تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۱/۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱/۲۹

واسنجی روش‌های مختلف برآورد تلفات بارش در مدل *HEC- HMS* به‌منظور شبیه‌سازی رواناب سطحی (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ آبخیز کن)

❖ **قباد رستمی‌زاد:** دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
❖ **شهرام خلیقی سیگارودی** *: استادیار دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران
❖ **محمد مهدوی:** استاد دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

پارامترهایی همچون برگاب، نفوذ، ذخیرهٔ آب در چالاب‌های سطح زمین و پروفیل خاک، و تبخیر و تعرق از مجموعهٔ عواملی است که در یک حوضه سبب تلفات و مانع تبدیل مستقیم بارش به رواناب می‌شود. در این تحقیق، سعی بر آن شد تا با استفاده از مدل HEC- HMS و مقایسهٔ نتایج حاصل از روش‌های مختلف برآورد تلفات بارش (روش تلفات‌نمایی، شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات، گرین و آمپت، شمارهٔ منحنی (SCS)، کمبود اولیه و میزان ثابت تلفات) و برازش به وسیلهٔ تابع هدف درصد خطای حداکثر روش‌ها برای شبیه‌سازی رواناب اولویت‌بندی شود. بر همین اساس، روشی که کمترین میزان درصد تغییرات دبی مشاهداتی نسبت به دبی محاسباتی داشت در اولویت اول قرار گرفت و روش‌های دیگر در اولویت بعدی. نتایج نشان داد روش‌های بهینه برای برآورد تلفات بارش حوضهٔ مورد مطالعه، به‌ترتیب اهمیت عبارت‌اند از تلفات‌نمایی، گرین و آمپت، شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات، شمارهٔ منحنی، کمبود اولیه و میزان ثابت تلفات.

واژگان کلیدی: تلفات اولیه، تلفات بارش، شمارهٔ منحنی، گرین و آمپت، مدل HEC- HMS.

* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۳۲۲۴۹۳۱۳-۰۲۶ Email: sh_khaligh@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

آب ضروری‌ترین و مهم‌ترین جزءِ مجموعهٔ منابع طبیعی مورد نیاز برای بقای زندگی انسان، پیشرفت و بهبود آن به‌شمار می‌رود. آب، صرف‌نظر از ارزش حیاتی‌اش، یکی از عوامل ضروری در صنعت، تجارت، کشاورزی، تفریحات سالم، و زیباسازی محیط است. در مطالعاتِ حوضه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری، از مدل‌سازی بارش- رواناب برای شبیه‌سازی هیدروگراف ناشی از هر رگبار و تعیین سایر پارامترها، از جمله دبی حداکثر، زمان تا اوج، و تعیین حجم رواناب خروجی از حوزهٔ آبخیز، استفاده می‌شود. مدل HEC- HMS یکی از مدل‌های رایانه‌ای برای شبیه‌سازی بارش- رواناب است. این مدل، به دلایل مختلف، از جمله توانایی شبیه‌سازی وقایع کوتاه‌مدت، راحتی کاربرد، و استفاده از مدل‌های رایج در شبیه‌سازی و کاربرد آن، در ایران بسیار متداول شده است. در این مدل برای شبیه‌سازی رواناب سطحی زیرمدل‌های متنوعی وجود دارد که، معمولاً در ایران، کارشناسان، با توجه به میزان آشنایی خود، یک روش را برای شبیه‌سازی انتخاب می‌کنند و استفاده از زیرمدل‌های مختلف (تلفات بارش و رواناب) در مدل HEC- HMS نتایج مختلفی به دست می‌دهد.

مدل‌های بارش- رواناب یکی از روش‌های تخمین رواناب و ابزاری است مناسب برای مطالعهٔ فرایندهای هیدرولوژیکی و ارزیابی منابع آبی [7]. دو کاربرد مهم مدل‌های بارش– رواناب عبارت است از: پیش‌بینی سیلاب؛ شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی [3]. شبیه‌سازی هیدرواقلیمی مدل‌های بارش– رواناب در حوزه‌های آبخیز جنوب غربی ایران در حوزهٔ آبخیز رودخانه‌های خرم‌آباد– کشکان در استان لرستان مطالعه شد. هدف از این مطالعه ارزیابی توانایی مدل HEC- HMS با روش هیدروگراف واحد SCS در حوزه‌های آبخیز بزرگ بود. نتایجِ ارزیابیِ توانایی به‌کارگیری این مدل به‌طور یکنواخت در سطح این حوضهٔ بزرگ نشان داد که در هیدروگراف‌های طبیعی به شکل زنگوله‌ای (نرمال) این خطاها بسیار اندک است [12]. در مطالعهٔ دیگری، در حوزهٔ آبخیز رود زرد مدل HEC- HMS واسنجی و ارزیابی شد. واسنجی مدل و بهینه‌سازی پارامترهای آن بر اساس داده‌های بارندگی و آبدهی انجام شد. در این مورد شش رگبار مشاهده‌ای در محدودهٔ مورد مطالعه و نواحی اطراف آن به همراه شش سیل هم‌زمان در خروجی حوضه انتخاب شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از برازش مناسب دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف‌های شبیه‌سازی‌شده بود. مقایسهٔ آبدهی شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌ای در روش‌های مختلف نشان داد که روش SCS بهترین نتیجه را در بر داشت [11]. به‌منظور تعیین دبی اوج سیلاب حوضهٔ مارون، تحقیقی با عنوان «واسنجی مدل ریاضی HEC- HMS و ارزیابی این مدل در پاسخ‌گویی به سیلاب حوزهٔ آبریز مارون» انجام گرفت. نتایج بررسیِ واسنجی و بهینه‌سازی مدل نشان داد که روش SCS دارای کمترین اختلاف در دبی اوج سیلاب و زمان رسیدن به دبی اوج در هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده است [9]. در تحقیق دیگری، که در آن به مدل‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC- HMS پرداخته شده، نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که سطوح ذخیره مقدار پیک جریان را برای واقعهٔ رگبار کاهش می‌دهند [2]. کاربرد مدل HEC- HMS برای تعیین دبی اوج و حجم رواناب در دو حوزهٔ کشاورزی در جنوب شرق ایالت داکوتای جنوبی بررسی شد. برای محاسبهٔ تلفات در این حوضه‌ها از روش SCS و برای تعیین

Archive of SID

www.SID.ir

هیدروگراف از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده شد. بررسی پارامترهای مدل نشان داد که مقدار شمارهٔ منحنی دارای حساسیت بالایی است، در صورتی که مقدار تلفات اولیه دارای حساسیت کمتری نسبت به تغییر مقدار تابع هدف در مدل HEC- HMS است [6].

هدف از این تحقیق مقایسهٔ روش‌های مختلف برآورد تلفات بارش و انتخاب اولویت در استفاده از این روش‌ها به منظور شبیه‌سازی رواناب برای منطقهٔ مورد مطالعه است. پس از انجام‌دادنِ این تحقیق، نتایج آن را می‌توان در مناطق مشابه تعمیم داد.

روش‌شناسی

موقعیت جغرافیایی

حوزهٔ آبخیزکن، در استان تهران، با مساحت ۱۹۷ کیلومتر مربع، در فاصلهٔ بین طول‌های جغرافیایی ۱۰ ۵۱ تا ۲۳ ۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ۴۶ ۳۵ و ۵۸ ۳۵ شمالی واقع شده است. ارتفاع متوسط حوضه ۲۴۲۸/۷ متر از سطح دریا، شیب متوسط ۴۳/۴ درصد، و متوسط بارندگی ۶۲۵/۴ میلی‌متر است. مهم‌ترین رودخانهٔ این منطقهٔ کوهستانی رود کن است که از شمال حوضه و از جنوب غربی کوه‌های توچال سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه به سبب عبور از کن رودخانهٔ کن نامیده شده است و وارد دشت تهران می‌شود [10]. اقلیم حوزهٔ آبخیز کن در گروه سرد قرار می‌گیرد، ولی چون بارندگی حوضه از عوامل دیگری تبعیت می‌کند، اثر ارتفاع در ترازهای یکسان برای تمام حوضه یکسان نیست. خاک حوزهٔ آبخیز کن، بر اساس تقسیم‌بندی سازمان حفاظت خاک امریکا و روش‌های فائو (F.A.O)، به سه گروه B، C، و D تقسیم می‌شود.

شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران

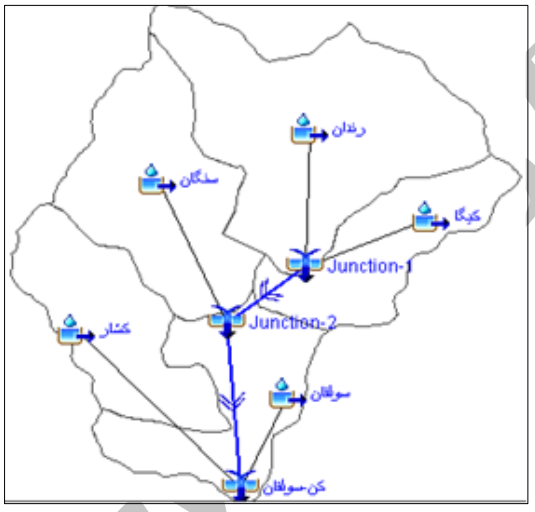
روش تحقیق

تبدیل بارش به جریان سطحی، با استفاده از مدل‌های مختلف، و روندیابی سیل در رودخانه، به روش ماسکینگام، در محیط نرم‌افزار HEC- HMS انجام گرفت. برای رسیدن به اهداف مورد نظر این تحقیق، از نقشهٔ توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشهٔ خاک‌شناسی تهیه‌شده در دفتر مطالعات منابع طبیعی استان تهران، آمار دبی ایستگاه‌ها (دبی روزانه، دبی ساعتی سیلاب‌ها در ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه)، و آمار بارش روزانه و ساعتی ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک در داخل و اطراف منطقهٔ مطالعاتی استفاده شد.

برای اجرای مدل باید زیرمدل حوضه، زیرمدل

Archive of SID
www.SID.ir

اقلیمی، و شاخص‌های کنترلی تکمیل شود. در زیرمدل حوضه روش‌هایی وجود دارد برای تعیین تلفات اولیه، محاسبهٔ رواناب سطحی، محاسبهٔ آب پایه، و روندیابی سیل در رودخانه. زیرمدل اقلیمی، در کنار مدل حوضه، یکی دیگر از مؤلفه‌های لازم برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه در HEC- HMS است. کلیهٔ داده‌های بارندگی و تبخیر و تعریق در حوضه از طریق مدل اقلیمی به مدل معرفی می‌شود. داده‌های بارندگی باید دارای توزیع مکانی و زمانی در سطح حوزهٔ آبخیز باشد؛ بدین منظور، روش‌هایی برای محاسبهٔ بارندگی وجود دارد. در بخش شاخص‌های کنترلی، باید تاریخ و ساعت شروع و پایان شبیه‌سازی و فواصل زمانی موردنظر وارد شود.



شکل ۲. زیرمدل حوزهٔ آبخیز کن

محاسبهٔ زمان تمرکز

برای محاسبهٔ زمان تمرکز در حوضهٔ مورد مطالعه از روش کرپیچ استفاده شد. این روش برای حوضه‌های کوچک کارایی زیادی دارد. زمان تمرکز با رابطهٔ ۱ محاسبه می‌شود:

$$Tc = 0.0195L^{0.77}S^{-0.385} \qquad (۱)$$

که در آنْ Tc زمان تمرکز بر حسب ساعت است، S شیب متوسط آبراههٔ اصلی بر حسب متر بر متر، و L طول آبراههٔ اصلی بر حسب متر. جدول 1 نتایج محاسبات زمان تمرکز، با روش کرپیچ، را نشان می‌دهد [۱].

جدول ۱. محاسبهٔ زمان تمرکز زیرحوضه‌ها با روش کرپیچ (دقیقه)

زیرحوضه	رندان	سنگان	کشار	کیگا	سولقان
زمان تمرکز (دقیقه)	۶۰/۷	۷۶/۹	۷۰/۶	۴۷/۳	۹۸/۲

Archive of SID
www.SID.ir

محاسبهٔ جریان در بازه‌ها[1]

در مدل‌سازی جریان در آبراهه‌های حوزهٔ آبخیز کن از دو المان بازه استفاده شد.کلیهٔ فرایندهای شبیه‌سازی جریان به نوع روش انتخابی روندیابی جریان بستگی دارد. در این مطالعه از روش ماسکینگام استفاده شد. برای برآورد پارامترهای ماسکینگام استفاده از مشخصات مقطع رودخانه در ایستگاه‌ها و سرعت حرکت آب لازم است. علاوه بر آن، شیب طولی رودخانه در محل ایستگاه و ضریب زبری مواد بستر رودخانه بر اساس دبی‌های اندازه‌گیری‌شده تعیین شد.

با استفاده از این اطلاعات سرعت حرکت آب برای مقطع پُرجریان، با استفاده از رابطهٔ مانینگ، برآورد شد. سپس، با استفاده از رابطه‌های ۲ و ۳ مقدار X و K در هر بازه تعیین شد. مقدار K، از نظر تئوریک، زمان لازم برای عبور یک موج از طول بازه است. اگر در دو انتهای بازه هیدروگراف وجود داشته باشد، تقریباً K را می‌توان فاصلهٔ زمانی بین دبی اوج ورودی و خروجی در نظر گرفت که مقدار آن از رابطهٔ ۲ برای بازهٔ یک و دو به‌ترتیب ۱/۶۶ و ۲/۴۴ به‌دست آمد.

$$K = \frac{0/6L}{V} \qquad (۲)$$

که در آن L طول بازهٔ رودخانه است و V سرعت جریان به متر بر ثانیه.

پارامتر X با استفاده از رابطهٔ مانینگ، که یکی از روابط برآورد X است، به صورت زیر به‌دست می‌آید که مقدار آن ۰/۲ در نظر گرفته شد.

$$X = \frac{I^{1/2}}{np^{2/3}} \qquad (۳)$$

و در آن I شیب رودخانه است، n ضریب مانینگ، و P محیط خیس‌شده به متر [8].

روش‌های محاسبهٔ تلفات

در تحقیق حاضر پنج روش از روش‌های موجود در HEC- HMS، که برای محاسبهٔ تلفات در حوضه به‌کاررفته، ارائه شده و نحوهٔ محاسبهٔ پارامترهای لازم در هر یک از روش‌ها تشریح شده است.

الف) زیرمدل سازمان حفاظت خاک امریکا

این روش میزان بارش مازاد را به عنوان تابعی از بارش تجمعی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، و رطوبت قبلی خاک حوضه با استفاده از رابطهٔ ۴ بیان می‌کند:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S} \qquad (۴)$$

که در آن Pe بارش مازاد تجمعی در زمان t است، P بارش تجمعی در زمان t، Ia تلفات اولیه، و S حداکثر گیرش بالقوه [۹].

از تجزیه و تحلیل نتایج چندین حوزهٔ آبخیز آزمایشی کوچک SCS رابطهٔ تجربی بین Ia و S را به این صورت بیان می‌کنند.

بنابراین، بارش مازاد تجمعی در زمان t برابر است با:

$$Ia = 0.2S \qquad (۵)$$

$$Pe = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \qquad (۶)$$

که در آن Pe ارتفاع رواناب به سانتی‌متر است، P ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته، و S حداکثر توان نگهداری نفوذ در خاک و ذخیرهٔ سطحی.

در بازهٔ زمانی افزایش مازاد به منزلهٔ اختلاف بین مازاد تجمعی در ابتدا و انتهای بازه محاسبه می‌شود.

1. Reach

Archive of SID
www.SID.ir

حداکثر گیرش S و خصوصیات حوزهٔ آبخیز به یک پارامتر بدون بُعد به نام شمارهٔ منحنی بستگی دارد.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \qquad (۷)$$

که در آنْ S بر حسب میلی‌متر است.

مقدار CN در یک حوضه به عنوان تابعی از کاربری اراضی، نوع خاک و رطوبت قبلی حوضه برآورد می‌شود [۹].

ب) زیرمدل شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات

مدل شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات در واقع شامل دو پارامتر است: میزان ثابت[1]؛ تلفات اولیه[2] که به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ خواص فیزیکی خاک در حوضه با کاربری آن و شرایط قبلی حوضه است. اگر حوضه در شرایط اشباع باشد، Ia به سمت صفر پیش می‌رود. اگر حوضه خشک باشد، آن‌گاه Ia افزایش می‌یابد و حداکثر ارتفاع بارشی را، که نمی‌تواند به رواناب تبدیل شود، نشان می‌دهد. این امر به کاربری اراضی و رفتار خاک بستگی دارد. بر اساس استانداردهای امریکایی محدودهٔ Ia در مناطق جنگلی بین ۱۰ الی ۲۰ درصد بارندگی و تا ۰/۱ الی ۰/۲ اینچ در مناطق شهری متغیر است.

میزان ثابت تلفاتْ ظرفیت نهایی نفوذ خاک‌ها را نشان می‌دهد. روش SCS خاک‌ها را، بر اساس ظرفیت نفوذ آن‌ها، به چهار گروه طبقه‌بندی می‌کند. اسکاژ[3] و خلیل[4] میزان نفوذ برای گروه‌های مختلف را محاسبه و در سال ۱۹۸۲ منتشر کردند. در جدول ۲ طبقه‌بندی انواع خاک‌ها و میزان نفوذپذیری آن‌ها ارائه شده است.

جدول ۲. طبقه‌بندی خاک‌ها به روش *SCS* و میزان نفوذپذیری آن‌ها

گروه‌های خاک	شرح	دامنهٔ میزان تلفات (In/hr)	دامنهٔ میزان تلفات (mm/hr)
A	شن عمیق، لس عمیق، سیلت متراکم‌شده	0/30-0/45	7/62-11/43
B	لس کم‌عمق، لومی شنی	0/15-0/30	3/81-7/62
C	لومی رسی، لومی شنی کم‌عمق، خاک‌های با مواد آلی کم، خاک‌های با مقدار رس بالا	15/05-0/0	1/25- 3/81
D	خاک‌هایی که موقع مرطوب‌شدن متورم شده، خاک‌های سنگین و پلاستیکی	0/00-0/05	0-1/25

1. constant rate
2. initial loss
3. Skaggs
4.Khaleel

Archive of SID
www.SID.ir

ج) زیرمدل کمبود جریان و میزان ثابت تلفات

مدل HEC- HMS دارای یک زیرمدل شبه‌پیوسته محاسبهٔ تلفات بارش به نام زیرمدل کمبود جریان و م یزان ثابت تلفات[1] است که مشابه مدل شرایط اولیه با میـزان ثابـت تلفات است، اما تلفات اولیه پس از پریود طولانی دورهٔ خشک بازیافت می‌شود. برای استفاده از مـدل فـوق در HEC- HMS لازم است تلفات اولیه و میـزان ثابـت بـه علاوهٔ میزان بازیابی مشخص شود.

مدل HEC- HMS کمبود رطوبت را به صـورت پیوسته در نظر می‌گیرد و آن را محاسبه می‌کند. حجم اولیهٔ جذب کمتر از حجـم بـارش بـه عـلاوه حجـم بازیافتی در طول دورهٔ بارش محسوب می‌شود. میزان بازیافتی[2] می‌تواند به عنوان مجموع میزان‌های تبخیر و نفوذ برآورد شود.

د) زیرمدل گرین[3] و آمپت[4]

مدل نفوذ گرین و آمپـت در HEC- HMS یـک مـدل مفهومی برای محاسبهٔ تلفات ناشی از بارندگی اسـت. به‌طور خلاصه، این مدل تلفات ناشی از بـارش را در سطوح نفوذپذیر در یک بازهٔ زمـانی خـاص محاسـبه می‌کند. پارامترهـای لازم در مـدل گـرین و آمپـت و چگونگی برآورد آن‌ها به شرح زیر است:

ـ تلفـات اولیـه: تـابعی از رطوبـت حوضـه در شروع بارندگی است که مـی‌توانـد شـبیه روش‌هـای محاسبهٔ جذب اولیه (در سایر روش‌ها) محاسبه شود.

ـ ضریب هدایت هیدرولیکی[5]: این پارامتر، کـه تابعی از بافت خاک است، با استفاده از جدول ۳ (بـه اقتباس از استانداردهای مهندسی امریکا EM-1110-2-1417) تخمین‌زدنی است.

ـ پتانسیل مکش خاک در جبههٔ رطوبـت[6]: ایـن پارامترها تابعی از توزیع اندازهٔ پوکی خاک اسـت کـه می‌تواند به بافـت خـاک وابسـته باشـد. مقـادیر ایـن پارامتر نیز در جدول ۳ ارائه شده است.

ـ کمبود حجم رطوبت[7]: عامل $(\text{ø} - \theta_i)$ تفاضل تخلخل خاک را از حجم آب اولیه نشان می‌دهـد. در سال ۱۹۸۲ رالز[8] و بارکنزیک[9] یـک هـم‌بسـتگی بـین تخلخل و بافت خـاک ایجـاد کردنـد؛ جـدول ۳ ایـن رابطه را نشان می‌دهد. حجم آب اولیه باید بـین ۰ تـا ø واقع شـود؛ بـرای مثـال، اگـر خـاک اشـباع باشـد $\theta_i = \text{ø}$ و برای خـاک کـاملاً خشـک θ_i برابـر صـفر پیشنهاد شده است. حجم آب ممکن است به انـدیس بارش قبلی مرتبط باشد.

ه) زیرمدل تلفات‌نمایی[10]

روش تلفات‌نمایی روشـی تجربـی اسـت کـه بـدون کالیبراسیون قابل استفاده نیست. در این روش سرعت نفوذ هنگامی که خاک خشک است افـزایش و مقـدار رواناب کاهش می‌یابد. در این مدل پارامترهای مـؤثر به شرح زیر است:

دامنهٔ اولیه[11]: مقداری از نفوذ اولیه است که، در طی آن، میزان هدررفت افزایش می‌یابد. ایـن پـارامتر به عنوان نقش کمبود رطوبت قبلی خاک و وابسته بـه مقدار سیلاب است.

1. deficit/ constant loss
2. recovery rate
3. green
4. Ampt
5. Conductivity
6. wet front suc
7. vol moisture deficit
8. Rawls
9. Barkensiek
10. Exponental
11. initial range

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۳. جدول تخمین مقادیر پارامترهای روش گرین و آمپت

بافت خاک	پتانسیل مکش خاک در جبههٔ رطوبت (cm)	ضریب هدایت هیدرولیکی (cm/hr)	تخلخل خاک(cm3/cm)
شنی	10,6	21,00	0,437
شنی لومی	14,2	6,11	0,437
لومی شنی	22,2	2,59	0,453
لومی	31,5	1,32	0,463
لومی سیلتی	40,4	0,68	0,501
لومی رسی شنی	44,9	0,43	0,398
لومی رسی	44,6	0,23	0,464
لومی رسی سیلتی	58,1	0,15	0,471
رسی شنی	63,6	0,12	0,430
رسی سیلتی	64,7	0,09	0,479
رسی	71,4	0,06	0,475

ضریب اولیه[1]: شروع میزان هدررفت در منحنی نفوذنمایی را مشخص می‌کند. به نظر می‌رسد یک نقش عملکرد خصوصیات نفوذ ممکن است با نوع خاک، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، و دیگر خصوصیات حوضه وابسته باشد.

نسبت ضریب[2]: میزانی است که در آن کاهش‌نمایی با میزان افزایش نفوذ سازگار است. این ضریب ممکن است به عنوان خاک سطحی یک حوضه در جذب بارندگی مدنظر قرار گیرد و باید برای یک سطح وسیع همگن ثابت در نظر گرفته شود. دامنهٔ این پارامتر بین ۱-۰ است.

نمای بارش[3]: تأثیر میزان بارش را در خصوصیات هدررفت زیرحوضه منعکس می‌کند. این پارامتر حالت منطقه را که در آن سیلاب اتفاق می‌افتد، و خصوصیات یک منطقهٔ ویژه را نشان می‌دهد.

روش محاسبهٔ رواناب مستقیم

در این تحقیق برای محاسبهٔ رواناب مستقیم از روش هیدروگراف واحد SCS، که با روش‌های مورد استفاده برای برآورد تلفات در حوضه سازگاری دارد، استفاده شده است.

برای اندازه‌گیری بهترین برازش بین هیدروگراف مشاهده‌شده و محاسبه‌شده از تابع هدف درصد خطای دبی اوج[4] استفاده شد. این تابع فقط خوبی برازش را برای دبی اوج هیدروگراف محاسبه‌شده و مشاهده‌شده نشان می‌دهد و برازش را به صورت مقدار قدر مطلق اختلاف به درصد بیان می‌کند. بنابراین، زیاد یا کم برآوردکردن را به یک اندازه، نامطلوب در نظر می‌گیرد. این تابع نمی‌تواند خطا را در حجم جریان یا در زمان اوج بیان کند. اگر اطلاعات موردنیاز برای طراحی یا برنامه‌ریزی به دبی اوج یا مرح لهٔ اوج محدود شود، تابع درصد خطا در دبی اوج تابعی منطقی است.

1. Initial Coefficient
2. Coefficient Ratio
3. Precipitation Exponent
4. Percent Error In Peak

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج

با تکمیل اطلاعات لازم، مدل برای وقایع مختلف اجرا شد. با بررسی‌های صورت‌گرفته تعداد رویدادهای قابل شبیه‌سازی شش واقعه و تعداد رویداد برای اعتباریابیْ یک واقعه است. پس از اجرای مدل برای وقایع مختلف، آنالیز حساسیت هر مدل انجام شد و، پس از مشخص‌شدن پارامترهای حساس هر مدل، بهینه‌سازی و کالیبراسیون نیز انجام پذیرفت. به منظور مقایسهٔ روش‌های مختلف، با توجه به تابع هدف درصد خطای پیک، مدل برای هر روش اجرا شد و جدول‌های ۹ و ۶ نتایج آن را نشان می‌دهد.

آنالیز حساسیت مدل به پارامترها

برای تعیین پارامترهای مناسب جهت کالیبراسیون مدل از آنالیز حساسیت استفاده شد. با توجه به اینکه در این تحقیق از پنج روش برای برآورد تلفات استفاده شده است، برای هر کدام از روش‌ها، جداگانه، آنالیز حساسیت انجام گرفت و پارامترهای حساس برای کالیبراسیون مشخص شد.

آنالیز حساسیت زیرمدل روش گرین و آمپت

برای این منظور مقدار هدایت هیدرولیکی خاک[1] و پتانسیل مکش خاک[2] در هر یک از زیرحوضه‌ها کم و زیاد شد و نتایج در خروجی حوضه بررسی شد. بدین صورت، مقدار این دو پارامتر از ۱۵٪- تا ۱۵٪+ با فواصل ۵ درصد تغییر داده شد و اثر آن بر دبی اوج سیل تعیین گردید. نمودار ۱ منحنی تغییرات نتایج مدل را به ازای تغییر در دو پارامتر یادشده نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود، مدل، حساسیت بیشتری به تغییرات هدایت هیدرولیکی خاک نمایان ساخته، بنابراین، کالیبراسیون بر اساس این پارامتر انجام می‌شود. در جدول‌های ۴ و ۵ نتایج بررسی حساسیت مدل ارائه شده است.

جدول ۴. خلاصهٔ نتایج حساسیت مدل به تغییر در پارامتر هدایت هیدرولیکی خاک

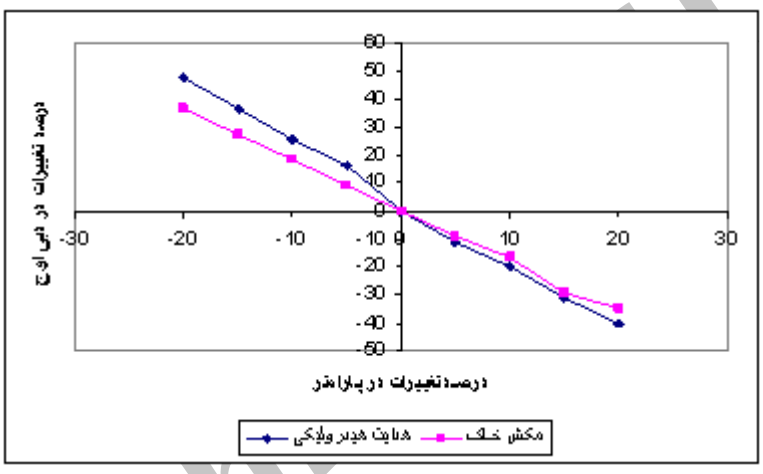
درصد تغییرات پارامتر	هدایت هیدرولیکی خاک	دبی اوج	درصد تغییرات دبی اوج	حساسیت
-۱۵	۰٫۳۶	۷٫۵	۳۶٫۳۶	۱٫۷۳
-۱۰	۰٫۳۸	۶٫۹	۲۵٫۴۵	۱٫۵۶
-۵	۰٫۴۰	۶٫۴	۱۶٫۳۶	۳٫۲۷
۰	۰٫۴۳	۵٫۵	۰	۰
۵	۰٫۴۵	۴٫۹	-۱۰٫۹	-۲٫۱۸
۱۰	۰٫۴۷	۴٫۴	-۲۰	-۲٫۰۴
۱۵	۰٫۴۹	۳٫۸	-۳۰٫۹	-۲٫۷۲

1. Conductivity
2. Suction

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. خلاصهٔ نتایج حساسیت مدل به تغییر در پارامتر پتانسیل مکش خاک

درصد تغییرات پارامتر	پتانسیل مکش خاک	دبی اوج	درصد تغییرات دبی اوج	حساسیت
-۱۵	۳۸٫۱۶	۷	۲۷٫۲۷	۱٫۵۳
-۱۰	۴۰٫۴۱	۶٫۵	۱۸٫۱۸	۱٫۶۶
-۵	۴۲٫۶۵	۶	۹٫۰۹	۱٫۸۱
۰	۴۴٫۹	۵٫۵	۰	۰
۵	۴۷٫۱۴	۵	-۹٫۰۹	-۱٫۸۱
۱۰	۴۹٫۳۹	۴٫۶	-۱۶٫۳۶	-۱٫۶
۱۵	۵۱٫۶۳	۳٫۹	-۲۹٫۰۹	-۳٫۰۴



نمودار ۱. منحنی تغییرات نتایج مدل به ازای تغییر هدایت هیدرولیکی خاک و پتانسیل مکش خاک

به همین ترتیب، برای سایر روش‌ها پارامترهای حساس را مشخص می‌کنند و زیرمدل‌ها را بر اساس آن‌ها کالیبره و بهینه‌سازی می‌کنند که نتایج آن در جدول ۷ آمده است.

بهینه‌سازی (کالیبراسیون) مدل

پس از اجرای مدل برای وقایع مختلف، جهت حصول نتیجهٔ بهتر، مدلْ کالیبره شد. برای بهینه‌سازی مدل برای هر روش پارامترهایی استفاده گردید که، طبق نتایج آنالیز حساسیت، تأثیر بیشتری نسبت به پارامترهای دیگر داشتند. بدین صورت که نخست مدل برای مقدار اولیهٔ پارامترها اجرا شد، سپس، با توجه به هیدروگراف مشاهداتی در ایستگاه‌ها بهینه گردید.

اعتباریابی نتایج مدل

برای اعتباریابی مدل از رویدادهای ۷۶/۱۱/۱۸،۱۹ استفاده شد؛ بدین صورت که زیرمدل‌ها برای این بارش پس از بهینه‌سازی و با به‌کاربردن پارامترهای کالیبره‌شده اجرا گردید. ذکر این نکته لازم است که دامنهٔ درصد تغییرات دبی برای اعتباریابی باید در محدودهٔ ۵۰٪- تا ۵۰٪+ باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۶. نتایج مدل با تابع هدف درصد خطای پیک، روش‌ها، و وقایع مختلف

روش / وقایع	کمبود و میزان ثابت اولیه		تلفات‌نمایی		گرین و آمپت		تلفات و میزان ثابت اولیه		شمارهٔ منحنی (scs)	
	obs[1]	sim[2]	obs	sim	Obs	sim	obs	sim	obs	sim
۸۰/۱۰/۱۸،۱۷	۲/۹	۳/۱	۲/۹	۲/۹	۹/۲	۲/۹	۲/۹	۲/۸	۲/۹	۲/۹
۸۱/۱/۱۴،۱۳	۹/۷	۲۵/۹	۹/۷	۹/۶	۹/۷	۳۷/۲	۹/۷	۱۰/۲	۹/۷	۹/۵
۸۱/۱/۲۴،۲۳	۳۰/۵	۲۱/۷	۳۰/۵	۳۱/۳	۳۰/۵	۳۰/۵	۳۰/۵	۳۰/۷	۳۰/۵	۲۶/۸
۸۱/۱/۳۱،۳۰،۲۹	۲۲/۲	۲۴/۲	۲۲/۲	۲۳/۷	۲۲/۲	۲۲/۲	۲۲/۲	۲۲/۲	۲۲/۲	۲۱/۳
۸۲/۱/۲۸،۲۷	۳۸/۲	۴۱/۴	۳۸/۲	۳۸/۲	۳۸/۲	۴۱/۸	۳۸/۲	۳۸/۲	۳۸/۲	۱۸/۵
۸۳/۱۲/۲۲،۲۱	۵۱/۴	۵۱/۶	۵۱/۴	۵۱/۴	۵۱/۴	۵۱/۴	۵۱/۴	۵۱/۴	۵۱/۴	۴۳/۳

جدول ۷. نتایج حاصل از بهینه‌سازی زیرمدل‌های مختلف

روش	پارامتر حساس	مقدار اولیه		مقدار بهینه	
		زیرحوضهٔ ۱و ۲	زیرحوضهٔ ۳ و ۴ و ۵	زیرحوضهٔ ۱ و ۲	زیرحوضهٔ ۳ و ۴ و ۵
کمبود اولیه و میزان ثابت تلفات	کمبود اولیه	۱۲	۹/۸۲	۱۱/۴۵	۹/۳۵
شمارهٔ منحنی (SCS)	CN	۸۲	۸۵	۷۳	۷۷
تلفات‌نمایی	ضریب اولیه	۲		۱/۸۶	
گرین و آمپت	هدایت هیدرولیکی	۰/۴۳		۰/۴۲	
شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات	میزان ثابت تلفات	۳/۲۵		۲/۶۲	

جدول ۸. نتایج حاصل از اعتباریابی زیرمدل‌های مختلف

روش	دبی		درصد تغییران دبی
	مشاهده‌شده	محاسبه‌شده	
کمبود اولیه و میزان ثابت تلفات	۱۰/۰۴	۱۳/۲	۳۱/۴۷
تلفات‌نمایی	۱۰/۰۴	۱۴	۳۹/۴۴
گرین و آمپت	۱۰/۰۴	۱۴/۴	۴۳/۴۲
شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات	۱۰/۰۴	۱۳/۶	۳۵/۴۶
شمارهٔ منحنی (SCS)	۱۰/۰۴	۱۳/۲	۳۱/۴۷

1. Observation
2. Simulation

Archive of SID
www.SID.ir

بعد از اعتباریابی، برای اولویت‌بندی روش‌ها، درصد تغییرات دبی مشاهداتی نسبت به دبی محاسباتی در هر واقعه برای هر روش برآورد تلفات محاسبه شدکه نتایج آن در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹. محاسبهٔ درصد تغییرات دبی اوج با استفاده از تابع هدف درصد خطای پیک، روش‌ها، و وقایع مختلف

روش / وقایع	کمبود و میزان ثابت اولیه	تلفات‌نمایی	گرین و آمپت	تلفات و میزان ثابت اولیه	شمارهٔ منحنی (scs)
۸۰/۱۰/۱۸،۱۷	۱۰	۰٫۲	۲	−۰٫۵	۲/۴
۸۱/۱/۱۴،۱۳	۱۶۸٫۴	−۰٫۴	۲۸۵٫۶	۵٫۹	−۱٫۵
۸۱/۱/۲۴،۲۳	−۲۹٫۱	۲٫۶	۰	۰٫۷	−۱۲٫۱
۸۱/۱/۳۱،۳۰،۲۹	۸٫۸	۶٫۶	۰	۰	−۴٫۱
۸۲/۱/۲۸،۲۷	۸٫۲	−۰٫۱	۹٫۵	−۰٫۱	−۵۱٫۶
۸۳/۱۲/۲۲،۲۱	۰٫۴	۰٫۱	۰	۰٫۱	−۱۵٫۷

بحث و نتیجه‌گیری

رابطهٔ تلفات بارش- رواناب فرایند پیچیده‌ای است که در آن پارامترهای زیادی دخیل است. از سویی، دانستن این فرایند برای برنامه‌ریزی و مدیریت جامع در حوزهٔ آبخیز ضروری است. بنابراین، به منظور درک این فرایند از مدل‌سازی استفاده می‌شود تا با ساده‌کردن، برای حل مسائل هیدرولوژی تلاش شود. درنظرگرفتن پارامترهای اصلی در شبیه‌سازی، به عنوان یک اصل، مد نظر بوده است، ولی در بعضی موارد با در نظرگرفتن بعضی از فرایندها و کمّی‌کردن آن‌ها می‌توان مقادیر شبیه‌سازی را به مقادیر واقعی تبدیل کرد.

در این تحقیق، با مقایسهٔ نتایج حاصل از روش‌های مختلف برآورد تلفات رواناب، با توجه به تابع هدف درصد خطای پیک، روش‌ها اولویت‌بندی شد. بر همین اساس، روشی که کمترین میزان درصد تغییرات دبی مشاهداتی نسبت به دبی محاسباتی داشت در اولویت اول قرار گرفت و روش‌های دیگر در اولویت بعدی قرار گرفتند.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی در شش واقعهٔ موجود و مقایسهٔ هیدروگراف‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی بیانگر آن است که مدل با تقریب قابل قبولی می‌تواند در شبیه‌سازی بارش- رواناب در حوضهٔ مورد مطالعه به‌کار رود. نتایج شبیه‌سازی زیرمدل SCS با تحقیقات سایر محققان تطابق دارد [6؛ 5؛ 2].

در مرحلهٔ آنالیز حساسیت در روش شمارهٔ منحنی، که بین دو پارامتر شمارهٔ منحنی و زمان تأخیر صورت گرفت، پارامتر شمارهٔ منحنی با داشتن بیشترین شیب پارامتر حساس تعیین شد. محققان دیگر در حوضهٔ باراندوز چای ارومیه [6] و در حوضهٔ سیروان- کلوان [5] نتایج مشابهی به‌دست آوردند.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از اجرای هر روش در وقایع مختلف و برازش به وسیلهٔ تابع هدف درصد خطای پیک، از شش رویداد روش تلفات‌نمایی و گرین و آمپت هر کدام در سه رویداد دارای میزان کمتر درصد تغییرات دبی مشاهداتی نسبت به دبی محاسباتی بودند و

Archive of SID

www.SID.ir

روش‌های شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات، شمارهٔ منحنی، و کمبود اولیه و میزان ثابت تلفات به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرارگرفتند. نتایج واسنجی با تحقیقات دیگر محققان [12؛ 10]، که روش SCS بهترین نتیجه را دربرداشت، متفاوت است.

به‌طور کلی، چون روش تلفات‌نمایی دارای درصد تغییرات کمتر دبی محاسباتی نسبت به مشاهداتی بود، روش‌های بهینه برای برآورد تلفات بارش حوضهٔ مورد مطالعه به صورت ۱. تلفات‌نمایی؛ ۲. گرین و آمپت؛ ۳. شرایط اولیه و میزان ثابت تلفات؛ ۴. شمارهٔ منحنی (SCS)؛ ۵. کمبود اولیه و میزان ثابت تلفات اولویت‌بندی می‌شود.

References

[1]. Alizadeh, A. (2001). Application hydrology, ver.15, press Astan- e- ghodse razavi. 673pp.

[2]. Abasi, M. (2009). Assessment of watershed management practices using mathematical moadel, (Case Study: Can in Iran), Thesis of M.Sc. 173pp.

[3]. Emerson, C.H., Welty, C. and Traver, R.G. (2003). Application of HEC- HMS to model the additive effects of multiple detention basins over a range of measured storm volumes, Civil Engineering Database, Part of world water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia. 228pp.

[4]. Gautam, M. (2001). on the prediction of concentration in a dispersing heavy-duty truck exhaust plum using K –turbulent closure. 70pp.

[5]. Karimizad, K. (2009). Technical assessment of watershed management measures effects on flood (Case Study: Sira-kalvan in Iran), Thesis of M.Sc. 192pp.

[6]. Khaligh sigaroodi, SH. (2004). study of landusechang effect on hydrological cheracteristics(Case Study: Barandoozchai basin, Thesis of ph.d, university of Tehran. 253pp.

[7]. Kristofer R. Rolfhus (2001). The evasion and spatial/temporal distribution of mercury species in long island sound,CT-NY.17-31.

[8]. Long Lin, T. (1999). Amplification and cloning of infection bursal disease virus genomic RNA segments by long and accurate PCR. 20pp.

[9]. Mahdavi, M. (2004). Application hydrology, ver 2, press university of Tehran. 250p.

[10]. Mirmehdi. M. and Gahangir, E. (2008). assessment and evaluation HEC-HMS model in watershed Maroon, fourteen international conference engineering university of Tehran.10p.

[11]. Roshani, R. (2003). Evaluation The Effect of Check Dams on Flood Peaks to Optimize The Flood Control Measures (Can Case Study in Iran), Thesis of M.Sc. 35p.

[12]. Radmanesh, F. and et al.(2006). Assessment and evaluation HEC- HMS model in watershed Roodzard, seventeen international conference engineering river, university of Shahid chamran, Ahvaz. 17p.

[13]. Soorinajhad, A. (2000). Hydroclimatologhy simulation rainfall-runoff models in sourt west basins of Iran, Thesis of ph.d, university of Tarbiat modares.193p.

Archive of SID

www.SID.ir