

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۸، زمستان ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۲۶

صفحات: ۱۰۸ - ۸۹

مدل‌سازی جریان و تعیین سهم مشارکت زیرحوزه‌ها در هیدروگراف سیل در حوزه آبخیز عموقین، استان اردبیل

شهناز میرزایی^۱، اباذر اسمعیلی عوری^۲، رؤف مصطفی‌زاده^{۳*}، اردوان قربانی^۴، سجاد میرزایی^۵

چکیده

تمرکز اقدامات مدیریت آبخیز باید در جهت کنترل رواناب، پیش‌بینی سیلاب و تعیین سهم مشارکت زیرحوزه‌ها در تولید سیل با هدف کاهش خسارت باشد. ارائه راهکارهای مدیریتی و اجرایی کنترل سیل نیازمند توسعه مدل‌ها در زمینه مدل‌سازی بارش-رواناب و شبیه‌سازی هیدروگراف جریان به خصوص در حوزه‌های فاقد آمار است. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی کارآمدی مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی بارش-رواناب حوزه آبخیز عموقین و تعیین سهم مشارکت زیرحوزه‌ها در جریان خروجی است. در این راستا، مدل HEC-HMS برای ۹ رویداد متناظر بارش-رواناب با روش شماره منحنی SCS در بخش تلفات، روش هیدروگراف واحد SCS در بخش تبدیل بارش به رواناب و روش Muskingum در بخش روندیابی اجرا شد. سپس پارامترهای ورودی مدل برای شش رویداد با تابع هدف Nash-Sutcliffe بهینه شده و میانگین مقادیر بهینه شده، برای سه رویداد دیگر در مرحله اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. در ادامه به منظور اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوزه‌ها مدل HEC-HMS برای بارش طرح ۲۵ ساله با حذف یک به یک زیرحوزه‌ها اجرا گردید و شاخص‌های سیل‌خیزی F و f محاسبه شد. بر اساس نتایج، میانگین معیار آماری نش-ساتکلیف به میزان $0/63$ در مرحله اعتبارسنجی نشان‌دهنده توانایی مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز عموقین بوده است. همچنین نتایج شاخص‌های سیل‌خیزی نشان داد که زیرحوزه‌های B1، B2 و B4 بیش‌ترین سهم را در سیل‌خیزی حوزه آبخیز عموقین دارند. در مجموع بر اساس نتایج، می‌توان گفت که سیل‌خیزی زیرحوزه‌ها تنها متأثر از مساحت زیرحوزه مورد نظر نیست و عواملی از قبیل فیزیوگرافی، کاربری اراضی و حتی موقعیت مکانی زیرحوزه مورد نظر و روندیابی جریان خروجی زیرحوزه در پتانسیل سیل‌خیزی موثر است که باید در مطالعات در نظر گرفته شوند.

واژگان کلیدی: شبیه‌سازی بارش-رواناب، اولویت‌بندی، پتانسیل سیل‌خیزی، حوزه آبخیز عموقین.

mirzaeishahnaz@gmail.com

abazar.esmali@gmail.com

raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

ardavanica@yahoo.com

sajjadmirzaei2014@gmail.com

^۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی

^۲- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

^۳- استادیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول)

^۴- دانشیار گروه منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

^۵- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه

سیل به‌عنوان پدیده‌ای که سبب خسارات جانی و اقتصادی می‌شود، اهمیت زیادی دارد و یکی از پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین رویدادهای طبیعی است که بیش از هر بلای طبیعی دیگر، جان انسان‌ها و شرایط اجتماعی و اقتصادی را به خطر می‌اندازد (راگونات^۱، ۲۰۰۶؛ سمپات^۲ و همکاران، ۲۰۱۵). سیل ارتفاع آب غیر معمول در رودخانه در اثر رواناب ناشی از بارش باران و یا ذوب مقدار زیاد برف محبوس شده در ارتفاعات سطح نرمال آب از رودخانه می‌باشد (راگونات، ۲۰۰۶). پیش‌بینی وقوع سیلاب نیازمند مطالعه عوامل مختلف ایجادکننده آن است و باید سهم هر کدام از عوامل در تولید سیلاب مشخص شود. از جمله این عوامل می‌توان به خصوصیات بارندگی، توپوگرافی، مورفولوژی رودخانه، خصوصیات سیمای سرزمین، ساختارهای محیطی و فعالیت‌های بشری اشاره کرد (هالواتورا و ناجیم^۳، ۲۰۱۳). یکی از مهم‌ترین تأثیرات فعالیت بشری در بروز سیل، تغییر کاربری اراضی، عدم مدیریت صحیح و استفاده نامناسب از توان اراضی است (واکر^۴، ۲۰۰۲). هم‌چنین با توجه به وسعت زیاد حوزه‌های آبخیز و محدودیت‌های اقتصادی و اجرایی پروژه‌های آبخیزداری و کنترل سیلاب، تعیین میزان مشارکت زیرحوزه‌های یک حوزه آبخیز در خصوصیات سیل خروجی حوزه به‌منظور پیشگیری و مهار سیلاب امری ضروری است. بنابراین، بایستی ابتدا زیرحوزه‌هایی که پتانسیل بالایی در تولید سیلاب دارند تعیین شوند و سپس عوامل تولید و تشدید سیلاب در آن‌ها شناسایی گردند (فودی^۵ و همکاران، ۲۰۰۴؛ رفیعی ساردویی و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی به‌دلیل عدم وجود داده و اطلاعات ایستگاه هیدرومتری در سطح زیرحوزه، استفاده از مدل‌های ریاضی هیدرولوژیکی جهت تعیین شدت سیل‌خیزی زیرحوزه‌ها حائز اهمیت خواهد بود (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۴). مدل‌سازی هیدرولوژیکی معمولاً ابزاری است که به‌وسیله آن برنامه‌ریزان منابع آب از پاسخ هیدرولوژیکی یک حوضه جهت پیش‌بینی سیل و مدیریت منابع آب استفاده می‌کنند. درک تأثیرات انسان بر جریان رودخانه، ارزیابی و پیش‌بینی دبی رودخانه‌ها ناشی از تغییرات آب و هوایی و پیش‌بینی خطر سیل به‌منظور طراحی مدیریت اکولوژیکی پایدار و توسعه استراتژی‌های مقابله با تغییرات محیطی از کاربردهای مدل‌های هیدرولوژیک است (لگس کبر^۶، ۲۰۱۵؛ سمپات و همکاران، ۲۰۱۵). حوزه آبخیز هم به‌عنوان یک هیدروسستم، عامل تبدیل بارش به رواناب و تخلیه آن به نقطه خروجی می‌باشد و در تبدیل بارش به رواناب به‌عنوان پتانسیل جریان سطحی دخالت تعیین‌کننده‌ای دارد (USDA^۷، ۲۰۰۴). به‌منظور شبیه‌سازی بارش-رواناب مدل HEC-HMS^۸، نسخه جدید مدل HEC-1 از اولین سری نرم‌افزارهای تهیه شده توسط مرکز هیدرولوژی مهندسی آمریکا در سال ۱۹۶۸ بوده است (اسکارفنبورگ و فلمینگ^۹، ۲۰۱۰). این مدل، حوزه آبخیز را به‌عنوان یک سیستم به‌هم پیوسته با مولفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد. هر مولفه در مدل، یک

1- Raghunath

2- Sampath

3- Halwatura & Najim

4- Walker

5- Foody

6- Legesse Gebre

7- United States Department of Agriculture (USDA)

8- Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)

9- Scharffenberger & Fleming

جنبه از فرایند بارش-رواناب را در هر زیرحوزه شبیه‌سازی می‌کند. در این مدل رابطه‌ای از رواناب سطحی منظور می‌گردد که بر مبنای هیتوگراف بارش ورودی عمل می‌کند. بارش مازاد پس از محاسبه تلفات بر اساس توابع خاصی مانند شماره منحنی^۱ (CN) در روش سرویس حفاظت خاک (SCS) محاسبه می‌شود. بارش مازاد به دست آمده، تبدیل به آبنمود واحد شده و سپس آبنمود رواناب خروجی از هر زیرحوزه استخراج می‌شود. تحلیل داده‌های هواشناسی در مدل هواشناسی که از دو جزء بارندگی و تبخیر و تعرق تشکیل شده است صورت گرفته و کنترل محدوده زمانی شبیه‌سازی در مولفه مشخصه کنترل انجام می‌پذیرد (اسکارفنیبرگ و فلمینگ، ۲۰۱۰).

از جمله مطالعات انجام شده در زمینه شبیه‌سازی بارش-رواناب در خارج از کشور می‌توان به مطالعه فودی و همکاران (۲۰۰۴)، اشاره نمود. آن‌ها به منظور شناسایی مناطق حساس به سیل آنی در غرب مصر از مدل HEC-HMS جهت شبیه‌سازی سیلاب استفاده نمودند که به شناسایی دو منطقه حساس منجر گردید. هم‌چنین در بررسی کاربرد مدل HEC-HMS در منطقه آتانگولا اویا^۲، هالواتورا و ناجیم (۲۰۱۳)، در محاسبه تلفات از دو روش شماره منحنی SCS و کمبود اولیه و نرخ ثابت تلفات و در محاسبه رواناب از دو روش کلارک و اشنایدر استفاده نمودند. ایشان بر اساس ضرایب ارزیابی روش اشنایدر را برای محاسبه رواناب در حوزه مورد مطالعه مناسب دیدند. در پژوهش دیگر سمپات و همکاران (۲۰۱۵)، شبیه‌سازی رواناب در رودخانه ددورا اویا^۳ در سریلانکا را با انحرافات درون حوزه‌ای انجام دادند و برای داده‌های ثبت شده رواناب در زیرحوزه‌های انحرافی از مخازن ذخیره‌ای استفاده کرده و مدل HEC-HMS را توسعه دادند. لگس کبر (۲۰۱۵)، با استفاده از روش کمبود اولیه و نرخ ثابت تلفات، هیدروگراف واحد اشنایدر و روش فروکش‌نمایی به ترتیب برای محاسبه تلفات، رواناب و دبی پایه کاربرد مدل HEC-HMS در رودخانه نیل آبی^۴ در اتیوپی را مورد آزمون قرار داد. هم‌چنین کوشیفاکیس^۵ و همکاران (۲۰۱۵)، در آتیکای^۶ یونان با ۸ رویداد متناظر بارش-رواناب مدل HEC-HMS را با سه روش شماره منحنی SCS، هیدروگراف واحد کلارک و روش فروکش‌نمایی به ترتیب برای محاسبه تلفات، رواناب و دبی پایه اجرا کردند. آن‌ها از ۵ رویداد برای واسنجی و ۳ رویداد برای اعتبارسنجی استفاده کرده و بیان کردند که مدل قادر به شبیه‌سازی رواناب در منطقه مطالعاتی بوده است. رامی و تاهیر^۷ (۲۰۱۶)، برای شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در رودخانه کلانک-آمپانگ^۸ مالزی مدل HEC-HMS را اجرا کردند. مقدار ضریب نش-ساتکلیف^۹ به میزان ۰/۸۶ نشان‌دهنده توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب بوده است.

در داخل کشور نیز مطالعاتی در زمینه شبیه‌سازی بارش-رواناب انجام شده که از جمله می‌توان به مطالعه آذری و همکاران (۱۳۸۷)، اشاره نمود. آن‌ها در بررسی میزان مشارکت زیرحوزه در حوضه آبخیز جعفرق استان خراسان

1- Curve Number (CN)
 2- Attanagalu Oya
 3- Deduru Oya
 4- Blue Nile
 5- Kotsifakis
 6- Attica
 7- Ramly & Tahir
 8- Klang-Ampang
 9- Nash-Sutcliffe

رضوی از مدل HEC-HMS استفاده نمودند و بیان کردند زیاد بودن مساحت زیرحوزه و میزان شماره منحنی از دلایل مشارکت بیش تر زیرحوزه در تولید سیلاب می باشد. مصطفی زاده و همکاران (۱۳۸۹)، اثرات هیدرولوژیک طرح آبخیزداری را در جعفرآباد استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS ارزیابی نموده و مولفه های هیدروگراف های شبیه سازی شده در دوره بازگشت های مختلف در دو وضعیت قبل و بعد از عملیات آبخیزداری را محاسبه کردند. نتایج آن ها نشان دهنده این است که با افزایش دوره بازگشت سیلاب، تاثیر سازه ها بر کاهش دبی اوج و حجم سیلاب کاهش یافته است. در شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب در حوزه آبخیز آبنمای استان هرمزگان مجیدی و شاهدی (۱۳۹۱)، با استفاده از مدل HEC-HMS برای ۵ رخداد بارش-رواناب، در بخش تلفات، تبدیل بارش به رواناب و روندیابی جریان به ترتیب از روش های گرین امپت، هیدروگراف واحد SCS و ماسکینگام استفاده کردند. نتایج آن ها نشان دهنده حساسیت پارامتر زمان تأخیر و تفاوت معنی داری آن با دبی اوج می باشد. در مطالعه ای دیگر سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۲)، در بررسی پتانسیل سیل خیزی حوزه سد جیرفت از مدل HEC-HMS استفاده کردند و شاخص های سیل خیزی را محاسبه نمودند. آن ها بر اساس ارتباط بین شماره منحنی زیرحوزه ها و شاخص های سیل خیزی، نقشه اولویت بندی مناطق موثر در دبی اوج سیل را ترسیم کردند. وهاب زاده و همکاران (۱۳۹۳)، در بررسی اثر تغییر کاربری بر رژیم جریان رودخانه آجرلو در استان آذربایجان غربی، بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژیک HEC-HMS با استفاده از روش شماره منحنی و هیدروگراف واحد SCS، به این نتیجه رسیدند که در طی این دوره وسعت اراضی مرتعی کاهش و اراضی کشاورزی افزایش یافته است. هم چنین امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۴)، به تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی موثر بر سیلاب در زرخشمه هونجان استان اصفهان با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند. نتایج آن ها نشان داد که نحوه مشارکت زیرحوزه ها در سیل خروجی، الزاماً متناسب با دبی اوج زیرحوزه ها نبوده و افزایش شماره منحنی، مساحت و شیب زیرحوزه ها موجب افزایش دبی اوج شده است. در بررسی کاربرد مدل HEC-HMS در اولویت بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز بالا دست سد کرج رفیعی ساردویی و همکاران (۱۳۹۴)، با تکرار حذف انفرادی هر یک از زیرحوزه ها به این نتیجه رسیدند که زیرحوزه تکیه سپهسالار بیش ترین و زیرحوزه ولایت کم ترین سهم را در پتانسیل سیل خیزی داشتند.

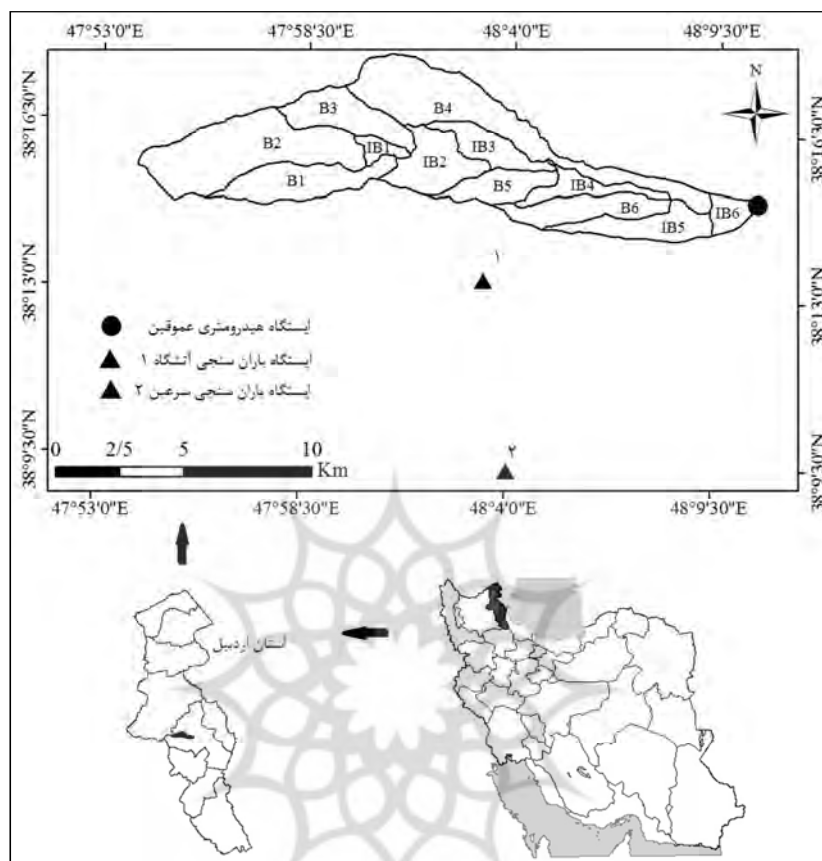
در سال های اخیر، نگرانی در مورد اثرات تغییر الگوی کاربری اراضی ناشی از جنگل زدایی، احداث جاده، انتقال کشاورزی به اطراف منابع آب، افزایش حجم ساخت و ساز و توسعه مناطق مسکونی موجب ایجاد بحران جدی شده است. تمرکز اصلی اثرات تغییر کاربری بر روی منابع آب، خطرات هیدرولوژیکی محلی و پایین دست و حفظ تنوع زیستی می باشد (سمپات و همکاران ۲۰۱۵؛ تاپکوا^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). هم چنین با توجه به وسعت حوزه های آبخیز و محدودیت های اقتصادی و اجرایی، استفاده از مدل های هیدرولوژیکی در تعیین پتانسیل سیل خیزی زیرحوزه ها حائز اهمیت خواهد بود. بنابراین هدف پژوهش حاضر، شبیه سازی جریان سیل با استفاده از مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز عموقین و تعیین مشارکت زیرحوزه ها در سیل خروجی حوزه می باشد. حوزه آبخیز عموقین در دامنه های شرقی کوه سبلان واقع شده است. بالادست حوزه کوهستانی بوده و اغلب دارای پوشش مرتعی می باشد و پایین دست حوزه

شامل کاربری کشاورزی است. بنابراین پیش‌بینی سیل و بررسی مشارکت زیرحوزه‌ها در جریان خروجی به‌دلیل شرایط توپوگرافیکی و بیلاقی بودن حوزه آبخیز عموقین حائز اهمیت خواهد بود. در این راستا می‌توان با شناسایی مناطق موثر در تولید و تشدید سیل در اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی با هدف کاهش خسارت‌های ناشی از سیل برنامه‌ریزی نمود.

داده‌ها و روش‌ها

الف- مشخصات منطقه مطالعاتی:

حوزه آبخیز عموقین با مساحتی در حدود ۷۸۶۰ هکتار در محدوده‌ی جغرافیایی $۴۷^{\circ} ۵۴'$ تا $۴۸^{\circ} ۱۰'$ طول شرقی و $۳۸^{\circ} ۱۴'$ تا $۳۸^{\circ} ۱۸'$ عرض شمالی و بر روی رودخانه یدی‌بولیک چای واقع شده است. کم‌ترین و بیش‌ترین ارتفاع منطقه به‌ترتیب برابر ۱۴۳۶ و ۳۸۴۸ متر بوده و قسمت قابل توجهی از منطقه را کاربری کشاورزی آبی و دیم با شیب ۱-۲۵ درصد تشکیل می‌دهد. خاک منطقه جزء گروه‌های هیدرولوژیکی B، C و D است. در تجزیه و تحلیل‌های هیدرولوژیک از آمار ایستگاه هیدرومتری عموقین در خروجی حوزه و ایستگاه باران سنجی آتشفگاه و سرعین در مجاورت حوزه استفاده شده است (میرزایی، ۱۳۹۵). جهت تعیین مرز هیدرولوژیکی حوزه از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ با فواصل خطوط تراز ۲۰ متر با توجه به موقعیت ایستگاه هیدرومتری عموقین در خروجی حوزه استفاده گردید و بر اساس شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبخیز عموقین به ۱۲ واحد هیدرولوژیکی تقسیم شد. در ادامه با استفاده از خطوط تراز رقومی شده ۱:۵۰۰۰۰، مدل ارتفاعی رقومی حوزه (DEM) تهیه و خصوصیات فیزیوگرافی حوزه در محیط ArcGIS 10.1 استخراج گردید. شکل (۱) موقعیت حوزه آبخیز عموقین در استان اردبیل و واحدهای هیدرولوژیکی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برخی از مشخصات زیرحوزه‌های آبخیز مورد مطالعه نیز در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت حوزه آبخیز عموقین در استان اردبیل و واحدهای هیدرولوژیکی مورد مطالعه

جدول ۱: مشخصات فیزیوگرافی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز عموقین

ضریب شکل هورتون	تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	مساحت (هکتار)	طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	شیب (درصد)	زیرحوزه
۰/۱۳	۳/۳۱	۷۱۸/۵۸	۷/۰۵	۳۹/۱۸	B1
۰/۲۲	۳/۱۰	۱۶۴۷/۳۰	۹/۷۷	۳۲/۴۵	B2
۰/۲۰	۲/۷۲	۶۳۶/۴۶	۶/۱۰	۲۹/۳۵	B3
۰/۰۸	۲/۷۹	۱۷۰۷/۳۷	۱۶/۲۰	۱۷/۸۹	B4
۰/۱۶	۲/۷۳	۴۱۰/۹۶	۴/۱۲	۱۰/۹۰	B5
۰/۱۲	۲/۱۰	۵۴۹/۴۱	۶/۴۷	۵/۵۵	B6
۰/۲۵	۴/۱۶	۱۲۶/۱۸	۲/۳۳	۲۲/۵۰	IB1
۰/۳۲	۲/۵۳	۶۲۳/۷۳	۴/۲۵	۱۴/۵۰	IB2
۰/۱۴	۲/۸۱	۴۰۸/۱۲	۵/۴۴	۱۲/۱۲	IB3
۰/۰۸	۲/۹۱	۳۱۵/۶۷	۶/۵۴	۷/۸۰	IB4
۰/۱۲	۱/۲۹	۵۱۹/۲۱	۵/۲۰	۳/۸۸	IB5
۰/۴۳	۱/۰۷	۱۹۷/۰۴	۲/۱۱	۴/۲۴	IB6

ب- روش شناسی:

در این پژوهش از نرم افزار HEC-HMS 4.1 جهت شبیه‌سازی جریان و استخراج مولفه‌های هیدروگراف استفاده شده است. این مدل قابلیت کالیبراسیون پارامترها را داشته و پس از اعتباریابی می‌تواند برای شبیه‌سازی جریان و پیش‌بینی اثر تغییر پارامترها به کار رود. در این مدل، مولفه‌های مختلفی برای شبیه‌سازی سیستم فیزیکی و در نهایت هیدروگراف خروجی حوزه ترکیب می‌شوند (اسکارفنبورگ و فلمینگ، ۲۰۱۰). سه مولفه اساسی این مدل شامل مدل حوزه، مدل هواشناسی و مشخصه‌های کنترل می‌باشد. خواص فیزیکی حوزه آبخیز، زیرحوزه‌ها، رودخانه‌ها و تأسیسات وابسته به آن‌ها در مدل حوزه به نرم‌افزار معرفی می‌گردد و محاسبات مربوط به تعیین میزان تلفات، تبدیل بارش مازاد به رواناب، مقدار جریان پایه و شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها و مخازن و روندیابی آن‌ها نیز در مدل حوزه انجام می‌پذیرد. بنابراین در این پژوهش در بخش تلفات روش شماره منحنی SCS، در بخش تبدیل بارش به رواناب روش هیدروگراف واحد SCS و در بخش روندیابی روش ماسکینگام انتخاب شد (هالواتورا و ناجیم، ۲۰۱۳؛ وهاب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

پارامترهای ورودی مدل HEC-HMS بر اساس روش انتخاب شده شامل شماره منحنی، تلفات اولیه و درصد اراضی نفوذناپذیر در محاسبه تلفات، زمان تأخیر در بخش تبدیل بارش به رواناب و ضرایب k و x در روندیابی رودخانه می‌باشد. شماره منحنی نشان‌دهنده پتانسیل رواناب حوزه بوده و نقشه شماره منحنی حوزه از تلفیق نقشه کاربری اراضی (مستخرج از تصاویر Google Earth)، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نقشه اجزاء واحد اراضی خاک و تعیین وضعیت رطوبت پیشین رگبار تهیه شد (میرزایی، ۱۳۹۵؛ USDA، ۱۹۸۶؛ وانلیستا^۱، ۱۹۹۷). سپس میزان تلفات اولیه هر زیرحوزه به روش SCS-CN، به طور تجربی برابر با ۲۰ درصد حداکثر پتانسیل نگهداشت (S) در نظر گرفته شد که حداکثر پتانسیل نگهداشت از رابطه زیر برآورد شده است (هاوکینز^۲، ۱۹۹۳؛ چاترج^۳ و همکاران، ۲۰۰۲؛ USDA، ۲۰۰۴).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

که در آن CN شماره منحنی می‌باشد. درصد اراضی نفوذناپذیر در هر زیرحوزه مطالعاتی نیز بر اساس درصد اراضی توده سنگی و مسکونی با استفاده از نقشه کاربری اراضی بدست آمد. زمان تأخیر حوزه آبخیز فاصله زمانی بین مرکز ثقل بارش مازاد و زمان اوج می‌باشد. با توجه به روش هیدروگراف واحد بی‌بعد SCS زمان تأخیر طبق رابطه (۲) در سیستم متریک برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز عموقین محاسبه شده است. همچنین در این روش، زمان تا اوج و دبی اوج به ترتیب بر اساس روابط (۳) و (۴) محاسبه می‌شود (مصطفی‌زاده، ۱۳۸۷؛ ماکوس^۴، ۱۹۶۴).

1- Wanielista
2- Hawkins
3- Chatterjee
4 -Mockus

$$T_{lag} = \frac{2.587 \times L^{0.8} \times \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}}{1900 W_s^{0.5}} \quad (2)$$

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + T_{lag} \quad (3)$$

$$Q_p = 2.08 \times \frac{A}{T_p} \quad (4)$$

که در آن‌ها، T_{lag} ، زمان تأخیر حوزه (ساعت)، L ، طول آبراهه اصلی (متر)، CN ، شماره منحنی متوسط وزنی حوزه، W_s ، شیب متوسط وزنی حوزه (درصد)، T_p ، زمان تا اوج هیدروگراف (ساعت)، Δt ، مدت زمان بارش موثر و فاصله زمانی محاسباتی در مدل (ساعت)، Q_p ، دبی اوج هیدروگراف (متر مکعب بر ثانیه) و A ، مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد. هم‌چنین با استفاده از روش ماسکینگام پارامترهای k و x بر اساس ویژگی‌های آبراهه و جریان به ترتیب با استفاده از روابط (۵) و (۶) محاسبه شده است (مصطفی‌زاده، ۱۳۸۷؛ USDA، ۲۰۱۴).

$$k = \frac{L}{C \times 3600} \quad (5)$$

$$x = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Q}{BS_0 CL} \right) \quad (6)$$

که در آن‌ها، k ، ضریب ذخیره یا زمان انتقال موج سیل در بازه روندیابی (ساعت)، L ، طول بازه روندیابی (متر)، C ، سرعت موج سیل (متر بر ثانیه) که به صورت $C = \beta \cdot V$ بیان می‌شود (V ، سرعت جریان در رودخانه و β ، ضریب تبدیل سرعت رودخانه به سرعت موج)، x ، ضریب وزنی بی‌بعد بیان‌کننده اثر نسبی مقدار دبی ورودی و خروجی، B ، عرض بالای مقطع رودخانه و S_0 ، شیب طولی بستر (متر بر متر) است.

پس از تهیه مدل فیزیکی حوزه و ورود پارامترهای مورد نیاز مدل HEC-HMS، به تعداد ۹ رویداد ساعتی متناظر بارش-رواناب از داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری و باران‌سنجی استخراج گردید. در ادامه بعد از تکمیل بخش مدل حوزه، مدل هواشناسی و مولفه‌های شاخص کنترل‌کننده داده‌های بارش و رواناب ۹ رویداد متناظر وارد مدل شد و مدل برای این رویدادها اجرا گردید. در ادامه به‌منظور واسنجی مدل در این پژوهش از معیار نش-ساتکلیف به عنوان تابع هدف برای بهینه‌سازی پارامتر شماره منحنی و زمان تأخیر استفاده شد که تابع به شکل رابطه (۷) می‌باشد (مصطفی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷).

$$NS = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_o)^2} \right) \quad (7)$$

که در آن، Q_{si} ، دبی شبیه‌سازی شده، Q_{oi} ، دبی مشاهداتی و \bar{Q}_o ، میانگین دبی مشاهداتی می‌باشد. از ۹ رویداد متناظر بارش-رواناب به صورت تصادفی ۶ رویداد برای واسنجی و ۳ رویداد برای اعتبارسنجی انتخاب شد و میانگین

پارامترهای واسنجی شده ۶ رویداد در مرحله اعتبارسنجی به مدل معرفی گردید. در اعتبارسنجی مدل از شاخص‌های ارزیابی نش-سانتکلیف، میانگین مطلق خطا^۱ رابطه (۸) و ریشه مربع میانگین خطا^۲ رابطه (۹) استفاده شده است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_{si} - Q_{oi}| \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2} \quad (9)$$

که در آن‌ها، Q_{si} ، دبی شبیه‌سازی شده و Q_{oi} ، دبی مشاهداتی می‌باشد.

پس از واسنجی و اعتبارسنجی و تأیید کارایی مدل در شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب در حوزه آبخیز عموقین، به‌منظور استخراج مولفه‌های هیدروگراف (دبی اوج، حجم رواناب، زمان تا اوج و زمان پایه) بارش طرح ۶ ساعته با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال محاسبه و مدل HEC-HMS اجرا گردید. بارش طرح معمولاً با مشخصه‌های تداوم بارش، مقدار بارش، توزیع زمانی و توزیع مکانی بارش معرفی می‌گردد (علیزاده، ۱۳۹۰). در طراحی بهینه که رواناب حاصل از کلیه قسمت‌های آبخیز را در نظر دارد، بایستی مدت رگباری که باعث دبی اوج می‌شود مساوی یا بزرگتر از زمان تمرکز حوزه باشد. بنابراین با توجه به اینکه زمان تمرکز محاسباتی برای حوزه مورد مطالعه بر اساس روابط زمان تأخیر SCS، رابطه کریپچ^۳ و رابطه کالیفرنیا^۴ کمتر از شش ساعت بود، تداوم بارش طرح شش ساعت در نظر گرفته شد (USDA، ۲۰۱۰؛ علیزاده، ۱۳۹۰). در برآورد مقدار بارش طرح از داده‌های بارش حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه آتشفشان با استفاده از نرم‌افزار Easy Fit 5.5، از آزمون‌های نکویی برازش کلموگراف اسمیرنف^۵، آندرسون-دارلینگ^۶ و کای-اسکوئر^۷ جهت ارزیابی تشابه خصوصیات توزیع آماری داده‌ها با توزیع مورد نظر استفاده شد. پس از بررسی توزیع‌های به‌دست آمده هر آزمون در سطح معنی‌داری یک درصد، توزیع Burr برای محاسبه مقدار بارش در دوره بازگشت ۲۵ سال انتخاب شد. همچنین با توجه به تداوم بارش طرح که شش ساعت می‌باشد، مقادیر بارش شش ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال با استفاده از رابطه (۱۰) از مقادیر بارش ۲۴ ساعته با همان دوره بازگشت محاسبه گردید (علیزاده، ۱۳۹۰).

$$P_{6,Tr} = \frac{P_{24,Tr}}{1.48} \quad (10)$$

برای بررسی الگوی تغییرات زمانی بارش از داده‌های بارش ایستگاه باران‌نگاری آتشفشان استفاده شد و با توجه به اینکه تداوم بارش شش ساعت در نظر گرفته شده است، بارش‌های با تداوم ۵/۵ تا ۶ ساعت به تعداد ۵ بارش استخراج شد.

1- Mean Absolute Error
2- Root Mean Squared Error
3- Kripich
4- California
5- Kolmogorov – Smirnov
6- Anderson - Darling
7- Chi – Square

در ادامه جهت استخراج الگوی زمانی بارش در منطقه مورد بررسی از روش الگوی متوسط ترسیمی توزیع زمانی بارش ارائه شده توسط پیلگریم^۱ ۱۹۷۵ استفاده گردید (پیلگریم و کردری^۲، ۱۹۷۵). الگوی بارش شش ساعته به دست آمده با تیپ بارش استاندارد شش ساعته سازمان حفاظت خاک ایالات متحده (SCS) و سازمان هواشناسی جهانی^۳ (WMO) مورد مقایسه قرار گرفت و در نهایت الگوی WMO انتخاب گردید (میرزایی، ۱۳۹۵). در این پژوهش جهت بررسی تغییرات مکانی بارش از روش خطوط همباران استفاده شد (علیزاده، ۱۳۹۰). برای بررسی گرادیان بارش از آمار بارش سالانه ۱۰ ایستگاه در محدوده حوزه آبخیز عموقین استفاده شد. بعد از تحلیل آماری و بررسی همگنی داده‌های بارش سالانه، رابطه گرادیان بارش با ضریب همبستگی ۰/۸۳ استخراج گردید و نقشه خطوط همباران تهیه شد. در ادامه به منظور برآزش بارش به هر یک از زیرحوزه‌ها از روش وزن‌دهی به هر زیرحوزه استفاده شد و با تعیین ضرایب بارش در هر زیرحوزه، مقدار بارش برای هر زیرحوزه را محاسبه کرده و در شبیه‌سازی استفاده شد.

پس از برآورد بارش طرح شش ساعته با دوره بازگشت ۲۵ سال، به منظور اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها با حذف یک به یک زیرحوزه‌ها در هر بار مدل HEC-HMS اجرا شد و جریان خروجی کل حوزه پس از روندیابی در آبراهه اصلی بدون تاثیر زیرحوزه مورد نظر بدست آمد. زیرحوزه‌ای که بیش‌ترین تاثیر را در جریان خروجی داشته باشد به عنوان زیرحوزه سیل‌خیز معرفی می‌گردد. در این راستا، زیرحوزه‌های حوزه آبخیز عموقین بر اساس شاخص‌های سیل‌خیزی F% (سهم مشارکت زیرحوزه‌ها در دبی اوج خروجی کل حوزه به درصد) و f (سهم مشارکت زیرحوزه‌ها در دبی اوج خروجی کل حوزه به ازای واحد سطح) به ترتیب با استفاده از روابط (۱۱) و (۱۲) اولویت‌بندی گردید (وان‌نور آزمین^۴ و همکاران، ۲۰۱۰؛ خسرو شاهی و ثقفیان، ۱۳۸۴).

$$F\% = \frac{Q_{peak, All} - Q_{peak, All-Sub}}{Q_{peak, All}} \times 100 \quad (11)$$

$$= \frac{Q_{peak, All} - Q_{peak, All-Sub}}{A_{Sub}} f \quad (12)$$

که در آن‌ها، $Q_{peak, All}$ ، دبی اوج خروجی کل حوزه (مترمکعب بر ثانیه)، $Q_{peak, All-Sub}$ ، دبی اوج خروجی کل حوزه منهای زیرحوزه مورد نظر (مترمکعب بر ثانیه) و A_{Sub} ، مساحت زیرحوزه مورد نظر (کیلومتر مربع) می‌باشد.

نتایج و بحث

بعد از طراحی مدل حوزه به ۱۲ زیرحوزه و ۷ بازه و ورود پارامترهای محاسبه شده در بخش تلفات، تبدیل بارش به رواناب و روندیابی، داده‌های ثبت شده بارش و رواناب برای ۹ رویداد متناظر وارد مدل شده و مدل اجرا گردید. در

1- Pilgrim

2- Pilgrim & Cordery

3- World Meteorological Organization (WMO)

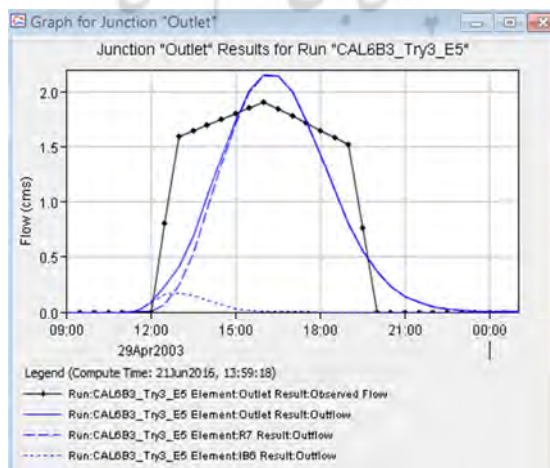
4- Wan Nor Azmin

ادامه پارامتر شماره منحنی و زمان تأخیر با تابع هدف نش-ساتکلیف برای ۶ رویداد بهینه شد که مقادیر اولیه و میانگین مقادیر بهینه شده ۶ رویداد این دو پارامتر در جدول (۲) آورده شده است.

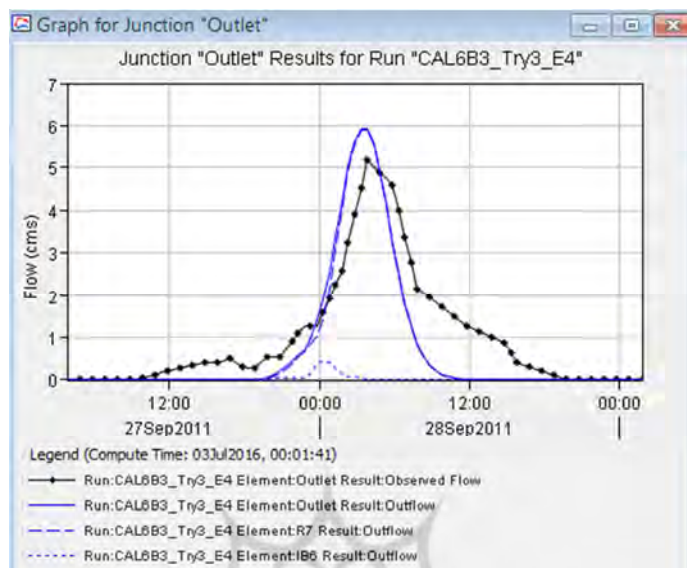
جدول ۲: مقادیر اولیه و میانگین مقادیر بهینه شده پارامتر شماره منحنی و زمان تأخیر

میانگین مقادیر بهینه شده		مقادیر اولیه		واحدهای هیدرولوژیکی
زمان تأخیر (دقیقه)	شماره منحنی	زمان تأخیر (دقیقه)	شماره منحنی	
۳۷/۹۰	۷۹/۲۵	۳۷/۸۸	۷۹/۷۰	B1
۴۴/۱۷	۸۵/۲۸	۴۴/۱۱	۸۵/۸۳	B2
۴۶/۲۲	۷۴/۰۳	۴۶/۱۷	۷۴/۰۰	B3
۱۲۶/۹۲	۷۴/۲۳	۱۲۶/۸۷	۷۴/۶۵	B4
۵۱/۱۱	۷۶/۳۰	۵۱/۰۷	۷۶/۸۳	B5
۹۶/۴۳	۷۸/۳۲	۹۶/۳۹	۷۸/۹۰	B6
۲۴/۴۴	۷۴/۰۴	۲۴/۳۹	۷۴/۰۰	IB1
۴۸/۷۴	۷۴/۱۶	۴۸/۶۹	۷۴/۴۰	IB2
۶۶/۶۳	۷۳/۱۷	۶۶/۵۸	۷۳/۴۴	IB3
۸۸/۷۵	۷۶/۱۲	۸۸/۷۱	۷۶/۲۸	IB4
۷۹/۸۸	۸۴/۳۰	۷۹/۸۵	۸۴/۸۵	IB5
۳۵/۰۷	۸۶/۱۷	۳۵/۰۳	۸۶/۴۳	IB6

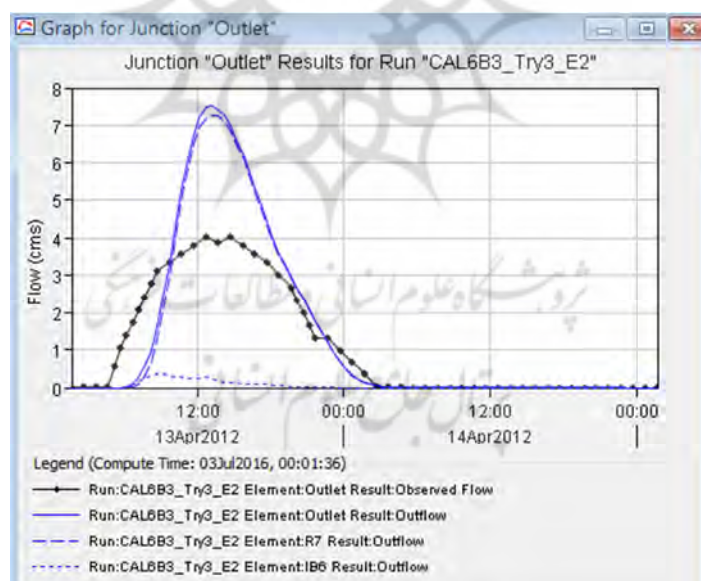
میانگین مقادیر پارامترهای واسنجی شده در مرحله اعتبارسنجی وارد مدل شده و مدل برای سه رویداد دیگر اجرا شد. نتایج اجرای مدل در مرحله اعتبارسنجی به صورت هیدروگراف‌های جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در شکل‌های (۲) تا (۴) ارائه شده است.



شکل ۲: هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز عموقین مورخ ۱۳۸۲/۰۲/۰۹



شکل ۳: هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز عموقین مورخ ۱۳۹۰/۰۷/۰۵



شکل ۴: هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز عموقین مورخ ۱۳۹۱/۰۱/۲۵

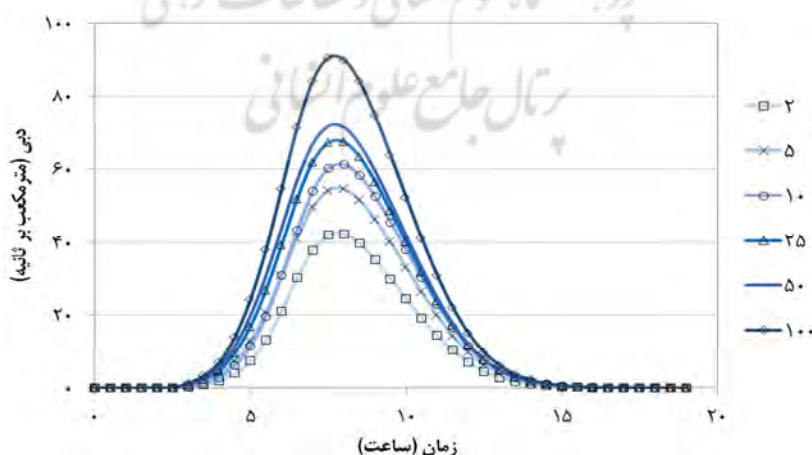
برای ارزیابی مدل HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف جریان در مرحله اعتبارسنجی از شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف، میانگین مطلق خطا و ریشه مربع میانگین خطا استفاده شده است که نتایج آن‌ها در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳: مقادیر شاخص های ارزیابی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در مرحله اعتبارسنجی

شاخص های ارزیابی			رویداد
ریشه مربع میانگین خطا (مترمکعب بر ثانیه)	میانگین مطلق خطا (مترمکعب بر ثانیه)	نش-ساتکلیف	
۰/۴	۰/۲	۰/۸۰	۱۳۸۲/۰۲/۰۹
۰/۸	۰/۵	۰/۶۹	۱۳۹۰/۰۷/۰۵
۱/۲	۰/۶	۰/۴۰	۱۳۹۱/۰۱/۲۵
۰/۸	۰/۴۳	۰/۶۳	میانگین

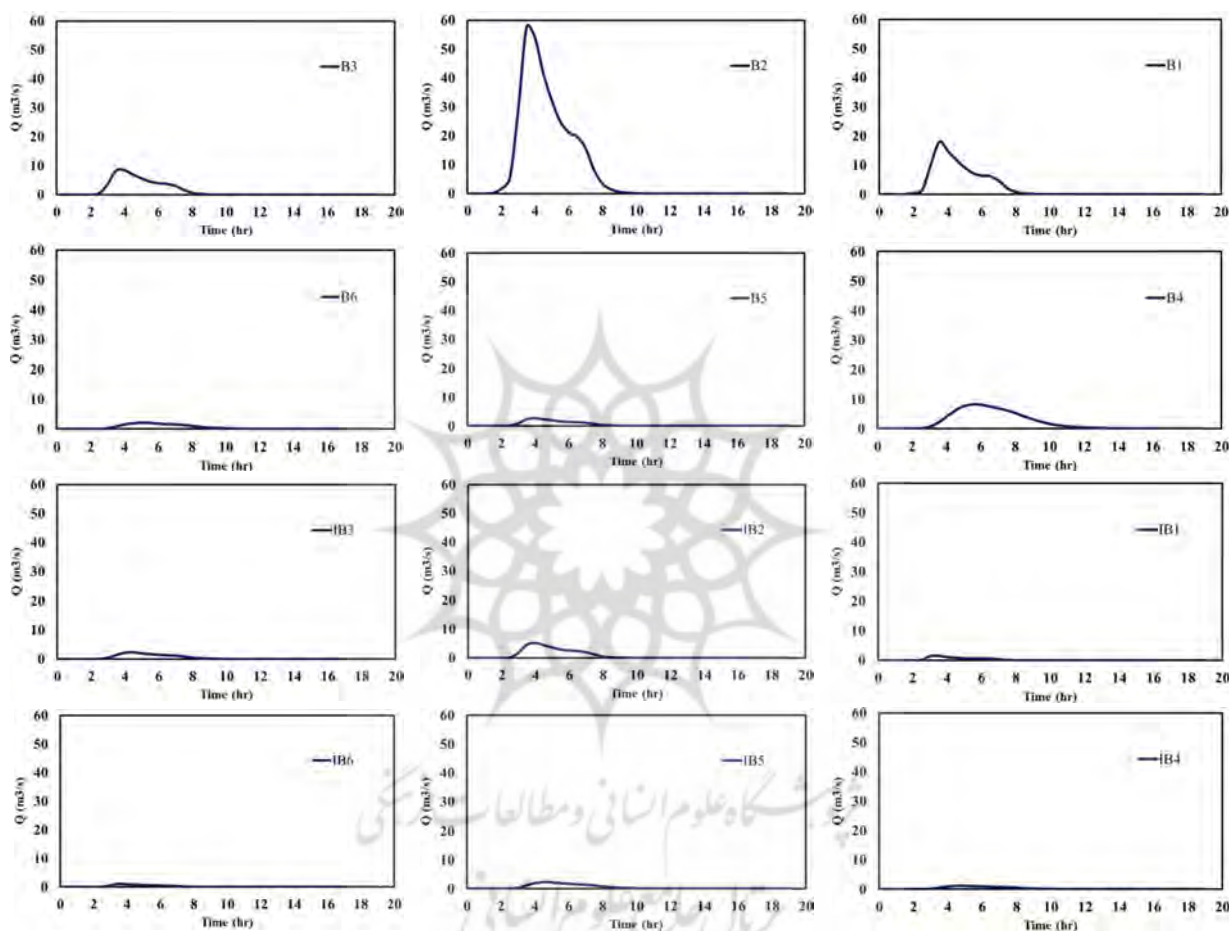
ارزیابی بصری هیدروگراف های مشاهداتی و شبیه سازی شده در مرحله اجرا و اعتبارسنجی نشان دهنده قابلیت مدل در شبیه سازی هیدروگراف جریان بوده و با توجه به شاخص های ارزیابی محاسبه شده در مرحله اعتبارسنجی که میانگین آن ها برای ۳ رویداد به ترتیب برای نش-ساتکلیف، میانگین مطلق خطا و ریشه مربع میانگین خطا برابر با ۰/۶۳، ۰/۴۳ و ۰/۸ می باشد می توان نتیجه گرفت که مدل HEC-HMS توانایی شبیه سازی هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز عموقین را دارد. در این خصوص در خارج از کشور هالواتورا و ناجیم (۲۰۱۳)، سمپات و همکاران (۲۰۱۵)، لگس گبر (۲۰۱۵) و در داخل کشور نیز مصطفی زاده و همکاران (۱۳۸۹)، وهاب زاده و همکاران (۱۳۹۳) و امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۴) توانایی مدل مذکور را در شبیه سازی جریان در آبخیزهای مختلف مورد تایید قرار داده اند.

شکل (۵) هیدروگراف جریان خروجی شبیه سازی شده برای بارش طرح شش ساعته با دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال می باشد.



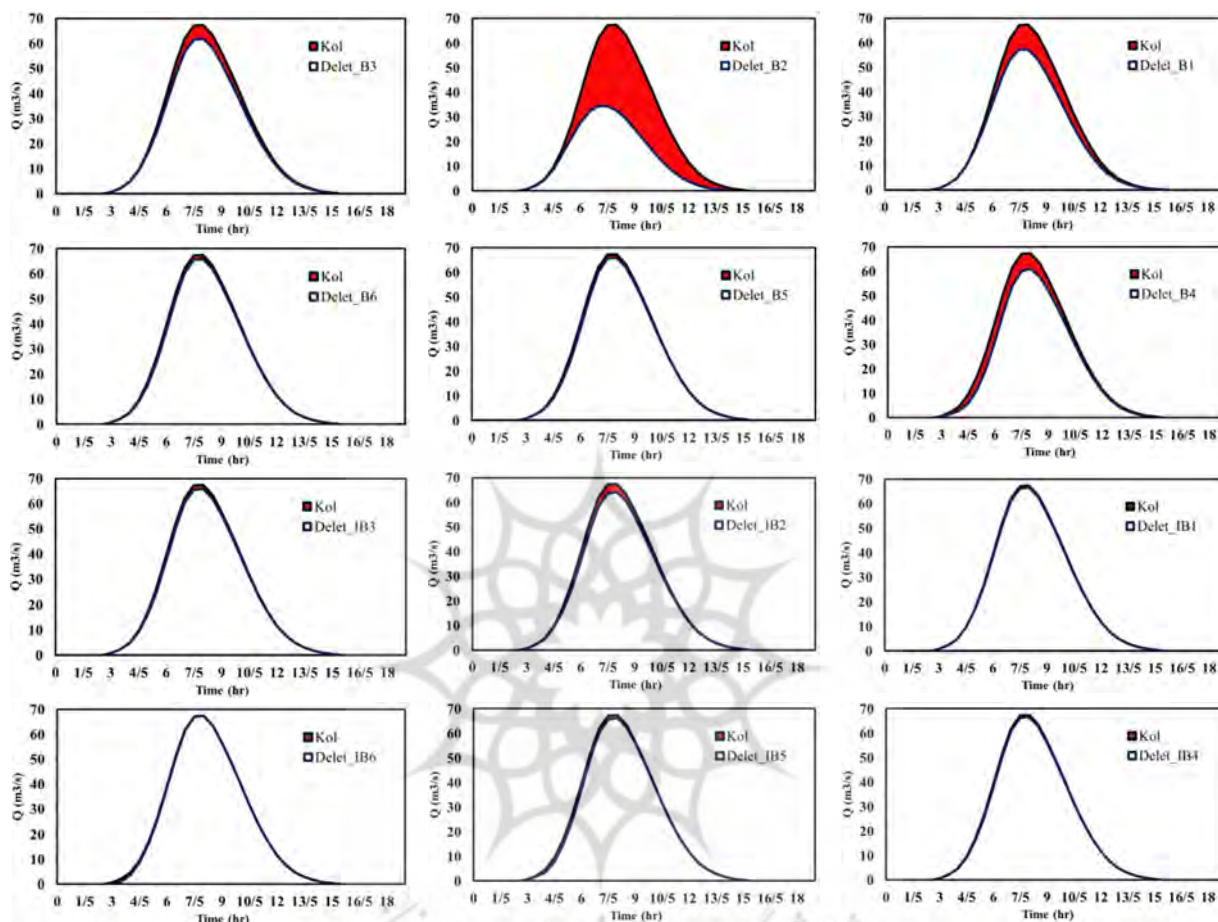
شکل ۵: هیدروگراف جریان شبیه سازی شده بارش طرح شش ساعته در دوره بازگشت های مختلف حوزه آبخیز عموقین

هیدروگراف جریان خروجی شبیه‌سازی شده برای بارش طرح ۲۵ ساله هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز عموقین در شکل (۶) ارائه شده است.



شکل ۶: هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز عموقین

به‌منظور تعیین سهم مشارکت زیرحوزه‌های حوزه آبخیز عموقین در جریان خروجی، با روش حذف یک به یک زیرحوزه‌ها در هر بار مدل HEC-HMS اجرا شد. شکل (۷) مربوط به هیدروگراف‌های جریان خروجی کل حوزه بدون تاثیر هر یک از زیرحوزه‌های حوزه آبخیز عموقین است که نشان‌دهنده تاثیر حذف هر کدام از زیرحوزه‌ها در شکل هیدروگراف جریان خروجی کل حوزه می‌باشد.



شکل ۷: هیدروگراف جریان خروجی کل حوزه آبخیز عموقین با حذف هر یک از زیرحوزه‌ها

با توجه به شکل (۷) حذف زیرحوزه‌های B1, B2, B3, B4 و IB2 در شکل هیدروگراف خروجی حوزه سهم زیادی دارند که از این میان زیرحوزه B2 با دبی اوج ۵۷/۷ مترمکعب بر ثانیه و حجم سیل ۵۷۰/۴ هزار مترمکعب و زیرحوزه B1 با دبی اوج ۱۸ مترمکعب بر ثانیه و حجم سیل ۱۶۷/۹ هزار متر مکعب از نظر سیل خیزی در اولویت می‌باشند. در اولویت‌بندی سیل خیزی زیرحوزه‌ها از دو شاخص $F\%$ و f استفاده شد که نتایج مربوط آن در جدول (۴) ارائه شده است.

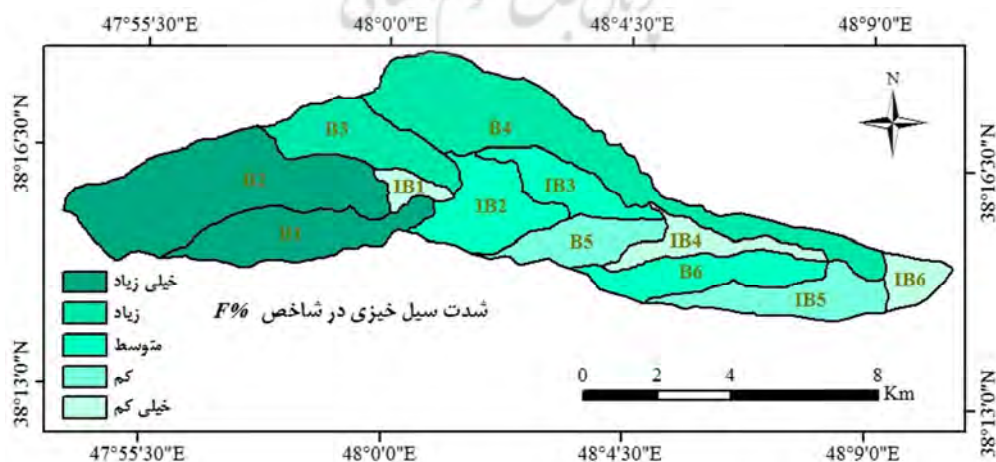
جدول ۴: مقادیر شاخص‌های سیل خیزی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز عموقین

زیرحوزه	مقادیر شاخص $F\%$	رتبه‌بندی شاخص $F\%$	مقادیر شاخص f	رتبه‌بندی شاخص f
B1	۱۴/۹۹	۲	۰/۶۱	۵
B2	۴۸/۸۱	۱	۵/۱۷	۱
B3	۸/۳۱	۴	۰/۳۳	۸
B4	۹/۳۵	۳	۱/۵۳	۲

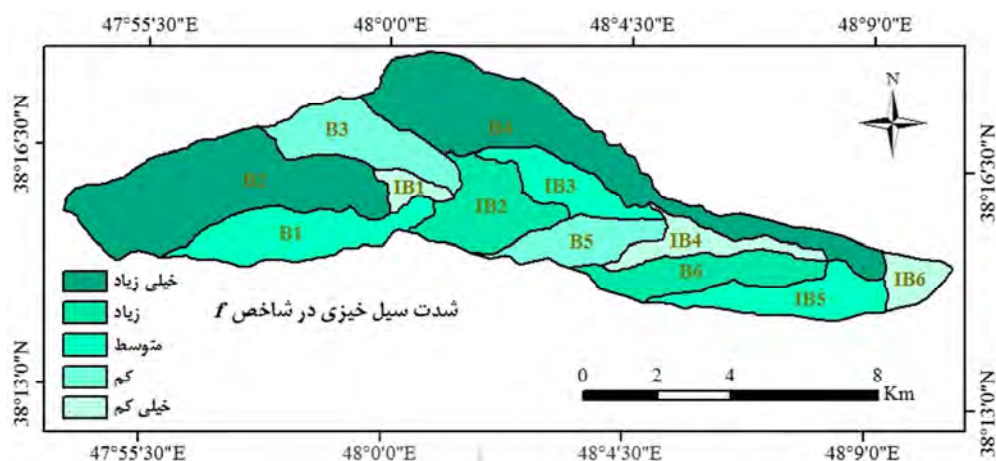
۹	۰/۲۵	۸	۲/۰۸	B5
۳	۱/۱۹	۶	۲/۲۳	B6
۱۱	۰/۱۳	۱۰	۱/۱۹	IB1
۴	۰/۷۸	۵	۴/۷۵	IB2
۷	۰/۴۸	۶	۲/۲۳	IB3
۱۰	۰/۱۵	۱۰	۱/۱۹	IB4
۶	۰/۵۶	۹	۱/۶۳	IB5
۱۲	۰/۰۰	۱۲	۰/۰۰	IB6

بر اساس نتایج رتبه‌بندی شاخص سیل‌خیزی $F\%$ و با توجه به اینکه عامل مساحت در اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوزه‌ها نقش اساسی دارد، زیرحوزه‌های B1، B2، B3، B4 و IB2 به ترتیب بیشترین سهم را در سیل‌خیزی داشته‌اند که مساحت بیش‌تری در مقایسه با سایر زیرحوزه‌ها دارند. با حذف اثر مساحت در تعیین سهم مشارکت زیرحوزه‌ها با استفاده از شاخص f ، اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها تغییر یافته و زیرحوزه‌های B1، B2، B4، B6، IB2 و IB1 به ترتیب بیش‌ترین سهم را در سیل‌خیزی داشتند. بر اساس نتایج شاخص $F\%$ و با توجه به اینکه مساحت زیرحوزه‌های B1 و B2 نسبت به سایر زیرحوزه‌ها بالا بوده ولی نسبت به زیرحوزه B4 کمتر است و هم‌چنین نتایج شاخص f در سیل‌خیزی زیرحوزه‌های B6 و IB2، می‌توان نتیجه گرفت که سیل‌خیزی زیرحوزه‌ها تنها متأثر از مساحت زیرحوزه مورد نظر نبوده و عواملی از قبیل فیزیوگرافی، کاربری اراضی و حتی موقعیت مکانی زیرحوزه مورد نظر و روندیابی جریان خروجی زیرحوزه در پتانسیل سیل‌خیزی دخیل است که با نتایج آذری و همکاران (۱۳۸۷) و امیراحمدی و همکاران (۱۳۹۴) همسو است.

هم‌چنین نقشه سیل‌خیزی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز عموقین بر اساس رتبه‌بندی شاخص‌های $F\%$ و f تهیه گردید که در شکل (۸) و (۹) ارائه شده است.



شکل ۸: شدت سیل‌خیزی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز عموقین بر اساس رتبه‌بندی شاخص $F\%$



شکل ۹: شدت سیل خیزی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز عموقین بر اساس رتبه‌بندی شاخص f

با توجه به شکل (۸) و (۹) بر اساس موقعیت مکانی زیرحوزه‌ها می‌توان بیان کرد که در بالادست و قسمت میانی شدت سیل خیزی بالا بوده که با نتایج آذری و همکاران (۱۳۸۷) و سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۲) در یک راستا است.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر با هدف تعیین سیل خیزی زیرحوزه‌های آبخیز عموقین و محاسبه شاخص‌های سیل خیزی انجام شده است. در این راستا، بعد از اجرای مدل برای ۹ رویداد متناظر بارش-رواناب، پارامترهای مدل با ۶ رویداد بهینه شده و میانگین پارامترهای بهینه شده برای ۳ رویداد دیگر در مرحله اعتبارسنجی در نظر گرفته شده است. بر اساس ارزیابی بصری هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مرحله اجرا و اعتبارسنجی و هم‌چنین شاخص‌های ارزیابی نش-ساتکلیف، میانگین مطلق خطا و ریشه مربع میانگین خطا می‌توان نتیجه گرفت که مدل HEC-HMS توانایی شبیه‌سازی هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز عموقین را دارد. در ادامه به منظور تعیین سهم مشارکت زیرحوزه‌ها در جریان خروجی مدل با حذف یک به یک زیرحوزه‌ها اجرا شد و شاخص‌های سیل خیزی برآورد گردید. با توجه به اثر حذف زیرحوزه در شکل هیدروگراف خروجی حوزه، بیش‌ترین سهم مشارکت در جریان خروجی مربوط به زیرحوزه‌های B1 و B2 می‌باشد. بر اساس نتایج رتبه‌بندی شاخص سیل خیزی $F\%$ زیرحوزه‌های B1، B2، B3 و B4 و هم‌چنین بر اساس شاخص f زیرحوزه‌های B2، B4، B6، IB2 و B1 به ترتیب بیش‌ترین سهم را در سیل خیزی دارند. با توجه به اینکه رتبه‌بندی زیرحوزه‌ها بر اساس شاخص‌های سیل خیزی متفاوت است می‌توان نتیجه گرفت که سیل خیزی زیرحوزه‌ها تنها متأثر از مساحت زیرحوزه مورد نظر نیست. هم‌چنین موقعیت مکانی زیرحوزه‌ها نیز نشان‌دهنده بالا بودن شدت سیل خیزی در بالادست و قسمت میانی حوزه بوده است. بنابراین در مجموع می‌توان گفت که زیرحوزه‌های B1، B2 و B4 بیش‌ترین سهم مشارکت در سیل خیزی حوزه آبخیز عموقین را دارند. هم‌چنین

پتانسیل سیل خیزی زیرحوزه‌ها به عوامل مختلفی از جمله مساحت، فیزیوگرافی، کاربری اراضی و حتی موقعیت مکانی زیرحوزه مورد نظر و روندیابی جریان خروجی زیرحوزه بستگی دارد.

در مجموع با توجه به وقوع سیلاب در دهه اخیر و اهمیت آن در شرایط اجتماعی و اقتصادی جوامع، لزوم مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز و پیش‌بینی وقایع سیل نمایان می‌گردد. در این راستا استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و تعیین سهم مشارکت زیرحوزه‌هایی که در جریان خروجی نقش زیادی دارند می‌تواند در شناسایی مناطق سیل خیز و برنامه‌ریزی عملیات کنترل سیل مفید باشد. کاهش رواناب و تاخیر جریان سیل در زیرحوزه‌های سیل خیز می‌تواند ضمن کاهش خسارات ناشی از سیل به تغذیه آب‌های زیرزمینی و استفاده بهینه از رواناب سطحی منجر شود.

منابع

- آذری، محمود؛ صادقی، سیدحمیدرضا؛ و تلوری، عبدالرسول (۱۳۸۷). تعیین مشارکت زیرحوضه‌های آبخیز جعفرق در دبی اوج و حجم رواناب به منظور اولویت‌بندی در کنترل سیلاب، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۲، صص ۲۱۲-۱۹۹.
- امیراحمدی، ابوالقاسم؛ محمدنیا، ملیحه؛ و گلشنی، نگار (۱۳۹۴). تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی موثر بر سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS (مورد مطالعه: زرچشمه هونجان، استان اصفهان)، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۳، صص ۴۲-۲۱.
- خسروشاهی، محمد؛ و ثقفیان، بهرام (۱۳۸۴). اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل‌خیز راهکاری برای عملیات اجرایی مهار و کنترل سیل در حوضه‌های آبخیز، علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۱۳۸-۱۲۸.
- رفیعی ساردویی، الهام؛ خلیقی سیگارودی، شهرام؛ آذره، علی؛ و رستمی خلیج، محمد (۱۳۹۴). گزارش فنی: کاربرد مدل HEC-HMS در اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبخیز بالادست سد کرج، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۹، شماره ۲۸، صص ۵۶-۵۳.
- سلیمانی ساردو، فرشاد؛ سلطانی کویایی، سعید؛ و سلاجقه، علی (۱۳۹۲). انتخاب شاخص سیل‌خیزی مناسب با استفاده از مدل بارش-رواناب HEC-HMS و تکنیک‌های GIS و RS (مطالعه موردی: حوزه سد جیرفت)، مدیریت حوزه آبخیز، سال ۴، شماره ۸، صص ۱۰۵-۹۰.
- علیزاده، امین. (۱۳۹۱). اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه امام رضا، چاپ ۳۵، ۹۲۸ ص.
- مصطفی‌زاده، رئوف (۱۳۸۷). شبیه‌سازی تأثیرات هیدرولوژیکی سازه‌های اصلاحی به منظور ارزیابی سناریوهای سازه‌ای کنترل سیل در آبخیز جعفرآباد، استان گلستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۲۴ ص.
- مصطفی‌زاده، رئوف؛ بهره‌مند، عبدالرضا؛ و سعدالدین، امیر (۱۳۸۸). شبیه‌سازی هیدروگراف رواناب سطحی با مدل هیدروگراف لحظه‌ای کلارک (مطالعه موردی: آبخیز جعفرآباد استان گلستان)، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۳، صص ۱۲۲-۱۰۵.
- مصطفی‌زاده، رئوف؛ سعدالدین، امیر؛ بهره‌مند، عبدالرضا؛ شیخ، واحدبردی؛ و نظرزاد، حبیب (۱۳۸۹). ارزیابی اثرات هیدرولوژیک طرح آبخیزداری جعفرآباد استان گلستان با استفاده از مدل HEC-HMS، مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۲، شماره ۲، صص ۹۳-۸۳.
- میرزایی، شهناز (۱۳۹۵). شبیه‌سازی جریان سیل و تحلیل ارتباط سنج‌های سیمای سرزمین و مولفه‌های هیدروگراف (مطالعه موردی: حوزه آبخیز عموقین)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، ۹۰ ص.
- وهاب‌زاده، قربان؛ نویدی فر، یونس؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ و عبقری، هیراد (۱۳۹۳). بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر دبی روزانه رودخانه با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آجرلو، استان آذربایجان غربی)، دانش آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، صص ۲۳۶-۲۲۷.

Chatterjee, C., Jha, M.I.S.H.R., Lohani, A.K., Rakesh Kumar, M.I.S.H., and Singh, R. (2002), Estimation of SCS curve number for a basin using rainfall-runoff data. *Journal of Hydraulic Engineering*, 8(1), 40-49.

Foody, G.M., Ghoneim, E.M., and Arnell, W.N. (2004), Predicting Location Sensitive to Flash Flooding in Arid Environment, *Journal of Hydrology*, 292, 48-58.

- Halwatura, D., and Najim, M.M.M. (2013), Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environmental Modelling and Software*, 46, 155-162.
- Hawkins, R.H. (1993), Asymptotic determination of runoff curve number from data. *Irrigation Drainage Engineering*, 119, 334-345.
- Kotsifakis, K.G., Psomas, A.G., Feloni, E.G., and Baltas, E.A. (2015), Rainfall-runoff modeling in an experimental watershed in Greece. *International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece*, 1-5.
- Legesse Gebre, S. (2015), Application of the HEC-HMS model for runoff simulation of upper Blue Nile river basin. *Hydrology: Current Research*, volume 6(2), 1-8.
- Majidi, A., and Shahedi, K. (2012), Simulation of rainfall-runoff process using Green-Ampt method and HEC-HMS model (Case study: Abnama watershed, Iran). *Hydraulic Engineering*, 1(1), 5-9.
- Mockus V. (1964), Estimation of direct runoff from storm rainfall. Chapter 10. *National Engineering Handbook*, 29p.
- Mostafazadeh, R., Sadoddin, A., Bahremand, A., Sheikh, V.B., and ZareGarizi, A. (2017), Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision-making technique in Northeast Iran. *Natural Hazards*, 87(3): 1827-1846. DOI: 10.1007/s11069-017-2851-1.
- Pilgrim, D.H., and Cordery, I. (1975), Rainfall temporal patterns for design floods. *Hydraulic Division*, 101, 81-95.
- Raghunath, H.M. (2006), *Hydrology, Principles Analysis Design*. New Age International (P) Limited, Publishers. 463.
- Ramly, S., and Tahir, W. (2016), Application of HEC-GeoHMS and HEC-HMS as rainfall-runoff model for flood simulation. *ISFRAM 2015*, 181-192.
- Sampath, D.S., Weerakoon, S.B., and Herath, S. (2015), HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment with intra-basin diversions – case study of the Deduru Oya river basin, Sri Lanka. *ENGINEER*, XLVIII(1), 1-9.
- Scharffenberger, W.A., and Fleming, M.J. (2010), *Hydrologic modeling system HEC-HMS User's Manual*, USACE, 1-306.
- Tlapakova, L., Stejskalova, D., Karasek, P., and Podhradzka, J. (2013), Landscape metrics as a tool for evaluation landscape structure (Case study: Hustopece). *European Countryside*, 1, 52-70.
- USDA, Natural Resources Conservation Service. (1986), Urban hydrology for small watersheds. Technical Release 55, 164p.
- USDA, Natural Resources Conservation Service. (2004), Estimation of direct runoff from storm rainfall. Chapter 10. Part 630 Hydrology. *National Engineering Handbook*, 79p.
- USDA, Natural Resources Conservation Service. (2010), Time of concentration. Chapter 15. Part 630 Hydrology. *National Engineering Handbook*, 29p.
- USDA, Natural Resources Conservation Service. (2014), Flood Routing. Chapter 17. Part 630 Hydrology. *National Engineering Handbook*, 78p.
- Walker, JW. (2002), A Comparison of storm hydrographs from small urban watersheds with different landuse patterns in Baton Rouge. B.S., University of Southern Mississippi. 1-67.
- Wan Nor Azmin, S., Heshmatpoor, A., and Mod Hafiz, R. (2010), Identification of flood source area in Pahang river basin, Peninsular Malaysia. *Environment Asia 3, Special Issue*. 73-78.
- Wanielista, M.P. (1997), *Hydrology Water Quantity and Water Quality Control*. University of Central Florida. 565p.

Flow modelling and determination of sub-watersheds contribution in flood hydrograph in Amoughin watershed, Ardabil province

Shahnaz Mirzaei¹, Abazar Esmali Ouri², Raof Mostafazadeh^{*3}, Ardavan Ghorbani⁴, Sajjad Mirzaei⁵

Received: 03-05-2017

Accepted: 17-12-2017

Abstract

The focus of watershed management practices should be in the runoff control, flood prediction and determination of sub-watersheds contribution in producing flood with the aim of reduction its destructive losses. Proposing of practical management solutions of flood control needs the examining of rainfall-runoff models to simulate flow hydrograph, especially in ungauged watersheds. The aim of this study was to evaluate the effectiveness of HEC-HMS model in the rainfall-runoff simulation of Amoughin watershed and determination of sub-watersheds contribution in outlet flow hydrograph. Toward this attempt, the HEC-HMS model was run with SCS-CN method (loss module), SCS-Unit hydrograph method (rainfall-runoff transformation) and Muskingum method (flood routing) through 9 rainfall-runoff events. The input parameters of the model were optimized through applying 6 storm events considering Nash-Sutcliffe objective function and the mean values of the input parameters were used as input for three excluded storm events during the validation stage. In order to prioritize the potential flooding of sub-watersheds, the calibrated HEC-HMS model was employed by removing the sub-watersheds in each run with the 25-year design rainfall, and then the flooding potential indices calculated. According to the results, the average value of Nash-Sutcliffe statistical criterion 0.63 in the validation stage demonstrates that the accuracy of HEC-HMS model in flood simulations of Amoughin watershed. The result of flooding potential indices showed that B1, B2, and B3 sub-watersheds have more effect on the flooding potential of Amoughin watershed. In conclusion, it can be said that flooding potential sub-watersheds are not affected only by sub-watersheds area. While, the physiographic characteristics, land use related factors, spatial location and flow routing through sub-watershed to outlet should be considered in determining the flooding potential of sub-watersheds in future studies.

Keywords: Rainfall-Runoff Simulation, Prioritize, Flooding Potential, Amoughin Watershed.

¹- M.Sc. student of Watershed Management Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

²- Associate Professor, Department of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

^{3*}- Assistant Professor, Department of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

Email: raofmostafazadeh@uma.ac.ir

⁴- Associate Professor, Department of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.

⁵- Ph.D Student of Watershed Management Science and Engineering, Tarbiat Modares University, Iran.