارائه شده توسط SCS اعتماد داشت.

واژه‌های کلیدی: مدل بارش - رواناب، واسنجی، اعتباریابی، الگوریتم جستجو، ارزیابی تلفات اولیه باران

۱. گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: rezamohammadimotlagh@gmail.com

مقدمه

برنامه‌ریزی برای مهار و مدیریت سیلاب‌ها و حفاظت از کیفیت و نیز بهره‌برداری مناسب از آنها مستلزم درک صحیح و دقیق از مدل‌سازی باران - رواناب می‌باشد. مهم‌ترین چالشی که مدل‌کننده‌ها با آن روبه‌رو می‌باشند انتخاب مدل باران - روانابی است که بتواند گستره وسیعی از سیلاب‌ها را به‌طور صحیح مدل‌سازی کند. از آنجایی که به‌کارگیری نوع روش تلفات بر روی شکل آب نگار سیل، میزان دبی اوج، حجم رواناب و زمان شروع و خاتمه سیل تأثیر می‌گذارد. بنابراین ارزیابی روش‌های تلفات از اهمیت خاصی در مدل‌های هیدرولوژیکی برخوردار می‌باشد (۱۱). روش‌های تلفات باران را به دو دسته کلی تقسیم کردند. دسته اول روش‌هایی است که بر اساس خصوصیات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی حوضه می‌باشند مانند روش شماره منحنی (CN). دسته دوم روش‌هایی هستند که بر اساس داده‌های باران - رواناب مشاهداتی حوضه به‌دست می‌آیند مانند روش‌های تلفات پیوسته با نرخ ثابت شاخص (Φ) ، تلفات اولیه - پیوسته با نرخ ثابت، تلفات نسبی. همچنین این روش‌ها نیازمند واسنجی با داده‌های موجود می‌باشند. می‌توان روش‌های تلفات باران را در پنج گروه تقسیم‌بندی 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 (۱۲). انتخاب و واسنجی هر یک از این روش‌ها به نوع مسئله، داده‌های در دسترس وابسته می‌باشد. روش شماره منحنی که بر اساس 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 (۱۲).

روش‌هایی که تلفات اولیه را ناچیز شمرده‌اند نسبت به دیگر روش‌ها دبی اوج بیشتری را نسبت به داده‌های مشاهداتی

مدل‌سازی کرده‌اند (۱۳). هاروی نشان داد که روش نسبی می‌تواند نسبت به روش تلفات پیوسته با نرخ ثابت در جنوب و جنوب غربی استرالیا به‌ویژه در طول فصل زمستان دقیق‌تر عمل کند (۱۴). هیل و همکاران در پژوهش‌های خود نشان دادند که مفهوم جریان روی زمینی اشباع با مدل تلفات اولیه - نسبی تطابق دارد. همچنین نتایج این پژوهش‌ها 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 حاصل می‌نماید (۱۷). کنن 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 به‌کار روند (۱۶). آخوند علی دو روش تلفات اولیه - پیوسته با نرخ ثابت و تلفات اولیه - نسبی را در تخمین آب نگار سیل در حوضه آبریز کریک شرقی واقع در استرالیا مورد ارزیابی قرار داد. میزان دبی اوج آب نگار 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. بنابراین 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 آب نگارهای محاسباتی و مشاهداتی در روش تلفات اولیه - پیوسته با نرخ ثابت دارای تطابق بیشتری است (۱۰).

نشاط و صدقی چگونگی نتایج حاصل از برآورد مشخصه تبدیل بارندگی به بارندگی مازاد تحت عنوان شماره منحنی (CN) با دو روش مختلف را در حوضه آبریز باغ ملک خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. یکی از روش‌های برآورد (CN) استفاده از شاخص‌های خاک و پوشش گیاهی سطحی و روش دیگری استناد به مشاهدات و شرایط هیدرولوژیکی مرتبط با وقوع سیلاب برآوردی از روش CN بود. آنان با استفاده از

منحنی، میزان جذب اولیه و زمان تأخیر را برای هر زیرحوضه بهینه نمودند. سپس با برآورد نمودن دبی پیک هر زیرحوضه، زیرحوضه‌ای که بیشترین دبی را دارد را به عنوان زیرحوضه بحرانی جهت عملیات کنترل سیل معرفی کردند (۵).

ثقفیان و فرامرزو حوضه آبریز سد گلستان را به ۲۱ زیر حوضه تقسیم کردند. و با استفاده از مدل HEC-HMS و ۳ ایستگاه آسنجی به واسنجی و ارزیابی مدل بارش- رواناب پرداختند و سپس با استفاده از روش حذف انفرادی زیرحوضه‌ها اقدام به اولویت‌بندی آنها نمودند. آنها نتیجه گرفتند که لزوماً زیرحوضه‌ای که مساحت بزرگ‌تر و دبی اوج بیشتری داشته باشد، در سیل خروجی کل حوضه تأثیر بیشتری ندارد بلکه اثر متقابل عوامل موثر مانند موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و نقش روندیابی در رودخانه اصلی نیز می‌تواند نقش مهمی داشته باشد (۲).

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی رابطه ارائه شده توسط SCS در مورد تلفات اولیه باران در حوضه آبریز دالکی در جنوب غربی می‌باشد.

منطقه مورد بررسی

حوضه آبریز دالکی یکی از زیر حوضه‌های خلیج فارس و دریای عمان است که مابین استان‌های فارس و بوشهر واقع شده است. این حوضه از طرف شمال به حوضه آبریز شاپور، از غرب به ادامه حوضه دالکی در استان بوشهر) از جنوب به رودخانه شور فیروزآباد و از شرق به حوضه آبریز قره آغاج واقع شده است. مساحت سطح آبریز این حوضه تا بالادست ایستگاه هیدرومتری چم چیت واقع در استان فارس) در حدود ۳۹۰۰ کیلومتر مربع است که مرتفع‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۲۹۰۰ متر در کوه باهیم و پست‌ترین نقطه آن با ارتفاع ۵۴۵ متر از سطح دریا در ایستگاه هیدرومتری چم چیت می‌باشد. رودخانه اصلی آن، رودخانه دالکی می‌باشد که یکی از دو شاخه عمده رودخانه حله بوده و بخش خاوری حوضه آبریز رودخانه حله را تشکیل می‌دهد. وقتی رودخانه جره و شاخه دیگری به

پدیده " بارندگی- سیلاب" مشاهداتی نسبت به واسنجی مدل HEC-HMS اقدام و به وسیله آن (CN) محاسبه شد که نتایج محاسبه از روش شماره منحنی، توسط مدل گفته شده با نتایج شماره منحنی دیده شده سازگاری نشان داده است (۹).

حسینی و همکاران برای مدلسازی بارش- رواناب حوضه آبریز زیارت گرگان از مدل HEC-HMS استفاده کردند. آنان چهار رگبار مشاهده‌ای به همراه چهار سیل همزمان در خروجی حوضه را انتخاب و پس از آن با بهینه‌سازی فراسنج‌های شماره منحنی، تلفات اولیه و زمان تأخیر بر اساس ۳ هیدروگراف مشاهده‌ای مدل واسنجی و با استفاده از هیدروگراف مشاهده‌ای دیگر مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان از برازش مناسب هیدروگراف مشاهده‌ای و هیدروگراف شبیه سازی شده دارد و اختلاف زمانی در رسیدن به اوج نیز کمتر از نیم ساعت برآورد گردید (۳).

رادمنش و همکاران برای مدلسازی بارش- رواناب حوضه آبریز رود زرد واقع در جنوب غربی ایران از مدل HeC-HMS استفاده کردند. آنان شش رگبار مشاهده‌ای به همراه شش سیل همزمان در خروجی حوضه را انتخاب و پس از آن با بهینه سازی فراسنج‌های شماره منحنی، تلفات اولیه و زمان تأخیر بر اساس ۳ هیدروگراف مشاهده‌ای مدل واسنجی و با استفاده از ۳ هیدروگراف مشاهده‌ای دیگر مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق، حاکی از برازش مناسب دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف‌های شبیه سازی شده بود. اختلاف زمانی در رسیدن به اوج هیدروگراف نیز در تمام موارد بررسی شده، مساوی و یا کمتر از یک ساعت برآورد گردید (۴).

سلیمانی ساردو و همکاران برای شبیه‌سازی جریان حوضه سد جیرفت از مدل HEC-HMS استفاده کرد. ایشان حوضه ۵۰۰ هزار هکتاری به ۴۳ زیرحوضه تقسیم کرده و با استفاده آبنمودهای ثبت شده در ایستگاه آسنجی کنارویه به واسنجی و ارزیابی مدل پرداختند. ایشان یک واقعه را برای واسنجی و یک واقعه را برای ارزیابی انتخاب کردند و فراسنج‌های شماره

تقریباً خطی فرض نموده و به صورت رابطه ۲ پیکربندی کرده است.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad [2]$$

که در آن S حداکثر پتانسیل نگهداشت حوضه است. نگهداشت واقعی به صورت رابطه ۳ است.

$$F = (P - I_a) - Q \quad [3]$$

با جای گذاری رابطه ۳ در رابطه ۲ و حل، رابطه ۴ بر حسب Q به دست می آید.

$$Q = P_n = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad [4]$$

شکل ۲ رابطه بین P، Q، F و I_a را نشان می دهد.

در رابطه ۴ دو عامل S و I_a مجهول اند، تحقیقاتی که SCS انجام داده است، دامنه تغییرات I_a را بین ۰/۱S تا ۳S /۰ با متوسط S = ۰/۲ I_a به دست آورده و این متوسط را در سطح جهان پیشنهاد کرده است. توجه شود که I_a = ۰/۲S یک مرز متوسط است و بنابراین، امکان تفاوت با این مرز در شرایط هیدرولوژیکی کاملاً وجود دارد. تنها در صورت وجود آمار طولانی مدت از بارش و رواناب در یک منطقه می توان نسبت به واسنجی این مرز اقدام کرد. نهایتاً رابطه ۵ برای تخمین بارش مازاد توسط SCS پیشنهاد شده است که می توان به کمک آن باران خالص یا رواناب حاصل از یک رگبار را با دانستن S و با فرض I_a = ۰/۲S به دست آورد.

$$Q = P_n = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad [5]$$

$$P > 0.2S \quad P < 0.2S \quad Q = 0$$

SCS برای محاسبه S راه حلی پیشنهاد کرده است. این سازمان برای هر حوضه و از روی مشخصات خاک، پوشش گیاهی، نوع استفاده و مدیریت کشت عددی بی بعد به نام شماره منحنی (CN) را پیشنهاد کرده که پس از محاسبه آن و به کمک رابطه ۶ می توان S را به دست آورد (۱):

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \times 25 / 4 \quad [6]$$

نام شور جره در دشت جره به یکدیگر پیوستند و کمی بعد رودخانه فراشید به آنها ملحق شد، رودخانه ای به نام دالکی تشکیل می شود.

مواد و روش ها

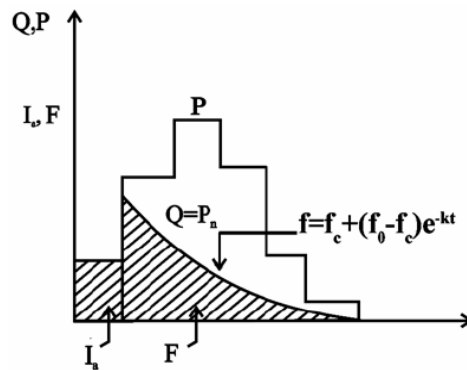
۱. بنیان ریاضی روش SCS

هر رگبار در برآورد رواناب سطحی به دو مولفه تلفات و جریان سطحی رواناب یا باران خالص) تفکیکی می شود. جنس زمین، شیب، پوشش گیاهی و رطوبت اولیه خاک به ویژه در اراضی آبیاری از عوامل تأثیرگذار بر تشکیل رواناب هستند. متخصصین هیدرولوژی معتقد هستند که در حوضه های کوچک طبیعی رواناب حاصل از یک رگبار مستقل از رگبارهای قبلی است، اما از آبیاری اراضی مستقل نیست. معمولاً این اعتقاد در طراحی ها به کار می رود. سازمان حفاظت خاک آمریکا روشی را با در نظر گرفتن این عوامل و مطالعات جامع طی سال های متمادی برای برآورد رواناب ارائه داده است که به روش SCS معروف است.

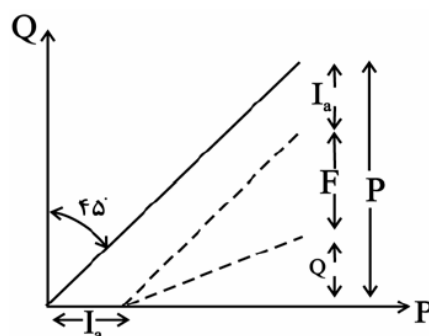
در روش SCS کل تلفات به دو بخش اولیه و ثانویه تقسیم شده است. مجموع سه تلفات گیرش گیاهی، اشباع خاک و پر شدن چاله ها که مستقل از زمان است به تلفات اولیه (I_a) معروف است. زیرا این عوامل در ابتدای بارش فعال اند. نفوذ عمقی را تلفات ثانویه یا نگهداشت واقعی می نامند و تابعی از زمان است. طبق رابطه ۱، تفاضل ارتفاع کل رگبار (P) از مجموع دو تلفات اولیه و ثانویه (F + I_a) را مساوی باران خالص (P_a) یا رواناب (Q) فرض می کنند. شکل ۱ این عوامل را به تصویر کشیده است. شایان ذکر است که تبخیر و حرکت زیر پوسته ای نیز وجود دارد که اغلب از آن ها صرف نظر می شود، مگر در حوضه هایی که این دو عامل مهم باشند.

$$Q = P_n = P - (F + I_a) \quad [1]$$

SCS پس از مطالعات فراوان روی رگبارها (P) و جریان سطحی ناشی از آنها (P_n یا Q)، رابطه بین این دو را



شکل ۱. تفکیک باران (P) به سه مولفه تلفات اولیه (I_a)، تلفات ثانویه (F) و رواناب (P_n=Q) (۱۷)



شکل ۲. رابطه بین عوامل مختلف رگبار در روش SCS (۱۷).

۳. مبانی هیدرولوژیکی مدل HEC-HMS

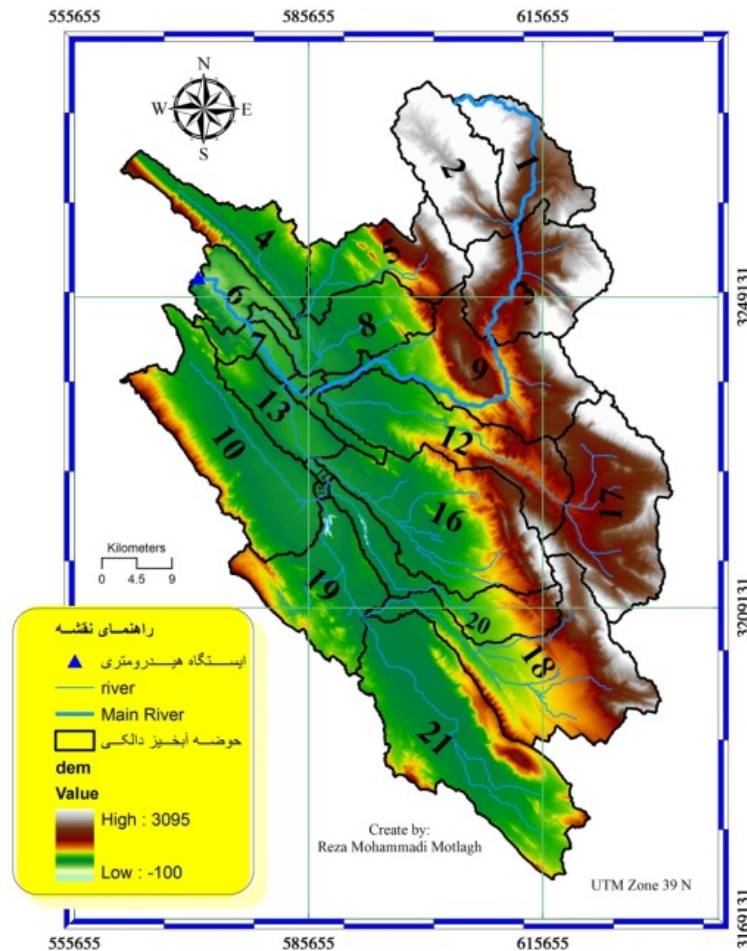
مدل HEC-HMS شامل روش‌های بسیاری در تحلیل فرآیند بارش- رواناب برای محاسبه تلفات، روندیابی رودخانه، تبدیل بارش- رواناب و جداسازی جریان پایه است. در این پژوهش روش SCS انجمن حفاظت خاک آمریکا) برای مدل‌سازی آب نگار سیلاب انتخاب گردید. دو فراسنج عدد منحنی و زمان تأخیر از جمله فراسنج‌هایی هستند که در مدل SCS به‌کار گرفته می‌شود. برای تخمین اولیه زمان تأخیر زیر حوضه‌ها از رابطه ۷ استفاده شد.

$$t_l = \frac{L^{0.8} [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900S^{0.5}} \quad [7]$$

که در آن CN عدد منحنی، L طول حوضه بر حسب فوت و S شیب حوضه می‌باشد (۶). زمان تأخیر برای کلیه زیر حوضه‌ها محاسبه گردید و به مدل SCS برنامه مزبور انتقال داده شد. همچنین برای تخمین اولیه تلفات باران و حداکثر پتانسیل

۲. استخراج خصوصیات فیزیوگرافی زیر حوضه‌ها

در این پژوهش، مدل گیتاشناسی حوضه ی آبریز دالکی با به‌کارگیری مدل ارتفاعی رقومی و الحاقیه HEC-Geo-HMS مشخص گردید. بر اساس مدل ارتفاعی رقومی، ابتدا لایه‌های جهت جریان، تجمع جریان و شبکه آبراهه‌های حوضه مزبور ترسیم شد. در مراحل بعدی، به بی گوشه‌بندی حوضه پرداخته شد که در نهایت در مرحله انبوهش زیر حوضه‌ها، حوضه آبریز دالکی به ۲۱ زیر حوضه تقسیم شد که در شکل ۳ قابل مشاهده است. نقشه شماره منحنی نیز از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک در محیط GIS تهیه شد. با محاسبه داده‌های مربوط به عدد منحنی و مساحت زیر حوضه‌ها در محیط GIS می‌توان شبه کل حوضه را در برنامه HEC-HMS ایجاد نمود و حوضه مزبور را مدل‌سازی کرد.



شکل ۳. موقعیت منطقه مورد مطالعه

فراسنج‌های مدل را برای حوضه مورد مطالعه به طور دقیق تخمین زد تا نتایج حاصل بیشتر به مقادیر نزدیک شوند. به این فرایند واسنجی مدل گفته می‌شود. بعضی از مدل‌هایی که در HEC-HMS هستند فراسنج‌هایی دارند که به وسیله اندازه‌گیری یا مشاهده نمی‌توان آنها را تعیین نمود. ممکن است برای برآورد یک چنین فراسنج‌هایی روابطی نیز ارایه شده باشد که فراهم آورنده تخمینی از آن فراسنج می‌باشد. بنابراین برای این که بتوان مقادیر مناسبی را برای این گونه فراسنج‌ها به دست آورد نیاز به واسنجی مدل می‌باشد. واسنجی از طریق داده‌های هیدرومتئورولوژیکی واقعی و برای فراسنج‌های مورد نظر، بهترین برازش را از نتایج محاسبه شده رواناب به مقادیر واقعی ارائه می‌کند (۸).

نگهداشت سطحی حوضه به ترتیب از روابط ۸ و ۶ استفاده شد.

$$Ia = 0.7S \quad [8]$$

در این تحقیق، جهت بهینه‌سازی فراسنج‌های مدل HEC-HMS، از آمار ایستگاه باران سنج ثبات بوشیگان کازرون و آب نگار سیلاب‌های ثبت شده ایستگاه آب سنجی چم چیت واقع در خروجی حوضه) استفاده گردید. جهت روندیابی در آبراهه نیز از روش ماسکینگام (Maskingum) استفاده شده است.

۴. واسنجی مدل

چون هدف از اجرای مدل تولید آب نگار خروجی حوضه مطابق با شرایط واقعی می‌باشد، بنابراین باید بتوان تمام

تر تکیه دارد. در این الگوریتم جستجو، تخمین‌های فراسنج‌ها با استراتژی انتخاب می‌شوند که از روش به دست آمده در تکرارهای پیشین برای تعیین تخمین‌های خوب، رد کردن تخمین‌های بد و تولید تخمین‌های بهتر، از الگوهای ایجاد شده، استفاده می‌کند (۷).

۸. تابع هدف

برای مقایسه یک آب نگار محاسبه‌ای با یک آب نگار واقعی، مدل HEC یک مقدار معرف نیکوئی برازش را محاسبه می‌کند. الگوریتم‌های جستجوی فراسنج‌هایی که بهترین مقدار یک معرف را حاصل کنند، به عنوان تابع هدف نامیده می‌شوند. در این پژوهش از تابع هدف مجموع مجذور باقی‌مانده‌ها برای واسنجی مدل استفاده شد. این تابع هر مؤلفه از آب نگار محاسبه‌ای را با آب نگار واقعی مقایسه می‌کند و از مجذور تفاوت‌ها به عنوان معیار برازش استفاده می‌کند. بنابراین یک اختلاف ۱۰ متر مکعب در ثانیه، امتیازی ۱۰۰ برابر بدتر از یک اختلاف یک متر مکعب در ثانیه کسب می‌کند. این تابع به صورت ضمنی معیاری از مقایسه بزرگی دبی‌های اوج، حجم‌ها و زمان‌های دبی اوج دو آب نگار می‌باشد. رابطه مورد استفاده در این تابع به صورت رابطه ۹ است:

$$Z = \sum_{t=1}^n [Q_o(t) - Q_s(t)]^2 \quad [9]$$

که در آن Z تابع هدف، $Q_o(t)$ جریان واقعی در زمان t و $Q_s(t)$ جریان محاسباتی در زمان t می‌باشند. تابع هدف برای کلیه زمان‌های t اعتباریابی می‌شود (۷).

۹. اعتباریابی مدل

اعتباریابی روشی برای تایید نتایج مربوط به فراسنج‌های مدل می‌باشد. برای اعتباریابی مدل از میان ۴ رگبار واقعی، رگباری که واسنجی نشده انتخاب می‌شود. سپس میانگین فراسنج‌های مورد واسنجی قرار گرفته را به عنوان مقادیر بهینه به مدل معرفی می‌شود. سپس مدل برای این رگبار اجرا می‌شود و آب نگار واقعی و مدل‌سازی شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد. مقایسه

۵. روش جستجو برای به حداقل رساندن تابع هدف

همان طور که قبلاً ذکر شد، هدف از واسنجی، تعیین فراسنج‌های قابل قبولی است که بهترین برازش را از آب نگار محاسبه شده در برابر آب نگار واقعی، که توسط تابع هدف مشخص می‌شود، حاصل نماید. تحقق این مسئله بستگی به الگوریتم ریاضی جستجو که مقدار تابع هدف را به حداقل برساند دارد. جستجو می‌تواند به صورت آزمون و خطا باشد. در آزمون، همراه با فراسنج انتخاب شده، مدل اجرا شده و خطای مربوط به آن به دست می‌آید. اگر خطا مورد قبول نباشد، فراسنج اولیه انتخاب شده تغییر یافته و آزمون دیگری از سر گرفته می‌شود و مجدداً خطا برآورد می‌گردد. تصمیم در مورد پذیرش این خطا بستگی به روش جستجو دارد (۳). برای جستجو در این پژوهش، از روش شیب تک متغیره (Univariate Gradient Search Algorithm) و نلدلر و مید (Nelder and Mead Algorithm) استفاده شد.

۶. الگوریتم جستجوی شیب یک متغیره

این روش در مدل HEC برای تخمین فراسنج از تصحیحات پی در پی استفاده می‌کند. به این صورت که اگر X^k نمایان گر تخمین فراسنج با تابع هدف (fX^k) در تکرار k ام باشد، جستجو یک تخمین جدید X^{k+1} را در تکرار $k+1$ ام به صورت زیر تعریف می‌کند:

$X^{k+1} = X^k + dx^k$ که در آن عبارت از مقدار تصحیح فراسنج می‌باشد. هدف از جستجو، انتخاب dx^k به نحوی است که تخمین در جهت فراسنجی حرکت کند که حداقل مقدار تابع هدف را حاصل کند. قاعدتاً یک تصحیح نمی‌تواند به مقدار حداقل برسد، بنابراین معادله فوق به صورت رفت و برگشتی (Recursively) به کار می‌رود (۷).

۷. الگوریتم نلدلر و مید

الگوریتم نلدلر و مید بدون استفاده از مشتقات تابع هدف به عنوان راهنما، جستجو برای پیدا کردن مقدار بهینه فراسنج را انجام می‌دهد. این الگوریتم روی یک جستجوی مستقیم ساده

مدل بین دبی پیک، حجم سیل، زمان رسیدن به اوج آب نگار و شکل آب نگار مشاهده و محاسبه شده است.

نتایج و بحث

ابتدا برخی از خصوصیات فیزیوگرافی زیر حوضه‌های آبریز دالکی از قبیل مساحت، ارتفاع متوسط وزنی، شیب متوسط وزنی، طول آبراهه اصلی که محدوده آنها در شکل ۳ نشان داده شده است از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) منطقه مورد بررسی استخراج گردید. هم‌چنین شماره منحنی و نتایج مربوط به خصوصیات فیزیوگرافی هر کدام از زیر حوضه‌ها در جدول ۱ ارایه شده است در راستای تعیین توزیع مکانی و زمانی رگبارها و بررسی آب نگارهای سیلاب ثبت شده در ایستگاه آب سنجی منطقه مورد بررسی مشخص گردید که علی‌رغم وجود تعدادی وقایع ثبت شده، به دلیل ضعف شبکه باران سنج ثبات، تعداد رویدادهای بارش - رواناب جهت واسنجی مدل بسیار محدود است. بنابراین در این پژوهش ۴ رویداد سیل را که هم در ایستگاه آب سنجی چم چیت و هم در ایستگاه باران‌سنجی ثبات بوشیگان کازرون و هم‌چنین ایستگاه‌های باران‌سنج معمولی داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه دارای داده‌های ثبت شده مناسبی بودن برای واسنجی و اعتباریابی مدل انتخاب شدند. جدول ۲ مشخصات این رویدادها را نشان می‌دهد. جهت تعیین هایتوگراف بارش هر یک از زیر حوضه‌ها در زمان وقوع هر یک از سیل‌ها، با استفاده از بارش روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی داخل و اطراف حوضه آبریز دالکی، توزیع مکانی رگبارها با استفاده از روش عکس مربع فاصله (Inverse Distance Squared Method) در محیط GIS و با شبکه سلولی ۲۵ متر استخراج شد. برای توزیع زمانی رگبارها از توزیع زمانی واقعی بارش در ایستگاه باران سنج بوشیگان کازرون استفاده شد. برای واسنجی فراسنج‌های مدل در حوضه آبریز دالکی از میان ۴ واقعه سیل واقعی ۳ سیل انتخاب شد. این سیل‌ها شامل سیل ۲۳ تا ۲۴ دی ماه ۱۳۷۶، ۹ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۷۸ و ۱۶ تا ۱۷ بهمن ماه ۱۳۸۱ بودند. رویدادهای فوق با

توجه به محدودیت‌های مربوط به انتخاب آب نگار واقعی انتخاب گردیدند، این محدودیت‌ها شامل شکل آب نگار به لحاظ تک پیکی بودند زیرا عمل واسنجی برای آنها راحت‌تر انجام می‌پذیرد. در هر رگبار با انجام عمل مدل‌سازی آب نگار واقعی با آب نگار مدل‌سازی شده مورد مقایسه قرار گرفت. برای ورودی‌های مدل از بارندگی‌های ساعتی ۱۵ دقیقه‌ای ایستگاه باران‌سنج بوشیگان کازرون و آبدهی ساعتی هم‌زمان با این رگبارها در ایستگاه آب سنجی چم چیت استفاده شد. در روش جستجو از دو الگوریتم شیب تک متغیره و نلدر و مید استفاده گردید. در این پژوهش، برای روند یابی سیلاب در مقاطع مختلف رودخانه دالکی از روش روندیابی هیدرولوژیکی ماسکینگام استفاده شده است. برای کم کردن دامنه جستجو مقادیر اولیه ای برای فراسنج‌های K و X ماسکینگام منظور گردید. سپس با توجه به اطلاعات فیزیوگرافی زیر حوضه‌ها جدول ۱) و استفاده از رابطه‌های (۷ و ۸)، تخمین اولیه ای از زمان تأخیر و تلفات اولیه باران در هر یک از زیر حوضه‌ها تعیین گردید. در ادامه بحث، برای هر رویداد مقادیر فراسنج‌های واسنجی شده به روش الوریتم جستجوی شیب یک متغیره و الگوریتم نلدر و مید تعیین گردیدند که نتایج حاصل از واسنجی توسط هر دو الگوریتم جستجو در جدول ۳ ارائه شده است. برای بررسی نتایج حاصل شده از واسنجی مدل و اعتباریابی آن، یک رویداد از ۴ رویداد انتخاب شده که در مرحله واسنجی مورد استفاده قرار نگرفت بود، در نظر گرفته شد. این رویداد شامل سیل ۲۵ تا ۲۶ آبان ماه ۱۳۸۴ بود. در این رویداد نیز داده‌های ۱۵ دقیقه‌ای بارندگی ایستگاه باران سنج بوشیگان کازرون که با توجه به الگوی توزیع زمانی واقعی رگبار تعیین گردید به همراه آب نگار مانند بارندگی فراگیر حوضه به مدل وارد شد. سپس متوسط فراسنج‌های مدل که توسط روش الگوریتم جستجوی شیب یک متغیره به دست آمده بود (جدول ۴ و ۵) به عنوان فراسنج‌های مدل به برنامه داده شد و نتایج حاصل از آن در جدول ۵ ارائه شد. علاوه بر آن شکل ۴ نمودار آب نگار مدل‌سازی شده و محاسبه شده را نشان

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافیک و شماره منحنی زیر حوضه‌های آبریز دالکی

نام زیر حوضه	مساحت (KM ²)	ارتفاع متوسط وزنی به متر	شیب متوسط وزنی حوضه (%)	طول آبراهه اصلی به (KM)	شماره منحنی در حالت ۱
۱	۱۴۹/۳۸	۲۰۷۹/۱۴	۳۰/۴۰	۳۱/۸۰	۷۳/۴۰
۲	۱۸۲/۴۰	۲۳۴۶/۵۸	۳۷/۳۷	۲۹/۳۱	۸۳/۵۰
۳	۲۲۸/۰۶	۱۸۶۸/۷۹	۳۹/۲۴	۳۱/۰۲	۷۷/۴۰
۴	۱۵۱/۱۲	۸۹۲/۲۰	۲۳/۹۷	۳۵/۵۵	۸۳/۹۰
۵	۱۶۷/۰۸	۱۳۳۲/۷۸	۲۹/۹۷	۳۳/۲۰	۶۲/۰۰
۶	۷۶/۵۳	۶۷۳/۴۷	۲۶/۰۵	۱۹/۸۴	۷۲/۸۰
۷	۵۰/۰۰	۷۳۹/۴۷	۲۱/۴۷	۱۲/۸۷	۸۲/۱۰
۸	۱۵۵/۷۹	۲۲/۸۳	۱۳/۴۲	۳۷/۹۴	۵۶/۳۰
۹	۲۸۱/۲۶	۱۴۰۹/۳۴	۳۱/۶۱	۳۹/۹۲	۷۰/۶۰
۱۰	۳۱۲/۱۵	۸۵۸/۹۲	۱۶/۰۹	۳۷/۰۶	۷۸/۳۰
۱۱	۳۴/۱۹	۷۵۱/۷۲	۱۲/۳۲۰	۱۹/۰۷	۶۹/۶۰
۱۲	۲۴۹/۴۶	۱۱۱۴/۶۵	۲۴/۱۲	۵۳/۴۰	۷۳/۲۰
۱۳	۹۴/۳۱	۷۶۴/۴۳	۱۲/۲۷	۱۷/۱۶	۶۸/۹۰
۱۴	۵/۸۶	۷۰۸/۸۰	۱۲/۲۰	۵/۵۵	۷۰/۸۰
۱۵	۳/۶۴	۷۲۳/۷۹	۱۰/۲۲	۲/۹۰	۶۶/۴۰
۱۶	۳۳۵/۰۲	۱۰۴۹/۱۵	۲۲/۳۲	۴۴/۴۷	۶۱/۴۰
۱۷	۲۹۴/۳۸	۱۷۹۸/۷۶	۳۲/۲۳	۲۳/۱۸	۵۶/۹۰
۱۸	۳۴۴/۸۰	۱۳۳۷/۴۵	۲۴/۳۰	۵۲/۴۹	۶۰/۴۰
۱۹	۲۰۷/۶۵	۸۵۹/۵۰	۲۲/۹۹	۳۷/۶۰	۷۶/۲۰
۲۰	۱۴۵/۳۹	۹۶۹/۳۷	۲۳/۳۷	۴۷/۸۲	۷۷/۶۰
۲۱	۴۳۱/۵۷	۸۸۸/۵۹	۱۵/۹۹	۵۳/۵۹	۸۰/۱۰
کل حوضه	۳۹۰۰/۰۴	۱۲۳۹/۰۶	۲۴/۶۵	۱۱۵/۸۶	۷۱/۰۹

جدول ۲. مشخصات وقایع بارش - رواناب واقعی برای واسنجی و اعتباریابی مدل HEC-HMS.

ایستگاه آب سنجی	تاریخ وقوع سیلاب	شرایط رطوبتی خاک	دبی اوج سیل (M ³ /S)
چم چیت	۲۳ تا ۲۴ دی ماه ۱۳۷۶	خشک	۹۷/۴۰
	۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۳۷۹	خشک	۱۵۰/۸۰
	۱۶ تا ۱۷ بهمن ماه ۱۳۸۱	خشک	۳۲۱/۵۰
	۲۵ تا ۲۶ آبان ماه ۱۳۸۴	متوسط	۴۰۳/۷۰

جدول ۳. نتایج آب نگار واقعی و آب نگار مدل سازی شده پس از واسنجی

تاریخ وقوع سیلاب	الگوریتم جستجو	دبی اوج مشاهده شده (M ³ /S)	دبی اوج محاسبه شده (M ³ /S)	حجم رواناب مشاهده شده (AC-FT)	حجم رواناب محاسبه شده (M ³ /S)	اختلاف زمان تا اوج (دقیقه)	تابع هدف (S. S. R)	خطای اوج سیلاب	درصد
۲۳ تا ۲۴ دی ماه ۱۳۷۶	شیب یک متغیره	۹۷/۴۰	۹۸/۱۰	۴۹۱۸/۷۰	۲۸۲۲/۸۰	۲۲	۱۰۰۰۸۸/۱۰	۰/۷۲	
۲۰ تا ۲۲ آذر ماه ۱۳۷۹	شیب یک متغیره	۱۵۰/۸۰	۱۶۷/۵۰	۸۰۸۲/۰۰	۸۶۴۹/۸۰	۵۵	۱۱۳۲۹/۹۰	۱۱/۰۷	
۱۶ تا ۱۷ بهمن ماه ۱۳۸۱	شیب یک متغیره	۳۲۱/۵۰	۳۰۵/۵۰	۱۳۸۳۵/۹۰	۱۱۳۷۹/۲۰	۳۶	۶۶۵۴۶/۰۰	۴/۹۸	
	نلدر و مید	۳۲۱/۵۰	۳۱۳/۷۰	۱۳۸۳۵/۹۰	۱۱۱۷۲/۳۰	۶۲	۸۲۹۰۲/۲۰	۲/۴۳	

جدول ۴. نتایج متوسط فراسنج های شماره منحنی و تلفات اولیه باران به روش الگوریتم جستجوی شیب

یک متغیره پس از مرحله واسنجی

زیر حوضه	فراسنج های واسنجی ورودی به مدل	فراسنج های واسنجی ورودی به مدل	زیر حوضه	فراسنج های واسنجی ورودی به مدل
	شماره منحنی	گیرش اولیه (میلی متر)		شماره منحنی
۱	۷۹/۹۸	۱۷/۹۱	۱۲	۶۵/۰۰
۲	۷۸/۳۴	۹/۷۰	۱۳	۶۰/۷۰
۳	۸۶/۲۰	۱۲/۵۰	۱۴	۶۱/۶۷
۴	۸۶/۴۵	۵/۶۱	۱۵	۵۷/۳۲
۵	۵۲/۹۸	۳۱/۱۴	۱۶	۵۳/۲۰
۶	۸۲/۰۷	۱۹/۲۹	۱۷	۴۸/۷۰
۷	۸۵/۱۷	۱۸/۸۳	۱۸	۵۲/۲۰
۸	۴۸/۱۰	۳۹/۴۳	۱۹	۶۸/۰۰
۹	۶۹/۸۴	۲۱/۱۶	۲۰	۷۶/۴۵
۱۰	۷۵/۹۷	۱۴/۰۸	۲۱	۷۸/۲۰
۱۱	۶۰/۴۸	۲۲/۱۹	-	-

جدول ۵. نتایج متوسط فراسنج‌های K و X ضرایب ماسکینگام) به روش الگوریتم جستجوی شیب یک متغیره پس از مرحله واسنجی

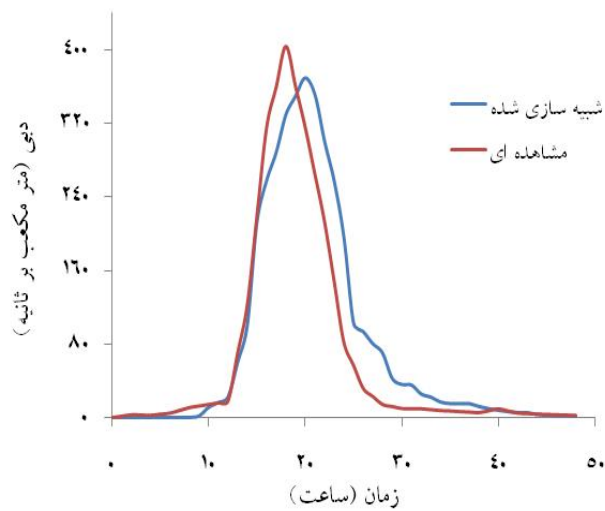
نام بازه رودخانه	(K ساعت)	X	نام بازه رودخانه	(K ساعت)	X
Reach-1	۱/۶۶۱	۰/۳۵۵	Reach-7	۵/۴۲۶	۰/۲۳۵
Reach-2	۷/۵۸۵	۰/۳۲۶	Reach-8	۰/۳۵۵	۰/۲۴۵
Reach-3	۱۳/۸۵۶	۰/۳۰۰	Reach-9	۰/۸۱۶	۰/۳۵۵
Reach-4	۴/۱۲۹	۰/۳۶۷	Reach-10	۳/۷۸۸	۰/۴۱۱
Reach-5	۰/۱۶۶	۰/۲۰۴	Reach-11	۱/۹۵۶	۰/۳۲۵
Reach-6	۰/۴۰۸۸	۰/۲۰۸	-	-	-

جدول ۶. مقایسه نتایج آب نگار واقعی و محاسبه شده در مرحله اعتباریابی

تاریخ وقوع سیلاب	۲۵ تا ۲۶ آبان ماه ۱۳۸۴
دبی اوج واقعی	۴۰۳/۷۰
دبی اوج محاسبه شده	۳۷۰/۲۵
حجم رواناب واقعی	۱۱۶۲۵/۳۰
حجم رواناب محاسبه شده	۱۳۵۲۰/۳۸
اختلاف زمان تا اوج دقیقه	۱۲۰
درصد خطای اوج سیلاب	۸/۲۹
درصد خطای حجم سیلاب	۱۶/۳۰

جدول ۷. ضرایب بین تلفات اولیه باران با حداکثر پتانسیل نگهداشت آب

زیر حوضه	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)	(۱۰)
زیر حوضه	CN	Smm	Iamm)	Ia/S	زیر حوضه	CN	Smm	Iamm)	Ia/S	
۱	۷۹/۹۸	۶۳/۵۹	۱۷/۹۱	۰/۲۸	۱۲	۶۵/۰۰	۱۳۶/۷۷	۱۸/۶۰	۰/۱۴	
۲	۷۸/۳۴	۷۰/۲۵	۹/۷۰	۰/۱۴	۱۳	۶۰/۷۰	۱۶۴/۴۵	۲۲/۹۳	۰/۱۴	
۳	۸۶/۲۰	۴۰/۶۶	۱۲/۵۰	۰/۳۱	۱۴	۶۱/۶۷	۱۵۷/۹۰	۲۰/۹۵	۰/۱۳	
۴	۸۶/۴۵	۳۹/۸۱	۵/۶۱	۰/۱۴	۱۵	۵۷/۳۲	۱۸۹/۱۰	۲۵/۷۱	۰/۱۴	
۵	۵۲/۹۸	۲۲۵/۴۱	۳۱/۱۴	۰/۱۴	۱۶	۵۳/۲۰	۲۲۳/۴۴	۳۱/۹۴	۰/۱۴	
۶	۸۲/۰۷	۵۵/۵۰	۱۹/۲۹	۰/۳۵	۱۷	۴۸/۷۰	۲۶۷/۵۶	۳۸/۴۸	۰/۱۴	
۷	۸۵/۱۷	۴۴/۲۴	۱۸/۸۳	۰/۴۳	۱۸	۵۲/۲۰	۲۳۲/۵۹	۳۳/۳۱	۰/۱۴	
۸	۴۸/۱۰	۲۷۴/۰۷	۳۹/۴۳	۰/۱۴	۱۹	۶۸/۰۰	۱۱۹/۵۳	۱۵/۸۷	۰/۱۳	
۹	۶۹/۸۴	۱۰۹/۶۸	۲۱/۱۶	۰/۱۹	۲۰	۷۶/۴۵	۷۸/۲۴	۱۴/۶۶	۰/۱۹	
۱۰	۷۵/۹۷	۸۰/۳۶	۱۴/۰۸	۰/۱۸	۲۱	۷۸/۲۰	۷۰/۸۱	۱۲/۶۲	۰/۱۸	
۱۱	۶۰/۴۸	۱۶۵/۹۶	۲۲/۱۹	۰/۱۳	-	-	-	-	-	-



شکل ۴. نمودار آب نگار واقعی و آب نگار مدل‌سازی شده پس از اعتباریابی در تاریخ ۲۵ تا ۲۶ آبان ماه ۱۳۸۴

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که دبی‌های اوج، حجم رواناب، زمان رسیدن به اوج سیلاب‌های محاسبه شده و مشاهداتی در روش الگوریتم جستجوی شیب تک متغیره نسبت به الگوریتم نلدر و مید در مرحله واسنجی مدل از دقت بهتری برخوردار است (جدول ۳). بنابراین در مرحله اعتباریابی مدل از متوسط نتایج به‌دست آمده از فراسنج‌های واسنجی شده در این روش که شامل شماره منحنی و تلفات اولیه باران هر یک از زیر حوضه‌ها و هم‌چنین ضرایب ماسکینگام X و K مربوط به هر یک از بازه‌های رودخانه‌ای بود استفاده شد (جدول ۴ و ۵). با توجه به محتویات موجود در جدول ۶، ملاحظه می‌گردد که اختلاف دبی اوج محاسبه شده و واقعی در مرحله اعتباریابی ۱۶/۳۰ درصد و حجم محاسبه شده و مشاهداتی رواناب ۸/۲۹ درصد بود. بنابراین می‌توان به نتایج به‌دست آمده اطمینان داشته و از آنها برای پیش‌بینی سیلاب‌های احتمالی بهره برد. هم‌چنین به دلیل نزدیک بودن ضریب بین تلفات اولیه باران با حداکثر نگهداشت سطحی آب در حوضه آبریز دالکی با روش پیشنهاد شده توسط SCS، به رابطه SCS در انجام مدل‌سازی بارش-رواناب در این حوضه آبریز اعتماد داشت.

می‌دهد. در پایان با گذاشتن شماره منحنی واسنجی شده هر یک از زیر حوضه‌ها ستون‌های ۲ و ۷ جدول ۷) در رابطه ۸ مقدار حداکثر نگهداشت سطحی آب در هر یک از زیر حوضه‌ها به‌دست آمد (ستون‌های ۳ و ۸ جدول ۷) و از تقسیم تلفات اولیه باران واسنجی شده (ستون‌های ۴ و ۹ جدول ۷) بر مقدار نگهداشت سطحی هر یک از زیر حوضه‌ها، ثابت تناسب بین این دو فراسنج استخراج گردید (ستون‌های ۵ و ۱۰ جدول ۷). نتایج نشان می‌دهد که حداقل، حداکثر و میانگین این ضرایب به ترتیب برابر با ۰/۱۳، ۰/۴۳ و ۰/۱۹ است که مقدار متوسط این ضرایب تقریباً برابر با مقداری است که سازمان حفاظت خاک آمریکا در سطح جهان پیشنهاد کرده است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر حاکی از برآزش مناسب هیدروگراف مشاهده‌ای و هیدروگراف شبیه‌سازی شده توسط مدل HEC-HMS دارد که با نتایج حاصل از تحقیقات نشاط و صدقی در حوضه آبریز باغ ملک خوزستان (۷)، حسینی و همکاران در حوضه آبریز زیارت گرگان (۲) و رادمنش و همکاران در حوضه آبریز رود زرد واقع در جنوب غربی ایران (۳)، سلیمانی ساردو و همکاران در حوضه آبریز سد جیرفت) و ثقفیان و فرازجو در حوضه آبریز سد گلستان) مطابقت می‌نماید.

سپاسگزاری

مورد نیاز برای انجام این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایند.

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های

منابع مورد استفاده

۱. بی نام. ۱۳۸۳. پیش نویس استاندارد راهنمای برآورد رواناب در طراحی شبکه های آبیاری و زه‌کشی. شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو، نشریه ۲۸۳-الف، ۱۴۲ صفحه.
۲. ثقفیان، ب. و ح. فرامرزو. ۱۳۸۶. تعیین مناطق مولد سیل و اولویت بندی سیل خیزی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد گلستان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۱.
۳. حسینی، س. ط.، ح. شریفان، م. ا. یخکشی و آ. آ. دهقانی. ۱۳۸۹. ارزیابی و واسنجی مدل HEC-HMS در حوضه آبریز زیارت گرگان. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه مهندسی آب. ۱۷ الی ۱۸ آذر ۱۳۸۹.
۴. رادمنش، ف.، ج. پرهت، ع. بهنیا و م. آخوند علی. ۱۳۸۵. واسنجی و ارزیابی مدل HEC-HMS در حوضه آبریز زرد. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۵. سلیمانی ساردو، ف.، م. سلطانی کوپائی و ع. سلاجقه. ۱۳۸۸. کاربرد مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در شبیه سازی جریان در حوزه سد جیرفت. هشتمین سمینار مهندسی رودخانه، اهواز.
۶. علیزاده، ا. ۱۳۷۷. اصول هیدروژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.
۷. کوهپایان افضل، ف. و ح. قلخانی. ۱۳۸۹. راهنمای کاربردی شبیه سازی بارش - رواناب با استفاده از شبیه HEC-HMS. انتشارات لویه متفکران، تهران.
۸. میر مهدی، م. و. جهانگیر و ع. اردیبهشت ۱۳۸۷. واسنجی شبیه ریاضی hec-hms و اعتباریابی این شبیه در پاسخگویی به سیلاب حوضه آبریز مارون. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
۹. نشاط، ع. و ح. صدقی. ۱۳۸۵. برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و مدل HEC-HMS در حوضه آبخیز باغ ملک، استان خوزستان. مجله علمی - پژوهشی علوم کشاورزی ۱۲(۴): ۷۸۷-۷۹۸.
10. Akhoond-Ali, A. M. 1992. An examination of alternate loss models for flood estimation. MSc. Thesis, School of Civil Eng., New South Wales University, pp 95.
11. Chow, V.T., D. R. Maidment and L.W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Book Co., New York.
12. Cordery, I. 1987. Storm losses and design rainfall excess. PP. 117-126. In: Australian Rainfall and Runoff, a Guide to Flood Estimation. Institution of Engineers, Australia.
13. Flavell, D. J. and B. S. Belstead. 1986. Losses for design flood estimation in W.A. Hydrol. and Water Resources Symposium, Inst. Engrs Aust., Natl. Conf. Pub., No. 86/13, pp. 203-208.
14. 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.
15. Hill, P., R. Mein and L. Siriwardena. 1998. How much rainfall becomes runoff? Loss modeling for flood estimation. Cooperative Research Center for Catchment's Hydrology, Report 98/5, Victoria, Australia, 23pp.
16. Kenan, D. 2001. The application of runoff routing B model on the Upstream of the Huai River Basin. MSc. Thesis, IHE, Delft, The Netherland, 80pp.
17. National Engineering Handbook, 1983. Section 4, Hydrology, S.C.S.