نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۱، شماره ۲، ۱۳۹۸، صفحات ۳۳۶-۳۴۳

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 11, Issue 2, 2019, Pages 336-343
DOI: 10.22092/ijwmse.2017.107260.1174

مقایسه اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها با استفاده از مدل HEC-HMS و روش‌های تجربی درحوزه آبخیز اسکندری

علی طالبی*[۱]، زهرا اسلامی[۲] و عبدالحسین عباسی[۳]

[۱] دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، [۲] کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد و [۳] کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۱۱

چکیده

شناسایی مناطق دارای پتانسیل زیاد سیل‌خیزی در حوزه آبخیز از جمله کارهای بسیار مهم در کنترل سیل و کاهش خسارات ناشی از آن می‌باشد. در تحقیق حاضر، به بررسی امکان اولویت‌بندی نه زیرحوضه از نظر سیل‌خیزی در حوزه آبخیز اسکندری واقع در استان اصفهان با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS پرداخته شده است. همچنین، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش‌های تجربی ضریب سیل‌خیزی و دبی پیک در واحد سطح انجام شد. به‌منظور اجرای مدل HEC-HMS از بارش طرح با دوره بازگشت‌های دو ، پنج، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله استفاده شد. با کاربرد روش حذف ترتیبی زیرحوضه‌ها و حذف CN هر یک از زیرحوضه‌ها در هر مرتبه از اجرای مدل، هیدروگراف‌های سیل متناظر با بارش، برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه و میزان تأثیر هر یک از آن‌ها در تولید سیل خروجی به‌دست آمد و زیرحوضه‌ها به‌ترتیب نقش آن‌ها در سیل خروجی اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان داد، زیرحوضه I با احتساب زیرحوضه‌های مستقل و غیر مستقل دارای اولویت نخست پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در دو روش تجربی به‌کار برده شده نتایج کاملا متفاوتی از یکدیگر داشته و عدم تبعیت این اولویت‌بندی از یک روند خاص می‌باشد. به‌طوری که زیرحوضه E در روش ضریب سیل‌خیزی دارای اولویت ششم و در روش برآورد دبی پیک در واحد سطح دارای اولویت سوم می‌باشد. با مقایسه اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در مدل HEC-HMS در دوره بازگشت‌های مختلف، نتایج نشان می‌دهد که اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف از روندی خاص تبعیت می‌کند. بنابراین، مدل HEC-HMS کارایی بیشتری در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل‌خیزی نسبت به روش‌های تجربی دارد.

واژه‌های کلیدی: استان اصفهان، بارش-رواناب، دبی پیک، ضریب سیل‌خیزی، کنترل سیل

مقدمه

افزایش سیل در سال‌های اخیر حاکی از آن است که بیشتر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار دارند و ابعاد خسارات و تلفات جانی و مالی سیل افزایش یافته است. برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند، تعیین و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شوند. به‌طورکلی دو دسته از عوامل اقلیمی و حوضه‌ای در ایجاد سیلاب‌ها نقش دارند (Soofi، ۲۰۰۶). Khosroshah و

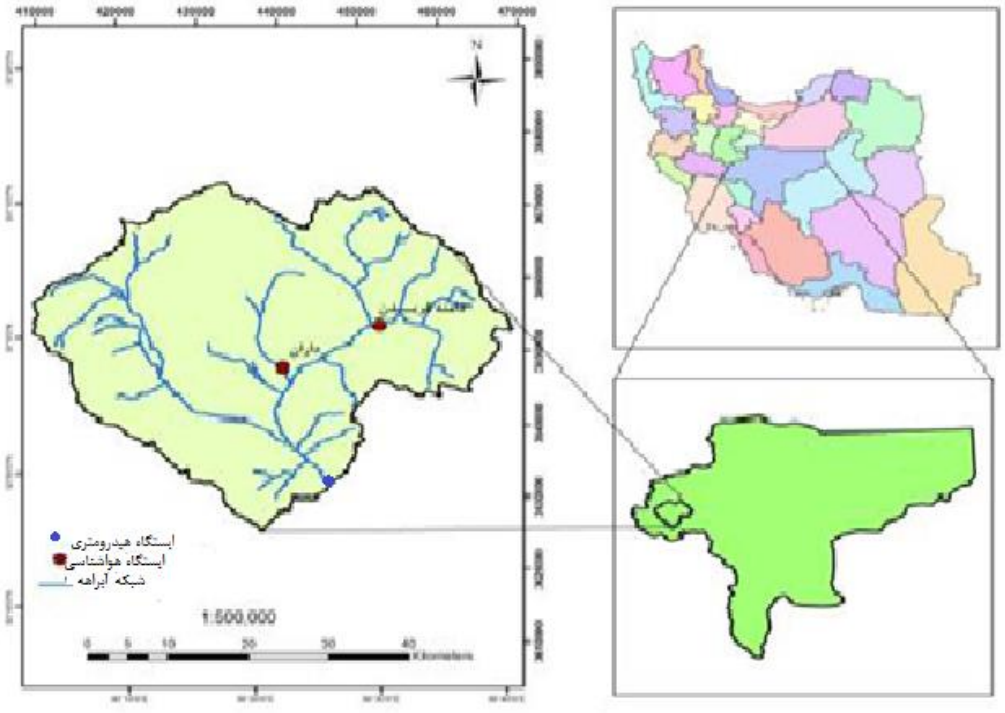
* مسئول مکاتبات: talebisf@yazd.ac.ir

Saghafian (۲۰۰۲) به بررسی عوامل موثر بر سیل‌خیزی زیرحوضه‌های دماوند پرداختند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که از میان عوامل مهم، عدد منحنی در سطح زیرحوضه‌ای بحرانی از دیدگاه سیل‌خیزی مهمترین عامل برای تغییر در راستای کنترل سیل می‌باشد. Jokar (۲۰۰۲) برای تعیین سیل‌خیزی زیرحوضه‌های رودخانه شاپور با استفاده از شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی، میزان مشارکت هر یک از زیرحوضه‌ها در هیدروگراف سیل خروجی را به‌دست آورد. Shooshtari و همکاران (۲۰۰۲) برای تعیین هیدروگراف سیل در حوضه رودخانه‌های کر و سیوند با مساحت ۱۶۶۸ کیلومتر مربع از مدل HEC-HMS استفاده نمودند. آن‌ها برای تعیین تلفات بارش از روش SCS کمک گرفته، هیدروگراف حوضه را با استفاده از روش هیدروگراف واحد اشنایدر به‌دست آوردند. نتایج مطالعه موید قابلیت‌های مدل HEC-HMS در پیش‌بینی هیدروگراف سیل بوده است. Peghe و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از مدل HEC-HMS و شش رویداد بارندگی و سیل و به‌کارگیری روش شماره منحنی در بخش تلفات، روش هیدروگراف واحد در تبدیل بارش به رواناب و ماسکینگام کونژ هشت نقطه‌ای در روندیابی سیل، نتیجه گرفتند که علاوه بر مساحت، موقعیت مکانی و هم زمانی یا عدم هم‌زمانی دبی اوج هر زیرحوضه با سایر زیرحوضه‌ها نیز در مشارکت نهایی آن‌ها در دبی اوج کل حوضه نقش دارد. Sher Jamal Khan و Zahiruddin Khan (۲۰۱۱) بیان کردند که تغییرات کاربری اراضی اثرات معنی‌داری بر فرایند اکولوژیکی و هیدرولوژیکی در حوزه آبخیز داشته است. آن‌ها پنج واقعه بارش را برای واسنجی و ارزیابی مدل بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS در آبخیز لای نولا پاکستان استفاده کردند. سپس، از این مدل برای پیش‌بینی رواناب و اوج سیلاب‌ها که در اثر روند تغییر کاربری در منطقه ایجاد شدند، استفاده کردند. Halwatura و Najim (۲۰۱۳) به شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز ایا اتاگاناتو با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند. در این مطالعه، مدل برای سه روش افت شماره منحنی سرویس حفاظت خاک، روش هیدروگراف واحد اشنایدر وکلارک تنظیم و واسنجی شد. شبیه‌سازی جریان با روش هیدروگراف واحد اشنایدر قابل اعتمادتر از روش هیدروگراف واحد کلارک بود. Mostafa و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به تجزیه و تحلیل هیدرولوژیکی و کاهش سیل در وادی یمن پرداختند. آن‌ها حوضه را به هشت زیرحوضه تقسیم و از مدل HEC-HMS برای براورد هیدروگراف سیل استفاده کردند. نتایج نشان داد که تنها دو زیرحوضه نیاز به ایجاد سازه برای جلوگیری و کاهش خطر سیل دارد. هدف از این تحقیق، بررسی امکان اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل بارش-رواناب HEC-HMS و مقایسه آن با روش‌های تجربی در حوزه آبخیز اسکندری واقع در استان اصفهان می‌باشد. تا کنون در استان اصفهان به‌ویژه این حوضه، اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی انجام نشده است. نتایج این تحقیق کاربرد زیادی در رفتارسنجی سیل‌خیزی داشته و زیرحوضه با اولویت سیل‌خیزی را شناسایی تا مدیریت حوزه آبخیز در شرایط بحرانی انجام شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز اسکندری واقع در غرب استان اصفهان می‌باشد. حوضه مذکور با داشتن مساحتی بالغ بر ۱۶۴۹ کیلومتر مربع و ارتفاع متوسط وزنی ۲۶۲۶ متر از سطح دریا و مختصات ´۰۲ °۵۰ تا ´۳۰ °۵۰ طول شرقی و ´۴۲ °۳۲ تا ´۱۱ °۳۳ عرض شمالی در حوزه آبخیز سد زاینده‌رود واقع شده است. رودخانه پلاسجان که از ارتفاعات شهرستان فریدون شهر از توابع استان اصفهان سرچشمه می‌گیرد، در حوزه آبخیز اسکندری جاری می‌باشد. رودخانه مذکور از سه شعبه دامنه، دهق و نهر خلج تشکیل یافته که در حوالی روستای سواران به هم می‌پیوندند. رواناب این رودخانه در محل ایستگاه هیدرومتری اسکندری با طول ´۲۵ °۵۰ درجه شرقی و عرض ´۴۹ °۳۲ درجه شمالی و ارتفاع ۲۱۳۰ متر از سطح دریا اندازه‌گیری می‌شود. متوسط آبدهی سالانه آن ۱۳۱ میلیون متر مکعب است. میانگین بارندگی سالیانه حوزه آبخیز اسکندری ۳۳۹ میلی‌متر محاسبه شده است. رودخانه پلاسجان که بعد از زاینده‌رود مهمترین شاخه حوزه آبخیز زاینده‌رود می‌باشد، در

نزدیکی روستای علی‌آباد واقع در منتهی‌الیه غرب دریاچه سد زاینده‌رود، به رودخانه زاینده‌رود ملحق می‌شود. در شکل ۱، موقعیت حوزه آبخیز اسکندری در ایران و استان اصفهان نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز اسکندری در ایران و استان اصفهان

شبیه‌سازی واکنش هیدرولوژیک حوضه با HEC-HMS: مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS بر اساس شبیه‌سازی بارندگی رواناب در حوزه‌های آبخیز طراحی شده است که با استفاده از قابلیت‌های نمایشی قادر به حل مسائل متنوعی است. این تنوع شامل مطالعات حوضه‌های آبرسانی رودخانه‌های بزرگ، هیدرولوژی سیلاب‌ها، توزیع بارش و تلفات آن می‌باشد (Rahimi، ۲۰۰۲). این مدل دارای سه بخش اصلی به نام‌های مدل حوضه، مدل اقلیمی و شاخص‌های کنترلی می‌باشد. همچنین، دارای قابلیت بهینه‌سازی پارامترها است. مهمترین محاسبات داخلی در این نرم‌افزار شامل محاسبات تلفات، تبدیل بارش مازاد به رواناب، برآورد دبی پایه حوضه و روندیابی در بازه‌ها و مخازن است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل: واسنجی فرایندی است که طی آن مقادیر پارامترهای معرفی‌شده به مدل، با هدف دسترسی به نتایج همگون با داده‌های واقعی و طبیعی تصحیح شود. فرایند واسنجی می‌تواند به‌صورت کاملاً دستی و با قضاوت کارشناسی، به روش تصحیح مکرر پارامترها و محاسبه بهترین برازش بین هیدروگراف محاسبه‌شده و هیدروگراف مشاهده شده، انجام پذیرد.

در این تحقیق، مدل به‌صورت دستی و با استفاده از چهار پارامتر شماره منحنی، زمان تأخیر، درصد نفوذناپذیری و تلفات اولیه برای پنج رویداد در ایستگاه هیدرومتری اسکندری واسنجی شدند که میانگین مقادیر پارامتر واسنجی شده برای اجرای بعدی و اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شده است. پس از اجرای مدل با پارامترهای واسنجی شده، با پنج رویداد ایستگاه باران‌سنجی بویین اعتبارسنجی مدل انجام شد. جداول ۱ و ۲ رویدادهای بارش انتخابی و تدوام آن‌ها را نشان می‌دهد. واسنجی، تعدیل یا اصلاح پارامترهای ورودی مدل است؛ به‌نحوی که بهترین برازش را با داده‌های مشاهده‌ای داشته باشند. مقدار کمی بهترین برازش همان تابع هدف خواهد بود. برای کمینه کردن مقدار تابع هدف و یافتن مقادیر بهینه پارامترها، می‌توان از پنج تابع هدف موجود در نرم‌افزار استفاده کرد. این

توابع عبارتند از: تابع انحراف معیار وزنی دبی اوج، تابع مجموع مربع باقی‌مانده‌ها، تابع مجموع قدرمطلق باقی‌مانده، تابع درصد خطای دبی اوج، تابع درصد خطای حجمی.

جدول ۱- رویدادهای انتخابی برای واسنجی

پارامتر	مدت زمان بارش	میزان بارش
رویداد	ساعت	میلی‌متر
۸۶/۰۱/۲۲	۹	۲۴/۲
۸۹/۰۲/۱۴-۱۳	۱۲	۲۷/۹
۸۹/۱۲/۲۳	۸	۱۶/۶
۸۹/۰۱/۲۰-۲۱	۶	۱۹/۸
۸۸/۰۲/۱۲	۲۳	۱۷/۴

جدول ۲- **رویدادهای انتخابی برای اعتبارسنجی**

پارامتر	مقدار بارش	مدت زمان بارش
رویداد	میلی‌متر	ساعت
۱۳۸۷/۱۲/۰۲	۱۸	۱۳
۱۳۹۰/۱۱/۲۵	۲۱/۵	۱۱
۱۳۸۸/۰۸/۱۴	۱۴/۲۵	۶
۱۳۸۷/۰۹/۱۴	۲۸/۵	۱۰
۱۳۸۹/۱۰/۱۳	۲۶/۷۵	۷

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با استفاده از روش‌های تجربی

روش ضریب سیل‌خیزی (*FC*): برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی نیاز به برآورد و تعریف ضریبی است که اولویت‌بندی سیل‌خیزی بر اساس آن انجام شود و طبیعی است که برای برآورد این ضریب نیاز به بررسی و طبقه‌بندی عوامل موثر در بروز سیلاب است که رابطه (۱) پیشنهاد می‌شود (Talebi و همکاران، ۲۰۰۸).

$$FC=\frac{CN}{10}+I+(1-G)\times 10 \qquad (۱)$$

که در آن، CN شماره منحنی، Ge شکل حوضه به‌صورت ضریب گراویلیوس، I شیب حوضه (درصد) و FC ضریب سیل‌خیزی حوضه می‌باشد.

روش برآورد دبی پیک در واحد سطح: این روش، روشی است که در بسیاری از موارد مرسوم بوده، اجرا می‌شود و در آن برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، بر اساس دبی بیشینه در واحد سطح زیرحوضه قضاوت می‌شود که از رابطه (۲) استفاده می‌شود (Talebi و همکاران، ۲۰۰۸).

$$Q_{max}=\frac{2.083Q.A}{Tp} \qquad (۲)$$

$$T_p=t_c+0.6tc \qquad (۳)$$

که در آن، QP دبی اوج (M^3S^{-1})، Q ارتفاع رواناب در زمان تمرکز با دوره بازگشت مختلف (cm) و Tp زمان تا اوج (hr) است که از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

اجرای مدل هیدرولوژی در شدت بارش طرح: در این مرحله با استفاده از بارش طرح و مقادیر جدید شماره منحنی مدل HEC-HMS اجرا می‌شود. تغییرپذیری پدیده بارش در طبیعت باعث تغییرات میزان و الگوی پراکنش بارندگی در زمان و مکان خواهدشد (Hashemi، ۲۰۰۳). بنابراین، به‌ندرت می‌توان به رویدادی با مشخصات یکسان برای مقایسه عکس‌العمل هیدرولوژیکی وضعیت‌های متفاوت، دست یافت (Tajiki، ۲۰۰۷). لذا، برای حل این مشکل و مقایسه وضعیت سیل‌خیزی در حوضه‌های مختلف، با استفاده از خصوصیات بارش اقدام به تعیین بارش طرح با دوره بازگشت‌های مختلف شد.

شدیدترین سیلاب از بارانی ناشی می‌شود که تداوم آن برابر زمان تمرکز حوزه آبخیز یا بیشتر باشد. لذا، برای محاسبه دبی سیلاب برای زیرحوضه‌های مختلف، تدوام بارش طرح برابر زمان تمرکز زیرحوضه‌ها در نظر گرفته شده است. شدت بارش طرح در زمان تمرکز حوضه با دوره بازگشت‌های مختلف، از رابطه شدت-مدت-فراوانی بارندگی ایستگاه هواشناسی سینوپتیک داران محاسبه شد (رابطه ۴).

$$I=\frac{a+b\log T}{(1+t)^n} \qquad (۴)$$

که در آن، I شدت بارندگی (میلی‌متر در ساعت)، t تدوام بارش (دقیقه)، T دوره‌بازگشت و a، b ، c و n ضرایب ثابت هستند.

نتایج و بحث

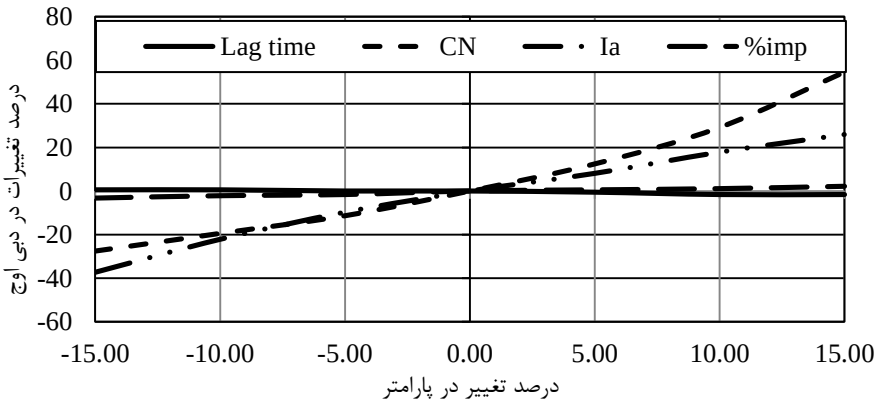
نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل: برای واسنجی

و اعتبارسنجی، سیلاب‌ها به دو گروه تقسیم می‌شود که یک گروه برای واسنجی و گروه دوم برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای تعیین پارامترهای مناسب برای واسنجی مدل، از تحلیل حساسیت استفاده شد. برای این منظور تحلیل حساسیت برای چهار پارامتر شماره منحنی، زمان تأخیر، درصد نفوذناپذیری و تلفات اولیه انجام گرفت. شکل ۲، منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر در هر یک از پارامترها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شماره منحنی و تلفات اولیه، بیشترین حساسیت را دارا می‌باشد.

در هر یک از زیرحوضه‌ها در هر مرحله با توجه به خصوصیات منطقه از نظر گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، وضعیت بهره‌وری زمین، وضعیت هیدرولوژیکی اراضی و رطوبت پیشین خاک، شماره منحنی مشخص شده است. مقادیر دبی تا اوج و زمان تا اوج شبیه‌سازی شده و واقعی پس از واسنجی مدل اختلاف چندانی با هم نداشته، این نشانه خوبی از کارایی مدل واسنجی شده HEC-HMS در برآورد دبی اوج جریان و زمان تا اوج می‌باشد و تنها موردی که جای بحث را باقی می‌گذارد، برآورد حجم جریان است که با واسنجی مدل تا حدودی این ضعف اصلاح شده است. میزان اختلاف برآوردی حجم جریان نسبت به قبل از واسنجی شدن مدل کمتر است و قابل قبول می‌باشد. در مجموع می‌توان گفت که نتایج مدل مورد استفاده با دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان آبخیز رودخانه پلاسجان قابل اعتماد است که با تحقیقات Anderson و همکاران (۲۰۰۲)، Ali و همکاران (۲۰۱۱)، Mostafazade (۲۰۰۸) و Saghafian و همکاران (۲۰۰۷) در زمینه کارایی مناسب مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان هم‌راستا می‌باشد.

پس از تهیه مدل HEC-HMS برای حوضه مورد مطالعه و همچنین، محاسبات مربوط به بارش طرح در دوره بازگشت‌های مختلف برای حوزه آبخیز اسکندری نسبت به اجرای مدل با بارش‌های طرح محاسبه شده اقدام شد. جدول ۳، نتایج حاصل از میزان دبی اوج در دوره بازگشت‌های مختلف با بارش طرح را نشان می‌دهد.

مقایسه نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با مدل و روش‌های تجربی HEC-HMS: روش‌های تجربی که برای اولویت‌بندی به‌کار برده شده، نتایج کاملا متفاوتی از یکدیگر داشته، نشان‌دهنده عدم تبعیت این اولویت‌بندی از یک روند خاص می‌باشد. جداول ۴ و ۵ به‌ترتیب نتایج اولویت‌بندی به روش دبی پیک در واحد سطح و ضریب سیل‌خیزی را نشان می‌دهد. به‌طوری که زیرحوضه E در روش ضریب سیل‌خیزی دارای اولویت ششم و در روش برآورد دبی پیک در واحد سطح دارای اولویت سوم می‌باشد. با مقایسه اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در مدل HEC-HMS در دوره بازگشت‌های مختلف، نتایج نشان می‌دهد که اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف از روندی خاص تبعیت می‌کند. بنابراین، مدل HEC-HMS کارایی بیشتری در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل‌خیزی نسبت به روش‌های تجربی دارد.



شکل ۲– منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر در پارامترها (Lag time زمان تأخیر، CN شماره منحنی، Ia تلفات اولیه، imp درصد نفوذناپذیری)

جدول ۳- میزان بیشینه دبی سیلاب و حجم رواناب سیلاب برای زیرحوضه‌های مختلف در دوره بازگشت‌های مختلف

زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	حداکثردبی سیلاب (متر مکعب بر ثانیه) در دوره بازگشت (سال) در شرایط رطوبتی متوسط				
		۲ ساله	۵ ساله	۱۰ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله
A	۱۵۵/۶	۰	۲/۹	۷/۸	۱۸/۳	۳۷/۸
B	۳۸۵/۷	۰	۰/۱	۲/۷	۹/۸	۲۶/۶
C	۶۱۶/۴	۰	۰	۱/۶	۹/۲	۲۷/۷
D	۱۶۱/۸	۵/۱	۲۷/۸	۵۱/۵	۹۷/۴	۱۷۲/۱
E	۷۳/۱	۰/۴	۶/۲	۱۳/۶	۲۸/۲	۵۴/۳
F	۱۶۵/۶	۳۹/۴	۹۶	۱۴۳/۸	۲۲۱/۸	۳۳۹/۱
G	۲۳۸/۳	۱۹/۱	۵۷/۵	۹۳	۱۵۳/۷	۲۴۵/۵
H	۴۲۵/۲	۱۸/۵	۶۱/۶	۱۰۲/۵	۱۷۳/۹	۲۸۳/۵
I	۸۶۸	۰/۱	۱۶/۳	۳۹/۶	۸۷/۴	۱۷۵/۵
زیرحوزه	مساحت (کیلومتر مربع)	حجم رواناب سیلاب (هزار متر مکعب) در دوره بازگشت (سال) در شرایط رطوبتی متوسط				
		۲ ساله	۵ ساله	۱۰ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله
A	۱۵۵/۶	۰	۳۲/۷	۹۱/۱	۲۱۹/۹	۴۵۶/۲
B	۳۸۵/۷	۰	۱/۴	۴۶/۷	۱۷۷/۸	۴۹۴/۳
C	۶۱۶/۴	۰	۰	۳۱	۱۹۷/۵	۶۱۲/۴
D	۱۶۱/۸	۲۸/۸	۱۶۷/۶	۳۱۵/۷	۵۹۲/۵	۱۰۴۴/۱
E	۷۳/۱	۲/۱	۳۹/۱	۸۷/۱	۱۸۴/۲	۳۵۱/۸
F	۱۶۵/۶	۱۴۱/۱	۳۴۱/۷	۵۱۱/۵	۷۹۰/۵	۱۱۹۸/۳
G	۲۳۸/۳	۹۳	۲۸۴/۱	۴۵۷/۴	۷۵۵/۲	۱۲۰۸/۱
H	۴۲۵/۲	۱۱۵/۱	۳۹۲/۷	۶۵۰/۵	۱۱۰۰/۵	۱۷۹۵/۵
I	۸۶۸	۱/۵	۲۳۱/۹	۵۷۶/۴	۱۳۰۲/۷	۲۶۰۰/۸

جدول ۴- اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های اسکندری با استفاده از روش دبی پیک در واحد سطح در دوره بازگشت‌های مختلف

زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	۲ ساله		۵ ساله		۱۰ ساله		۵۰ ساله		۱۰۰ ساله	
		دبی در واحد سطح	اولویت	دبی در واحد سطح	اولویت	دبی در واحد سطح	اولویت	دبی در واحد سطح	اولویت	دبی در واحد سطح	اولویت
A	۱۵۵/۶	۰	۶	۰/۰۱۹	۶	۰/۰۵۰	۶	۰/۱۱۸	۶	۰/۲۴۳	۶
B	۳۸۵/۷	۰	۶	۰	۸	۰/۰۰۷	۸	۰/۰۲۵	۹	۰/۰۶۹	۸
C	۶۱۶/۴	۰	۶	۰	۸	۰/۰۰۳	۹	۰/۰۱۵	۱۰	۰/۰۴۵	۱۰
D	۱۶۱/۸	۰/۰۳۱	۴	۰/۱۷۲	۳	۰/۳۱۸	۴	۰/۶۰۲	۳	۱/۰۶۴	۲
E	۷۳/۱	۰/۰۰۵	۵	۰/۰۸۵	۵	۰/۱۸۶	۳	۰/۳۸۶	۵	۰/۷۴۲	۳
F	۱۶۵/۶	۰/۲۳۸	۱	۰/۵۸۰	۱	۰/۸۶۸	۱	۱/۳۴۰	۱	۲/۰۴۸	۱
G	۲۳۸/۳	۰/۰۸۰	۲	۰/۲۴۱	۲	۰/۳۹۰	۲	۰/۶۴۵	۲	۱/۰۳۰	۴
H	۴۲۵/۲	۰/۰۴۴	۳	۰/۱۴۵	۴	۰/۲۴۱	۵	۰/۴۰۹	۴	۰/۶۶۷	۵
I	۸۶۸/۰	۰	۶	۰/۰۱۹	۶	۰/۰۴۶	۷	۰/۱۰۱	۷	۰/۲۰۲	۷
J	۱۶۴۸/۴	۰	۶	۰/۰۰۱	۷	۰/۰۰۶	۱۰	۰/۰۲۲	۸	۰/۰۵۷	۹

نتیجه‌گیری

در بیشتر مطالعاتی که در ایران برای بررسی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها صورت گرفته است، کل حوضه به‌صورت یکپارچه در نظر گرفته شده و به اثرات روندیابی سیل در رودخانه‌ها و موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها توجهی نشده است. استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب و تعیین میزان سیلاب تولیدی هر زیرحوضه و کل حوضه می‌تواند روش مناسبی برای دستیابی به این اهداف باشد. در مطالعات قبلی، مناطق دارای پتانسیل تولید سیل در داخل یک حوضه، تنها بر اساس دبی اوج زیرحوضه‌ها در مقایسه با هم مورد بررسی قرار

گرفته‌اند، بدون این‌که اثر روندیابی سیل از محل خروجی زیرحوضه تا خروجی کل حوضه مورد بررسی قرار گیرند. در تحقیق حاضر، به بررسی امکان اولویت‌بندی نه زیرحوضه از نظر سیل‌خیزی در حوزه آبخیز اسکندری با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS پرداخته شده است. در این تحقیق، پس از تهیه اطلاعات مورد نیاز برای تهیه هیدروگراف سیل، از روش شبیه‌سازی هیدرولوژیکی SCS در شبیه‌سازی تبدیل بارش به رواناب در سطح زیرحوضه‌ها و همچنین، به‌منظور استخراج هیدروگراف سیل خروجی حوضه از روش SCS استفاده شده است. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با به‌کارگیری مدل HEC-HMS و واسنجی لازم با پارامترهای تلفات اولیه، شماره منحنی، زمان تأخیر، درصد نفوذناپذیری صورت گرفت. به‌منظور اجرای مدل HEC-HMS از بارش طرح با دوره بازگشت‌های دو، پنج، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ ساله استفاده شد.

جدول ۵- اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های اسکندری با استفاده از روش ضریب سیل‌خیزی

زیرحوضه	*CN*	ضریب گراولیوس	شیب حوضه (درصد)	*FC*	اولویت‌بندی
A	۸۰	۱/۵۲	۸/۳	۱۱/۱۳	۱۰
B	۷۹	۱/۴۰	۱۰/۳	۱۴/۱۵	۸
C	۷۹	۱/۸۷	۱۳/۳	۱۲/۵۵	۹
D	۸۱	۱/۲۲	۱۲/۱	۱۸/۰۱	۵
E	۷۸	۱/۳۵	۱۲/۶	۱۶/۸۹	۶
F	۸۶	۱/۵۴	۲۴/۶	۲۷/۸۱	۱
G	۸۵	۱/۵۴	۱۹	۲۲/۰۷	۲
H	۸۵	۱/۸۰	۲۰/۶	۲۱/۱۷	۳
I	۸۳	۱/۵۸	۱۶/۴	۱۸/۸۶	۴
J	۸۱	۱/۷۲	۱۴/۹	۱۵/۸۴	۷

با کاربرد روش حذف ترتیبی زیرحوضه‌ها و حذف *CN* هر یک از زیرحوضه‌ها در هر مرتبه از اجرای مدل، هیدروگراف‌های سیل متناظر با بارش، برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه و میزان تأثیر هر یک از آن‌ها در تولید سیل خروجی به‌دست آمد. زیرحوضه‌ها به‌ترتیب نقش آن‌ها در سیل خروجی اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان داد، زیر حوضه I با احتساب زیرحوضه‌های مستقل و غیر مستقل دارای اولویت نخست سیل‌خیزی می‌باشد. سپس با بررسی زیرحوضه‌های مستقل در دوره بازگشت پنج و ۱۰ ساله زیرحوضه A و در دوره بازگشت بالا ۵۰ و ۱۰۰ ساله زیرحوضه G اولویت نخست سیل‌خیزی را به خود اختصاص دادند. نتایج نشان می‌دهد که اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با مدل HEC-HMS در دوره بازگشت‌های مختلف از روندی خاص تبعیت می‌کند. نتایج این بخش با تحقیقات Kafel و همکاران (۲۰۰۷)، Ali و همکاران (۲۰۱۱)، Dastoorani (۲۰۱۱) در زمینه کارایی مناسب مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان هم‌راستا می‌باشد. سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش‌های تجربی دبی پیک در واحد سطح و ضریب سیل‌خیزی هم صورت گرفت. نتایج نشان داد که اولویت‌بندی با روش‌های تجربی از روند خاص تبعیت نمی‌کند. بنابراین، مدل HEC-HMS کارایی بیشتری در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل‌خیزی نسبت به روش‌های تجربی دارد. با توجه به تغییر کاربری فراوان در منطقه، پیشنهاد می‌شود که نقش این تغییر کاربری‌ها در افزایش سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین، با شناسایی زیرحوضه با اولویت سیل‌خیزی، می‌توان اقدامات مدیریتی لازم برای مقابله با آثار زیان بار سیلاب را در آن زیرحوضه انجام داد.

منابع مورد استفاده

1. Ali, M., S. Jamal Khan, L. Aslam and Z. Khan. 2011. Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. Journal of Landscape and Urban Planning, 102(4): 271-279.
2. Anderson, M.L., Z.Q. Chen, M.L. Kawas and A. Feldman. 2002. Coupling HEC-HMS with atmospheric models for prediction of watershed runoff. ASCE Journal of Hydrologic Engineering, 7(4): 312-318.
3. Dastorani, M.T, R. Khodaparast, A. Talebi, M. Vafakhah and J. Dashti. 2011. Determination of the ability of HEC-HMS model components in rainfall-run-off simulation. Research Journal of Environmental Sciences, 5(10): 790-797.
4. Halwatura, D. and M. Najmin. 2013. Application of HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. Environment Modeling and Software, 46: 155-162.
5. Hashemi, R. 2007. Engineering hydrology. Publisher of Poets, 381 pages.
6. Jokar, J. 2002. Check flooding in the Shapur River sub-basins, Fars Province, using simulated flood flows. MSc Thesis, Tarbiat Modarres University, 126 pages (in Persian).
7. Khosroshahi, M. and B. Saqhafiyan. 2002. Check the following participation in the severity of flooding in the catchments. Journal of Producers, 59: 67-75 (in Persian).
8. Mostafazade, R. 2008. Simulate the impacts of reform structures to evaluate the scenarios of hydrological structures control in Jafar Abad Watershed in Golestan Province. MSc Thesis, Gorgan University, 108 pages (in Persian).
9. Mostafa, S., W.G. Kepner and M.H. Mehaffey. 2015. Integration landscape assessment and hydrologic modeling for land cover change analysis. Journal of the American Water Resources Association, 4: 919-929.
10. Peqh, A. 2003. Examine the effects of sub-basins on flooding in the Garmabdasht Watershed, Iran. MSc Thesis, University of Gorgan, 102 pages (in Persian).
11. Rahimi, A. 2002. Calibrate the rainfall-runoff model utilizes genetic algorithms. MSc Thesis, Shiraz University, 123 pages (in Persian).
12. Saghafian, B. and H. Farazjoo. 2007. Determine areas of causing floods and prioritization flooding of hydrologic units in Golestan Dam basin. Journal of Watershed Management Science and Engineering, 1(1): 13-29 (in Persian).
13. Shoshtari, M., I.A. Tabatabayi and M. Yusefi. 2002. Application of HEC-HMS in river engineering. 6th International Conference on River Engineering, Chamran University, 1061-1068 (in Persian).
14. Sherjamal khan, M.A. and I.A. Zahiruddin khan. 2011. Simulation of the impact of land-use change on surface runoff Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. Landscape and Urban Planning, 102: 271-279.
15. Sufi, M. 2006. Factors affecting the creation of flood in urban watersheds and its control measures. Proceedings of the 1st National Conference on Engineering Stream, Mashhad Municipality, 12 pages (in Persian).
16. Talebi, A., M.T. Dastorani and S. Pour Mohammadi. 2008. Prioritization of flooding in areas without data, case study: Tezerjan-Shirkuh-Yazd Watershed. 1st National Conference on Integrated Management of Water Exploitation, March, Kerman (in Persian).
17. Tajiki, M. 2003. Evaluate the effects of watershed efforts on flood and sediment, case study Ramian Watershed. MSc Thesis, Gorgan University, 138 pages.