

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۲ - پاییز و زمستان ۱۳۸۷

صص: ۱۹۹-۲۱۲

وصول مقاله: ۱۳۸۶/۹/۲۴

تأیید نهایی: ۱۳۸۷/۴/۱۱

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

دکتر سید حمیدرضا صادقی

مهندس محمود آذری<sup>۱</sup>

کارشناس ارشد آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس      دانشیار مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

دکتر عبدالرسول تلوری

دانشیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

### چکیده

یکی از مهم‌ترین اقدامات مورد نظر در پروژه‌های مدیریت سیلاب، بررسی میزان مشارکت زیرحوضه‌های مختلف یک آبخیز در تعیین مؤلفه‌های مختلف سیلاب خروجی از حوضه است. با توجه به نبود ایستگاه‌های هیدرومتری در محل خروجی تمام زیرحوضه‌ها، تحقق هدف مذکور نیازمند شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب در زیرحوضه‌ها از طریق مدل‌های هیدرولوژیکی می‌باشد. در این مطالعه به منظور تعیین میزان سیلاب خروجی از هر زیرحوضه و بررسی میزان مشارکت آن در بازه‌ای از حوضه آبخیز جاغرق در استان خراسان رضوی از مدل HEC-HMS 2.2.2 استفاده گردید. بدین منظور پس از جمع‌آوری آمار بارش و سیلاب مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری داخل و خارج حوضه و کنترل داده‌ها، از ۵ واقعه رگبار و سیلاب متناظر، به منظور واسنجی و اعتبار سنجی مدل استفاده شد. با استفاده از اطلاعات وضعیت پوشش گیاهی، خاک و کاربری اراضی حوضه، نقشه CN حوضه در محیط Arcview 3.3 در سامانه اطلاعات جغرافیایی استخراج گردید. سپس به منظور بررسی میزان مشارکت و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، هیتوگراف بارش مربوط به دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ سال حوضه به‌مدل وارد و با حذف متوالی زیرحوضه‌های مختلف از جریان شبیه‌سازی، میزان تأثیر آن در دبی اوج و حجم سیلاب خروجی از حوضه مورد نظر تعیین شد.

نتایج مطالعه نشان داد که ۶۶/۱۶ درصد کاهش (۳۹/۴۲ مترمکعب بر ثانیه) دبی اوج و ۶۵/۹۸ درصد کاهش (۲۹۸/۰۱ مترمکعب) حجم سیلاب برای دوره‌ی بازگشت معمول ۲۰ سال متعلق به ۴ زیرحوضه‌ی بالادست و

<sup>1</sup> E-mail: azarimahmood@yahoo.com

میانی بوده و حال آن که یکی از زیرحوضه‌های مشرف به خروجی حوضه اولویت نخست در تولید و مشارکت سیلاب به‌ازای واحد سطح را عهده‌دار بوده است. نتایج به‌دست آمده امکان تبیین سیاست‌های صحیح مدیریت سیلاب از طریق مدیریت زیرحوضه‌های بحرانی در منطقه‌ی مورد مطالعه را به خوبی فراهم آورده است.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی سیلاب، HEC-HMS، مدل بارش-رواناب، اولویت‌بندی زیرحوضه، حوضه‌ی آبخیز جاغرق، خراسان رضوی

### مقدمه

پیشرفت علوم و فن‌آوری‌های مرتبط با سیل، سیاست‌ها و برنامه‌های عملی جدیدی در خصوص کاهش خطر سیل را به ارمغان آورده است. خط‌مشی‌های جدید در زمینه‌ی مدیریت کاربری اراضی و محدودیت‌های اعمال شده روی گسترش مناطق مسکونی از جمله اقدامات مدیریتی است که آسیب‌پذیری مردم نسبت به سیلاب را می‌کاهد. یکی از اقدامات کاهش خطرات سیلاب مدیریت حوضه‌ی آبخیز می‌باشد که با بهره‌گیری از روش‌های مکانیکی، بیولوژیکی و مدیریتی به دنبال تغییر نحوه‌ی تبدیل بارش به رواناب و کاهش میزان سیلاب تولیدی هر زیرحوضه می‌باشد. با توجه به وسعت حوضه‌های آبخیز و هزینه‌ی بالای اقدامات کنترل سیلاب و آبخیزداری، تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌های مختلف در خصوصیات سیلاب خروجی از حوضه به منظور اولویت‌دهی در کنترل سیلاب امری ضروری می‌باشد (Roghani et al, 2006:82). با توجه به نبود ایستگاه‌های هیدرومتری در تمام زیرحوضه‌ها، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی فرآیندهای بارش و رواناب و تعیین میزان سیلاب تولیدی در زیرحوضه‌ها و خروجی حوضه می‌تواند روشی مناسب در دستیابی به این اهداف باشد. بسیاری از مدل‌های هیدرولوژیکی به منظور مطالعه هیدرولوژی حوضه‌ی آبخیز ارائه‌گردیده‌اند، ولی نتایج شبیه‌سازی آنها در توسعه منابع آب و خاک و تصمیم‌گیری در زمینه مدیریت حوضه‌های آبخیز مفید می‌باشد (Sahoo et al, 2006:94). امروزه کاربرد مدل‌های هیدرولوژیک در مطالعات بارش-رواناب و پیش‌بینی سیلاب حوضه‌های آبخیز به واسطه‌ی کاربرد رایانه و تسهیل محاسبات گسترش یافته است به گونه‌ای که بسیاری از مطالعات انجام شده است. در این راستا علاوه بر شبیه‌سازی سیلاب به بررسی نقش دخالت‌های انسانی در عرصه‌ی آبخیز و نقش آن بر ویژگی‌های سیلاب نیز پرداخته‌اند که دستیابی به این هدف در وهله‌ی اول نیازمند شناسایی رفتار هیدرولوژیک حوضه و بررسی سهم مشارکت زیرحوضه‌های مختلف در سیلاب بوده که مورد توجه بسیاری از محققین و تصمیم‌گیران قرار گرفته است. اثر تغییر کاربری اراضی بر سیلاب در ۲ حوضه‌ی بزرگ اروپایی Oder و Meuse با استفاده از

مدل LISFLOOD انجام شد نتیجه‌ی تغییرات کاربری اراضی در حوضه Meuse دلالت بر کاهش ظرفیت ذخیره‌ی رطوبتی خاک به میزان ۶٪ بوده که حاصل آن افزایش دبی اوج و حجم سیلاب به ترتیب به میزان ۵/۸۵٪ و ۴/۰۶٪ بوده است (De Hoo et al, 2004:593). Foody و همکاران (۲۰۰۴: ۴۸) از مدل<sup>۱</sup> HEC-HMS برای شبیه‌سازی سیلاب در منطقه‌ای در غرب مصر استفاده کردند و خروجی‌های زیرحوضه‌هایی که بیشترین دبی اوج را تولید می‌کردند، به عنوان مناطق حساس در مقابل سیلاب معرفی نمودند. Knebl و همکاران (۲۰۰۵: ۷۹) به منظور ارزیابی مدل منطقه‌ای سیلاب برای حوضه San Antonio در تگزاس مرکزی آمریکا از ترکیب مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، مدل هیدرولیکی HEC-RAS و بارش راداری (NEXRAD) استفاده نمودند و مدل را با سیلاب تابستان سال ۲۰۰۲ مقایسه نمودند. نتایج مطالعه بیان‌گر کارایی مدل در پیش‌بینی سیلاب در مقیاس منطقه‌ای بوده است. در مطالعه‌ی دیگر اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز پل منجنیق در جنوب ایران با کاربرد مدل هیدرولوژیکی RAFTS انجام پذیرفت که نتایج مطالعه بر سهم مشارکت بالای سطوح هم-پیمایش واقع در قسمت میانی حوضه و متعاقباً اولویت بالای آنها در اجرای عملیات کنترل سیلاب دلالت داشت (Roghani et al, 2006:79).

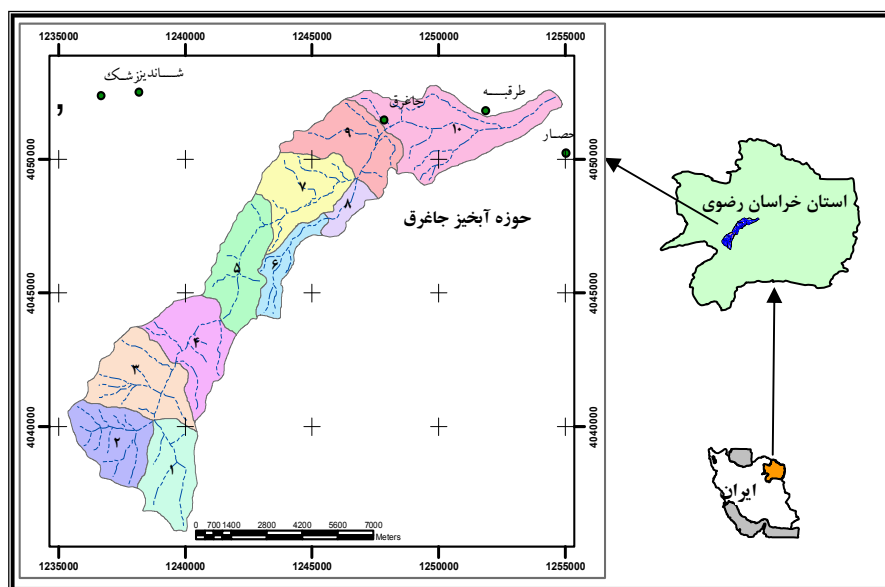
در ایران نیز قائمی و مرید (۱۳۷۵: ۱۰) به منظور تعیین شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز کرخه از شش عامل عمق بارندگی، زمان بارندگی، عمق برف انباشته شده، شیب و شکل حوضه، جنس زمین و پوشش گیاهی استفاده نمودند و با ارزش‌گذاری کمی و وزن‌دهی به هر عامل، مدل سیل‌خیزی برای حوضه ارایه و زیرحوضه‌های مختلف را از نظر تولید سیلاب اولویت‌بندی نمودند. جوکار (۱۳۸۱: ۱۱۹) اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های رودخانه‌ی شاپور استان فارس را با روش شبیه‌سازی سیلاب و استفاده از مدل HEC-HMS انجام داد و میزان مشارکت هر یک از زیرحوضه‌ها در هیدروگراف سیلاب خروجی از حوضه را محاسبه نمود. در مطالعه‌ای دیگر روغنی و همکاران (۱۳۸۲: ۱۸) با هدف بررسی توزیع مکانی مناطق مؤثر بر دبی اوج سیلاب در حوضه‌ی رودک از مفهوم نمودار مساحت-زمان و مدل هیدرولوژیکی RAFTS استفاده و اقدام به شبیه‌سازی سیلاب نمودند. نتایج مطالعه‌ی مذکور ضمن تعیین بخش میانی حوضه به عنوان تأثیرگذارترین بخش در دبی اوج سیلاب، انجام اقدامات کنترل سیلاب در این محدوده را تأیید نمودند.

خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۸۲: ۶۷ و ۱۳۸۴: ۱۲۸) در دو تحقیق جداگانه بررسی میزان مشارکت زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبخیز دماوند و اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل‌خیز زیرحوضه‌های مختلف در سیلاب خروجی از حوضه را با بهره‌گیری از مدل هیدرولوژیک HEC HMS و تکنیک حذف انفرادی تأثیر زیرحوضه‌ها انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد لزوماً زیرحوضه‌هایی که دبی بیشتری دارند بیشترین سهم در سیلاب خروجی حوضه را ندارند چرا که عوامل رونمایی آبراه‌ها و موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها در نحوه‌ی مشارکت در سیلاب حوضه مؤثر می‌باشد. یثربی (۱۳۸۴: ۶۵) اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مهم آبخیز هراز در استان مازندران را با ثبت داده‌های رواناب ۱۸ زیرحوضه به مدت یک سال انجام داد بدین منظور از معیار تولید رواناب و تولید دبی ویژه در پایه‌های زمانی مختلف استفاده کرد و زیرحوضه‌های با اولویت بالا را معرفی نمود.

با توجه به مطالعات انجام شده در کشور بیشتر فعالیت‌های انجام شده در خصوص کنترل سیلاب سعی در معرفی حوضه‌های با پتانسیل بالا در تولید رواناب به عنوان کانون‌های خطر و مکان‌های مناسب به منظور عملیات اجرایی کنترل سیلاب داشته‌اند و یا در صورت توجه به مشارکت در سیلاب، این بررسی برای خروجی حوضه انجام شده است. حال آن‌که هدف مطالعه حاضر تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌های آبخیز جاغرق واقع در استان خراسان رضوی در محل روستای جاغرق به عنوان خطرپذیرترین محدوده در حوضه و حاشیه‌ی رودخانه‌ی جاغرق و همچنین معرفی زیرحوضه‌های برتر از نظر مشارکت در سیلاب به عنوان اولویت‌های اقدامات کنترل سیلاب می‌باشد که از طریق مدل هیدرولوژیک HEC-HMS 2.2.2 انجام پذیرفت. مدل HEC-HMS یک شبیه‌ساز عددی است که با داشتن تنوع مدل‌های موجود در آن کارآیی و کاربرد وسیعی در بسیاری از نقاط دنیا دارد. در HEC-HMS 2.2.2 مدل‌های مختلف تجربی و مفهومی برای شبیه‌سازی فرآیندهای بارش-رواناب، محاسبه‌ی حجم رواناب، محاسبه‌ی رواناب مستقیم، تعیین جریان پایه و بررسی جریان در کانال گنجانده شده است (HEC, 2002:3). ساختار مدل به گونه‌ایست که با تعریف پارامترهای مربوط به مدل حوضه با هدف معرفی پارامترها و داده‌های مرتبط با عناصر هیدرولوژیکی حوضه، شاخص‌های کنترل به منظور تعیین تاریخ و زمان شبیه‌سازی و مدل بارش به منظور ورود داده‌های بارش و رواناب، اقدام به شبیه‌سازی سیلاب در حوضه نموده و نتایج به صورت عددی و ترسیمی برای هر کدام از عناصر هیدرولوژیکی حوضه ارائه می‌گردد.

### مواد و روش‌ها

حوضه‌ی آبخیز جاغرق به مساحت ۷۵/۸۷ کیلومتر مربع در ۱۰ کیلومتری غرب شهر مشهد در استان خراسان رضوی واقع شده و همواره مستعد خطر سیلاب بوده است. با توجه به توریستی و زیارتی بودن شهر مشهد همه ساله پذیرای جمعیت زیادی در حاشیه‌ی رودخانه می‌باشد. شیب متوسط حوضه ۴۴/۴۲٪، مقدار بارندگی سالانه ۳۸۱ میلی‌متر و اقلیم آن نیمه خشک تا مرطوب می‌باشد (میرزاخان، ۱۳۸۰: ۴۱). حوضه‌ی مورد مطالعه بر اساس وضعیت عمومی، شبکه کلی زهکشی و کاربردهای اجرایی به ده زیرحوضه تقسیم شد. شکل یک سیمای عمومی حوضه و زیرحوضه‌های مربوطه در استان خراسان رضوی و ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۱: سیمای عمومی حوضه آبخیز جاغرق در استان خراسان رضوی (نگارندگان: ۱۳۸۴)

در این تحقیق به منظور تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌های مختلف حوضه آبخیز جاغرق و تعیین سیلاب خروجی از حوضه از مدل HEC-HMS نسخه ۲,۲,۲ استفاده و با توجه به روش‌های انتخابی در این مدل اقدام به شناسایی ورودی‌های مدل شد. به منظور بررسی رابطه‌ی بارش و رواناب به شیوه CN1، آمار بارش و رواناب مربوط به کلیه ایستگاه‌های باران‌سنجی

1-Curve number

موجود در داخل و خارج حوضه (شکل ۱) و ایستگاه‌های هیدرومتری داخل حوضه جمع‌آوری گردید. برای تهیه نقشه‌ی CN حوضه از تلفیق نقشه‌های پوشش گیاهی، گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری اراضی در GIS و نرم‌افزار Arc View 3.3 استفاده و CN وزنی مربوط به هر زیرحوضه استخراج شد.

به منظور برآورد زمان‌های تمرکز و تأخیر حوضه به عنوان دو متغیر دیگر مورد نیاز برای اجرای مدل از روش کرپیچ به واسطه‌ی تأیید عملکرد آن در منطقه‌ی (میرزاخان، ۱۳۸۰: ۷۳) و بر اساس روابط زیر استفاده شد (HEC, 2000:59). که در این روابط TC زمان تمرکز (دقیقه)، L طول آبراهه اصلی (متر)، S شیب آبراهه اصلی (متر به متر) و TL زمان تأخیر حوضه (دقیقه) می‌باشد.

$$Tc = 0.385S - 0.77L + 0.195 \quad (1)$$

$$TL = 0.6Tc \quad (2)$$

برای روندیابی جریان در بازه‌ها از روش ماسکینگام به دلیل کاربرد و عملکرد مناسب در منطقه و موجودیت اطلاعات مربوطه استفاده گردید لذا پارامترهای مربوطه وزنی (X) و ذخیره (K) با استفاده از روابط (۳ و ۴) تعیین شد (مهدوی، ۱۳۸۱: ۲۸۷). بدین منظور با انجام عملیات صحرایی و بهره‌گیری از سایر مطالعات انجام شده در حوضه‌ی (میرزاخان، ۱۳۸۰: ۸۴) ضریب زبری (n)، محیط خیس شده (P)، شیب سطح آب رودخانه (i) و طول بازه (L) تعیین و برای استفاده در روابط ۳ و ۴ به کار گرفته شد.

$$X = \frac{i^{1/2}}{np^{2/3}} \quad (3)$$

$$K = \frac{L}{V} \quad (4)$$

به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل از میان وقایع بارش و رواناب ثبت شده در ایستگاه‌های منطقه تعدادی رویداد بارش فراگیر منفرد و سیلاب متناظر آن در ایستگاه هیدرومتری گلستان واقع در محل خروجی حوضه انتخاب شد. سپس با استفاده از روش<sup>۱</sup> IDW در GIS توزیع مکانی بارش‌های مذکور در سطح منطقه، استخراج و برای هر زیرحوضه مقدار بارش آن رگبار محاسبه گردید. نظر به نبود ایستگاه باران‌نگار در حوضه‌ی مورد نظر، برای تهیه‌ی هیتوگراف بارش‌ها و تعیین الگوی زمانی رگبار مربوطه در هر زیرحوضه از الگوی

هیتوگراف رگبار متناظر در ایستگاه سینوپتیک مشهد استفاده گردید سپس واسنجی مدل با ورود هیتوگراف بارش و بررسی هیدروگراف خروجی با تغییر پارامترهای CN و Ia یا میزان جذب اولیه (Sadeghi et al, 2000: 796 و رضوی، ۲۰۰۰: ۸۶) به روش خودکار و دستی و بررسی توابع هدف انجام گرفت. پس از واسنجی و اعتبار سنجی مدل و استخراج پارامترهای بهینه به منظور تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیلاب خروجی حوضه از هیتوگراف بارش برای دوره‌ی بازگشت‌های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ سال به دلیل غلبه‌ی کاربرد در پروژه‌های اجرایی مدیریت آبخیز و کنترل سیل استفاده گردید. بدین صورت که مقدار بارش‌های مربوطه از منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی ایستگاه سینوپتیک مشهد استخراج و با توجه به نسبت بارش ایستگاه‌های حوضه آبخیز جاغرق و همچنین الگوی توزیع زمانی رگبارهای استان خراسان (Taghvaei Abrishami, 2005:335) هیتوگراف رگبارهای مربوطه تهیه شد. سپس با ورود داده‌های بارش مربوط به دوره‌بازگشت‌های مختلف و حذف هر کدام 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 هر کدام از زیرحوضه‌ها در مقدار دبی اوج و حجم سیلاب در محل روستای جاغرق تعیین شد. سپس با هدف تعیین دبی اوج و حجم سیلاب در واحد سطح به منظور 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 (خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۲: ۱۲۸).

## نتایج

نتایج بازدیدهای صحرائی و مطالعات اولیه به منظور تأمین ورودی‌های مدل در جدول یک ارائه شده است. بررسی‌های انجام شده روی سیلاب‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری گلستان واقع در خروجی حوضه نشان داد که از مجموع سیلاب‌ها تنها پنج سیلاب به طور کامل و صحیح ثبت شده و بارش مولد آن فراگیر در کل منطقه بوده است که در این تحقیق از ۴ رگبار برای واسنجی و یک رگبار نیز به منظور اعتبارسنجی مدل استفاده گردید. همچنین در جدول دو مقادیر CN زیرحوضه‌ها برای قبل و بعد از واسنجی در شرایط رطوبتی II نشان داده شده است. در شکل دو نیز نمونه‌ای از هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسباتی مدل برای قبل و بعد از واسنجی ارائه شده است که نشان‌دهنده اختلاف کم مقدار دبی اوج بعد از واسنجی می‌باشد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مختلف از نظر دبی اوج و حجم سیلاب بر اساس سهم

مشارکت هر واحد در محل خروجی زیرحوضه و در محل بازه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج اولویت‌بندی آن به صورت جدول سه و چهار و همچنین میزان مشارکت در دبی اوج و حجم سیلاب زیرحوضه‌ها برای دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ به صورت شکل‌های سه و چهار ارائه شده است.

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مختلف در تولید سیلاب با حذف متوالی زیرحوضه‌ها از جریان شبیه‌سازی و مشاهده‌ی اثر آن بر ویژگی‌های سیلاب برای دوره‌ی بازگشت‌های مختلف انجام شد اما با توجه به تشابه اولویت‌بندی دوره‌های بازگشت مختلف، تنها نتایج مربوط به دوره‌ی بازگشت بیست سال به واسطه‌ی غلبه‌ی کاربرد در اقدامات آبخیزداری در جدول ۳ و ۴ آورده شده و تحلیل‌های لازم برای این داده‌ها انجام شده است.

جدول ۱: داده‌های ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل HEC-HMS در حوضه‌ی آبخیز جعفرق \*

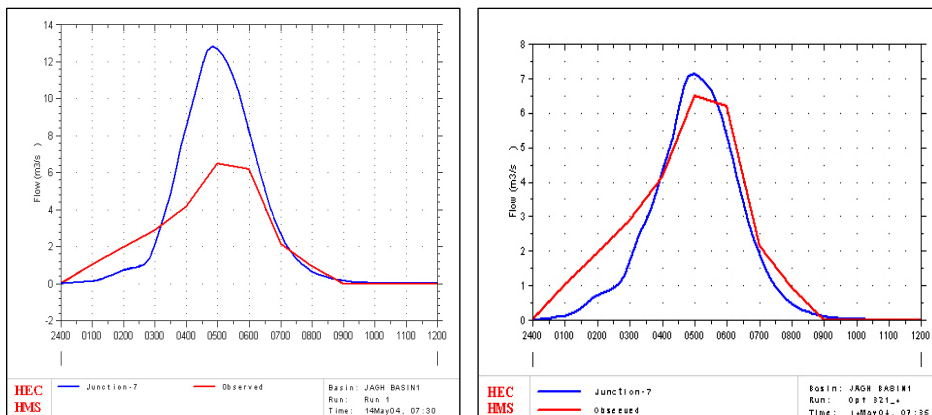
زیر حوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	(I) CN (شماره منحنی)	(mm) S (نگهداشت سطحی)	Ia(mm) (جذب اولیه)	زمان تمرکز (min)	زمان تاخیر (min)
۱	۶/۹۶	۷۳	۹۳/۹	۱۸/۸	۲۹/۲	۱۷/۵
۲	۷/۳۸	۷۲	۹۸/۸	۱۹/۸	۱۲/۲	۱۲/۷
۳	۹/۴۵	۷۲	۹۸/۸	۱۹/۸	۱۸	۱۰/۸
۴	۸/۴۶	۷۲	۹۸/۸	۱۹/۸	۴۲/۲	۲۵/۳
۵	۸/۱۵	۷۲	۹۸/۸	۱۹/۸	۴۷/۷	۲۸/۶
۶	۳/۴۰	۷۲	۹۸/۸	۱۹/۸	۳۲	۱۹/۲
۷	۸/۱۹	۷۰	۱۰۸/۹	۲۱/۸	۴۸	۲۸/۸
۸	۱/۹۶	۷۳	۹۳/۹	۱۸/۸	۳۳/۴	۲۰
۹	۸/۰۸	۶۸	۱۱۹/۵	۲۳/۹	۴۵/۲	۲۷/۱
۱۰	۱۳/۸۵	۷۰	۱۴۹/۲	۲۹/۸	۷۵/۱	۴۵/۱

جدول ۲: مقادیر CN زیرحوضه‌ها قبل و بعد از واسنجی در شرایط رطوبتی II \*

زیر حوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
CN(قبل از واسنجی)	۸۷	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۶	۸۵	۸۷	۸۴	۸۰
CN(بعد از واسنجی)	۸۸	۸۵	۸۸	۸۶	۸۲	۸۵	۸۶	۸۸	۸۰	۸۰

\* نگارندگان: ۱۳۸۵





شکل ۲: هیدروگراف مشاهده‌ای و محاسباتی مدل قبل و بعد از واسنجی برای سیلاب ۱۳۷۱/۲/۲۱ (نگارندگان: ۱۳۸۵)

جدول ۳: میزان مشارکت هر زیرحوضه و واحد سطح آن در دبی اوج سیلاب برای دوره‌ی بازگشت ۲۰ سال\*

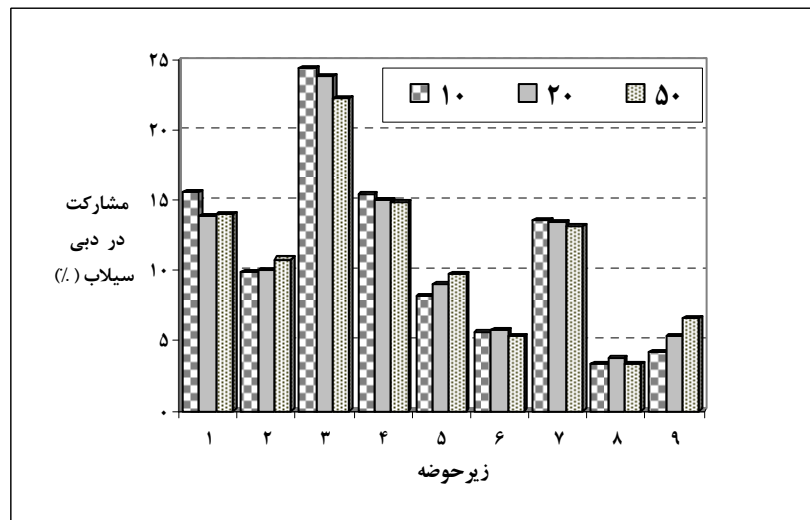
کاهش دبی به ازای واحد سطح (m <sup>3</sup> /s/Km <sup>2</sup> )	دبی ویژه سیلاب (m <sup>3</sup> /s/Km <sup>2</sup> )	مشارکت در بازه		دبی اوج (m <sup>3</sup> /s)	مساحت (Km <sup>2</sup> )	زیرحوضه
		(%)	(m <sup>3</sup> /s)			
۱/۱۹	۱/۷۳	۱۳/۹۰	۸/۲۸	۱۲/۰۷	۶/۹۶	۱
۰/۸۱	۱/۲۵	۱۰/۰۵	۵/۹۹	۹/۲۳	۷/۳۸	۲
۱/۵۰	۱/۷۳	۲۳/۷۷	۱۴/۱۶۲	۱۶/۳	۹/۴۵	۳
۱/۰۶	۱/۲۹	۱۵/۰۲	۸/۹۵	۱۰/۹	۸/۴۶	۴
۰/۶۶	۰/۷۲	۹/۰۰	۵/۳۶	۵/۸۶	۸/۱۵	۵
۱/۰۰	۱/۲۶	۵/۶۹	۳/۳۹	۴/۲۸	۳/۴۰	۶
۰/۹۸	۱/۳۱	۱۳/۴۸	۸/۰۳	۱۰/۷۲	۸/۱۹	۷
۱/۱۴	۱/۸۳	۳/۷۴	۲/۲۳	۳/۵۸	۱/۹۶	۸
۰/۴۰	۰/۶۲	۵/۳۵	۳/۱۹	۵/۰۲	۸/۰۸	۹

\* نگارندگان: ۱۳۸۵

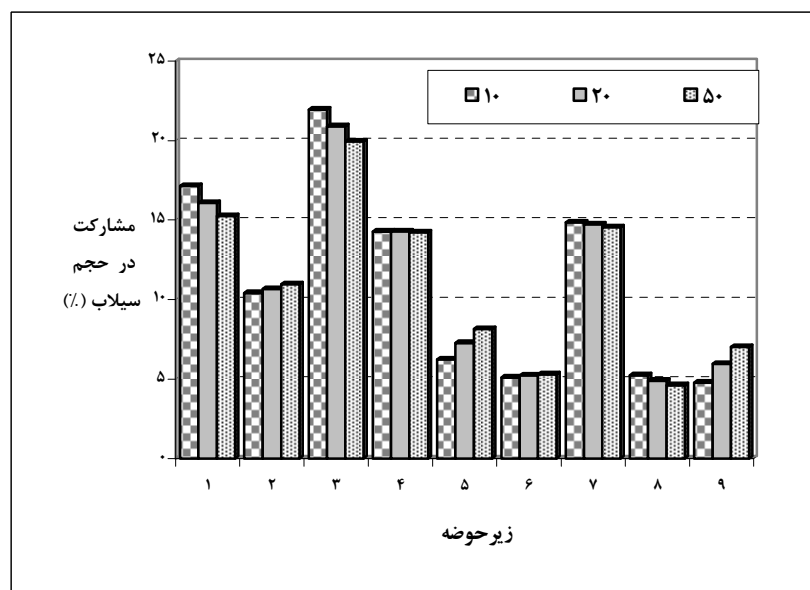
جدول ۴: میزان مشارکت هر زیرحوضه و واحد سطح آن در حجم سیلاب برای دوره‌ی بازگشت ۲۰ سال\*

کاهش حجم به ازای واحد سطح (m <sup>3</sup> *10 <sup>3</sup> /Km <sup>2</sup> )	حجم ویژه سیلاب (m <sup>3</sup> *10 <sup>3</sup> /Km <sup>2</sup> )	مشارکت در بازه		حجم سیلاب (m <sup>3</sup> *10 <sup>3</sup> )	مساحت (Km <sup>2</sup> )	زیرحوضه
		(%)	(m <sup>3</sup> *10 <sup>3</sup> )			
۱۰/۴۳	۱۰/۴۱	۱۶/۰۸	۷۲/۶۱	۷۲/۴۸	۶/۹۶	۱
۶/۵۳	۶/۵۳	۱۰/۶۶	۴۸/۱۴	۴۸/۱۵	۷/۳۸	۲
۹/۹۹	۹/۹۴	۲۰/۹۰	۹۴/۴	۹۳/۹۲	۹/۴۵	۳
۷/۶۲	۷/۶۱	۱۴/۲۸	۶۴/۴۸	۶۴/۳۵	۸/۴۶	۴
۴/۰۳	۴/۰۴	۷/۲۸	۳۲/۸۷	۳۲/۸۸	۸/۱۵	۵
۶/۹۵	۶/۹۴	۵/۲۳	۲۳/۶۳	۲۳/۶۲	۳/۴۰	۶
۸/۱۲	۸/۱۲	۱۴/۷۳	۶۶/۵۲	۶۶/۵۱	۸/۱۹	۷
۱۱/۳۰	۱۱/۳۰	۴/۹۰	۲۲/۱۲	۲۲/۱۲	۱/۹۶	۸
۳/۳۳	۳/۳۳	۵/۹۶	۲۶/۹۱	۲۶/۹	۸/۰۸	۹

\* نگارندگان: ۱۳۸۵



شکل ۳: میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی اوج سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های مختلف (سال)  
نگارندگان: ۱۳۸۵



شکل ۴: میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در حجم سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های مختلف (سال)  
نگارندگان: ۱۳۸۵

### نتیجه‌گیری

نتایج اجرای مدل در مرحله‌ی نخست بر تخمین بالای یک دبی اوج و حجم سیلاب دلالت دارد که این موضوع نتیجه مطالعه Knebl و همکاران (۲۰۰۵: ۳۳۱) مبنی بر تمایل مدل مورد استفاده در بیشتر نشان دادن رواناب را تأیید می‌نماید.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل HEC-HMS دلالت بر متوسط اختلاف ۶/۶۴٪ در دبی اوج سیل و ۲۹/۰۸٪ در حجم سیلاب با مقدار متوسط تابع هدف ۰/۵۵ برای ۴ رگبار دخیل در واسنجی داشته است. این موضوع اهمیت واسنجی پارامترهای حساس مدل شامل CN و Ia یا جذب‌اولیه را نشان می‌دهد که با نتایج خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۲: ۱۳۸۴)، رضوی (۱۳۸۴: ۵۵) و Knebl و همکاران (۲۰۰۵: ۳۳۱) مبنی بر امکان واسنجی مدل SCS با تغییر در مقادیر CN مطابقت دارد. اجرای مدل برای بارش‌های با دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۰ و ۵۰ سال به ترتیب منجر به وقوع دبی‌های اوج سیلاب به میزان ۴۳/۳۸، ۶۱/۱۷ و ۸۵/۴ متر مکعب بر ثانیه شده که با نتایج به دست آمده با سایر مطالعات و تحقیقات انجام شده در حوضه اختلاف معنی‌داری ندارد (میرزاخان، ۱۳۸۰: ۸۲). بدین ترتیب کارایی مدل HEC-HMS در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه با استفاده از مقایسه‌های به عمل آمده در خصوص دبی اوج، حجم سیلاب، زمان پایه و شکل کلی هیدروگراف مورد تأیید قرار گرفته که با یافته‌های خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۸۲: ۶۷)، جوکار (۱۳۸۱: ۴۸) و Knebl و همکاران (۲۰۰۵: ۳۳۱) مبنی بر تأیید کارایی مدل مذکور با استفاده از معیار دبی اوج مطابقت کامل دارد.

نتایج به دست آمده از تعیین میزان مشارکت سیلاب حوضه (جدول ۳ و ۴) نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های ۳، ۱، ۴ و ۷ به ترتیب با ۲۳/۷۷، ۱۵/۰۲، ۱۳/۹۰ و ۱۳/۴۸ درصد بیشترین سهم در دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه را بر عهده داشته‌اند. میزان مشارکت این زیرحوضه‌ها در حجم سیلاب نیز به ترتیب ۲۰/۸۹، ۱۴/۲۷، ۱۶/۱۰ و ۱۴/۷۲ مشابه دبی می‌باشد لذا از نظر هر دو ویژگی دبی اوج و حجم سیلاب هم در محل خروجی از زیرحوضه و هم میزان مشارکت در بازه اولویت بالایی دارند (جدول ۵).

جدول ۵: اولویت بندی زیرحوضه‌ها برای دبی اوج و حجم سیلاب \*

زیر حوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	دبی اوج سیلاب (m <sup>3</sup> /S)	حجم سیلاب (m <sup>3</sup> *10 <sup>3</sup> )		تولید سیلاب		مشارکت در محل بازه		تولید سیلاب در واحد سطح		کاهش مشارکت در واحد سطح	
			دبی اوج	حجم	دبی اوج	حجم	دبی اوج	حجم	دبی اوج	حجم	دبی اوج	حجم
۱	۶/۹۶	۱۲/۰۷	۷۲/۴۸	۲	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۲	۲
۲	۷/۳۸	۹/۲۳	۴۸/۱۵	۵	۵	۵	۵	۵	۷	۷	۷	۷
۳	۹/۴۵	۱۶/۳	۹۳/۹۲	۱	۱	۱	۱	۱	۳	۱	۳	۱
۴	۸/۴۶	۱۰/۹	۶۴/۳۵	۳	۴	۴	۲	۴	۵	۴	۵	۴
۵	۸/۱۵	۵/۸۶	۳۲/۸۸	۶	۶	۶	۶	۶	۸	۸	۸	۸
۶	۳/۴۰	۴/۲۸	۲۳/۶۲	۸	۸	۸	۷	۸	۶	۵	۶	۵
۷	۸/۱۹	۱۰/۷۲	۶۶/۵۱	۴	۳	۳	۴	۳	۴	۶	۴	۶
۸	۱/۹۶	۳/۵۸	۲۲/۱۲	۹	۹	۹	۹	۹	۱	۳	۱	۳
۹	۸/۰۸	۵/۰۲	۲۶/۹	۷	۷	۷	۸	۷	۹	۹	۹	۹

\* نگارندگان: ۱۳۸۵

مطابق جدول ۵ بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین زیرحوضه به ترتیب اولویت اول و آخر را به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که این موضوع برای سایر زیرحوضه‌ها صادق نیست که نتیجه‌ی مذکور در مطالعه‌ی خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۱۴: ۱۳۳) در حوضه‌ی آبخیز دماوند نیز حاصل شده است.

به منظور دستیابی به ویژگی‌های سیلاب بدون تأثیر مساحت هر زیرحوضه، اقدام به تعیین میزان سیلاب خروجی از هر زیرحوضه و مشارکت آن در محل بازه برای واحد سطح هر زیرحوضه گردید که نتایج بیان‌گر تغییر اولویت‌بندی بود به گونه‌ای که زیرحوضه‌ی هشت با داشتن کم‌ترین مساحت بیشترین نقش در تولید سیلاب و مشارکت در محل بازه را سبب شده است که نتیجه‌ی حاصله با توجه به شرایط CN حوضه که مشابه سایر زیرحوضه‌های با اولویت بالاست و مساحت کم آن قابل قبول می‌باشد. این در حالی است که زیرحوضه‌های ۳، ۴ و ۷ همچنان اولویت بالایی را به ازای واحد سطح دارا می‌باشند.

با توجه به تغییر اولویت‌بندی برای حجم و دبی اوج سیلاب به منظور کنترل بهینه‌ی سیلاب در صورت وجود محدودیت امکانات، در راستای کاهش مشارکت در دبی اوج سیلاب اقدامات در زیرحوضه‌ی سه و برای کاهش مشارکت در حجم سیلاب، انجام فعالیت در زیرحوضه‌ی ۸ بیشترین تأثیر در واحد سطح را به همراه خواهد داشت. توزیع مکانی زیرحوضه‌ها نشان می‌دهد که زیرحوضه‌ی سه علیرغم طولانی بودن فاصله، آن تا خروجی حوضه، بیشترین مشارکت در تولید دبی اوج سیلاب و زیرحوضه‌ی ۹ در محل بازه‌ی مورد مطالعه کمترین

مشارکت در سیلاب را داشته که با یافته‌های خسروشاهی و ثقفیان (۱۳۸۴:۱۳۴) در حوضه آبخیز دماوند و یثربی (۱۳۸۴:۶۲) در حوضه‌ی آبخیز هراز، روغنی (۱۳۸۲:۲۶) در حوضه‌ی رودک و Roghani و همکاران (۲۰۰۶:۱۶) در حوضه‌ی پل منجیق مبنی بر عدم مشارکت بالای زیرحوضه‌های نزدیک به خروجی حوضه‌های مورد بررسی، در دبی اوج سیلاب مطابقت دارد. زیاد بودن مساحت زیرحوضه‌ی مذکور و بالاتر بودن نسبی میزان CN در آن از دلایل مشارکت بیشتر آن در تولید سیلاب منطقه جاغرق محسوب می‌شود. نتایج حاضر دلالت بر این موضوع دارد که به‌منظور انجام اقدامات کنترل سیلاب با توجه به هدف، در جهت کاستن حجم و یا دبی حجم سیلاب می‌توان در زیرحوضه‌های ۳، ۱، ۸ و ۴ اقدامات را متمرکز نمود. لذا انجام عملیات آبخیزداری و کنترل سیلاب در حوضه‌ی جاغرق باید با تأکید بر این زیرحوضه‌ها انجام شود. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی کارایی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و استفاده از آن برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز حوضه‌ی جاغرق در استان خراسان رضوی انجام پذیرفت. نتایج تحقیق حاضر ضمن تأیید کارایی مدل مذکور در شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیکی حوضه، کاربرد آن به منظور بررسی میزان سیلاب تولیدی زیرحوضه‌های مختلف و تحلیل مشارکت آنها در پایین‌دست به منظور مدیریت سیلاب و کنترل آن در محل زیرحوضه‌ها را پیشنهاد می‌کند.

### منابع و مأخذ

- ۱- جوکار، جبار (۱۳۸۱). بررسی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های رودخانه شاپور با استفاده از شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی. دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، ۱۲۶ص.
- ۲- خسروشاهی، محمد و ثقفیان، بهرام (۱۳۸۲). بررسی نقش مشارکت زیرحوضه‌های آبخیز در شدت سیل‌خیزی حوضه، پژوهش و سازندگی (در منابع طبیعی). شماره ۵۹. تهران.
- ۳- خسروشاهی، محمد و ثقفیان، بهرام (۱۳۸۴). اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل‌خیز، راهکاری برای عملیات اجرایی مهار و کنترل سیل در حوضه‌های آبخیز، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۲. گرگان.
- ۴- رضوی، سیده‌لاله (۱۳۸۴). نقش مقدار، مدت، شدت و پراکنش زمانی رگبار در دقت رواناب تخمینی با مدل SCS، دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. ۹۰ص.

- ۵- روغنی، محمد؛ مهدوی، محمد و غفوری، عبدالمحمد (۱۳۸۲). معرفی روشی در مکان‌یابی سطوح مؤثر بر دبی اوج سیل به‌منظور برنامه‌ریزی مهارسیلاب‌ها و کاهش خسارات آن درحوضه‌های آبخیز کشور، مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی رودک، پژوهش و سازندگی (در منابع طبیعی). شماره ۶۱. تهران.
- ۶- قائمی، هوشنگ و مرید، سعید (۱۳۷۵). مدل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های کرخه، نیوار. شماره ۳۰. مشهد.
- ۷- مهدوی، محمد (۱۳۸۱). هیدرولوژی کاربردی، جلد ۲. چاپ چهارم. تهران. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۸- میرزاخان، حسن (۱۳۸۰). مقایسه مدل شبیه‌سازی شده بارش- رواناب به روش شیب- سطح با مدل HEC HMS در حوضه‌ی آبخیز جعفرق (استان خراسان)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. دانشکده مرتع و آبخیزداری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. ۱۰۲ ص.
- ۹- یثربی، بنفشه (۱۳۸۴). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مهم آبخیز هراز براساس تولید رواناب، دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری. ۹۰ ص.
- 10- De Hoo. A., Odijk, M., Koster. E. and Lucieer, A (2001). Assessing The Effects of Land Use Changes on Floods in The Meuse and Oder Catchments, *Phys. Chem. Earth (B)*, 26 (7-8):593-599.
- 11- 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.
- 12- HEC (2002). Hydrologic Modeling System: Application Guide Us Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. Davis. C. A., 116p.
- 13- HEC(2000). Hydrologic Modeling System: Technical Reference Manual Us Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. Davis. C. A., 157p.
- 14- Knebl, M.R., Yang, Z.L., Hutchison, K., Maidment, D. R (2005). Regional Scale Flood Modeling using NEXRAD, Rainfall, GIS, and HEC – HMS \ RAS : A Case Study for the San Antonio River Basin Summer 2002 Storm Event, *Journal of Environmental Management*, 75: 325-336.
- 15- Roghani, M., Ghafouri, M. and Tabatabaei, M., (2006): An innovative methodology for the prioritization of sub-catchments for flood control, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9:79-87.
- 16- Sadeghi, S. H. R., Singh, J. K. and Das, G, (2000): Rainfall - Runoff Relationship model for Amameh watershed in Iran, In: *Proceedings International Conference on Integrated Water Resources Management*, New Delhi, Dec.19-21, 2000, India: 796-804.
- 17- Sahoo, G. B., Ray, C. and De Carlo, E. H., (2006): Calibration and Validation of Physically Distributed Hydrological Model MIKE SHE, to Predict Storm Flow at High Frequency in Flashy Mountainous Hawaii Stream, *Journal of Hydrology*, 327:94-109
- 18- Taghvaei Abrishami, A. A., (2005): Determination of Rainfall Temporal Pattern in Heavy Storms of Khorasan Province, *Proceeding Of the First Iran-Korea Joint Workshop on Climate Modeling*, Mashhad, Iran, Oct. 12-16, 2005: 335-402.