

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۶۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۱۳

ص ۴۰۵-۴۱۸

## اولویت‌بندی زیرحوضه‌های مناسب بهره‌برداری جنگل با استفاده از مدل HEC-HMS (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؛ استادیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

### چکیده

پوشش جنگلی یکی از عوامل بسیار مؤثر بر کاهش سیلاب در شمال ایران است؛ به طوری که در سال‌های اخیر تخریب، تغییر کاربری، و بهره‌برداری بی‌رویه از مناطق جنگلی به شدت سبب افزایش تعداد و بزرگی سیلاب شده است. تاکنون مطالعات اندکی در زمینه هیدرولوژی جنگل‌های کشور، به‌ویژه جنگل‌های شمال، صورت گرفته است. در این مطالعه، با بررسی تأثیر اجرای عملیات‌های بهره‌برداری فرضی بر هیدروگراف خروجی حوضه، امکان اولویت‌بندی زیرحوضه‌های جنگلی جهت بهره‌برداری جنگل فراهم شد. ابتدا با روش SCS و مدل بارش-رواناب HEC-HMS سیلاب طرح در دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد زیرحوضه‌های A1 و A2 با بیشترین دبی اوج در خروجی این زیرحوضه‌ها در رتبه اول سیل‌خیزی قرار دارد؛ به طوری که با اجرای سناریوهای بهره‌برداری نیز در این زیرحوضه‌ها مقادیر شاخص‌های  $f$  و  $F$  نسبت به سایر زیرحوضه‌ها به شدت افزایش می‌یابد. هرچند افزایش شاخص‌های  $f$  با افزایش درصد بهره‌برداری در زیرحوضه A1 و A2 تا حدودی مشابه است، با در نظر گرفتن بزرگی مساحت، پاسخ هیدرولوژیکی حوضه نسبت به بهره‌برداری از زیرحوضه A1 تا حد زیادی افزایش پیدا می‌کند. مکان‌یابی مناطق مناسب جهت اجرای عملیات بهره‌برداری نیز نشان داد به ترتیب زیرحوضه‌های B3، A4، B2، A3، B1، A2، و در نهایت A1 در اولویت قرار دارند و در غالب زیرحوضه‌ها با اجرای سناریوی بهره‌برداری بالای ۲۱ درصد مقدار دبی اوج و حجم سیلاب به شدت افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: اولویت‌بندی زمانی، بهره‌برداری جنگل، سیل‌خیزی، شبیه‌سازی سیلاب، مدل HEC-HMS

## مقدمه

در مدیریت و برنامه‌ریزی حوضه آبخیز و همچنین مدیریت سیلاب، برآورد دبی پیک و هیدروگراف سیلاب در زمینه پیش‌بینی رفتارهای هیدرولوژیک حوضه ضروری است. در واقع، مدیریت حوضه آبخیز میسر نخواهد بود مگر اینکه خصوصیات هیدروژیک حوضه پیش‌بینی شود [۱]. هیدرولوژی حوضه آبخیز را می‌توان با تخمین دبی پیک و هیدروگراف رواناب در نقاط مورد نظر توصیف کرد [۲]. بنابراین، مدل‌های هیدرولوژیک، که به منظور بررسی مسائل مختلف طراحی شده‌اند [۳] و همچنین به طور منطقی فرموله و تست شده‌اند، برای بهبود مدیریت زمین و آب با ارائه اطلاعات پایه ضروری‌اند [۴]. تاکنون مطالعات متعددی در زمینه سیل‌خیزی در مناطق مختلف دنیا انجام شده است. در چند سال گذشته، تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز و پیش‌بینی آتی این خصوصیات و همچنین شبیه‌سازی خروجی حوضه یا زیرحوضه‌ها از طریق مدل‌های بارش-رواناب به یکی از زمینه‌های مهم مطالعاتی مدل‌سازی تبدیل شده است [۵]. از طرف دیگر، یکی از چالش‌های شایان توجه برای هیدرولوژیست‌ها به‌ویژه در برخی کشورهای در حال توسعه، مانند ایران، نبود داده‌های کافی است. از این رو مدل‌سازی و سناریوها می‌تواند برای رفع برخی مشکلات راه‌حلی مناسب باشد [۶]. امروزه کاهش پوشش حوضه‌های آبخیز، به‌ویژه حوضه‌های جنگلی، منجر به تغییرات خصوصیات هیدرولوژیک در خروجی این حوضه‌ها شده است. تردیدی نیست که جنگل‌ها و هیدرولوژی حوضه

آبخیز ارتباطی تنگاتنگ با هم دارند. جنگل‌ها تأثیری بسزا بر جریان آب سالیانه، به‌ویژه جریان پایه، دارند؛ چنان که تغییرات در برخی عوامل، مانند باران‌رایی و تبخیر، سبب تغییر در تعداد و شدت سیل‌ها شده و این وضعیت بر اکوسیستم و محیط زیست و اقتصاد محلی تأثیر گذارده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد عدم تناسب کاربری‌های فعلی و تغییر کاربری اراضی در بالادست حوضه‌های آبخیز، به‌ویژه در حوضه‌های جنگلی شمال ایران، مهم‌ترین دلایل افزایش سیلاب‌ها محسوب می‌شود [۷ و ۸].

به طور کلی، تأثیر پوشش جنگلی بر کاهش سیل شناخته شده است؛ اما، در مقابل، تخریب پوشش جنگلی و قطع درختان سبب افزایش سیلاب به‌ویژه در بارندگی‌های شدید می‌شود [۹ و ۱۰]. مدل HEC-HMS به طور مؤثر اثر کاربری اراضی بر تولید رواناب را شبیه‌سازی می‌کند. بسیاری از محققان تأثیر تخریب پوشش جنگلی را بر سیل خروجی از حوضه بررسی کردند. نتایج تحقیقی، با استفاده از مدل HEC-HMS، در منطقه سانگای پاداس در مالزی، نشان داد بهره‌برداری از جنگل سبب افزایش قابل ملاحظه سیلاب خروجی حوضه می‌شود [۱۱]. تحقیقی دیگر در جنگل‌های آمازون به بررسی تأثیر سناریوهای مختلف جنگل‌زدایی بر رواناب پرداخت. نتایج نشان داد در صورت تخریب جنگل، ولو در مقیاس کوچک، رواناب منطقه‌ای افزایش پیدا می‌کند [۱۲]. همچنین، نتایج بررسی تأثیرات کاهش پوشش جنگل نیز حاکی از آن بود که کاهش پوشش جنگلی به بیش از ۳۰ درصد سبب افزایش قابل ملاحظه‌ای در دبی اوج خواهد شد [۱۳]. در مطالعه‌ای دیگر روشن شد حذف بیش از ۲۰ تا ۳۰ درصد پوشش

۲۰]. با توجه به آنچه آمد و لزوم مدیریت پایدار منابع جنگلی، با استفاده از مدل HEC-HMS، به منظور شناسایی زیرحوضه‌های مناسب جهت عملیات بهره‌برداری، در این مطالعه تأثیر سناریوهای مختلف بهره‌برداری از زیرحوضه‌ها بر سیلاب خروجی از حوضه بررسی شد.

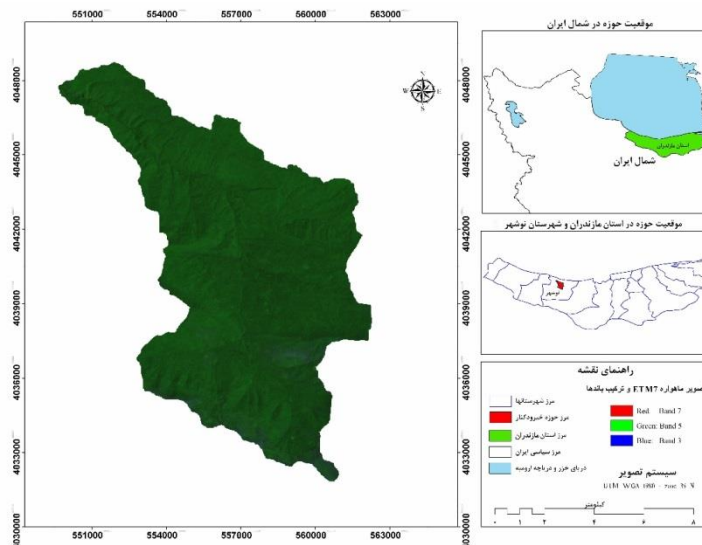
## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

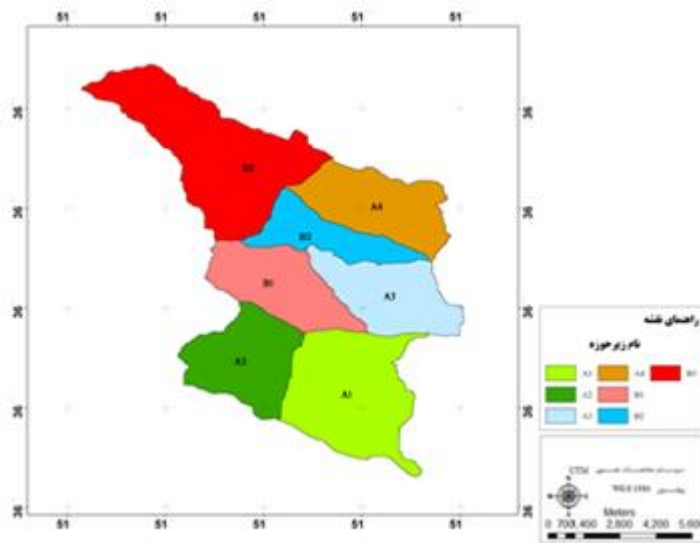
جنگل خیرود در پنج کیلومتری شرق نوشهر در استان مازندران قرار دارد. جنگل‌های منطقه کلیک و کهنه‌ده در بالادست جنگل‌های دانشکده‌اند که در این تحقیق مطالعه شدند. این حوضه جنگلی حدود ۹٫۴ هزار هکتار مساحت دارد. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۵۰ متر و حداکثر آن ۲۲۰۰ متر است. میانگین بارش به طور متوسط ۱۴۵۰ میلی‌متر است. شکل ۱ موقعیت منطقه و شکل ۲ زیرحوضه‌های آن را در ایران نشان می‌دهد.

جنگل سبب تغییر دبی اوج در دوره بازگشت پنج سال می‌شود [۱۴]. در تحقیقی دیگر، تأثیر برداشت جنگل بر حجم و دبی پیک در جنگل‌های کالیفرنیا بررسی شد. نتایج نشان داد در اثر قطع درختان دبی و حجم رواناب افزایش می‌یابد [۱۵].

اثر قطع‌گزینشی بر افزایش رواناب در جنگل‌های استرالیا نیز بررسی شد. نتایج نشان داد رواناب بعد از گذشت شش سال ۲۵۰ میلی‌متر افزایش پیدا می‌کند [۱۶]. در ایران نیز طی تحقیقی با استفاده از مدل HEC-HMS اثر تغییر پوشش گیاهی بر دبی اوج و حجم سیل در حوضه سد گلستان بررسی شد. نتایج نشان داد در طول بیست‌ونه سال گذشته (از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۷۵) به علت تغییر کاربری اراضی و تخریب جنگل‌ها و مراتع حوضه دبی اوج سیل با دوره بازگشت پنج‌ساله ۳۱٫۷ درصد افزایش یافته است [۱۷]. همچنین، بسیاری از محققان برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در حوضه‌های جنگلی از مدل HEC-HMS استفاده کرده‌اند [۱۸].



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در ایران



شکل ۲. نقشهٔ زیرحوضه‌های مطالعه‌شده

کل تلفات (S) نیاز است که به کمک رابطه‌ای با یک عامل بی‌بعد<sup>۱</sup>، به نام شمارهٔ منحنی (CN)، محاسبه می‌شود. مقدار CN بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است. در CN برابر ۰ هیچ‌گونه رواناب از بارندگی حاصل نمی‌آید و در CN برابر ۱۰۰ کل بارش بر سطح زمین جریان می‌یابد و ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی است. CN از ترکیب دو عامل گروه هیدرولوژیکی و کاربری اراضی در حوضه برآورد می‌شود. سپس، شمارهٔ منحنی برآوردشده در مناطق داخل حوضه و زیرحوضه از طریق میانگین‌گیری وزنی به کل حوضه و زیرحوضه تعمیم داده می‌شود. در روش SCS، پس از برآورد شمارهٔ منحنی، به کمک رابطه‌های ۱ و ۲ ارتفاع رواناب ناشی از بارندگی بیست و چهارساعته با دوره‌های بازگشت مشخص محاسبه می‌شود [۲۲]. ورودی نرم‌افزار HEC-HMS جهت شبیه‌سازی سیلاب به کمک روش SCS شامل مدل فیزیکی و

### روش تحقیق

در این مطالعه، ابتدا هیدروگراف سیلاب با دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال شبیه‌سازی شد. مرحلهٔ دوم مربوط به اجرای سناریوها و بررسی تأثیر آن‌ها بر دبی سیلاب بود که هر یک از این مراحل به تفصیل بیان می‌شود.

### شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب

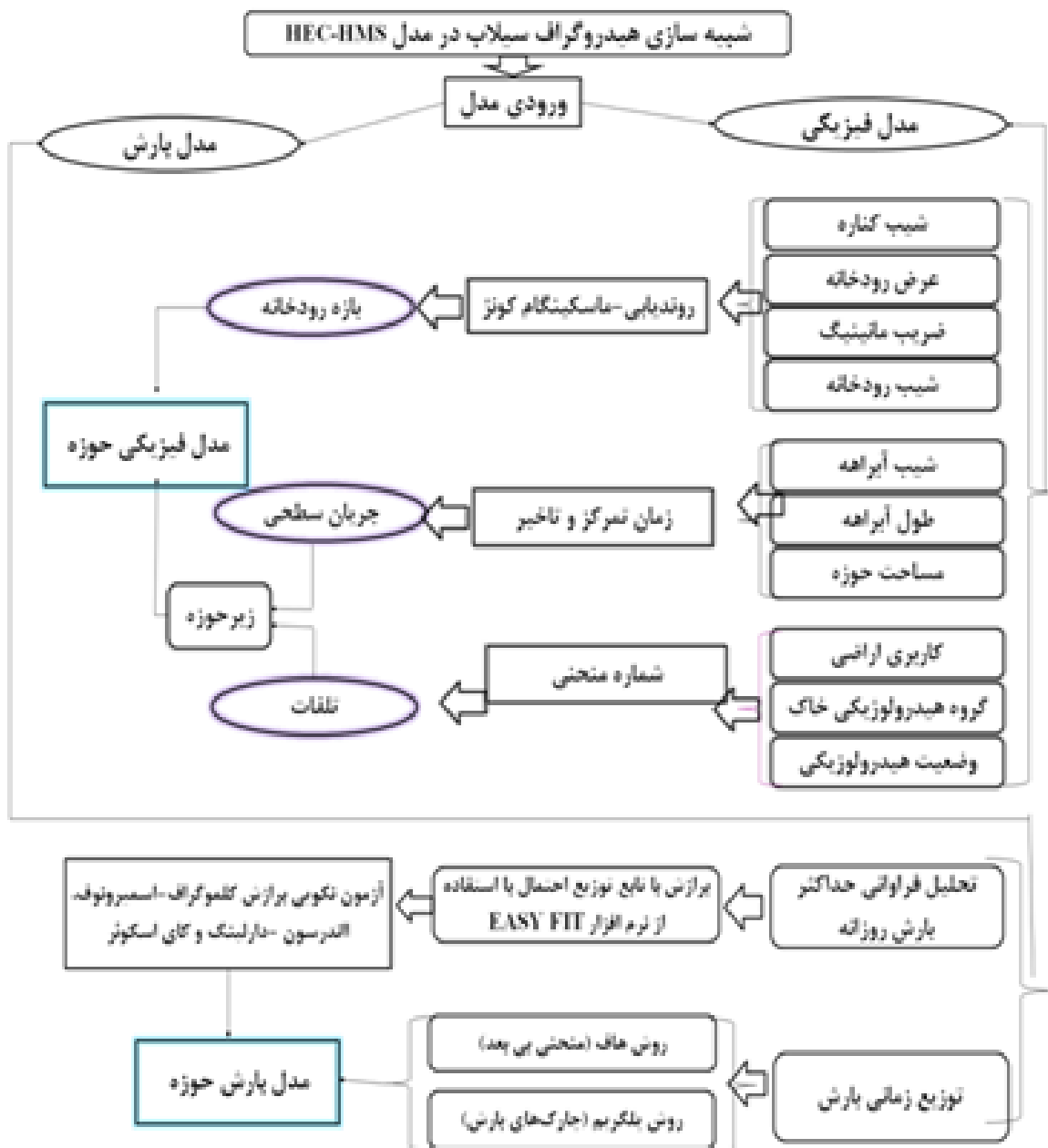
در این مطالعه، به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال از نرم‌افزار HEC-HMS استفاده شد. در این نرم‌افزار روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی هیدروگراف استفاده می‌شود که بین روش‌های متداول برآورد هیدروگراف سیل و رواناب روش شمارهٔ منحنی SCS رایج‌ترین روش برآورد پیش‌بینی حجم سیل و ارتفاع رواناب سیل است [۲۱]. در این روش برای تعیین بارش مازاد یا رواناب به مقدار

S ضریب نگره‌داشت سطحی، Q ارتفاع رواناب بر حسب میلی‌متر، P ارتفاع بارندگی بیست و چهار ساعته بر حسب میلی‌متر، و CN شماره منحنی رواناب است.

مدل بارش حوضه است. در شکل ۳ مراحل شبیه‌سازی هیدروگراف سیل با کاربرد مدل HEC-HMS در قالب نمودار گردش کار می‌آید.

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

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



شکل ۳. نمودار گردش کار شبیه‌سازی مدل HEC-HMS

## تأثیر اجرای سناریوهای بهره‌برداری بر هیدروگراف خروجی

با توجه به روابط SCS عامل بی‌بعد شماره منحنی رواناب (CN) یکی از شاخص‌های کلیدی در محاسبات رواناب است. این شاخص بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است و با توجه به جدول سازمان حفاظت خاک ایالات متحده (SCS) بر اساس نوع بهره‌برداری از زمین، عملیات زراعی، یا کارهای اصلاحی وضعیت هیدرولوژیکی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک تعیین می‌شود [۲۲]. بر اساس روابط SCS هر گونه بهره‌برداری از حوضه‌های آبخیز سبب تغییر شماره منحنی و به تبع آن تغییر میزان تلفات حوضه (S)، زمان تأخیر حوضه، ارتفاع رواناب حوضه (Q)، دبی اوج سیلاب (Qp)، و در نهایت حجم سیلاب خواهد شد.

از طرف دیگر در روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) عدد شماره منحنی هر یک از کاربری‌ها با توجه به ویژگی‌های توصیفی آن‌ها تعیین می‌شود؛ مثلاً برای پوشش جنگلی با توجه به ویژگی‌های توصیفی همچون جنگل خوب، جنگل متوسط، جنگل ضعیف شماره منحنی خاصی اختصاص یافته است، بدون آنکه مشخص شود واژه‌های خوب، متوسط، و ضعیف چه کمیتی از درصد پوشش جنگلی را در بر می‌گیرد. بر این اساس، در این تحقیق، به منظور دستیابی به روشی که بتوان به صورت کمی، با توجه به میزان درصد پوشش جنگلی، عددی را به منزله شماره منحنی، برای کاربری جنگلی، در نظر گرفت، فرضیاتی اختیار شد؛ به صورت زیر:

۱. پوشش جنگلی خوب یعنی جنگل با درصد پوشش ۱۰۰ درصد؛

۲. پوشش جنگلی متوسط یعنی جنگل با درصد پوشش ۷۰ درصد؛

۳. پوشش جنگلی ضعیف یعنی جنگل با درصد پوشش کمتر از ۴۰ درصد.

با توجه به جدول شماره منحنی سازمان حفاظت خاک آمریکا، اختلاف بین پوشش جنگلی خوب (پوشش ۱۰۰ درصد) با پوشش جنگلی متوسط (پوشش ۷۰ درصد) برابر با ۶ عدد است؛ به عبارت دیگر، برداشت به اندازه ۳۰ درصد سبب اختلاف ۶ عددی در شماره منحنی می‌شود. همچنین اختلاف بین پوشش جنگلی متوسط (پوشش ۷۰ درصد) با پوشش جنگلی ضعیف (پوشش کمتر از ۴۰ درصد) برابر ۹ عدد است؛ یعنی برداشت به اندازه ۳۰ درصد سبب اختلاف ۹ عددی در شماره منحنی می‌شود.

با توجه به اینکه یکی از اهداف مهم تحقیق حاضر بررسی آثار سناریوهای بهره‌برداری مختلف از پوشش جنگلی بر سیل خیزی حوضه است، سناریوهای بهره‌برداری از جنگل در قالب درصد بهره‌برداری یا درصد برداشت پوشش جنگلی در نظر گرفته شد. از این رو، جهت سناریوهای مختلف با درصد برداشت‌های مختلف، با توجه به آنچه آمد، از روش تناسب استفاده شد (جدول ۱).

مثلاً برای جنگلی که پوشش آن صد درصد است، با اعمال سناریوی بهره‌برداری ۱۰ درصد، با توجه به روش تناسب، میزان افزایش شماره منحنی ۲ عدد خواهد بود. در این مطالعه، پس از واسنجی مدل HEC-HMS، مقدار شماره منحنی فعلی در یک زیرحوضه معلوم از ۰/۴ تا ۱۵ عدد به طور متوالی افزوده شد و جهت محاسبه مقدار کاهش زمان تأخیر با افزایش شماره منحنی از فرمول ماکوس (رابطه ۳) استفاده شد.

جدول ۱. تناسب سناریوهای مختلف با درصد برداشت‌های مختلف

سناریو	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
درصد بهره‌برداری	۳	۶	۹	۱۲	۱۵	۱۸	۲۱	۲۴	۲۷	۳۰	۳۳	۳۶	۳۹	۴۲	۴۵	۴۸	۵۱	۵۴	۵۷	۶۰
افزایش CN	۰٫۴	۰٫۸	۱٫۲	۱٫۷	۲٫۳	۳	۳٫۷	۴٫۴	۵٫۲	۶	۶٫۸	۷٫۶	۸٫۴	۹٫۳	۱۰٫۲	۱۱٫۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵

عملیات بهره‌برداری از شاخص‌های سیل خیزی  $F$  و  $f$  استفاده شد. این شاخص‌ها به کمک روابط ۴ و ۵ قابل محاسبه‌اند.

$$T_1 = \frac{L^{0.8}(s+1)^{0.7}}{1900.Y^{0.5}} \quad (3)$$

$L$  طولانی‌ترین مسیر رواناب سطحی به فوت،  $Y$  شیب مسیر به درصد،  $S$  تلفات حوضه به اینچ که از روی شماره منحنی (CN) به دست می‌آید، و  $T_1$  زمان تأخیر حوضه به ساعت است.

$$\%F = \frac{\Delta QP}{QP} \times 100 \quad (4)$$

$$f = \frac{\Delta QP}{A} \quad (5)$$

$\%F$  سهم مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه به درصد،  $\Delta QP$  مقدار افزایش دبی خروجی در اثر افزایش عدد شماره منحنی زیرحوضه مورد نظر بر حسب متر مکعب بر ثانیه،  $QP$  دبی خروجی کل حوضه بر حسب متر مکعب،  $f$  شاخص سیل خیزی، و  $A$  مساحت بر حسب کیلومتر مربع است. شاخص سیل خیزی  $\%F$  پارامتر مساحت را در آنالیز سیل خیزی دخالت می‌دهد؛ به عبارت دیگر، هر زیرحوضه‌ای که مساحت بیشتری داشته باشد تأثیرگذاری بیشتری بر هیدروگراف خروجی حوضه دارد. اما شاخص  $f$  شاخصی است که پارامتر مساحت را حذف و میزان مشارکت زیرحوضه‌ها را در دبی خروجی حوضه در واحد سطح بیان می‌کند [۲۳].

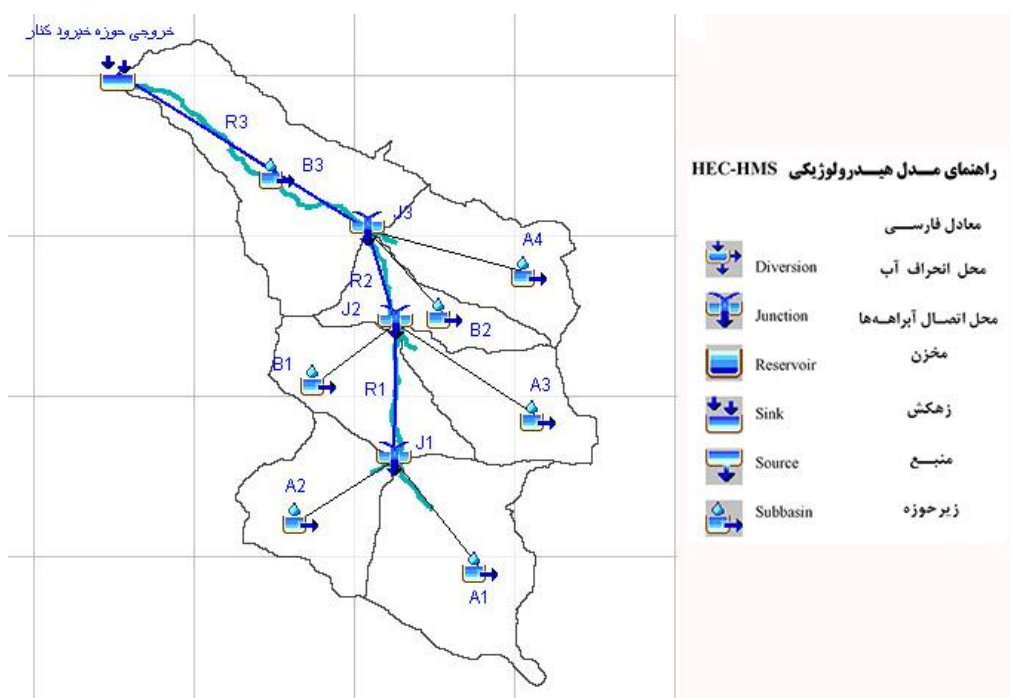
برای این منظور، مقادیر زمان تأخیر زیرحوضه‌ها، پس از واسنجی مدل و بهبود این مقادیر، جهت اصلاح ضرایب فرمول ماکوس به کار رفت. ابتدا مدل برای افزایش شماره منحنی در همه زیرحوضه‌ها اجرا شد. به این ترتیب، امکان بررسی میزان تأثیرگذاری اجرای عملیات بهره‌برداری در همه زیرحوضه‌ها به طور هم‌زمان بر خروجی حوضه فراهم شد. سپس، جهت بررسی میزان تأثیرگذاری عملیات بهره‌برداری در هر یک از زیرحوضه‌ها به صورت انفرادی بر خروجی کل حوضه، مدل در هر بار افزایش شماره منحنی و کاهش زمان برای دوره بازگشت ۲۵ سال شبیه‌سازی شد. به این ترتیب، مقدار تغییرات دبی اوج و حجم سیلاب ۲۵ ساله با اجرای ۲۰ سناریوی افزایش شماره منحنی در یک زیرحوضه معلوم مشخص شد. در ادامه همین سناریوها برای زیرحوضه‌های دیگر تک‌به‌تک و در هر یک بیست بار متوالی اجرا شد. با توجه به تعداد هفت زیرحوضه، در مجموع، مدل صد و چهل بار اجرا شد. جهت سهولت بررسی تأثیر سناریوهای افزایش شماره منحنی هر یک از زیرحوضه‌ها بر دبی اوج و حجم سیلاب ۲۵ ساله خروجی حوضه و همچنین بررسی رابطه بین سناریوها با هیدروگراف خروجی حوضه نتایج به دست آمده در قالب گراف‌هایی ارائه شد. در نهایت، به منظور بررسی تأثیرپذیری زیرحوضه‌ها از

## یافته‌ها و بحث

با استفاده از ابزار HEC-Geo HMS در محیط برنامه ArcGIS، نقشه زیرحوضه همراه بازه‌ها و محل‌های اتصال آبراهه‌های اصلی تهیه شد که در شکل ۴ می‌آید.

جهت واسنجی مدل، پس از بررسی داده‌های هیدرومتری، ایستگاه خیرود، بین سه واقعه متناظر، جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل انتخاب شد. دو واقعه جهت واسنجی و یک واقعه جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شد. تاریخ این وقایع در جدول ۲ می‌آید.

جهت واسنجی از روش ندلر و مید استفاده شد. تغییرات مقادیر CN و زمان تأخیر زیرحوضه‌ها در جدول ۳ می‌آید. پس از واسنجی مدل، جهت اعتبارسنجی با استفاده از توابع هدف مجموع مربعات باقی‌مانده (SSR)، مجموع خطاهای مطلق (SAR)، و درصد خطا در جریان پیک (PEP)، خطای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بررسی شد و به ترتیب مقادیر ۱،۲۹، ۱،۸، و ۱،۵۸ به دست آمد. این نتایج کارایی مدل را، پس از واسنجی، تأیید می‌کند (جدول‌های ۴ و ۵).



شکل ۴. مدل HEC-HMS حوضه مطالعه شده

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 و زمان تأخیر زیرحوضه‌ها

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

جدول ۴. دبی اوج حوضه و زیرحوضه در هر دوره بازگشت

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

جدول ۵. برخی خصوصیات فیزیکی حوضه

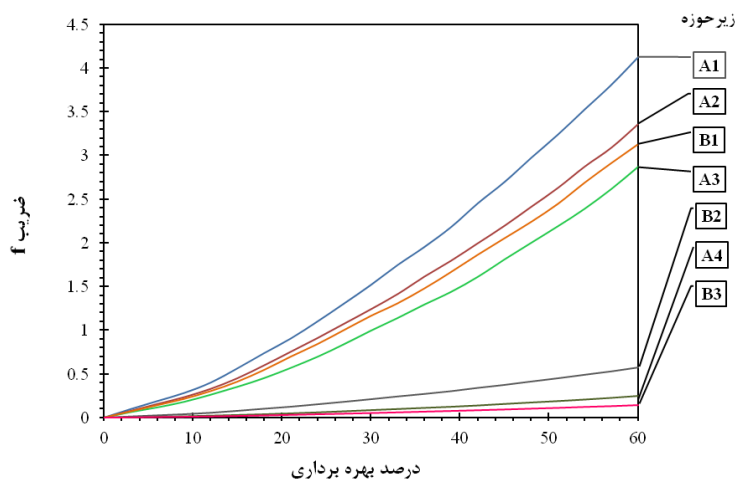
زیرحوضه	مساحت (km <sup>2</sup> )	شیب آبراهه (%)	شیب زیرحوضه (%)
A1	۱۸,۴۱	۰,۲	۴۲,۹
A2	۱۱,۵۱	۰,۲	۴۴,۴
A3	۱۱	۰,۱۷	۳۳,۲
A4	۱۱,۷۶	۰,۱۵	۳۲,۲
B1	۱۱,۱۴	۰,۱۶	۴۰,۲
B2	۷,۱۸	۰,۱۱	۳۷,۵
B3	۲۲,۹۴	۰,۰۷	۴۲,۸

شاخص سیل خیزی %F و f نتایج آن در قالب شکل ۵ و ۶ می‌آید. کاهش شاخص %F در زیرحوضه‌ای معلوم نشان‌دهنده افزایش بیشتر سهم اشتراک آن زیرحوضه با افزایش عدد شماره منحنی است؛ که البته در این شاخص اثر مساحت نیز در نظر گرفته می‌شود. همچنین، کاهش شاخص f در زیرحوضه‌ای معلوم حاکی از افزایش بیشتر سهم آن زیرحوضه در واحد سطح ( $\text{km}^2$ ) در خروجی حوضه است؛ به عبارت دیگر در این شاخص اثر بزرگی مساحت زیرحوضه بر دبی اوج خروجی حوضه حذف می‌شود.

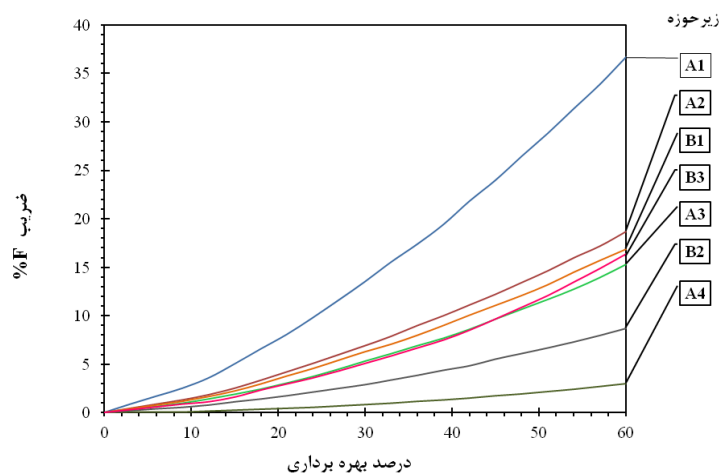
به منظور اصلاح ضرایب فرمول SCS (رابطه ۳)، پس از واسنجی مدل و بهینه‌کردن پارامترهای مدل، زمان‌های تأخیر بهینه‌شده استفاده شد. بر این اساس، فرمول اصلاح‌شده زمان تأخیر زیرحوضه‌ها در رابطه ۶ می‌آید. از این رابطه جهت افزایش زمان تأخیر به ازای کاهش شماره منحنی در هر سناریو استفاده شد.

$$T_i = \frac{L^{0.97} (s+1)^{0.86}}{1020 \cdot Y^{0.35}} \quad (6)$$

در ادامه در هر یک از زیرحوضه‌ها، پس از اجرای سناریوها، تأثیر افزایش شماره منحنی زیرحوضه‌ها بر دبی اوج بیست و پنج ساله بررسی شد. پس از محاسبه



شکل ۵. افزایش شاخص سیل خیزی f با اجرای عملیات بهره‌برداری در هر یک از زیرحوضه‌ها



شکل ۶. افزایش شاخص سیل خیزی %F با اجرای عملیات بهره‌برداری در هر یک از زیرحوضه‌ها

و عدم تأثیر بزرگی مساحت زیرحوضه‌ها بر سیل‌خیزی زیرحوضه است. در تحقیقی دیگر، با نام ارزیابی مدل HEC-HMS، به منظور برآورد هیدروگراف سیلاب در حوضه آبخیز کسلیان، به همین نتیجه رسیدند؛ به طوری که در این مثال زیرحوضه A4 نسبت به زیرحوضه B3 در واحد سطح تأثیر کمتری بر خروجی کل حوضه دارد [۲۴]. این نتایج با نتایج تحقیقات محققان دیگر [۲۴-۲۷] مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری

به طور کلی نتایج نشان داد اگرچه پوشش غالب حوضه مطالعه شده جنگل متراکم است، از یک طرف به دلیل مساحت کوچک و شیب زیاد و از طرف دیگر به دلیل مقادیر بالای بارش در حوضه خیرودکنار، با افزایش درصد بهره‌برداری از زیرحوضه‌ها، دبی اوج در خروجی کل حوضه به شدت افزایش پیدا می‌کند؛ زیرا در صورت تخریب یا بهره‌برداری بیش از حد در این حوضه به دلایل عوامل روندیابی و همچنین کاهش زمان تأخیر حوضه سبب کاهش زمان واکنش بارش-رواناب و وقوع سیلاب ویرانگر خواهد شد. این موضوع در زیرحوضه A1 بیش از سایر زیرحوضه‌ها و در زیرحوضه A4 کمتر از سایر زیرحوضه‌ها سبب افزایش دبی اوج و حجم خروجی حوضه می‌شود. بنابراین، در صورت بهره‌برداری از زیرحوضه A1 باید همه جوانب را در نظر گرفت. از طرف دیگر، مکان‌یابی مناطق مناسب جهت اجرای عملیات بهره‌برداری نشان داد به ترتیب زیرحوضه‌های B3، A4، B2، A3، B1، A2، و در نهایت A1 در اولویت

نتایج اجرای سناریوهای بهره‌برداری در هر یک از زیرحوضه‌ها بر پاسخ هیدروژیکی حوضه نشان می‌دهد زیرحوضه A1 بیشترین افزایش را در دبی و حجم سیلاب خروجی سبب می‌شود. اگرچه وسعت این حوضه در مقایسه با سایر زیرحوضه‌ها، پس از زیرحوضه B3، از همه بیشتر است، نتایج شاخص سیل‌خیزی  $f$ ، که اثر مساحت را حذف و سیل‌خیزی را در واحد سطح بیان می‌کند، نیز نشان می‌دهد این زیرحوضه بیشتر از هر کیلومتر مربع زیرحوضه‌های دیگر باعث افزایش حجم و دبی اوج سیلاب خروجی کل حوضه می‌شود. همچنین، پس از این زیرحوضه، زیرحوضه A2 از نظر هر دو شاخص سیل‌خیزی  $f$  و  $F\%$  در رتبه دوم قرار دارد؛ با این تفاوت که در شاخص سیل‌خیزی  $F\%$  اختلاف قابل ملاحظه‌ای میان تأثیرگذاری این زیرحوضه با زیرحوضه A1 وجود دارد، در حالی که این اختلاف در شاخص سیل‌خیزی  $f$  کمتر است. این موضوع بیان‌کننده آن است که تأثیر افزایش درصد بهره‌برداری در واحد سطح بر واکنش هیدرولوژیکی خروجی کل حوضه تا حدودی مشابه زیرحوضه A1 است؛ اما با در نظر گرفتن بزرگی مساحت زیرحوضه A1 نسبت به زیرحوضه A2 میزان تأثیرگذاری تا حدودی متفاوت و کمتر می‌شود. از طرفی دیگر نتایج نشان می‌دهد با وجود عدم تغییر در رتبه سیل‌خیزی زیرحوضه A1 و A2 از طریق شاخص‌های سیل‌خیزی  $f$  و  $F\%$  رتبه سیل‌خیزی سایر زیرحوضه‌ها با توجه به نوع شاخص متغیر است؛ مثلاً از نظر شاخص  $F\%$  زیرحوضه A4 در رتبه آخر سیل‌خیزی و از نظر شاخص سیل‌خیزی  $f$  زیرحوضه B3 در رتبه آخر سیل‌خیزی قرار دارد. این موضوع نیز بیانگر تأثیر

خروجی حوضه سبب می‌شود؛ اما با افزایش درصد بهره‌برداری به بیشتر از این مقدار به‌ویژه در زیرحوضه‌های A1 و A2 واکنش هیدرولوژیکی بسیار زیادی در خروجی حوضه روی خواهد داد.

قرار دارند. همچنین نتایج نشان داد در خوشبینانه‌ترین حالت، به طور متوسط، افزایش درصد بهره‌برداری در همه زیرحوضه‌ها تا حدود ۱۵ درصد واکنش هیدرولوژیکی کمی (تا حدودی مشابه خطی) را در

## References

- [1] Bhadra, A., Panigrahy, N., Singh, R., Raghuwanshi, N. S., Mal, B. C., and Tripathi, M. P. (2008). Development of a geomorphological instantaneous unit hydrograph model for scantily gauged watersheds. *Journal of Environmental Modelling and Software*, 23: 1013-1025.
- [2] Coe, M. T, Marcos, H. C., and Britaldo, S. S. (2009). The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the amazon river–land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, 369(1): 165-174.
- [3] Eisenbies, M. H., Aust, W. M., Burger, J. A., and Adams, M. (2007). Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians, a review. *Forest Ecology and Management*, 242: 277-298.
- [4] Olang, L. O., Kundu, P. M., Ouma, G., and Furst, J. (2012). Impacts of land cover change scenarios on storm runoff generation: a basis for management of the Nyando basin, Kenya. *Land Degradation and Development*, 23: 12-18.
- [5] Plesca, I., Timbe, E., Exbrayat, J-F., Windhorst, D., Kraft, P., Crespo, P., Vaché, K. B., Frede, H-G., and Breuer, L. (2012). Models inter comparison to explore catchments functioning: results from a remote montane tropical rainforest. *Ecological Modelling*, 239: 3-13.
- [6] Guzha, A. C. and Hardy, T. B. (2010). Application of the distributed hydrological model, top net, to the big darby creek watershed, ohio, usa. *Water Resources Management*, 24(5): 979-1003.
- [7] Hewlett, J. D. (1982). *Principles of forest hydrology*. Athens: University of Georgia Press, 650 pp.
- [8] Zahedi, A., Mojtaba, M., and Bordi, S. (2011). Evaluation of land use changing and its effect of urban watershed in Ziarat-Gorgan. 7th Iranian conference of science and engineering watershed, Esfahan, Esfahan Industrial Iran. 5 p.
- [9] CIFOR and FAO. (2005). *Forest and Floods: Drowning in Fiction or Thriving on Facts?* 12 pp.
- [10] Calder, I. R. and Aylward, B. (2006). Forest and floods: moving to evidence based approach to watershed and integrated flood management. *Water International*, 31: 87-99.
- [11] Dinor, J., Zakaria, N. A., Abdullah, R., and Ghani, A. (2007). Deforestation Effect to the Runoff Hydrograph at Sungai Padas Catchment. In 2<sup>nd</sup> International Conference on Managing Rivers in the 21<sup>st</sup> Century: Solutions Towards Sustainable River Basins. Riverside Kuching, Sarawak, Malaysia, 6-8.
- [12] Cassiano, D., Vörösmarty, C. J., Marengo, J. A., Hurtt, G. C., Dingman, S. L., and Keim, B. D. (2006). A water balance model to study the hydrological response to different scenarios of deforestation in Amazonia. *Journal of Hydrology*, 331(1): 125-136.
- [13] Coe, M., Marcos, T., Costa, H., and Soares-Filho, B. S. (2009). The influence of historical and potential future deforestation on the stream flow of the amazon river–land surface processes and atmospheric feedbacks. *Journal of Hydrology*, 369(1): 165-174.
- [14] Bathurst, J. C., Iroumé, A., Cisneros, F., Fallas, J., Iturraspe, R., Gaviño Novillo, M., Urciuolo, A., Bièvre, B., Guerrero Borges, V., and Coello, C. (2011). Forest impact on floods due to extreme rainfall and snowmelt in four Latin American environments 1: field data analysis. *Journal of Hydrology*, 400(3): 281-291.
- [15] 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.
- [16] Cornish, P. M. (1993). The effects of logging and forest regeneration on water yields in a moist eucalyptus forest in New South Wales, Australia. *Journal of Hydrology*, 150: 301-322.
- [17] Saghafian, B., Farazjou, H., Sepehr, A., and Najafinejad, A. (2006). Evaluation of land use effect on flooding watershed of Golestan dam. *Water Source Researches of Iran*, 3(1): 18-28.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] Mahdavi, M. (2009). *Applied Hydrology*. University of Tehran Press. Vol. 2, 437 pp.
- [23] Solaimani Sardo, F., Soltani Koopani, S., and Salajeghe, A. (2012). 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.
- [24] Chidaz, A., Saravi, M., and Vafakhah, M. (2008). Evaluating the HEC\_HMS model for estimating flood hydrograph in Kasilian basin. *Watershed Management Researches (Pajouhesh & Sazandegi)*, 84: 59-71.
- [25] Chen, Y., Xu, Y., and Yin, Y. (2009). Impact of land use change scenarios on storm-runoff generation in Xitiaoxi basin, China. *Quaternary International*, 1: 1-8.
- [26] Ghasemi, A. (2013). Modeling the role of sub-watershed on output hydrograph with an emphasis on flooding, in river basin of Baligli Chay (The province of Ardabil), 111 pp.
- [27] 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: 352-364.