

## تعیین مشارکت زیر حوضه‌های آبخیز خرم‌آباد در دبی اوج و حجم رواناب به منظور اولویت‌بندی در کنترل سیلاب

سمیرا کوشکی\* - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران  
احمد مزیدی - دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

پذیرش: ۱۳۹۲/۰۶/۱۲

وصول: ۱۳۹۲/۰۲/۳۱

### چکیده

یکی از مهم‌ترین اقدامات مورد نظر در پروژه‌های مدیریت سیلاب، بررسی میزان مشارکت زیر حوضه‌های مختلف یک حوضه آبخیز در تعیین مؤلفه‌های مختلف سیلاب خروجی از حوضه است. با توجه به نبود ایستگاه‌های هیدرومتری در محل خروجی تمام زیر حوضه‌ها، تحقق هدف یادشده نیازمند شبیه‌سازی فرایند بارش - رواناب در زیر حوضه‌ها از طریق مدل‌های هیدرولوژیکی است. در این مطالعه به منظور تعیین میزان سیلاب خروجی از هر زیر حوضه و بررسی میزان مشارکت آن در سیلاب خروجی از حوضه آبخیز خرم‌آباد در استان لرستان از مدل HEC-HMS استفاده شده است. بدین منظور پس از جمع‌آوری آمار بارش و سیلاب مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری داخل و خارج حوضه و کنترل داده‌ها از پنج واقعه رگبار و سیلاب متناظر به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. با استفاده از اطلاعات وضعیت پوشش گیاهی، خاک و کاربری اراضی حوضه، نقشه CN حوضه در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی استخراج شد؛ سپس به منظور بررسی میزان مشارکت و اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها، هابتوگراف بارش مربوط به دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ ساله به مدل وارد و با حذف متوالی زیر حوضه‌ها از جریان شبیه‌سازی، میزان تأثیر آن در دبی اوج و حجم سیلاب خروجی از حوضه مورد نظر تعیین شد. نتایج نشان داد که اولویت مشارکت در دبی اوج و حجم سیلاب خروجی حوضه به زیر حوضه پنج اختصاص دارد که به دلیل مساحت بیشتر این زیر حوضه است. برای دستیابی به ویژگی‌های سیلاب بدون تأثیر مساحت بیشترین دبی پیک مربوط به زیر حوضه چهار و در مورد حجم سیلاب اولویت به زیر حوضه دو اختصاص دارد. نتایج به دست آمده امکان تبیین سیاست‌های صحیح مدیریت سیلاب از طریق مدیریت زیر حوضه‌های بحرانی در منطقه مورد مطالعه را به خوبی فراهم آورده است.

واژگان کلیدی: مدل‌سازی سیلاب، مدل HEC-HMS حوضه آبریز خرم‌آباد، اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها، رواناب.

## مقدمه

سیل به‌مثابه پدیده‌ای که بسیار رخ می‌دهد، از نظر تلفات اقتصادی و نگرانی‌های شدید انسانی بسیار مهم است، به‌عبارتی، پدیده سیل یکی از پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین رویدادهای طبیعی است که بیش از هر بلای طبیعی دیگری، جان و مال انسان و شرایط اجتماعی و اقتصادی جامعه را به مخاطره می‌اندازد. با توجه به علل مؤثر و مختلف در بروز سیل، می‌توان با اعمال روش‌ها، اقدام‌ها و راهکارهای علمی و عملی از وقوع بسیاری از سیل‌ها جلوگیری کرد و در سیل‌هایی که نتوان از وقوع آن‌ها جلوگیری کرد، با انجام اقدام‌های مختلف از جمله مدیریت حوضه آبخیز و تعیین کاربری مناسب برای مناطق سیل‌گیر، خسارات ناشی از آن را کاهش داد (زینی‌وند و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به وسعت حوضه‌های آبخیز و هزینه‌های بالای اقدامات کنترل سیلاب و آبخیزداری، تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌های مختلف در خصوصیات سیلاب خروجی از حوضه به‌منظور اولویت‌دهی در کنترل سیلاب امری ضروری است. با توجه به نبود ایستگاه‌های هیدرومتری در تمام زیرحوضه‌ها، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی فرایند بارش و رواناب و تعیین میزان سیلاب تولیدی در زیرحوضه‌ها و خروجی حوضه می‌تواند روش مناسبی در دستیابی به این اهداف باشد. بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی به‌منظور مطالعه هیدرولوژی حوضه آبریز ارائه شده‌اند، ولی نتایج شبیه‌سازی آن‌ها در توسعه منابع آب‌و‌خاک و تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت حوضه‌های آبخیز مفید است (آذری و همکاران، ۱۳۸۷).

مدل آب‌شناختی<sup>۱</sup> از سوی مرکز مهندسی آب‌شناسی (HEC) ارتش آمریکا در سال ۱۹۶۸ ارائه شد که توانایی بررسی بارش - رواناب و روندیابی جریان را دارد. این مدل به‌سبب پاسخ‌گویی مناسب در حوضه‌های مختلف از پذیرش خوبی برخوردار است و هم‌اکنون در مباحث هیدرولوژی استفاده فراوانی دارد (جهانگیر و همکاران، ۱۳۸۷). در این راستا علاوه بر شبیه‌سازی سیلاب به بررسی نقش دخالت‌های انسانی در عرصه‌های آبخیز و نقش آن بر ویژگی‌های سیلاب نیز پرداخته‌اند که دستیابی به این هدف در وهله اول نیازمند بررسی رفتار هیدرولوژیکی حوضه و بررسی سهم مشارکت زیرحوضه‌های مختلف در سیلاب است که مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و تصمیم‌گیران قرار گرفته است.

سوان ورا کامتورن<sup>۲</sup> (۱۹۹۴) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-1 اثرات تغییر کاربری اراضی بالادست حوضه را روی الگوی سیلاب در نواحی پایین‌دست حوضه ارزیابی کرده است. هدف وی توسعه و اصلاح مدل هیدرولوژیکی برای ارزیابی کمی تغییرات کاربری اراضی روی هیدروگراف سیل خروجی بود. برود<sup>۳</sup> و همکاران (۱۹۹۹) در پژوهشی به بررسی روند بارش - رواناب در منطقه پره‌کوردیلرا از کوه‌های آند (مندوزا، آرژانتین) با استفاده از یک مدل توزیعی مداوم پرداختند. فودی<sup>۴</sup> (۲۰۰۴) برای تعیین مناطق سیل‌خیز یک حوضه در صحرای شرقی کشور مصر از داده‌های ماهواره‌های لندست برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده کرد و نفوذپذیری خاک را نیز براساس اندازه‌گیری‌های صحرایی تعیین و خروجی مدل دو منطقه را با بالاترین درجه سیل‌خیزی شناسایی کردند. یانگلی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی به ارائه یک سیستم پیش‌بینی سیل (WFFS) در منطقه شانگهای پرداختند که در پیش‌بینی سیلاب منطقه شانگهای نتایج رضایت‌بخشی را نشان داد. مک‌کول و اگت<sup>۶</sup> (۲۰۰۷) از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای کالیبراسیون طوفان‌هایی که در ایالت واشینگتن رخ داده

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

2- Suwanwerakamtorn

3- Brauda

4- Foody

5- Yang Li

6- McColl & Aggett

است استفاده کردند. چن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۹) از مدل بارش - رواناب HEC-HMS برای کالیبراسیون و واسنجی هفت رویداد سیلاب استفاده کردند. نتایج نشان‌دهنده هماهنگی خوب بین هیدروگراف‌های مشاهده‌شده و محاسبه‌شده در خروجی حوضه است و ضریب نش-سانکلیف بین ۷۵٪ تا ۹۵٪ است. سوری<sup>۲</sup> و مودگال<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) در حوضه آبخیز فرعی تیروسولام<sup>۴</sup> در چنای از مدل هیدرولوژیکی IFM استفاده کردند. در پژوهش حاضر رواناب اندازه‌گیری، نقشه‌های خطر سیلاب تهیه و مناطق مستعد سیلاب نیز شناسایی شدند.

سوری‌نژاد (۱۳۸۰) برای برآورد دبی‌های حداکثر لحظه‌ای و حجم سیلاب‌ها در حوضه آبخیز رودخانه کشکان از مدل HEC-HMS استفاده کرده است. همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی بین ۹۷/۵ تا ۹۹/۹ به‌دست آمد. محمدی (۱۳۸۱) کاربرد مدل هیدرولوژیکی بارش - رواناب با استفاده از GIS در پیش‌بینی زمان وقوع سیل در حوضه آبریز کسلیان را بررسی کرد. نتایج نشان‌دهنده توانایی زیاد سیستم اطلاعات جغرافیایی در تولید ورودی‌های مدل بارش - رواناب و همچنین ارتباط بسیار خوب بین این دو در محاسبه زمان واقعی سیلاب و پیش‌بینی رخداد‌های آینده در شمال کشور است. یمانی و عنایتی (۱۳۸۴) به بررسی ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و ارتباط آن با سیل‌خیزی در دو حوضه فشنند و بهجت‌آباد با استفاده از GIS پرداختند و نتیجه گرفتند که حوضه فشنند به‌دلیل شیب بیشتر و شکل دایره‌ای از پتانسیل سیل‌خیزی بالاتری برخوردار است. ثقفیان و فرازجو (۱۳۸۶) با تلفیق GIS و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS شدت سیل‌خیزی و میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی کل حوضه در محل سد گلستان را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که اثر متقابل عوامل مؤثر و موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و نقش روندیابی در روخانه اصلی در سیل‌خیزی حوضه نقش برتر را دارند.

آذری و همکاران (۱۳۸۷) به تعیین مشارکت زیرحوضه‌های آبریز جاعرق در دبی اوج و حجم رواناب به‌منظور اولویت‌بندی در کنترل سیلاب با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند، نتایج این مطالعه نشان داد که ۱۶/۶۶٪ کاهش دبی اوج و ۹۸/۶۵ کاهش حجم سیلاب برای دوره بازگشت معمول بیست سال متعلق به چهار زیرحوضه بالادست و میانی بوده است. کلارستاقی و همکاران (۱۳۸۸) مدل دامنه وپ<sup>۴</sup> را در پیش‌بینی رواناب و رسوب کرت‌های مرتعی به‌کار برده‌اند، نتیجه‌گیری نهایی بیانگر آن است که مدل دامنه وپ مقادیر رواناب و رسوب را بسیار کمتر از مقادیر مشاهده‌ای نشان داده است. سلطانی (۱۳۸۹) پژوهشی با هدف ارزیابی تأثیر سدهای اصلاحی اجراشده بر سیل‌خیزی و سیل‌گیری در حوضه آبخیز منشاد انجام داده است که بدین‌منظور از مدل HEC-HMS برای مقایسه تغییرات دبی و رفتار داغاب پیش و پس از اقدامات استفاده کرده است. براساس نتایج شبیه‌سازی، تأثیر سازه‌ها بر دبی اوج به‌طور متوسط ۹/۸۲٪ و بر حجم سیل ۷/۷۵٪ بوده است. استان لرستان یکی از استان‌هایی است که هر ساله در یکی از نواحی آن به‌ویژه در حوضه رودخانه کشکان سیل‌های مخرب اتفاق می‌افتد. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل شبیه‌سازی HEC-HMS به بررسی نقش زیرحوضه‌های مختلف حوضه آبریز خرم‌آباد در دبی اوج و حجم رواناب خروجی حوضه پرداخته شده است.

### معرفی منطقه مورد بررسی

حوضه مورد بررسی در پژوهش حاضر، حوضه آبریز رودخانه خرم‌آباد واقع در استان لرستان است. محدوده این حوضه در ۴۵° ۴۷' تا ۴۸° ۳۶' طول شرقی و عرض ۱۰' ۳۳° تا ۵۰' ۳۳° عرض شمالی قرار گرفته و از شاخه‌های مهم رودخانه کشکان است. مساحت، محیط و طول رودخانه اصلی حوضه آبریز مورد مطالعه به‌ترتیب ۲۴۸۱/۰۹

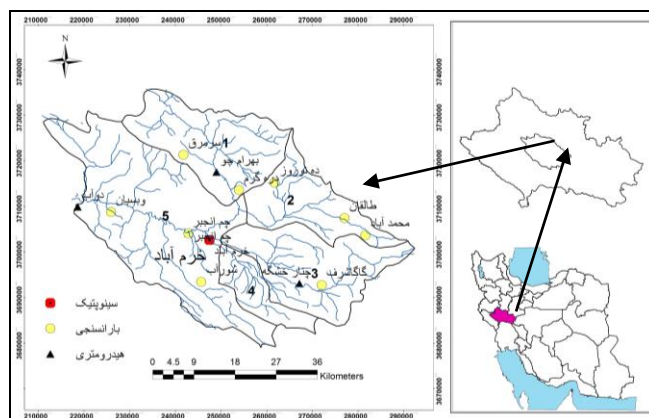
1- Chen

2- Suriya & Mudgal

3- Thirusoolam

4- water erosion prediction project range

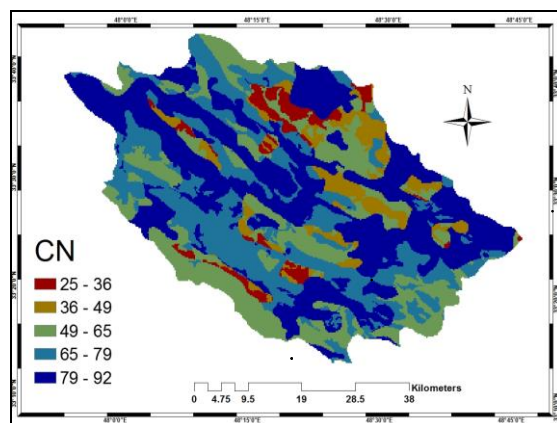
کیلومتر مربع و ۷۰۲۶۰۰ متر، ۹۴/۵۱ کیلومتر است. شیب زیاد و کوهستانی بودن حوضه یکی از عوامل تشدیدکننده سیلاب است. ارتفاع متوسط آن برابر با ۱۶۰۴ متر، شیب متوسط حوضه ۲۶٪ و میانگین بارش سالانه ۵۳۷ میلی‌متر و اقلیم آن نیمه‌مرطوب تا مرطوب است. برای تعیین مرز حوضه نقشه توپوگرافی زمین مرجع شد و مرز حوضه آبریز و زیرحوضه‌های آن براساس وضعیت عمومی، شبکه کالی زهکشی و کاربردهای اجرایی به پنج زیرحوضه بزرگ تقسیم شد. شکل ۱ سیمای عمومی حوضه و زیرحوضه‌های مربوطه در استان لرستان و ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز خرم‌آباد و ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان لرستان

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه به منظور تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌های مختلف حوضه آبریز خرم‌آباد و تعیین سیلاب خروجی از مدل HEC-HMS استفاده شد. با توجه به روش‌های انتخابی در این مدل اقدام به شناسایی ورودی‌های مدل شد. به منظور بررسی رابطه بارش و رواناب به شیوه CN1، آمار بارش و رواناب مربوط به همه ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در داخل و خارج حوضه و ایستگاه‌های هیدرومتری داخل حوضه جمع‌آوری شد. CN براساس گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و وضعیت بهره‌وری از زمین محاسبه شد. نقشه خاک از اداره منابع طبیعی استان تهیه شد. محدوده حوضه در این نقشه مشخص و نقشه رقومی شد؛ سپس نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی با توجه به عمق و بافت خاک‌های حوضه استخراج شد. با تلفیق نقشه کاربری اراضی با نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نقشه CN حوضه به دست آمد. با توجه به اینکه حوضه دارای CN‌های متفاوتی بود. CN‌های وزنی مربوط به هر زیرحوضه استخراج شد (شکل ۲).



شکل ۲. شماره منحنی (CN) حوضه آبریز خرم‌آباد

به‌منظور برآورد زمان تمرکز و تأخیر به‌مثابه دو متغیر مورد نیاز دیگر برای اجرای مدل از روش پیشنهادی سازمان حفاظت منابع طبیعی آمریکا که به روش زمان تأخیر معروف است استفاده شد. برای روندیابی جریان در بازه‌ها نیز از روش زمان تأخیر استفاده شد. این روش برای حوضه‌های بزرگ کاربرد دارد. در روش SCS ابتدا زمان تأخیر از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۵: ۵۰۸).

$$\text{tlog}=(L^{.8}(S+1)^{.7})/(1900y^{.5}) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن tlog زمان تأخیر حوضه برحسب ساعت، L طول رودخانه اصلی برحسب فوت، y متوسط شیب حوضه برحسب درصد که غالباً برابر شیب متوسط رودخانه اصلی و s نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه است که با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$s=1000/CN-10 \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن CN یا شماره منحنی نمایه خصوصیات حوضه از نظر نفوذپذیری است. پس از محاسبه tlog زمان تمرکز حوضه (tc) از رابطه ۳ به‌دست آمد (علیزاده، ۱۳۸۵: ۵۰۸).

$$s=1000/CN-10 \quad \text{رابطه ۳}$$

به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل از میان وقایع بارش و رواناب ثبت‌شده در ایستگاه‌های منطقه تعدادی بارش فراگیر منفرد و سیلاب متناظر آن در ایستگاه هیدرومتری دوآب واقع در محل خروجی حوضه انتخاب شد؛ سپس با استفاده از روش IDW در سیستم اطلاعات جغرافیایی، توزیع مکانی بارش‌های یادشده در سطح منطقه استخراج و برای هر زیرحوضه مقدار بارش متناظر آن رگبار محاسبه شد. برای تهیه هایتوگراف بارش‌ها و تعیین الگوی زمانی رگبار مربوطه از بارش‌های شش‌ساعته در ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد واقع در حوضه استفاده شد؛ سپس واسنجی مدل با ورود هایتوگراف بارش و بررسی هیدروگراف خروجی با تغییر پارامترهای CN و Ia یا تلفات اولیه و زمان تأخیر به‌روش خودکار و دستی و بررسی توابع هدف انجام شد. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل و استخراج پارامترهای بهینه به‌منظور تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیلاب خروجی حوضه از هایتوگراف بارش برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ به‌دلیل غلبه کاربرد در پروژه‌های اجرایی مدیریت آبخیز و کنترل سیل استفاده شد. بدین‌صورت که مقدار بارش مربوطه از منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد استخراج و هایتوگراف رگبارهای مربوطه تهیه شد؛ سپس با ورود داده‌های بارش مربوط به دوره بازگشت‌های مختلف و حذف هرکدام از زیرحوضه‌های بالادست بازه مورد بررسی و اجرای مکرر شبیه‌سازی، میزان دبی اوج و حجم سیلاب برای بازه به‌دست آمد. از این طریق سهم مشارکت هرکدام از زیرحوضه‌ها در مقدار دبی اوج و حجم سیلاب در حوضه آبریز خرم‌آباد تعیین شد؛ سپس با هدف تعیین دبی اوج و حجم سیلاب در واحد سطح به‌منظور تعیین سطوح مناسب در کنترل سیلاب، ارزیابی‌های لازم بر روی نتایج خروجی مدل شامل دبی اوج زیرحوضه و حجم سیلاب در محل بازه و خروجی هر زیرحوضه انجام شد.

## نتایج و بحث

نتایج بازدیدهای صحرائی و مطالعات اولیه در جدول ۱ ارائه شده است. بررسی‌های انجام‌شده روی سیلاب‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در کل حوضه نشان می‌دهد که از مجموع سیلاب‌ها تنها پنج رخداد هست که آمار آن‌ها در تمام ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه به ثبت رسیده است؛ بنابراین در این مطالعه از ۳

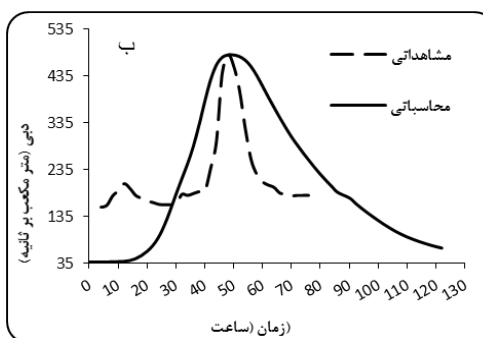
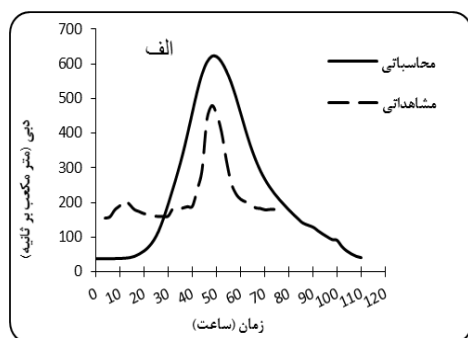
رخداد برای واسنجی و دو رخداد برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد؛ همچنین در جدول ۱ و ۲ پارامترهای ورودی مدل برای هر کدام از زیرحوضه‌ها برای قبل و بعد از واسنجی در شرایط رطوبتی پیشین نشان داده شده است. در شکل ۳ نیز نمونه‌ای از هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی مدل برای قبل و بعد از واسنجی ارائه شده است که نشان‌دهنده اختلاف کم مقدار دبی اوج پس از واسنجی است؛ اما به‌طور کلی نتایج اجرای مدل در این مرحله بر تخمین بالای دبی اوج دلالت دارد که این نتایج مطالعه کنبل و همکاران (۲۰۰۵) و آذری و همکاران (۱۳۸۷) و سلطانی (۱۳۸۹) مبنی بر تمایل مدل در بیشتر نشان‌دادن، دبی اوج را تأیید می‌کند. واسنجی و اعتبارسنجی مدل بر سازگاری خوب بین هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی دلالت دارد. ضریب نش-ساتکلیف برابر با ۰/۶۸ بود که با نتایج چن و همکاران (۲۰۰۹) و محمدعلی و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.

جدول ۱. داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل HEC-HMS در حوضه آبریز خرّم‌آباد

زیرحوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	شماره منحنی CN	تلفات اولیه Ia (mm)	زمان تمرکز (min)	زمان تأخیر (min)
۱	۴۷۹/۰۸	۶۷	۱۵۴۴/۵۹	۲۵۷۹/۴۷	۱۵۴۴/۵۹
۲	۳۲۸/۳۰	۷۰	۷۸۸/۲۱	۱۳۱۶/۳۲	۷۸۸/۲۱
۳	۴۸۴/۱۰	۷۱	۱۰۸۳	۱۸۰۸/۶۲	۱۰۸۳
۴	۱۵۵/۱۷	۶۸	۴۸۳/۳۶	۸۰۷/۲۱	۴۸۳/۳۶
۵	۱۰۳۳/۶	۶۵	۱۳۱۶/۲۱	۲۰۳۴/۷۶	۱۳۱۶/۲۱

جدول ۲. مقادیر بهینه پارامترهای ورودی مدل

زیرحوضه	شماره منحنی CN	تلفات اولیه Ia (mm)	زمان تأخیر (min)
۱	۶۷	۲۲/۶۸	۱۸۴۶/۷۳
۲	۷۰	۲۲/۰۵	۸۱۴/۵۷
۳	۷۱	۱۸/۷۹	۱۵۳۶/۵۷
۴	۶۸	۳۵/۱۶	۲۷۰/۱۰
۵	۶۵	۳۶/۶۳	۷۳۷/۸۰



شکل ۳. هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی مدل قبل (الف) و بعد (ب) از واسنجی برای رویداد ۸ - ۸۶/۱/۶

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مختلف در تولید سیلاب با حذف متوالی زیرحوضه‌ها در جریان شبیه‌سازی و مشاهده اثر آن بر ویژگی‌های سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف انجام شد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مختلف از نظر دبی اوج و حجم سیلاب براساس سهم مشارکت هر واحد در محل خروجی زیرحوضه و در محل بازه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج اولویت‌بندی آن در جدول‌های ۳ و ۴ برای دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود زیرحوضه ۵ در همه دوره بازگشت‌ها بیشترین تأثیر را در دبی اوج سیلاب دارد. این امر به دلیل مساحت زیاد این زیرحوضه است. بعد از زیرحوضه ۵، بیشترین تأثیر در دبی اوج به زیرحوضه ۴ اختصاص دارد که به دلیل زمان تأخیر کمتر این زیرحوضه نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها و

مشارکت کمابیش تمام حجم سیلاب در دبی اوج است. ضمن اینکه باید توجه داشت که مدل نیز نسبت به زمان تأخیر بیشترین حساسیت را دارا بود. بعد از زیرحوضه شماره ۴، زیرحوضه شماره ۲ و سپس زیرحوضه ۳ اولویت بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. زیرحوضه ۱ اولویت آخر را به خود اختصاص داده است. این امر به دلیل مقدار زیاد زمان تأخیر نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر زمان تأخیر در این اولویت‌بندی را می‌توان دید.

جدول ۳. میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج سیلاب در خروجی حوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف برحسب متر مکعب بر ثانیه

مساحت	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	دوره بازگشت
							زیرحوضه
۴۷۹/۰۸	۹/۱	۸/۵	۷/۸	۷/۳	۶/۴	۵/۷	۱
۳۲۸/۳۰	۳۷/۸	۳۴/۸	۳۱/۴	۲۹	۲۴/۳	۲۰/۹	۲
۴۸۴/۱۰	۴۷/۲	۴۲	۳۶/۷	۳۲/۷	۲۴/۹	۱۹/۷	۳
۱۵۵/۱۷	۵۲۲/۵	۴۴۸/۲	۳۷۵/۷	۳۲۶/۱	۲۱۷/۳	۱۱۹/۸	۴
۱۰۳۳/۶	۱۰۹۷/۶	۹۳۹/۹	۷۸۵/۱	۶۷۰	۴۵۴/۸	۲۹۳/۸	۵

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین زیرحوضه به ترتیب اولویت اول و آخر را به خود اختصاص داده‌اند. این موضوع برای همه زیرحوضه‌ها صادق است. پس از زیرحوضه ۵ زیرحوضه ۳ اولویت دوم را به خود اختصاص داده است. این حوضه از نظر CN، مساحت و تلفات اولیه مستعد سیلاب بیشتری است. پس از این زیرحوضه، اولویت به ترتیب به زیرحوضه ۱، ۲ و ۴ اختصاص دارد. این اولویت‌بندی بیشتر تحت تأثیر مساحت زیرحوضه‌ها قرار دارد.

جدول ۴. میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در حجم سیلاب در خروجی حوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف برحسب هزار متر مکعب

مساحت	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	دوره بازگشت
							زیرحوضه
۴۷۹/۰۸	۵۴۴۹۱/۱	۴۸۱۲۱/۷	۴۱۶۰۲/۲	۳۶۶۷۰/۵	۲۷۰۲۰/۷	۲۰۸۲۹/۷	۱
۳۲۸/۳۰	۴۲۱۸۶/۵	۳۷۶۵۲/۸	۳۳۰۰۰/۶	۲۹۴۷۲/۸	۲۲۵۴۳/۵	۱۸۰۷۶/۲	۲
۴۸۴/۱۰	۵۷۴۴۵/۲	۵۰۷۶۲/۶	۴۳۹۰۲/۶	۳۸۶۹۸/۱	۲۸۴۶۸/۳	۲۱۸۶۶/۳	۳
۱۵۵/۱۷	۱۵۸۱۴/۹	۱۳۸۴۱/۴	۱۱۸۴۶/۵	۱۰۳۶۰/۲	۷۵۳۶/۸	۵۲۸۱/۱	۴
۱۰۳۳/۶	۱۱۰۰۹۳/۲	۹۶۸۹۳/۲	۸۳۵۰۹/۴	۷۳۴۹۶/۵	۵۴۳۰۱/۶	۴۲۴۱۰/۸	۵

مقدار حجم سیلاب و دبی اوج در محل خروجی هر زیرحوضه در دوره بازگشت‌های مختلف نیز به دست آمد که نتایج آن در جدول ۵ و ۶ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بالاترین دبی پیک در همه دوره بازگشت‌ها در خروجی زیرحوضه‌ها در زیرحوضه ۵ و سپس به ترتیب در زیرحوضه ۲، ۳، ۴ و ۱ دیده می‌شود (جدول ۵).

جدول ۵. میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج سیلاب در خروجی هر زیرحوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف برحسب متر مکعب بر ثانیه

مساحت	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	دوره بازگشت
							زیرحوضه
۴۷۹/۰۸	۳۶۰/۲	۳۱۷/۳	۲۷۳/۴	۲۴۰/۲	۱۷۵/۲	۱۳۳/۶	۱
۳۲۸/۳۰	۵۶۲/۱	۴۹۵/۹	۴۲۸/۴	۳۷۷/۱	۲۷۶/۲	۲۱۱/۴	۲
۴۸۴/۱۰	۴۴۸/۵	۳۹۵/۳	۳۴۰/۷	۲۹۹/۳	۲۱۷/۹	۱۶۵/۴	۳
۱۵۵/۱۷	۵۲۲/۵	۴۶۲/۷	۳۸۷/۸	۳۳۱/۳	۲۲۴	۱۶۰/۵	۴
۱۰۳۳/۶	۱۶۴۴/۱	۱۴۳۲/۶	۱۲۱۹/۹	۱۰۶۰/۲	۷۵۴/۲	۵۶۵/۴	۵

با توجه به جدول ۶ بیشترین حجم سیلاب در خروجی زیرحوضه‌ها نیز در زیرحوضه ۵ و سپس به ترتیب به زیرحوضه ۳، ۱، ۲ و ۴ اختصاص دارد؛ که این اولویت‌بندی نیز بیشتر تحت تأثیر مساحت است.

جدول ۶. میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در حجم سیلاب در خروجی هر زیرحوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف برحسب هزار متر مکعب

مساحت	دوره بازگشت						زیرحوضه
	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	
۴۷۹/۰۸	۵۴۹۴۳/۸	۴۸۵۲۰/۱	۴۱۹۴۴/۸	۳۶۹۷۰/۹	۲۷۲۳۸/۷	۲۰۹۹۴/۶	۱
۳۲۸/۳۰	۴۲۱۸۶/۶	۳۷۶۵۳	۳۳۰۰۰/۸	۲۹۴۷۲/۹	۲۲۵۴۳/۶	۱۸۰۷۶/۲	۲
۴۸۴/۱۰	۵۷۵۷۱/۸	۵۰۸۷۴/۱	۴۳۹۹۸/۶	۳۸۷۸۲/۹	۲۸۵۲۹/۴	۲۱۹۱۲/۴	۳
۱۵۵/۱۷	۱۵۸۱۴/۹	۱۳۸۴۱/۴	۱۱۸۴۶/۶	۱۰۳۶۰/۲	۷۵۳۶/۸	۵۸۲۱/۱	۴
۱۰۳۳/۶	۱۱۰۱۰۰	۹۶۸۹۹	۸۳۵۱۴/۴	۷۳۵۰۰/۹	۵۴۳۰۴/۹	۴۲۴۱۳/۲	۵

به‌منظور دستیابی به ویژگی‌های سیلاب بدون تأثیر مساحت هر زیرحوضه، اقدام به تأثیر میزان سیلاب خروجی از هر زیرحوضه و مشارکت آن در محل خروجی آن شد که نتایج در جدول ۷ و ۸ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با حذف تأثیر مساحت، نتایج بیانگر تغییر اولویت‌بندی بود که با نتایج آذری و همکاران (۱۳۸۷) مطابقت دارد. به‌طوری که زیرحوضه ۴ با داشتن کمترین مساحت بیشترین دبی اوج سیلاب را دارد و سپس اولویت به زیرحوضه ۲ و سپس به ۵ و ۳ و درنهایت به ۱ اختصاص دارد (جدول ۷).

جدول ۷. میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج سیلاب در خروجی هر زیرحوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف برحسب متر مکعب

بر ثانیه

مساحت	دوره بازگشت						زیرحوضه
	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	
۴۰۰	۳۰۰/۸	۶۰۲/۱	۲۲۸/۵	۲۰۰/۸	۱۴۶/۷	۱۱۱/۹	۱
۴۰۰	۶۸۲/۸	۲۵۶/۱	۵۱۹/۹	۴۵۷/۴	۳۳۴/۵	۲۵۵/۵	۲
۴۰۰	۳۷۱/۲	۳۲۷/۲	۲۸۲/۱	۲۴۷/۹	۱۸۰/۶	۱۳۷/۳	۳
۴۰۰	۱۳۸۵/۴	۱۱۸۷/۳	۹۹۴/۲	۸۴۸/۶	۵۷۲	۴۰۸/۵	۴
۴۰۰	۶۷۴/۲	۵۶۵/۴	۴۸۳/۱	۴۲۱/۳	۳۰۲/۸	۲۲۹/۸	۵

ترتیب اولویت برای حجم سیلاب نیز تغییر کرده است که ابتدا به زیرحوضه ۲ و سپس به ترتیب به ۵، ۳، ۱ و ۴ اختصاص دارد (جدول ۸). با توجه به تغییر اولویت‌بندی برای حجم و دبی اوج سیلاب، به‌منظور کنترل بهینه آن در صورت وجود امکانات در راستای کاهش مشارکت در دبی اوج سیلاب اقدامات در زیرحوضه ۴ و برای کاهش مشارکت در حجم سیلاب انجام فعالیت در زیرحوضه ۲ بیشترین تأثیر در واحد سطح را به‌همراه خواهد داشت. مراحل تأثیر زیرحوضه‌ها در دبی و حجم سیلاب با مساحت یکسان در خروجی زیرحوضه نیز در دوره بازگشت‌های مختلف انجام شد. نتایج با نتایجی که در جدول ۷ و ۸ بود، کمابیش یکسان است.

جدول ۸. میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در حجم سیلاب در خروجی هر زیرحوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف برحسب هزار متر مکعب

مساحت	دوره بازگشت						زیرحوضه
	۱۰۰	۵۰	۲۰	۱۰	۵	۲	
۴۰۰	۴۶۰۴۹/۸	۴۴۹۸۰/۹	۳۵۲۱۲/۸	۳۱۰۶۶/۲	۲۲۹۵۲/۶	۱۷۷۴۷/۱	۱
۴۰۰	۵۰۵۰۴/۶	۴۰۶۹۴/۶	۳۹۳۱۲/۷	۳۵۰۱۴/۳	۲۶۵۷۱/۷	۲۱۱۲۸/۷	۲
۴۰۰	۴۷۸۲۵/۳	۴۲۲۹۱/۳	۳۶۶۱۰/۲	۲۳۳۰۰/۱	۲۳۸۲۸/۳	۱۸۳۶۰/۸	۳
۴۰۰	۳۸۴۵۰/۴	۳۳۳۶۳/۲	۲۸۲۲۰/۸	۲۴۳۸۹/۳	۱۷۱۱۱	۱۲۶۸۸	۴
۴۰۰	۴۷۳۶۲/۸	۴۲۲۵۴	۳۷۰۷۵/۵	۳۳۲۰۰/۷	۲۵۷۷۲/۷	۲۱۱۷۱/۱	۵



## نتیجه‌گیری

بررسی وقوع پدیده نابهنگام سیلاب و ویرانی‌های ناشی از آن می‌تواند نقش مهمی در بهبود مدیریت منابع آب داشته باشد. شبیه‌سازی پدیده بارش - رواناب می‌تواند در برآورد شدت سیل کمک کند. در این مطالعه با استفاده از مدل HEC - HMS برای کالیبراسیون و میزان مشارکت زیرحوضه‌های حوضه آبخیز خرم‌آباد در رویداد سیلاب استفاده شد. با توجه به نتایج اجرای مدل می‌توان بیان کرد که در مکان‌هایی که ابعاد سیلاب در سرشاخه‌ها در حد کنترل است؛ ایجاد سازه‌ها به منظور تأخیر سیل و کاهش سیل‌گیری منطقه بسیار مؤثر است (مانند زیرحوضه ۵)؛ ولی در رودخانه‌هایی که زهکش اصلی حوضه به حساب می‌آیند و به‌طور عمده باغ‌ها و اراضی مسکونی را شامل می‌شوند، بایستی همه تلاش‌ها را به سمت عبور سیل از این بازه سازمان‌دهی و از انجام هرگونه اقدامی که در سرعت سیل اختلال به‌وجود آورد خودداری کرد؛ همانند زیرحوضه ۴ که زمان تأخیر کمتری نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها دارد و بیشترین نقش را در دبی اوج حوضه ایفا می‌کند. به‌منظور انجام اقدامات کنترل سیل با توجه به هدف، در راستای کاستن دبی و حجم سیلاب در واحد سطح می‌توان اقدامات را در زیرحوضه‌های ۴ و ۲ متمرکز کرد.

## منابع

- آذری، محمود؛ صادقی، سید حمیدرضا؛ تلوری، عبدالرسول (۱۳۸۷) تعیین مشارکت زیرحوضه‌های آبخیز جاعرق در دبی اوج و حجم رواناب به‌منظور اولویت‌بندی در دبی اوج، **جغرافیا و توسعه**، ۶ (۱۲)، صص. ۲۱۲-۱۹۹.
- ثقفیان، بهرام؛ فراز جو، حسن (۱۳۸۶) تعیین مناطق مولد سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیک حوضه سد گلستان، **علوم و مهندسی آبخیزداری ایران**، ۱ (۱)، صص. ۱۱-۱.
- جهانگیر، علیرضا؛ رائینی، محمود؛ ضیا احمدی، میرخالق (۱۳۸۷) شبیه‌سازی فرایند بارش - رواناب با شبکه عصبی مصنوعی ANN و مقایسه با مدل HEC-HMS در حوضه معرف کارده، **آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)**، ۲ (۲۲)، صص. ۸۴-۷۲.
- زینی‌وند، حسین؛ ضیاء تبار احمدی، میرخالق؛ تلوری، عبدالرسول (۱۳۸۵) پهنه‌بندی سیل با به‌کارگیری نرم‌افزار HEC - RAS در دشت سیلابی سیلاخور بروجرد، **منابع طبیعی ایران**، ۱ (۵۹)، صص. ۱۴-۱.
- سلطانی، محبوبه؛ محمدرضا، اختصاصی (۱۳۸۹) **ارزیابی اقدامات آبخیزداری بر سیل‌خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشاد)**، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد.
- سوری‌نژاد، علی (۱۳۸۱) برآورد حجم رواناب حوضه آبخیز رودخانه کشکان با استفاده از GIS، **تحقیق‌های جغرافیایی**، ۳۴ (۴۳)، صص. ۸۰-۵۷.
- علیزاده، امین (۱۳۸۵) **اصول هیدرولوژی کاربردی**، چاپ بیست و پنجم، انتشارات دانشگاه امام رضا، مشهد.
- کلارستانی، عطالله؛ احمدی، حسن؛ جعفری، محمد؛ جعفریان جلودار، زینب؛ قدوسی، جمال؛ گلکاریان، علی (۱۳۸۸) ارزیابی کارایی مدل دامنه‌وپ در پیش‌بینی رواناب و رسوب‌های کرت‌های مرتعی، **مرتع**، ۳ (۲)، صص. ۳۳۲-۳۱۷.
- محمدی، حمزه؛ سلیمانی (۱۳۸۱) **کاربرد مدل هیدرولوژیکی بارش - رواناب بر پایه GIS در پیش‌بینی زمان وقوع سیل**، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه مازندران.
- یمانی، مجتبی؛ عنایتی، مریم (۱۳۸۴) ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوضه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوضه‌های فشنند و بهجت‌آباد)، **تحقیق‌های جغرافیایی**، ۳ (۵۴)، صص. ۵۸-۴۷.

- region using a continuous distributed model, **Journal of Hydrology**, 216 (3-4), pp.155-171.
- Chen, Y., Youpeng, X., Yixing, Y. (2009) Impacts of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China, **Quaternary International**, 208 (1-2), pp. 121-128.
- Foody, G. M., Ghoneim, E. M., Arnell, N. W. (2004) Predicting locations sensitive to flash flooding arid environment, **Journal of Hydrology**, 292 (1-4), pp. 48-58.
- Knebel, M. R., Yang, Z. L., Hutechison, K., Maidment, D. R. (2005) Regional scal flood modeling using NEXRAD, rainfall, GIS and HEC – HMS/ RAS: A case study for the san antonio river basin summer 2002 storm event, **jornal of environmental manegement**, 75 (4), pp. 325-336.
- McCull, C., Graeme, A. (2007) Land-use forecasting and hydrologic model integration for improved land-use decision support. **Journal of Environmental Management**, 84 (4), pp. 494-512.
- Suriya, S; Mudgal, B. V. (2011) Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed – A case study. **Journal of Hydrology**, 412 (413), pp. 210-219.
- Suwanwerakamtorn, R. (1994) GIS and hydrological modelling for management of small watersheds. **ITC Journol**, 4, pp. 343-348.
- Yang Li, X., Chau, K. W., Chun-Tian, C., Li, Y. S. (2006) A Web-based flood forecasting system for Shuangpai region. **Advances in Engineering Software**, 37 (3), pp. 146-158.