

پیش بینی سیل حوضه‌ی آبخیز قره‌آقاج با کاربرد سامانه‌ی شبیه‌سازی آبخیز (WMS)

محمد جعفر قسوری جهرمی^{۱*}، فردین بوستانی^۲، امین رستمی راوری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۸/۱۸

چکیده

سیل ویرانگرترین بلایای طبیعی بوده و تلفات جانی و مالی فراوانی را به بار آورده است. WMS^۴ از جمله شبیه‌های جدید و جامع می‌باشد که با تلفیق امکانات GIS و شبیه‌های متنوع آب‌شناسی و دانش مایعات توانسته است به‌عنوان ابزاری قدرتمند در زمینه‌ی شبیه‌سازی و مدیریت حوضه‌ی آبخیز مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه، کاربرد WMS در حوضه‌ی آبخیز قره‌آقاج واقع در نیمه‌ی جنوبی استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. محاسبه‌ی ویژگی‌های گیتاشناسی منطقه، تعیین مرز حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها و ترسیم آبراهه‌ها و شبکه‌ی رودها با استفاده از نقشه‌های پستی و بلندی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ساختن شبیه‌های ارتفاعی رقومی (DEM) و Topaz تحقق یافت. در پایان با کاربرد HEC-HMS، مراحل شبیه‌سازی بارش-رواناب در سطح حوضه انجام و واسنجی آبنمای حاصل با استفاده از ۵ رگبار مشاهده‌ای به همراه سیل همزمان آنها انجام شد. نتایج نهایی ارزیابی نشان داد که خطاهای برآورد بدهی اوج، حجم رواناب و زمان وقوع بدهی اوج در خروجی حوضه واقع در تنگ کازرین نسبت به مقادیر مشاهده شده به ترتیب ۱۱، ۱۹ و ۱۲/۵ درصد می‌باشند. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که در تخمین بدهی اوج و همچنین حجم سیلاب، حساسیت شبیه در برابر تغییرات CN که رابطه‌ی مستقیم با رطوبت اولیه‌ی خاک دارد، نسبت به تغییرات نفوذ اولیه و زمان تأخیر بیشتر است. در تخمین زمان بدهی اوج به‌وسیله‌ی شبیه نیز عامل مهم و حساس زمان تأخیر گزارش شد. در بررسی شدت سیل‌خیزی حوضه مشخص گردید که توان تولید رواناب در واحد سطح در زیرحوضه‌ی سیمکان بیشتر از دیگر زیرحوضه هاست.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی WMS، شبیه‌سازی HEC-HMS، سیل، حوضه‌ی آبخیز قره‌آقاج، تحلیل حساسیت.

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات فارس.

۳- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

* نویسنده‌ی مسؤل، mohammad_ghasvari@yahoo.com

مقدمه

در دهه‌ی گذشته شمار رخ‌دادن سیل‌های ویرانگر، به‌دلیل افزایش دما، گسترش شهرسازی و تغییر ویژگی‌های حوضه‌ی آبخیز، همراه با ایجاد و تغییر در کاربری اراضی و استفاده‌ی نادرست از زمین افزایش یافته است (صدرالاشرفی، ۱۳۸۶). از جمله زیان‌های ناشی از سیل، علاوه بر تلفات جانی می‌توان به ویرانی ساختمان‌ها و راه‌ها، فرسایش خاک، از عرصه‌ی تولید خارج شدن زمین‌های مرغوب کشاورزی و انتقال آلودگی به شهرها و آبادی‌ها نام برد. طبق آمار سازمان‌های تخصصی در طول یک دهه، جریان ۱۳۰ مورد سیل‌های بزرگ در سطح جهان، بیش از ۶۴۱۰۳ نفر تلفات انسانی و ۹/۰۶ میلیارد خسارات مالی محسوس به بار آورده است (خسروشاهی و ثقفیان، ۱۳۸۱). در ایران نیز طی بررسی سیل‌های زیان‌آفرین ۵۰ سال گذشته (۱۳۸۰-۱۳۳۰) تعداد ۳۷۰۰ مورد سیل حادثه‌خیز به ثبت رسیده است که ۴۸۱ مورد سیل مهم در طول سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۷۱ به وقوع پیوسته و بالغ بر ۶۳۰ نفر تلفات انسانی به همراه داشته است (محمدیان شوشتری، ۱۳۸۱). طبق بررسی به عمل آمده، سطح مناطق سیل خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد گردیده است؛ به عبارتی، ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار از آن دارای شدت سیل خیزی متوسط تا خیلی زیاد می‌باشند. از این نظر ۵۹۲ شهر، ۶۶ هزار روستا، ۲ هزار رشته‌قنات، یک میلیون هکتار از اراضی زراعی و بخش عظیمی از جاده‌های کشور و تأسیسات صنعتی در معرض خطر سیل‌گیری و تخریب قرار دارند (ایلخچی و همکاران، ۱۳۸۱).

علاوه بر خطرات ناشی از سیل مشکلات خشکسالی نیز زندگی مردم را تهدید می‌کند، چه بارندگی در ایران حتی کمتر از یک سوم میانگین بارندگی در سطح دنیاست. افزون بر آن، زمان و مکان ریزش باران و برف نیز با نیاز بخش کشاورزی که مصرف‌کننده‌ی اصلی آب در کشور است، مطابقت ندارد (علیزاده، ۱۳۸۲). بر پایه‌ی بررسی‌های به‌عمل آمده به‌وسیله‌ی کارشناسان فائو (۱۹۹۰)، سهم سرانه‌ی سالانه‌ی منابع آب ایران در سال ۱۹۹۰ میلادی برابر با ۲۲۰۰ مترمکعب بوده که

پیش‌بینی شده است در سال ۲۰۲۵ میلادی به رقمی بین ۷۲۶ تا ۸۶۰ مترمکعب در سال کاهش یابد.

استان فارس و به‌خصوص بخش‌های مرکزی و جنوبی آن، نه تنها همواره با پدیده‌ی کم‌آبی و خشکسالی، به‌ویژه در چند سال اخیر روبه‌رو بوده است، بلکه این مناطق شاهد جریان سیل‌های ویرانگر بوده‌اند. آگاهی از خصوصیات سیل از جمله تناوب و بزرگی آن به‌منظور مقابله با زیان‌های احتمالی و مهار کردن و ذخیره‌ی آن نیز ضروری به نظر می‌رسد. از جمله‌ی این اقدامات، بنای سازه‌های مهار کردن سیل و سدهای مختلف در نقاط مستعد حوضه می‌باشد. جهت شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب و تعیین آبنمای سیل و مشخصه‌های آن شبیه‌های مختلفی وجود دارند که WMS امکان دسترسی به بانک اطلاعات جغرافیایی و مکانی، ترسیم زیرحوضه و آبراهه‌ها و محاسبه‌ی مشخصات گیتاشناسی آنها و در نهایت انتقال اطلاعات به شبیه‌های آب‌شناسی و دانش مایعات تعبیه شده در آن برای شبیه‌سازی مراحل تبدیل بارش به رواناب و پخش سیلاب را دارا می‌باشد. در نتیجه، این شبیه می‌تواند با سرعت و دقت بسیار خوبی عمل کرده و با توجه به امکانات تعبیه شده در آن، نتایج حاصل را به روش‌های مختلف نشان دهد. همین امر سبب سهولت و دقت در تصمیم‌گیری نیز می‌شود.

پورکاظمی و همکاران (۱۳۸۷) WMS/HEC-HMS را در حوضه‌ی آبخیز کامه‌ارزیابی و واسنجی کردند. نتایج نشان از برازش مناسب بده‌ی اوج آبنماهای مشاهده‌ای و آبنماهای شبیه‌سازی شده داشته و اختلاف زمانی در رسیدن به اوج نیز مساوی یا کمتر از نیم ساعت برآورد گردیده است. نشاط و صدقی (۱۳۸۵) برآورد اندازه‌ی رواناب را با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS)^۱ و HEC-HMS حوضه‌ی آبخیز باغ-ملک استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه چگونگی نتایج حاصل از برآورد مشخصه‌ی تبدیل بارندگی را به بارندگی مازاد زیر عنوان شماره‌ی منحنی (CN) با دو روش مختلف مورد توجه و مطالعه قرار دادند. یکی از روش‌های برآورد CN استفاده از شاخص‌های خاک و پوشش گیاهی سطحی و دیگری است ناد به مشاهدات و

^۱-Soil Conservation Service

ارتفاعی^۱ (DEM)، سپس نقشه‌های شیب و با استفاده از شبیه WMS خصوصیات گیتاشناسی حوضه‌ها را تعیین کرده و با استفاده از شبیه HEC-1 که از نرم‌افزارهای جانبی WMS می‌باشد، بدهی اوج را در حوضه‌ها تخمین زدند، تحلیل حساسیت انجام شده به‌وسیله‌ی آنها نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل تاثیرگذار بر بدهی اوج بافت خاک است.

مواد و روشها

پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات خام و نقشه‌های مورد نیاز، از جمله اطلاعات بارش ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک و آمار بدهی سیل ایستگاه‌های آبسنجی واقع در حوضه و موقعیت مکانی آنها، نقشه‌های پستی و بلندی منطقه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، اطلاعات و نقشه‌های موجود در زمینه‌ی کاربری اراضی و گروه‌های آب‌شناسی خاک، تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات اولیه، مراحل تهیه شبیه حوضه برای پیش‌بینی رفتار آب‌شناسی آن طبق اصول حاکم و روابط موجود در تبدیل بارش به رواناب، صورت پذیرفت. در این راستا پس از تعیین ویژگی‌های فیزیکی مورد نیاز، با تعریف مؤلفه‌های HEC-HMS شبیه‌سازی صورت گرفت؛ واسنجی و ارزیابی به کمک آمار بارش و بدهی سیل صورت پذیرفت و آبنمای سیل حوضه به‌ازاء مقادیر احتمالی مختلف و دوره‌های بازگشت مورد نظر شبیه‌سازی شد. با انجام تحلیل حساسیت شبیه و تعیین مناطقی که دارای توان سیل‌خیزی بیشتری بودند، در نهایت راه‌حل‌های برای مهار کردن سیل و کاهش بدهی خروجی و یا اهداف دیگر ارائه شدند.

معرفی WMS

WMS از جمله شبیه‌های نو و فراگیر آب‌شناسی است که به‌وسیله‌ی آزمایشگاه دانش مایعات دانشگاه برینگهام و با همکاری مهندسين ارتش آمریکا طراحی و توسعه یافته است. از جمله توانایی‌های مهم WMS، امکان به‌کار گرفتن از مزایای GIS و قابلیت ارتباط شبیه‌های آب‌شناسی و دانش مایعات پشتیبانی شونده آن به ابزار GIS می‌باشد که شبیه را قادر به بازخوانی و ذخیره‌ی لایه‌های اطلاعاتی در قالب Shape File کرده و با

شرایط آبشناسی مرتبط با وقوع سیل برآوردی با کاربرد روش CN بود. با استفاده از پدیده‌ی "بارندگی - رواناب" مشاهداتی، نسبت به واسنجی HEC-HMS اقدام و به‌وسیله‌ی آن CN محاسبه گردید که نتایج محاسبه از روش شماره‌ی منحنی، با کاربرد شبیه گفته شده با نتایج شماره‌ی منحنی مشاهده شده سازگاری نشان می‌دادند. کتون و همکاران (۲۰۰۳) HEC-HMS را برای تعیین بدهی اوج و حجم رواناب در دو حوضه‌ی کشاورزی در جنوب شرق ایالت داکوتای جنوبی به‌کار بردند. بررسی فراسنج‌های شبیه نشان داد که شماره‌ی منحنی دارای حساسیت بالایی می‌باشد، در صورتی که مقدار جذب اولیه دارای حساسیت کمتری نسبت به تغییر مقدار تابع هدف در HEC-HM بود. نتیجه‌ی دیگر به دست آمده حاکی از این بود که مقادیر CN واسنجی شده خیلی کمتر از مقادیر محاسبه گردیده بر اساس شیب، خاک و کاربری اراضی می‌باشد (رادمنش و همکاران، ۱۳۸۵).

خسروشاهی (۱۳۸۶) به‌منظور اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل خیز حوضه‌ی آبخیز دماوند پس از تهیه شبیه ارتفاعی رقمی و نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از نرم‌افزار ILWIS، ویژگی‌های گیتاشناسی هریک از زیرحوضه‌ها را تعیین کرد. سپس به‌منظور تعیین بدهی اوج در هریک از زیرحوضه‌ها، HEC-HMS مورد واسنجی قرار گرفت. در این مرحله، به لحاظ اهمیت بدهی اوج در وقایع سیل، حداکثر بدهی به‌عنوان شاخص واسنجی مدنظر قرار گرفت. با توجه به انتخاب روش آبنمای SCS برای تبدیل بارش - رواناب، تلفات اولیه (Ia) و زمان تأخیر (T_{Iag}) به‌عنوان فراسنج‌های واسنجی در نظر گرفته شده و شماره‌ی منحنی (CN) وزنی زیرحوضه‌ها از نقشه‌ی (CN) استخراج گردید. نتایج نشان می‌دهد که در هر سه حالت، رطوبت پیشین حوضه فراسنج‌های واسنجی شده‌ی T_{Iag} نزدیک به فراسنج‌های محاسباتی می‌باشند، ولی فراسنج Ia محاسباتی و واسنجی شده فقط در شرایط آبشناسی II تقریباً یکسان بوده و مقدار خطا در بدهی اوج آبنمای مشاهده‌ای و واسنجی شده کمتر از ۵٪ است. اکبرپور و فلاح تفتی (۲۰۰۴)، برای دو حوضه‌ی بایگ و رشتخوار با استفاده از GIS شبیه رقمی

¹-Digital Elavation Model

شبیه حوضه (Basin Model)

خواص فیزیکی حوضه‌ی آبخیز، زیرحوضه‌ها، رودها و تأسیسات وابسته به آنها در شبیه حوضه به نرم‌افزار معرفی می‌گردند. محاسبات مربوط به تعیین اندازه‌ی تلفات بارش، تبدیل بارش مازاد به رواناب و روندیابی جریان در شبیه حوضه انجام می‌پذیرد. در این راستا و در صورت نیاز، محاسبات تعیین مقدار جریان پایه، شبیه‌سازی جریان در کانال نهرها و مخازن نیز در این بخش از شبیه انجام می‌پذیرد. محاسبه‌ی تلفات می‌تواند بر حسب انتخاب کاربر با یکی از روش‌های موجود انجام گیرد که عبارتند از: شبیه شرایط اولیه و نرخ ثابت تلفات^۱، شبیه کمبود اشباع و نرخ ثابت تلفات^۲، شبیه گرین وامپت^۳، شبیه محسوب دارنده‌ی رطوبت خاک (SMA)، شبیه شماره‌ی منحنی SCS و شبیه شماره‌ی منحنی SCS شبکه‌بندی شده (مرکز مهندسی آب‌شناسی، ۲۰۰۰). جهت محاسبات تولید رواناب در زیرحوضه‌ها نیز روش‌های مختلفی وجود دارند؛ از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به شبیه‌های آبنمای واحد مصنوعی، مشتمل بر روش‌های کلارک، اشنایدر و SCS، شبیه توزیعی شبه خطی مودکلارک و شبیه موج پویایی اشاره کرد که جهت روندیابی جریان روش‌هایی از قبیل ماسکینگام، نبض اصلاح شده، موج پویایی، ماسکینگام - کانژ مورد بهره‌وری قرار می‌گیرند (موسوی ندوشنی و داننده مهر، ۱۳۸۴).

شبیه هواشناسی (Meteorologic Models)

تحلیل داده‌های هواشناسی با کاربرد شبیه هواشناسی که از دو جزء بارندگی و تبخیر و تعرق تشکیل می‌شود، صورت می‌گیرد. جهت تحلیل داده‌های بارندگی هفت روش وجود دارد که عبارتند از: روش باران نگار سفارشی (User Hyetograph)، روش وزن‌دهی سفارشی به ایستگاه‌ها (User Gauge Weighing)، روش وزن‌دهی، ایستگاه با عکس فاصله، روش بارش روی شبکه، روش فراوانی رگبار، روش رگبار معیار طرح و روش رگبار فرضی SCS. برای تعیین اندازه‌ی تبخیر و تعرق نیز

دریافت شبکه‌ی نامنظم مثلثی (TIN) و یا شبیه ارتفاعی رقومی (DEM)، قادر به پردازش و شبیه‌سازی دقیق عوارض زمین، شبکه‌ی آبراهه‌ها، الگوی جریان، تعیین مرز زیرحوضه‌ها و ارائه‌ی ویژگی‌های گیتاشناسی زیرحوضه‌ها به‌طور دقیق می‌باشد. WMS با بسیاری از ساختارهای متفاوت نگهداری داده در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی سازگار است و می‌توان آن را به تنهایی و بدون استفاده از GIS نیز مورد استفاده قرار داد که از مزیت‌های این شبیه نسبت به همسانان است. از جمله شبیه‌های آب‌شناسی حوضه‌ی آبخیز که به‌وسیله‌ی این شبیه پشتیبانی می‌شوند می‌توان از TR-20، HEC-RAS، HSPF، HEC-1، CAS2D، TR-55 و HEC-HMS نام برد.

از مهم‌ترین کاربردهای این نرم‌افزار علاوه بر شبیه‌سازی آب‌شناسی حوضه‌ی آبخیز و تعیین آبنمای سیل، می‌توان به کاربردهای آن در مهندسی رودخانه از جمله تعیین حریم رودخانه، استخراج مقاطع عرضی رودخانه و انتقال آن به شبیه هیدرولیکی، انجام شبیه‌سازی هیدرولیکی، انتقال نتایج به نقشه‌ی ارتفاعی رقومی و تولید نقشه‌های خطر سیل با دقت قابل قبول اشاره نمود. کلیه‌ی شبیه‌سازی‌های آب‌شناسی و هیدرولیکی در این نرم‌افزار به‌طور یکپارچه امکان پذیر بوده و نتایج از هر شبیه به شبیه دیگر به راحتی قابل انتقال است.

ساختار شبیه آب‌شناسی HEC-HMS

گروه نرم‌افزارهای HEC^۱ توسط مرکز مهندسی آب‌شناسی ارتش آمریکا تهیه شده است. شبیه HEC-HMS از جمله شبیه‌های آب‌شناسی است که به‌وسیله‌ی WMS نیز پشتیبانی می‌شود. این شبیه حوضه‌ی آبخیز را به‌عنوان یک سامانه‌ی به هم پیوسته، با مؤلفه‌های آب‌شناسی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد (عصاره و توکلی زاده، ۱۳۸۵). شبیه‌سازی حوضه‌ی آبخیز در HEC-HMS با کاربرد سه مؤلفه‌ی اساسی بنام‌های شبیه حوضه، شبیه هواشناسی و مشخصه‌های مهارگر که در واقع بخش‌های اصلی شبیه را تشکیل می‌دهند انجام می‌پذیرد (موسوی ندوشنی و داننده مهر، ۱۳۸۴).

2- Initial and Constant-Ratr
3-Deficit and Constant-Rate
4- Green and Ampt

1-Hydrologic Engineering Central

ارتفاع متوسط حوضه ۱۶۹۶ متر از سطح دریا، مساحت حوضه ۱۳۱۲۸ کیلومتر مربع و محیط آن نیز حدود ۹۵۰ کیلومتر می‌باشد. موقعیت حوضه‌ی قره‌آقاج در نقشه‌های کشور و استان طبق شکل ۱ قابل مشاهده است. رودهای مهم حوضه عبارتند از: رود قره‌آقاج که از ارتفاعات بن رود در شمال شیراز سرچشمه گرفته، وارد بخش خفر شهرستان جهرم شده، سپس به بخش سیمکان رسیده و بعد از پیوستن رودهای سیمکان و شور جهرم به آن تا تنگ کازرین ادامه پیدا کرده و از حوضه خارج می‌گردد. رود دیگر سیمکان بوده و سومین رود شور جهرم است که از جنوب بخش شیبکوه فسا سرچشمه گرفته و پس از عبور از شمال جهرم به رود قره‌آقاج می‌ریزد.

طبق روش میانگین ماهانه (Monthly Average) عمل می‌شوند (موسوی ندوشنی و داننده مهر، ۱۳۸۴).

شاخص‌های تعیین کننده

(Control Specifications)

این مؤلفه شامل زمان‌های شروع و پایان تحلیل و گام‌های زمانی محاسبات است. تعیین محدوده‌ی زمانی شبیه‌سازی به وسیله‌ی مؤلفه‌ی مشخصه‌ی تعیین انجام می‌پذیرد (موسوی ندوشنی و داننده مهر، ۱۳۸۴).

موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبخیز قره‌آقاج

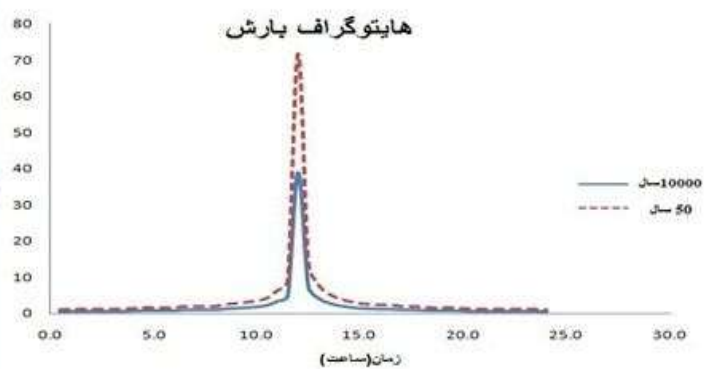
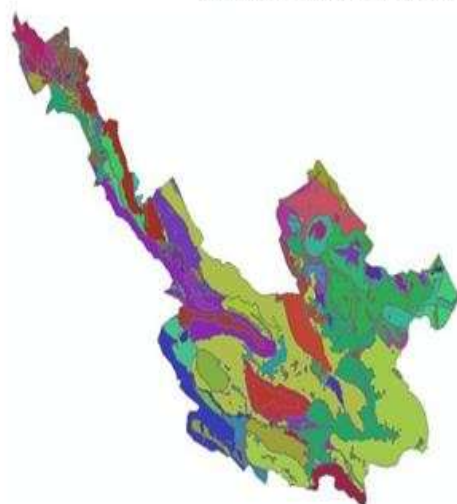
حوضه‌ی آبخیز قره‌آقاج در استان فارس و قسمت عمده‌ی مساحت آن در شهرستان‌های جهرم و فسا و در نیمه‌ی جنوبی استان قرار دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ۳۸-۴۸-۵۱ تا ۳۰-۲۸-۵۳ و عرض جغرافیایی ۲۵-۱۷-۲۸ تا ۵۱-۵۴-۲۹ واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت مکانی حوضه‌ی آبخیز قره‌آقاج

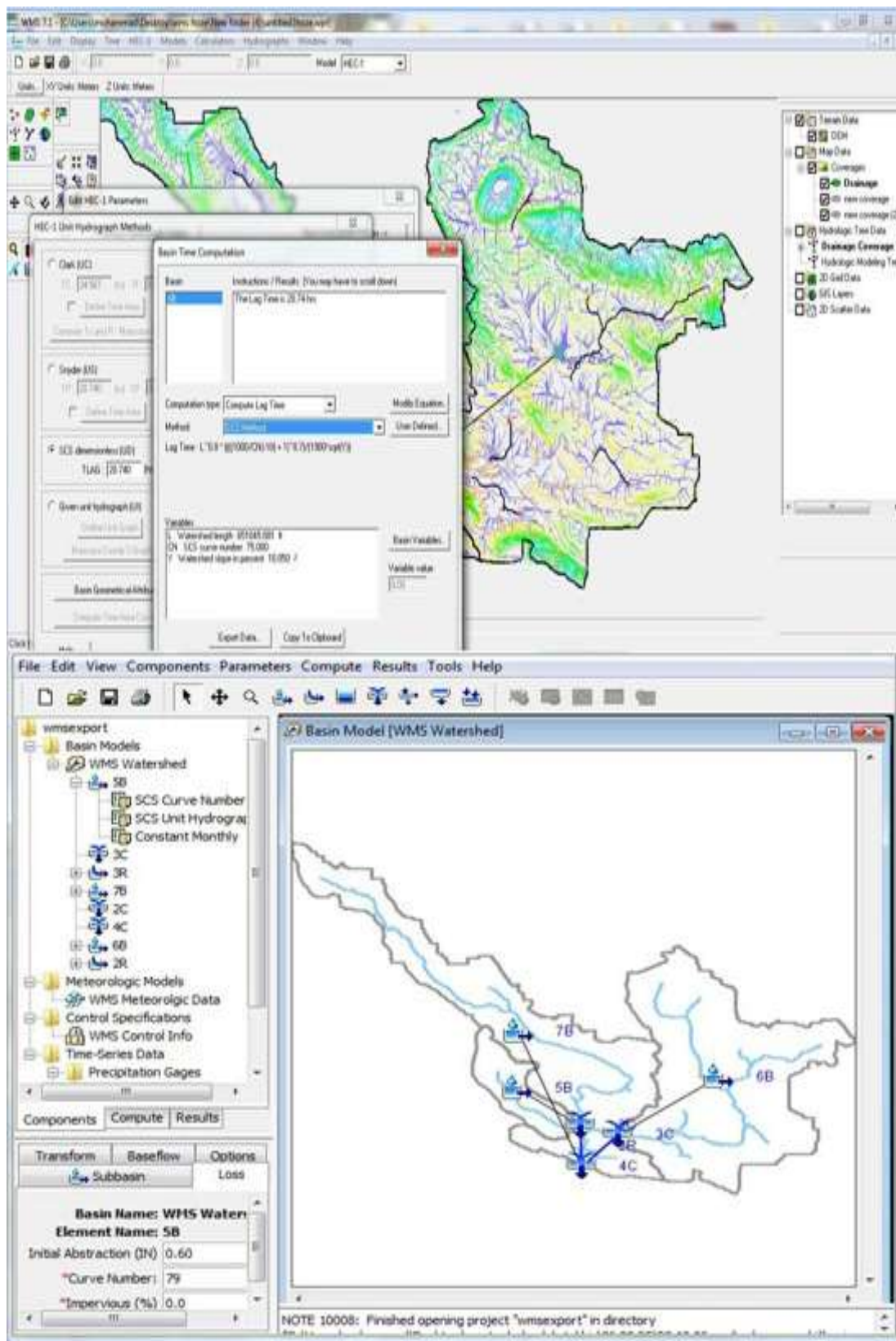


شکل ۲- حوضه قره آقاج و زیر حوضه های تشکیل دهنده آن و موقعیت مکانی ایستگاه های هیدرومتری



نمودار ۲- هایتوگراف بارش ۵۰ و ۱۰۰۰۰ ساله حوضه قره آقاج

شکل ۵- نقشه کاربری اراضی حوضه قره آقاج



شکل ۳ و ۴ - نمایی از محیط نرم افزاری HEC-HMS و WMS

تهیه‌ی شبیه‌سازی ارتفاعی رقومی

شبیه‌سازی‌های ارتفاعی شامل DEM، TIN و Terrian می‌باشند. DEM^۱ شبیه‌سازی ارتفاعی رقومی، به‌منظور نمایش و تجزیه و تحلیل تغییرات پستی و بلندی زمین روی یک سطح خاص می‌باشد. اساس DEM شبکه‌ی ماتریسی^۲ و یا به‌عبارتی دیگر مجموعه‌ای از اوجسرها با اندازه‌ی معین می‌باشد که هر کدام از سلول‌ها دارای ارزش ارتفاعی هستند (حسینی و عظیمی فر، ۱۳۸۸). این شبیه‌سازی به‌عنوان نقشه‌ی پایه‌ی ارتفاعی برای تهیه‌ی سایر نقشه‌ها نظیر شیب، جهت شیب و غیره به کار می‌رود. با توجه به نیاز شبیه‌سازی‌های آب‌شناسی جدید به اطلاعات شیب و خصوصیات وابسته‌ی به آن در سطح شبکه سلولی حوضه، توانایی شبیه‌سازی ارتفاعی رقومی زمین، لایه‌ی پستی و بلندی حوضه‌ی قره‌آقاج که در قالب پرونده‌ی شکل در مرحله قبل تهیه گردید، به کمک نرم افزار GIS و عوارض به شبکه‌ی سلولی تبدیل می‌گردند.

محاسبه خصوصیات گیتاشناسی حوضه و ضرایب شبیه

با ساختن DEM حوضه و انجام اصلاحات لازم بر آن در محیط ARCGIS از جمله اصلاح گودال‌ها و چاله‌ها و پاک کردن مثلث‌های مسطح، این شبیه‌سازی وارد محیط WMS شده و با کاربرد شبیه‌سازی TOPAZ آبراهه‌ها، شبکه‌ی رودها و مرز زیرحوضه‌ها تعیین و حوضه به دو زیرحوضه‌ی جانبی و یک حوضه‌ی میانی طبق شکل ۲ تقسیم گردید؛ و مشخصات گیتاشناسی زیرحوضه‌ها، از جمله شیب، مساحت و طول آبراهه‌ها قابل محاسبه شدند. نمایی از محیط WMS در شکل ۳ قابل مشاهده است. بعد از این نقشه حوضه و زیرحوضه‌های آن به همراه نتایج محاسبات گیتاشناسی آن قابل فرستاده شدن به محیط HEC-HMS بوده و بقیه محاسبات آب‌شناسی حوضه در این محیط انجام می‌پذیرد. نمایی از محیط HEC-HMS نیز در شکل ۴ آورده شده است.

CN یا شماره‌ی منحنی خاک، از جمله ضرایب شبیه‌سازی بوده و بیانگر توان ایجاد رواناب است. تعیین CN برای محاسبه‌ی میزان تلفات بارش از روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا بوده و طبق جداولی که از سوی این

سازمان ارائه شده است، میسر می‌گردد. مراحل تعیین CN بدین ترتیب است که ابتدا نوع پوشش گیاهی و مساحت مربوطه از نقشه‌های کاربری اراضی که به صورت پرونده‌های GIS موجود در شکل ۵ می‌باشد، طبق جدول ۱ استخراج گردید. سپس با توجه به نوع گروه آب‌شناسی خاک که بسته به سرعت نفوذ آب در خاک متغیر است، به کمک جدول ۲ CN منطقه معین می‌شود. با توجه به تنوع پوشش گیاهی در یک منطقه، مسلماً CN‌های متفاوتی برای هر قطعه از منطقه محاسبه می‌گردد که برای تعیین CN کل منطقه از رابطه‌ی ۱ استفاده شده و CN حاصل را CN مرکب می‌نامند (علیزاده، ۱۳۸۲).

$$CN = \left[\sum \frac{A_i}{100} \times CN_i \right] \quad (1)$$

البته باید توجه داشت مقادیر CN محاسبه شده در این مرحله مربوط به شرایط رطوبتی متوسط خاک بوده و در صورت لزوم با استفاده از جداول مربوطه به شرایط خشک و مرطوب خاک قابل تبدیل می‌باشد.

یکی دیگر از ضرایب شبیه‌سازی زمان تأخیر حوضه می‌باشد. زمان تأخیر برحسب تعریف، فاصله‌ی زمانی بین مرکز بارش (نقطه‌ی فرمانی وسط بارندگی) تا زمان اوج آب‌نماست. محاسبه‌ی زمان تأخیر از رابطه‌ی ۲ امکان‌پذیر می‌باشد. (علیزاده، ۱۳۸۲).

$$t_{lag} = \frac{L^{0.8} (s+1)^{0.7}}{1900 y^{0.5}} \quad (2)$$

در رابطه‌ی فوق t_{lag} زمان تأخیر حوضه بر حسب ساعت، L طول رودخانه بر حسب ft، y متوسط شیب حوضه بر حسب درصد که غالباً برابر شیب متوسط رودخانه‌ی اصلی در نظر گرفته می‌شود، S نمایه‌ی نگهداشت آب در داخل حوضه برحسب اینچ است که مقدار آن از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌شود. (علیزاده، ۱۳۸۲).

$$S = 1000 / CN \quad (3)$$

زمان تأخیر و استفاده از آن جهت برآورد زمان تمرکز حوضه‌های بزرگ با کاربرد روش SCS که به روش زمان تأخیر نیز معروف می‌باشد، از رابطه‌ی ۴ قابل محاسبه است. (علیزاده، ۱۳۸۲).

$$t_c = 1.67 t_{lag} \quad (4)$$

1- Digital Elevation Model

2 - Raster

جدول ۱- درصد و نوع پوشش گیاهی در حوضه‌ی قره آقاج

نوع کاربری اراضی	درصد پوشش (%)		
	زیر حوضه‌ی شور	زیر حوضه‌ی سیمکان	حوضه‌ی میانی
جنگل تنک (کم متراکم)	13.0	70.0	27.5
مراتع کم تراکم	56.5	15.4	19
مراتع نیمه متراکم	1.82	-	13
اراضی بدون پوشش و بپرن زدگی سنگی	0.18	-	0.05
زراعت و باغهای آبی	22.2	12.3	9
جنگل نیمه انبوه (م)	3.98	2	16.8
مسکونی	0.65	-	0.09
زراعت و باغهای دیم	0.4	-	14
بستر رودخانه	1.16	0	0.05
زراعت و باغهای دیم	-	0.01	-

جدول ۲- تعیین گروه خاک بر اساس نوع خاک با توجه گزارش اداره حفاظت خاک آمریکا

گروه خاک	نوع خاک
A	لای ریز دانه ، ماسه عمیق ، بادرفت عمیق
B	بادرفت کم عمق ، لوم ماسه ای
C	لوم های رسی، لوم ماسه ای کم عمق، خاک های دارای مواد آلی ناچیز، خاک هایی که معمولاً رس زیاد دارند
D	خاک هایی که با رطوبت به نحو چشمگیری متورم می شوند ، خاک رس خمیری سنگین و بعضی خاک های شور

شبه هوشناسی حوضه از دو جزء بارندگی و تبخیر و تعرق تشکیل می‌شود. معمولاً از میزان تبخیر و تعرق به دلیل ناچیز بودن آن، به‌خصوص در فصل خواب گیاه و یا تابش کم خورشید، صرف‌نظر می‌گردد. جهت تحلیل داده‌های بارندگی از میان روش‌های موجود روش باران‌نگاری انتخاب گردید. بدین ترتیب از مجموع بارش ۲۴ ساعته‌ی باران‌سنج‌های معمولی استفاده شده و به کمک الگوهای توزیع زمانی بارش که به وسیله‌ی سازمان حفاظت خاک آمریکا پیشنهاد شده است، باران‌نگار آنها ساخته می‌شود. داده‌های باران‌سنجی موجود مربوط به اندازه‌گیری در یک منطقه، بارش نقطه‌ای می‌باشند و برای استفاده به‌عنوان بارش در سطح منطقه لازم می‌شود که آن را به مساحت یک حوضه یا منطقه تعمیم دهیم. در عملیات آب‌شناسی این کار معمولاً با کاربرد سه روش میانگین ریاضی، روش استفاده از چند ضلعی‌های تیسن (Thissen) و روش استفاده از خطوط همباران انجام می‌پذیرد؛ استفاده از روش‌های فوق در صورتی امکان‌پذیر است که تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی در

همچنین، میزان نفوذ یا تلفات اولیه‌ی بارش، براساس تجزیه و تحلیل نتایج چند حوضه‌ی آبخیز آزمایشی، به‌صورت زیر تعیین گردید (علیزاده، ۱۳۸۲).

$$I_a = 0.2S \quad (4)$$

نتایج مراحل فوق، یعنی تعیین CN، میزان تلفات اولیه و زمان تاخیر زیرحوضه‌ها در جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشند.

جدول ۳- نتایج محاسبات ضرایب مدل

زیر حوضه	ایستگاه باران سنجی	ضریب تبدیل بارش
شور	چهرم	0.85
	فسا	
سیمکان	براک	0.9
حوضه میانی	اداره مرکزی شیراز	0.85

همچنین ضرایب تبدیل بارش منطقه‌ی ای به نقطه‌ی ای طبق جدول ۵ می‌باشد.

فرآیند شبیه‌سازی آب‌شناسی حوضه‌ی آبخیز

شبیه‌سازی آب‌شناسی برپایه‌ی سه مؤلفه‌ی اساسی هوشناسی، حوضه و مشخصه‌های تعیین‌کننده انجام می‌پذیرد.

$$y = \frac{|X - X_m|}{S_x} \quad (۶)$$

در رابطه‌ی فوق X_m میانگین داده‌ها و S_x انحراف معیار داده‌ها می‌باشد. با انجام محاسبات، داده‌های سال ۱۳۶۵ به میزان ۱۸۵ میلی‌متر حذف گردیدند. گروه بیشینه‌ی بارش ۲۴ ساعته سالانه بعد از حذف داده‌های پرت طبق جدول ۸ می‌باشند.

جدول ۸- مقادیر ماکزیمم بارش ۲۴ ساعته سالانه پس از حذف داده‌های پرت

سال	بیشینه‌ی بارش ۲۴ ساعته	سال	بیشینه‌ی بارش ۲۴ ساعته
1352	42	1371	75
1353	42	1372	36
1354	38	1373	110
1355	62	1374	52
1356	79	1375	45
1357	55	1376	45
1358	63	1377	51
1359	51	1378	43
1360	37	1379	28
1361	55	1380	36
1362	30	1381	27
1363	51	1382	88
1364	63	1383	82
-	-	1384	22
1366	47	1385	57
1367	39	1386	11
1368	30	1387	14
1369	30	1388	51
1370	34		

بعد از حذف داده‌های پرت، گروه موجود از نظر همگن بودن با کاربرد آزمون همگنی رن^۱ مورد بررسی قرار گرفت. تعداد دنباله‌های a و b شمارش گردیده، مجموع دنباله‌ها با حرف u مشخص شد. از جدول آزمون رن، محدوده‌ی مجاز u معین گردید با توجه به این که u در محدوده‌ی مجاز قرار گرفت، مجموعه‌ی داده‌ها همگن معرفی شدند (فولادمند، ۱۳۸۷). جهت تعیین بهترین تابع توزیع، ابتدا با کاربرد نرم افزار Smada، مقادیر بارش به-ازاء میزان احتمالاتی که به وسیله‌ی رابطه‌ی و یبول برای هر یک از داده‌های گروه بیشینه‌ی بارش ۲۴ ساعته سالانه حساب شده، برای هر یک از توابع توزیع احتمالاتی مزبور نیز محاسبه گردید. سپس نتایج حاصل از هر یک از توابع

منطقه بسنده باشد (علیزاده، ۱۳۸۲)، اما در بسیاری از مناطق، به دلیل تعداد کم ایستگاه‌های باران‌سنجی و یا کم بودن تراکم آنها، از ضرابی که بر اساس تجارب سازمان جهانی هواشناسی برای تداوم بارندگی از ۱۵ دقیقه تا ۴۸ ساعت و مساحت منطقه از ۱۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع ارائه گردیده است، استفاده می‌شود. می‌توان جهت تعیین ضریب تعدیل برای ارقام بین اعداد ارائه شده در جدول از درون‌یابی خطی استفاده کرد که نتایج حاصل در جدول ۳ قابل مشاهده می‌باشند (صفوی، ۱۳۸۸).

جهت تکمیل مؤلفه‌ی هواشناسی شبیه در مراحل مختلف از آمار بارش چهار ایستگاه هواشناسی جهرم، فسا، براك و اداره‌ی مرکزی شیراز استفاده گردید که در نهایت با در نظرگرفتن پوشش بارش در سطح حوضه، ۵ بارش تاریخ‌های ۱۳۸۳/۱۰/۶، ۱۳۸۳/۰۵/۱۹، ۱۳۸۲/۰۹/۱۵، ۱۳۸۵/۱۱/۱۵، ۱۳۸۵/۰۹/۲۶ جهت مراحل شبیه‌سازی، واسنجی و ارزیابی شبیه انتخاب گردیدند. گفتنی است که با توجه به مجموع بارش ۵ روزه قبل از بارندگی‌های فوق، وضعیت رطوبتی خاک حوضه در شروع بارش‌ها "متوسط" تعیین شد؛ بنابراین، ضرایب شبیه در مراحل مختلف واسنجی و ارزیابی نیز با توجه به $CN(II)$ محاسبه می‌شود. برای تعیین اندازه‌ی بارش به ازاء دوره‌های بازگشت، با توجه به محدود بودن طول دوره‌های آماری در دسترس نمی‌توان به کمک روابط تجربی موجود احتمال وقوع یک واقعه را برای دوره‌های بازگشت طولانی محاسبه کرد. جهت حل این مشکل سعی می‌شود که توابع توزیع احتمالاتی مناسبی را یافت تا به کمک آنها بتوان به ازاء مقادیر احتمالاتی وقوع مختلف و حتی بسیار ناچیز، میزان متغیر موردنظر را تعیین کرد. بدین منظور، ابتدا گروه داده‌های بیشینه‌ی بارش ۲۴ ساعته سالانه را به ترتیب سال وقوع آنها تهیه می‌کنیم. با توجه به نیاز آماری با طول دوره‌ی طولانی و مناسب از آمار ایستگاه هواشناسی فسا استفاده گردید.

جهت حذف داده‌های پرت، ابتدا فراسنج λ را برای تک تک داده‌ها محاسبه کرده، سپس حد اعداد برای حذف داده‌های پرت را با کمک جداول مربوطه تعیین می‌نماییم. در انتها، داده‌هایی که λ آنها بیش از حد مجاز باشد، به‌عنوان داده پرت حذف می‌گردند (فولادمند، ۱۳۸۷).

1 -Ran Test:Randomness Hypothesis For a Two Value Data Sequence.

SCS، مقادیر بده (Q) به ازاء زمان‌های (t) مختلف محاسبه می‌گردد. آبنمای واحد سیل در گام زمانی مربوطه ممکن است تا چندین ساعت پس از آن نیز ادامه داشته باشد (علیزاده، ۱۳۸۲).

$$Q_p = \frac{0.208A}{tp} \quad (۸)$$

در رابطه‌ی فوق Q_p بده‌ی آبنما بر حسب مترمکعب بر ثانیه، A مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع و tp زمان اوج آبنما بر حسب ساعت می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۲).

$$T_p = 0.6T_c + \sqrt{T_c} \quad (۹)$$

در پایان تمامی آبنماها که هر کدام از آنها نسبت به آبنمای ماقبل خود نیم ساعت تأخیر دارد، با هم جمع و آبنمای کل حوضه برای بارش مربوطه به دست می‌آید (علیزاده، ۱۳۸۲). بده‌ی پایه در خروجی زیرحوضه‌ها نیز در صورت وجود به کمک شبیه ثابت ماهانه محاسبه و در شبیه حوضه ثبت می‌گردد. در شبیه ثابت ماهانه، بده‌ی پایه مورد نیاز برای شبیه‌سازی در دوره‌های بازگشت متفاوت باتوجه به میانگین بده در طول دوره‌ی آماری بلند مدت موجود محاسبه گردید (ویلسون، ۱۹۸۳). جهت روندیابی سیل از خروجی زیرحوضه‌ها به خروجی کل حوضه‌ی قره‌آقاج از روش ماسکینگام بهره‌وری شد. اساس این روش استفاده از معادله‌ی پیوستگی طبق رابطه‌ی ۱۰ بوده و با کمک رابطه‌ی بده‌ی ذخیره‌ی متغیر به صورت هیدرولیکی روندیابی را انجام می‌دهد؛ لذا می‌توان برای یک فاصله‌ی زمانی Δt ، معادله‌ی پیوستگی را جهت دو انتهای منطقه موردنظر از رود به صورت زیر نوشت (رابطه ۱۰) (حسینی و ابریشمی، ۱۳۷۹).

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)\Delta T - \frac{1}{2}(O_1 + O_2)\Delta T = V_2 - V_1 \quad (۱۰)$$

با تغییراتی در معادله‌ی فوق می‌توان ضرایب k, X را با مشخص 1 -Muskingum method بودن آبنماهای ورودی و خروجی در بازه‌ای از مسیر طبق معادله‌ی ۱۱ به دست آورد (حسینی و ابریشمی، ۱۳۷۹).

$$X = \frac{P_1}{P_2} = \frac{0.5\Delta T[(I_2 + I_1) - (O_1 + O_2)]}{X(I_2 - I_1) + (1 - X)(O_2 - O_1)} \quad (۱۱)$$

توزیع احتمالاتی گامبل، پیرسون، لاگ پیرسون، بهنجار و لاگ بهنجار، با مقادیر مشاهداتی بارش به طور جداگانه بر ارزش داده شدند. در نهایت با مقایسه RMSE بین داده‌ها محاسباتی و مشاهداتی، بهترین تابع توزیع احتمالاتی برای تخمین میزان بارش توزیع احتمالاتی گامبل در دوره‌های بازگشت موردنظر انتخاب گردید.

دومین مؤلفه‌ی حوضه، مؤلفه‌ی شبیه آن می‌باشد که از میان روش‌های موجود، روش شماره‌ی منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا جهت محاسبه‌ی میزان تلفات بارش، و روش آبنمای واحد جهت تبدیل بارش مازاد به رواناب و روش ماسکینگام برای روندیابی جریان انتخاب گردید. تلفات بارش شامل بخشی از باران می‌باشد که به صورت تبخیر و تعرق، برگاب، نفوذ و ذخیره آب در چالاب‌های سطح زمین و نیمرخ خاک به هدر رفته و مانع از تبدیل مستقیم بارش به رواناب می‌شود. برای محاسبه‌ی میزان تلفات بارش به صورت نفوذ و برآورد بارش مازاد از روش شماره‌ی منحنی SCS به ترتیب زیر عمل گردید: شبیه مشهور شماره‌ی منحنی SCS میزان بارش مازاد را به عنوان تابعی از بارش تجمعی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و رطوبت قبلی خاک حوضه با استفاده از رابطه‌ی ۷ بیان می‌کند (علیزاده، ۱۳۸۲).

$$P_e = \frac{(p - I_a)^2}{p - I_a + S} \quad (۷)$$

در رابطه‌ی فوق، P_e بارش مازاد تجمعی در زمان t ، p بارش تجمعی در زمان t ، I_a میزان جذب اولیه (تلفات اولیه)، S حداکثر گیرش بالقوه خاک می‌باشد. تا زمانی که بارندگی تجمعی مازاد بر جذب اولیه غلبه نکرده و بارش مازاد ایجاد نشود، روانابی تولید نمی‌گردد.

برای هر گام زمانی شبیه‌سازی که ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده، شبیه به کمک سه مؤلفه‌ی خود اقدام به شبیه‌سازی می‌کند؛ بدین ترتیب در هر گام، زمانی بعد از محاسبه‌ی ارتفاع بارش مازاد، یا ارتفاع رواناب در صورت وجود، ابعاد آبنمای واحد SCS نیز تغییر می‌کند. برای محاسبه‌ی ابعاد آبنمای واحد مصنوعی SCS که به آبنمای بی‌بعد SCS نیز معروف است، بعد از محاسبه بده‌ی اوج (Q_p) طبق رابطه‌ی ۸ و زمان اوج (t_p) ، طبق رابطه‌ی ۹ از جدول موسوم به جدول نسبت‌های آبنمای بدون بعد

تحلیل‌هاست. معمولاً زمان شروع شبیه‌سازی چندساعت قبل از شروع سیل و زمان پایان شبیه‌سازی چندساعت پس از فروکش کردن آن در نظر گرفته می‌شود. این مؤلفه همچنین شامل گام‌های زمانی محاسبات شبیه‌سازی است که باید کمتر از t_p ۲۵٪ در نظر گرفته شوند (علیزاده، ۱۳۸۲).

پس از تکمیل سه مؤلفه، HEC-HMS آماده شبیه‌سازی فرآیند تبدیل بارش به رواناب برای زیرحوضه‌ها، کل حوضه‌ی قره‌آقاج و تعیین آبنمای خروجی و مشخصات آنها گردید.

جدول ۴- مقادیر ضرایب x , k معادله ماسکینگ هام در مسیرهای روندیابی آبنمای سیل

ضریب k (HR)	ضریب x (KM)	مسیر روندیابی
	49.32	2.51
ایستگاه باباعرب تا هکان	38.48	1.95
خروجی زیر حوضه‌ی شور تا خروجی کل حوضه‌ی قره‌آقاج	18.59	0.91
خروجی زیر حوضه‌ی سیمکان تا خروجی کل حوضه‌ی قره‌آقاج		

و جستجوی خودکارانه که با دقت بیشتری همراه است، بهترین برآزش فراسنج‌های شبیه به دست می‌آید (موسوی ندوشنی و داننده مهر، ۱۳۸۴). در روش‌های واسنجی، ملاک کمی انتخاب بهترین برآزش، تابع هدف خواهد بود. جهت کمینه کردن مقدار تابع هدف از روش‌های موسوم به جستجو استفاده می‌شود. روش‌های جستجو شامل روش شیب یک متغیره و روش نلدر و مید است. در روش نلدر و مید تمامی فراسنج‌ها به‌طور همزمان ارزیابی و تصحیح می‌شوند. توابع هدف در HEC-HMS عبارتند از: تابع انحراف معیار وزنی بدهی اوج، تابع مجموع مربع باقیمانده‌ها، تابع مجموع قدر مطلق باقی مانده، تابع درصد خطای بدهی اوج و تابع درصد خطای جسمی (مرکز مهندسی آب‌شناسی، راهنمای HEC-HMS ۲۰۰۱). در این تحقیق تابع مجموع مربع مانده‌ها به‌عنوان تابع هدف انتخاب گردید که طبق رابطه‌ی ۱۲ محاسبه می‌شود (فولادمند، ۱۳۸۷).

$$Z = \sum_{t=1}^n (Q_o(t) - Q_s(t))^2 \quad (12)$$

در معادله‌ی فوق Z تابع هدف، $Q_o(t)$ بدهی مشاهده شده در زمان t ، $Q_s(t)$ بدهی محاسبه شده در زمان t و n تعداد بدهی‌های محاسبه شده است. فراسنج‌هایی که به‌عنوان ضرایب شبیه‌سازی شدند، مقادیر CN و نفوذ

بدین ترتیب که با انتخاب مقادیر مختلف برای X و استفاده از آبنماهای ورودی و خروجی تغییرات P_1 را نسبت به P_2 رسم کرده، آن مقدار از X که باعث ایجاد یک خط تقریباً راست در اتصال نقاط مختلف برای دو حالت بالا رونده و پایین رونده گردد، مقدار صحیح X بوده و k نیز از شیب خط موجود به دست می‌آید (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۶). نتایج نهایی تعیین k , x در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشند.

سومین مؤلفه HEC-HMS، مشخصه‌ی تعیین‌کننده می‌باشد. این مؤلفه شامل زمان‌های شروع و پایان

واسنجی شبیه و بهینه‌سازی فراسنجها

واسنجی فرایندی است که طی آن مقادیر فراسنج‌های معرفی شده به شبیه با هدف دسترسی به نتایج همگون با داده‌های واقعی و طبیعی تصحیح می‌شوند.

عوامل ناشناخته متعدد و یا فراسنج‌هایی که در شبیه وارد نشده‌اند می‌توانند عامل ایجاد اختلاف در نتایج شبیه نسبت به مشاهدات واقعی گردند. جهت واسنجی شبیه از بدهی‌های ثبت شده در ایستگاه‌های آبسنجی حوضه استفاده گردید. موقعیت مکانی ایستگاه‌های آبسنجی در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد. ایستگاه‌های آبسنجی هکان، برآک و تنگ کارزین به ترتیب در خروجی زیرحوضه‌های شور، سیمکان و کل حوضه‌ی قره‌آقاج و بر رودهای شور، سیمکان و قره‌آقاج واقع شده‌اند.

فرآیند واسنجی می‌تواند به سه روش آزمون و خطا یا دستی، خودکار و یا ترکیبی از دو حالت فوق انجام پذیرد. در روش خودکار، واسنجی شبیه به‌وسیله‌ی یک برنامه‌ریزی داخلی انجام گردیده و فراسنج‌های موردآزمون را مرحله به مرحله تطبیق می‌کند تا به‌طور خودکار تعدیل و تنظیم شوند. اجرای برنامه‌ی آزمون تا به دست آوردن مقدار بهترین فراسنج‌ها تکرار می‌گردد. در روش سوم، واسنجی ابتدا از طریق آزمون و خطا تطبیق فراسنج‌ها تا تنظیم تقریبی نتایج پیگیری شده، سپس با روش پیگیری

اولیه و زمان تأخیر می‌باشند. از بین ۵ بارش در نظر گرفته شده، از چهار بارش، یعنی ۸۰ درصد داده‌ها، در مرحله‌ی شبیه‌سازی و واسنجی شبیه استفاده شد که در نهایت از ضرایب تعیین شده میانگین گرفته و از آنها به‌عنوان ضریب نهایی در شبیه‌سازی حوضه استفاده می‌کنیم. تاریخ بارش‌های مذکور طبق جدول ۶ می‌باشد.

جدول ۶- مقایسه‌ی مقادیر محاسباتی و مشاهداتی بده و حجم سیلاب حوضه و زیر حوضه‌های آن در مرحله‌ی واسنجی شبیه

ایستگاه	زمان وقوع سیل	بده (m ³ /sec)		حجم سیلاب (m ³ ×10 ⁶)		درصد خطا
		مشاهده شده	محاسبه شده	مشاهده شده	محاسبه شده	
هکان	1	1382/09/15	241.25	172.84	28.35	21.95
	2	1383/09/19	83.64	69.92	16.4	12.88
	3	1383/10/06	335.19	232.88	28.52	29.2
	4	1385/11/15	112.7	81.65	27.55	26.52
براک	1	1382/09/15	388.58	316.29	18.6	2.22
	2	1383/09/19	423.19	310.3	26.68	13.39
	3	1383/10/06	76.8	70.14	8.68	18.87
	4	1385/11/15	40.94	32.37	20.93	14.43
تنگ کارزین	1	1382/09/15	608.1	516.52	15.06	29.52
	2	1383/09/19	408.35	327.29	19.85	20.45
	3	1383/10/06	996.58	699.24	29.84	13.91
	4	1385/11/15	94.22	109.14	15.84	30.28

جدول ۷- نتایج ارزیابی شبیه (مقایسه‌ی خصوصیات سیل مشاهده شده با مقادیر محاسبه‌ی آن با کاربرد شبیه واسنجی)

درصد اختلاف	بده اوج (مترمکعب بر ثانیه)		حجم سیلاب (m ³ ×10 ⁶)		درصد اختلاف
	مشاهداتی	محاسباتی	مشاهداتی	محاسباتی	
6.25	127.38	133.49	5.82	6.96	4.6
27.7	80.4	87.61	7.66	7.24	8.2
12.5	173.91	195.78	23.1	19.29	11.17

ارزیابی شبیه

جهت بررسی نتایج شبیه نهایی حوضه‌ی قره‌آقاج، عملیات شبیه‌سازی حوضه با کاربرد HEC-HMS، یک بار دیگر رویداد بارش غیر از بارش‌هایی که در مرحله‌ی واسنجی استفاده شده بودند، انجام گرفت (بارش ۱۳۸۵/۰۹/۲۶). جهت مقایسه از مفاهیم و روابط آماری متنوعی می‌توان بهره برد. در این قسمت، از روابط آماری RMSE، GMER، GSDER استفاده گردید که مفهوم و نتایج حاصل هر کدام از این روش‌ها توضیح داده خواهد شد.

۱- RMSE^۱: این تابع مجذور میانگین مربعات اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمین زده می‌باشد. حداقل مقدار RMSE برابر با صفر است که نشان از کاملاً

یکسان بودن مقادیر X و Y را دارد؛ بنابراین هر چه مقدار آن کمتر باشد مناسب‌تر است. همچنین RMSE بیانگر آن است که مقادیر تخمین زده شده، چقدر کم یا زیاد تخمین زده شده‌اند.

۲- توابع نسبت خطای هندسی GMER^۲ و تابع تقسیم معیار هندسی خطای نسبت GSDER^۳ نیز معیاری برای مقایسه نتایج می‌باشند (فولادمنند، ۱۳۸۷).

$$e_i = \frac{y_i}{x_i} \quad (13)$$

2- Geometvie Error Ratio

3- Geometric Standard Deviation Of the Error Ratio

1 -Root Mean Square Error

حوضه‌ی آبخیز نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل و میزان اختلاف بین مقادیر محاسباتی شبیه با مقادیر مشاهداتی در کارهای مشابه قبلی از جمله بررسی‌های انجام شده به‌وسیله‌ی خسروشاهی و اکبرپور در حوضه‌های دماوند و دره‌ی بیرجند و با در نظر گرفتن اینکه حوضه‌های مذکور بسیار کوچکتر از حوضه‌ی قره‌آقاج می‌باشند، دقت کار و کارایی شبیه در تحقیق حاضر تایید می‌گردد.

نتایج ارزیابی شبیه

با در نظر گرفتن میانگین مقادیر ضرایب واسنجی شده‌ی شبیه و شبیه‌سازی آب‌شناسی حوضه برای بارش مورخ ۱۳۸۵/۰۹/۲۶، نتایج به‌دست آمده مورد ارزیابی قرار گرفت. در نمودار ۱ آبنمای سیل حاصل در مرحله‌ی واسنجی با آبنمای مشاهداتی قابل مقایسه می‌باشد. همچنین شاخص‌های GMER و GSDER محاسبه گردیدند. چنانچه مقدار GMER برابر یک شود، مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده کاملاً بر یکدیگر منطبق‌اند، اما در صورتی که این GMER از یک کمتر شود، مقادیر تخمین زده شده کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند. اما در مورد GSDER، چنانچه مقدار آن برابر با یک شود، یعنی داده‌ها کاملاً بر یکدیگر منطبق باشند، افزایش GSDER نسبت به یک بیانگر افزایش فاصله بین مقادیر تخمین زده شده نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. بنابراین در کل، مناسب‌ترین حالت آن است که مقدار GMR نزدیک به یک و مقدار SGDER کوچک بوده و خیلی از یک بزرگ‌تر نباشد (فولادمند، ۱۳۸۷). مقادیر GMER و GSDER به ترتیب ۱/۱۲ و ۱/۳۲ به‌دست آمدند. جدول ۷ مقادیر محاسباتی و مشاهداتی بده‌ی اوج، حجم سیلاب و زمان وقوع اوج سیل را همراه با درصد اختلاف این مقادیر در حوضه و زیرحوضه‌ها در مرحله ارزیابی (بارش مورخ ۱۳۸۵/۰۹/۲۶) شبیه نشان می‌دهد.

نتایج تعیین مقادیر بارش با دوره‌های بازگشت

مختلف و پیش‌بینی سیل حوضه

مقادیر ثبت شده بارش پس از حذف داده‌های پرت در جدول ۸ قابل مشاهده می‌باشند. بهترین تابع توزیع احتمالاتی تابع گامبل مشخص شد و به کمک آن مقادیر بارش با دوره‌های بازگشت مورد نیاز

در رابطه‌ی ۱۳، X و Y به ترتیب مقادیر تخمین زده شده و اندازه‌گیری شده و e نسبت خط نامیده می‌شود (فولادمند، ۱۳۸۷).

مقادیر GMER طبق رابطه‌ی ۱۴ و SDER بر پایه‌ی رابطه‌ی ۱۵ قابل محاسبه‌اند (فولادمند، ۱۳۸۷).

$$GMER = \exp \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln(e_i) \right] \quad (14)$$

$$GSDER = \exp \left[\left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [\ln(e_i) - \ln(GMER)]^2 \right)^{0.5} \right] \quad (15)$$

نتایج و بحث

نتایج تعیین ضرایب شبیه

در تعیین مقدار CN، ابتدا درصد پوشش‌های گیاهی در هر یک از زیرحوضه‌ها طبق جدول ۱ و با کمک نقشه‌های کاربری اراضی تعیین گردید. بعد از آن به کمک جداول سازمان حفاظت خاک آمریکا، مقادیر CN مرکب در هر یک از زیرحوضه‌ها به‌دست آمد. مقادیر تلفات اولیه بارش که ۲۰ درصد حداکثر گیرش بالقوه‌ی خاک در نظر گرفته شده و زمان تاخیر زیرحوضه‌ها که وابسته به خصوصیات گیاتاشناسی منطقه می‌باشد، نیز تعیین گردیدند. نتایج تعیین ضرایب شبیه در هر یک از زیرحوضه‌ها در جدول ۵ آورده شده‌اند.

جدول ۵- نتایج محاسبات ضرایب شبیه

زیر حوضه	شماره منحنی	نفوذ اولیه (mm/hr)	زمان تاخیر (hr)	مساحت (km ²)
سیمکان	73.27	0.73	540	810
شور	77.44	0.58	1158	6597.42
حوضه میانی	75.02	0.66	1536	5721.36

نتایج واسنجی شبیه

با در نظر گرفتن داده‌های ثبت شده سیل در تاریخ‌های مورد نظر و به کمک برنامه‌ی خطی شبیه و طبق روش انتخابی، جهت واقعی‌تر شدن نتایج، ضرایب شبیه واسنجی شدند.

جدول ۶ بده‌ی اوج و حجم سیلاب محاسبه شده، مشاهده‌ای و درصد خطا را برای چهار بارش مربوطه، در ایستگاه‌های آسنجی حوضه را در مرحله‌ی واسنجی شبیه

جدول ۹-مقادیر بارش محاسبه شده به ازای دوره های بازگشت مورد نظر به کمک تابع توزیع احتمالاتی گامبل

تبدیل بارش نقطه ای به منطقه ای با اعمال ضریب	بارش (mm)	دوره بازگشت
36.43	44.97	2
43.49	53.69	3
51.32	63.36	5
61.18	75.53	10
73.64	90.91	25
82.88	102.32	50
92.06	113.65	100
101.19	124.93	200
113.25	139.82	500
122.37	151.07	1000
152.62	188.42	10000
287.5	354.94	بارش pmp
142.87	176.38	بارش طراحی

آبناهی سیل در دوره‌های بازگشت مختلف در نمودار ۳ قابل مشاهده می‌باشد. مشخصات سیل به دست آمده در دوره‌های بازگشت مهم در جدول ۱۰ قابل مشاهده است.

نتایج تحلیل حساسیت شبیه

در هر بار اجرای شبیه یکی یکی از فراسنج‌های ورودی ۱۰ درصد افزایش یا کاهش یافته و سایر فراسنج‌ها باقی ماندند. تحلیل حساسیت شبیه در مورد نتایج حاصل از آن در محاسبه‌ی آبناهی سیل با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال و به ازاء فراسنج‌های ورودی شبیه انجام گرفت. در پایان، جهت تعیین ترتیب حساسیت فراسنج‌های مزبور، از شاخص آماری RMSE استفاده شد. نتایج تعیین حساسیت فراسنج‌های شبیه در برآورد بدهی اوج در جدول ۱۱ آورده شده‌اند.

طبق جدول ۹ پیش‌بینی گردیدند. توابع برازش داده شده عبارتند از : توابع احتمالاتی بهنجار و لاگ بهنجار، گامبل، پیرسون نوع ۳ و توزیع گاما. سپس با کاربرد شبیه‌تایید شده، آبناهی‌های سیل حوضه و زیرحوضه‌ها به دست آمدند. باران‌نگاری موردنیاز به کمک شبیه ۲۴ ساعته بارش SCS نیز محاسبه گردید که به دلیل محدودیت تنها باران‌نگاری بارش ۵۰ و ۱۰۰۰۰ ساله به عنوان نمونه در نمودار ۲ قابل مشاهده می‌باشند.

جدول ۸-مقادیر بارش به ازای دوره های بازگشت مورد نظر به کمک تابع توزیع احتمالاتی گامبل

تبدیل بارش نقطه ای به منطقه ای با اعمال ضریب	بارش (mm)	دوره بازگشت
36.43	44.97	2
43.49	53.69	3
51.32	63.36	5
61.18	75.53	10
73.64	90.91	25
82.88	102.32	50
92.06	113.65	100
101.19	124.93	200
113.25	139.82	500
122.37	151.07	1000
152.62	188.42	10000
287.5	354.94	بارش pmp
142.87	176.38	بارش طراحی

جدول ۱۰- مشخصات سیل حوضه و زیر حوضه‌ها در دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت	منطقه	بده اوج M ³ /sec	حجم سیلاب M ³ ×10 ⁶	دوره بازگشت	منطقه	بده اوج M ³ /sec	حجم سیلاب M ³ ×10 ⁶
10	زیر حوضه شور	747.068	28.892	500	زیر حوضه شور	1723.708	64.867
	زیر حوضه سیمکان	2081.044	188.162		زیر حوضه سیمکان	5411.364	485.249
	حوضه قره آقاج	4507.86	435.687		حوضه قره آقاج	10959.84	1045.827
25	زیر حوضه شور	972.412	37.255	1000	زیر حوضه شور	1898.876	71.351
	زیر حوضه سیمکان	2832.816	255.199		زیر حوضه سیمکان	6029.156	540.449
	حوضه قره آقاج	5985.336	575.339		حوضه قره آقاج	12140.07	1157.581
50	زیر حوضه شور	1145.424	43.585	10000	زیر حوضه شور	2481.724	93.045
	زیر حوضه سیمکان	3413.592	306.982		زیر حوضه سیمکان	8113.98	727.003
	حوضه قره آقاج	7115.528	682.174		حوضه قره آقاج	16105.29	1533.476
100	زیر حوضه شور	1319.05	49.95	pmp	زیر حوضه شور	5078.36	191.29
	زیر حوضه سیمکان	4005.32	359.75		زیر حوضه سیمکان	17685.67	1588.604
	حوضه قره آقاج	8259.97	790.37		حوضه قره آقاج	34175.26	3253.711
200	زیر حوضه شور	1492.876	56.348	سیل طراحی	زیر حوضه شور	2293.676	86.027
	زیر حوضه سیمکان	4605.216	413.278		زیر حوضه سیمکان	7437.136	666.389
	حوضه قره آقاج	9419.788	899.604		حوضه قره آقاج	14820.32	1411.594

جدول ۱۱- مقادیر بده اوج به ازای تغییر ضرایب شبیه در مرحله‌ی تحلیل حساسیت

میزان بده اوج (m ³ /sec)							منطقه
Lag Time(T lag)		Initial Abstraction(IN)		Curve Number(CN)		با ضرایب اصلی	
-10%	10%	-10%	10%	-10%	10%		
544.63	472.92	525.22	486.37	395.78	657.08	505.36	زیر حوضه سیمکان
1679.76	1401.86	1610.08	1431.75	1224.52	1891.4	1519.11	زیر حوضه شور
3671.48	3098.09	3508.63	3217.51	2689.51	4229.48	3361.65	حوضه قره آقاج
202.77	167.596	100.45	97.93	428.39	552.19		مقدار RMSE
RMSE(t lag)=185.183		RMSE(in)=99.19		RMSE(cn)=490.29			میانگین RMSE

جدول ۱۲- میزان بده در هر واحد سطح زیر حوضه‌ها (در زمان تشکیل بده اوج کل حوضه قره آقاج)

میزان بده در واحد سطح (mm/sec)	زیر حوضه
6.2×10 ⁻⁴	سیمکان
2.3×10 ⁻⁴	شور
3.1×10 ⁻⁴	میانی

نتایج بررسی شدت سیل خیزی زیر حوضه‌ها

برای انجام کار ابتدا آبنمای سیل خروجی حوضه با مشارکت کلیه‌ی زیرحوضه‌ها با استفاده از شبیه حوضه و دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال و شرایط رطوبتی متوسط محاسبه شد. سپس با حذف متوالی و یک به یک زیرحوضه‌ها سهم مشارکت هر کدام از آنها در تشکیل بده‌ی اوج حوضه به دست آمد.

همچنین، اولویت سیل خیزی می‌تواند به ازاء میزان مشارکت هر یک از زیرحوضه‌ها در واحد سطح تعیین گردد که جدول ۱۲ حاوی نتایج آن می‌باشد.

نتیجه گیری

نتایج نهایی ارزیابی نشان می‌دهد که خطای برآورد بده‌ی اوج و حجم رواناب و زمان وقوع آن در خروجی حوضه واقع در تنگ کازرین نسبت به مقادیر مشاهده شده به ترتیب ۱۱،۱۹ و ۱۲،۵ درصد می‌باشد. همچنین، شاخص GMER برابر با ۱،۱۲ و مقدار شاخص GSDER نیز برابر با ۱،۳۲ به دست آمد. با توجه به نتایج فوق، شبیه نهایی، آبنمای سیل حوضه‌ی قره‌آقاج را در مجموع کمی بیش از مقادیر واقعی ثبت شده و با دقت مناسبی تخمین زده است.

بر پایه‌ی گزارش سازمان آب منطقه‌ای فارس، طی مطالعاتی که شرکت مهندسی مشاور مه‌اب قدس در جریان احداث سد سلمان فارسی در حوضه انجام داده است، حداکثر بده‌ی سیل لحظه‌ای با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ ساله ۱۷۸۰۰ متر مکعب بر ثانیه برآورد شده است. در حالی که در این تحقیق، بده‌ی اوج سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله با کاربرد WMS/HEC-HMS برابر با ۱۶۱۰۵ متر مکعب بر ثانیه به دست آمده است. با توجه به مطالب فوق و وسعت زیاد حوضه که بالغ بر ۱۳۰۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد، شبیه موجود از دقت و کارایی خوب و قابل قبولی در زمینه‌ی مهندسی آب برخوردار است.

در مرحله تحلیل حساسیت شبیه، عامل حساس شبیه در محاسبه بده‌ی اوج در درجه‌ی اول و با اختلاف زیاد CN، یا شماره‌ی منحنی رطوبت خاک است. عوامل زمان تاخیر و نفوذ اولیه به ترتیب در رتبه‌های بعدی حساسیت شبیه قرار می‌گیرند. عوامل مؤثر در CN، علاوه بر شرایط رطوبتی خاک، وضعیت پوشش گیاهی حوضه می‌باشد که

بعد از تجزیه و تحلیل‌های کارشناسانه و اقتصادی می‌توان برای اهدافی از جمله کاهش بده اوج، قدرت تخریب سیل و یا کاهش آورد بارهای معلق و کف رسوبات تصمیم گرفت. همچنین، حساسیت شبیه در محاسبه‌ی حجم سیلاب نیز در درجه‌ی اول در مقابل تغییرات CN و عوامل وابسته به آن می‌باشد. میزان نفوذ اولیه نیز در درجه‌ی دوم حساسیت قرار دارد. با توجه به میزان RMSE بین حجم محاسباتی حاصل از ضرایب اصلی و میزان این مقادیر در ازاء تغییر زمان تأخیر، این نتیجه حاصل می‌شود که تغییر زمان تأخیر در محاسبه‌ی میزان حجم سیلاب حوضه‌ی قره‌آقاج بدون تأثیر بوده و یا تأثیر بسیار اندکی دارد؛ بنابراین، می‌توان گفت که در تخمین حجم سیلاب حوضه دقت زیادی در تعیین عوامل زمان تاخیر حوضه لازم نمی‌باشد. اعمال دقت بیشتر در فراسنج‌های حساس می‌تواند در بهبود نتایج و صرفه جویی در هزینه‌ها یا کاهش زیان‌های احتمالی و بازدهی بیشتر طرح‌ها مفید واقع گردد.

در بررسی شدت سیل خیزی زیرحوضه‌ها مشخص گردید که در زیر حوضه‌ی سیمکان، هر واحد سطح از توان تولید رواناب بیشتری برخوردار است که در صورت محدود بودن امکانات و یا نداشتن فرصت، این مناطق از اولویت عملیات آبخیزداری برخوردار بوده و بازدهی عملیات به ازاء میزان کار یکسان بیشتر بوده و نتایج آن در کاهش بده اوج بیش از دیگر مناطق حوضه‌ی قره‌آقاج است.

می‌توان پیشنهاد کرد که در مراحل بعد، به کمک آبنمای سیل حاصل، با اطلاع از ویژگی‌های مقاطع دانش مایعات مسیر آبراهه‌ها، در دوره‌ی بازگشت مورد نظر، امکان محاسبه‌ی عمق آب در زمان تداوم سیل در مسیر رود و مناطق سیل گیر اطراف آن فراهم گشته و نقشه‌های پهنه‌بندی سیل حوضه به دست می‌آید که با اطلاع از سازه‌های موجود در حریم رودخانه‌ها و مناطق سیل گیر، از جمله کارخانه‌ها و صنایع وابسته به آب، مناطق تفریحی و گردشگری، مناطق مسکونی، می‌توان نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر را نیز تهیه کرد. به کمک این نقشه‌ها مناطق در معرض خطر با اولویت و خطرپذیری بالا و با توجه به امکانات موجود به مکان‌های امن منتقل و یا با تشخیص کارشناسان و بررسی جنبه‌های اقتصادی آن، به احداث

- ۶- چاو، ون ته، ترجمه: فروزنده، فائزه، ۱۳۸۸، هیدرولوژی کاربردی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول ۳۱۵-۳۱۰.
- ۷- تی تی دژ، امید، ۱۳۸۷، خودآموز Arc GIS و مفاهیم پایه GIS، تهران: انتشارات نشر علم معمار، چاپ چهارم.
- ۸- حسینی، م. و ابریشمی، ج.، ۱۳۷۹، هیدرولیک کانال‌های باز، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ شانزدهم.
- ۹- رادمنش، فریدون. و پرهمت، ج. و بهینا، ع.، ۱۳۸۵ واسنجی و ارزیابی شبیه HEC-HMS در حوضه آبریز رود زرد. هفتمین سمینار مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران، ص ۵.
- ۱۰- صدرالاشرفی، س.، ۱۳۸۶، تهیه شبیه پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از نرم افزار WMS، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور).
- ۱۱- صفوی، ح.ر.، ۱۳۸۸، هیدرولوژی مهندسی، اصفهان: انتشارات ارکان دانش، چاپ دوم.
- ۱۲- عصاره، ع. و توکلی زاده، ع. ۱۳۸۵، سیستم شبیه‌سازی هیدرولوژی، اهواز: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، چاپ اول.
- ۱۳- عظیمی حسینی، م. و نظری فر، م.، کاربرد GIS در مکان یابی، تهران: انتشارات دانشگاه قلم، چاپ اول.
- ۱۴- علیزاده، ا.، ۱۳۸۲، اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد: انتشارات دانشگاه امام رضا(ع)، چاپ بیست و چهارم.
- ۱۵- فولادمند، ح.ر.، ۱۳۸۷، کاربرد آمار در خاک و آب، مرودشت: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت و نوید شیراز، چاپ اول.
- ۱۶- محمدیان شوشتری، ۱۳۸۱، بررسی و کاربرد شبیه HEC-HMS در مهندسی رودخانه، ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۱۷- موسوی ندوشنی، س. و داننده مهر، ع.، ۱۳۸۴، سیستم شبیه‌سازی هیدرولوژیکی (HEC- HMS)، تهران: انتشارات فرهنگی هنری دیباگران تهران، چاپ اول.
- ۱۸- نشاط، علی. و صدقی، ح.، ۱۳۸۵ برآورد میزان رواناب با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) و شبیه HEC-HMS در حوضه آبریز باغ ملک. مجله علمی پژوهشی علوم کشاورزی، سال ۱۲.
- سازه‌های مهارکردن سیلاب و اقدامات موثر دیگر اقدام کرد.
- با کاربرد شبیه WMS در طول این تحقیق، می‌توان مزیت‌هایی را برای آن برشمرد: پشتیبانی و سهولت استفاده توأم تعداد زیادی از شبیه‌های آب‌شناسی و دانش مایعات که نیاز به نرم افزار واسط برای انتقال داده و نتایج از یک شبیه به شبیه دیگر نبوده، بسیاری از محاسبات به صورت خودکار انجام شده و باعث دقت و صحت بیشتر نتایج می‌شوند، تنوع در نحوه‌ی ارائه تحلیل‌ها و انجام آنالیزها نیز سبب دقت و سرعت در تصمیم‌گیری می‌شود. موارد مذکور و نتایج به‌دست آمده از کاربرد شبیه WMS در حوضه‌ی آبخیز قره‌آقاج حاکی از توانایی، کارایی و دقت مطلوب آن در زمینه‌ی شبیه‌سازی آب‌شناسی حوضه‌ی آبخیز بوده و استفاده از آن در این زمینه توصیه می‌شود.

منابع

- ۱- ایلچی، ع. و حاج عباسی، م.ع. و جلالیان، ا.، ۱۳۸۱، اثر تغییر کاربری زمین های مرتعی به دیمکاری بر تولید رواناب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۶، شماره ۴، صفحه ۳۶-۲۵.
- ۲- اکبرپور، ا.، ۱۳۸۷، ترجمه، سیستم شبیه‌سازی حوضه آبریز: آشنایی با نرم افزار wms، مشهد: انتشارات سخن گستر، چاپ اول.
- ۳- پورکاظمی، ا. ۱۳۸۷. ارزیابی واسنجی شبیه WMS/HEC-HMS حوضه آبریز کامه، سومین کنفرانس منابع آب، تبریز، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، ص ۷.
- ۴- خسروشاهی، م.، (۱۳۸۶) اولویت‌بندی مکانی مناطق سیل‌خیز- راهکاری برای عملیات اجرایی مهار سیل در حوزه‌های آبخیز، ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۵- خسروشاهی، م. و ثقفیان، ا.، ۱۳۸۴، نقش روندیابی رودخانه در شناسایی و تفکیک مناطق سیل‌خیز در حوضه‌های آبریز، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرمان

- HMS, Technical reference manual, U.S. Army Corps of Engineering, Davis, CA.
- 22-Hydrologic Engineering Center, 2001 Hydrologic Modeling System, HEC-HMS, Technical reference manual, U.S. Army Corps of Engineering, Davis, CA.
- 23-Wilson, E.M., Engineering Hydrology, Macmillan Elbs, London, 1983.
- 24-Akbarpour, A. and Fallah Tafti, E. (2004). "Peak Discharge Estimate by using GIS.
- 19-Benavides, J.A., B. Pieruszewski, P.B. Bedient and B. Kirsch.(2001). "Analyzing Flood Control Alternatives for the Clear Creek Watershed in a Geographic Information Systems Framework". Proceedings of the Environmental and Water Resources Institute's World Water and Environmental Resources Congress. Orlando. Florida. 16 pp.
- 20-Chow, V.T., Maidment, D. R., and Mays, L. W., Applied Hydrology, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1988.
- 21- Hydrologic Engineering Center. March 2000. Hydrologic Modeling System, HEC-

