

تخمین آبنگار سیلاب حوضه‌های آبخیز بدون آمار با استفاده از شبیه HEC-HMS و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)

(مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز کسلیان)

تورج سبزواری*، رضا اردکانیان^۱، ابوالفضل شمسایی^۲ و علی طالبی^۴

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۲۱ تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۱۸

چکیده

شبیه بارش - رواناب برای یک حوضه‌ی آبخیز بدون آمار، امکان برآورد دبی اوج و حجم سیلاب و شبیه‌سازی آبنگار سیلاب را برای حوضه‌ی مورد نظر فراهم می‌کند. در این پژوهش، یک شبیه بارش - رواناب با بکارگیری قابلیت‌های سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش SCS و شبیه آشناسی HEC-HMS برای حوضه‌ی آبخیز کسلیان، واقع در استان مازندران در شمال ایران، ارایه شده است. ابتدا با بکارگیری الحاقیه‌ی HEC-GeoHMS و شبیه ارتفاعی رقومی DEM در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (نرم افزار ARCGIS) شبیه گیتاشناسی حوضه‌ی آبخیز کسلیان، مرز زیر حوضه‌ها و شبکه‌ی آبراهه‌ها تعیین گردیدند. با تلفیق نقشه‌های گروه آشناسی خاک، کاربری اراضی و داده‌های رطوبت پیشین خاک در محیط GIS، نقشه‌ی شماره‌ی منحنی (CN) زیر حوضه‌های حوضه‌ی آبخیز کسلیان تهیه گردید. برای شبیه‌سازی آبنگار سیلاب روش SCS و برای روندیابی در رودها روش Lag بکارگرفته شد. شبیه گیتاشناسی حوضه از محیط GIS به برنامه‌ی HEC-HMS منتقل و شبیه آشناسی کل حوضه تعیین گردید. با بکارگیری چندین واقعه‌ی بارش و آبنگار سیلاب واقعی، فراسنج‌های شبیه آشناسی حوضه از جمله هدررفت اولیه و زمان تأخیر زیر حوضه‌ها واسنجی گردید. بر اساس میانگین فراسنج‌های واسنجی شده، شبیه برای سه واقعه‌ی دیگر مورد ارزیابی و اعتباریابی قرار گرفت. نتایج پژوهش در مورد پیش‌بینی آبنگار سیلاب در دو رویداد بسیار مناسب بوده و خطای تخمین اوج سیلاب در سه رویداد به طور میانگین بین ۱۰ تا ۱۵ درصد بود که مقادیر قابل قبولی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: سیلاب، HEC-HMS، حوضه‌ی کسلیان، روش SCS.

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان.

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف.

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف.

۴- عضو هیئت علمی دانشگاه یزد.

*- نویسنده‌ی مسوول مقاله: tooraj419@yahoo.com

پیشگفتار

شبیه‌سازی رفتار آشناسی حوضه‌های آبخیز بمنظور مقابله با خطرات سیلاب امری واجب است. جهت طراحی کلیه سازه‌های هیدرولیکی در حوضه‌های بدون آمار، نیازمند پیش‌بینی سیلاب طراحی هستیم. استفاده از شبیه‌های بارش- رواناب در شبیه‌سازی رفتار آشناسی حوضه‌های آبخیز و آب‌نگار سیلاب نتایج مطلوبی در بر داشته است. سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی GIS قابلیت بالایی در شبیه‌سازی هندسه‌ی آبراه‌ها، رودها و حوضه‌های آبخیز دارد. استفاده از این سامانه، شبیه‌سازی ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌های آبخیز را در زمانی کوتاه و با دقتی بالا امکان‌پذیر کرد که به عنوان داده‌های اولیه‌ی شبیه بارش - رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرند. جهان تیغ مقدم (۱۳۷۸) سامانه‌ی شبیه آشناسی HMS را به عنوان شبیه آشناسی مناسب برای حوضه‌ی کر و سیوند در استان فارس ارایه نمود و به این نتیجه رسید که شبیه‌های مبتنی بر اصول و روش‌های آشناسی نسبت به شبیه‌های مبتنی بر اصول هیدرولیکی دارای قابلیت‌هایی بیشتر در زمینه‌ی پیش‌بینی رواناب هستند. خسروشاهی (۱۳۸۰) بمنظور تعیین نقش زیر حوضه‌های آبخیز در شدت سیل‌خیزی حوضه‌ی دماوند، در پژوهشی از شبیه آشناسی HEC-HMS استفاده کرد. خسروشاهی در آن پژوهش به دنبال ارایه‌ی روشی که با استفاده از شبیه‌های ریاضی آشناسی می‌توان ضمن در نظر گرفتن اثرات متقابل عامل‌های مؤثر بر سیل‌خیزی، مناطق خطرناک و سیل‌خیز را در داخل حوضه تعیین نموده و به عبارتی شدت سیل را در هر یک از زیرحوضه‌ها و یا واحد آشناسی اولویت‌بندی نمود.

برای این منظور، ابتدا حوضه‌ی مورد مطالعه به هفت زیرحوضه تقسیم شد، سپس ویژگی‌های فیزیکی حوضه و زیر حوضه‌هایش با استفاده از GIS تعیین گردیدند. با تعیین داده‌های مورد نیاز، آب‌نگار سیل طراحی برای هر یک از زیرحوضه‌ها و کل حوضه از راه اجرای شبیه HEC-HMS بدست آمد. با در نظر گرفتن بدهی اوج زیرحوضه‌ها و براساس تعریفی که برای شاخص سیل‌خیزی در این پژوهش پیشنهاد شده است، در هر بار اجرای شبیه به تفکیک اثر هر یک از زیر حوضه‌ها از

روندیابی داخل حوضه حذف و مقداری برای خروجی حوضه بدون مشارکت زیرحوضه‌ی مربوطه محاسبه گردید. بدین روش میزان مشارکت هر یک از زیرحوضه‌ها در آب‌نگار سیل خروجی حوضه بدست آمد و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با توجه به سهم مشارکت هر یک از آن‌ها در تولید بدهی خروجی حوضه انجام شد. محاسبات بدست آمده از اجرای شبیه نشان دادند که با روندیابی سیل در آبراهه، میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل خروجی به بزرگی و کوچکی بدهی زیر حوضه و در بسیاری از موارد حتی به مساحت زیرحوضه‌ها بستگی ندارد و زیرحوضه‌هایی که بدهی بیش‌تری داشته‌اند، لزوماً مشارکتی بیش‌تر در سیل خروجی ندارند؛ به بیان دیگر، زیرحوضه‌ها نوعی رفتار غیرخطی را از خود بروز داده‌اند.

مطالعات انجام شده در داخل کشور بیش‌تر به تعیین سیل‌خیزی زیرحوضه‌های گوناگون با استفاده از شبیه‌های آشناسی و پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از شبیه‌های هیدرولیکی پرداخته‌اند که مطالعات شقایب فلاح (۱۳۸۰) در حوضه‌ی محمد آباد استان گلستان، جوکار (۱۳۸۱) در رود شاپور با شبیه HEC-HMS از جمله مطالعاتی است که کارایی شبیه یاد شده را تایید می‌کنند. هم‌چنین، صادقی و همکاران (۱۳۸۲) از تلفیق شبیه HEC-RAS و GIS بمنظور پهنه‌بندی سیلاب در رود دارآباد استفاده کردند که نتایج پژوهش دلالت بر کارایی شبیه یاد شده در پهنه‌بندی سیلاب دارد. خلیقی (۱۳۸۳)، در بررسی میزان تأثیر تغییر کاربری اراضی بر مشخصات آشناسی آب‌های سطحی در حوضه‌ی باراندوزچای استان آذربایجان غربی از شبیه شماره‌ی منحنی برای تبدیل بارش به رواناب و از روش ماسکینگام در محیط نرم افزار HEC-HMS برای روندیابی استفاده نمود و پس از انجام مراحل شبیه‌سازی واسنجی و اعتبار یابی برای شبیه‌سازی رفتار حوضه، از سامانه‌ی شبیه‌سازی آشناسی بهره گرفت. مهم‌ترین هدف از انجام این پژوهش، نحوه‌ی کاربرد الحاقیه‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS بویژه HEC-GEOHMS و ترکیب آن با شبیه HECHMS در برآورد سیلاب حوضه‌های فاقد آمار می‌باشد. نحوه ارتباط بین سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی GIS و شبیه HEC-HMS در جهت پیش‌بینی آب‌نگار سیلاب مطابق شکل ۱ می‌باشد.

مواد و روش‌ها

طرح مطالعاتی (حوضه‌ی آبخیز کسلیان)

حوضه‌ی آبخیز کسلیان به مساحت ۶۷/۴ کیلومتر مربع در استان مازندران، در محدوده‌ی طول شرقی ۱۸°۵۳ تا ۳۰°۵۳ و عرض شمالی ۵۸°۳۵ تا ۷°۳۶ شمال ایران واقع شده است. بیش‌ترین، کم‌ترین و ارتفاع میانگین حوضه به ترتیب ۳۳۴۹، ۱۱۲۰ و ۱۶۷۲ متر می‌باشد. میانگین شیب حوضه ۱۵/۸ درصد، میانگین شیب آبراهه‌ی اصلی ۱۳ درصد و طول آبراهه‌ی اصلی ۱۶/۵ کیلومتر است. اقلیم منطقه‌ی مورد مطالعه نیمه مرطوب سرد و میانگین بارندگی سالانه‌ی آن ۷۹۱ میلی‌متر می‌باشد. این حوضه معرف مناطق وسیعی از بخش‌های کوهستانی و جنگلی شمال البرز بشمار می‌رود. کل سطح حوضه‌ی دارای پوششی از جنگل، مرتع و زمین‌های زراعی است. شکل ۲ نقشه‌ی کاربری اراضی این حوضه را نشان می‌دهد.

در این پژوهش ابتدا شبیه‌گیتاشناسی حوضه‌ی آبخیز کسلیان با بکارگیری شبیه‌ارتفاعی رقومی DEM ۵۰ متری و الحاقیه‌ی HEC-GeoHMS مشخص گردید. بر اساس شبیه‌ارتفاعی رقومی، ابتدا لایه‌های جهت جریان، تجمع جریان و شبکه‌ی آبراهه‌های حوضه‌ی مزبور ترسیم گردید. شکل ۳ لایه‌های بدست آمده را نشان می‌دهد (گروه مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۹).

در مراحل بعدی، به بی‌گوشه‌بندی حوضه پرداخته شد که در نهایت در مرحله‌ی انبوهش زیر حوضه‌ها، حوضه‌ی آبخیز کسلیان به ۳۲ زیر حوضه تقسیم گردید که در شکل ۴ قابل مشاهده است (گروه مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۹). نقشه‌ی شماره‌ی منحنی از تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و گروه‌های آبشناسی خاک در محیط GIS تهیه شد و در الگوی فهرست‌وار برای برآورد شماره‌ی منحنی متوسط وزنی زیر حوضه‌ها تبدیل شده است. شکل ۵ نقشه‌ی شماره‌ی منحنی را نشان می‌دهد.

با محاسبه‌ی داده‌های مربوط به عدد منحنی و مساحت زیر حوضه‌ها در محیط GIS (جدول ۱)، می‌توان شبیه‌کل حوضه را در برنامه‌ی HEC-HMS ایجاد نموده و حوضه‌ی مزبور را شبیه‌سازی کرد. شکل ۶ شبیه‌آبشناسی

حوضه‌ی آبخیز کسلیان را در محیط HEC-HMS نشان می‌دهد (گروه مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۹).

پیش‌بینی سیلاب پایه‌ی شبیه SCS

در این پژوهش روش SCS (انجمن حفاظت خاک آمریکا) برای شبیه‌سازی آب‌نگار سیلاب انتخاب گردید. دو فراسنج عدد منحنی و زمان تاخیر از جمله فراسنجهایی هستند که در شبیه SCS بکار گرفته می‌شود. برای محاسبه‌ی زمان تاخیر زیر حوضه‌ها از معادله‌ی زیر استفاده می‌شود (علیزاده ۱۳۷۷):

$$t_l = \frac{L^{0.8} [(1000 / CN) - 9]^{0.7}}{1900S^{0.5}} \quad (1)$$

که در آن CN عدد منحنی، L طول حوضه برحسب فوت و S درصد شیب حوضه می‌باشد.

زمان تاخیر برای کلیه زیر حوضه‌ها محاسبه گردید و به شبیه SCS برنامه‌ی مزبور انتقال داده شد. روابط بین ارتفاع بارندگی، P، و ارتفاع رواناب، Q، بر اساس شبیه SCS به صورت معادله‌ی ۲ می‌باشد:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \quad (2)$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{in mm})$$

جهت بهینه‌سازی فراسنجهای شبیه از آمار ایستگاه باران‌سنج ثبات سنگده (سازمان هواشناسی استان مازندران) و آب‌نگار سیلاب‌های ثبت شده‌ی ایستگاه هیدرومتری ولیک بن (آب منطقه‌ای استان مازندران، ۱۳۸۵) واقع در خروجی حوضه‌ی آبخیز کسلیان استفاده شد. درصد اراضی نفوذناپذیر با بکارگیری نقشه‌های پستی و بلندی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور) در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی برای هر یک از زیر حوضه‌ها محاسبه گردید و در شبیه نیز منظور شده است. جهت روند یابی در آبراهه‌ها از روش Lag (Travel Time) استفاده شده است.

سه رویداد با ۱۰ تا ۱۵ درصد خطا مناسب بوده است. واسنجی فرانسج‌های شبیه SCS در حوضه‌ی کسلیان برای چندین رویداد گوناگون انجام گرفت که نتایج متوسط و نهایی آن برای تمامی زیر حوضه‌ها در جدول ۱ آمده‌اند.

اعتباریابی

پس از واسنجی فرانسج‌های شبیه SCS برای تمامی زیر حوضه‌های کسلیان، به صحت‌یابی شبیه برای رویدادهای دیگر می‌پردازیم. شبیه بهینه‌شده برای ۳ رویداد به تاریخ‌های ۲۲ اکتبر ۱۹۹۴، ۴ می ۱۹۹۳ و ۱۰ می ۱۹۹۲ مورد صحت‌یابی قرار گرفت که نتایج پیش بینی شبیه مطابق شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی آبنگار سیلاب و رفتار آبشناسی حوضه‌ی آبخیز کسلیان با بکارگیری سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) و شبیه HEC-HMS انجام پذیرفت. بکارگیری سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی موجب افزایش سرعت و سهولت کار و همچنین، دقت نتایج می‌گردد. مقایسه‌ی آب نگارهای شبیه‌سازی شده با آبنگارهای ثبت شده در ایستگاه آبسنجی ولیک بن واقع در خروجی حوضه‌ی آبخیز کسلیان حاکی از کارایی شبیه در شبیه‌سازی رفتار آبشناسی حوضه‌های آبخیز می‌باشد. بکارگیری شبیه و بررسی نتایج بدست آمده بیانگر حساسیت بالای شبیه به فرانسج‌هایی نظیر شماره‌ی منحنی، زمان تاخیر و نفوذ اولیه می‌باشد. گفتنی است که درستی و دقت داده‌های مورد استفاده برای شبیه بسیار مهم می‌باشند. مقادیر اعداد منحنی که با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی بدست می‌آیند، مقادیر قابل قبولی برای عدد منحنی بوده‌اند. نکته‌ی دارای اهمیت جایگاه سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در ارایه‌ی شبیه بارش - رواناب می‌باشد. در واقع این سامانه به عنوان یک پیش پردازگر در شبیه‌سازی ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌ی آبخیز و برآورد کمی خواص ریخت‌سنجی حوضه، سطوح نفوذناپذیر، برآورد شماره‌ی منحنی میانگین وزنی زیر حوضه‌ها بوده و روندیابی آبشناسی و شبیه‌سازی رفتار

بهینه‌سازی فرانسج‌های شبیه SCS

در نخستین گام، آبنگار سیلاب پیامد بارندگی ۲۴ می ۱۹۹۱ با کاربرد شبیه SCS تهیه گردید (شکل ۷). جهت بهینه‌سازی از تابع هدف error(RMS peak-weight root mean square) به صورت معادله‌ی ۳ استفاده گردید:

$$Z = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Q_0(t) - Q_s(t))^2 \frac{Q_0(t) + Q_A}{2Q_A}}{n}} \quad (3)$$

که در آن Z تابع هدف، $Q_0(t)$ بدهی مشاهده شده در زمان t ، $Q_s(t)$ بدهی پیش بینی شده در زمان t و Q_A میانگین بدهی مشاهده شده می‌باشند. هدف کمینه‌کردن این تابع است. شکل ۸ نتیجه‌ی واسنجی نهایی را برای رویداد ۲۴ می ۱۹۹۱ نشان می‌دهد.

ضریب کارایی CE (معادله‌ی ۴) برای پیش‌بینی این سیلاب در مقایسه با سیلاب اندازه‌گیری شده ۰/۸۸ می‌باشد؛ این عدد نشانه‌ی کارایی شبیه در تخمین سیلاب است. برای تدقیق بیش‌تر فرانسج‌های شبیه از روش بهینه‌سازی در برنامه‌ی HEC-HMS استفاده شد و دو فرانسج زمان تاخیر و نفوذ اولیه برای ۳۲ زیر حوضه واسنجی گردید (گروه مهندسی ارتش آمریکا، ۲۰۰۹).

ضریب کارایی (CE) برای پیش بینی سیلاب‌های ۳ واقعه‌ی بالا بر اساس معادله‌ی ارایه شده به وسیله‌ی Nash and Sutcliffe (1970)

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n [Q_0(t) - Q_s(t)]^2}{\sum_{t=1}^n [Q_0(t) - Q_A]^2} \quad (4)$$

جدول ۲ نتایج ناشی از پیش‌بینی ۳ رویداد اخیر را نشان می‌دهد.

با بررسی نتایج جدول ۲ می‌توان گفت که ضریب کارایی (CE) انطباق کل آب نگار پیش‌بینی شده را با آب نگار واقعی نشان می‌دهد. رویداد ۱۰ می ۱۹۹۲ مطابقتی بسیار خوب و رویداد ۲۲ اکتبر ۱۹۹۴ نیز مطابقت خوبی را نشان می‌دهد فقط در قسمت نزولی آبنگار در مقداری اختلاف وجود دارد. در طراحی سازه‌های آبی اوج سیلاب مبنای طراحی است و بیشینه‌ی اوج پیش‌بینی شده در هر

۷- شقایبی فلاح، ر. ۱۳۸۰. شبیه سازی دبی حداکثر سیلابی در شاخه‌های فرعی رودخانه با استفاده از مدل HEC-HMS مطالعه موردی در حوضه‌ی آبخیز محمد آباد (استان گلستان)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مرتع و آبخیزداری، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، ۱۷۵ص.

۸- صادقی، س.ج.ر.، ر. جلالی راد، و ع. علی محمدی سراب، ۱۳۸۲. پهنه بندی سیل با استفاده از نرم افزار HEC-RAS و سامانه اطلاعات جغرافیایی (منطقه مورد مطالعه: حوضه‌ی آبخیز شهری دارآباد تهران)، پژوهشنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، ۲: ۳۴-۴۷.

۹- علیزاده، ا. ۱۳۷۷. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه امام رضا، ۶۲۲ ص.

10- Christopher, A. Johnson and C. Andrew Yung. 2001. The Use of HEC-GeoHMS and HEC-HMS to perform grid-based hydrologic analysis of a watershed.

11- Knebl, M.R., Z.L. Yang, K. Hutchison, D.R. Maidment. 2005. Regional Scale Flood Modeling using NEXRAD, rainfall, GIS, and HEC-HMS\RAS: A case study for the san Antonio River Basin summer of 2002 storm event. Journal of Environmental Management, 75: 325-336.

12- Nash, J.E., and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. J. Hydrol. 10, 282-290.

13- Olivera, F. and D. Maidment. 1999. GIS Tools for HMS modeling support. In Hydraulic and hydrologic modeling support, ed. D. Maidment and D. Djokic, Environmental Systems Research Institute, Redlands, California 85-112.

14- Osborne, K., M. Barrett, and D. Maidment. 2000. CRWR Online report 2000-10: a water quality GIS tool for the city of austin incorporating non point sources and best management practices. Center for Research in Water Resources. The University of Texas at Austin, Austin, Texas.

15- Ranaee, E. M.M. Shoushtari, and S.R. Quchani. 2009. The Combination of HEC-Geo-HMS, HEC-HMS and MIKE11 software utilize in a two branches river flood routing modeling. Environmental and Computer Science. ICECS '09. Second International Conference on 317 – 321.

آبشناسی حوضه‌ی آبخیز با کاربرد شبیه HEC-HMS صورت می‌پذیرد. زیر حوضه‌هایی با بدهی اوج و حجم رواناب بالاتر شامل اراضی مرتعی فقیر، اراضی زراعی و سطوح نفوذ ناپذیر گسترده (جاده‌ها، اراضی مسکونی و بویژه بیرون زدگی‌های سنگی) و خاکی با بافت سنگین می‌باشند (شماره‌ی منحنی بالا). پس از ارایه‌ی شبیه بارش - رواناب و اعتباریابی آن، با شبیه‌سازی بارش‌های شدید در سطح حوضه می‌توانیم رفتار آبشناسی حوضه را در سیلاب‌هایی با بده اوج بالا، شبیه‌سازی کرده و مطالعات لازم را برای کاهش خطر سیلاب و اخذ تدابیر لازم دنبال کنیم. روی هم رفته، با تجزیه‌ی یک حوضه‌ی آبخیز به زیر حوضه‌های کوچک‌تر بهتر می‌توان قابلیت سیلاب کل حوضه را شبیه‌سازی کرد. پیش‌بینی بیش‌ترین بدهی در ۴ رویداد متفاوت به روش SCS خطایی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد داشت که می‌توان گفت شبیه یاد شده توانایی بسیار خوبی در پیش‌بینی بیشینه‌ی بده دارد زیرا در بسیاری از طرح‌ها، اوج سیلاب مبنای طراحی می‌باشد.

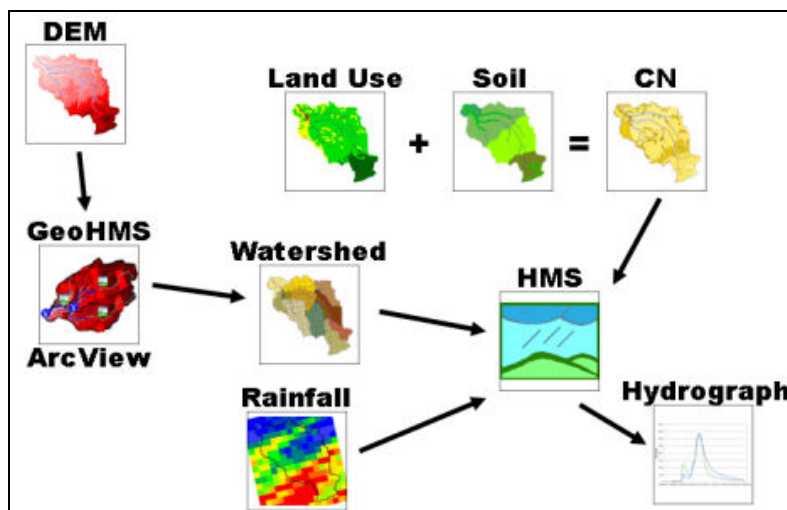
منابع

- ۱- آمار ایستگاه هیدرومتری ولیک بن. ۱۳۸۶. سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران.
- ۲- آمار ایستگاه باران سنجی ثبات سنگده. ۱۳۸۵. سازمان هواشناسی استان مازندران.
- ۳- جهان تیغ، ع. ۱۳۷۸. سیستم پیش بینی و هشدار سیلاب در حوضه‌های آبخیز کر سیوند، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران
- ۴- جوکار، ج. ۱۳۸۱. بررسی سیل‌خیزی زیر حوضه‌های رود شاپور با استفاده از شبیه‌سازی جریانهای سیلابی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، ۱۲۶ص.
- ۵- خسروشاهی، م. ۱۳۸۰. تعیین نقش زیر حوضه‌های آبخیز در شدت سیل‌خیزی حوضه (مطالعه موردی حوضه آبخیز دماوند)، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم انسانی، رساله دکتری جغرافیا، ۱۷۷ص.
- ۶- خلیقی، ش. ۱۳۸۳. بررسی میزان تاثیر تغییر کاربری اراضی و مشخصات آبشناسیک آبهای سطحی مطالعه موردی حوضه باران دوزچای استان آذربایجان غربی، رساله دکتری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

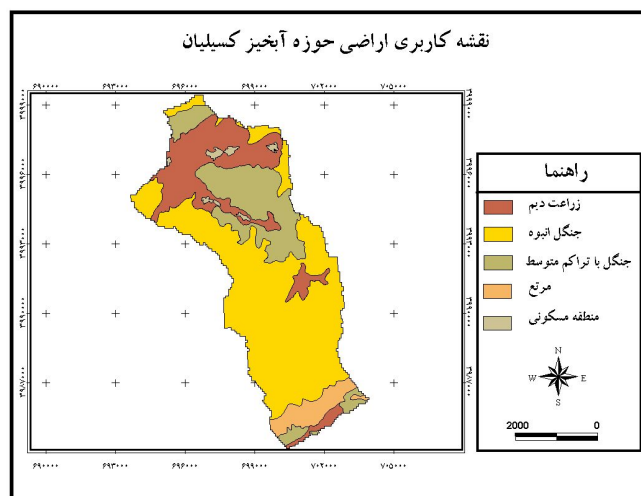
17- US Army Corps of Engineers. 2009. HEC-HMS user's manual. Hydrologic Engineering Center, HEC.

16- US Army Corps of Engineers. 2009. HEC-GeoHMS user's manual. Hydrologic Engineering Center, HEC.

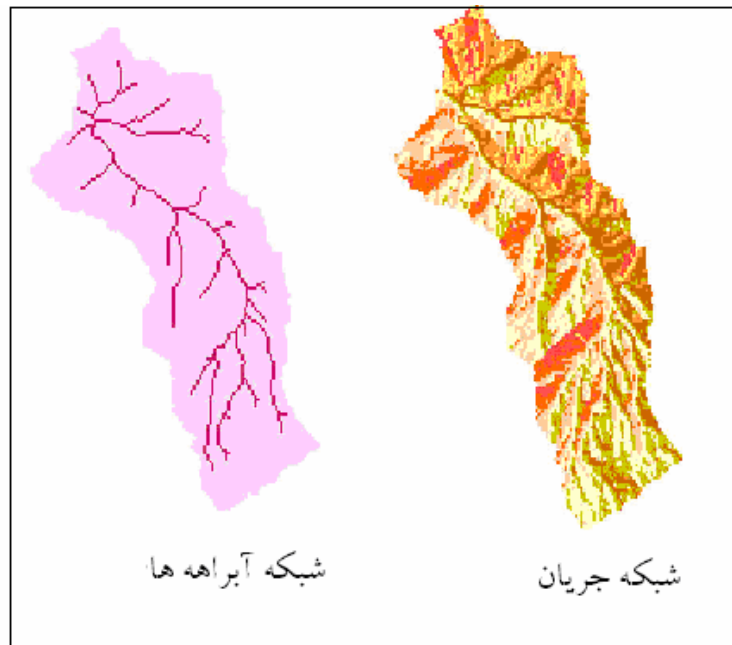
پیوست‌ها



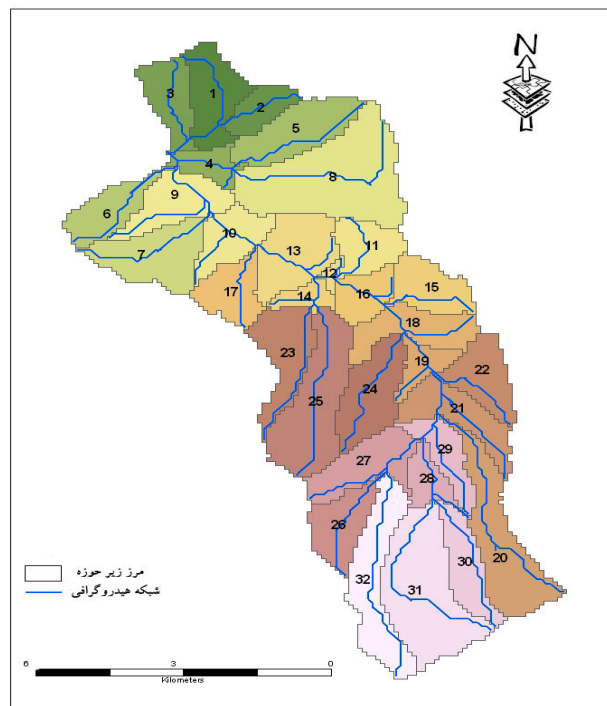
شکل ۱- ارتباط شبیه آشناسی با سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی GIS



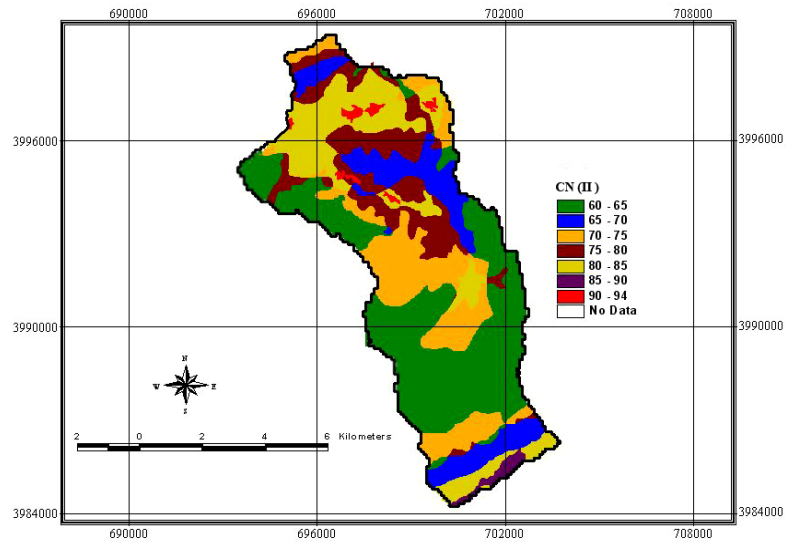
شکل ۲- نقشه‌ی کاربری حوضه‌ی معرف کسلیان.



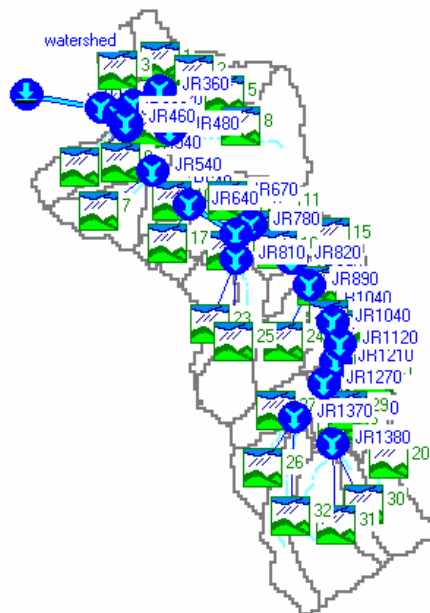
شکل ۳- ترسیم شبکه‌ی جریان و شبکه‌ی آبراهه‌های حوضه‌ی آبخیز کسبلیان با استفاده از برنامه‌ی HEC-Geo HMS.



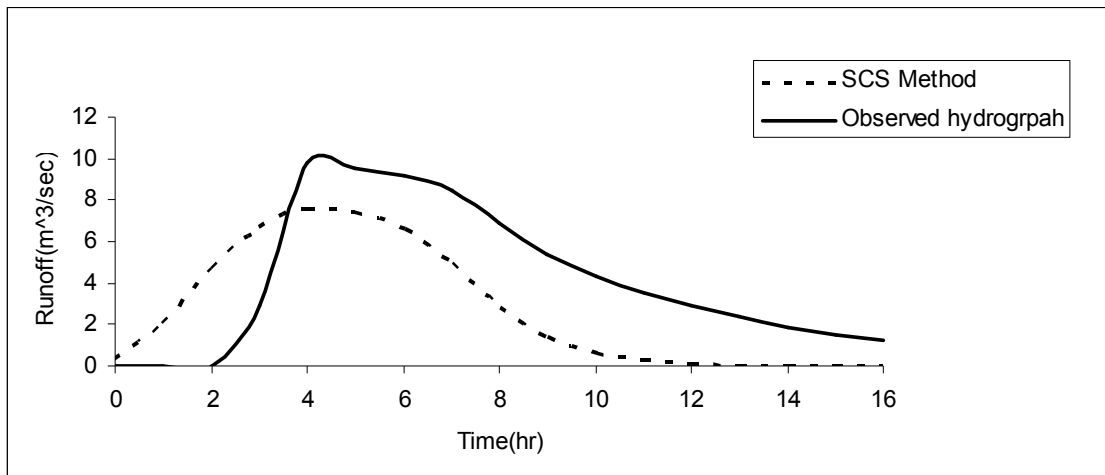
شکل ۴- شبکه‌ی آبنگاری و ۳۲ زیرحوضه‌ی مورد مطالعه‌ی حوضه‌ی آبخیز کسبلیان.



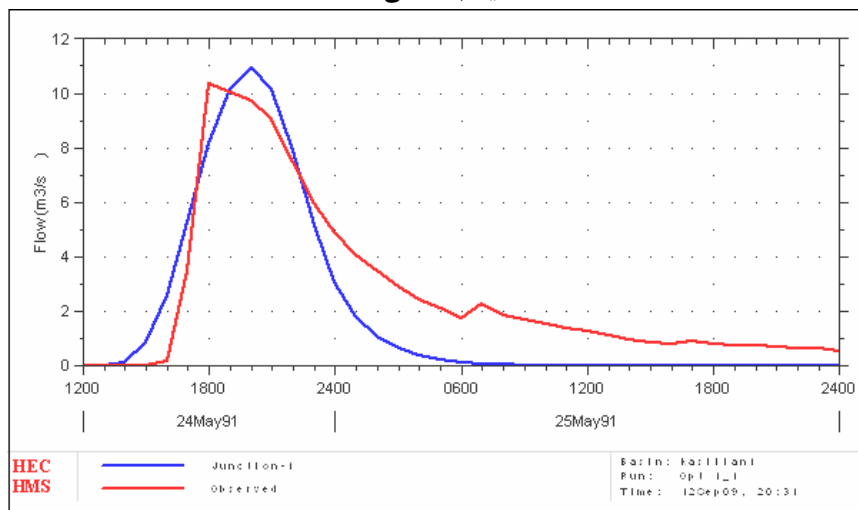
شکل ۵- نقشه‌ی شماره‌ی منحنی حوضه‌ی آبخیز کسلیان در شرایط رطوبت پیشین.



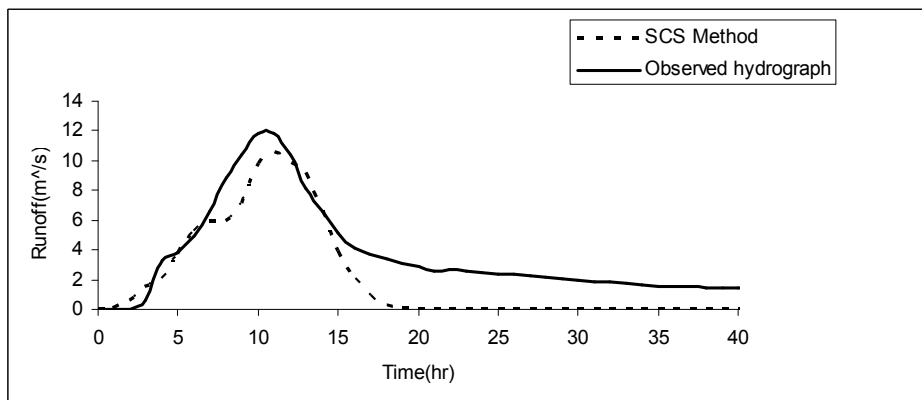
شکل ۶- شبیه آشناسی حوضه‌ی کسلیان در محیط HEC-HMS.



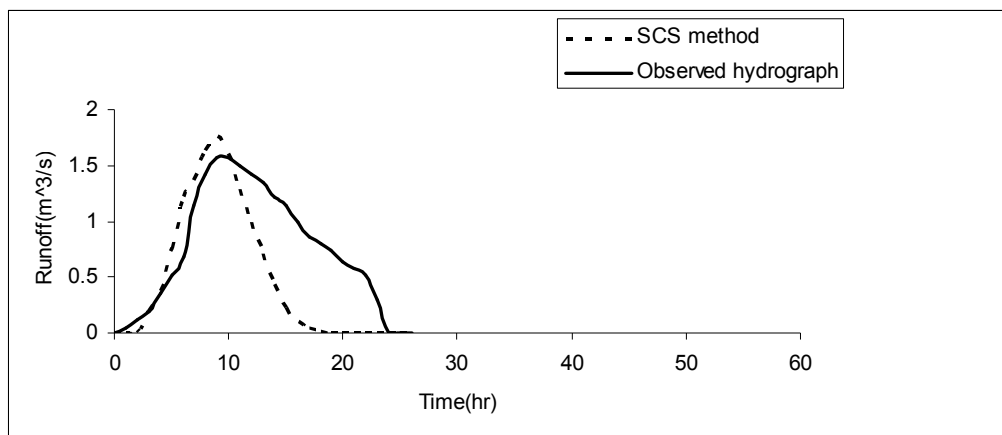
شکل ۷- مقایسه‌ی آب‌نگار شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه آب‌نگار واقعی سیلاب ۲۴ می ۱۹۹۱.



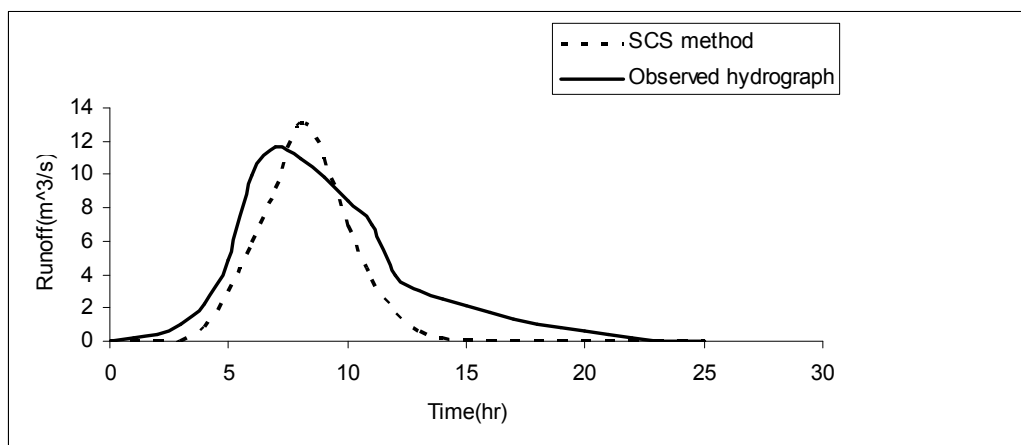
شکل ۸- مقایسه‌ی آب‌نگارهای واقعی و پیش‌بینی شده پس از واسنجی.



شکل ۹- اعتباریابی شبیه‌آشناسی حوضه‌ی آبخیز کسلیان با مقایسه‌ی آب‌نگار شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه SCS و آب‌نگار واقعی سیلاب ۲۲ اکتبر ۱۹۹۴.



شکل ۱۰ - اعتباریابی شبیه‌آشناسی حوضه‌ی آبخیز کسلیان با مقایسه‌ی آب‌نگار شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه‌SCS و آب‌نگار واقعی سیلاب ۴ می ۱۹۹۳.



شکل ۱۱ - اعتباریابی شبیه‌آشناسی حوضه‌ی آبخیز کسلیان با مقایسه‌ی آب‌نگار شبیه‌سازی شده با کاربرد شبیه‌SCS و آب‌نگار واقعی سیلاب ۱۰ می ۱۹۹۲.

جدول ۱- فراسنج‌های شبیه‌SCS پس از واسنجی.

زیر-حوضه	زمان تاخیر (min)	نقشه اولیه (mm)	مساحت Km^2	عدد منحنی (CN)	زیر حوضه	زمان تاخیر (min)	نقشه اولیه (mm)	مساحت Km^2	عدد منحنی (CN)
1	10.8	17.0	2.24	77.5	17	7.8	29.3	1.64	63.4
2	7.3	7.4	1.12	82	18	10.4	12.3	2	69
3	8.6	19.8	1.62	74	19	8.2	11.8	0.9	77
4	11.6	7.0	0.91	83	20	27.7	29.6	3.7	67.7
5	11.6	19.0	2.48	82	21	12.8	29.4	2	68
6	9.9	21.9	1.65	68	22	10.0	29.6	1.85	63
7	10.3	19.6	2.67	66	23	14.9	13.4	2.4	70
8	14.9	18.6	5.92	76	24	12.4	29.7	2.53	66
9	13.3	12.5	2.1	82	25	14.7	13.2	3.93	66
10	7.9	19.3	1.73	74.5	26	11.7	33.9	1.8	60
11	8.8	12.3	1.53	70.4	27	11.3	0.0	2.2	666
12	4.2	14.2	.21	79	28	6.4	30.8	1	62.3
13	9.4	17.0	2.56	74	29	9.5	28.9	1.38	64
14	6.2	14.2	.61	72.4	30	11.5	4.4	1.77	68
15	9.3	30.8	1.69	62.2	31	13.0	4.5	4.9	72
16	7.2	14.0	1.25	77	32	14.4	4.3	3.24	67

جدول ۲- نتایج اجرای شبیه‌آشناسی حوضه‌ی کسپیلان برای سه واقعه‌ی مورد استفاده برای اعتباریابی شبیه.

تاریخ روان‌شدن سیل	بده‌ی واقعی اوج m ³ /s	بده‌ی اوج پیش‌بینی م ³ /s شده	CE	درصد خطای اوج سیلاب
۱۰ می ۱۹۹۲	۱۱,۷۸	۱۳	۰,۹۶	۱۰,۳
۲۲ اکتبر ۱۹۹۴	۱۱,۹	۱۰,۶	۰,۸۲	۱۰,۹
۴ می ۱۹۹۳	۱,۵۷	۱,۸۱	۰,۳	۱۵