

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS در بالادست رودخانه خشک شیراز

زهرا نصیری^۱، علی طالبی^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۲. استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۵/۱۶؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۸/۱۱/۲۰)

چکیده

سیل یکی از پدیده‌های پیچیده و مخرب طبیعی است که هر ساله خسارت‌های سنگینی به وجود می‌آورد. از این‌رو، برای اجرای برنامه‌های کنترل سیلاب در بالادست حوضه‌های بزرگ باید چگونگی تأثیر آنها را بر سیلاب حوضه ارزیابی کرد. در تحقیق حاضر به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی در حوضه آبخیز چنارسوخته با مساحت ۱۴۱/۰۳۶ کیلومترمربع با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS پرداخته شده است. در تحقیق پیش رو 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 به منظور 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 و زمان تأخیر صورت گرفت. همچنین، به منظور ارزیابی آثار سیل‌خیزی دو معیار فیزیکی شامل دبی اوج جریان و حجم جریان در نظر گرفته شد. هیدروگراف‌های سیل متناظر با بارش، برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد و سپس با حذف متوالی زیرحوضه‌ها، میزان تأثیر هر یک از آنها در تولید سیل خروجی به دست آمد. با در نظر گرفتن شرایط پیشین خاک بر اساس مجموع بارندگی پنج روز قبل، شماره منحنی در شرایط مرطوب و متوسط برای رویدادها محاسبه شد. نتایج نشان داد در رویدادهایی که با CN های کالیبره‌شده در شرایط متوسط اجرا شدند، زیرحوضه ۵ اولویت اول از نظر سیل‌خیزی دارد و در رویدادهایی که با CN های کالیبره‌شده مرطوب اجرا شدند، زیرحوضه ۶ اولویت اول از نظر سیل‌خیزی دارد.

کلیدواژگان: اولویت‌بندی، حوضه آبخیز چنارسوخته، سیل‌خیزی، مدل HEC-HMS.

مقدمه

افزایش سیل در سال‌های اخیر نشان می‌دهد بیشتر مناطق کشور در معرض تهاجم سیلاب‌های ادواری و مخرب قرار دارند و ابعاد خسارت‌ها و تلفات جانی و مالی سیل افزایش یافته است. برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل زیادی در تولید سیل دارند تعیین و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شوند. به طور کلی، دو دسته از عوامل اقلیمی و حوضه‌ای در ایجاد سیلاب‌ها نقش دارند [۱].

مقدار دبی یا رواناب خروجی از یک حوضه آبخیز اهمیت زیادی دارد، زیرا کمبود آن ممکن است موجب خسارت‌های مالی شده و مازاد آن به صورت سیلاب ممکن است سبب خسارت‌های جانی و مالی شود [۲]. با توجه به اینکه برای جلوگیری از بروز این‌گونه پدیده‌های زیان‌بار در حال حاضر نمی‌توان در عوامل و عناصر جوی تغییر ایجاد کرد، بنابراین هرگونه راه‌حل اصولی و چاره‌ساز را باید روی زمین و به خصوص در حوضه‌های آبخیز جست‌وجو کرد. در این زمینه اولین اقدامی که برای کاهش خطر سیل مطرح می‌شود، مهار سیل در سرمنشأ آن یعنی زیرحوضه‌های آبخیز است. بی‌شک برای انجام این کار نیاز به شناسایی مناطق سیل‌خیز درون حوضه است، زیرا به دلیل وسعت زیاد و گستردگی حوضه‌های آبخیز انجام عملیات اجرایی و اصلاحی در سراسر حوضه امکان‌پذیر نبوده و حتی در صورت عدم بررسی دقیق می‌تواند امکان تشدید دبی اوج را برای تغییر هم‌زمانی دبی‌های اوج زیرحوضه‌ها سبب شود. برای مدیریت جامع مهار و کاهش خسارت‌های سیل قبل از هر چیز باید مناطق سیل‌خیز درون حوضه تعیین شوند [۳]. بنابراین، برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل زیادی در تولید سیل دارند تعیین شده و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شوند. برای جلوگیری از وقوع خطرات سیل در مناطق پایین‌دست، شناخت مناطق مولد سیل در بالادست حوضه‌های آبخیز الزامی به نظر می‌رسد [۴ و ۵].

پیشینه تحقیق

تا کنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز کشور انجام شده است. مزیدی و همکاران [۶] طی پژوهشی به شبیه‌سازی بارش -

رواناب و تخمین سیل در حوضه آبریز خرم‌آباد با استفاده از مدل HEC HMS- پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد سازگاری خوبی بین هیدروگراف‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده در خروجی حوضه وجود دارد. در ضمن، مقادیر شاخص کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی با ضریب نش- ساتکلیف و ضریب واریانس شبیه‌سازی‌شده به ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۰۹ بوده است، که کارایی زیاد مدل در برآورد دبی پیک در حوضه آبریز مطالعه‌شده را نشان می‌دهد. سپس، با استفاده از پارامترهای بهینه‌شده، هایتوگراف بارش طرح در دوره بازگشت‌های مختلف وارد مدل شد و هیدروگراف سیل در دوره بازگشت‌های مختلف به دست آمد. اجرای مدل در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب به وقوع دبی‌های اوج سیلاب با میزان ۲۲۴۸، ۱۹۵۵، ۱۰۲۰، ۱۴۴۲، ۷۶۲ مترمکعب بر ثانیه منجر شده است. نتایج نشان می‌دهد می‌توان رواناب را با استفاده از مدل، با دقت زیاد پیش‌بینی کرد.

حقی‌زاده و همکاران [۷] در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز سزار بر اساس خطر بروز سیل با استفاده از تئوری بازی از ۲ الگوریتم بوردا و چانه‌زنی، برای تشخیص مؤثرترین پارامترها در تمامی زیرحوضه‌ها و نیز بحرانی‌ترین زیرحوضه‌ها استفاده کردند. در نتیجه اجرای الگوریتم امتیازدهی بوردا، مؤثرترین پارامترهای تمام زیرحوضه‌ها، پارامترهای کاربری مسکونی با امتیاز ۹۳/۵، تراکم زهکشی با امتیاز ۹۱ و نیز پارامترهای شیب متوسط و شکل زیرحوضه‌های آبخیز با امتیاز ۹۰/۵ بودند و در نتیجه اجرای الگوریتم چانه‌زنی، مؤثرترین پارامترهای تمام زیرحوضه‌ها، پارامترهای شیب متوسط، طول آبراهه اصلی و کاربری مرتع بودند. در واقع، پارامترهای نام‌برده در تمامی زیرحوضه‌ها، سریع‌تر خودنمایی کردند و به عدد ۱۶ که تعداد زیرحوضه‌هاست، رسیدند. در نهایت، نقشه‌های اولویت‌بندی زیرحوضه‌های سزار با هر دو روش ارائه شدند که در روش بوردا، زیرحوضه‌های I، N، G، P و O در اولویت نخست قرار داشتند و در روش چانه‌زنی، زیرحوضه‌های G، H، N، I و F در اولویت نخست بودند.

ادهمی و همکاران [۸] در تحقیقی برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر تولید رسوب از تئوری بازی استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد درصد اراضی جنگلی و میزان دبی با دوره بازگشت ۱۰ سال به ترتیب بیشترین و

لاچری و همکاران^۱ [۱۱] کارایی مدل نیمه‌توزیعی HEC-HMS و مدل WBNM در شهر آزابار واقع در شمال شرقی الجزایر را مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل WBNM قابلیت شبیه‌سازی هیدروگراف مشاهده‌ای را ندارد در حالی که مدل HEC-HMS با دقت مناسبی هیدروگراف مشاهده‌ای را شبیه‌سازی کرده است. کوین‌چنج و همکاران^۲ [۱۲] در مقاله «انتخاب ورودی‌های باران برای مدل‌سازی بارش-رواناب» با ایستگاه‌های مختلف بارندگی با استفاده از تکنیک‌های داده‌محور برای انتخاب ورودی‌ها از دو روش متفاوت استفاده کردند. یکی از روش‌ها CCA^۳ (تجزیه و تحلیل هم‌بستگی متقابل) و دیگری روش MICCA^۴ (ترکیبی از اطلاعات متقابل و تجزیه و تحلیل هم‌بستگی متقابل) است. حوضه مطالعه شده ۱۰ ایستگاه بارش و یک ایستگاه دبی در قسمت خروجی آن دارد. در مجموع، ۲۴ رویداد بارش-رواناب از سال ۱۹۹۶-۲۰۰۴ انتخاب شدند که از ۱۸ رویداد برای آموزش و ۶ مورد باقی‌مانده برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. نتایج به دست آمده از مدل‌های ANFIS در برابر مدل مفهومی HEC-HMS با هم مقایسه شد. مدل ANFIS مبتنی بر ورودی‌های MICCA کمی بهتر از مدل ANFIS با ورودی‌های CCA بود. آنالیز حساسیت در مدل HEC-HMS با به‌کارگیری کالیبره مجدد مدل و با استفاده از همان ایستگاه‌های بارش انتخاب‌شده برای ANFIS صورت گرفت و نتیجه گرفته شد که عملکرد مدل HEC-HMS اگر تعداد ایستگاه‌های بارش کاهش یابد، بدتر خواهد شد.

هدف از پژوهش حاضر، تعیین میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی حوضه آبخیز چنارسوخته واقع در استان فارس با استفاده از تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل HEC-HMS و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی است. دستیابی به این هدف می‌تواند الگوی روشن و مبنای محکمی برای اولویت‌بندی مکانی و زمانی پروژه‌های کنترل سیل باشد و از تأثیر منفی احتمالی ناشی از اجرای عملیات مهار سیل در مناطق غیر ضروری پیشگیری شود.

کمترین تأثیر را در تولید رسوب حوضه دارند. آنها در تحقیق یادشده زیرحوضه‌ها را در سه کلاس تولید رسوب تقسیم کردند.

پرورش و همکاران [۹] در اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر پتانسیل سیل‌خیزی به کمک روش الکترون نوع 3 و ضریب جریان سیلاب در زیرحوضه‌های آبخیز سرخون بندرعباس برای ورود اطلاعات به مدل یادشده بر اساس دیدگاه‌های کارشناسان و مرور منابع علمی از هفت معیار (نفوذپذیری، ضریب گراویلیوس، شیب متوسط وزنی حوضه، پوشش گیاهی، ضریب شکل، ضریب رواناب و شدت بارندگی) برای اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها استفاده کردند. سپس، وزن هر معیار بر اساس روش AHP محاسبه و برای انتخاب بهترین رتبه‌بندی و عملکرد مدل الکترون 3 و رابطه ضریب جریان سیلابی از تکنیک ناپارامتریک ضریب همبستگی اسپیرمن استفاده شد ($r=0/85$). بنابراین، روش الکترون می‌تواند به عنوان یک روش مناسب برای تعیین پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های دارای اولویت معرفی شود.

کیانی سلمی و همکاران [۱۰] در شبیه‌سازی پیوسته رواناب حوضه آبخیز باراریه نیشابور، با استفاده از مدل احتساب‌کننده رطوبت خاک، برای در نظر گرفتن عوامل مؤثر در شبیه‌سازی پیوسته رواناب از مدل HEC-۴/۲ HEC-HMS، با الگوریتم SMA (احتساب‌کننده رطوبت خاک) استفاده کردند. در واسنجی مدل از داده‌های ۲۰۰۳-۲۰۰۶ و در اعتبارسنجی مدل از داده‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۶ به‌صورت پیوسته استفاده شد. برای ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی رواناب در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی از شاخص ضریب راندمان موسوم به نش استفاده شد، مقدار شاخص ضریب راندمان در مرحله واسنجی ۰/۷۳ و در مرحله اعتبارسنجی ۰/۷۱ به دست آمد. همچنین، نتایج نزدیک واسنجی و صحت‌سنجی این مطالعه نشان داد به‌کارگیری الگوریتم احتساب‌کننده رطوبت خاک منجر به شبیه‌سازی بهتر رواناب به‌صورت پیوسته در حوضه مد نظر شده و مدل یادشده به‌صورت قابل قبولی در منطقه مطالعه‌شده قابل اجراست.

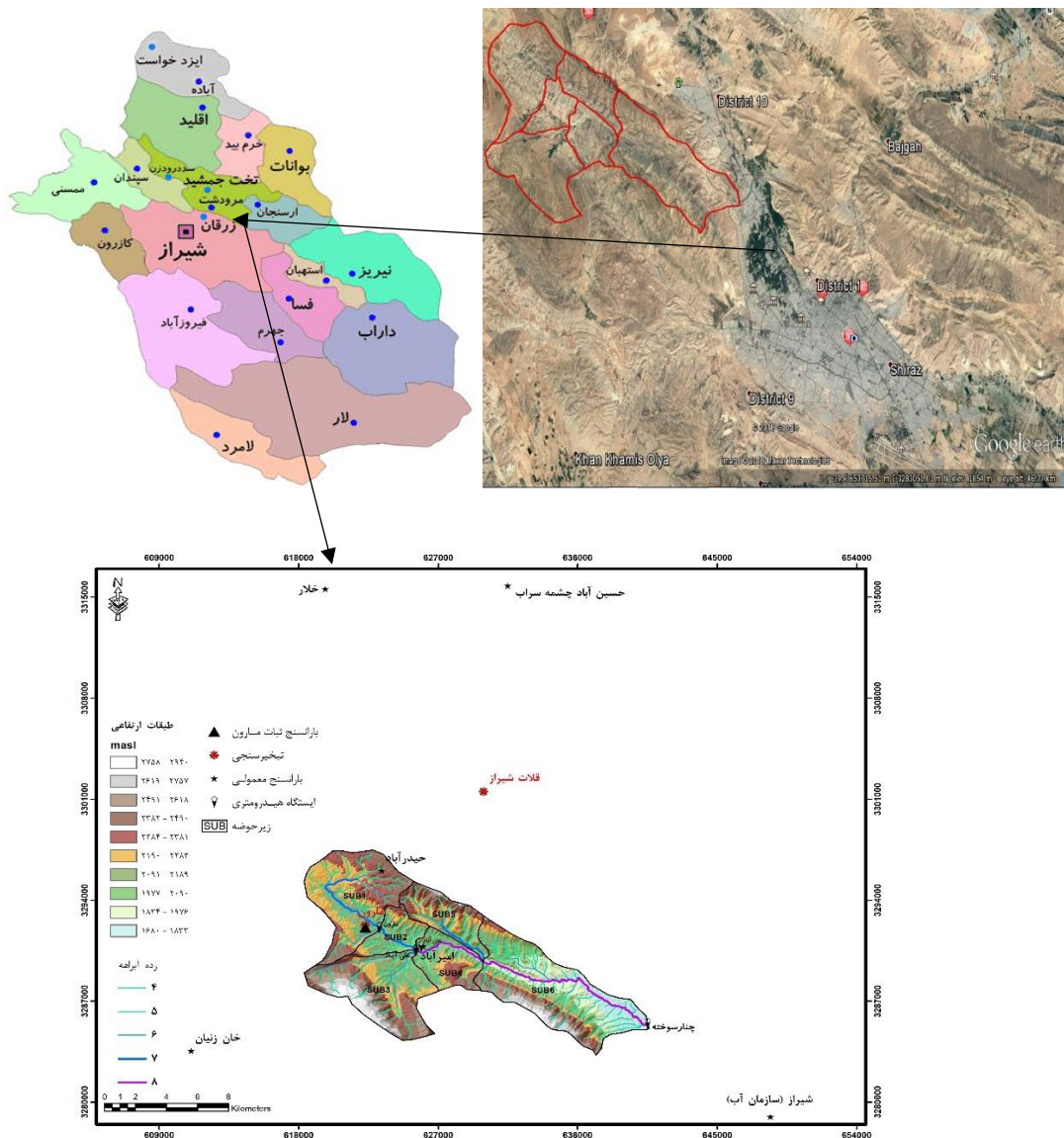
1. Laouacheria and Mansouri
2. Kwin Chang
3. Cross-correlation Analysis
4. Malti Information Cross-correlation Analysis

روش کار (مواد و روش‌ها)

منطقه مطالعه شده

حوضه آبخیز چنارسوخته با داشتن مساحتی حدود ۱۴۱/۰۳۶ کیلومترمربع و ارتفاع ۱۶۷۸ متر از سطح دریا با مختصات ۱۳° ۵۲' تا ۲۷° ۵۲' طول شرقی و ۴۱° ۲۹' تا ۴۸° ۲۹' عرض شمالی در حوضه آبریز مهارلوی بختگان و رودخانه خشک شیراز قرار دارد. حوضه آبخیز چنارسوخته از شمال غربی حوضه آبریز دریاچه مهارلو سرچشمه گرفته و طی مسیر آن آب چشمه و قنات‌های قصرقمشه و نهر اعظم را دریافت کرده و بنابراین طی فصول مرطوب سال جریان آب دائمی بوده و در فصول خشک آب آن به مصرف

کشاورزی رسیده و رودخانه در بخش عمده مسیر خود خشک است. تغییرات اقلیم در محدوده مطالعه شده از سمت جنوب و جنوب شرق به شمال غرب از خشک سرد به نیمه خشک سرد و نیمه مرطوب سرد تغییر می‌کند. دمای متوسط سالانه برای دوره آماری ۴۵ ساله (۱۳۴۵-۱۳۹۰) در دشت ۱۷/۳ و در ارتفاعات ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالانه (۱۳۴۵-۱۳۹۰) این حوزه ۵۰۵/۴۴ میلی‌متر محاسبه شده است. مدل رقومی ارتفاعی بر اساس نقشه توپوگرافی خطوط حوضه تهیه شد. سپس، خصوصیات فیزیوگرافی مورد نیاز از نقشه رقومی ارتفاعی استخراج شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز چنارسوخته در استان فارس

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبخیز چنارسوخته

| خصوصیات فیزیوگرافی | زیرحوضه ۱ | زیرحوضه ۲ | زیرحوضه ۳ | زیرحوضه ۴ | زیرحوضه ۵ | زیرحوضه ۶ | کل حوزه |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| مساحت (کیلومترمربع) | ۳۱/۳۶۴ | ۹/۲۶۰ | ۳۰/۳۴۵ | ۱۲/۹۵۰ | ۱۳/۶۲۹ | ۴۳/۴۸۶ | ۱۴۱/۰۳۶ |
| محیط حوضه (کیلومتر) | ۲۵/۹۸۳ | ۱۴/۶۱۴ | ۲۶/۱۳۹ | ۱۵/۴۰۹ | ۱۷/۸۲۳ | ۳۳/۳۱۵ | ۶۷/۰۸۵ |
| طول آبراهه اصلی (کیلومتر) | ۷/۷۴۵ | ۵/۱۱۵ | ۸/۱۳۱ | ۵/۱۴۲ | ۳/۷۸۴ | ۵/۴۶۴ | ۸/۱۳۱ |
| شیب ناخالص آبراهه اصلی (متر به متر) | ۶/۶۱ | ۸/۲۱۲ | ۱۱/۲۸۳ | ۱۱/۴۰۷ | ۲۵/۵۱۳ | ۲۱/۶۷۵ | ۱۵/۴۹۰ |
| حداکثر ارتفاع (متر) | ۲۵۹۲/۴۵ | ۲۴۴۰/۰۶ | ۲۹۳۷/۴۷ | ۲۵۲۴/۳ | ۲۹۰۳/۱۵ | ۲۸۶۲/۲۷ | ۲۹۳۷/۴۷ |
| حداقل ارتفاع (متر) | ۲۰۷۷/۹۶ | ۲۰۱۹/۹۴ | ۲۰۱۹/۹۷ | ۱۹۳۷/۶۴ | ۱۹۳۷/۵۱ | ۱۶۷۷/۸۵ | ۱۶۷۷/۸۵ |
| متوسط ارتفاع (متر) | ۲۲۷۱/۴۴ | ۲۱۵۴/۲۹ | ۲۳۹۲/۳۲ | ۲۱۶۷/۸۰ | ۲۲۶۶/۵۲ | ۲۱۰۳/۲۵ | ۲۲۷۷/۸۸ |
| ارتفاع شروع آبراهه اصلی (متر) | ۲۵۹۲/۴۵ | ۲۴۴۰/۰۶ | ۲۹۳۷/۴۷ | ۲۵۲۴/۳ | ۲۹۰۳/۱۵ | ۲۸۶۲/۲۷ | ۲۹۳۷/۴۷ |
| ارتفاع انتهای آبراهه اصلی (متر) | ۲۰۷۷/۹۶ | ۲۰۱۹/۹۴ | ۲۰۱۹/۹۷ | ۱۹۳۷/۶۴ | ۱۹۳۷/۵۱ | ۱۶۷۷/۸۵ | ۱۶۷۷/۸۵ |
| ضریب گراویلیوس | ۱/۲۹ | ۱/۳۴ | ۱/۳۳ | ۱/۲۰ | ۱/۳۵ | ۱/۴۱ | ۱/۵۸ |
| متوسط شیب (درصد) | ۱۵/۹۹ | ۱۹/۷۸ | ۲۸/۵۹ | ۲۷/۴۹ | ۳۹/۴۱ | ۲۹/۸۵ | ۲۶/۵۴ |
| زمان تمرکز به روش برانس بای-ویلیامز | ۲/۲۷ | ۱/۶۲ | ۲/۱۵ | ۱/۴۸ | ۰/۹۲۳ | ۱/۲۲ | ۱/۳۷ |
| زمان تأخیر حوضه (برانس بای-ویلیامز) | ۱/۶۲ | ۰/۹۷۲ | ۱/۲۹ | ۰/۸۸۸ | ۰/۵۵۳ | ۰/۷۳۲ | ۰/۸۲۲ |
| قطر دایره معادل (کیلومتر) | ۶/۳۱۹ | ۳/۴۳۳ | ۶/۲۱۵ | ۴/۰۶ | ۴/۱۶۵ | ۷/۴۴۱ | ۱۳/۴۰ |

تهیه شماره منحنی زیرحوضه‌ها

شماره منحنی پارامتر بی‌بعدی است که در روش SCS برای تعیین تلفات اولیه و زمان تأخیر به کار می‌رود و تحت تأثیر نوع کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی و رطوبت پیشین خاک است. نقشه کاربری اراضی ۲۰۱۸ منطقه مطالعه شده با استفاده از نقشه کاربری اراضی گرفته‌شده از اداره منابع طبیعی استان فارس و با استفاده از بازدید میدانی در گوگل ارث به‌روزرسانی شد و کاربری‌های مختلف تهیه شد. نقشه گروه هیدرولوژیک خاک نیز از نقشه گروه هیدرولوژیک رودخانه خشک شیراز تهیه شد. سپس، در محیط GIS نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیک خاک با یکدیگر تلفیق شده و براساس

جدول‌های تعیین شماره منحنی (روش چاو)، نقشه CN حوضه تهیه شد.

اجرای مدل HEC-HMS

از بین رویدادهای بارش ایستگاه باران‌سنجی شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان فارس ۶ رویداد بارش دارای دبی متناظر انتخاب شد که رویدادهای بارش انتخابی و بعضی ویژگی‌های آنها در جدول ۲ آورده شده‌اند. پس از ورود داده‌ها و تکمیل مدل حوضه، مدل هواشناسی و شاخص‌های کنترلی، مدل HEC-HMS برای داده‌های بارش-رواناب مشاهده‌شده اجرا و هیدروگراف شبیه‌سازی شده مدل به دست آمد.

جدول ۲. رویدادهای بارش انتخابی ایستگاه باران‌سنجی مارون برای اجرای مدل

| ایستگاه هیدرومتری | رویداد | تداوم (ساعت) | ارتفاع (میلی‌متر) |
|-------------------|------------------|--------------|-------------------|
| چنارسوخته - خشک | ۱۳۸۶/۰۱/۰۹-۰۸-۰۷ | ۳۰ ساعت | ۶۵ mm |
| چنارسوخته - خشک | ۱۳۸۸/۰۹/۱۶ | ۱۵ ساعت | ۴۳/۳ mm |
| چنارسوخته - خشک | ۱۳۸۸/۱۱/۱۵ | ۱۶ ساعت | ۴۱/۹ mm |
| چنارسوخته - خشک | ۱۳۸۹/۱۱/۱۱ | ۹ ساعت | ۱۲/۳ mm |
| چنارسوخته - خشک | ۱۳۹۱/۱۰/۱ | ۱۵ ساعت | ۴۷ mm |
| چنارسوخته - خشک | ۱۳۹۳/۰۹/۰۴-۰۳ | ۲۷ ساعت | ۴۰ mm |

منبع: شرکت سهامی اداره آب منطقه‌ای استان فارس

۱۵ درصد از سه پارامتر کم و زیاد شده و سپس دبی خروجی حوضه با هم مقایسه می‌شود. هر یک از پارامترها که موجب تغییر بیشتر دبی اوج خروجی حوضه شود، به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر در نظر گرفته می‌شود.

شکل ۲ منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر در هر یک از پارامترها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شماره منحنی بیشترین حساسیت را دارد و به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر شناخته می‌شود.

نتایج واسنجی مدل

پس از اجرای مدل، برای حصول نتیجه بهتر، مدل کالیبره شد. برای واسنجی مدل، از پارامتری که طبق نتایج آنالیز حساسیت تأثیر زیادتری نسبت به پارامترهای دیگر داشت، استفاده شد. شکل ۳ مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده را پس از واسنجی نشان می‌دهد. همچنین، مقدار CN بهینه برای هر رویداد در جدول ۴ نشان داده شده است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل هیدرولوژی

واسنجی مدل شامل فرایندی است که طی آن پارامترهای یک مدل بر اساس اطلاعات مشاهده‌شده مسئله مد نظر، مشخص می‌شوند [۱۳ و ۱۴]. در تحقیق حاضر مدل به‌صورت دستی و با استفاده از سه پارامتر شماره منحنی، زمان تأخیر و تلفات اولیه برای رویدادهای یادشده در ایستگاه هیدرومتری چنار سوخته 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 واسنجی‌شده، با ۴ رویداد ایستگاه باران‌سنجی مارون اعتبارسنجی مدل انجام شد. جدول ۳ رویدادهای بارش انتخابی و تداوم آنها را نشان می‌دهد.

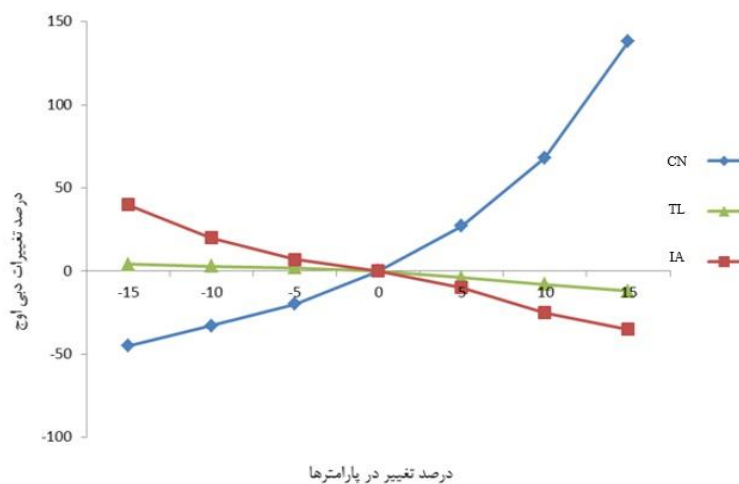
آنالیز حساسیت مدل

برای تعیین پارامترهای مناسب به منظور واسنجی مدل، از آنالیز حساسیت استفاده شد. به این منظور، آنالیز حساسیت برای سه پارامتر شماره منحنی، زمان تأخیر و تلفات اولیه انجام گرفت. به این صورت که ۵، ۱۰ و

جدول ۳. رویدادهای بارش انتخابی و تداوم آنها برای اعتبارسنجی مدل

| ارتفاع بارش (میلی‌متر) | تداوم (ساعت) | رویداد | ایستگاه هیدرومتری |
|------------------------|--------------|------------|-------------------|
| ۵۰/۳ mm | ۹ ساعت | ۱۳۸۵/۱۱/۱۵ | چنار سوخته - خشک |
| ۴۶/۳ mm | ۲۰ ساعت | ۱۳۸۸/۰۹/۰۷ | چنار سوخته - خشک |
| ۳۴/۳ mm | ۱۶ ساعت | ۱۳۹۱/۰۱/۱۰ | چنار سوخته - خشک |
| ۴۲/۳ mm | ۲۱ ساعت | ۱۳۹۱/۰۹/۲۱ | چنار سوخته - خشک |

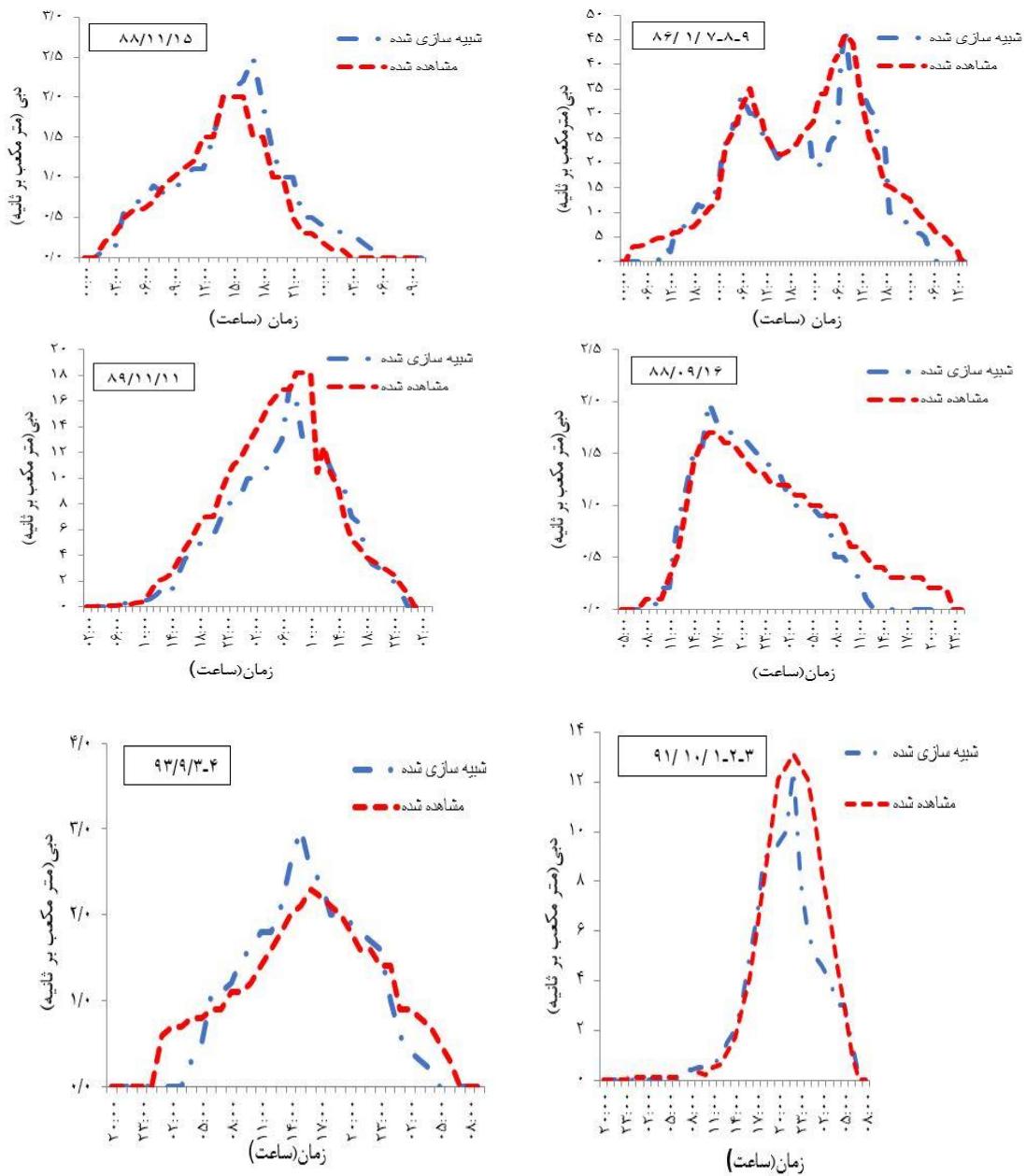
منبع: شرکت سهامی اداره آب منطقه‌ای استان فارس یافته‌ها



شکل ۲. منحنی تغییرات مدل به ازای تغییر در هر یک از پارامترها

جدول ۴. مقادیر CN اولیه و بهینه برای رویدادها

| شماره منحنی اولیه | شماره منحنی بهینه | رویداد |
|-------------------|-------------------|------------------|
| ۸۳/۳ | ۷۵ | ۱۳۸۶/۱۰/۹-۰۸-۰۷ |
| ۷۶/۳ | ۷۳ | ۱۳۸۸/۰۹/۱۶ |
| ۷۶/۳ | ۷۱/۱ | ۱۳۸۸/۱۱/۱۵ |
| ۸۳/۳ | ۸۷ | ۱۳۸۹/۱۱/۱۱ |
| ۷۶/۳ | ۷۹/۷ | ۱۳۹۱/۱۰/۰۳-۰۲-۰۱ |
| ۷۶/۳ | ۷۱/۵ | ۱۳۹۳/۰۹/۰۴-۰۳ |



شکل ۳. مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده پس از کالیبره کردن مدل در حوضه آبخیز چنارسوخته

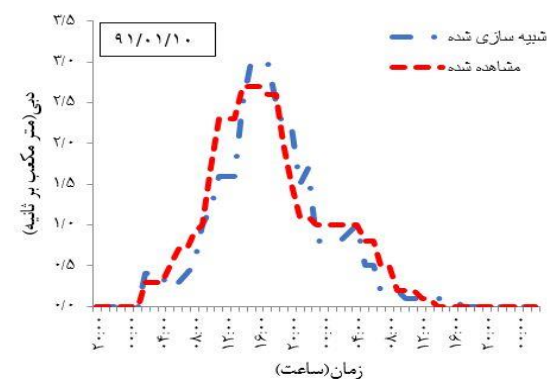
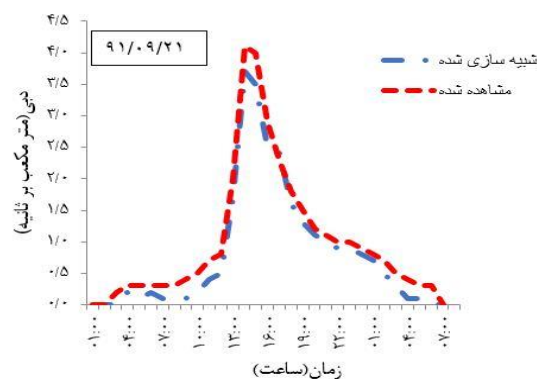
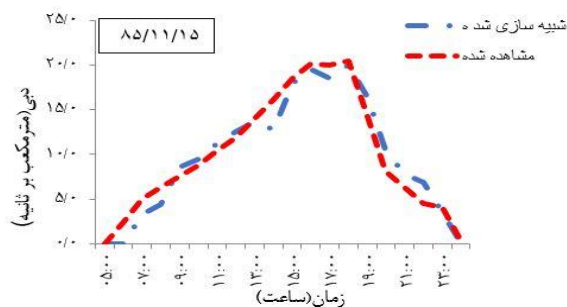
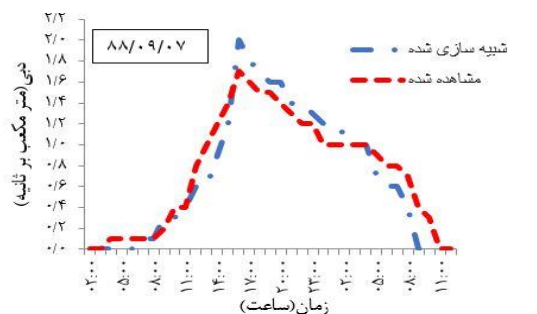
جدول ۵. مقایسه هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی در مرحله واسنجی مدل در ایستگاه چنارسوخته در استان فارس

| پارامتر | | دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه) | | حجم جریان (هزارمترمکعب بر ثانیه) | |
|----------------|------------|----------------------------|-------------|----------------------------------|---------------|
| رویداد | مشاهده شده | شبیه سازی شده | اختلاف درصد | مشاهده شده | شبیه سازی شده |
| ۱۳۸۶/۱/۹-۰۸-۰۷ | ۴۶/۱ | ۴۷/۱ | ۲/۱۶ | ۵۵۴۰ | ۴۸۳۵/۱۶ |
| ۱۳۸۸/۰۹/۱۶ | ۱/۷ | ۲ | ۱۵ | ۱۱۵/۵۶ | ۱۰۹/۰۸ |
| ۱۳۸۸/۱۱/۱۵ | ۲ | ۲/۶ | ۳۰ | ۸۱/۳۶ | ۹۳/۹۶ |
| ۱۳۸۹/۱۱/۱۱ | ۱۸/۲ | ۱۷/۴ | -۴/۴ | ۱۱۶۵ | ۹۸۲/۴۴ |
| ۱۳۹۱/۱۰/۳-۲-۱ | ۱۳/۱ | ۱۲/۵ | -۴/۵۸ | ۴۸۲/۴ | ۳۷۸ |
| ۱۳۹۳/۰۹/۰۴-۰۳ | ۲/۳ | ۳ | ۳۰/۴۳ | ۱۳۸/۹ | ۱۳۷/۸۸ |

نتایج مربوط به اعتباریابی مدل با استفاده از پارامترهای بهینه شده، مدل با رویدادهای ۱۳۹۱/۰۹/۲۱، ۱۳۸۸/۰۹/۰۷، ۱۳۸۵/۱۱/۱۵، ۱۳۹۱/۰۱/۱۰، ۱۳۹۱/۰۱/۱۰ و ۱۳۹۱/۰۹/۲۱ را ارائه شده است.

نتایج مربوط به اعتباریابی مدل

با استفاده از پارامترهای بهینه شده، مدل با رویدادهای ۱۳۹۱/۰۱/۱۰، ۱۳۸۸/۰۹/۰۷، ۱۳۸۵/۱۱/۱۵، ۱۳۹۱/۰۱/۱۰، ۱۳۹۱/۰۱/۱۰، ۱۳۹۱/۰۹/۲۱



شکل ۴. هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی در مرحله اعتبارسنجی مدل در ایستگاه چنارسوخته در استان فارس

جدول ۶. مقایسه هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی در مرحله اعتبارسنجی مدل در ایستگاه چنارسوخته در استان فارس

| پارامتر | | دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه) | | حجم جریان (هزارمترمکعب بر ثانیه) | |
|------------|------------|----------------------------|-------------|----------------------------------|---------------|
| رویداد | مشاهده شده | شبیه سازی شده | اختلاف درصد | مشاهده شده | شبیه سازی شده |
| ۱۳۸۵/۱۱/۱۵ | ۲۰/۴ | ۲۰ | -۱/۹۶ | ۷۱۶/۰۴ | ۷۱۲/۰۸ |
| ۱۳۸۸/۰۹/۰۷ | ۱/۷ | ۲ | ۱۷/۶۴ | ۹۴/۳۲ | ۹۱/۰۸ |
| ۱۳۹۱/۱/۱۰ | ۲/۷ | ۳ | ۱۱/۱۱ | ۱۵۰/۱۲ | ۱۳۹/۳۲ |
| ۱۳۹۱/۰۹/۲۱ | ۴/۱ | ۳/۷ | -۹/۷۵ | ۱۱۱/۲۴ | ۱۰۰/۸ |

جدول ۷. مقادیر کارایی مدل در مرحله اعتبارسنجی

| شاخص | مقدار کارایی | | | |
|----------------------------------|--------------|------------|------------|------------|
| | ۱۳۹۱/۰۹/۲۱ | ۱۳۹۱/۰۱/۱۰ | ۱۳۸۸/۰۹/۰۷ | ۱۳۸۵/۱۱/۱۵ |
| ضریب نش-سانکلیف | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ | ۰/۹۶ | ۰/۹۵ |
| اریبی مدل در برآورد حجم جریان | ۰/۹۳ | ۰/۹۳ | ۱ | ۰/۸۶ |
| درصد خطا در دبی اوج | ۹/۷۵ | ۱۱/۱۱ | ۱۷/۶۴ | ۱/۹۶ |
| میانگین حداقل مربعات خطا | ۰/۰۹ | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۵۵ |
| ضریب واریانس | ۰/۸۳ | ۰/۸۵ | ۰/۹۳ | ۱ |
| ضریب تبیین | ۱ | ۱ | ۰/۹۹ | ۱ |
| کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی بالا | ۰/۸۵ | ۰/۱۵ | ۰/۰۹ | ۱/۱۲ |

حذف مشخص شود. هر یک از زیرحوضه‌ها که حذف آنها تأثیر بیشتری در دبی اوج خروجی حوزه داشته باشد، دارای اولویت اول از نظر سیل‌خیزی است. نتایج به همراه اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز چنارسوخته برای سیل‌خیزی در جدول ۸ آورده شده است.

برآورد سیل‌خیزی با استفاده از مدل HEC-HMS برای محاسبه میزان سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز چنارسوخته با استفاده از مدل HEC-HMS، مدل نهایی با استفاده از شماره منحنی‌های کالیبره‌شده اجرا می‌شود و در هر بار اجرا یکی از زیرحوضه‌های موجود حذف می‌شود تا میزان اختلاف دبی پیک نسبت به شرایط قبل و بعد از

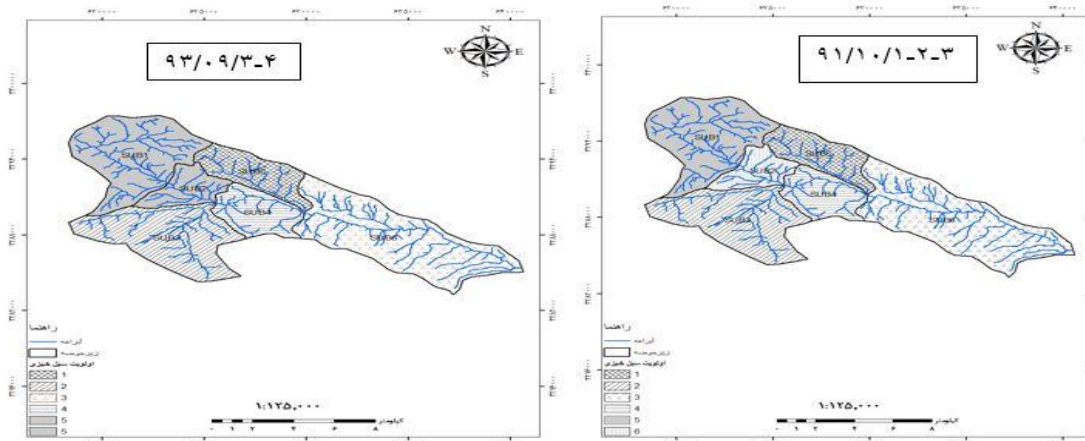
جدول ۸. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز چنارسوخته

| رویدادها | شرایط دبی | حذف زیرحوضه‌ها | | | | | |
|------------------|---------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ |
| ۱۳۸۶/۰۱/۰۹-۰۸-۰۷ | دبی پیک خروجی حوضه | ۴۷/۱ | ۴۷/۱ | ۴۷/۱ | ۴۷/۱ | ۴۷/۱ | ۴۷/۱ |
| | جابه‌جایی دبی پیک | ۳۹/۴ | ۴۴/۴ | ۳۸/۵ | ۴۲/۷ | ۳۹/۷ | ۳۱ |
| | درصد اختلاف دبی پیک | -۱۶/۳۴ | -۵/۷۳ | -۱۸/۳۵ | -۹/۳۴ | -۱۵/۷۱ | -۳۴/۱۸ |
| ۱۳۸۸/۰۹/۱۶ | اولویت‌بندی | ۳ | ۶ | ۲ | ۵ | ۴ | ۱ |
| | دبی پیک خروجی حوضه | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ | ۲ |
| | جابه‌جایی دبی پیک | ۲ | ۲ | ۱/۴ | ۲ | ۱/۳ | ۱/۸ |
| ۱۳۸۸/۱۱/۱۵ | درصد اختلاف دبی پیک | ۰ | ۰ | -۳۰ | ۰ | -۳۵ | -۱۰ |
| | اولویت‌بندی | ۴ | ۴ | ۲ | ۴ | ۱ | ۳ |
| | دبی پیک خروجی حوضه | ۲/۶ | ۲/۶ | ۲/۶ | ۲/۶ | ۲/۶ | ۲/۶ |
| ۱۳۸۸/۱۱/۱۵ | جابه‌جایی دبی پیک | ۲/۶ | ۲/۳ | ۲/۵ | ۲/۱ | ۱/۵ | ۲/۲ |
| | درصد اختلاف دبی پیک | ۰ | -۱۱/۵۳ | -۳/۸۴ | -۱۹/۲۳ | -۴۲/۳۰ | -۱۵/۳۸ |
| | اولویت‌بندی | ۶ | ۴ | ۵ | ۲ | ۱ | ۳ |
| ۱۳۸۹/۱۱/۱۱ | دبی پیک خروجی حوضه | ۱۷/۴ | ۱۷/۴ | ۱۷/۴ | ۱۷/۴ | ۱۷/۴ | ۱۷/۴ |
| | جابه‌جایی دبی پیک | ۱۴/۹ | ۱۶/۵ | ۱۴ | ۱۵/۶ | ۱۴/۴ | ۱۳/۱ |
| | درصد اختلاف دبی پیک | -۱۳/۸۷ | -۴/۶۲ | -۱۹/۰۷ | -۹/۸۲ | -۱۶/۷۶ | -۲۴/۲۷ |
| ۱۳۹۱/۱۰/۳-۲-۱ | اولویت‌بندی | ۴ | ۶ | ۲ | ۵ | ۳ | ۱ |
| | دبی پیک خروجی حوضه | ۱۲/۵ | ۱۲/۵ | ۱۲/۵ | ۱۲/۵ | ۱۲/۵ | ۱۲/۵ |
| | جابه‌جایی دبی پیک | ۱۲/۱ | ۱۲/۴ | ۹/۲ | ۱۱/۳ | ۸/۷ | ۹ |
| ۱۳۹۳/۰۹/۴-۳ | درصد اختلاف دبی پیک | -۳/۲ | -۰/۸ | -۲۶/۴ | -۹/۶ | -۳۰/۴ | -۲۸ |
| | اولویت‌بندی | ۵ | ۶ | ۲ | ۴ | ۱ | ۳ |
| | دبی پیک خروجی حوضه | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ |
| ۱۳۹۳/۰۹/۴-۳ | جابه‌جایی دبی پیک | ۳ | ۳ | ۲ | ۲/۸ | ۱/۸ | ۲/۷ |
| | درصد اختلاف دبی پیک | ۰ | ۰ | -۳۳/۳۳ | -۶/۶۶ | -۴۰ | -۱۰ |
| | اولویت‌بندی | ۵ | ۵ | ۲ | ۴ | ۱ | ۳ |

زیرحوضه ۳ در بیشتر رویدادها از نظر سیل خیزی اولویت دوم را دارد. در این زیرحوضه وضعیت شبکه هیدروگرافی طوری است که روانابها با استفاده از سه آبراهه در نقطه خروجی به هم می‌رسند و یکباره سبب افزایش دبی اوج می‌شوند. زیرحوضه ۲ به علت اینکه تمام رواناب یکباره به خروجی نمی‌رسد و روانابها با ایجاد آبراهه‌های موازی در سطح دامنه به تدریج وارد آبراهه اصلی می‌شوند، تأثیر آن در ایجاد دبی اوج کمتر است و اولویت کمی در سیل خیزی دارد. در زیرحوضه ۱ نیز به دلیل کشیدگی حوضه و افزایش زمان تمرکز دبی اوج حوضه زیاد نیست. عباسی (۱۳۹۵)، در بررسی سیل خیزی در سرشاخه‌های هیدرولوژیک (مستقل) حوضه آبخیز اسکندری با استفاده از شبیه‌سازی HEC-HMS به این نتیجه رسید که در دوره بازگشت ۲ سال زیرحوضه‌ها از نظر سیل خیزی بدون اولویت هستند و هرچه دوره بازگشت افزایش می‌یابد، زیرحوضه‌ها از نظر سیل خیزی اولویت‌بندی می‌شوند. همچنین، اولویت‌بندی‌ها نشان داد در دوره بازگشت‌های بالا روند تغییرات منظم‌تر است، که نتایج پژوهش با پژوهش عباسی و همکاران همخوانی دارد [۱۵].

همان‌طور که در جدول ۸ دیده می‌شود، در رویدادهای ۱۳۸۸/۰۹/۱۶، ۱۳۸۸/۱۱/۱۵، ۱۳۸۸/۱۱/۱۵، ۱۳۹۱/۰۱/۰۳-۲-۳ و ۱۳۹۱/۰۱/۰۳-۴ اجرا شدند، زیرحوضه ۵ دارای اولویت اول از نظر سیل خیزی است. شیب زیاد به همراه طول نسبتاً کم رودخانه اصلی در این زیرحوضه سبب شده است که زمان تمرکز در این زیرحوضه نسبت به سایر زیرحوضه‌های این حوضه آبخیز کمتر باشد. همچنین، این زیرحوضه گروه هیدرولوژیک D دارد که توان تولید رواناب در این گروه زیاد بوده و از نظر سازند زمین‌شناسی نیز این زیرحوضه آهکی است (شکل ۵).

در رویدادهای ۱۳۸۹/۱۱/۱۱ و ۱۳۸۶/۰۱/۰۶-۷-۸ CN های کالیبره‌شده مرطوب اجرا شدند، زیرحوضه ۶ دارای اولویت اول از نظر سیل خیزی است. این زیرحوضه بیشترین مساحت را نسبت به زیرحوضه‌های دیگر به خود اختصاص داده است. قسمت زیادی از آبراهه اصلی در زیرحوضه ۶ واقع شده است به این صورت که تمام رواناب زیرحوضه‌های بالادست و زیرحوضه مجاور وارد این زیرحوضه شده است.



شکل ۵. هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی در مرحله اعتبارسنجی مدل در ایستگاه چنارسوخته در استان فارس

نتیجه‌گیری

مقادیر شاخص‌های کارایی مدل در تحقیق حاضر شامل شاخص نش - ساتکلیف با مقدار (۰/۹۵)، ضریب واریانس شبیه‌سازی با مقدار (۰/۹۱)، اریبی مدل در برآورد حجم جریان با مقدار (۰/۹)، ضریب تبیین با مقدار (۰/۹۹)، میانگین حداقل مربعات خطا با مقدار (۰/۰۵۵) و کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی زیاد با مقدار (۰/۵۵) در حد قابل

در مطالعه حاضر به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز چنارسوخته - خشک فارس با استفاده از مدل HEC-HMS پرداخته شده است. آنالیز حساسیت مدل بر اساس سه پارامتر شماره منحنی، زمان تأخیر و تلفات اولیه انجام شد و واسنجی مدل بر اساس شماره منحنی صورت گرفت.

- using the game theory. *Echo-hydrology Journal*. NO 4. Winter 2017; 1219-1231. [Persian].
- [8]. Adhami M, Sadeghi S-H. Sub-watershed prioritization based on sediment yield using game theory *Journal of Hydrology* 541 2016; 977-987
- [9]. Parvaresh E, Mahdavi R, Malekian A, Ismail Pour Y, Halysaz A. Prioritization of factors affecting flood potential using type 3 electre and flood flow coefficient case study under sarkhoon watersheds, Bandar Abbas, Arid biome journal, Iran. Volume 8. No 1 summer 2017. [persian].
- [10]. Kiyani salmi A, Abdollahi Kh. Honarbakhsh A. Continuous simulation of runoff of bararieh watershed in Neyshabur using soil moisture content model, International conference on agriculture, environment and natural resources in the third millennium. 2018. [Persian].
- [11]. Laouacheria E, Mansouri R. Comparison of WMNM and HEC-HMS for runoff Hydrograph predication in a small urban catchment. *Water Resource Management*. 2015; (29): 2485-250
- [12]. kwinChang T, Talei A, Alaghmand S, Po-Leen Ooi M. Choice of rainfall inputs for event-based rainfall-runoff modeling in a catchment with multiple rainfall stations using data-driven techniques. 2017; 100-108.
- [13]. Karamoz M, Araghi nezaad SH. Advanced Hydrology. Amirkabir University of Technology (Polytechnic of Tehran), 2006; 456 p. [Persian].
- [14]. Debarry P, Watersheds Processes, assessment, and management. John Wily and Sons, 2004; 700p.
- [15]. Abbasi A. Investigation of prioritization of sub-watersheds from flooding viewpoint using the HEC-HMS model (Case study: Eskandari watershed). Master's Thesis Yazd University. 2017; 110p. [parsiian].
- قبولی است و می‌توان گفت که مدل استفاده شده برآورد خوبی از مؤلفه‌های هیدروگراف جریان داشته است. در رویدادهایی که با CN های کالیبره شده متوسط اجرا شدند، زیرحوضه ۵ دارای اولویت اول از نظر سیل‌خیزی است و در رویدادهایی که با CN های کالیبره شده مرطوب اجرا شدند، زیرحوضه ۶ اولویت اول از نظر سیل‌خیزی را دارد. به این ترتیب، برای کنترل سیل در پایین‌دست، زیرحوضه‌های ۵ و ۶ در اولویت اند و با ایجاد سازه‌های کنترل سیل در مسیر آبراهه‌ها و انجام مدیریت غیر سازه‌ای (حفظ و ازدیاد پوشش گیاهی) می‌توان مناطق پایین‌دست را محافظت کرد.
- متأسفانه، هنگام تهیه مقاله پژوهشی حاضر (براساس پایان‌نامه کارشناسی ارشد ۱۳۹۷) در فروردین ۱۳۹۸ سیلاب مهیبی در منطقه مد نظر اتفاق افتاد و علاوه بر خسارت‌های مالی، سبب از بین رفتن ۲۱ نفر از انسان‌های بی‌گناه شد.

منابع

- [1]. Sufi M. Effective factors on flood development in urban watersheds and its control strategies. The Proceedings of the first national conference on the river of engineering. Mashhad 2006; 91p. (inPersian).
- [2]. Hagizhizadeh A, Mohammadlou M, Noori F. Simulation of rainfall-runoff Process using artificial neural network and adaptive neural fuzzy system and multivariate regression (Case Study, Khorramabad Water Basin). *Journal of Ecohydrology*, Volume 2, Issue 2, Summer 2013; 233-243.
- [3]. Telvari A. Flood control comprehensive plans, prevent flooding conference, 25-26 December 2002; Gorgan. [Persian].
- [4]. Saghafian B, Khosroshahi M. Unit response approach for priority determination of flood source areas, *Journal of hydrologic engineering* 2005; 10(4): 270-77
- [5]. Smith , Ward. Floods Physical processes and human impacts. Wiley. New York 1998.
- [6]. Mazidi A, Koshky S. Rainfall runoff simulation and flood estimation in khorramabad basin using hec-hms model, *Geography and development* NO 14 Winter 2013; 1-10.[persian].
- [7]. Haghizadeh A, Arshia A, Tahmasebi Pour N, Zeyny vand H. Prioritization of the sub-catchments of Sezar based on the flood risk