روشی نوین برای شناسایی پراکنش مکانی نمایشنامه‌های زیستی مهارکردن سیل

روح انگیز اختری*[۱]، بهرام ثقفیان[۲]، جمال محمد ولی سامانی[۳]، باقر قرمز چشمه[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۶ تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۶/۱۸

چکیده

با توجه به این که در بیشتر حوضه های آبخیز کشور رویدادن سیل و زیانهای ناشی از آن در حال افزایش است، و از سوی دیگر، طرحهای مهارکردن سیلاب هزینه های هنگفتی را در بردارند، تعیین نمایشنامه‌های مهارکردن سیل و اولویت‌بندی آنها از نظر تعیین نوع و پراکنش عملیات مهارکردن در راستای مدیریت جامع حوضه های آبخیز ضروری است. تأثیر نمایشنامه‌های مختلف مهارکردن سیل را می توان با کمک شبیه های شبیه سازی در قالب ترکیب شبیه‌های آبشناسی و هیدرولیکی پیش بینی کرده و مناسبترین آنها را بر اساس تابع هدف، مشتمل بر کاهش توأمان هزینه و زیانها، شناسایی نمود. نبود یا کمبود اطلاعات مورد نیاز برای تعیین دقیق اندازه‌ی هزینه و زیان ناشی از سیل کاربرد روشهای شبیه‌سازی را برای براورد آنها ناگزیر می‌نماید؛ لذا، در این تحقیق، نسبت سود به هزینه به صورت تابعی از عوامل آبشناسی حوضه تعریف شد. برای بررسی عملکرد رابطه‌ی سود- هزینه پیشنهادی و تعیین پراکنش مکانی گزینه های مهارکردن سیل در حوضه رودزرد، دو نمایشنامه‌ی ارتقاء مراتع و تبدیل مراتع به کشتزار و باغ، با دیدگاه مدیریت و افزایش تراکم پوشش گیاهی به عنوان عملیات زیستی مهارکردن سیل انتخاب گردیدند. برای تبدیل بارش به رواناب در هر زیرحوضه شبیه توزیعی آبشناسی ModClark مورد بهره برداری قرار گرفت، و برای روندیابی آبنمای زیرحوضه ها در شبکه‌ی رودخانه در حالت جریان غیرماندگار نرم افزار HEC-RAS به کار گرفته شد. شبیه تلفیقی بر پایه‌ی نقشه های کاربری جدید برای هر نمایشنامه اجرا شد و بده‌ی اوج در خروجی حوضه محاسبه گردید. نتایج ارزیابی نمایشنامه‌ها براساس رابطه‌ی سود- هزینه پیشنهادی نشان دادند که نمایشنامه ارتقاء و بهبود مرتع نسبت به نمایشنامه‌ی دیگر در کاهش بده‌ی اوج هم در خروجی هر زیرحوضه، و هم در خروجی کل حوضه، موثرتر است. در راستای تعیین پراکنش مکانی گزینه‌ی زیستی مهارکردن سیل فوق براساس رابطه‌ی پیشنهادی برای کاهش بده‌ی اوج خروجی از زیرحوضه، اولویت اول و دوم را زیرحوضه های آبگلال و ماشین به خود اختصاص دادند. برای کاهش بده‌ی اوج آبنمای خروجی از کل حوضه، زیرحوضه های ماشین و دمدلی در نخستین اولویت مکانی برای اعمال این نمایشنامه، و زیرحوضه های آبگلال و آل خورشید در دومین اولویت مکانی قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: نمایشنامه‌ی زیستی، تغییر کاربری اراضی، مهارکردن سیل، شدت سیلخیزی

[۱]- دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس

[۲]- استاد مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری و استاد دانشگاه ازاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

[۳]- استاد گروه سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس

[۴]- کارشناس ارشد پژوهشی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

*- نویسنده مسئول: r.akhtari@gmail.com

مقدمه

شمار رخدادهای طبیعی و آثار اقتصادی آنها در جهان روند رو به رشدی دارد. در دهه‌ی ۱۹۸۱ الی ۱۹۹۰، تعداد افراد زیان دیده از این بلایای طبیعی سالانه، ۱۴۷ میلیون نفر بوده، در حالی میانگین این آمار در دهه‌ی ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۰ به ۲۱۱ میلیون نفر رسیده است. سیل بیشترین توان زیان را در مقایسه با دیگر بلایای طبیعی دارد. در ایران نیز سیل بیشترین زیانهای رخدادن بلایای طبیعی را با حدود ۴ میلیارد دلار آمریکا زیان اقتصادی طی دوره‌ی ۲۰۰۴-۱۹۰۹ به خود اختصاص داده است (امیدوار و خدائی، ۲۰۰۸) .

افزایش شهرنشینی تنها با تبدیل جنگلها، چراگاهها و کشتزارها، به مناطق ناتراوا، شامل جاده‌ها، سقف خانه-ها، پیاده‌روها و غیره امکان‌پذیر است. در ۵۰ سال اخیر، شاهد توسعه‌ی چشمگیر شهرنشینی در جهان هستیم. تغییر در الگوی کاربری منافع اقتصادی و اجتماعی زیادی را فراهم می‌کند، اما از سوی دیگر، اثرات منفی بر سامانه‌ی منابع آب، شرایط آبشناسی حوضه‌ها و بوم نظام پایین دست می‌گذارد. آثار این پدیده را در حوضه‌ها می-توان در افزایش بده‌ی اوج، افزایش حجم رواناب، کاهش زمان رسیدن رواناب به مخازن آبی، افزایش فراوانی و شدت سیل و افزایش سرعت رواناب در طی رویداد سیل عنوان کرد (ریچهلد و همکاران، ۲۰۱۰).

با مدیریت صحیح حوضه‌ی آبخیز می توان زیانهای وارده را طی سیلابهای نه چندان بزرگ کاهش - داد. این اقدامات مدیریتی را می‌توان تحت دو عنوان کلی دسته‌بندی نمود: ۱- توسعه و بهبود پوشش گیاهی، علفزارها و جنگلها؛ ۲- اقدامات مهندسی نظیر بنای پادگانه‌ها[1] و بندهای تراز[2]، بندهای رسوبگر[3]، آبشکنها. کارهای مزبور، که برای جلوگیری از فرسایش شیب، و همچنین کاهش بار ته‌نشستی در جریانها به کار می‌روند.

سه ویژگی مهم حوضه‌ی آبخیز شامل خاک، پوشش گیاهی و پستی و بلندی رفتار آبشناسی حوضه و فرایند تبدیل بارش را به رواناب مهار می‌کنند. از آن جا که خاک و پستی و بلندی در کوتاه مدت دگرگون نمی‌گردند، می توان آنها را جزء عوامل ایستا به شمار آورد، لکن تغییر در واکنش آبشناسی یک حوضه در مقیاس زمانی میان و بلند مدت تابع تغییر در نوع و توزیع پوشش گیاهی است (میلر و همکاران، ۲۰۰۲). سیکا و همکاران (۲۰۰۳). معتقدند که تأثیر ات آبشناسی کاربری اراضی و مدیریت پوشش گیاهی در قالب تغییر در ژرفای رواناب، بده‌ی کمترین و بیشترین بده‌ی لحظه‌ای، رطوبت خاک و تبخیر- تعرق آشکار می گردند. مطالعات انجام شده در مورد تأثیر تغییر کاربری اراضی با بهره‌وری از شبیه های آبشناسی، اندازه‌ی افزایش ضریب رواناب حوضه های آبخیز را بر اثر کاهش سطح جنگلها و توسعه‌ی اراضی کشاورزی و شهری متفاوت گزارش کرده اند (کروک و جکمن، ۲۰۰۱، فوهرر و همکاران، ۲۰۰۲).

نیهوف و همکاران (۲۰۰۲) اعتقاد دارند که تأثیر وضعیت کاربری اراضی بر فرایند بارش – رواناب بطور عمده ای به ویژگیهای بارندگی و توزیع مکانی آنبستگی دارد، و این امرتنها در بارندگیهای همرفتی با شدت زیاد قابل ملاحظه می‌باشند. بررسی منابع نشان میدهد که ترکیب شبیه‌های هیدرولیکی و آبشناسی در سالهای اخیر برای همانند سازی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در حوضه‌های آبخیز مورد توجه قرار گرفته اند، به گونه‌ای که، به علت موفقیت این روشها، استفاده از شبیه سازی رایانه‌ای بطور فزاینده ای مورد علاقه مدیران منابع آب و راهنمای تصمیم گیران می باشد (ایون و پارکین، ۱۹۹۶).

نقش پوشش گیاهی در مدیریت غیر سازه ای سیلاب در سطح حوضه های آبخیز از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است، چه، می توان از طریق شبیه‌های شبیه سازی، تأثیر نمایشنامه‌های مختلف کاربری اراضی را بر وضعیت سیل حوضه بررسی نمود. ثقفیان و همکاران (۲۰۰۸) حاکی از افزایش حدود ۲۰ درصد در بده‌ی اوج حاصل از رگبارهای بزرگ را بر اثر تغییرات کاربری اراضی در حوضه‌ی سد گلستان در دوره‌ی ۲۵ ساله گذشته بود. در برابر این پدیده‌ی ناگوار، نمایشنامه‌های خوش‌بینانه‌ی کاربری اراضی، کاهش بیش از ۳۰ درصدی در بده‌ی اوج سیلابهای با دوره‌ی بازگشت را مژده دادند.

به دلیل پهنه‌ی زیاد حوضه‌های آبخیز منتهی به بازه‌های سیلخیز، و محدودیتهای اقتصادی، اجرای عملیات

[1]-terraccing
[2]-contour bunding
[3]-sediment check dams

مهارکردن سیل به صورت یکنواخت در سطح یک حوضه سیل‌خیز عملی نیست، و حتی ممکن است به علت ایجاد همزمانی در آبنماها این کارها آثار معکوسی نیز داشته باشند. اولویت بندی مناطق برای اجرای طرحهای مهارکردن سیل باید برپایه‌ی بررسیهای شرایط فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی منطقه، و برآورد تأثیرات حاصل از اجرای برنامه‌ها، به تأیید برسد (جورجیویک و براک، ۱۹۹۸).

تعیین مکان و نوع تغییر در پوشش گیاهی مشروط به شناسایی مناطق سیل‌خیز از یک طرف، و آگاهی از امکان اعمال مدیریت بر پوشش از سوی دیگر است. در این زمینه، ثقفیان و فرازجو (۱۳۸۶)، ثقفیان و خسروشاهی (۲۰۰۵) و قرمزچشمه و همکاران (۱۳۸۴) مناطق سیل‌زا، و اولویت بندی سیل خیزی واحد های آبشناسی را به ترتیب برای حوضه‌های سد گلستان، دماوند و رودزرد با استفاده از تلفیق شبیه‌های آبشناسی و هیدرولیک بررسی کردند. نتایج این تحقیقات نشان دادند که مشارکت زیرحوضه‌ها در سیل‌خیزی کل حوضه، تنها تحت تأثیر مساحت و اندازه‌ی بارش آنها نبوده، و عواملی چون موقعیت مکانی زیرحوضه ها، و تأثیر روند یابی سیل در رودخانه اصلی نیز در وضعیت سیلابی آنها تأثیر مهمی دارند.

در این تحقیق چند نمایشنامه اعمال مدیریت پوشش، و نیز مقایسه‌ی نمایشنامه‌های مختلف از دیدگاه جدیدی مورد توجه قرار گرفته است. با اجرای روش شناسی پیشنهادی می توان در حوضه های دیگر نسبت به اولویت بندی نمایشنامه‌ها اقدام نمود.

مواد و روشها

منطقه‌ی مورد تحقیق

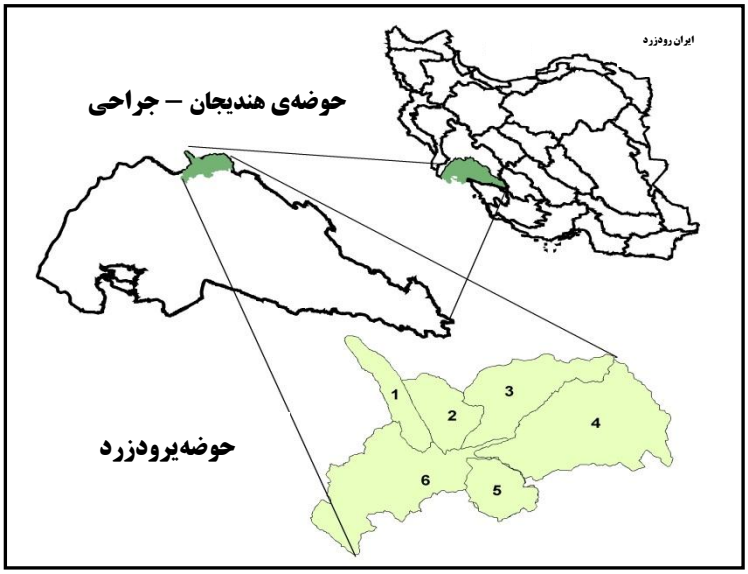
حوضه‌ی رودزرد در جنوب غربی ایران، و در شرق استان خوزستان، با مساحت تقریبی ۸۷۵ کیلومتر مربع در طولهای جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه‌ی شرقی و عرضهای جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۱ دقیقه‌ی شمالی بین رشته کوههای زاگرس قرار گرفته است. این حوضه یکی از زیر حوضه‌های مارون – جراحی است، که روان آبهای جنوب غربی زاگرس را بوسیله‌ی دو رود الله و مارون تخلیه می‌کنند. ارتفاع متوسط حوضه ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است، و ارتفاع حوضه در خروجی آن ۳۴۰ متر، و در ارتفاعات شمال شرقی حوضه ۳۳۰۰ متر می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در این حوضه ۷۱۸ میلیمتر گزارش شده است. پنج زیرحوضه‌ی اصلی شامل دشبیهی، آل‌خورشید، آبگلال، ابوالعباس و تلخاب، و سه زیرحوضه‌ی میانی در محدوده‌ی حوضه‌ی رودزرد قرار دارند. رود زرد از به هم پیوستن جریانهای پنج زیرحوضه‌ی اصلی تشکیل شده، و پس از طی حدود ۳۵ کیلومتر به خروجی حوضه می‌رسد. رودزرد با پیوستن به رود اعلا، رود الله را تشکیل می‌دهد. بر روی رودخانه رودزرد در محل روستای ماشین، یک ایستگاه آبسنجی فعال است. در نزدیکی ایستگاه ماشین نیز یک ایستگاه باران‌نگاری وجود دارد.

کاربری حوضه شامل اراضی زراعت آبی و دیم، جنگلهای تنک بلوط و مراتع ضعیف تا متوسط می‌باشد. زمینهای کشاورزی غالبا در مرکز حوضه و در حاشیه رود اصلی متمرکز شده‌اند. از جمله علل انتخاب این حوضه برای مطالعه، وجود آمار نسبتا دراز مدت، و شمار و موقعیت نسبتاً مناسب ایستگاههای آبسنجی در حوضه می‌باشد. شکل ۱موقعیت حوضه و زیرحوضه‌ها را در کشور و حوضه‌ی هندیجان- جراحی نشان می‌دهد.

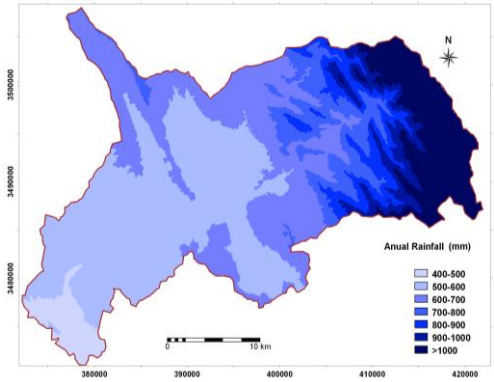
مراحل تحقیق

- **تعریف نمایشنامه ها**

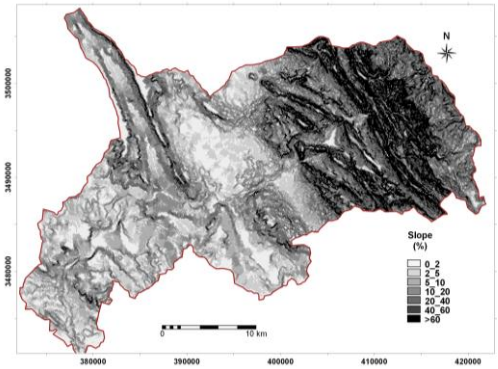
به منظور ارزیابی گزینه‌های کاهش سیلاب با تغییر در پوشش گیاهی، ابتدا نمایشنامه‌های مختلف تغییر کاربری اراضی، که امکان اجرایی کردن آنها در منطقه وجود داشت، مورد بررسی قرار گرفتند. این نمایشنامه‌ها براساس توان منطقه شامل بارش، خاک، شیب، و براساس اصول حفاظت خاک و آبخیزداری، با بازدید از منطقه مطالعاتی تعیین گردیدند. شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نقشه های بارش سالانه، شیب و کاربری اراضی موجود حوضه‌ی رودزرد را عرضه می‌نمایند.



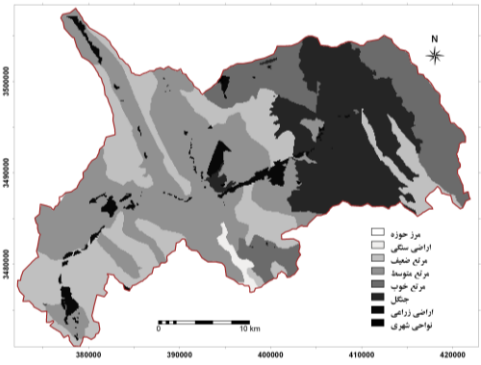
شکل۱- موقعیت حوضه‌ی رود زرد در کشور و در حوضه‌ی هندیجان- جراحی
(نام زیرحوضه‌ها ۱- دمدلی، ۲-آل خورشید، ۳- آبگلال، ۴- ابوالعباس، ۵- تلخاب، و ۶-ماشین)



شکل ۲- نقشه‌ی بارش سالانه در حوضه‌ی رودزرد.



شکل۳- نقشه‌ی شیب حوضه‌ی رودزرد.



شکل۴- نقشه‌ی کاربری اراضی موجود حوضه‌ی رودزرد.

در نهایت با توجه به نقشه‌ی کاربری اراضی موجود هشت نمایشنامه زیستی مهارکردن سیل بر پایه‌ی تغییر کاربری اراضی مطابق جدول ۱ برای زیر حوضه های رودزرد تعریف شد.

جدول ۱- فهرست نمایشنامه‌های زیستی پیشنهادی در جهت تامین همزمان اهداف توسعه کشاورزی و کاهش بده‌ی سیل

ردیف	نمایشنامه‌ی پیشنهادی	نام زیر حوضه	چگونگی اجرای نمایشنامه
۱	تبدیل مرتع متوسط به خوب	دشبیهی و ماشین	کاهش دام در مرتع و استفاده از قرق مرتع
۲	تبدیل مرتع متوسط به خوب	تلخاب	کاهش دام در مرتع و استفاده از قرق مرتع
۳	تبدیل مرتع متوسط به خوب	آبگلال و ال حورشید	کاهش دام در مرتع و استفاده از قرق مرتع
۴	تبدیل مرتع متوسط به خوب	ابولعباس	کاهش دام در مرتع و استفاده از قرق مرتع
۵	تبدیل مرتع به باغ	آبگلال و آل خورشید	احداث باغ در دامنه هایی با شیب کمتر از ۳۰ درصد
۶	تبدیل مرتع به باغ	ابوالعباس	احداث باغ در دامنه هایی با شیب کمتر از ۳۰ درصد
۷	تبدیل مرتع به باغ	دشبیهی و ماشین	احداث باغ در دامنه هایی با شیب کمتر از ۳۰ درصد
۸	تبدیل مرتع به باغ	تلخاب	احداث باغ در دامنه هایی با شیب کمتر از ۳۰ درصد

نمایشنامه‌های تغییر در کاربریهای مرتع و اراضی کشاورزی به این علت مد نظر قرار گرفتند که این دو کاربری طی سالیان گذشته دستخوش تغییرات عمده‌ای واقع شده، و درصد زیادی از حوضه را دربر گرفته اند. همان‌طور که شکل (۴) نشان می‌دهد، ارتفاعات حوضه بیشتر جنگلی یا مراتع خوب، اراضی میانی حوضه مراتع متوسط و در حاشیه رودخانه ها زراعت آبی و باغها و در پایین دست حوضه، تپه ماهوری با کاربری مراتع ضعیف تا متوسط، وجود دارند. در نمایشنامه‌ی تبدیل اراضی دامنه‌ای به کشتزار و باغ با توجه به بنای دو سد در زیر حوضه‌ی ابوالعباس می توان دامنه های پایین دست این زیرحوضه و حوضه‌ی آبگلال را پادگانه بندی کرد و به زراعت آبی و باغ تبدیل نمود. باتوجه به دامنه هایی با شیب نسبتا کم، مساحت قابل توجهی از دو زیرحوضه قابلیت تغییر به زراعت را دارد.

- **شبیه شبیه سازی**

برای شبیه سازی هر یک از نمایشنامه‌های فوق و استخراج آبنمای سیل در انتهای هر زیرحوضه، سپس در خروجی کل حوضه، به ترتیب از روش نفوذ SCS-CN و شبیه آبشناسی توزیعی ModClark و شبیه روند یابی هیدرولیکی HEC-RAS در طول رودخانه اصلی تا خروجی کل حوضه در حالت غیر ماندگار استفاده شد. مجموعه‌ی شبیه‌های فوق در تحقیق ثقفیان و قرمزچشمه (۱۳۸۷) برای حوضه رودزرد واسنجی و اعتباریابی شده اند.

در رابطه با شبیه آبشناسی، لازم به یادآوری است که راههای پرشماری برای تبدیل بارش مازاد به رواناب وجود دارند، که از جمله می توان به روش منطقی، آبنمای واحد طبیعی، و روشهای آبنمای واحد مصنوعی SCS ، اشنایدر و کلارک اشاره نمود. روش آبنمای واحد مصنوعی کلارک در دسته شبیه‌های نیمه توزیعی[1] قرار دارد که برای تبدیل بارش مازاد به رواناب و تولید آبنمای واحد یک حوضه از دو فرایند انتقال و تسکین بهره می-برد. در فرایند انتقال، که شامل حرکت بارش مازاد از مبدأ تا خروجی حوضه است، شبیه کلارک به زمان لازم برای حرکت بارش تا خروجی حوضه نیاز دارد، که در این راستا با استفاده از نمودار ستونی زمان– مساحت بارش مازاد تا خروجی همراه با تاخیر روندیابی می شود. همچنین، در این روش، تغییرات زمانی بارش مؤثر را می-توان در محاسبات آبنمای رواناب تأثیر داد. فرایند تسکین، که شامل کاهش بزرگی بده است، بیانگر ذخیره‌ی آب در سراسر حوضه می باشد؛ این فرایند در روش کلارک با در نظر گرفتن یک مخزن خطی فرضی در انتهای حوضه، و روندیابی آبنمای حاصل از زمان-مساحت لحاظ می شود. در روش توزیعی آبنمای اصلاح شده‌ی

[1]-semi-distributed

کلارک (ModifiedClark) زمان پیمایش برای کلیه‌ی سلولهای یک حوضه محاسبه، سپس نمودار ستونی زمان-مساحت استخراج می‌گردد. زمان پیمایش هرسلول تا خروجی حوضه از رابطه‌ی زیر پیشنهاد شده است (کل و فیلدمن، ۱۹۹۸) :

(۱)

$$t_{cell} = T_c\left(\frac{l_{cell}}{l_{\max}}\right)$$

که در آن t_{cell} زمان پیمایش از هر سلول تا خروجی حوضه، T_c زمان تمرکز حوضه، l_{cell} فاصله‌ی هر سلول تا خروجی حوضه، و $l_{\max}$ بیشترین طول مسیر جریان آب در حوضه می باشند.

برای هر نمایشنامه، ابتدا تغییرات مورد نظر در نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه اعمال گردید. با توجه به کاربری جدید در هر نمایشنامه، به ازای وقوع رگبار طراحی (بارش با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله در تداوم ۱۰ ساعت برابر با زمان تمرکز حوضه) شبیه ModClark اجرا شد و آبنمای خروجی هر زیر حوضه بدست آمد. سپس تأثیر هر یک از نمایشنامه‌ها در خروجی کل حوضه با اجرای شبیه هیدرولیکی HEC-RAS آبنمای خروجی تعیین گردید.

• شاخص ارزیابی نمایشنامه‌ها

با شبیه سازی هر یک از نمایشنامه‌های تغییر کاربری اراضی می توان آبنمای خروجی را در هر زیرحوضه محاسبه، و با روندیابی، آبنمای خروجی کل حوضه را به دست آورد. برای ارزیابی هر یک از نمایشنامه‌ها یکی از روشهای رایج محاسبه‌ی سود حاصل از اعمال هر یک از نمایشنامه در مقابل هزینه‌ی اجرای آن می باشد. نمایشنامه برتر به ازای بیشترین سود در برابر هزینه‌ی کمتر مشخص خواهد شد. در این مرحله، برای محاسبه‌ی سود حاصله می توان عوامل مختلفی را دخالت داد، که مهمترین آنها اندازه‌ی زیانهای وارده به‌وسیله‌ی سیل می باشد. برآورد این زیانها نیازمند به انجام عملیات میدانی گسترده ای بوده و به راحتی امکان پذیر نمی باشد.

در این تحقیق رابطه‌ای براساس عوامل آبشناسی حوضه ارائه می شود که بتوان از آن در محاسبه‌ی سود و هزینه در نمایشنامه‌های مهارکردن سیل و ارزیابی نمایشنامه‌ی برتر به راحتی بهره جست. در این راستا، میزان تغییرات بده‌ی اوج آبنمای خروجی یک حوضه به عنوان سود حاصل از تغییرات کاربری اراضی، و اندازه‌ی تغییر در عدد منحنی یک حوضه به عنوان معرف هزینه اجرایی در نظر گرفته شد. از نسبت این دو کمیت برای ارزیابی نمایشنامه‌های مورد بررسی استفاده گردید:

$$E_i = \frac{\Delta Q / Q}{\Delta CN * \Delta A_i / A_i} \qquad (۲)$$

که در آن E_i = شاخص ارزیابی برای زیرحوضه i ام، ΔQ = تفاضل بده‌ی حداکثر نمایشنامه‌ی مورد بررسی در هر زیرحوضه نسبت به بده‌ی اولیه (متر مکعب بر ثانیه) در محل خروجی، Q = بده‌ی اوج اولیه (متر مکعب بر ثانیه)، و ΔCN = تغییر عدد منحنی به ازای نمایشنامه‌ی مورد بررسی هر زیر حوضه که در مساحت ΔA_i از مساحت کل زیرحوضه (A_i) اعمال شده است.

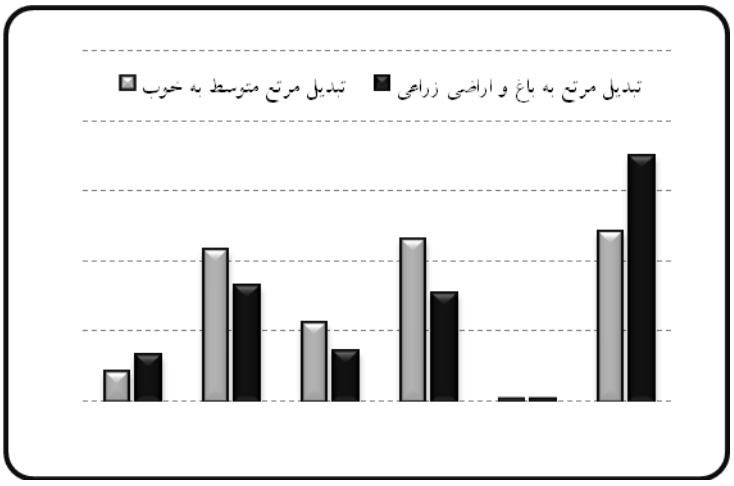
در این رابطه، به ازای هر زیرحوضه و هر نمایشنامه نسبت سود-هزینه اجرای هر یک از گزینه‌های مهارکردن سیل به صورت شبه اقتصادی محاسبه می-گردد. نسبت بالاتر بیانگر برتری نمایشنامه مربوطه و اولویت بالاتر آن زیرحوضه در اعمال نمایشنامه در مهار کردن سیل می باشد. از آنجا که گزینه های زیستی در قالب تغییر کاربری اراضی، و در پی آن تغییر عدد منحنی، شبیه سازی می شود، لذا در این تحقیق میزان تغییر در عدد منحنی به عنوان هزینه‌ی اجرای گزینه‌ی مورد بررسی لحاظ شد. بنابراین، در شرایطی که گزینه-های دیگر از مهارکردن سیل مانند عملیات ساختمانی مورد نظر باشد، باید عامل آبشناسی مرتبط با آن گزینه، که می تواند معادل هزینه‌ی اجرایی آن باشد، در مخرج کسر قرار گیرد.

نتایج و بحث

• نتایج شبیه سازی نمایشنامه‌ها

نمایشنامه‌های پیشنهادی در جدول ۱ بیان می-دارند که در کدام زیرحوضه چه نوع اقدام زیستی مهارکردن سیل اعمال گردد. از آن جا که برای تمام

مساحت یک زیرحوضه قابلیت اجرای گزینه مربوطه وجود ندارد؛ لذا، در شکل ۵، مساحت هر یک از زیرحوضه ها که در معرض نمایشنامه مربوطه قرار خواهد گرفت، به صورت درصد بیان شده است. در جدول ۲ نیز مساحت هر زیرحوضه آمده است .



شکل ۵- درصد مساحت در معرض تغییر کاربری اراضی هر یک از زیرحوضه‌ها.

زیر حوضه‌ی دمدلی، به دلیل شیب زیاد و سازندهای فرسایش پذیر نامناسب (توده های آهکی آسماری و سازندهای آغاجاری)، و نیز بارندگی کم، قابلیت بهبود پوشش گیاهی را ندارد. زیر حوضه های تلخاب و آبگلال دارای پستی و بلندی دشتی بیشتری بوده، و استعداد زیادی برای بهبود پوشش گیاهی داشتند، بطوری‌که زیر حوضه‌ی تلخاب در نمایشنامه تبدیل اراضی مرتعی به اراضی زراعی و باغها با بیش از ۶۹ درصد، حداکثر تغییرات را به خود اختصاص داده است. زیر حوضه‌ی ماشین، باوجود پستی و بلندی نسبتاً مناسب (شیب کم در دامنه ها و حاشیه رودخانه) به‌دلیل قرار گرفتن در سازندهای آغاجاری و گچساران توان قابل توجهی را برای بهبود پوشش گیاهی ندارد. در زیر حوضه‌ی ابوالعباس، به‌دلیل کوهستانی و پر شیب بودن ارتفاعات آن، و نیز وضعیت جنگلی، تغییرات زیستی زیادی را نمی توان ایجاد کرد، بطوری‌که مساحت تغییر یافته برای بهبود مرتع در حدود ۲۰ درصد کل پهنه‌ی آن می باشد. در مجموع، کل تغییرات ایجاد شده در نمایشنامه‌ی بهبود مرتع ۲۲۰ کیلومتر مربع، و تبدیل مرتع به اراضی کشاورزی و باغی ۱۹۷ کیلومتر مربع، می-باشد.

با اجرای شبیه بارش- رواناب ModClark در زیرحوضه ها، آبنمای خروجی از هر زیرحوضه مشخص شد و با روندیابی آبنماهای تولیدی در نرم افزار HEC-RAS به آبنمای خروجی کل حوضه دست یافتیم. برپایه‌ی رخدادن رگبار طراحی، بده‌ی اوج خروجی کل حوضه ۱۷۸۸ متر مکعب بر ثانیه خواهد بود. بده‌ی اوج هر یک از زیرحوضه ها در جدول ۲ آمده است.

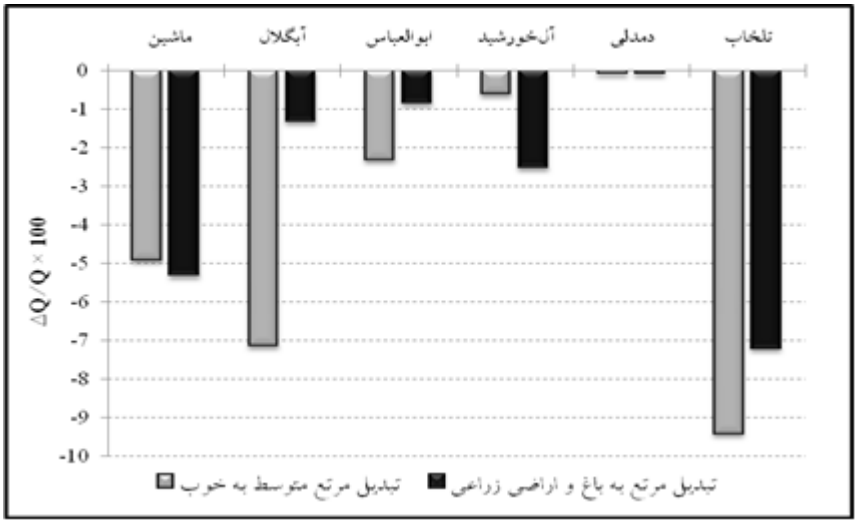
جدول ۲- بده‌ی اوج زیرحوضه ها به ازای رگبار طراحی

زیرحوضه	تلخاب	دشبیهی	آل خورشید	ابوالعباس	آبگلال	ماشین
مساحت (km^2)	۶۳/۹	۶۶/۸	۷۸/۵	۲۸۸/۰	۱۵۵/۲	۲۵۷/۳
بده‌ی اوج (متر مکعب بر ثانیه)	۱۵۷/۲	۱۴۷/۳	۱۶۴/۹	۷۵۷/۵	۳۳۱/۵	۵۱۷/۶

تاثیر اجرای هر نمایشنامه به صورت تغییر در میزان عدد منحنی هر زیرحوضه، و میزان تأثیر آن بر کاهش بده‌ی اوج شبیه سازی شد. همان‌گونه که ذکر گردید، در این تحقیق برای ارزیابی هر یک از نمایشنامه‌ها، و انتخاب نمایشنامه‌ی برتر، از شاخص E استفاده می شود، شاخص E نسبت سود به هزینه براساس عوامل آبشناسی می باشد. شکل ۶ تغییرات بده‌ی اوج را به ازای اجرای هر نمایشنامه در خروجی هر

زیرحوضه نشان می دهد. منظـور از میـزان تغییـر بـده‌ی اوج، اخـتلاف بـده‌ی اوج پـیش و پـس از اجـرای هـر نمایشنامه در هر زیرحوضه می باشد؛ این نسبت در واقـع همان صورت کسر شاخص ارزیابی است.

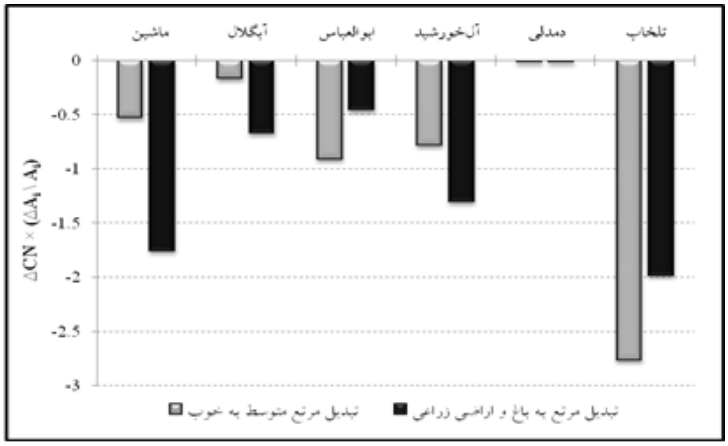
همان‌گونه که انتظار می رفت، اندازه‌ی تغییـرات بیشترین بده در زیر حوضه ها با توجه به نمایشـنامه‌هـای تعریف شده متفاوت اسـت. نمایشـنامه‌ی تبـدیل کـاربری مرتع فقیر به مراتع خوب در زیر حوضه‌ی تلخاب کـاهش بیش از ۹ درصد بیشترین بده‌ی لحظـه‌ای را در خروجـی همان زیر حوضه به‌دنبال داشت؛ کمتـرین تغییـر نیـز در زیر حوضه‌ی دمدلی، با کمتر از ۰/۱ درصد به‌دست آمـد، کـه ناشـی از مسـاحت قابـل تغییـر خیلـی کـم در آن زیرحوضه است. بطور کلی، کاهش بده‌ی حـداکثر در زیـر حوضه‌ها در نمایشنامه‌ی بهبود وضعیت مرتـع نسـبت بـه نمایشنامه‌ی تبدیل مرتع به اراضـی زراعـی و باغهـا بهتـر است.



شکل ۶- تغییرات بده‌ی اوج به ازای اجرای هر نمایشنامه در خروجی هر زیرحوضه.

تغییرات وزنی فراسنج آبشناسی عدد منحنی، کـه در این تحقیق به عنوان شاخصی برای بیان هزینه اجرایی هر یک از نمایشنامه‌ها در نظر گرفتـه شـده، براسـاس دو نمایشنامه‌ی مورد بحث، و در هر یک از زیرحوضه هـا، در شکل ۷ آمده‌اند.

بـراین اسـاس، زیرحوضـه‌ی تلخـاب بیشـترین تغییرات CN را به ازای هر دو نمایشـنامه دارد؛ بنـابراین، می توان گفت که تغییرات CN در گزینه‌ی تبـدیل مرتـع به باغ در بیشتر زیرحوضه ها بیشتر از گزینه دیگر اسـت، و این بدین معناست که هزینه‌ی بیشتری برای اجرای این نمایشنامه باید صرف شود.



شکل ۷- تغییرات وزنی عدد منحنی در هر یک از زیرحوضه ها.

- **تأثیر نمایشنامه‌ها در خروجی زیرحوضه ها و کل حوضه**

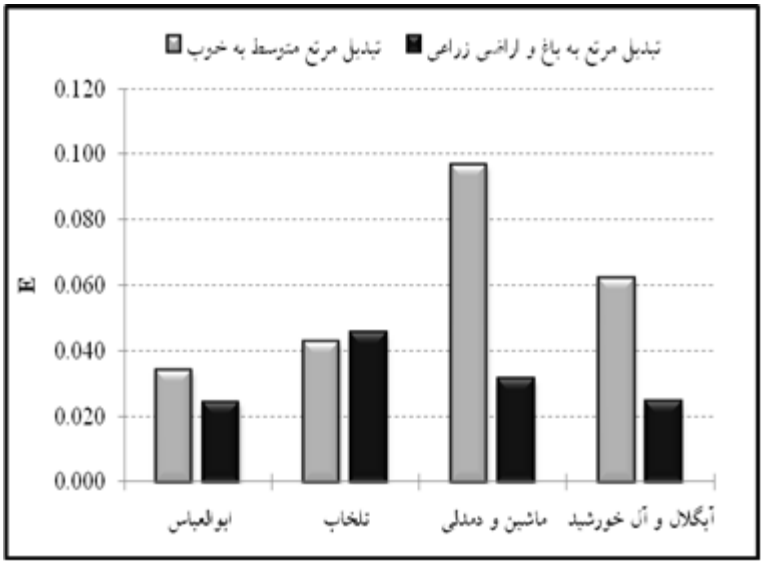
تأثیر نمایشنامه‌های مورد بررسی ابتدا در بده‌ی اوج خروجی از هر یک از زیرحوضه ها، سپس تأثیر آنها در میزان بده‌ی اوج خروجی از کل حوضه، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی براساس رابطه‌ی ۲ به ترتیب در شکل‌های۸ و ۹ ارائه شده اند. بررسی تأثیر نمایشنامه‌ها به منظور کاهش بده‌ی هر زیرحوضه نشان داد که نمایشنامه‌ی بهبود مرتع از وضعیت ضعیف و متوسط به وضعیت خوب در جهت کاهش بده‌ی حداکثر زیرحوضه مناسبتر است. در نمایشنامه‌ی تبدیل مراتع به باغ، هزینه‌ی بیشتری پرداخت می‌شود، در صورتی که کاهش بده، و یا سود حاصل، تقریباً کمتر است (شکل ۷). لذا، شاخص E برای این گزینه مقادیر کمتری را شامل می شود (شکل ۸).

در زیرحوضه‌ی آبگلال، به ازای کاهش ۷ درصد بده‌ی اوج می بایست در حدود ۰/۲ فراسنج CN زیرحوضه را کاهش داد، و به عبارتی دیگر، با صرف هزینه ای معادل با کاهش ۰/۲ عدد منحنی، می توان از سودی معادل با ۷ درصد بهره جست، در صورتی که در زیرحوضه‌ی تلخاب، کاهش ۹ درصد بده‌ی اوج به ازای صرف هزینه ای معادل با کاهش ۲/۷۵ در میزان CN رخ خواهد داد. در این شرایط منطقی است که زیرحوضه‌ی آبگلال به عنوان اولین نامزد برای اعمال گزینه‌های زیستی مهارکردن سیلاب در نظر گرفته شود، که نوع عملیات زیستی هم در آن، تبدیل مرتع متوسط به خوب خواهد بود. در این زیرحوضه، به ازای تغییرات کمتر CN و با عبارتی صرف هزینه کمتر، با سود بیشتری مواجه خواهیم بود. دومین زیرحوضه‌ی مناسب برای دریافت گزینه زیستی مهارکردن سیل، براساس شکل ۸، حوضه‌ی ماشین است.

نمایشنامه‌ی برتر (تبدیل مرتع متوسط به خوب) را می‌توان با اعمال مدیریت صحیح مرتع مانند استراحت، قرق، و درصورت نیاز بذرپاشی، کودپاشی، بذرکاری، بوته کاری و کپه کاری در زیرحوضه های انتخابی اجرا کرد.

شکل ۸- شاخص ارزیابی نمایشنامه های تغییر کاربری اراضی زیر حوضه ها در خروجی هر زیر حوضه.

از سوی دیگر تأثیر نمایشنامه‌های تغییر کاربری اراضی نیز در کاهش بده‌ی اوج خروجی از کل حوضه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی براساس رابطه‌ی ۲ در شکل ۹ ارائه شده است. در این بررسی نیز همانند قبل، نمایشنامه‌ی تبدیل مرتع متوسط به مرتع به خوب نسبت به دیگر نمایشنامه‌ها برتری دارد. بهترین مکانهای مناسب برای اعمال این گزینه زیرحوضه های ماشین و دمدلی بوده، و در مرتبه‌ی دوم، زیرحوضه های آبگلال و آل خورشید قرار دارند.



شکل ۹- شاخص ارزیابی نمایشنامه های تغییر کاربری اراضی زیر حوضه ها در خروجی کل حوضه.

نتیجه گیری

از نقطه نظر مهار کردن سیل و اجرای گزینه های مختلف آن، محدودیتهای اقتصادی و اجرایی همواره کارشناسان را با دو پرسش پایه‌ای روبرو می کنند: چه نمایشنامه‌ای و در چه مکانی اعمال گردد به گونه ای که بیشترین تأثیر را در مهار کردن سیل داشته باشد. از سوی دیگر باید اعتبارات اختصاص یافته نیز به بهترین وجه هزینه گردند. در این راستا، تعریف صحیح تابع، هدف شامل کاهش توأمان هزینه و زیان کمک شایانی خواهد کرد. از طرف دیگر، استخراج اطلاعات مورد نیاز برای تعریف تابع زیان از مراحل دشوار، زمان بر، و پر هزینه می باشد. در این تحقیق، نسبت سود–هزینه به‌نحوی تعریف شد که در آن سود و هزینه به صورت توابعی از عوامل آبشناسی حوضه بیان می گردند.

برای بررسی عملکرد رابطه‌ی سود-هزینه، پیشنهادی برای تعیین پراکنش مکانی گزینه های مهارکردن سیل حوضه رودزرد، دو نمایشنامه‌ی ارتقاء مراتع و تبدیل مراتع به اراضی زراعی و باغ به عنوان عملیات زیستی مهارکردن سیل انتخاب گردیدند. در رابطه‌ی سود-هزینه، درصد کاهش بده‌ی اوج به عنوان سود حاصل از اجرای گزینه های مهارکردن سیل، و تغییر در عدد منحنی به عنوان هزینه‌ی اجرای گزینه در نظر گرفته شد. بده‌ی اوج در یک مرحله براساس آبنمای تولیدی در خروجی هر زیرحوضه، سپس در خروجی کل حوضه تعیین می گردد.

در ارزیابی نمایشنامه‌ها براساس رابطه‌ی سود-هزینه، پیشنهادی مشخص شد که نمایشنامه ارتقاء و بهبود مرتع نسبت به نمایشنامه تبدیل مراتع به باغ و کشتزارها در کاهش بده‌ی اوج، هم در خروجی هر زیرحوضه و هم در خروجی کل حوضه، موثرتر است. در راستای تعیین پراکنش مکانی گزینه زیستی مهارکردن سیل، براساس رابطه‌ی پیشنهادی نتایج به‌دست آمده حکایت از آن داشتند که برای کاهش بده‌ی اوج خروجی از زیرحوضه، اولویت اول و دوم را زیرحوضه های آبگلال و ماشین، با اندازه‌ی شاخص E حدوداً ۰/۴۵ و ۰/۱ به خود اختصاص می دهند. در این زیرحوضه ها، با صرف هزینه‌ی کمتر می‌توان به کاهش بده‌ی اوج بیشتری دست یافت. با محاسبه‌ی رابطه‌ی ۲، به ازای اعمال نمایشنامه منتخب و بده‌ی اوج آبنمای خروجی از کل حوضه، مشخص شد که زیرحوضه های ماشین و دمدلی با $E \approx 1$ در اولین اولویت مکانی برای اعمال این نمایشنامه، و زیرحوضه های آبگلال و آل خورشید با $E \approx ۰/۶$ در دومین اولویت مکانی جای دارند.

در عمل، با بهبود وضعیت پوشش گیاهی در نمایشنامه‌های ذکر شده کاهش بیشتری در بده‌ی اوج رخ خواهد داد، چه، این شبیه تأثیر پوشش گیاهی را بر

وضعیت نفوذ پذیری و نگهداشت اولیه خاک لحاظ نمی‌نماید. علاوه بر آن، یکی از نقطه ضعفهای روش SCS در محاسبه‌ی CN و تغییرات آن، بخصوص در شرایطی که خاک در گروه آبشناسی D است، تأثیر تغییر کاربری در CN بسیار اندک دارد. این تحقیق روشی نوین را برای تعیین پراکنش مکانی عملیات مهارکردن سیل در راستای کاهش هزینه ها ارائه می‌دهد.

منابع

۱. ثقفیان، ب.، و فرازجو، ح.، ۱۳۸۶. تعیین مناطق مولد سیل و اولویت بندی سیل خیزی واحد های هیدرولوژیک حوضه سد گلستان. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. شماره (۱)۱: ۱-۱۱.

۲. ثقفیان، ب.، قرمزچشمه، ب.، ۱۳۸۷. تغییرات مکانی شدت سیل خیزی. تحقیقات منابع آب ایران (۱)۴: ۲۸-۳۹.

۳. قرمزچشمه، ب.، ثقفیان، ب.، و نوذری، ح.، ۱۳۸۴. توزیع مکانی شدت سیل خیزی در واحدهای آبشناسی(مطالعه موردی حوضه رودزرد). پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران کرمان.

4. Croke, B.F.W., and A.J. Jakeman. 2001. Predictions in catchment hydrology: an Australian prespective. Marine and Fresh Water Resource. 52: 65-79.

5. Djordjevic, B. and S. Bruck. 1998. System approach to the selection of priority areas of erosion control with implications of the water resources subsystem. Proc. 4th Int. Sym. River Sedimentation. Beijing, China. 1547-1554.

6. Even, J. and G. Parkin. 1996. Validation of catchment models for prediction land use and climate change impacts: 1. Method. J. Hydrol. 175: 583-564.

7. Fohrer, N., Steiner, N. and Moller, D. 2002. Multidisiplinary trade-off function for ;and use option in low mountain ranges area: A modelling approach. Proc. of the Third Int. Conf. on Water Resour. and Environ. Res. Dresden University of Technology. p. 387-391.

8. Kull, D., W. and Feldman, A. D. 1998. Evolution of Clark's unit graph method to spatially distributed runoff.J Hydrol Eng ASCE. 3(1): 9–19.

9. Miller, S.N., Kepner, W.G. Mehaffey, M.H. M.R.C., Hernandez, Miller, D.C., Goodrich, Devonald, Heggem, K. D. T. and Miller, W.P. 2002. Integrating landscape assessment and hydrologic modelling for land cover change analysis. J. the Am. Water Resour. Assoc. 38: 915-929.

10. Niehoff, D., Fritsch,U. and Bronestert, A.. 2002. Land use impacts on storm-runoff generation: Scenario of land use change and simulation of hydrological response in a Meso-Scale Catchment in SW-Germany. J. Hydrol. 267: 80-93.

11. Omidvar, B., and Khodaei, H. 2008. Using value engineering to optimize flood forecasting and flood warning systems: Golestan and Golabdare watersheds in Iran as case studies. Natural Hazards 47:281–296.

12. Reichold, L., Zechman, E. M. D. Brill, and Holmes, H. 2010. Simulation-optimization framework to support sustainable watershed development by mimicking the predevelopment flow regime. J. Water Resour. Plan. and Manag. 136: 366–375.

13. Saghafian, B., and Khosroshahi, M. 2005. Unit responseapproach for priority determination of flood sourceareas. J. Hydrol. Eng. . ASCE 10:270- 277.

14. Saghafian, B., Farazjoo, H. Bozorgy, B. and Yazdandoost, F. 2008. Flood

intensification due to changes in land use. Water Resour. Manag. 22:1051–1067

15. Sikka, A.K., Sarma, J.S., Sharda, V.N., Samraj,P and Lakshmanam, V. 2003. Low flow and high flow responses to converting natural grassland into blue gum (*Eucalyptus globulus*) in Nilgiris Watersheds of South India. J. Hydrol. 270: 12-26.