جغرافیا و توسعه شمارهٔ ۵۳ زمستان ۱۳۹۷
وصول مقاله: ۹۶/۰۹/۰۵
تأیید نهایی: ۹۶/۱۲/۰۱
صفحات : ۱۹۴- ۱۷۵

شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب با مدل هیدرولوژیک HEC-HMS و پیش‌بینی دوره بازگشت در حوضه روانسرِ کرمانشاه

دکتر زهرا رحیم‌زاده[1]*، مینا حبیبی[2]

چکیده

از معتبرترین مدل‌های هیدرولوژیکی جهت برآورد بارش-رواناب حوضه‌های آبریز، مدل HEC-HMS است که برای برآورد حجم و دبی سیلاب‌ها کاربرد فراوانی دارد. در این پژوهش به کمک قابلیت‌های این مدل و با آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و آب سنجی حوضه آبریز روانسر در دوره زمانی ۱۸ ساله از ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۶ اقدام به برآورد و شبیه‌سازی فرآیند بارش – رواناب سیلاب‌های حوضه گردید. در ادامه به کمک نرم‌افزار Hyfa دوره بازگشت حداکثر دبی سیلاب لحظه‌ای محاسبه شد. برای مدل‌سازی پنج واقعه بارش- رواناب انتخاب شد. درفرآیند محاسبات مدل، جهت محاسبه ی تلفات رواناب حوضه، از روش شبکه‌ای SCS، جهت تبدیل فرآیند بارش مازاد به جریان سطحی، از روش هیدروگراف واحد SCS و از مدل ثابت ماهانه برای محاسبه جریان پایه و برای روندیابی سیلاب در مقاطع مختلف رودخانه از روش روندیابی هیدرولوژیکی ماسکینگام استفاده شد. در بخش مدل هواشناسی برای تحلیل داده‌های بارندگی از روش هیتوگراف سفارشی و برای داده‌های تبخیر و تعرق از میانگین ماهانه آن بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که داده‌های محاسباتی اختلاف فاحشی با داده‌های مشاهداتی دارند. به همین دلیل با استفاده از تابع هدف درصد خطای دبی اوج پارامترهای متغییر مدل مورد واسنجی قرار گرفت. پس از واسنجی، نتایج هیدروگراف‌های محاسباتی انطباق حداکثری با هیدروگراف‌های مشاهداتی نشان دادند. برای بررسی صحت این نتایج، مدل به کمک سه واقعه بارش جدید، اعتباریابی شد.

نتایج حاصله از اعتباریابی،صحت پارامترهای واسنجی شده را تایید کرد. این مدل با میانگین خطای ۰/۷ درصد در برآورد دبی اوج و با میانیگن خطای ۳/۳۳- در محاسبه حجم سیلاب در حوضه قابلیت اجرایی را دارد. نتایج در قسمت نرم‌افزار hyfa نیزنشان داد توزیع گامای ۲ پارامتری با حداقل خطا محاسباتی، مناسب‌ترین توزیع آماری است که داده‌ها با آن برازش شدند و همچنین کمترین خطای پیش‌بینی دوره بازگشت حداکثر دبی سیلاب لحظه‌ای مربوط به دوره بازگشت ۲ سال است، با طولانی‌تر شدن زمان دوره‌های بازگشت، درصد خطاها نیز افزایش می‌یابد. در مجموع این مدل پس از کالیبراسیون متغیرها، قابلیت زیادی در شبیه‌سازی رفتارهای هیدرولوژیک حوضهٔ آبریز روانسر را دارد.

واژه‌های کلیدی: سیلاب. بارش- رواناب. پیش‌بینی، HEC-HMS، hyfa

۱- استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فرهنگیان. پردیس نسیبه تهران *
۲- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه آزاد واحد اردبیل
Zahrah.rahimzadeh@cfu.ac.ir

مقدمه

سیل رویدادی طبیعی است که جوامع بشری آن را به عنوان بخشی از وقایع اجتناب‌ناپذیر زمین پذیرفته‌اند و بدون تردید فاجعه بارترین حادثه طبیعی است. شاید در نگاه نخست، ابعاد حوادثی از قبیل زلزله و یا آتشفشان، وسیع‌تر از حوادث دیگر طبیعی به نظر آید، ولی آمارها حاکی از آن است که سیلاب چه از نظر تلفات جانی و چه از نظر تلفات مالی مقام اول را در میان حوادث طبیعی دارد *(آذری و همکاران؛ ۱۳۸۸: ۴۰)*. گزارش دفتر سازمان ملل متحد در ۲۳ نوامبر ۲۰۱۵ که برای کاهش خطر بروز حوادث (UNISDR) منتشر کرده است، نشان می‌دهد که در طول ۲۰ سال گذشته ۹۰ درصد از بلایای طبیعی مربوط به آب و هوا است و سیل ۴۷ درصد از این بلایای طبیعی آب و هوایی را از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۵ به خود اختصاص داده و توانسته بر زندگی جمعیت ۲/۳ میلیارد جهان تأثیر و باعث مرگ ۱۵۷ هزار نفر شود *(UNNews Center, 2015: 1)*. تبعات سیل در عمل محدود به خسارات اولیه آن نبوده و عواقب بعدی آن، گاهاً بسیار جدی‌تر است. از جمله شیوع انواع بیماری‌ها، بی خانمانی مردم، از دست دادن شغل و گسترش بیکاری و به تعویق افتادن پروژه‌های عمرانی. همین امر سبب توجه زیاد کارشناسان به مطالعات خاص در زمینه سیلاب‌ها، راههای کاهش خطرات و تلفات آن و پیش‌بینی احتمالِ وقوع دوبارهٔ آن شده است. هشدار و پیش‌بینی می‌تواند به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های غیر سازه‌ای مدیریت سیلاب در کاهش خطرات و خسارات ناشی از آن مطرح شود *(آذری و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۹)*. به طوریکه سیستم‌های هشدار و پیش‌بینی سیل در کشور سیل خیز بنگلادش، سبب کاهش ۹۹ درصدی تلفات جانی بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۷ در این کشور شده است. لذا هشدار سیل برای مدیریت بحران و کاهش خسارات جانی و مالی به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌های غیر سازه‌های مدیریت سیلاب مطرح می‌باشد *(محمدی و همکاران، ۱۳۸۵: ۹۴)*.

در طی چند دههٔ اخیر استفاده از مدل‌های شبیه ساز بارش- رواناب، برای پیش‌بینی سیل مورد توجه محققان حوزه حفاظت آب و خاک قرار گرفت و این امر سبب شد تا نرم‌افزارهای متفاوتی جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب ساخته شود. یکی از مدل‌های موفق در این زمینه، نرم‌افزار HEC-HMS است. این نرم‌افزار توسعه یافتهٔ مدل‌های قبلی است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا ارائه شده و بر پایه روابط هیدرولوژیکی تعریف شده از سوی سرویس حفاظت خاک آمریکا (SCS) قادر است فرایند بارش- رواناب را به خوبی تحلیل کند *(مرادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۲۶)*. این مدل به سبب پاسخگویی مناسب و قابلیت اصلاح پارامترهای آن، توسط محققین درحوضه‌های مختلف جهان اجرا شده و هم اکنون در مباحث هیدرولوژیکی استفاده فراوانی دارد. در طی دهه گذشته از بین مطالعات تلفیقی که در زمینهٔ مدل‌های هیدرولوژیکی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ایران و جهان انجام گرفته، می‌توان به مطالعهٔ کافله[1] و همکارانش در سال ۲۰۰۷ اشاره کرد که با بکارگیری نرم‌افزار HEC-HMS اثر بارش در تولید رواناب حوضه بگماتی را بررسی کردند. بعد از شبیه‌سازی و واسنجی مدل به این نتیجه رسیدند که پیک سیلاب شبیه‌سازی شده به مقدار مشاهداتی آن بسیار نزدیک است. گارسیا[2] و همکارانش در سال ۲۰۰۸ به ارزیابی منابع آب سطحی در حوضه‌های با تعداد ایستگاه کم در شمال حوضه مورد مطالعه اسپانیا پرداختند. در واقع از مدل HEC-HMS برای تخمین مقدار آب قابل دسترس

1-Kafle
2-Garcia

استفاده شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که داده‌های حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل و داده‌های ثبت شده تفاوتی چندانی با هم ندارند. رازی[1] و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در مطالعات برآورد سیل با استفاده از سیستم مدلHEC-HMS بر روی رودخانه جوهور مالزی بر اساس بررسی‌های ۱۰ ساله (۱۹۹۶-۲۰۰۶) سیلاب‌های ثبت شده به این نتیجه رسیدند که مقدار خطا در اندازه دبی اوج سیلاب شبیه‌سازی شده با روش SCS و مشاهده شده برابر با ۴ درصد می‌باشد و پیشنهاد نمودند که HMS-HEC می‌تواند به عنوان ابزاری برای برآورد دبی اوج استفاده شود. علی محمد[2] و همکارانش در سال ۲۰۱۱ برای بررسی میزان تاثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب سطحی در حوضه لینولاه در پاکستان از مدل بارش رواناب -HEC HMS استفاده کردند. بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای ۲ واقعه بارندگی در محدودهٔ مطالعه شده، مدل را برای سناریوهای مختلف استفاده از زمین در آینده واسنجی کردند. در نهایت نتایج نشان دهنده این امر بود که در آینده با تغییر کاربری اراضی، رواناب کل بین۵۱/۶ تا ۱۰۰ افزایش می‌یابد. کیببر[3] و همکارانش در سال۲۰۰۷ اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه کلانج را در غرب مالزی بررسی کردند و از مدل SDSM برای ریزمقیاس سازی و از مدل بارش-رواناب HEC-HMS برای شبیه‌سازی رواناب حوضه تا پایان قرن۲۱ استفاده کردند.

در ایران نیز در طی دههٔ گذشته تحقیقاتی در مورد قابلیت‌های مدل HEC-HMS انجام گرفته است. در سال ۱۳۸۹ جهاندیده و همکارانش برای پیش‌بینی سیلاب حاصل از بارش حوضه آبریز قره‌سو از مدل WMS/HEC-HMS استفاده کردند. نتایج، نشان از برازش مناسب دبی اوج هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده داشت و اختلاف زمانی در رسیدن به اوج نیز مساوی و یا کمتر از ۹۰ دقیقه برآورد شد. بهمنی و همکارانش در سال ۱۳۹۰ به کمک مدل‌های هیدرولوژیکی پیش‌بینی سیلاب حوضه زردرود استان خوزستان را انجام دادند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که پیش‌بینی بدست آمده از این مدل برای دبی پیک حوضه از دقت بالایی برخوردار بوده و با دبی پیک مشاهده‌ای تطابق کامل دارد. در سال ۱۳۹۰ کریمی و همکارانش به مطالعه ارزیابی توانایی مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در حوضه آبخیز لیقوان پرداختند. نتایج مدل نشان از اختلاف کمتر از ۱۰ درصدی داده‌های پیش بینی زمان وقوع و اندازه حداکثر سیلاب مشاهداتی با نتایج محاسباتی بود، لذا می‌توان به نتایج به دست آمده اطمینان کامل کرد و از آنها برای پیش بینی سیلاب‌های احتمالی بهره جست. شکری کوچک و همکارانش در سال ۱۳۹۰ در مقاله‌ای با عنوان تخمین آبنمود سیلاب حوضه آبخیز بااستفاده از مدل HEC-HMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی به پیش‌بینی سیلاب درحوضه آبریز ایدنک پرداختند. آنها دریافتند که استفاده از مدل بدون واسنجی غیرقابل اعتماد است و بایستی پارامتر CN کالیبره شود. هم چنین نتایج مدل واسنجی شده دلالت بر کارایی آن در برآورد رواناب و دبی اوج سیلاب دارد . در سال ۱۳۹۱جهانبخش و همکارانش با استفاده از مدل HMS-HEC و سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی (GIS) به شبیه‌سازی سیلاب در حوضهٔ تمر پرداختند. نتایج میزان هیدروگراف خروجی رویداد پس از مدل‌سازی با خطای کمتر ۱۵ درصد قابل قبول بود. در سال ۱۳۹۲ پورحسین قادری و همکار در حوضهٔ آبریز رودخانه نازلو چای ارومیه با استفاده از نرم‌افزار (WMS7.1) و مدل هیدرولوژیکی (HEC-HMS) مدل‌سازی سیلاب را انجام دادند. نتایج

1 -Razi
2-Ali Mohammd
3-Kibber

نشان‌دهنده تطابق خوب و مناسب مدل بارش-رواناب با نتایج مشاهداتی و تحلیل‌های آماری ایستگاه‌های هیدرومتری بوده و از دقت قابل قبولی در تخمین هیدروگراف سیل دارد. حسینی و همکاران در سال ۱۳۹۴ پژوهشی با عنوان پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS را انجام دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل HEC-HMS دارای کارآیی بالایی در شبیه‌سازی رواناب روزانه طی دوره ترسالی و همچنین در حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های کمتر از ۳۰۰ سال را دارد. لذا به خوبی می‌توان از این مدل هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی رواناب روزانه و حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های کوچک در حوضه موردمطالعه استفاده نمود. مزیدی و همکار در سال ۱۳۹۴ در پژوهشی به شبیه‌سازی بارش- رواناب و تخمین سیل در حوضهٔ آبریز خرم آباد با مدل HEC–HMS پرداختند. آنها دریافتند که می‌توان به کمک این مدل، رواناب حوضه را با دقت بالا پیش‌بینی نمود. حصادی و همکاران در سال۱۳۹۵ به بررسی سیلاب حوضه ناودار به وسیله مدل هیدرولوژیکیHEC-HMS در استان کرمانشاه پرداختند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی چهار واقعه و مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و کالیبره شده نشان داد که مدل با همبستگی بیش از ۳۹ درصد در محاسبه حجم و بیش از ۳۱ درصد در محاسبه دبی، می‌تواند در شبیه‌سازی بارش رواناب حوضه با دقت بالایی عمل کند. حسین زاده و همکار در سال ۱۳۹۵ در پژوهشی با عنوان مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز قوچک-رودک با استفاده از مدل به این نتیجه رسید که نتایج مدل حوضه مورد مطالعه از کارایی بالایی برخوردار نیست زیرا اختلاف بین دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی بیش از ۲۰ درصد است.

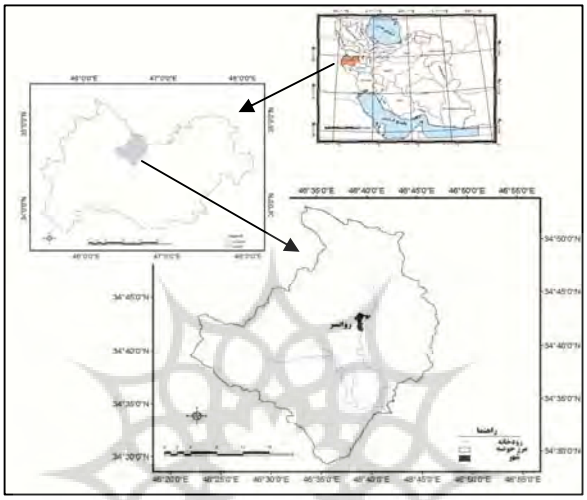
بر اساس بررسی‌های آماری حدود ۷۰ درصد از خسارات بلایای طبیعی در ایران، ناشی از سیلاب‌ها است *(مهدی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۷)*. استان کرمانشاه به دلیل قرارگیری در جبهه غربی کوهستان زاگرس و دریافت میانگین ۴۵۰ میلیمتر بارش سالانه، شرایط مساعدی برای وقوع سیلاب‌های فصلی را داراست. در اثر آبگرفتگی مناطق مسکونی و تاسیسات و اراضی کشاورزیِ واقع در پایین دست حوضه‌ها، خسارات مالی و تلفات جانی استان را تهدید می‌کند. حوضه آبریز روانسر با مساحتی حدود ۱۱۰۳/۰۵کیلومترمربع یکی از سرشاخه‌های مهم رودخانه قره‌سو است که در پایین دست آن به ویژه در دوره‌های بارندگی بهاره، به علت حجم زیاد جریان و عدم گنجایش کافی بستر فعلی رودخانه، دچار سیلاب‌های متعددی می‌گردد. مؤید این امر آثار و خسارات سالیانه به جای مانده سیلاب‌ها در سطح حوضه می‌باشد. با توجه به این شواهد و پتانسیل بالای این حوضه در ایجاد سیلابِ مناطق پایین دست، وضعیت سیل خیزی حوضه آبریز روانسر برای مطالعه انتخاب شده است. هدف از این تحقیق شبیه‌سازی مدل رواناب- بارش و پیش‌بینی دوره‌های بازگشت سیلاب‌های مخرب و شدید به کمک مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و نرم‌افزار Hyfa در حوضه مورد مطالعه است.

روش کار

الف- معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه آبریز روانسر بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹َ ۳۴° تا ۵۳َ ۳۴° و طول‌های جغرافیای ۲۱َ ۴۶° تا ۵۶َ ۴۶° با مساحتی بالغ بر ۱۱۰۳/۰۵ کیلومترمربع (جدول۱) در شمال استان کرمانشاه قرار گرفته است(شکل ۱). حوضه روانسر یکی از زیر حوضه‌های اصلی رودخانه قره‌سو است که در ادامه مسیر به

رودخانه گاماسیاب و سپس به کرخه می‌ریزد. زهکش اصلی حوضه روانسر رودخانه‌ای است با همین نام که از کوههای شاهو سرچشمه گرفته و پس از گذشتن از منطقه روانسر به رودخانه قره‌سو می‌ریزد. این حوضه جزئی از ناهمواری‌های زاگرس مرتفع است. بلندترین و پست‌ترین نقاط ارتفاعی این حوضه به ترتیب ۲۷۷۵ و ۱۳۵۰ متر می‌باشد. متوسط شیب حوضه ۱۴/۴۷٪ درصد و طول اصلی‌ترین زهکش حوضه۵۸/۴۰۷ کیلومتر است

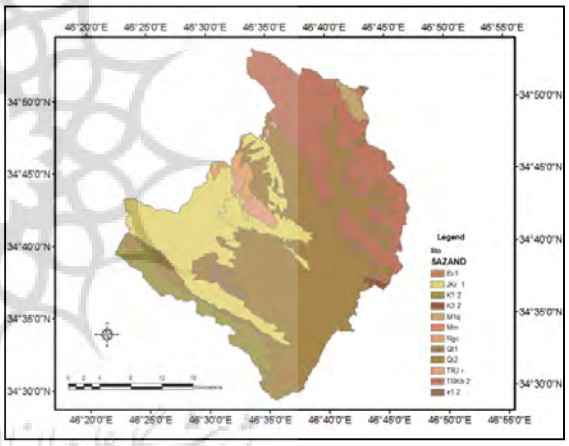


شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز روانسر در کرمانشاه و ایران

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۱

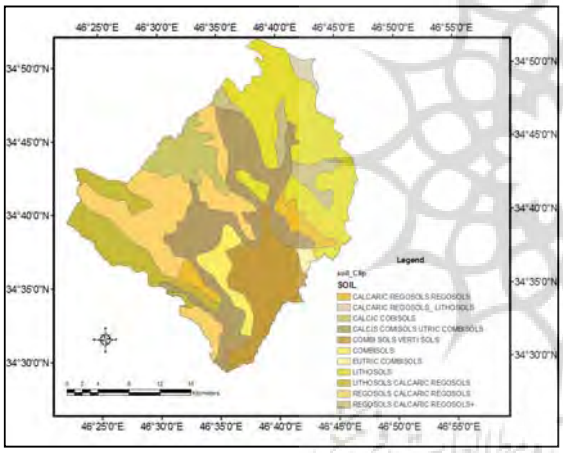
قرارگیری حوضه بر دامنه‌های غربی زاگرس سبب شده است تا قسمت اعظمی از بارش جبهه‌ها و جریانات باران زای غربی (دریای مدیترانه و دریای سیاه) را دریافت کند. میانگین بارندگی حوضه نیز با در نظر گرفتن دوره آماری ۱۰ ساله ۱۳۸۵ تا ۱۳۷۵ و با استفاده از آمار ایستگاه‌های بارانسنجی سازمان هواشناسی واقع در حوضه، حدود ۴۵۰ میلیمتر است *(چامه، ۱۳۸۸: ۲۴)*. از نظر زمین‌شناسی و لیتولوژی بخش عمده‌ای از حوضه آبریز روانسر به آبرفت (Qt2) اختصاص دارد که منطقه وسیعی از مرکز و جنوب حوضه را به خود اختصاص داده است. رادیولاریت‌ها نواحی غرب حوضه را شامل می‌شوند که زبانه‌هایی از آن به سمت مرکز و جنوب حوضه کشیده شده است. آهک بیستون تقریبا قسمت‌های شمال، شمال شرق و شرق حوضه را به خود اختصاص داده است که مربوط به کارست رسیده با درز و شکاف فراوان و گسترش و ضخامت زیاد می‌باشد. ماسه- مارن- فلیش و لیمستون به ترتیب در نواحی کوچکی از شمال غربی و شرق حوضه قرار دارند (شکل۲). طبق استانداردهای خاک‌شناسی، حوضه آبریز روانسر شامل پنج تیپ اراضی است شامل: الف- تیپ اراضی کوهستان ب- تیپ اراضی تپه‌ها ج- تیپ اراضی دشت‌های دامنه‌ای د- تیپ اراضی دشت‌های آبرفتی رودخانه‌ای ه- تیپ اراضی واریزه‌ای بادبزنی شکل سنگریزه‌دار (شکل۳). بر اساس بافت خاک و نفوذ پذیری آن می‌توان خاک حوضه را به چهار گروه هیدرولوژیکیA، B، Cو D تقسیم کرد (شکل۴). بر این اساس بیشترین مساحت حوضه مربوط به خاک‌های گروه D است که شامل خاک‌های رسی- خاک‌های شور- سنگ- جاده آسفالتی و بتون بوده و قسمت‌های مرکزی حوضه را احاطه کرده است. بعد از آن بیشترین وسعت حوضه مربوط به گروه B متشکل از

خاک‌های شنی- لومی و شنی - رسی است که در نواحی شمال غرب وغرب، شمال و قسمت‌هایی از مرکز دیده می‌شوند . بعد از آن گروه A که مربوط به خاک‌های شنی و قلوه سنگی است و در قسمت‌های شمال شرق وشرق حوضه مشاهده می‌شود. در آخر گروه هیدرولوژیکی C یعنی خاک‌های لومی، لومی- رسی و دارای لایه سخت در عمق خاک و شامل نواحی کوچکی در شمال غرب حوضه می‌باشد. سطح وسیعی از حوضه تحت پوشش اراضی دیم می‌باشد که به صورت پراکنده تقریبا در تمام حوضه قابل مشاهده است. بعد از اراضی دیم مراتع کم تراکم بیشتر مساحت حوضه آبریز روانسر را شامل می‌شود که طبق نقشه (شکل۵) به صورت پراکنده‌ای در شمال، شمال شرق، شرق، قسمت‌هایی از مرکز و غرب حوضه به چشم می‌خورد. اراضی نیمه متراکم نیز جزء کاربری‌های عمده حوضه به شمار می‌رود که عمده مساحت آن در قسمت‌های شمالی حوضه قرار دارد. بعد از اراضی نیمه متراکم کاربری عمده بعدی جنگل تَنک می‌باشد که در غرب و جنوب غرب به صورت زبانه‌هایی به چشم می‌خورد. جنگل‌های متراکم و نیمه انبوه نیز از کاربری‌های قابل ذکر در این حوضه است که به صورت محدود در ان به چشم می‌خورد. مساحت کمی نیز به مناطق شهری اختصاص دارد *(جراره، ۱۳۸۷: ۳۲)*.



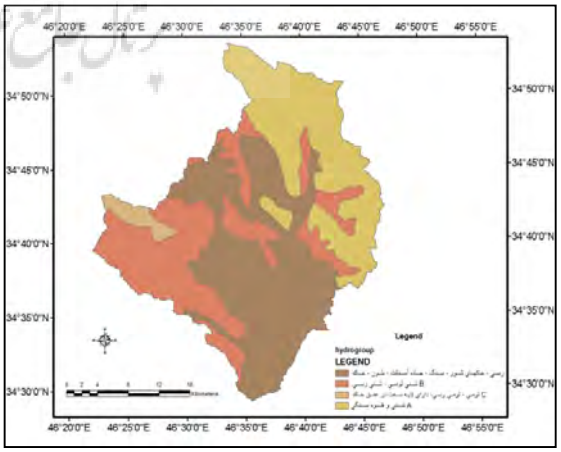
شکل ۲ : نقشه زمین‌شناسی

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱



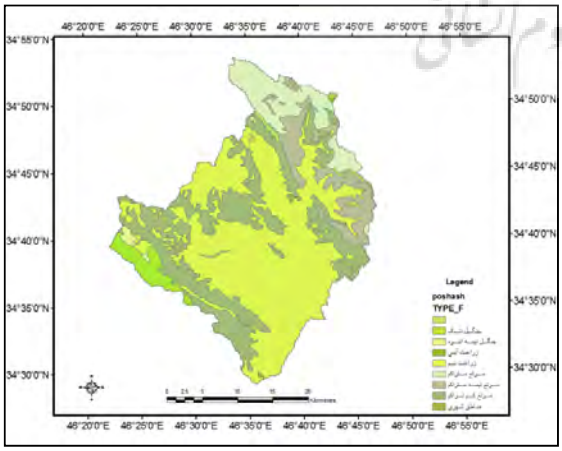
شکل ۳ : نقشه خاک

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۴ : نقشه گروه‌های هیدرولوژی خاک

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۵: نقشه کاربری ارضی

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱

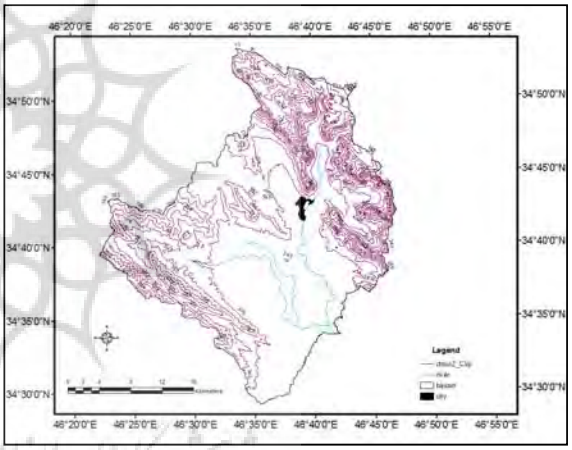
ب- مواد پژوهش

برای مدل‌سازی، استخراج پارامترهایی فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه بسیار ضروری است. لذا در مرحله نخست به کمک لایهٔ توپوگرافی ۱:۲۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور، نقشه‌های پایه شیب، هیدرولوژی و توپوگرافی (شکل۶ و ۷) حوضه ترسیم و در ادامه مشخصات فیزیوگرافی و هیدرولوژیکی حوضه در محیط نرم‌افزاری ArcGIS10 محاسبه گردید (جدول۱).

جدول ۱: مشخصات فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوضه روانسر

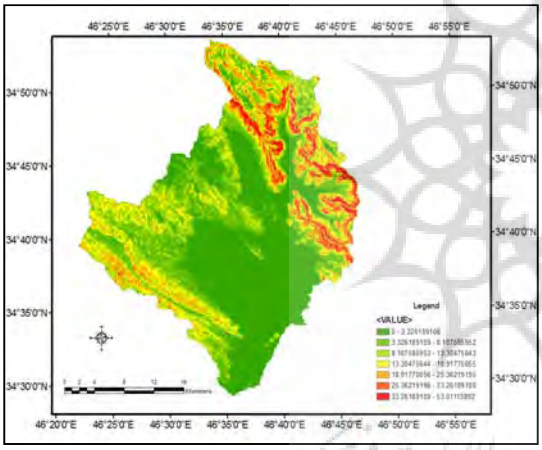
مساحت (km2)	محیط (km2)	طول (km)	ضریب شکل	ضریب فشردگی	ضریب گردی	ضریب کشیدگی	طول کل شبکه زهکشی (km2)	تراکم زهکشی
۱۱۰۳/۰۵	۱۷۲/۳۲۶	۴۱/۲۴	۰/۴۶۸۵	۱/۴۶۳۴	۰/۴۶۶۶	۰/۹۰۸۷	۲۱۱۶/۱۰۳	۱/۹۱۸۴
نسبت انشعاب	ارتفاع در نقطه آغاز آبراهه اصلی (m)		ارتفاع در خروجی حوضه (m)	اختلاف ارتفاع (m)	طول آبراهه اصلی (km)	شیب متوسط آبراهه اصلی (٪)	شیب متوسط حوضه(٪)	طول آبراهه اصلی (km)
۲/۰۳۳۶	۲۲۸۰		۱۳۵۰	۹۳۰	۵۸/۴۰۷	۱۵/۹۲	۱۴/۴۷	۵۷/۴۰۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل۶ : نقشه توپوگرافی

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۷: نقشه شیب حوضه روانسر

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱

در مرحله بعد آمار و اطلاعات مربوط به بارش و دبی به همراه نقشه‌های سیلاب حوضه، از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری گردآوری شد. با توجه به محدویت ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه؛ جهت بالا بردن دقت کار از ایستگاه هواشناسی و هیدرومتری مجاور حوضه نیز استفاده شد (شکل ۸). گام بعدی تحقیق محاسبه CN حوضه است که ارتباط مستقیمی با خصوصیات نفوذپذیری خاک و این پارامتر هم تابعی از چگونگی کاربری اراضی و ویژگی‌های هیدورلوژیکی خاک و نوع پوشش گیاهی است. با تلفیق لایه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی لایه شماره منحنی (CN) حوضه تهیه شد (شکل۹). به‌روش محاسبه وزنی[1]، CN میانگین محاسبه و عدد ۶۶/۵ به دست آمد.

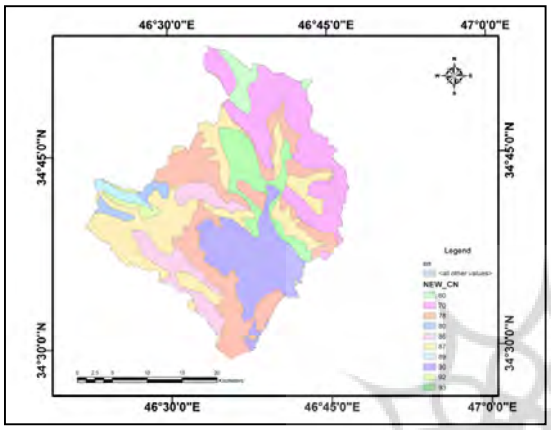
استخراج بارندگی‌های متناظر با برگه سیلاب‌های ثبت شده و تهیه آبنمود سیل ایستگاههای آب‌سنجی، مرحله بعدی کار تحقیق بود. سپس مقادیر دبی موجود در برگه‌های سیلاب ثبت شده ایستگاه‌های

۱- مساحت هر منطقه در CN مربوطه ضرب شده و از حاصلضرب مساحت مناطق در CN مربوط به هر پلیگون که بر مساحت کل منطقه تقسیم شده CN وزنی منطقه محاسبه شد.

آب‌سنجی، برای هر واقعه بارندگی استخراج و سپس بارندگی روزانه متناظر با آن واقعه استخراج گردیدکه پس از بررسی آنها ۵ واقعه بارش و سیل متناظر با رعایت همزمانی در کلیه ایستگاه‌ها انتخاب گردید(جدول۲). این برآوردها به همراه سایر پارامترهای مؤثر در تولید رواناب جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش- رواناب وارد مدل‌های هیدرولوژیکی HEC-HMS گردید.

نقشه ۸:موقعیت ایستگاه‌ها در حوضه و مناطق همسایه

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۹: نقشه شماره منحنی CN حوضه مورد مطالعه

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول۲: سیلاب‌های منتخب به همراه بارش‌های متناظر آن در منطقهٔ مورد مطالعه

واقعه ۱	تاریخ	۶۸/۹/۹	۶۸/۹/۱۰	۶۸/۹/۱۱	۶۸/۹/۱۲	۶۸/۹/۱۳	۶۸/۹/۱۴	۶۸/۹/۱۵	
	میانگین بارش	۲۹/۲	۵۸/۳	۳/۹	۰	۰/۵	۱/۷	۰	
واقعه۲	تاریخ	۷۰/۱۲/۴	۷۰/۱۲/۵	۷۰/۱۲/۶	۷۰/۱۲/۷	۷۰/۱۲/۸	۷۰/۱۲/۹	۷۰/۱۲/۱۰	۷۰/۱۲/۱۱
	میانگین بارش	۱۶/۳	۱۴/۲	۰/۸	۳/۷	۰/۵	۱/۹	۴/۵	۱/۸
واقعه ۳	تاریخ	۷۱/۱/۱۰	۷۱/۱/۱۱	۷۱/۱/۱۲	۷۱/۱/۱۳				
	میانگین بارش	۲۲/۲	۶/۱	۰	۰/۷				
واقعه۴	تاریخ	۷۲/۱۰/۲۵	۷۲/۱۰/۲۶	۷۲/۱۰/۲۷					
	میانگین بارش	۶/۶	۳۸/۴	۰/۳					
واقعه ۵	تاریخ	۷۳/۸/۲۹	۷۳/۸/۳۰	۷۳/۹/۱	۷۳/۹/۲	۷۳/۹/۳	۷۳/۹/۴	۷۳/۹/۵	
	میانگین بارش	۰/۲	۱/۳	۳۰/۳	۶۴/۹	۱۲/۳	۲۳	۴/۵	

مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای استان کرمانشاه

ج- روش پژوهش

برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در این پژوهش از مدل HMS-HEC و برای پیش‌بینی از نرم‌افزار hyfa[1] استفاده شد. مدل HMS- HEC یکی از مدل‌های ریاضی کامپیوتری است که جهت شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز به کار می‌رود. این نرم‌افزار که توسط گروه مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا برای تهیه هیدروگراف سیل عرضه شد دارای چندین زیرمدل در بخش‌های رواناب، جریان سطحی، آب پایه و جریان‌کلی است. ساختار مدل HMS-HEC شامل ۳ بخش اصلی است که عبارتند از الف- مدل حوضه، ب- مدل هواشناسی، ج- شاخص کنترلی زمان.

1-Hydrologic Frequency Analysis

- فرآیند مدل‌سازی و محاسبات

- **مدل حوضه:** محاسبات مربوط به تعیین میزان تلفات در حوضه، تبدیل بارش مازاد به رواناب، مقدار جریان پایه و شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها و مخازن در مدل حوضه انجام می‌پذیرد. یکی از پارامترها اصلی مدل حوضه، مساحت حوضه است. مساحت محاسبه شدهٔ حوضه روانسر ۱۱۰۳/۰۵ کیلومترمربع میباشد.

- **تلفات حوضه** : در این تحقیق جهت محاسبه ی تلفات رواناب حوضه، از روش شبکه‌ای SCS یا روش عدد منحنی[1] استفاده شده است (جدول ۳) که روابط آن به صورت زیر می‌باشد :

رابطه ۱:
$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S}$$

Pe: ارتفاع بارش مؤثر (رواناب) به میلی‌متر(رابطه ۱)
P: ارتفاع بارندگی به میلی‌متر
Ia: تلفات اولیه به میلی‌متر (رابطه ۲)

رابطه ۲ :
$$Ia = a.s$$

در این فرمول a ضریبی است که مقدار آن ۰/۲ می‌باشد *(مزیدی و همکار، ۱۳۹۴: ۵)*.

S:حداکثرپتانسیل ذخیره حوضه به میلی‌متر (رابطه۳)

رابطه ۳ :
$$s = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

- **رواناب حوضه:** جهت تبدیل فرآیند بارش مازاد به جریان سطحی در حوضه از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده شده است. هیدروگراف واحد SCS، بی‌بعد و تک‌اوجی می‌باشد. این هیدروگراف نسبت بین آبدهی هیدروگراف واحد در هر زمان (Ut) (رابطه ۴) و آبدهی هیدروگراف واحد در زمان رسیدن به اوج (Up) (رابطه ۵) را در برابر نسبت بین زمانهای آنها (T)، به زمان رسیدن به آبدهی اوج (Tp) نشان می‌دهد. ارتباط بین آبدهی اوج و زمان رسیدن به این آبدهی در رابطه زیر تعیین شده است:

رابطه ۴:
$$UP = 2.08\frac{A}{Tp}$$

رابطه ۵:
$$TP = \frac{\Delta t}{2} + Tiag$$

در معادله فوق A برابر با مساحت و تداوم بارندگی مازاد و Tiag زمان تاخیر حوضه است. برای محاسبه زمان تأخیر (Tiag) از روش SCS استفاده شد (رابطه ۶):

رابطه ۶ :
$$Tiag = \frac{L^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1900Y^{0.5}}$$

در این فرمول Tiag زمان تاخیر حوضه بر حسب ساعت، L طول رودخانه اصلی برحسب فوت، Y متوسط شیب حوضه (درصد) و S نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه برحسب اینچ (رابطه ۷). در این فرمول CN نمایه خصوصیات حوضه از نظر نفوذپذیری است (جدول۳).

رابطه ۷ :
$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

برای محاسبهٔ زمان تمرکز (tc) از رابطهٔ زیر(رابطه ۸) استفاده شده است *(علیزاده، ۱۳۸۵: ۳۴۵)*.

رابطه ۸ :
$$tc = \frac{3}{5}Tiag$$

- **جریان پایه:** جریان پایه ثابت با مقادیر متغییر ماهانه ساده‌ترین روش محاسبه جریان پایه در روش HMS-HEC است. در این روش، جریان پایه ثابت در نظر گرفته شده و می‌تواند بصورت ماهانه تغییر کند. با جمع این مقادیر ثابت با رواناب مستقیم ناشی از بارندگی، هیدروگراف جریان بدست می‌آید *(محمودیان، ۱۳۸۱: ۱۰۶۴)*. در این تحقیق از مقادیر دبی ثابت ماهانه محاسبه شده توسط شرکت سهامی‌آب منطقه‌ای غرب بهره گرفته شد *(شرکت سهامی آب منطقه‌ای، ۱۳۸۸)*.

1- **Girded Curve Number**

جدول ۳: برخی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه

طول آبراهه اصلی (ft)	میانگین CN	توان تلفات (in)	درصد اراضی غیر قابل نفوذ	شیب متوسط حوضه (درصد)	زمان تاخیر (ساعت)	زمان تمرکز (ساعت)
۱۹۱۶۲۱/۷	۶۶/۵	۵	۲/۸	۱۴/۴۷	۱۱/۹	۴/۹۲

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

- شبیه‌سازی جریان در کانال‌ها و مخازن

برای روندیابی سیلاب در مقاطع مختلف رودخانه به علت نبود مقاطع عرضی رودخانه‌ها از روش روندیابی هیدرولوژیکی ماسکینگام استفاده شد.

- مدل هواشناسی

تحلیل داده‌های هواشناسی و دو جز اصلی آن (بارندگی و تبخیر و تعرق) توسط مدل هواشناسی انجام می‌گیرد. در این پژوهش برای تحلیل داده‌های بارندگی از روش هیتوگراف سفارشی[1] و برای داده‌های تبخیر و تعرق از میانیگن ماهانه آن استفاده شد. در مطالعاتی که در زمینه بارش و رواناب حاصل از آن در سطح یک حوضه انجام می‌شود، انتخاب بارشی که در حوضه مورد نظر دارای توزیع مناسبی باشد و سطح حوضه را به طور کامل پوشش دهد، بسیار مهم است. از این رو پس از بررسی یک دوره بارش روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های باران سنجی منطقه مورد مطالعه و اطراف آن از نقطه‌نظر فراگیر بودن کل سطح حوضه و شکل هیدروگراف‌های استخراج شده از برگ سیلاب‌های ثبت شده ایستگاههای هیدرومتری موجود در حوضه مورد نظر و تداوم بارش‌های انتخابی، ۵ واقعه بارش روزانه برای زیرحوضه انتخاب شد و صحت هر واقعه از نظر پوشش سطح حوضه و توزیع مناسب در کل حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس مقادیر متوسط بارش در سطح حوضه برای هر دوره بارندگی به روش خطوط همباران و با استفاده از نرم‌افزار ArcGis نقشه همباران روزانه هر واقعه بارش به صورت جداگانه تهیه که در مجموع ۱۲۲۴ نقشه همباران برای حوضه و زیر حوضه‌های آن ترسیم گردید.

- مشخصه‌های کنترل

ویژگی‌های کنترلی به همراه اجزای حوضه و هواشناسی برای مدیریت اجرای مدل فعال می‌شود. تاریخ و زمان شروع اجرای مدل و تاریخ و زمان پایان اجرای مدل در این بخش تنظیم شد. تاریخ و ساعت شروع و اتمام پروژه، همچنین دسته‌بندی زمان محاسبات یا گام‌های زمانی در این بخش معرفی شد.

واسنجی و اعتباریابی

گام بعدی پس از اجرای مدل واسنجی و اعتبار یابی مدل است. جهت تصحیح خطاهای مشاهده شده در نتایج، کالیبراسیون یا واسنجی مدل انجام گرفت و در ادامه با انتخاب سه واقعه بارش- رواناب منتخب مدل اعتباریابی شد.

در آخرین مرحله تحقیق به کمک نرم‌افزار hyfa[2] و آمار دبی حداکثر سالانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی در سال‌های آبی ۱۳۳۴-۱۳۳۳ تا ۱۳۸۸-۱۳۸۷ دوره بازگشت‌های سیلاب حوضه بررسی شد.

بحث

اجرای مدل: در ابتدا آمار دبی از برگه سیلاب‌های ثبت شدهٔ ایستگاههای هیدرومتری استخراج و در ادامه برای هر واقعه بارش، نخست میانگین محاسبه و سپس هیدروگرافش ترسیم شد. سپس با بررسی هیدروگراف‌ها از لحاظ داشتن شاخه صعودی و نزولی

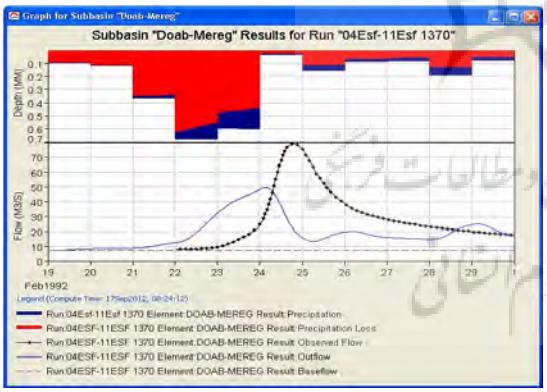
1-User Hyetograph

2-Hydrologic Frequency Analysis

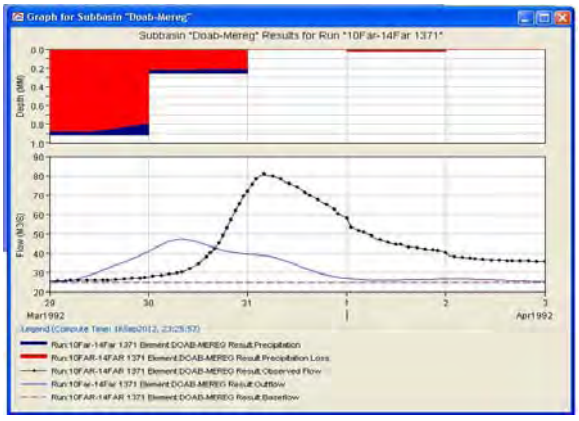
و طول مدت بارش و همزمانی وقوع بارش و سیلاب رخ داده شده، هیدروگراف‌های مناسب انتخاب شدند. در مرحلهٔ بعد بارندگی روزانهٔ متناظر با آن واقعه سیلاب استخراج گردید. در نهایت با بررسی‌های انجام شده ۵ واقعه بارش و سیلاب متناظر، با رعایت همزمانی در ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب گردید. داده‌های سیلاب‌های منتخب به مدل HEC-HMS وارد شدند. شبیه‌سازی برای کل حوضه انجام گرفت و مدل اولیه استخراج شد (جدول ۴).

اگر هیدروگراف‌های محاسباتی(خط آبی) بر هیدروگراف‌های مشاهداتی (خط مشکی) منطبق گردند یعنی محاسبات مقادیر پارامترهای معرفی شده به مدل دقیق انجام شده است. در واقع مدل به خوبی توانسته خصوصیات فیزیکی و پوشش سطح حوضه و ویژگیهای بارندگی از قبیل شدت، مدت و یکنواختی آن را شبیه‌سازی کند *(آذری، ۱۳۸۸: ۴۸)*. اما اگر نقاط زیر خط قرار گیرند، مدل مقادیر پیش‌بینی را کمتر از مقدار واقعی نشان خواهد داد و برعکس *(محسنی ساروی و همکار، ۱۳۸۸: ۶۷)*.با مشاهدهٔ هیدروگراف‌های ترسیمی حوضه در اشکال ۱۰ تا ۱۴ میزان اختلاف شدید داده‌ها در محاسبهٔ زمان دبی اوج حجم سیلاب و زمان وقوع سیلاب به خوبی قابل مشاهده است. با تحلیل هیدروگراف‌های ترسیمی بارش در تاریخ‌های ۱۳۶۸/۹/۹ و ۱۳۷۲/۱۰/۲۷ و ۱۳۷۳/۸/۲۸مقادیر محاسباتی در برآورد حجم سیلاب و دبی اوج بیشتر از مقادیر واقعی آنها است(شکل ۱۰ و ۱۳ و ۱۴). در مقابل در تاریخ‌های ۱۳۰/۱۲/۴ و ۱/۱۰ ۱۳۷۱ مقادیر محاسباتی در برآورد حجم سیلاب و دبی اوج کمتر از مقادیر واقعی آنها می‌باشد (شکل ۱۱ و ۱۲). همچنین در همه هیدروگراف‌ها، زمان دبی اوج بصورت میانگین یک روز زودتر از زمان واقعی آنها محاسبه شده است. بر این اساس و با توجه به درصد بالای خطاها در محاسبهٔ پارامترهای معرفی شده به مدل (جدول ۴)، فرآیندکالیبراسیون یا واسنجی انجام گرفت.

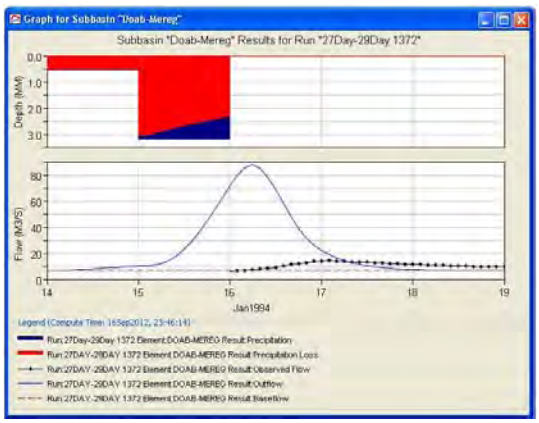
شکل ۱۰: آبنمود شبیه‌سازی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۶۸/۹/۹تا۱۳۶۸/۹/۱۵



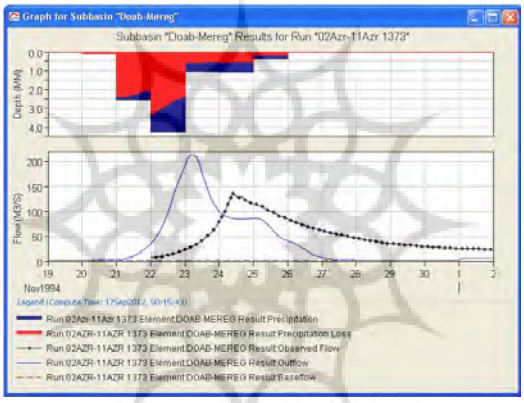
شکل ۱۱: آبنمود شبیه‌سازی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۰/۱۲/۴تا۱۳۷۰/۱۲/۱۱



شکل ۱۲: آبنمود شبیه سازی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۱/۱/۱۰ تا ۱۳۷۳/۱/۱۳



شکل۱۳: آبنمود شبیه‌سازی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۲/۱۰/۲۷تا ۱۳۷۲/۱۰/۲۹



شکل ۱۴: آبنمود شبیه‌سازی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۳/۸/۲۸تا ۱۳۷۳/۹/۵

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول۴: نتایج شبیه‌سازی مدل HEC-HMS بر مبنای استفاده از مدل ثابت روزانه به عنوان مدل دبی پایه

تاریخ وقوع بارش	مقداربارش	دبی مشاهداتی	دبی محاسباتی	CN	I A	T Lag	حجم سیلاب	حجم سیلاب محاسباتی
۱۳۶۸/۹/۹تا۱۳۶۸/۹/۱۵	۹۳/۶	۲۵/۸	۶۱/۲	۶۶/۵	۲۵/۵۸	۷۱۴	۵/۲۸	۸/۸۹
۱۳۷۰/۱۲/۴تا۱۳۷۰/۱۲/۱۱	۴۳/۷	۷۹/۱	۴۹/۷	۶۶/۵	۲۵/۵۸	۷۱۴	۱۶/۹۳	۱۰/۶۶
۱۳۷۱/۱/۱۰ تا ۱۳۷۱/۱/۱۳	۲۹	۸۰/۸	۴۸/۵۵	۶۶/۵	۲۵/۵۸	۷۱۴	۱۵/۱۷	۱۲/۵۵
۱۳۷۲/۱۰/۲۵ تا ۱۳۷۲/۱۰/۲۷	۴۵/۳	۱۴/۲	۸۷/۹	۶۶/۵	۲۵/۵۸	۷۱۴	۱/۸۳	۲/۸۴
۱۳۷۳/۸/۲۹ تا ۱۳۷۳/۹/۵	۱۳۶/۵	۱۴۶/۵	۲۱۰/۳	۶۶/۵	۲۵/۵۸	۷۱۴	۲۱/۶۴	۳۵/۲۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

واسنجی یا کالیبراسیون مدل

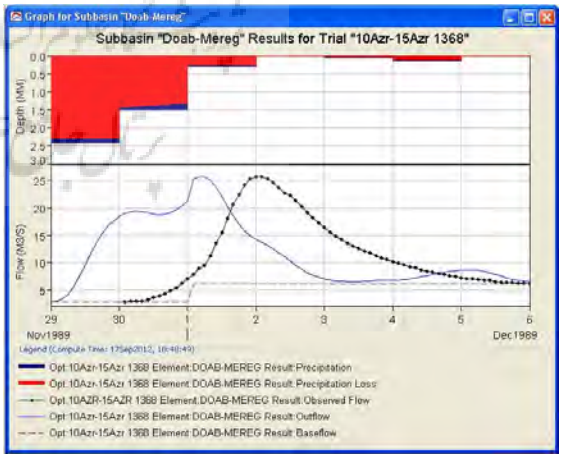
فرایند واسنجی عبارت است از تغییر دادن پارامترهای مدل تا آنجا که انطباق قابل قبولی بین نتایج مدل و مشاهدات اندازه‌گیری شده حاصل گردد. در واقع روندی است برای تنظیم پارامترها تا اینکه نتایج مدل با داده‌های قدیمی سازگار شود. با توجه به اینکه دبی اوج و حجم سیلاب محاسباتی با مقدار مشاهداتی اختلاف زیادی دارند، در طی فرآیند واسنجی سعی شد تا مقادیر پارامترهای معرفی شده به مدل با هدف دسترسی به نتایج همگون با داده‌های واقعی تصحیح شود. جهت تصحیح و به حداقل رساندن این اختلاف، با استفاده از تابع هدف درصد خطای دبی

اوج[1] پارامترهای متغییر مدل یعنی شماره منحنی (CN)، تلفات اولیه(Ia) و زمان تاخیر(Tlag) مورد واسنجی قرارگرفته و تلاش گردید که هیدروگراف‌های محاسبه شده حداکثر انطباق را با هیدروگراف‌های مشاهده شده داشته باشند(جدول۵). پس از انجام واسنجی تغییراتی در پارامترها ایجاد شد و هیدورگراف‌های شبیه‌سازی شده به هیدروگراف‌های مشاهداتی نزدیک شد. نمودارهای ترسیمی کالیبره شده در اشکال ۱۵ تا ۱۹ نشان می دهند که داده‌های محاسباتی در برآورد دبی‌های اوج به داده‌های واقعی بسیار نزدیک شدند، بطوریکه میزان خطای به کمتر از ۰/۷ درصد کاهش یافت. یعنی مقادیر دبی اوج محاسباتی با اطمینان ۹۹ درصد جهت پیش‌بینی قابل اطمینان است. در مرحلهٔ واسنجی میزان خطا در محاسبه ی حجم سیلاب نیز کاهش چشمگیری داشت. مقدار این خطا به ۱۱/۱ درصد کاهش یافت (اشکال ۱۵ تا ۱۹). نکته قابل توجه در هیدروگراف‌ها عدم تطابق بازوی پایین رونده ی هیدروگراف‌های مشاهداتی و محاسباتی است که بعد از واسنجی نیز به صورت کامل بر هم منطبق نشدند. این مساله می‌تواند ناشی نقشه خاک، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و یا نقشه کاربری اراضی *(آذری، ۱۳۸۸: ۴۸)* باشد. برای بهبود بخشی نتایج مدل لازم است آخرین تغییرات در کاربری ارضی مورد توجه قرار گیرد.

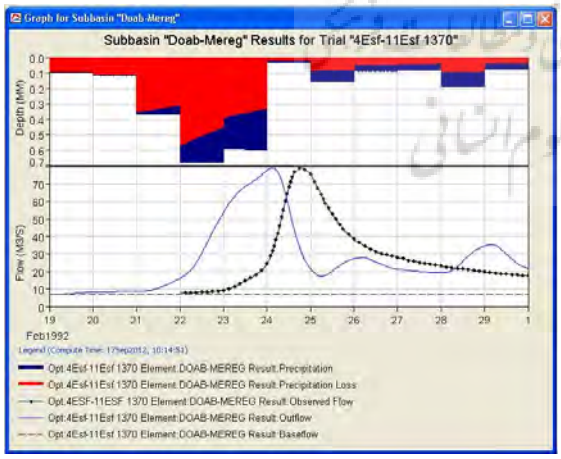
جدول ۵: نتایج حاصل از واسنجی مدل HEC-HMS بر مبنای استفاده از مدل ثابت روزانه به عنوان مدل دبی پایه

تاریخ وقوع بارش	مقدارباران (mm)	دبی مشاهداتی (m3/s)	دبی محاسباتی (m3/s)	CN	I A (mm)	T Lag (hr)	حجم سیلاب مشاهداتی (میلیون متر مکعب)	حجم سیلاب محاسباتی (میلیون متر مکعب)
۱۳۶۸/۹/۹تا۱۳۶۸/۹/۱۵	۹۳/۶	۲۵/۸	۲۵/۸	۳۵	۲۹	۷۲۴	۵/۲۸	۶/۴۶
۱۳۷۰/۱۲/۴تا۱۳۷۰/۱۲/۱۱	۴۳/۷	۷۹/۱	۷۹/۱	۶۸	۶	۷۱۱	۱۶/۹۳	۲۳/۸
۱۳۷۱/۱/۱۰ تا	۲۹	۸۰/۸	۸۰/۸	۷۶	۵/۷	۷۱۴	۱۵/۱۷	۱۶/۲
۱۳۷۲/۱۰/۲۵ تا	۴۵/۳	۱۴/۲	۱۴/۴	۶۶	۳۰	۹۹۹	۱/۸۳	۳/۷
۱۳۷۳/۸/۲۹ تا ۱۳۷۳/۹/۵	۱۳۶/۵	۱۴۶/۵	۱۳۶/۷	۶۵	۴۴	۹۴۱	۲۱/۶۴	۳۰/۰۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

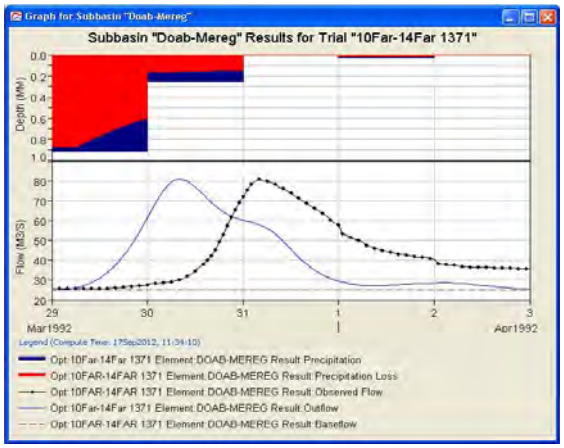


شکل ۱۵: آبنمود سیل واسنجی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۶۸/۹/۹تا۱۳۶۸/۹/۱۵

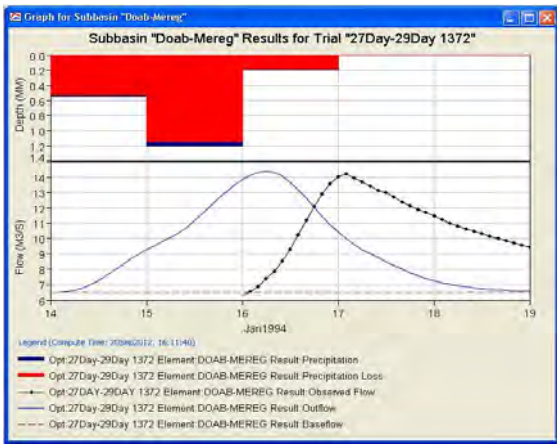


شکل ۱۶: آبنمود سیل واسنجی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۰/۱۲/۱۱تا۱۳۷۰/۱۲/۴

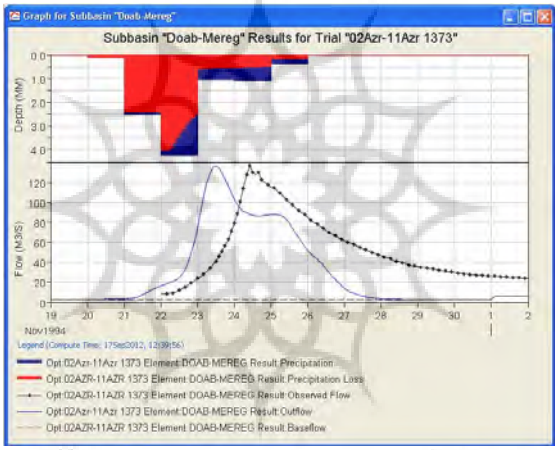
1-Precent Error in Peak Flow



شکل ۱۷:آبنمود سیل واسنجی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۱/۱/۱۰ تا ۱۳۷۱/۱/۱۳



شکل ۱۸: آبنمود سیل واسنجی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۲/۱۰/۲۵ تا ۱۳۷۲/۱۰/۲۷



شکل ۱۹: آبنمود سیل واسنجی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۳/۸/۲۹ تا ۱۳۷۳/۹/۵

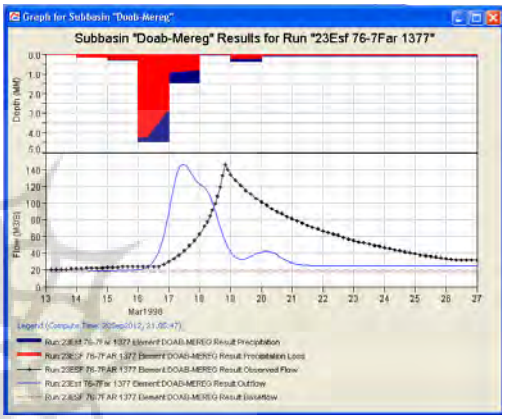
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۱

اعتباریابی مدل: پس از انجام واسنجی مدل و بدست آمدن مقادیر جدید و برازش شده برای پارامترهای مورد استفاده در مدل، نوبت به بررسی صحت پارامترهای جدید رسید. بدین منظور از سه واقعه بارش دیگر استفاده شد. پس از ورود پارامترهای جدید به مدل، هیدروگرافهای مربوط به وقایع منتخب بارشی جدید محاسبه و شبیه‌سازی شدند (جدول۶). بررسی نمودارها در مرحلهٔ اعتباریابی نشان می‌دهد که از میزان خطاهای محاسباتی نسبت به ۵ واقعه بارشی شبیه‌سازی، کاهش محسوسی دارند (اشکال ۲۰ و ۲۱ و ۲۲)به طوریکه هیدروگرافهای محاسباتی، با میانگین خطای ۰/۷ درصد در برآورد دبی اوج و با میانیگن خطای ۳/۳۳- در محاسبه حجم سیلاب با هیدروگرافهای مشاهداتی انطباق یافتند. در واقع هیدروگرافهای پایانی نشان دهندهٔ صحت مقادیر پارامترهای واسنجی شده است و می‌توان از این مقادیر در مدل نهایی بارش- رواناب حوضه استفاده کرد.

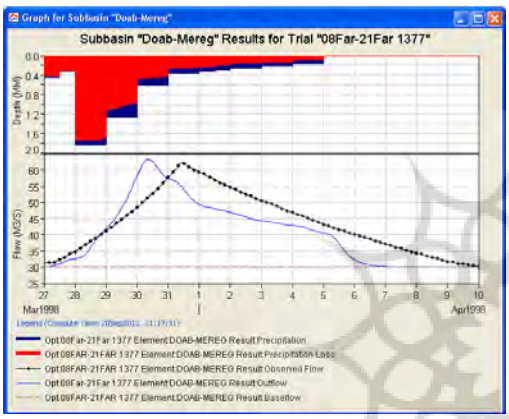
جدول۶: نتایج حاصل از اعتبار یابی مدل HEC-HMS بر مبنای استفاده از مدل ثابت روزانه به عنوان مدل دبی پایه

تاریخ وقوع بارش	کل بارش (میلیمتر)	دبی اوج		خطا (درصد)	حجم سیلاب		خطا (درصد)	CN	IA	T Lag
		مشاهداتی	محاسباتی		مشاهداتی	محاسباتی				
۷۷/۱/۷تا۷۶/۱۲/۲۵	۸۸/۷۰	۱۴۶	۱۴۶/۱	۰/۱	۵۷/۸۵	۴۱/۷	-۲۷/۹۲	۶۰	۲۲/۲	۸۱۷
۷۷/۱/۸تا۷۷/۱/۲۱	۶۵/۰۵	۶۲/۲	۶۳/۴	۱/۹	۴۷/۸۹	۴۴/۴۴	-۷/۱۹	۶۰	۲۲/۲	۸۱۷
۸۶/۱/۱۴تا۸۶/۱/۷	۳۹/۵	۱۸/۲	۱۸/۲	۰/۱	۸/۹۹	۱۱/۲۵	۲۵/۱۲	۶۰	۲۲/۲	۸۱۷

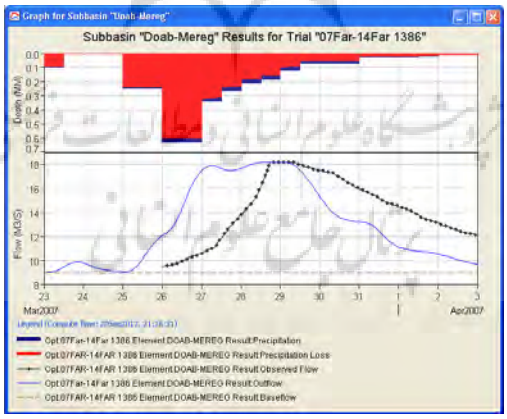
مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۲۰:آبنمود سیل اعتباریابی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۶/۱۲/۲۵ تا ۱۳۷۷/۱/۷



شکل ۲۱:آبنمود سیل اعتباریابی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۷۷/۱/۸ تا ۱۳۷۷/۱/۲۱



شکل ۲۲: آبنمود سیل اعتباریابی شده و مشاهده شده بارش تاریخ ۱۳۸۶/۱/۷ تا ۱۳۸۶/۱/۱۴

تهیه و ترسیم : نگارندگان، ۱۳۹۱

پیش‌بینی وقوع سیلاب با نرم‌افزار hyfa:

ابتدا آمار دبی‌های حداکثر لحظه‌ای ایستگاههای مورد مطالعه، بین سالهای آبی ۱۳۳۴-۱۳۳۳ تا ۱۳۸۸-۱۳۸۷استخراج شد. پس از استخراج داده‌ها با استفاده از توزیع‌های آماری نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، گاما ۲ پارامتری، پیرسون، لوگ پیرسون و گامبل مورد بررسی و برونیابی قرار گرفت و دوره‌های بازگشت ۲ ساله، ۵

ساله،۱۰ ساله،۲۰ ساله،۵۰ ساله،۱۰۰ ساله و... محاسبه شد. جهت دستیابی به نتایج بهتر، آزمون k بر روی داده‌ها اعمال گردید. بر اساس نتایج حاصله، مناسب‌ترین توزیع آماری که داده‌های مورد نظر با آن برازش یافتند و حداقل خطا را نشان داند توزیع گامای ۲ پارامتری می‌باشدکه نتایج آن در جدول۷ ارائه شده است. علاوه بر آن درصد احتمال وقوع سیلاب‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار مذکور برآورد شده که نتایج در جدول ۸ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصله، درصد احتمال خطا در دوره بازگشت ۲ ساله کمتر ورفته رفته با افزایش تعداد سال به میزان خطا افزوده می‌شود.

جدول۷: حداکثر دبی‌های لحظه‌ای بر اساس توزیع گامای دو پارامتری در دوره‌های بازگشت ۲ تا ۵۰۰ سال

توزیع متخب	۲سال	۵سال	۱۰سال	۲۰سال	۲۵سال	۵۰سال	۱۰۰سال	۲۰۰سال	۵۰۰سال
حد اکثر دبی‌های لحظه‌ای در دوره‌های بازگشت m3/s	۵۰/۱۵۷	۱۰۵/۸۴۹	۱۴۶/۸۰۵	۱۸۷/۶۷۵	۲۰۰/۸۶۸	۲۴۲/۰۲	۲۸۳/۵۳۲	۳۲۵/۴۴۹	۳۸۱/۵۴۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

جدول ۸: درصد احتمال وقوع دوباره سیلاب‌ها

دوره بازگشت	۲سال	۵سال	۱۰سال	۲۰سال	۲۵سال
درصد احتمال	۰/۲۰۰	۰/۴۰۰	۰/۶۰۰	۰/۸۰۰	۰/۹۷۷
مقدار دبیm3	۱۸/۵۱	۳۸/۴۱۲	۶۴/۰۸۲	۱۰۵/۸۴۹	۱۳۴/۳۹۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

نتیجه

سیل مانند سایر پدیده‌های هیدرولوژیکی، پدیده‌ای تصادفی است و در هر زمان و هر مکانی احتمال رویداد آن وجود دارد و معمولا به همین دلیل تعیین زمان دقیق وقوع سیل امکان پذیر نیست، ولی پیش‌بینی بروز آن با توجه به وقایع هیدرولوژیکی مشاهده شده در گذشته، دور از دسترس نمی‌باشد. مدل HEC-HMS یکی از مدل‌های هیدورلوژیکی است که کارایی بسیار بالایی در پروژه‌های هشدار سیل در جهان را به خود اختصاص داده است. در این پژوهش به کمک مدلHEC-HMS شبیه‌سازی حجم و دبی‌های اوج سیلاب‌های حوضه در طی ۱۸ سال گذشته (۱۳۶۸ تا ۱۳۸۶) انجام گرفت. مهمترین نتایج حاصله از این تحقیق به شرح ذیل است.

۱- نتایج اعتبارسنجی مدل HEC-HMS در این پژوهش دلالت بر میانگین اختلاف ۰/۷ درصد در برآورد دبی اوج سیلاب و میانگین اختلاف ۳/۳۳- در محاسبه حجم سیلاب دارد. داده‌های پایانی نشان می‌دهند که مدل زمانی در برآورد دبی‌های اوج و حجم سیلاب‌ها توانمند است که پارامترهای متغییر مدل (شماره منحنی (CN)، تلفات اولیه (Ia) و زمان تأخیر (Tiag) به درستی محاسبه شده و مورد واسنجی قرار گیرند و در ادامه روند شبیه‌سازی با وقایع جدید بارشی مجددا اعتبارسنجی شوند. نتایج پژوهش محققانی همچون کافله (۲۰۰۷)، رازی (۲۰۱۰)، بهمنی (۱۳۹۰)، مزیدی (۱۳۹۲)، شکری کوچک (۱۳۹۰) و پورحسین قادری(۱۳۹۲) نیز بر موضوع تأکید دارند که به شرط منظور کردن

پارامترهـای منطقـی و واسـنجی شـده، مـدل امکـان دسترسی آسان بـه روشـهای مختلـف بـرای محاسـبه پارامترهـای مختلـف هیـدرولوژیکی را دارد و دارای قابلیتهـای بـالایی جهـت مطالعـات (کنتـرل سـیل و هیدرولوژی) است.

۲- واسنجی و اعتباریابی ۸ واقعـه بـارش منتخـب در این پژوهش نشان داد که هیدروگراف‌های محاسـباتی، با میانگین خطای ۰/۴ درصد در برآورد دبـی اوج و بـا میـانیگن خطـای ۴/۱ در محاسـبه حجـم سـیلاب بـا هیدروگراف‌های مشـاهداتی انطبـاق یافتنـد. بـر ایـن اساس می‌توان گفت نتایج هیدروگراف‌های محاسـباتی مـدل HEC-HMS در محاسـبه دبـی اوج از دقـت بیشتری برخوردار هستند. با بررسی نتایج پژوهش‌های حصـادی (۱۳۹۵)، بهمنـی (۱۳۹۰) و آذری (۱۳۸۸) نیز این موضوع تایید می‌شود.

۳- مناسب‌ترین توزیع آماری کـه دبـی‌هـای حـداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های جهت پیش‌بینـی سـیلاب بـا آن برازش یافت، به دلیل داشتن حداقل خطـا مربـوط بـه توزیع گامای ۲ پارامتری است. بر اساس نتایج حاصله، درصد احتمال خطـا در دوره بازگشـت ۲ سـاله کمتـر ورفته رفته با افزایش سنوات پیش‌بینـی میـزان خطـا بیشتر می‌شود.

۴- در همه هیدروگراف‌های شبیه‌سـازی شـده زمـان دبی اوج بطور میانگین یک روز زودتر از زمان واقعـی آنها محاسبه شده است (اشـکال ۱۵ تـا ۲۲). بـر ایـن اساس بایستی در پیش‌بینی زمان وقـوع سـیلاب ایـن مساله مورد توجه قرار گیرد.

آذری و همکارانش (۱۳۸۸) در برآورد زمان دبی اوج چندین ساعت تـاخیر در محاسـبه داشـتند، لـذا آنهـا پیشنهاد کردند که می‌تـوان یـک روز زودتـر از زمـان وقوع، سیلاب را پیش‌بینی نمود.

منابع

- آذری، محمـود؛ علـی‌اکبـر متکـان؛ علیرضـا شـکیبا؛ سیدحیسن پورعلی (۱۳۸۸). شبیه‌سازی و هشدار سیل با تلفیق مدل‌های آبشـناس در GIS و بـرآورد بـارش از طریق سنجش از دور، زمین شناسـی ایـران. شـماره ۹. صفحات ۵۱-۳۹.
- بهمنی، رامین؛ فریدون رادمنش؛ محسن رضایی‌حصاری (۱۳۹۰). پیش‌بینی سـیلاب حوضـه رودزرد بـه کمـک مدل‌های هیدرولوژیکی HEC-HMSوHEC-GeoHMS، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایـران. ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت ۱۳۹۰. دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- پورحسین قادری، سیما؛ بایرامعلی محمـدنژاد (۱۳۹۲). مدل‌سازی بارش- رواناب در حوضهٔ آبخیـز نازلوچـای ارومیه با استفاده از مدل WMS/HEC-HMS، پنجمین کنفـرانس مـدیریت منـابع آب ایـران در سـال ۱۳۹۲. تهران. انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران. دانشگاه شهید بهشتی.
- جراره، کاوه (۱۳۸۷). بررسی ضریب شاخه خشـکیدگی در منحنی فروکش جریان و ارتباط آن بـا ویژگـی‌هـای فیزیکی حوضه (مطالعه موردی: حوضـه آبخیزقـره‌سـو، استان کرمانشاه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشـد. دانشـکده منابع طبیعی. دانشگاه مازندران.
- جهـانبخش، محمدرضـا؛ حیـدرعلی کشـکولی؛ سـعید شعبانلو (۱۳۹۱). مقایسـه میـزان سـیالب در مقیـاس حوضه با استفاده از مدل HEC-HMS و سامانهٔ اطلاعات جغرافیا (GIS)، نهمـین سـمینار بـین‌المللـی مهندسـی رودخانه بهمن‌ماه. اهواز. دانشگاه شهید چمران.
- جهاندیده، کامران؛ رسول قبادیان؛ هاجر جهاندیده؛ فریدون جهاندیده (۱۳۸۹). ارزیابی و واسنجی مدل WMS/HEC-HMS در حوضه آبریز قره‌سو، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی. ساری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

- چامه، غلامرضا (۱۳۸۸). بررسی پتانسیل تولید رواناب و آبنمود سیل حوزه با استفاده از مدل HEC-HMS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز قره‌سو در استان کرمانشاه)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری (M.Sc). صفحه ۲۴.
- حسین زاده، محمدمهدی؛ سپیده ایمنی (۱۳۹۵). مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک - رودک با استفاده از مدلHEC- HMS، پژوهش‌های دانش زمین. سال هفتم. شماره ۲۵. صفحه ۴۳-۳۱.
- حسینی، سیدموسی؛ منصور جعفربیگلو؛ مجتبی یمانی؛ فاطمه گراوند (۱۳۹۴). پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS؛ پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال چهارم. شماره ۱.
- حصادی، همایون؛ نرگس امیدی؛ رضا مسعودی‌تبار (۱۳۹۵). بررسی سیلاب حوضه ناودار به وسیله مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، سومین کنگره علمی پژوهشی توسعه و ترویج علوم کشاورزی. منابع طبیعی و محیط زیست ایران. تهران. انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب، ۱۳۷۹-۱۳۶۰، گزارش مطالعات آب روانسر.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب ۱۳۶۸-۱۳۷۵، گزارش بارندگی ایستگاه سینوپتیک روانسر.
- شرکت سهامی آب منطقه‌ای غرب، ۱۳۵۴-۱۳۸۸، گزارش سیل و برگه‌های سیلاب ایستگاه هیدرومتری روانسر.
- شکری‌کوچک، سعید؛ عبدالکریم بهنیا؛ فریدون رادمنش؛ علی محمد آخوندعلی (۱۳۹۰). تخمین آبنمود سیلابحوضه آبخیز با استفاده از مدل HEC-HMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه ایدنک)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. سال سوم. شماره ۵. صفحات ۸۵-۶۳
- علیزاده؛ امین (۱۳۸۵). اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه امام رضا. چاپ شانزده. صفحه ۳۴۵.
- کریمی، مریم؛ گلاره غفاری؛ محمدصادق عزیزیان (۱۳۹۰). شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS مطالعه موردی: حوضه آبخیز لیقوان، هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. صفحات ۱۲-۱ .
- محمدی، حسین؛ مهران مقصودی؛ غلامرضا روشن (۱۳۸۵). جایگاه و نقش سیستم‌های پیش‌بینی و هشدار سیلاب در کاهش اثرات مخرب سیل، فصلنامه چشم انداز جغرافیایی. سال اول. شماره ۳. صفحات ۱۰۲-۸۷.
- محسنی ساروی ، محسن؛ مهدی وفاخواه (۱۳۸۸). ارزیابی مدل HMS-HEC به منظور برآورد هیدروگراف سیالب در حوزه آبخیز کسیلیان، پژوهش‌های آبخیزداری. ۸۴. صفحه ۶۷.
- محمودیان شوشتری، محمد؛ محمدرضا مجدزاده طباطبایی؛ علی یوسفی (۱۳۸۱). بررسی و کاربرد مدل در مهندسی رودخانه بررسی موردی مطالعه موردی رودخانه‌های کر و سیوند استان فارس، ششمین سمینار بین‌المللی رودخانه بهمن ماه ۱۳۸۱. دانشگاه شهید چمران. اهواز .
- مهدی‌نسب، مهدی؛ تقی طاوسی؛ رضا میرزایی (۱۳۹۳). پیش‌بینی احتمال وقوع سیل و حداکثر بارش متحمل زیرحوضهٔ پلدختر با استفاده از روش سری‌های جزیی، اکوسیستم‌های طبیعی ایران. دوره ۵. شماره ۱. صفحات ۱۰۹-۹۷.
- مرادی‌نژاد، مریم؛ مقداد جورغلامی؛ آرش ملکیان (۱۳۹۴). بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب حوضه‌های آبخیز جنگلی؛ مطالعه موردی: جنگل خیرود؛ جنگل و فرآورده‌های چوب مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۳. دورهٔ ۶۸.صفحه ۶۲۶.
- مزیدی، احمد؛ سمیرا کوشکی (۱۳۹۴). شبیه‌سازی بارش- رواناب و تخمین سیل در حوضهٔ آبریز خرم‌آباد با مدل HEC–HMS، جغرافیا و توسعه. شماره ۴۱. صفحات ۹-۱.

- Ali Mohammad, J. k., Aslam, I. and Khan, Z. (2011). Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan, Landscape and Urban Planning, V.102, PP. 271–279.
- Garcia, A., Sainz, A., Revilla, J. and Alvarez, C (2008). Surface Water Resources Assessment in scarcely gauged basins in the north of Spain, Journal of Hydrology,V. 356, PP. 312-32.
- Kafle, T.P., Hazarika, M.K., Karki, S., Shrestha, R.M., Sharma R., and Samarakoon, L (2007) . Basin scale rainfall runoff modeling for flood forecasts, 5th Annual Mekong flood Forum. Vietnam. PP.41.
- Kibber. D, F. Froelich, C, and Aron. G (2007). "Analyzing urnabization impacts on Pennsylvania flood peak," Journal of American Water Resources Association, Vol. 17, Issue 2, PP. 247-270.
- Razi, M.A.M, J.Ariffin, W.Tahir and N.AM Arish (2010). "Flood estimation studies using hydrologic modeling system (HEC- HMS) for Johor river, Malaysia", Journal of Applide Sciences :N10: PP. 930-939.

http://www.un.org (2017). UN report finds 90 percent of disasters are weather-related: 23 November 2015.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی