

ارزیابی روشهای مختلف هیدروگراف واحد SCS و اشنایدر در هیدروگراف سیلاب حوزه آبخیز تنگراه استان گلستان

معصومه غریب^۱، باقر قرمز چشمه^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ma.gharib802@yahoo.com

۲- استادیار گروه هیدرولوژی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، baghergh@gmail.com

چکیده:

با توجه به اهمیت چگونگی شکل گیری رواناب سطحی در یک حوزه آبخیز، ارزیابی روشهایی که بتواند هیدروگراف سیل را با در نظر گرفتن شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبخیز شبیه سازی کنند حائز اهمیت می باشد. در این تحقیق با استفاده از روشهای انتقال رواناب هیدروگراف واحد SCS و اشنایدر هیدروگراف خروجی ناشی از ۵ واقعه رگباری از حوزه آبخیز تنگراه شبیه سازی گردید. سپس با ویژگیهای آبنمودهای محاسبه شده شامل دبی اوج، حجم رواناب، و زمان اوج با همین ویژگیها از آبنمودهای متناظر مشاهده شده، مورد مقایسه و تحلیل آماری قرار گرفتند. ارزیابی آماری تاثیر روشهای انتقال رواناب مذکور بر ویژگیهای آبنمودهای خروجی با آماره های متوسط خطای نسبی پیش بینی، شیب خط برازش، ضریب کارایی و متوسط جذر میانگین مربعات خطا در اکثر رویدادها منجر به نتایج برتری اشنایدر نسبت به روش SCS گردید. طبق نتایجی که بدست آمد مشخص شد که مدل می تواند با دقت قابل قبولی بعد از اصلاح و واسنجی پارامترهای تلفات اولیه، شماره منحنی، زمان تاخیر و ضریب اوج گیری مشخصه دبی اوج سیلاب را با خطای کمتر از ۵۰ درصد شبیه سازی کند.

واژه های کلیدی: هیدروگراف سیل، HEC-HMS، اشنایدر، SCS، تنگراه

برنامه ریزی برای مهار و مدیریت سیلابها و حفاظت از کیفیت و نیز بهره برداری مناسب از آنها مستلزم درک صحیح و دقیق از مدلسازی بارش-رواناب می باشد. مهمترین چالشی که مدل کننده ها با آن روبرو می باشند، انتخاب مدل بارش-روانابی است که بتواند گستره وسیعی از سیلابها را بطور صحیح شبیه سازی کند. میزان بار نزولی به رواناب و تلفات باران تقسیم می شود که برای روندیابی باران مازاد تا خروجی واحد هیدرولوژیک یک تابع انتقال بکار برده می شود. توابع انتقال می تواند از روش ساده هیدروگرافهای واحد تا دیگر فرمولهای پیچیده مانند موج کینماتیک یا معادلات سنت-ونان دسته بندی شوند. از آنجاییکه خصوصیات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه در برآورد آبنمود سیل توسط روشهای هیدروگراف واحد مصنوعی موثر می باشد. ارزیابی این روشها در مناطق مختلف با ویژگیهای متفاوت ضروری است. متخصصان منابع آب همواره در پی آن بوده اند که بتوانند معادله بین مقادیر بارندگی و رواناب را در حوزه های آبخیز و در شرایط مختلف زمانی و مکانی بیابند. در این رابطه تحقیقات زیادی صورت گرفته است. از جمله پرهت و صدقی (۱۳۷۸) با استفاده از مدل HEC-1 به ارزیابی روشهای هیدروگراف واحد مادکلارک و SCS در حوزه آبخیزی واقع در حوضه جنوبی زاگرس مرکزی پرداختند. مقایسه آبدهی شبیه سازی شده و مشاهده ای در روشهای مختلف نشان داد که روش SCS بهترین نتیجه را در بر داشته است. بهادری خسروشاهی (۱۳۷۰) در تحقیق خود در حوزه آبخیز رودخانه جاجرود با تیپ کوهستانی نتیجه گرفته است که بکارگیری هیدروگراف واحد اشنایدر در تعیین سیلابها در مقایسه با SCS و سایر موارد تجربی از هماهنگی مطلوبی برخوردار و قابل استفاده است. موسوی و همکاران (۱۳۷۷) نشان دادند روشهای هیدروگراف واحد مثلثی و SCS در ساخت هیدروگراف واحد در حوزه آبخیز زاینده رود دارای تطابق بهتری هستند. غیائی و روغنی (۱۳۸۵) به بررسی کارایی هیدروگراف واحد هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی و مقایسه آن با هیدروگرافهای مصنوعی اشنایدر، مثلثی و SCS در حوزه آبخیز کسلیان پرداختند. نتایج نشان داد بر اساس تحلیلهای آماری بین روشهای مختلف اختلاف قابل ملاحظه ای وجود نداشته است. برخوردار و همکاران (۱۳۸۵) در ارزیابی روشهای تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی در حوزه آبخیز سیخوران استان هرمزگان به این نتیجه رسیدند که روش اشنایدر در حوزه های آبخیز کوهستانی پرشیب و روش SCS در حوزه های آبخیز دشتی و کم شیب برآورد بهتری ارائه می دهد. خالقی و همکاران (۱۳۸۹) کارایی روشهای هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی را در برآورد دبی اوج سیلاب در حوزه آبخیز کسلیان بررسی کردند. بر طبق نتایج این تحقیق روش ژئومورفولوژیک نسبت به روش اشنایدر، SCS، مثلثی، Rosso و ژئومورفوکلیماتیک از کارایی بهتری برخوردار می باشد. قیتو (۱۹۹۱) در تحقیقی نشان داد که در حوضه های بزرگ دبی سیلابی حاصل از روش SCS به مقادیر مشاهده ای نزدیک تر است. رادمنش و همکاران (۱۳۸۵) در ارزیابی مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز رود زرد به مقایسه دبی های مشاهده ای و شبیه سازی شده در روشهای مختلف پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که روش SCS بهترین نتیجه را در برداشته است و میرمهدی و جهانگیر (۱۳۸۷) در حوزه آبخیز مارون به این نتیجه دست یافتند. کریک و ویلیام (۲۰۰۳) به بررسی جریانهای حوضه تامسون کریک در شرایط کنونی، برای آینده و قبل از گسترش شهر با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند. یکی از نتایج این تحقیق این بود که اگر چه ترجیح می دهند که این مدل واسنجی شود اما مدل های واسنجی نشده آن نیز می تواند در ارزیابی نتایج نسبی برای کاربریهای مختلف اراضی به کار برده شود. امرسون و همکاران (۲۰۰۳) به مدلسازی بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که سطوح ذخیره مقدار پیک جریان را برای واقعه رگبار کاهش می دهند. فودی و همکاران (۲۰۰۴) به منظور شناسایی مناطق حساس به سیل آبی در منطقه ای در غرب مصر از مدل HEC-HMS به منظور شبیه سازی سیلاب استفاده کردند، که منجر به شناسایی دو منطقه حساس شد.

مشایخی (۲۰۰۹) پس از تعیین مشخصه های بارندگی حوزه آبخیز نکارود و تهیه نقشه پوشش گیاهی آن با استفاده از روش SCS و مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS به شبیه سازی حوزه پرداخت. نتایج نشان دادند که با افزایش دوره باگشت سیلاب، تاثیر تغییر کاربری اراضی کاهش می یابد. تیموری و همکاران (۲۰۰۷) شبیه سازی دبی اوج هیدروگراف سیل با استفاده از روش توزیعی مادکلارک در حوزه آبخیز کسلیان انجام داد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان دهنده قابلیت بالای مدل HEC-HMS در شبیه سازی روش توزیعی دبی اوج سیل و کارایی نسبتا مناسب روش مذکور در حوضه مورد مطالعه بوده است.

شعبه و همکاران (۲۰۰۷) از نرم افزارهای HEC-HMS و HEC-RAS به منظور شبیه سازی جریان و بررسی احداث بند تنظیمی، در آبخیز تسنگون تایوان استفاده کردند. نتایج نشان داد که تاثیر احداث سازه بر خصوصیات جریان، در سطح $(P < 0/05)$ معنی دار بوده است. کریمی و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی روشهای مختلف شبیه سازی هیدروگراف سیلاب با استفاده از نرم افزار HEC-HMS در حوزه آبخیز چهل گزی پرداختند. مقایسه نتایج شبیه سازی شده و مشاهده ای هیدروگراف سیل با استفاده از دو آماره ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا نشان داد که روش SCS نسبت به روشهای کلارک و اشنایدر کارایی بهتری دارد. مرادنژادی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیق خود تحت عنوان بررسی هیدروگراف سیل با استفاده از مدل شبیه سازی بارش-رواناب در حوزه آبخیز ایوان نتیجه گرفتند که افزایش ارتفاع رواناب نشان دهنده تغییر بیشتر خاک، هدر رفتن آب قابل دسترس گیاهان و خطر ایجاد سیل در منطقه می باشد و با توجه به کاربری جنگل موجود در منطقه، خطر تغییر کاربری از جنگل به مرتع و در نتیجه افزایش سیلاب را در پی دارد. Kneble & etal (۲۰۰۵) مدل منطقه ای سیل را با استفاده از مدل HEC-HMS و HEC-RAS بررسی کردند. آنها در تبدیل بارش به رواناب از روش مادکلارک اصلاح شده بهره گرفته و پارامترهای حوضه مورد مطالعه را نیز به صورت دستی کالیبره کردند تا شبیه سازی خوبی از دبی ۱۲ زیر حوضه داشته باشند نتایج حاکی از دست یافتن به ابزاری مناسب برای پیش گویی هیدرولوژیکی منطقه ای در حوضه بود. محمودیان و همکاران (۲۰۰۲) برای تعیین هیدروگراف سیل در حوزه آبخیز رودخانه کروسیوند از مدل HEC-HMS استفاده نمودند. آنها برای تعیین تلفات بارش از روش شماره منحنی کمک گرفته و هیدروگراف حوضه با استفاده از روش هیدروگراف اشنایدر بدست آوردند. نتایج این معادله تایید کننده قابلیت های این مدل هیدرولوژیک در پیش بینی هیدروگراف بود.

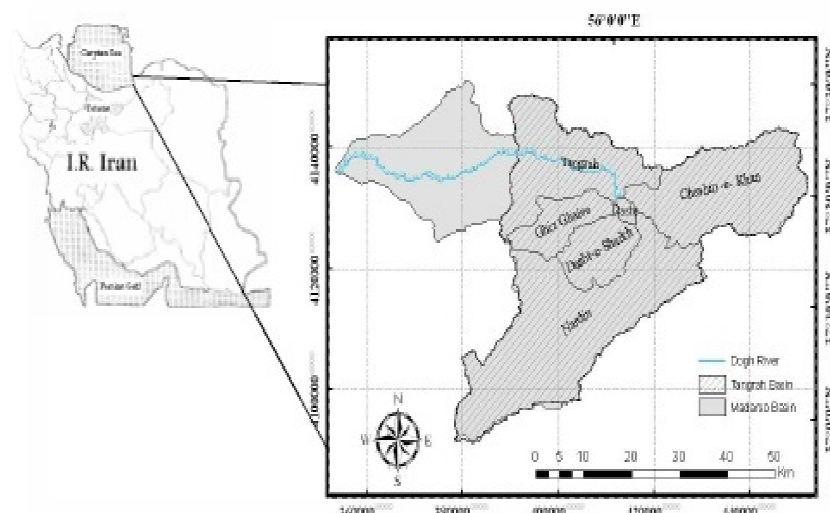
هدف از این تحقیق بررسی کارایی مدل HEC-HMS در شبیه سازی سیلاب و همچنین تعیین و مقایسه مشخصات آبنمودهای سیل شامل دبی اوج، حجم رواناب و زمان اوج با استفاده از دو روش هیدروگراف واحد مصنوعی SCS و اشنایدر در حوزه آبخیز تنگراه استان گلستان می باشد.

مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه:

حوزه آبریز تنگراه با مساحت تقریبی ۱۸۵ هزار هکتار بخشی از حوزه آبریز مادرسو می باشد که رواناب حاصل از این حوزه آبخیز از طریق رودخانه دوغ به دریاچه سد گلستان وارد می شود (شکل ۱). نوع اقلیم منطقه در طبقه بندی دوماترن، نیمه خشک می باشد. حوزه آبریز تنگراه به زیرحوضه های نردین، چشمه خان و تنگراه تقسیم می شود. پوشش گیاهی حوضه مادرسو در استان سمنان از نردین تا حوضه دشت مرتعی و بیابانی، در استان گلستان از تنگراه تا گرکز (پایین دست زیرحوضه تنگراه) جنگلی-زراعی و در استان

خراسان در زیرحوضه چشمه خان جنگلی و مرتعی است. تفاوت‌های زیادی از نظر شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی، زمین شناسی، فیزیوگرافی و ژئومورفولوژی بین زیرحوضه تنگراه با دیگر زیرحوضه‌های بالادست آن وجود دارد. این زیرحوضه که متأثر از جریان‌های مرطوب خزری است، از پوشش جنگلی متراکمی پوشیده شده و قسمت اعظم آن منطبق بر پارک حفاظت شده گلستان است. در حالیکه دیگر زیرحوضه‌ها به سبب حاکمیت شرایط اقلیمی خشک، شرایط مورفولوژی و سنگ شناسی و تخریب ناشی از فعالیت‌های انسان، دارای پوشش گیاهی فقیر یا سطوح لخت بدون گیاه می باشند. لذا از شرایط محیطی منحصر به فرد و حساسیت ویژه ای در برخورد با هر گونه تغییری در سیستم طبیعی برخوردار است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوضه مادرسو، تنگراه، رودخانه دوغ)

روند مدل‌سازی بارش رواناب در نرم افزار HEC-HMS

مدل HEC-HMS برای شبیه سازی بارش-رواناب، حوزه آبخیز را با مولفه های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می دهد. اجرای تمامی پروژه ها با ایجاد حداقل یک مدل حوضه، یک مدل هواشناسی و یک مشخصه کنترل امکان پذیر است. در مدل حوضه پس از معرفی المان های هیدرولوژیکی، در هر زیرحوضه سه بخش تلفات، رواناب مستقیم و آب پایه تعیین گردید. بدین ترتیب برای محاسبه میزان تلفات و آب پایه به ترتیب از روش شماره منحنی و روش خشکیدگی یا فروکش استفاده شد. مقدار رواناب مستقیم نیز بر اساس روش هیدروگراف مصنوعی SCS و اشنایدر مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. داده های هواشناسی با مولفه مدل هواشناسی تحلیل می شود و این مولفه شامل اطلاعات بارندگی و تبخیر-تعرق و ذوب برف است. با توجه به اینکه داده های بارش-رواناب انتخاب شده برای مدل به صورت رگبارهای کوتاه مدت است، لذا میزان تبخیر و تعرق در محدوده مطالعاتی نقش چندانی در شبیه سازی بارش-رواناب ندارد. همچنین سیلابهای انتخاب شده هیدروگراف تاج کامل دارند و با توجه به اینکه سیلابهای با تاج پهن نشان دهنده تاثیر ذوب برف می باشد، بنابراین به منظور ساده کردن مدل از مقدار تبخیر-تعرق و ذوب برف آن صرف نظر شده است.

مدل HEC-HMS با استفاده از هیدروگراف واحد ساعته و ارتفاع باران مازاد در هر فاصله زمانی که برابر با تداوم هیدروگراف می باشد به محاسبه هیدروگراف سیل می پردازد. به عبارتی هیدروگراف سیل از مجموع هیدروگرافهای ناشی از رگبارها با شدت متفاوت و زمان

تداوم هیدروگراف واحد با احتساب زمان تاخیر رگبارها نسبت به هم می باشد. رابطه خطی زیر معادله مورد استفاده توسط مدل HEC- HMS را بیان می دارد (گروه مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۰).

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq m} P_m$$

که در آن Q_n : دبی هیدروگراف سیل در زمان $t, \Delta n, P_m$: ارتفاع باران مازاد در فاصله زمانی $t \Delta n$ و $(m + 1)t \Delta$ ، و M : کل تعداد بارانهای مجزا و U_{n-m+1} : میزان دبی هیدروگراف واحد در زمان $(n - m + 1)t \Delta$.

هیدروگراف واحد SCS

هیدروگراف واحد SCS، بی بعد و تک اوجی می باشد. این هیدروگراف نسبت بین دبی های هیدروگراف واحد در هر زمان و دبی هیدروگراف واحد U_p ، در زمان رسیدن به اوج، T_p ، نشان می دهد. ارتباط بین این دو عامل در معادله زیر تعیین شده است.

$$U_p = c \frac{A}{T_p}$$

در معادله فوق، A : مساحت حوضه و C مقدار ثابتی است که در سیستم SI، ۲/۰۸ و در سیستم انگلیسی ۴۸۲ می باشد. زمان رسیدن به اوج هیدروگراف هم از معادله زیر بدست می آید:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

که در آن Δt : تداوم بارندگی مازاد و t_{lag} : زمان تاخیر حوضه است (گروه مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۰). سازمان حفاظت خاک آمریکا با توجه به خصوصیات فیزیوگرافی حوضه دسترسی به مقادیر اولیه بعضی از پارامترها را میسر نموده است. در این ارتباط معادله زیر بین زمان تمرکز و زمان تاخیر پیشنهاد شده است (مهدوی، ۱۳۸۱).

$$t_{lag} = 0/6 t_c$$

که در این رابطه t_c : زمان تمرکز و t_{lag} : زمان تاخیر حوضه می باشد. با توجه به اینکه مدل هیدروگراف واحد SCS در نرم افزار

HEC-HMS تنها پارامتر زمان تاخیر t_{lag} را به عنوان ورودی مدل می پذیرد. در این تحقیق با محاسبه زمان تمرکز به روش برانسی ویلیامز است.

مدل هیدروگراف واحد اشنایدر:

اشنایدر زمان تاخیر، دبی اوج و زمان پایه هیدروگراف را به عنوان مشخصات اصلی یک هیدروگراف معرفی کرد. وی یک هیدروگراف واحد استاندارد برای بارندگی با تداوم t_r ارائه داد که در آن زمان تاخیر t_{lag} با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود (گروه مهندسی ارتش آمریکا).

$$t_{lag} = 5/5 t_r$$

در هیدروگراف استاندارد اشنایدر، زمان تاخیر هر واحد بارش مازاد در واحد سطح حوزه آبخیز طبق معادله زیر محاسبه می شود که در آن U_p : دبی اوج هیدروگراف واحد استاندارد و A : مساحت حوزه آبخیز و C_p : ضریب اوج هیدروگراف واحد استاندارد و C : ثابت تبدیل (۲/۷۵ برای سیستم بین المللی و ۶۴۰ برای سیستم انگلیسی) است.

$$\frac{U_p}{A} = C \frac{C_p}{T_p}$$

واسنجی، تحلیل خطا و ارزیابی مدل

در این تحقیق از اطلاعات فیزیوگرافی حوزه آبخیز، بارندگی، سیلاب و تجزیه و تحلیل آنها استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا ۵ مورد هیدروگراف سیلاب مشاهده شده و هیتوگراف مولد آن انتخاب و داده های آنها از روی نمودار استخراج گردید. جهت شبیه سازی رواناب پارامترهای مورد نیاز ورودی از جمله شماره منحنی، تلفات اولیه، زمان تاخیر، ضریب اوج اشنایدر، زمان تمرکز، ضریب CN و سایر پارامترها آماده شد، بعد از پایان مرحله شبیه سازی جهت تعیین مقدار بهینه این پارامترها عملیات واسنجی مدل برای همه رویدادها بارش-رواناب انجام شد. طی فرایند واسنجی مدل، تصحیح مکرر پارامترها و محاسبه بهترین برازش بین هیدروگراف محاسبه شده و مشاهده شده تحت تابع هدف انحراف معیار وزنی دبی اوج انجام شد. کمترین مقدار تابع هدف، زمانی حاصل می شود که مقادیر پارامترهای به کار رفته در مدل، بهترین و نزدیکترین هیدروگراف را به هیدروگراف مشاهده شده تولید کند. در صورت مناسب بودن برازش، مقدار پارامتر به دست آمده از واسنجی مدل قابل قبول تشخیص داده شد در غیر این صورت عملیات شبیه سازی برای دستیابی به نتایج بهتر از سر گرفته شد. جدول شماره ۱ رویدادهای موردنظر جهت تجزیه و تحلیل را نشان می دهد.

ارزیابی کارایی نتایج

در این تحقیق به منظور بررسی و ارزیابی نتایج حاصل از شبیه سازی هیدروگراف سیل پس از بهینه سازی از دو آماره ضریب همبستگی (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید. فرمول کلی این دو آماره به ترتیب در روابط زیر نمایش داده شده است. در نهایت بهترین شبیه سازی متعلق به رگباری است که ماکزیمم کارایی را داشته باشد و یا مقدار RMSE کمتری را ارائه نماید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n}}$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sum (O_i - \bar{O})^2}}$$

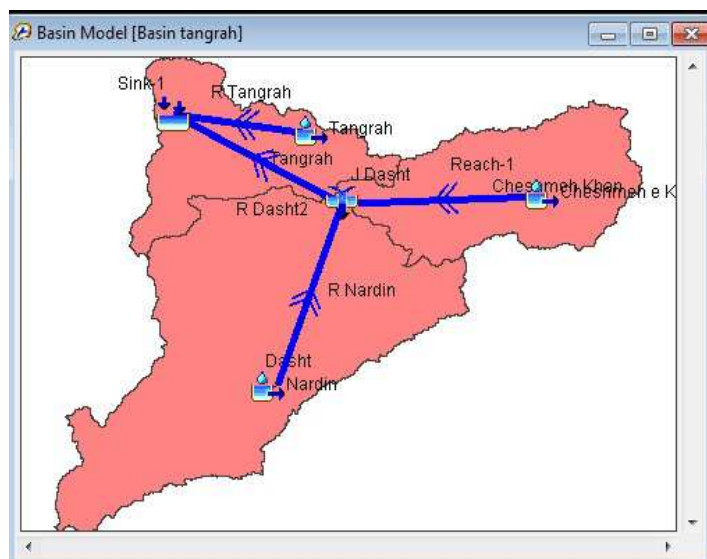
که در این معادلات O_i و P_i به ترتیب مقادیر مربوط به داده های مشاهداتی و شبیه سازی شده است و \bar{O} میانگین داده های مشاهداتی و n تعداد داده هاست.

در این تحقیق در نرم افزار HEC-HMS ۵ رویداد که داده های بارش آن در ایستگاه باران سنج ثابت پارک ملی گلستان ثبت شده بود به عنوان مقدار بارش تعریف شد. هیتوگراف بارش هر زیر حوزه به تفکیک محاسبه و به عنوان الگوی زمانی بارش متناظر انتخاب شد. سیل مشاهده ای متناظر نیز از ایستگاه هیدرومتری تنگراه برای واسنجی انتخاب گردید. هر چه مقدار ریشه میانگین مربعات خطا نزدیک به صفر، و ضریب کارایی و ضریب تبیین نزدیک به یک باشد، مدل دقت بالایی در شبیه سازی آبنمود سیلاب دارد.

روش کار بدین صورت است که پس از ورود پارامترهای حوزه آبخیز و انتخاب مدل SCS و شنایدر در نرم افزار HEC-HMS، سیلهای موردنظر شبیه سازی شد. بدین صورت که با تعریف پارامترهای تلفات اولیه، شماره منحنی و زمان تاخیر در محدوده مجاز، واسنجی پارامترها برای هر زیرحوضه به گونه ای بهینه گردید تا در نهایت سیل شبیه سازی شده، کمترین اختلاف را با سیل مشاهده ای داشته باشد. لازم به ذکر است در این تحقیق درصد خطای دبی اوج به عنوان تابع هدف واسنجی انتخاب شد. جهت کمینه کردن مقدار تابع هدف و یافتن مقادیر بهینه پارامترها از روشهایی که به روشهای جستجو معروف هستند، استفاده می شود.

نتایج و بحث

پس از تعریف و تهیه ساختار مدل بارش-رواناب به دو روش شنایدر و SCS در نرم افزار HEC-HMS، همانطور که بیان گردید، اقدام به واسنجی پارامترهای تلفات اولیه، شماره منحنی، زمان تاخیر و ضریب اوج گیری گردید. بدین منظور پنج رویداد انتخاب شد و مقادیر بارش با فواصل زمانی ۲۴ ساعته و رواناب مشاهده ای با فواصل زمانی یک ساعته وارد مدل شدند. از آنجا که خسارات ناشی از سیلاب مربوط به گذر آب در واحد زمان است، بنابراین هدف نیز باید کاهش دبی اوج سیلاب باشد تا بتوان خسارات مربوطه را کاهش داد. لذا درصد خطای دبی اوج به عنوان تابع هدف در مرحله واسنجی انتخاب گردید. با اعمال فرایند واسنجی و تابع درصد خطای اوج، پارامترهای تلفات اولیه، شماره منحنی، زمان تاخیر و ضریب اوج گیری بهینه شدند. با توجه به نتایج مشخص شد که تابع هدف انتخابی (درصد خطای دبی اوج) به خوبی توانسته است اختلاف بین مقادیر مشاهده ای و برآوردی را برای دبی اوج سیلاب به کمتر از ۳۰ درصد برساند. بطوریکه این خطا برای دبی اوج رویداد مورخ ۸۲/۳/۴ در روش شنایدر در کمتر از ۳۰ درصد است. بطوریکه درصد اختلاف حجم سیلاب در رویداد ۸۲/۳/۴ در روش شنایدر ۲۰/۷۲ درصد و دبی اوج برابر ۸/۲- درصد است و مقدار جذر میانگین مربعات خطا ۹/۲ و ضریب کارایی مدل ۰/۸۱ است که کارایی مدل را از جهت بهینه بودن پارامترها نشان می دهد. در تحقیقات خادمی (۱۳۹۵) به این نکته اشاره شده است که نتایج مدل با داده های ثبت شده با تطابق ۷۰ درصد نشان از کارایی مدل دارد که همسو با نتایج این تحقیق است. لذا این نتیجه نشان می دهد که در اکثر رویدادها مدل بارش-رواناب واسنجی شده روش شنایدر نسبت به SCS با دقت قابل قبولی توانسته است طی فرایند واسنجی، پارامترهای ورودی مدل را اصلاح کند. تحقیقات سمت و همکاران (۲۰۱۵) نیز اشاره به کارایی مدل مذکور در برنامه های مدیریت منابع آب دارد. پس از آنکه واسنجی پارامترهای تلفات اولیه، شماره منحنی، زمان تاخیر و ضریب اوج گیری انجام شد، به منظور تعیین میزان اعتبار و صحت مدل بارش-رواناب بهینه شده، از ضریب کارایی مدل یا ناش-ساتکلیف استفاده شد. با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که ضریب کارایی مدل برای رویدادهای مختلف در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به اینکه ضریب کارایی نزدیک به یک بیانگر دقت و صحت بالاتر مدل می باشد، بنابراین می توان نتیجه گرفت که مدل بارش-رواناب واسنجی شده حوزه آبخیز موردنظر کارایی لازم را دارا می باشد.



شکل ۲- شماتیک حوزه آبخیز تنگراه در نرم افزار HEC-HMS

جدول ۱- مشخصات سیلهای انتخابی در ایستگاه هیدرومتری تنگراه

ردیف	تاریخ وقوع سیل	دبی اوج (CMS)
۱	۷۸/۱/۱۹	۱۶/۸
۲	۸۲/۳/۴	۹۴/۸
۳	۸۳/۲/۱۶	۳۶/۵
۴	۸۳/۶/۲۸	۱۶/۹
۵	۸۵/۱/۱۹	۴/۱۷

جدول ۲- مقادیر اولیه و بهینه شده پارامترها در رویدادهای مختلف در نرم افزار HEC-HMS به روش SCS

مقادیر بهینه شده پارامتر			مقادیر اولیه پارامتر			زیر حوزه	تاریخ وقوع رگبار
زمان تاخیر (دقیقه)	شماره منحنی	تلفات اولیه (میلیمتر)	زمان تاخیر (دقیقه)	شماره منحنی	تلفات اولیه (میلیمتر)		
۱۰۸۰	۵۹/۹	۳۴	۱۰۸۰	۵۹/۹	۳۴	نردین	۷۸/۱/۱۹
۶۶۰	۵۵/۴۴	۴۰/۸۳	۶۶۰	۵۵/۴۴	۴۰/۸۳	چشمه خان	
۶۲۳/۹۸	۸۱/۷۱۴	۳۷/۳۵۴	۵۴۰	۵۴/۶۹	۴۲/۰۸	تنگراه	
۱۰۸۰	۷۷/۴۲	۱۴/۸۱	۱۰۸۰	۷۷/۴۲	۱۴/۸۱	نردین	۸۲/۳/۴
۶۶۰	۷۴/۱	۱۷/۷۵	۶۶۰	۷۴/۱	۱۷/۷۵	چشمه خان	
۵۴۰	۷۳/۵۲	۱۸/۲۹	۵۴۰	۷۳/۵۲	۱۸/۲۹	تنگراه	
۱۰۹۰/۲	۷۴/۳۵۴	۱۴/۹۳۸	۱۰۸۰	۷۷/۴۲	۱۴/۸۱	نردین	۸۳/۲/۱۶
۶۶۰	۷۴/۱	۱۷/۷۵	۶۶۰	۷۴/۱	۱۷/۷۵	چشمه خان	
۳۴۶/۲۸	۶۱/۹۶	۱۰/۸۰۸	۵۴۰	۷۳/۵۲	۱۸/۲۹	تنگراه	
۱۰۸۰	۵۹/۹	۳۴	۱۰۸۰	۵۹/۹	۳۴	نردین	۸۳/۶/۲۸
۶۶۰	۵۵/۴۴	۴۰/۸۳	۶۶۰	۵۵/۴۴	۴۰/۸۳	چشمه خان	

۵۶۰/۸۵	۴۲/۹۱۶	۴۲/۷۰۳	۵۴۰	۵۴/۶۹	۴۲/۰۸	تنگراه	
۱۰۸۰	۷۷/۴۲	۱۴/۸۱	۱۰۸۰	۷۷/۴۲	۱۴/۸۱	نردین	۸۵/۱/۱۹
۶۶۰	۷۴/۱	۱۷/۷۵	۶۶۰	۷۴/۱	۱۷/۷۵	چشمه خان	
۸۱۷/۸۳	۹۷/۷۹۸	۱۷/۷۹۹	۵۴۰	۷۳/۵۲	۱۸/۲۹	تنگراه	

جدول ۳- درصد اختلاف مشخصه های سیل مشاهده ای و شبیه سازی در مرحله واسنجی در نرم افزار HEC-HMS به روش SCS

تاریخ رویداد	پارامتر	مشاهده ای	شبیه سازی	اختلاف	درصد اختلاف	ضریب کارایی مدل	RMSE
۷۸/۱/۱۹	حجم (هزار مترمکعب)	۱۱۴۲/۶	۷۶۲/۱	-۳۸۰/۵	-۳۳/۳۰	-۰/۵۱۵	۵/۲
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۱۳/۴	۱۳/۵	۰	۰/۲		
۸۲/۳/۴	حجم (هزار مترمکعب)	۷۴۲۱/۸	۱۰۵۳۲/۸	۳۱۱۱	۴۱/۹۲	۰/۶۳۸	۱۲/۷
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۸۲/۲	۱۰۴/۹	۲۲/۷	۲۷/۷		
۸۳/۲/۱۶	حجم (هزار مترمکعب)	۱۷۰۸/۶	۱۷۲۱/۷	۱۳	۰/۷۶	۰/۹۴۳	۱/۸
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۲۹/۸	۳۱/۱	۱/۳	۴/۵		
۸۳/۶/۲۸	حجم (هزار مترمکعب)	۸۵۵/۹	۱۶۲۰/۱	۷۶۴/۲	۸۹/۲۸	-۱/۷۳۸	۵/۲
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۱۰/۶	۳۰/۲	۱۹/۶	۱۸۵/۵		
۸۵/۱/۱۹	حجم (هزار مترمکعب)	۲۴۳/۳	۸۵/۳	-۱۵۸	-۶۴/۹۳	۰/۰۵۹	۰/۶
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۲/۵	۱/۲	-۱/۳	-۵۰/۵		

جدول ۴- مقادیر اولیه و بهینه شده پارامترها در رویدادهای مختلف در نرم افزار HEC-HMS به روش آشنایدر

تاریخ وقوع رگبار	زیر حوزه	مقادیر اولیه پارامتر				مقادیر بهینه شده پارامتر			
		تلفات اولیه (میلیمتر)	شماره منحنی	زمان تاخیر (دقیقه)	ضریب اوج گیری	تلفات اولیه (میلیمتر)	شماره منحنی	زمان تاخیر (دقیقه)	ضریب اوج گیری
۷۸/۱/۱۹	نردین	۳۴	۵۹/۹	۱۸	۰/۵	۳۴	۵۹/۹	۱۸	۰/۵
	چشمه خان	۴۰/۸۳	۵۵/۴۴	۱۱	۰/۵	۴۰/۸۳	۵۵/۴۴	۱۱	۰/۵
	تنگراه		۵۴/۶۹	۹	۰/۵	۳۷/۷۸۶	۸۰/۹۱۳	۵/۸۵	۰/۵۰۲۴۷
۸۲/۳/۴	نردین	۱۴/۸۱	۷۷/۴۲	۱۸	۰/۵	۱۵/۰۱۷	۷۲/۸۶۷	۱۵/۸۷۶	۰/۴۸
	چشمه خان	۱۷/۷۵	۷۴/۱	۱۱	۰/۵	۱۶۰/۳۶	۷۸/۳۴	۷/۰۴	۱
	تنگراه	۱۸/۲۹	۷۳/۵۲	۹	۰/۵	۱۸/۴۹	۶۹/۱۹۶	۱۰/۱۴۳	۰/۵
۸۳/۲/۱۶	نردین	۱۴/۸۱	۷۷/۴۲	۱۸	۰/۵	۱۵/۰۰۳	۷۲/۸۶۷	۱۸	۰/۴۷
	چشمه خان	۱۷/۷۵	۷۴/۱	۱۱	۰/۵	۱۷/۷۵	۷۴/۱	۱۱	۰/۵
	تنگراه	۱۸/۲۹	۷۳/۵۲	۹	۰/۵	۱۷/۲۱۴	۷۴/۳۳۵	۵/۷۶۲۴	۰/۵۰۵۴۱
۸۳/۶/۲۸	نردین	۳۴	۵۹/۹	۱۸	۰/۵	۳۴	۵۹/۹	۱۸	۰/۵
	چشمه خان	۴۰/۸۳	۵۵/۴۴	۱۱	۰/۵	۴۰/۸۳	۵۵/۴۴	۱۱	۰/۵
	تنگراه	۴۲/۰۸	۵۴/۶۹	۹	۰/۵	۴۲/۶۴۳	۵۱/۴۷۴	۸/۸۲	۰/۱۴۸۱۵
۸۵/۱/۱۹	نردین	۱۴/۸۱	۷۷/۴۲	۱۸	۰/۵	۱۴/۸۱	۷۷/۴۲	۱۸	۰/۵

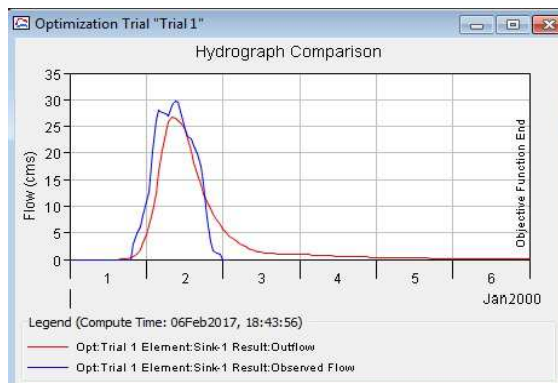
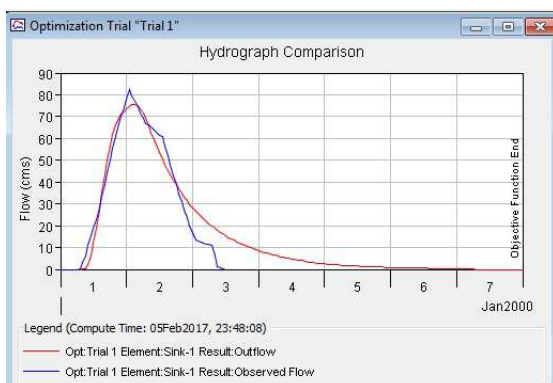
۰/۵	۱۱	۷۴/۱	۱۷/۷۵	۰/۵	۱۱	۷۴/۱	۱۷/۷۵	چشمه خان
۰/۵	۷/۷۷	۹۹	۱۷/۹۲۴	۰/۵	۹	۷۳/۵۲	۱۸/۲۹	تنگراه

جدول ۵- درصد اختلاف مشخصه های سیل مشاهده ای و شبیه سازی در مرحله واسنجی در نرم افزار HEC-HMS به روش اشنایدر

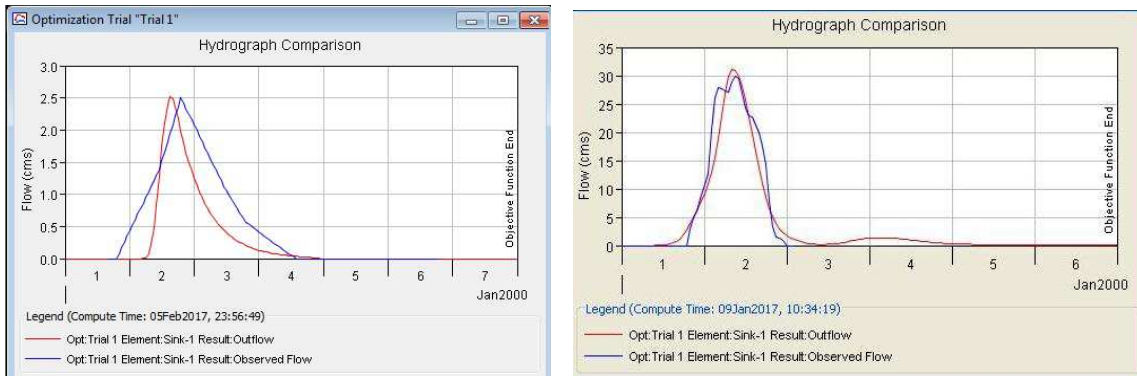
تاریخ رویداد	پارامتر	مشاهده ای	شبیه سازی	اختلاف	درصد اختلاف	ضریب کارایی مدل	RMSE
۷۸/۱/۱۹	حجم (هزار مترمکعب)	۱۱۴۲/۶	۶۸۲	-۴۶۰/۶	-۴۰/۳۱	-۰/۶۲۵	۵/۴
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۱۳/۴	۱۳/۴	۰	۰		
۸۲/۳/۴	حجم (هزار مترمکعب)	۴/۰۱	۴/۸۴	۰/۸۳	۲۰/۷۲	-۰/۸۱۱	۹/۲
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۸۲/۲	۷۵/۴	-۶/۷	-۸/۲		
۸۳/۲/۱۶	حجم (هزار مترمکعب)	۱۷۰۸/۶	۱۷۱۵/۹	۷/۳	۰/۴۳	۰/۸۸۲	۲/۶
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۲۹/۸	۲۶/۷	-۳/۱	-۱۰/۵		
۸۳/۶/۲۸	حجم (هزار مترمکعب)	۸۵۵/۹	۲۱۹۴/۳	۱۳۳۸/۴	۱۵۶/۳۷	۰/۴۱۸	۲/۱
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۱۰/۶	۹/۶	-۱	-۹/۶		
۸۵/۱/۱۹	حجم (هزار مترمکعب)	۲۴۳/۳	۱۴۶/۲	-۹۷/۱	-۳۹/۸۹	۰/۷۰۴	۰/۴
	دبی اوج (مترمکعب بر ثانیه)	۲/۵	۲/۵	۰	۰/۱		

جدول ۶- مقادیر مربوط به ارزیابی نتایج شبیه سازی در روشهای مختلف اشنایدر و SCS

تاریخ وقوع رگبار	روش مورد استفاده	ضریب کارایی	RMSE
۷۸/۱/۱۹	اشنایدر	-۰/۶۲۵	۵/۴
	SCS	-۰/۵۱۵	۵/۲
۸۲/۳/۴	اشنایدر	۰/۸۱۱	۹/۲
	SCS	۰/۶۳۸	۱۲/۷
۸۳/۲/۱۶	اشنایدر	۰/۸۸۲	۲/۶
	SCS	۰/۹۴۳	۱/۸
۸۳/۶/۲۸	اشنایدر	۰/۴۱۸	۲/۱
	SCS	-۱/۷۳۸	۵/۲
۸۵/۱/۱۹	اشنایدر	۰/۷۰۴	۰/۴
	SCS	۰/۰۵۹	۰/۶



شکل ۳- هیدروگراف مشاهده ای و شبیه سازی رویداد بعد از واسنجی رویدادهای ۸۳/۲/۱۶ و ۸۲/۳/۴ روش اشنایدر



شکل ۵- هیدروگراف مشاهده ای و شبیه سازی رویداد ۸۵/۱/۱۹

شکل ۴- هیدروگراف مشاهده ای و شبیه سازی رویداد ۸۳/۲/۱۶

بعد از واسنجی به روش اشنایدر

بعد از واسنجی به روش SCS

نتیجه گیری

با توجه به اینکه سیلاب به عنوان مهیب ترین بلای طبیعی در جهان محسوب می شود، شناخت هر چه بیشتر آن از نقطه نظر های مختلف هیدرومئتئولوژی و سیستم حوزه های آبخیز و تحلیل مدل های بارش-رواناب و تعیین پهنه های سیل گیر با توجه به شرایط هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوزه، نه تنها از نظر مالی و حقوقی، بلکه برای پیش بینی و کمک به سیستم های هشدار دهنده سیل راه گشا می باشد. برای پرداختن به بسیاری از مشکلات مرتبط با برنامه ریزی، طراحی و مدیریت مهندسی هیدرولوژیکی، یک دانش دقیق از خصوصیات سیل مانند دبی اوج، حجم و زمان لازم است. تجزیه و تحلیل فراوانی سیل اغلب بر روی مقادیر دبی اوج سیل تمرکز دارد و یک ارزیابی محدود از وقایع سیل فراهم می کند (موری و همکاران، ۲۰۱۳).

در این تحقیق نیز بر اساس تابع هدف درصد خطای دبی اوج، یک ارزیابی از کارایی روش اشنایدر و SCS در مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز تنگراه انجام شد. طبق نتایجی که بدست آمد مشخص شد که مدل می تواند با دقت قابل قبولی بعد از اصلاح و واسنجی پارامترهای تلفات اولیه، شماره منحنی، زمان تاخیر و ضریب اوج گیری مشخصه دبی اوج سیلاب را با خطای کمتر از ۵۰ درصد شبیه سازی کند.

با توجه به پیچیدگی های متغیر های تاثیرگذار در فرایند شبیه سازی رواناب به نظر میرسد تهیه و توسعه مدل های مربوط بر اساس استنتاج و استخراج داده های بارش و عوامل درون حوزه ای نیازمند دقت بیشتری است. از طرفی بایستی مقادیر بهینه پارامترهای مدل حوزه آبخیز به خوبی و برای رویدادهای بیشتری واسنجی و اعتبارسنجی شود. در این تحقیق به دلیل محدودیت در ثبت همزمان سیل مشاهده ای و بارش متناظر، تنها از چند رویداد محدود بهره گرفته شد. اما در مورد تهیه مدل بارش-رواناب با دو روش مشخص شد که روش اشنایدر در برآورد دبی اوج و پارامترهای زمانی توانسته دقت بالایی داشته باشد. با توجه به اینکه خسارات سیل با افزایش دبی اوج رابطه مستقیمی دارند، بنابراین می توان با شبیه سازی این مدل در مقیاس های کوچکتر، علاوه بر افزایش دقت و صحت مدل، برنامه های حفاظتی در سرشاخه ها و همچنین برنامه های مهندسی رودخانه را با درجه اطمینان بیشتری پیاده کرد.

پیشنهادات:

با توجه به اهمیت بسیار بالای مدل سازی خصوصیات هیدرولوژیکی حوزه های آبخیز، پیشنهاد می شود نتایج مدل های تجربی با روش های مبتنی بر هوش مصنوعی نظیر شبکه عصبی در ترکیب با منطق فازی و تکنیک های مبتنی بر الگوریتم مقایسه گردند تا فرایند مدل سازی هیدرولوژیکی شفافیت بیشتری داشته باشند.

نظر به تغییر پذیری زیاد تلفات اولیه و شماره منحنی در ماهها و فصول مختلف، پیشنهاد می شود تحقیقی در مقیاس کوچکتر حوزه آبخیز انجام گیرد تا با توجه به تغییرات این دو پارامتر، مشخصه های هیدروگراف شبیه سازی شود.

منابع

- ۱- برخورداری، ج. تلوری، ع. غیائی، ن. و رستگار، ح. ۱۳۸۵. بررسی قابلیت بکارگیری و ارزیابی روش های تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی در برآورد سیلاب در حوزه آبخیز سیخوران استان هرمزگان. مجله پژوهش و سازندگی. ۷۱: ۶۵-۵۷.
- ۲- بهادری خسروشاهی، ف. ۱۳۷۰. بررسی قابلیت به کارگیری هیدروگراف واحد در تعیین سیلابها. مجموعه مقالات اولین کنفرانس هیدرولوژی ایران. مهاب قدس، تهران. ص ۲۹۹-۲۰۶.
- ۳- پرهمت، ج. صدقی، ح.، ۱۳۷۸. واسنجی و ارزیابی مدل HEC-1 در زیر حوضه بازفت در کارون، اولین همایش منطقه ای بیلان آب، اهواز، صص ۱۴۳-۱۳۳.
- ۴- تیموری، مهدی، حبیب نژاد روشن، محمود، قنبرپور، محمدرضا، عباسی، علی اکبر. ۲۰۰۷. شبیه سازی دبی اوج هیدروگراف سیل با استفاده از روش توزیعی مادکلارک. پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، شماره ۱، ۵ volume صفحات ۴۲-۲۹.
- ۵- خادمی، مریم. ۱۳۹۵. تعیین حداکثر سیل محتمل و ارزیابی دوره بازگشت های متناظر با آن (مطالعه موردی: زیرحوضه های آبخیز زاینده رود)، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اردکان، دانشکده منابع طبیعی و آبخیزداری.
- ۶- خالقی، م. ر. قدوسی، ج. احمدی، ح. و کامیار، م. ۱۳۸۹. بررسی کارایی و شهای هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی در برآورد دبی اوج سیلاب. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی. ۵ (۲): ص ۱۰۰-۸۹.
- ۷- رادمنش، ف. پرهمت، ج. بهنیا، ع. و آخوند علی، ع. ۱۳۸۵. واسنجی و ارزیابی مدل HEC-HMS در حوزه آبخیز رود زرد، هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۸- علیزاده، امین. ۱۳۸۳. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ هفدهم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۹- غیائی، ن. و روغنی، م. ۱۳۸۵. کارائی هیدروگراف واحد لحظه ای ژئومورفولوژی و مقایسه آن با هیدروگراف های مصنوعی اشنایدر، مثلثی و SCS در حوزه آبخیز کسلیان. مجله پژوهش و سازندگی. ۷۰: ۳۲-۲۳.
- ۱۰- کریمی، م. ملکی نژاد، ح. عبقری، ه. و عزیزیان، م. ص. (۱۳۹۰). ارزیابی روش های مختلف شبیه سازی هیدروگراف سیل با استفاده از نرم افزار HEC-HMS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز چهل گزی). مجله پژوهش آب ایران. ۵ (۹): ص ۳۸-۲۹.

- ۱۱- مرادنژادی، م. کریمی، ک. نخعی نژادفرد، س. خسروی، ح. و جور غلامی، م. (۱۳۹۳). بررسی هیدروگراف سیل با استفاده از مدل شبیه سازی بارش-رواناب در حوزه آبخیز ایوان. مجله پژوهشهای آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، (۱۰۳): ص ۵۲-۶۰.
- ۱۲- مهدوی، محمد. ۱۳۸۱. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. چاپ سوم.
- ۱۳- موسوی، س. ف. نکوئی مهر، م. و مهدوی. م. ۱۳۷۷. بررسی و آزمون تطابق هیدروگرافهای واحد مصنوعی و طبیعی در حوزه آبخیز سد زاینده رود (زیرحوضه پلاسجان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲ (۲): ۹۳-۱۰۵.
- ۱۴- میرمهدی، م. و جهانگیر، ع. ۱۳۸۷. واسنجی مدل راضی HEC-HMS و ارزیابی این مدل در پاسخگویی به سیلاب حوزه آبریز مارون، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
- 15-Creek, W. and Williams, P. 2003. Hydromodification Management Plan, Draft Report. Chapter 4-6. Berkeley College. USA.
- 16-Emerson, C.H. Welty, C. and Traver, R. G. 2003. Application of HEC-HMS to model the additive effects of Multiple detention basins over a range of Measured Storm volumes. Civil Engineering Database. Part of World Water & Environmental Resources Congress 2003 and Related Symposia.
- 17-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.
- 18-Ghitoto, R. D. 1991. Runoff Hydrograph Computation method. A Designer Course at Clarion Palaz hotel.
- 19-H. Q. Rientjes, T and Maathuis, B. 2006. Geomorphologic Instantaneous Unit Hydrograph. Nguyen.
- 20-Kneble, M. R., Z. L. Yang, K. Hutchison and D. R. Maidment. " 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." Jou"nal of Environmental Management 75, no. 325-336: (2005) 4.
- 21-Mahmoodian Shoshtari, M. Majdzade Tabatabaei M and Yusefi A. 2002. Investigation and application HEC-HMS model in River Engineering Case Study: Kar and Sivend Rivers in Shiraz University of Ahvaz. In Iran. Page 1061-1068.
- 22-Mashayekhi, Z. Panahi, M. Khalighi, SH. Khoshsolat, M. and Bakhtiari F. (2010). Effect of Forest Covers on Water Conservation and Surface Runoff Reduction in Bazoft River basin.
- 23-Mouri, G., Minoshima, D., Golosov, V., Chalov, S., Yoshimura, K., Nakamura, S. and Oki. T. 2013. Probability assessment of Flood and Sediment Disasters in Japan using the Total Runoff-Integrating Pathways model. International oural of Disaster Risk Reduction, 3: 31-43.
- 24-Shieh, Ch. L. Guh, Y. R. and Wang Sh. O. 2007. The application of Range of Variability Approach to the Assessment of a Check dam on Riverine habitat alteration. Environ Geol. 52: 427-435.
- 25-US Army Corps of Engineers, 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Refrence Manual, USA.