



تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۱۷

ص ۶۲۵-۶۳۹

بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک HEC-HMS در شبیه‌سازی

هیدروگراف سیلاب حوضه‌های آبخیز جنگلی

(مطالعه موردی: جنگل خیرود)

- ❖ **مریم مرادنژادی**؛ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **مقداد جورغلامی***؛ دانشیار گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ **آرش ملکیان**؛ دانشیار گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

روش شماره منحنی سرویس حفاظت خاک (SCS-CN) از روش‌های بسیار کاربردی است که به‌طور گسترده برای پیش‌بینی رواناب مستقیم ناشی از بارندگی در نقاط مختلف دنیا استفاده می‌شود. در این مطالعه، برای تهیه نقشه شماره منحنی و ورود اطلاعات مدل فیزیکی حوضه آبخیز خیرود به برنامه HEC-HMS، از الحاقیه HEC-GEOHMS، نرم‌افزار ArcGIS و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth استفاده شد. همچنین به منظور آنالیز آماری داده‌های حداکثر بارش روزانه ایستگاه باران‌سنجی، برای ورود مدل هواشناسی حوضه به برنامه HEC-HMS، از نرم‌افزارهای SPSS، Excel، Easy Fit و Curve Expert استفاده شد و هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال شبیه‌سازی شد. در نهایت برای واسنجی مدل پس از بررسی داده‌های هیدرومتری ایستگاه خیرود، بین سه واقعه متناظر جهت واسنجی و اعتبارسنجی، دو واقعه جهت واسنجی و یک واقعه جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شد. نتایج مربوط به دبی اوج خروجی از هر یک از زیرحوضه‌ها نشان داد A1 با بیشترین دبی اوج در رتبه اول سیل‌خیزی و زیرحوضه B2 نیز به دلیل کمترین وسعت در بین سایر زیرحوضه‌ها در رتبه آخر سیل‌خیزی قرار دارد. همچنین، کارایی مدل HEC-HMS پس از واسنجی آن برای شبیه‌سازی دبی اوج سیلاب در حوضه مطالعه‌شده، مورد تأیید است.

واژگان کلیدی: اعتبارسنجی، جنگل خیرود، سیل‌خیزی، شبیه‌سازی، مدل HEC-HMS.

مقدمه

از سوی 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. این مدل به سبب پاسخ‌گویی مناسب در حوضه‌های مختلف از پذیرش خوبی برخوردار است و هم اکنون در مباحث هیدرولوژی استفاده فراوانی دارد [۱]. در تحقیقی کارایی مدل HEC-HMS را در جنگل‌های تروپیکال ارزیابی کردند و پس از کالیبره کردن، آن را به‌منزله مدلی قابل اعتماد معرفی کردند [۷]. محققانی در ژاپن به برآورد تغییرات دبی اوج با کاهش جنگل با بررسی تغییرات در توزیع فراوانی بارش روزانه و رواناب طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۷ در حوضه آبخیز تراوچی اقدام کردند [۸]. برای این منظور، داده‌های بارش روزانه و رواناب به ترتیب به ۱۴ و ۱۵ کلاس، با توجه به اندازه‌شان، تقسیم شدند و تغییر در هر یک از این پارامترها را ثبت کردند و هیچ روند افزایشی محسوسی را مشاهده نکردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش خطر سیل به علت کاهش درختان در منطقه مذکور کمتر از حد انتظار است. با استفاده از مدل HEC-HMS به پیش‌بینی الگوی کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۵، ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ در یک حوضه آبخیز در آمریکا پرداخته شد و همچنین با استفاده از مدل HEC-GEOHMS خصوصیات ادافیکی حوضه آبخیز در محیط GIS سایر پارامترهای مورد نیاز مدل را استخراج کردند [۹]. همچنین از روش SCS برای تعیین رواناب و انتقال؛ و از روش ماسکینگام کانز نقطه‌ای برای روندیابی کانال‌ها استفاده کردند. با در نظر گرفتن تلفات اولیه به‌منزله پارامتر حساس و کالیبره مدل به روش میانگین خطای مربعات، نشان دادند که مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS قابلیت

شبیه‌سازی سیل و پیش‌بینی آن یکی از زمینه‌های مهم پژوهشی در مطالعات حوضه‌های آبخیز است [۱]. برآورد دبی پیک و هیدروگراف سیلاب در راستای پیش‌بینی رفتارهای هیدرولوژیک حوضه در مدیریت و برنامه‌ریزی حوضه آبخیز و همچنین مدیریت سیلاب ضروری است. در واقع مدیریت حوضه آبخیز میسر نخواهد بود، مگر اینکه خصوصیات هیدرولوژیک حوضه پیش‌بینی شود [۲]. بنابراین، مدل‌های هیدرولوژیک به منظور بررسی مسائل مختلف طراحی شده است [۳] و این روش‌ها، که به‌طور منطقی فرموله و تست شده‌اند، برای بهبود مدیریت زمین و آب با ارائه اطلاعات پایه ضروری‌اند [۴] و با توجه به اینکه هیدروگراف نقش بسزایی در کنترل رواناب حوضه‌های جنگلی دارد [۱]، در حوضه‌های جنگل نیز پژوهش‌هایی با استفاده از مدل‌سازی در زمینه هیدرولوژی جنگل صورت گرفته است. از طریق مدل‌سازی، تأثیر کاهش پوشش جنگل بر حجم و دبی پیک را در جنگل‌های کالیفرنیا را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که اثر قطع درختان بر دبی‌های رواناب و حجم جریان‌ات تأثیر بسزایی دارد [۵]. در کاستاریکا، اکوادور، شیلی و آرژانتین نتیجه گرفتند که در دوره بازگشت ۵ سال، حذف بیش از ۲۰ تا ۳۰ درصد پوشش جنگل باعث تحریک تغییر در دبی اوج می‌شود، اما در بارندگی‌های شدید بعید است که کاهش پوشش جنگلی دلیل تغییرات دبی پیک باشد [۶].

مدل HEC-HMS به‌طور مؤثری تأثیرات کاربری اراضی بر تولید رواناب را شبیه‌سازی می‌کند [۳]. این برنامه نرم‌افزاری توسعه‌یافته مدل‌های قبلی است که

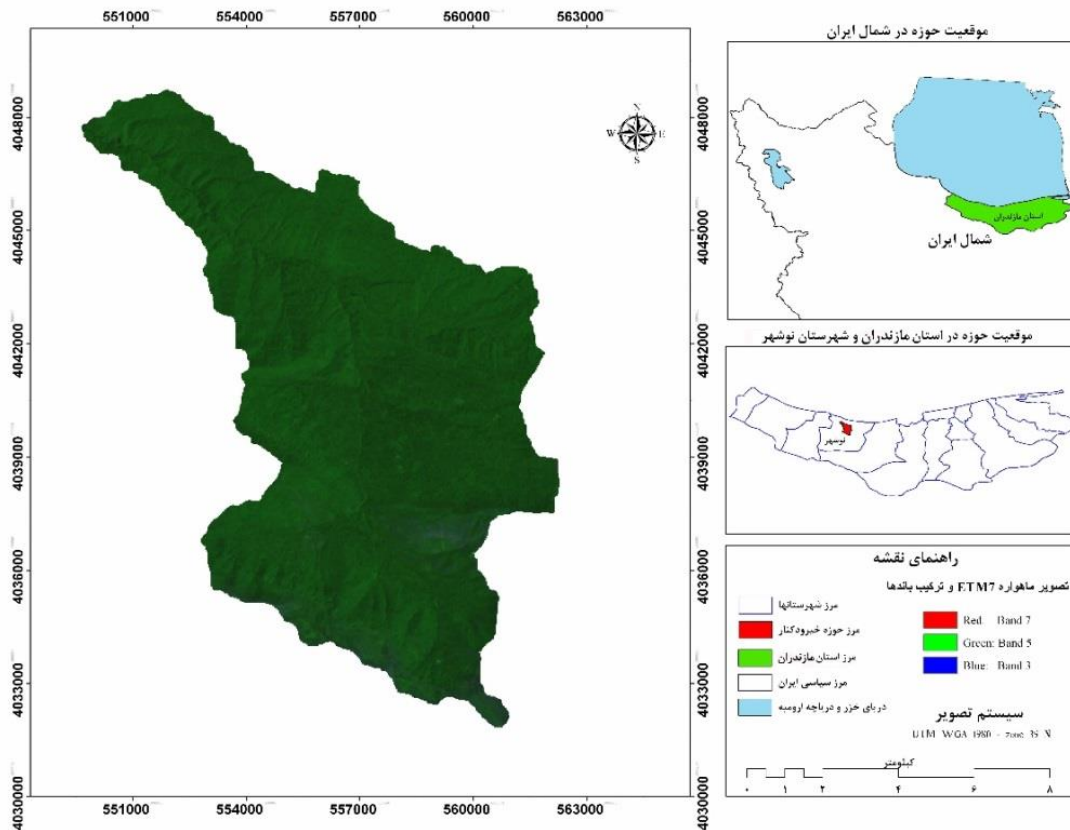
استفاده از مدل HEC-HMS، اثر تغییر پوشش گیاهی را بر روی دبی اوج و حجم سیل در حوضه سد گلستان بررسی کردند [۱۳]. نتایج آنان نشان داد که در طول ۲۹ سال گذشته (از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۵) به علت تغییر کاربری اراضی و تخریب جنگل‌ها و مراتع حوضه، دبی اوج سیل با دوره بازگشت ۵ ساله به میزان ۳۱/۷ درصد افزایش یافته است.

در ایران، مطالعات کمی در زمینه بررسی هیدروگراف سیلاب با استفاده از این مدل کارآمد در حوضه‌های جنگلی، به‌رغم اهمیت این مسئله که در ابتدا به آن اشاره شد، صورت گرفته است. بنابراین، این تحقیق به منظور بررسی هیدروگراف سیلاب در حوضه جنگلی خیرود، که در شمال ایران قرار دارد و از حوضه‌های جنگلی مهم کشور محسوب می‌شود، با استفاده از مدل HEC-HMS انجام گرفت تا خصوصیات هیدرولوژیکی این منطقه با توجه به اهمیت آن در مدیریت جنگل و بهره‌برداری آن، تجزیه و تحلیل شود.

موقعیت منطقه

جنگل خیرود در ۵ کیلومتری شرق نوشهر در استان مازندران واقع شده است. جنگل‌های منطقه کلیک و کهنه‌ده در بالادست جنگل‌های دانشکده واقع شدند که در این مطالعه لحاظ شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. این حوضه جنگلی حدود ۹/۴ هزار هکتار مساحت دارد. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۵۰ متر و حداکثر آن به ۲۲۰۰ متر از سطح دریا منتهی می‌شود. میانگین بارش به‌طور متوسط ۱۴۵۰ میلی‌متر است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد نظر و زیرحوضه‌های موجود در آن را در ایران نشان می‌دهد.

پیش‌بینی الگوهای مختلف کاربری اراضی را، که به‌ویژه در طراحی شهری و کاهش خسارات سیل در حوضه‌های آبخیز شهری از اهمیت بسزایی برخوردار است، دارد. در تحقیقی دیگر [۱۰]، مدل منطقه‌ای سیل را با استفاده از مدل HEC-HMS و HEC-RAS بررسی کردند. آن‌ها در تبدیل بارش به رواناب از روش مود کلارک اصلاح‌شده بهره‌گرفتند و پارامترهای حوضه مطالعه‌شده را نیز به‌صورت دستی کالیبره کردند تا شبیه‌سازی خوبی از دبی ۱۲ زیرحوزه داشته باشند. نتایج حاکی از دست یافتن به ابزاری مناسب برای پیش‌گویی هیدرولوژیکی منطقه‌ای در حوضه بود. پس از واسنجی مدل HEC-HMS، تأثیر تخریب اراضی جنگلی و تغییرات کاربری اراضی را بر روی رواناب و خطر سیلاب حوضه آبخیز کسلیان در شرق استان مازندران در طول ۴۰ سال گذشته (۱۳۴۶ تا ۱۳۸۶) بررسی کردند [۱۱]، نتایج نشان از افزایش دبی اوج و حجم سیلاب داشت؛ به‌طوری‌که ارتفاع رواناب در سال ۱۳۸۶ نسبت به سال ۱۳۴۶ افزایش ۵۸/۲ درصدی را نشان می‌دهد. محققان در حوضه آبخیز کسلیان با استفاده از توانایی GIS و همچنین پیش‌پردازشگر CRWR-PREPRO برای ایجاد بانک اطلاعات جغرافیایی از سطوح زمین، به تولید ورودی‌های مدل حوضه در مدل HEC-HMS اقدام کردند که به صورت فرمت ASCII در اختیار مدل قرار دادند [۱۲]. در تهیه مدل بارش از چهار واقعه متناظر بارش - رواناب استفاده کردند و براساس آن‌ها مدل را واسنجی و اعتبارسنجی کردند. نتایج حاکی از توانایی بالقوه GIS در تولید ورودی‌های مدل بارش - رواناب و همچنین ارتباط بسیار مناسب بین این دو در محاسبه زمان واقعی سیلاب و پیش‌بینی رخدادهای آینده در شمال کشور است. در تحقیقی با



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مطالعه شده

ارتفاع رواناب برحسب میلی متر، P ارتفاع بارندگی ۲۴ ساعته برحسب میلی متر و CN شماره منحنی رواناب است.

پس از محاسبه این عوامل، دبی پیک با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می شود:

$$Q_{max} = \frac{(2.083 A Q)}{t_p} \quad (3)$$

که در آن Q_{max} دبی حداکثر لحظه‌ای به متر مکعب بر ثانیه، A سطح حوضه به کیلومتر مربع، Q ارتفاع رواناب محاسبه شده به سانتی متر و t_p زمان از شروع شاخه صعودی هیدروگراف تا رسیدن به اوج برحسب ساعت است.

به منظور شبیه سازی هیدروگراف سیلاب با دوره

روش تحقیق

در این مطالعه، به منظور شبیه سازی هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ سال، از روش SCS استفاده شد [۱۴؛ ۱۷]. در این روش، ارتفاع رواناب ناشی از بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت‌های مشخص و تلفات حوضه با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه می شود [۱۸].

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

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

که در این روابط، S ضریب نگهداشت سطحی،

کاربرد آزمون ناپارامتری من - ویتنی به وسیله نرم‌افزار SPSS بررسی شد. پس از بررسی و بهبود کیفیت داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته به بررسی تحلیل فراوانی و توزیع زمانی بارش پرداخته شد. تحلیل فراوانی بارش با استفاده از نرم‌افزار EasyFit و آزمون نکویی برآزش کولموگروف-اسمیرنوف و کای اسکور انجام گرفت. برای بررسی توزیع زمانی بارش از روش هاف و پیلگریم و از داده‌های ایستگاه باران‌نگار نوشهر استفاده شد. پس از ورود اطلاعات مورد نیاز به مدل HEC-HMS و شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با دوره بازگشت ۲۵ سال، برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل با به کارگیری آمار ایستگاه هیدرومتری خیرود از روش ندلر و مید استفاده شد. در شکل ۲ مراحل شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب با کاربرد مدل HEC-HMS در قالب نمودار گردش کار نشان داده شده است.

نتایج و بحث

با تلفیق نقشه کاربری اراضی (شکل ۳) و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک (شکل ۴) با استفاده از داده‌های جدول Look Up (جدول ۱) و ابزار HEC- GEO-HMS در محیط برنامه ArcGIS، در نهایت نقشه رستری شماره منحنی (CN) حوضه با قدرت تفکیک 10×10 متری تهیه شد که پس از محاسبات مربوطه، به نقشه وکتوری تبدیل شد که در شکل ۵ نشان داده شده است. براساس این نقشه، بیشترین درصد مساحت به ترتیب مربوط به شماره منحنی ۶۰ (۴۲ درصد)، ۳۶ (۳۰/۵ درصد)، و ۷۳ (۱۸ درصد) است.

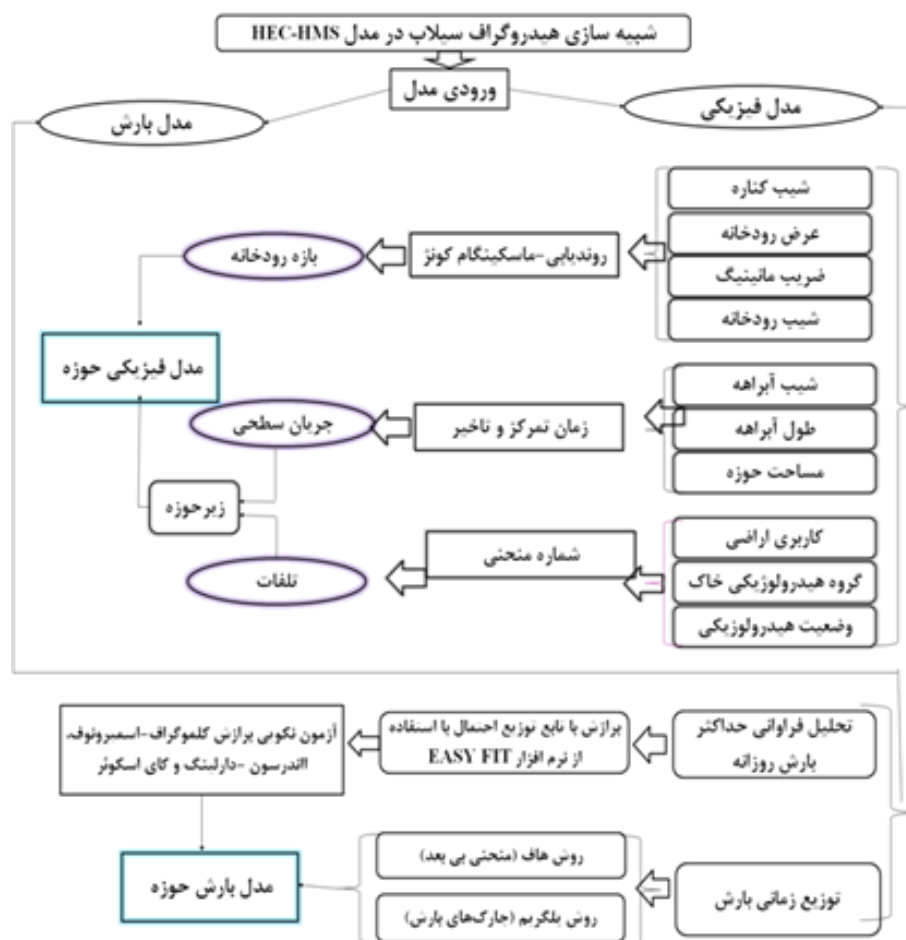
بازگشت ۲۵ سال از مدل HEC-HMS استفاده شد. ورودی این نرم افزار جهت شبیه‌سازی سیلاب شامل مدل فیزیکی و مدل بارش حوضه است که در ادامه به تفصیل بیان شده است.

مدل فیزیکی

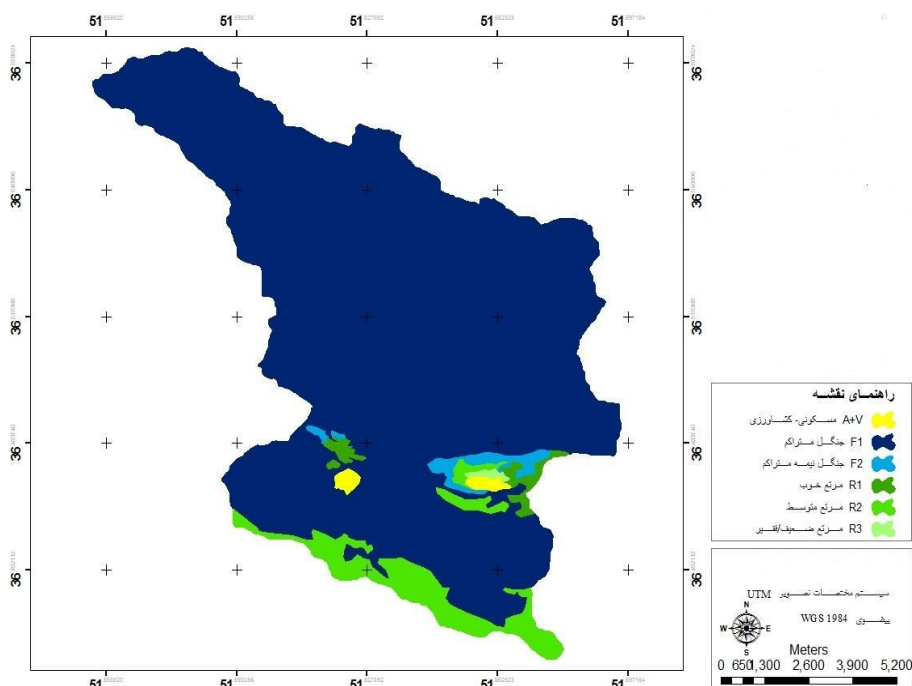
این مدل شامل شماره منحنی زیرحوضه‌ها، روندیابی در بازه‌ها و زمان تأخیر هریک از زیرحوضه‌هاست. برای تهیه شماره منحنی به نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیاز است. به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Google earth و همچنین بازدیدهای میدانی ابتدا نقشه اولیه‌ای در محیط برنامه Google earth با دقت زیاد تهیه شد، سپس با انتقال آن به محیط برنامه ArcGIS اصلاحات مورد نیاز از نظر توپولوژی روی آن اعمال شد. برای تهیه نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی، نقشه خاک با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و شیب حوضه استفاده شد و با استفاده از ابزار HEC-GEHMS با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، نقشه شماره منحنی تهیه شد. به منظور روندیابی بازه‌ها از روش ماکسیگام گونژ استفاده شد. زمان تأخیر هریک از زیرحوضه‌ها با استفاده از ابزار HEC- GEOHMS محاسبه شد.

مدل بارش حوضه

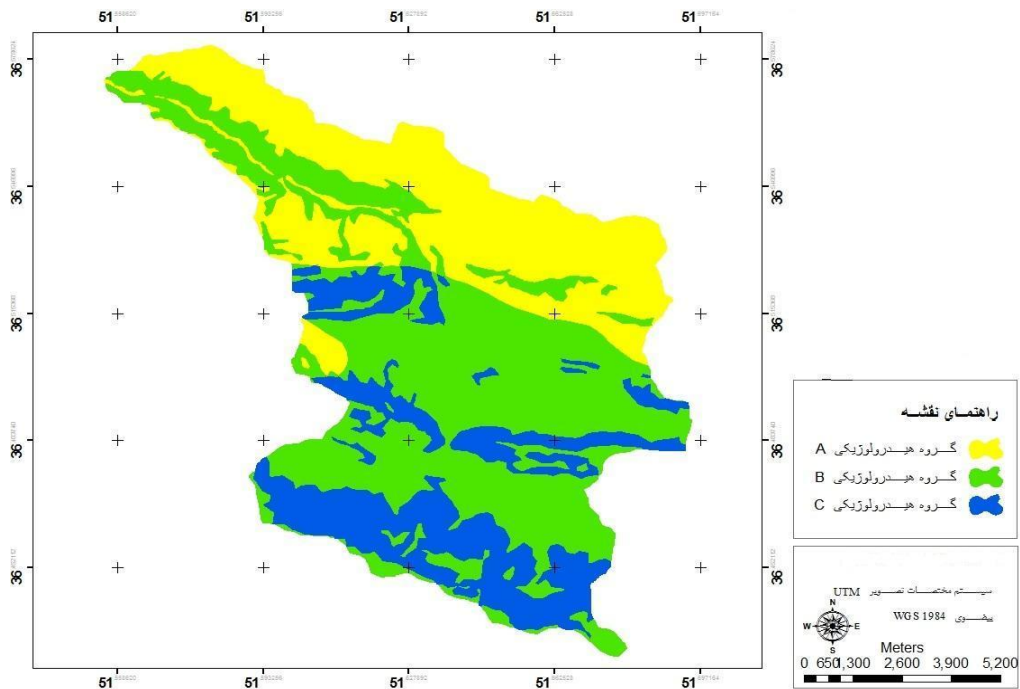
برای ورود داده‌ها به مدل بارش حوضه از آمار ۲ ایستگاه سینوپتیک نوشهر و هیدرومتری خیرود با طول دوره آماری ۱۲ ساله (سال آبی ۱۳۵۰-۱۳۹۰) استفاده شد. همچنین، همگنی و تصادفی بودن داده با روش غیرنموداری ران‌تست و استقلال داده‌ها با



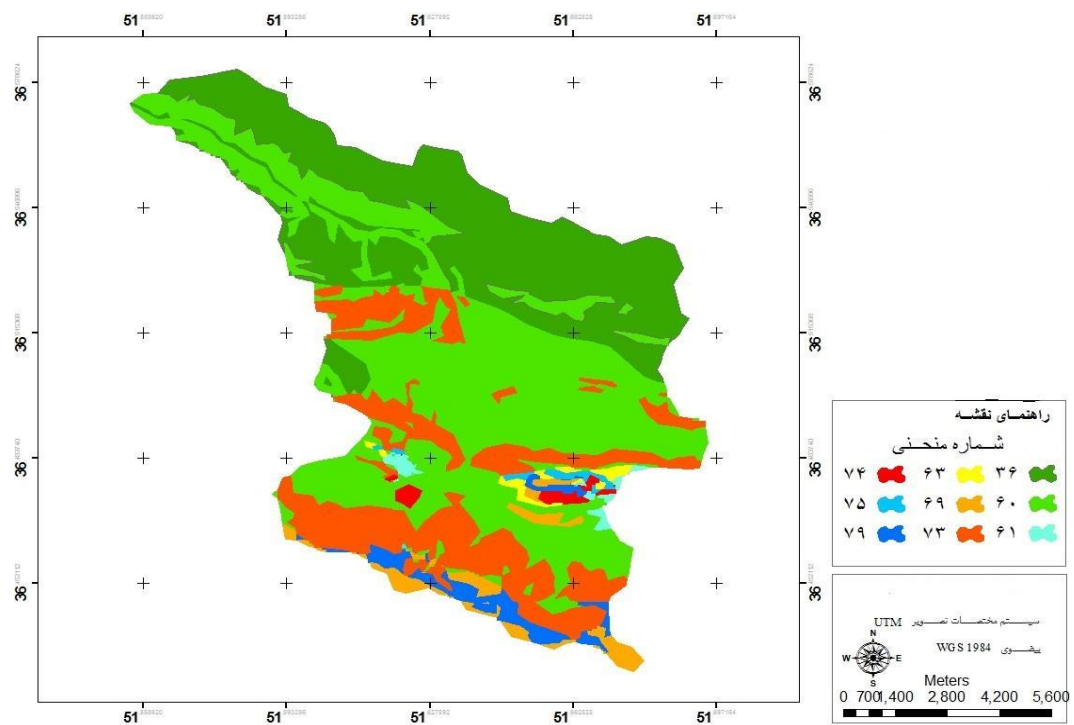
شکل ۲. نمودار گردش کار مدل HEC-HMS



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی منطقه مطالعه شده



شکل ۴. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعاتی



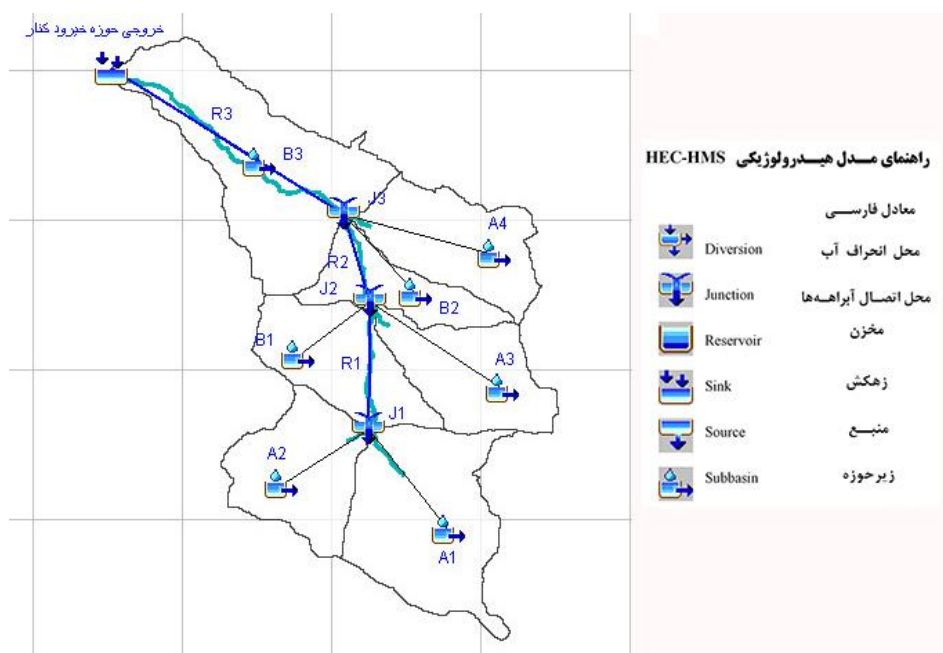
شکل ۵. نقشه شماره منحنی حوضه

جدول ۱. جدول Look Up

شماره منحنی براساس گروه هیدرولوژیکی				توضیحات	علامت کاربری
A	B	C	D		
۳۶	۶۰	۷۳	۷۹	جنگل متراکم	F1
۴۰	۶۳	۷۵	۸۱	جنگل نیمه متراکم	F2
۳۹	۶۱	۷۴	۸۰	مراتع با چرای سبک و پوشش بیش از ۷۵ درصد	R1
۴۹	۶۹	۷۹	۸۴	مراتع با چرای متوسط و پوشش بین ۵۰ تا ۷۵ درصد	R2
۶۸	۷۹	۸۶	۸۹	مراتع با چرای سنگین و پوشش کمتر از ۵۰ درصد	R3
۶۰	۷۴	۸۳	۸۷	اراضی کشاورزی و مسکونی روستایی	A+V

هیدرولوژیک تهیه شده را نشان می دهد. برای واسنجی مدل پس از بررسی داده های هیدرومتری ایستگاه خیرود بین ۳ واقعه متناظر برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل انتخاب شد که ۲ واقعه جهت واسنجی و ۱ واقعه جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شد. تاریخ این وقایع در جدول ۲ نشان داده شده است.

در نهایت، مدل هیدرولوژیکی حوضه به وسیله ترکیبی از اجزای زیرحوضه ها، بازه های روندی، و خروجی ها تهیه شد. برای این منظور، مدل هیدرولوژیکی حوضه مطالعه شده با ریخت درختی (نموگراف) به وسیله HEC-GEO-HMS در محیط برنامه Arc GIS تهیه شد و برای شبیه سازی هیدروگراف خروجی حوضه و زیرحوضه ها به برنامه HEC-HMS انتقال داده شد. شکل ۶ نقشه مدل



شکل ۶. مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS

منحنی، زمان تأخیر و ضریب زبری در ورودی مدل، هیدروگراف خروجی از حوضه و زیرحوضه‌ها شبیه‌سازی شد که نتایج مربوط به دبی اوج سیلاب در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۱۰۰ سال در جدول ۵ نشان داده شده است همچنین، نمودار مربوط به هیدروگراف شبیه‌سازی شده زیرحوضه‌ها در دوره بازگشت‌های مذکور در شکل‌های ۷-الف تا ۷-و و نمودار مربوط به هیدروگراف شبیه‌سازی شده حوضه در شکل ۷-ز نشان داده شده است.

برای واسنجی از روش ندلر و مید استفاده شد که پس از واسنجی مدل، تغییرات مقادیر CN و زمان تأخیر زیرحوضه‌ها در جدول ۳ نشان داده شده است. بررسی خطای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از توابع هدف مجموع مربعات باقی‌مانده (SSR)، مجموع خطاهای مطلق (SAR)، و درصد خطا در جریان پیک (PEP) انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ نشان داده شده است. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل و اعمال تغییرات مربوط به شماره

جدول ۲. وقایع متناظر جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل

تاریخ وقایع	۱۳۸۷/۷/۸	۱۳۸۷/۹/۱۲	۱۳۸۹/۸/۱۰
-------------	----------	-----------	-----------

جدول ۳. تغییرات مقادیر CN، زمان تأخیر زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	شماره منحنی قبل از واسنجی	شماره منحنی بعد از واسنجی	زمان تأخیر (min) قبل از واسنجی	زمان تأخیر (min) بعد از واسنجی
A1	۶۸/۲۴۵	۷۴/۸۹	۵۳/۹۱	۵۵/۱
A2	۶۷/۰۹۵	۶۷	۴۱/۱۲۲	۴۰/۰۲
A3	۶۰/۸۶۳	۶۵/۰۸۵	۶۹/۳۴۸	۷۲/۴۵
A4	۳۸/۲۷	۴۵/۱۳۱	۱۲۷/۰۳	۱۱۵/۲
B1	۶۰/۸۰۴	۶۴/۷۹	۴۵/۵۳	۴۱/۶
B2	۵۴/۱۳۴	۵۹/۹۶۷	۷۵/۹۸۹	۷۰/۲۲
B3	۴۶/۲۳۵	۵۵/۰۳۶	۱۲۴/۴۸	۱۰۴/۵

جدول ۴. خطای هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

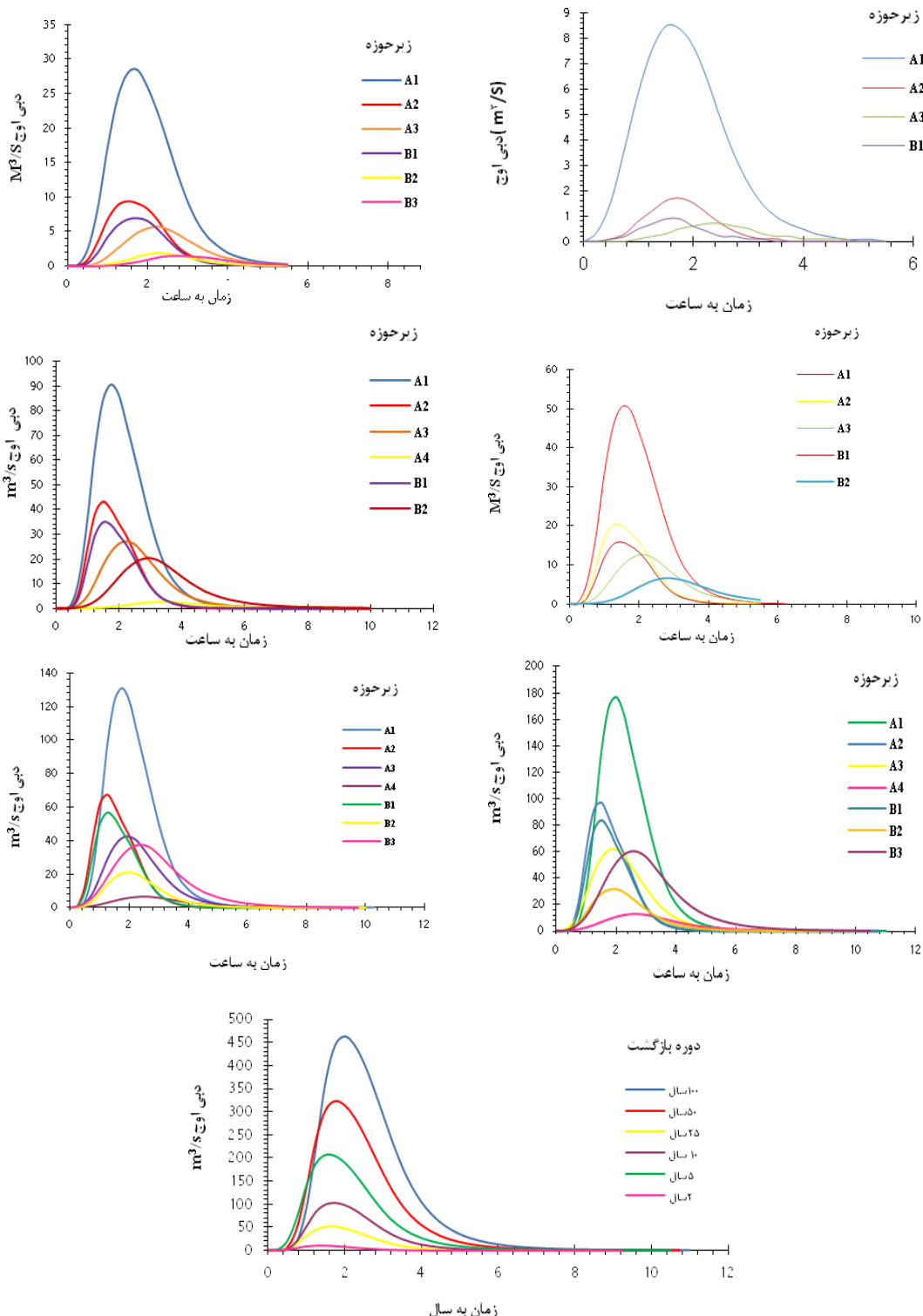
تابع هدف	درصد خطا	مجموع خطاهای مطلق	مجموع مربعات باقی‌مانده
مقدار	۱/۵۸	۱/۸	۱/۲۹

جدول ۵. دبی اوج حوضه و زیرحوضه در هر دوره بازگشت

	دوره بازگشت						زیرحوضه
	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	
	۱۷۶/۸	۱۳۰/۶	۹۰/۶	۵۰/۵	۲۸/۵	۸/۵	A1
	۴۷/۷	۳۴/۹	۲۴/۴	۱۵	۹/۴	۱/۷	A2
	۲۸/۹	۲۱/۷	۱۴/۵	۸/۶	۵/۸	۰/۷	A3
	۱۳/۳	۶/۸	۲/۵	۰/۱	۰	۰	A4
	۱۰/۵	۷/۴	۴/۹	۲/۸	۷	۰/۹	B1
	۴۸/۲	۳۵/۳	۲۴/۴	۱۴/۵	۱/۹	۰	B2
	۱۸/۳	۱۳/۴	۹/۲	۵/۵	۱/۴	۰	B3
کل حوضه	۲۷۱/۳	۱۹۶/۶	۱۳۲/۹	۷۳/۴	۳۱	۱۱/۲	

توجه به اینکه هدف از این تحقیق بررسی سیل خیزی در اراضی جنگلی خیرودکنار بود و در مطالعات مربوط به سیل خیزی به طور عمده خسارات، ناشی از بالارفتن دبی اوج سیلاب است، در این مطالعه، بهینه کردن دبی اوج شبیه‌سازی شده و کاهش خطای آن نسبت به مقدار مشاهداتی بیشتر مدنظر بود؛ موضوعی که در این تحقیق حاصل شد. به عبارتی، کارایی مدل HEC-HMS پس از واسنجی آن برای شبیه‌سازی دبی اوج سیلاب مورد تأیید است. این نتیجه با نتایج سایر محققان از جمله [۱۱، ۱۹، ۲۰] مشابهت دارد. در غالب تحقیقات عنوان شده [۳، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۲۰] نیز واسنجی مدل با استفاده از داده‌های دبی اوج مشاهداتی صورت گرفته است؛ زیرا همان‌طور که اشاره شد، در مباحث مربوط به سیل و سیل‌خیزی و کاهش خسارت ناشی از آن بیشتر دبی اوج هیدروگراف سیلاب مورد تأکید است؛ به طوری که براساس تعریف [۱۹]، هرگونه جریانی که با تداوم زمانی کوتاه‌مدت از بستر اصلی خارج و سبب خسارت جانی و مالی شود، سیل گفته می‌شود.

پس از واسنجی مدل HEC-HMS، نتایج اعتبارسنجی نشان داد که این مدل اگرچه خطای کمتری را از نظر دبی اوج نسبت به واقعه مشاهده‌ای نشان می‌دهد، تاحدودی خطای درخور توجهی را در مقدار حجم سیلاب شبیه‌سازی شده سبب می‌شود. به نظر می‌رسد که این موضوع بر اثر دو علت رخ می‌دهد. از یک طرف این موضوع مربوط به استخراج تعداد وقایع مشاهداتی مناسب است؛ چنانکه با بررسی ۱۲ سال آمار هیدروگراف خروجی ایستگاه هیدرومتری خیرودکنار فقط دو واقعه متناظر با رخداد بارش یافت شد. از طرف دیگر، هیدروگراف خروجی از حوضه‌های جنگلی نسبت به حوضه‌های مرتعی و کشاورزی شکل پهن‌تری دارد؛ اما با توجه به اینکه روش SCS در اراضی کشاورزی ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفته است [۵، ۸، ۱۷]، شکل هیدروگراف بی‌بعد SCS کشیده‌تر از حوضه‌های جنگلی است؛ بنابراین، در اراضی جنگلی، برای واسنجی مدل به تعداد وقایع متناظر زیاد نیاز است. موضوعی که در این پژوهش به دلیل کمبود آمار مربوط به هیدروگراف خروجی میسر نشد؛ اما با



شکل ۷. هیدروگراف خروجی ۲ ساله (الف)، ۵ ساله (ب)، ۱۰ ساله (ج)، ۲۵ ساله (د)، ۵۰ ساله (ه)، ۱۰۰ ساله (و) زیرحوضه‌ها و هیدروگراف کل حوضه در دوره بازگشت‌های مختلف (ز)

حوضه‌های جنگلی است؛ بنابراین، در اراضی جنگلی، برای واسنجی مدل به تعداد وقایع متناظر زیاد نیاز است. موضوعی که در این پژوهش به دلیل کمبود آمار مربوط به هیدروگراف خروجی میسر نشد؛ اما با توجه به اینکه هدف از این تحقیق بررسی سیل خیزی در اراضی جنگلی خیرودکنار بود و در مطالعات مربوط به سیل خیزی به طور عمده خسارات، ناشی از بالارفتن دبی اوج سیلاب است، در این مطالعه، بهینه کردن دبی اوج شبیه‌سازی شده و کاهش خطای آن نسبت به مقدار مشاهداتی بیشتر مدنظر بود؛ موضوعی که در این تحقیق حاصل شد. به عبارتی، کارایی مدل HEC-HMS پس از واسنجی آن برای شبیه‌سازی دبی اوج سیلاب مورد تأیید است. این نتیجه با نتایج سایر محققان از جمله [۱۱، ۱۹، ۲۰] مشابهت دارد. در غالب تحقیقات عنوان‌شده [۳، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۲۰] نیز واسنجی مدل با استفاده از داده‌های دبی اوج مشاهداتی صورت گرفته است؛ زیرا همان‌طور که اشاره شد، در مباحث مربوط به سیل و سیل خیزی و کاهش خسارت ناشی از آن بیشتر دبی اوج هیدروگراف سیلاب مورد تأکید است؛ به طوری که براساس تعریف [۱۹]، هرگونه جریانی که با تداوم زمانی کوتاه‌مدت از بستر اصلی خارج و سبب خسارت جانی و مالی شود، سیل گفته می‌شود. بر این اساس، نتایج مربوط به دبی اوج خروجی (جدول ۵) در محل خروجی زیرحوضه‌ها نشان داد که زیرحوضه A1 با بیشترین دبی اوج در رتبه اول سیل خیزی قرار دارد و پس از این زیرحوضه A2 در رتبه بعدی قرار دارد. این موضوع بر اثر شماره منحنی بالای این زیرحوضه‌ها نسبت به سایر زیرحوضه‌ها و همچنین شکل، شیب، و زمان تأخیر کمتر رخ

بر این اساس، نتایج مربوط به دبی اوج خروجی (جدول ۵) در محل خروجی زیرحوضه‌ها نشان داد که زیرحوضه A1 با بیشترین دبی اوج در رتبه اول سیل خیزی قرار دارد و پس از این زیرحوضه A2 در رتبه بعدی قرار دارد. این موضوع بر اثر شماره منحنی بالای این زیرحوضه‌ها نسبت به سایر زیرحوضه‌ها و همچنین شکل، شیب، و زمان تأخیر کمتر رخ می‌دهد. هرچند زیرحوضه B3 بیشترین مساحت را دارد، به دلیل شماره منحنی کمتر و شکل کشیده تر و همچنین زمان تأخیر بیشتر مقدار خروجی دبی اوج این زیرحوضه کم بوده و از نظر سیل خیزی در محل خروجی زیرحوضه در رتبه پنجم قرار دارد. زیرحوضه B2 نیز به دلیل کمترین وسعت در بین سایر زیرحوضه‌ها در رتبه آخر سیل خیزی قرار دارد. پس از واسنجی مدل HEC-HMS، نتایج اعتبارسنجی نشان داد که این مدل اگرچه خطای کمتری را از نظر دبی اوج نسبت به واقعه مشاهده‌ای نشان می‌دهد، تاحدودی خطای درخور توجهی را در مقدار حجم سیلاب شبیه‌سازی شده سبب می‌شود. به نظر می‌رسد که این موضوع بر اثر دو علت رخ می‌دهد. از یک طرف این موضوع مربوط به استخراج تعداد وقایع مشاهداتی مناسب است؛ چنانکه با بررسی ۱۲ سال آمار هیدروگراف خروجی ایستگاه هیدرومتری خیرودکنار فقط دو واقعه متناظر با رخداد بارش یافت شد. از طرف دیگر، هیدروگراف خروجی از حوضه‌های جنگلی نسبت به حوضه‌های مرتعی و کشاورزی شکل پهن‌تری دارد؛ اما با توجه به اینکه روش SCS در اراضی کشاورزی ایالات متحده مورد استفاده قرار گرفته است [۵، ۸، ۱۷]، شکل هیدروگراف بی‌بعد SCS کشیده‌تر از

بازگشت‌های مختلف مقادیر بالایی دارد. هرچند نقش پوشش جنگلی در کاهش سیلاب از طریق نفوذ و گیرش آب باران در مطالعات هیدرولوژی جنگل موضوعی شناخته‌شده است، در صورت تخریب اراضی جنگلی، با توجه به مقدار بسیار بالای بارش روزانه در حوضه‌های جنگلی شمال کشور از جمله حوضه خیرودکنار و همچنین شیب زیاد این حوضه و غالب حوضه‌های جنگلی شمال، مقدار و شدت سیلاب نسبت به شرایط فعلی به شدت افزایش خواهد یافت.

می‌دهد. هرچند زیرحوضه B3 بیشترین مساحت را دارد، به دلیل شماره منحنی کمتر و شکل کشیده تر و همچنین زمان تأخیر بیشتر مقدار خروجی دبی اوج این زیرحوضه کم بوده و از نظر سیل خیزی در محل خروجی زیرحوضه در رتبه پنجم قرار دارد. زیرحوضه B2 نیز به دلیل کمترین وسعت در بین سایر زیرحوضه‌ها در رتبه آخر سیل خیزی قرار دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به وسعت کم حوضه مطالعه‌شده، مشاهده می‌شود که هیدروگراف خروجی سیلاب با دوره

References

- [1]. Yuhui, W., Hao, W.X.L., and Yunzhong, J.X.S. (2011). Flood simulation using parallel genetic algorithm integrated wavelet neural networks. *Journal of Neuro Computing*, 74: 2734-2744.
- [2]. Bahrami, S.A., Onagh, M., and Farazjoo, H. (2011). Role of River routing in basin hydrologic units for identifying and prioritizing Boostan Dam about of flooding and management providing actions. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, (1)1: 11-27.
- [3]. Eisenbies, M.H., Aust, W.M., Burger, J.A., and Adams, M.B. (2007). Forest Operations, Extreme Flooding Events, and Considerations for Hydrologic Modeling in the Appalachians-a Review. *Forest Ecology and Management*, 242(2): 77-98.
- [4]. Olang, L.O., Kundu, P.M., Ouma, G., and Futst, J. (2012). Impacts of Land Cover Change Scenarios on Storm Runoff Generation: A Basis for Management of the Nyando Basin, Kenya. *Land Degradation & Development*, 10 (2): 186-195.
- [5]. Lewis, J., Mori, S., Keppeler, E.T., and Ziemer, R.R. (2001). Impacts of logging on storm peak flows, flow volumes and suspended sediment loads in Caspar Creek, California. In: Wigmosta, M.S., and Burges, S.J. (eds.). *Land use and watersheds: human influence on hydrology and geomorphology in urban and forest areas*. Water Science and Application, volume 2; Washington, DC: American Geophysical Union; 85-125.
- [6]. Bathurst, J., Iroumé, A., and Cisneros, F. (2011). Forest Impact on Floods Due to Extreme Rainfall and Snowmelt in Four Latin American Environments 1: Field Data Analysis. *Journal of Hydrology*, 40(3): 281-291.
- [7]. Halwatura, D., and Najim, M.M. (2013). Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environmental Modelling and Software*, 46(0): 155-162.
- [8]. Komatsu, H., Shinohara, Y., Kume, T., and Otsuki, K. (2011). Changes in peak flow with decreased forestry practices: Analysis using watershed runoff data. *Journal of Environmental Management*, 92: 1528-1536.
- [9]. McColl, C., and Aggett, G. (2006). Land use forecasting and hydrologic model integration for improved land use decision support. *Journal of Environmental Management*, 84(4): 494-512.
- [10]. Knebl, M.R., Yang, Z.L., Hutchison, K., and Maidment, D.R. (2005). Regional Scale Flood Modeling Using Nexrad Rainfall, Gis, and Hec-Hms/Ras: A Case Study for the San Antonio River Basin Summer 2002 Storm Event. *Journal of Environmental Management*, 75(4): 325-336.
- [11]. Gholami, V., Gonbad, M.B., Azdi, M., and Javkar, A. (2009). Evaluation of landuse effect on flood risk and runoff in watershed Kasilian. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 3(9): 15-26.
- [12]. Esmaeili, A., and Mohamadi, A. (2009). Evaluation of rainfall-runoff hydrological model efficiency to determine flooding realtime in kasilian watershed. *Collection of articles 8th national confrence of science and engineering watershed*. University of lorestan, 17th and 18th may. 14pp.
- [13]. Saghafian, B., Farazjoo, H., Sepehr, A., and Najafinejad, A. (2006). Evaluation of landuse effect on flooding watershed of golestan dam. *Water Resource Researches of Iran*. 3(1): 18-28.
- [14]. Ali, M., Jamal Khan, S., 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*, 102(4): 271-279.

- [15]. Bhadra, A., Panigrahy, N., Singh, R., Raghuwanshi, N.S., Mal, B.C., and Tripathi, MP. (2008). Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. *Environmental Modeling and Software*, 23: 1013-1025.
- [16]. Dai, Z., Devendra M Amatya, D.M., Sun, G., Li, C., Trettin, C.C., and Li, H. (2008). Modeling the Effect of Land Use Change on Hydrology of a Forested Watershed in Coastal South Carolina. In *Proceedings of the 2008 South Carolina Water Resources Conference*, 14-15.
- [17]. Ebrahimian, M., Ainuddin Nuruddin, A., Mohd Soom, M.A.B., and Sood, A.M. (2012). Application of NRCS-curve number method for runoff estimation in a mountainous watershed. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 10(1): 103-114.
- [18]. Mahdavi, M. (2009). *Applied Hydrology*. publication of university of Tehran. Vol.2, 437 pp.
- [19]. Solaimani sardo, F., Soltani koopani, S. and Salajeghe, A. (1391). Site selection of effective places on flood peak generation using hydrological model of HEC-HMS in Jiroft Dam basin. *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi)*, 95: 32-44.
- [20]. Mashayekhi, Z., Panahi, M., Karami, M., Khalighi, SH., Khoshsolat, M., and Bakhtiari, F. (2010). Effect of forest covers on water conservation and surface runoff reduction in Bazoft river basin. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(3): 352-364.