

مدل LARS-WG و با استفاده از تابع توزیع بتا، مقدار بارش تحت دو سناریوی A1B و B1 شبیه‌سازی گردید. مدل بارش رواناب با استفاده از مقادیر بارش دوره‌های آبی اجرا و حجم رواناب خروجی در هر یک از زیرحوزه‌های در دوره آبی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ ارائه گردید. در نهایت با فرض افزایش ۱۰٪ بارش در اثر تکنیک بارورسازی ابر مقدار رواناب رودخانه مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در اثر کاهش بارش ناشی از تغییرات اقلیمی حجم رواناب خروجی هر یک از زیرحوزه‌های کاهش خواهد یافت به طوری که از ۴۰/۵ میلیون مترمکعب در دوره پایه به ۳۴/۹ و ۳۵/۸ میلیون مترمکعب در دوره آبی تحت سناریوی‌های A1B و B1 خواهد رسید. همچنین نتایج نشان داد که در اثر افزایش ۱۰٪ بارش ناشی از بارورسازی ابرها، حدود ۲ میلیون مترمکعب حجم رواناب کاهش یافته در اثر تغییر اقلیم جبران خواهد شد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، رواناب رودخانه، باروری ابرها.

مقدمه

افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای موجب تغییر متغیرهای اقلیمی کره زمین شده و پیش‌بینی می‌شود که این تغییرات در آینده نیز ادامه یابد. با تغییر اقلیم، رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و در نتیجه فراوانی وقوع و شدت سیلاب و میزان تولید رسوب نیز تغییر می‌کند. لذا به منظور برآورد آبدی رودخانه در درازمدت، لازم است اثرات تغییر اقلیم بر آن‌ها ارزیابی شود. در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی به ویژه دبی رودخانه مطالعات متعددی در سطح ملی و بین‌المللی انجام شده است که در زیر به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. پورمحمدی و همکاران [۱۴] در یک مطالعه موردی در ایستگاه یزد، به پیش‌بینی تغییر اقلیم تحت تاثیر تغییر اقلیم در سه دهه آینده به کمک مدل HadCM3 و سناریوهای A2 و B2 و شاخص‌های خشکسالی RDI و SPI تا سال ۲۰۳۹ پرداختند. نتایج نشان از وجود نوسانات سال‌های خشک و تر در منطقه دارد و همچنین استفاده از چندین مدل چرخش عمومی جهت کاهش عدم قطعیت لازم شمرده شد. هر تیگ و ژوکوبیت [۵] در مطالعه‌ای تحت عنوان کوچک مقیاس کردن تغییر اقلیم آینده، به بررسی سناریوهای دما برای منطقه مدیترانه پرداختند. در این مطالعه از دو مدل چرخش عمومی جو ECHAM4/OPYC3 و HadCM3 و سناریو B2 طبق

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب رودخانه و ارائه راهکارهای سازگاری با اثرات آن (مطالعه موردی: حوزه آبریز تویسرکان همدان)

سمانه پورمحمدی^۱، محمدتقی دستورانی^۲، علیرضا مساح بوانی^۳، مسعود گودرزی^۴، هادی جعفری^۵ و محمدحسن رحیمیان^۶
تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۹

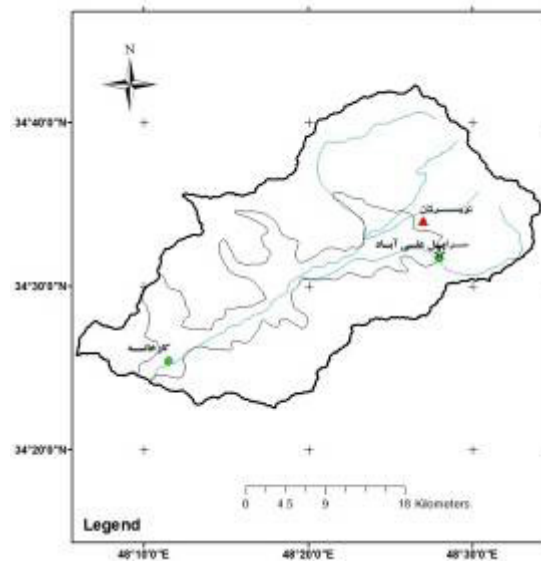
چکیده:

تغییر اقلیم علاوه بر تأثیر مستقیم بر عوامل اقلیمی، به صورت غیرمستقیم بر اقتصاد، اجتماع، کشاورزی و ... تأثیرگذار می‌باشد و پیامدهایی چون سیل، خشکسالی، مهاجرت، فقر و ... را به همراه دارد. بنابراین بررسی این موضوع برای تعیین سازوکارهای لازم و آمادگی بیشتر جهت مقابله و کاهش نتایج منفی حاصل از پدیده تغییر اقلیم ضروری به نظر می‌رسد. به علت اهمیت پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب به رودخانه‌ها، بررسی رفتار رودخانه ویژه میزان آبدی آن در دوره‌های آبی تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم جهت مدیریت منابع آب و ارائه راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم مفید و ضروری می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز تویسرکان و ارائه راهکار مناسب جهت کاهش اثرات این تغییرات می‌باشد. به این منظور ابتدا داده‌های هیدرومتری، هواشناسی و اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاکشناسی و توپوگرافی منطقه، جمع‌آوری شد. با استفاده از الگوریتم احتساب رطوبت خاک، مدل پیوسته بارش رواناب برای هر یک از زیرحوزه‌های بالادست دشت تویسرکان اجرا گردید. سپس با استفاده از ۱۵ مدل گردش عمومی جو و

- ۱- نویسنده مسئول و دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری موسسه تحقیقات آب ایران و محقق مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها s.poormohammadi@gmail.com
- ۲- استاد دانشکده محیط زیست و منابع طبیعی دانشگاه فردوسی مشهد
- ۳- دانشیار دانشگاه تهران پردیس ابرویحان،
- ۴- عضو هیئت علمی پژوهشکده خاک و آبخیزداری
- ۵- استادیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود
- ۶- دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان. پست الکترونیک: s.poormohammadi@gmail.com

SRES استفاده شد. نتایج حاصله، افزایش دما را برای همه منطقه مدیترانه برای همه ماه‌های سال در دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ در مقایسه با ۲۰۱۹-۱۹۹۰ را نشان می‌دهد. تغییرات افزایش دمای ارزیابی شده بستگی به منطقه و فصل دارد اما به طور کلی تغییرات دمای نسبی بالای ۴ درجه سانتیگراد تا پایان این قرن، تحت شرایط هشداردهنده‌ی افزایش گازهای گلخانه‌ای پیش‌بینی شد. گینک استون [۷] در مطالعه خود به مقایسه تکنیک‌های کوچک مقیاس کردن شدت بارش در سراسر شمال ایالات متحده پرداختند. روش‌های کوچک مقیاس کردن برای ارتباط دادن فاصله بین تفکیک‌پذیری مکانی زیاد (coarse spatial resolution) خروجی مدل اقلیمی و نیاز اطلاعات اقلیمی و هواشناسی در تفکیک‌پذیری (دقت) بالا استفاده می‌شوند. اعتبارسنجی با استفاده از ارزش نهایی تعمیم‌یافته (GEV) توزیع‌های حداکثر سالانه و برآوردهای دوره بازگشت صورت گرفته است. تمام تکنیک‌های مختلف برآوردهای منطقی از شدت بارش در سراسر شمال شبیه‌سازی گردید. نتایج آینده بر مبنای SDSM، افزایش در میزان شدت رویدادهای بارش تا حدود ۷٪ در دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ همراه با تغییر منطقه‌ای قابل توجه مخصوصاً در دوره بازگشت‌های بیشتر از ۵۰ و ۱۰۰ ساله را نشان دادند. اندرسون و همکاران [۱] از مدل هیدرولوژیکی برای ارزیابی تأثیر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم روی پایین‌دست رودخانه استفاده کردند. پیش‌بینی‌های دبی میانگین سالانه برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۰ برای تمام سناریوهای مربوط به چهار GCM استفاده شده در مطالعه میانگین‌گیری شد، که نتایج برای دو سناریوی A2 و B2 نزدیک به موقعیت کنونی بود. برای دوره‌های ۲۰۸۰-۲۰۵۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰، میانگین همه GCMها نشان از کاهش دبی به ترتیب ۲۰٪ (۱۴٪) و ۲۶٪ (۱۷٪) برای سناریوهای A2(B2)GHG می‌داد. بنابراین، عدم قطعیت در تعیین مقدار تغییرات شبیه‌سازی شده برای آینده در حالت افزایش (بالا) باقی می‌ماند. تأثیر تغییر اقلیم شبیه‌سازی شده روی حداقل دبی ماهانه به نسبت بیشتر از تأثیر روی دبی متوسط سالانه بود. لیو و همکاران [۱۱] تخمین‌های دبی‌های آینده رودخانه راین را با استفاده از دو سناریو را بررسی کردند. در این مطالعه شبیه‌سازی‌ها، همراه با یک مدل هیدرولوژیکی برای رودخانه راین برای حال (۱۹۸۹-۱۹۶۰) و اقلیم آینده (۲۰۹۹-۲۰۷۰) مورد بحث قرار گرفت. مدل هیدرولوژیکی Rhineflow به وسیله شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی ۹۰ ساله همراه با مدل اقلیمی منطقه‌ای Hadrm3 برای اقلیم کنونی و آینده (سناریو انتشار A2) به دست آمد. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی دبی‌ها برای اقلیم آینده مورد استفاده قرار گرفتند: یکی بر مبنای خروجی مستقیم مدل از اجرای اقلیم آینده (روش مستقیم)، در حالی که دیگری بر مبنای اختلاف سری‌های زمانی کنونی HadCM3H (روش دلتا) می‌باشد. هر دو روش، روند مشابه‌ای در دبی میانگین سالانه با افزایش ۳۰٪ در زمستان و کاهش ۴۰٪ در تابستان را پیش‌بینی کردند. ویژالین و همکاران [۱۷] تغییرات سیلاب را در ۶۷ نقطه فنلاند با استفاده از مدل مفهومی هیدرولوژیکی و ۲۰ سناریو اقلیمی برای دوره‌های

۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بررسی کردند. نتایج، اهمیت دانش جامع اقلیم‌شناسی و هیدرولوژیکی و استفاده از چندین سناریو اقلیمی در تخمین تأثیرات تغییر اقلیم روی سیلاب را نشان داد، همچنین تعمیم دادن، فقط بر مبنای تعدادی مطالعات موردی، برای ارزیابی‌های سیلاب در مقیاس بزرگ با استفاده از تعداد کمی سناریو اقلیمی نباید در کشورهای با شرایط هیدرولوژیکی متغیر استفاده گردد. لهنر و همکاران [۱۰] به برآورد تأثیر تغییر جهانی (تغییر اقلیم و تغییر مصرف آب) بر سیلاب و خطرات خشکسالی در اروپا با استفاده از آنالیز جامع قاره‌ای پرداختند. از مدل جامع جهانی آب WaterGAP که قابلیت آن شبیه‌سازی رژیم‌های زیاد و کم می‌باشد استفاده و سپس برای محاسبه تغییرات نسبی سیلاب و فراوانی‌های خشکسالی به کار برده شد. نتایج، مناطق بحرانی وسیعی را برای تغییرات معنی‌دار در سیلاب و خطرات خشکسالی که تحت تأثیر سناریوهای تغییر جهانی اقلیم ایجاد شده‌اند را نشان می‌داد. مناطقی که بیشتر در معرض افزایش فراوانی‌های سیلاب هستند در اروپای شمالی و شمال‌شرق قرار داشتند، در حالی‌که جنوب و جنوب شرق اروپا افزایش معنی‌داری در فراوانی‌های خشکسالی نشان می‌داد. در مناطق بحرانی، رویدادها با شدت سیلاب و خشکسالی‌های روزانه ۱۰۰ ساله ممکن است هر ۵۰-۱۰ سال تا سال ۲۰۷۰ اتفاق بیافتند. بورنس و همکاران [۲] از آزمون ناپارامتری من‌کنندال و بر اساس داده‌های درجه حرارت ۹ ایستگاه، بارندگی ۱۲ ایستگاه و اندازه‌گیری جریان در ۸ ایستگاه، به ارزیابی روندهای سالانه، ماهانه و چندماهه در درجه حرارت هوا، مقدار بارش، رواناب، تبخیر و تفرق (PET) در منطقه طی دوره ۲۰۰۵-۱۹۵۲ پرداختند. یک الگوی کلی افزایش دما و بارش، رواناب و PET صعودی در منطقه مشهود است. میانگین دمای هوا سالانه منطقه‌ای، به طور معنی‌داری در طول دوره ۵۰ سال موردنظر افزایش داشته است. دمای حداقل روزانه بیشترین افزایش از می تا سپتامبر و دمای حداکثر روزانه بیشترین افزایش در طول فوریه تا آوریل و بارش متوسط منطقه‌ای به طور معنی‌داری به اندازه ۱۳۶ میلی‌متر در طول دوره ۵۰ سال را نشان می‌دهد. PET متوسط منطقه‌ای نیز به طور معنی‌داری به اندازه ۱۹ میلی‌متر در ۵۰ سال افزایش یافته است. چونگ و چانگ [۶] به ارزیابی روندهای رواناب آینده تحت چندین سناریوی تغییر اقلیم در حوضه رودخانه ویلامت اورگان آمریکا پرداختند. در این مطالعه روندهای مؤلفه‌های رواناب فصلی در حوضه رودخانه Willamette اورگان برای قرن ۲۱ مورد بررسی قرار گرفت. مؤلفه‌های اقلیمی کوچک مقیاس شده به صورت آماری به وسیله تأثیرگذارهای اقلیمی، شبیه‌سازی‌های ۸ مدل اقلیمی جهانی مختلف (GCM) همراه با ۲ سناریو انتشار گازهای گلخانه‌ای (A1B+B1) (GHG) به عنوان ورودی‌های سیستم مدل‌سازی رواناب-بارش سازمان نقشه‌برداری جغرافیایی آمریکا مورد استفاده قرار گرفت. نتایج روندهای منفی در رواناب بهار (مارس)، آوریل و می) و تابستان (ژوئن، ژولای و فوریه) و روندهای مثبت در رواناب پاییز (سپتامبر، اکتبر و نوامبر) و زمستان (دسامبر، ژانویه



شکل ۱- نقشه پراکنش ایستگاه‌ها در حوضه آبخیز تویسرکان
Figure 1. The distribution maps of stations in the Tuyserkan basin

سازگاری در راستای کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم ارائه خواهد شد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

این تحقیق در حوضه آبخیز تویسرکان در استان همدان در غرب کشور ایران انجام شد. حوضه آبخیز تویسرکان به وسعت ۷۹۱/۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد که ۲۰/۷ درصد از مساحت آن را دشت تویسرکان با مساحت ۱۶۴/۴۶ کیلومتر مربع تشکیل می‌دهد. این حوضه آبخیز دارای کاربری‌های اراضی متعددی بوده و بخش اصلی دشت را مناطق کشاورزی آبی و دیم تشکیل می‌دهد. به عبارتی، ۲۴ درصد از حوضه آبخیز دارای کاربری اراضی دیم و آبی می‌باشد. در شکل ۱ شمای کلی حوضه آبخیز تویسرکان بر روی نقشه همدان و شکل ۲-۲ نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز تویسرکان را نشان می‌دهد. در این حوضه آبخیز ایستگاه باران‌سنجی سرابی که دما را نیز ثبت می‌کند با قدمت تاریخی ۱۸ ساله وجود دارد. ایستگاه سینوپتیک تویسرکان با دوره آماری ۲۰۰۹-۲۰۰۳ و ایستگاه‌های هیدرومتری علی‌آباد و کارخانه وجود دارد. ایستگاه هیدرومتری کارخانه در خروجی حوضه با ۵۴ سال سابقه آماری و ایستگاه علی‌آباد در یکی از سرشاخه‌ها با ۳۵ سال سابقه آماری می‌باشد

روش تحقیق

در این تحقیق از نقشه آبراه‌ها، مرز حوضه آبخیز، مدل رقومی ارتفاع و پراکنش ایستگاه‌ها به کمک داده‌های هواشناسی همچون بارش، تبخیر و داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری جهت شبیه‌سازی رواناب در زیر حوضه‌های فاقد آمار تویسرکان استفاده شد. به این منظور از مدل پیوسته بارش-رواناب در نرم‌افزار HEC-HMS کمک گرفته شد. جهت انجام مدل بارش رواناب در نرم‌افزار HEC-HMS

و فوریه) برای دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۰ را نشان دادند، همچنین روندهای طولانی مدت مؤلفه‌های بیلان آب در حوضه رودخانه Willamette می‌تواند بیشتر تحت تأثیر تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های انسانی باشد اما جهت و مقدار چنین تغییراتی به طور گسترده، بستگی به فعل و انفعالات بین تغییر اقلیم و هیدرولوژی سطحی زمین دارد. این نتایج نیاز به مدیریت منابع آب به صورت مکانی در حوضه رودخانه Willamette تحت تأثیر تغییر اقلیم را نشان می‌دهد. در تحقیقی که توسط ساموئل و همکاران [۱۶] صورت گرفت به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر بارش، دما، منابع آب و کشاورزی کشور آفریقای جنوبی پرداخته است. نتایج تحقیق نشان از افزایش مقادیر حدی در دوره‌های آبی داشت به طوری که طوفهای سهمگین به همراه سیلاب افزایش داشته و همچنین تغییر اقلیم تأثیر مخربی بر منابع آب و کشاورزی منطقه خواهد داشت. کوموزپ و اکی چانگ [۹] به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب و شاخص خشکسالی حوضه گئومهو در کره جنوبی پرداختند. در این تحقیق از روش لارس دبلو جی جهت ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی جو استفاده شد و عدم قطعیت‌های مدل نیز بررسی گردید. نتایج نشان از افزایش ۹٪ رواناب در دوره‌های آبی و افزایش بروز خشکسالی در دوره ۲۰۶۰ را نشان داد. نتایج بررسی‌های بالا نشان داد که تغییر اقلیم اثرات جدی و انکارناپذیری بر اقلیم حوضه‌های آبخیز و منابع آب سطحی و دبی رودخانه حوضه‌های آبخیز در دوره‌های آبی خواهند داشت. بنابراین جهت مدیریت بهینه و پایدار منابع آب در سطح حوضه آبخیز ضروریست بررسی تمامی ابعاد اثرات تغییر اقلیم به صورت جدی مورد تحقیق قرار گیرند. هدف از تحقیق حاضر بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب سطحی حوضه آبخیز تویسرکان به کمک مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد همچنین راهکارهای

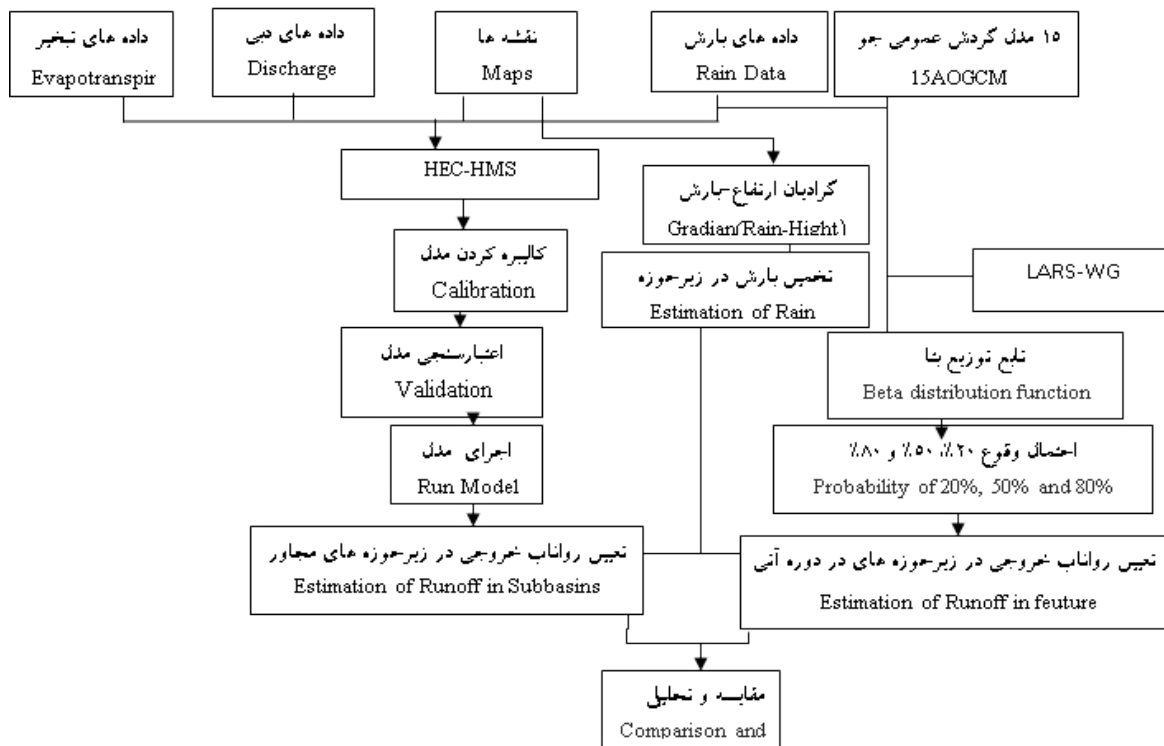
رواناب ورودی به دشت و دبی پیک در دوره آبی در ۶ حالت مذکور شبیه‌سازی شد. شکل ۲ مراحل انجام تحقیق را نمایش می‌دهد.

نتایج و بحث

واسنجی مدل

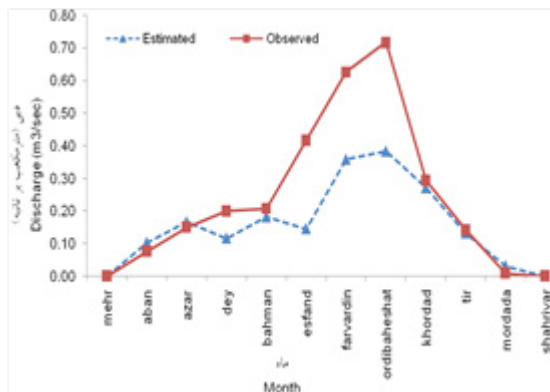
پس از بررسی پارامترهای ارائه شده در الگوریتم احتساب رطوبت خاک و دبی خروجی، نتایج مدل بارش-رواناب نشان داد که مدل به پارامتر حداکثر نفوذپذیری سطحی بیشترین حساسیت را دارد. و پارامترهای آب زیرزمینی لایه ۱ و لایه ۲ عملاً تاثیر چندانی بر دبی شبیه‌سازی شده ندارند. آنالیز حساسیت مدل پیوسته به علت پارامترهای زیاد مدل احتساب رطوبت خاک پیچیده بوده ولی همانطور که نتایج این تحقیق و سایر محققین مثل یعقوبی و مساح [۱۳] نشان داد، بخش لایه زیرزمینی ۲ کمترین میزان حساسیت و موارد مربوط به حداکثر نفوذپذیری، بیشترین حساسیت داشته و تاثیر زیادی بر رواناب خروجی از مدل دارد. شکل ۳ الف مقایسه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هیدروگراف روزانه سال‌های آبی ۸۶-۸۷ و ۸۷-۸۸ را نشان می‌دهد. رواناب شبیه‌سازی شده تا حدودی از نظر مقدار و روند توانسته است رواناب خروجی از حوضه را به خوبی پیش‌بینی نماید. در واقع شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف خوب شبیه‌سازی شده و مقادیر پیک هیدروگراف در برخی نقاط به خوبی شبیه‌سازی نشده است. تنها در ماه اسفند (مارس) و اردیبهشت (می) مدل نتوانسته به خوبی نقاط پیک هیدروگراف را پیش‌بینی کند.

از مدل احتساب رطوبت خاک (SMA) استفاده می‌شود و روش انتقال نیز بهتر است، Modclark باشد [۴]. مدل بارش رواناب در دو سال آبی ۸۷-۸۸ و ۸۶-۸۷ در زیر حوضه شماره ۱ که دارای ایستگاه هیدرومتری و بارانسنجی می‌باشد، کالیبره شد. اعتبارسنجی مدل نیز در سال آبی ۸۸-۸۹ در این زیر حوضه انجام گرفت. در مرحله بعد با استفاده از ۱۰ ایستگاه بارانسنج در حوضه آبخیز تویسرکان و حوضه‌های مجاور اقدام به بررسی گرادیان بارش-ارتفاع شد. پس از شبیه‌سازی بارش در سال آبی ۸۷-۸۸ به کمک گرادیان ارتفاع در سه زیر حوضه مجاور، داده‌های بارش شبیه‌سازی شده به مدل کالیبره شده وارد شد و رواناب خروجی از هر یک از زیرحوضه‌ها شبیه‌سازی شد. جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه آبخیز تویسرکان، از داده‌های بارش شبیه‌سازی شده در دوره آبی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) تحت دو سناریوی AIB و B1 با احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد استفاده شد. لازم به ذکر است از تابع توزیع بتا برای تعیین بارش با حد تجاوز کمتر و ۱۵ مدل گردش عمومی جو استفاده شد به منظور ریزمقیاس نمایی مدل‌های گردش عمومی جو از نرم‌افزار LARS-WG استفاده گردید. برای شبیه‌سازی بارش در دوره‌های آبی، فرض ثابت بودن کاربری اراضی منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد. از داده‌های بارش ۲۰ ساله تولید شده به صورت روزانه میانگین گرفته شد و با توجه به رابطه گرادیان بارش-ارتفاع بارش در سایر زیرحوضه‌ها نیز تعیین شد. با ورود داده‌های بارش به نرم‌افزار HEC-HMS تحت دو سناریوی AIB و B1 و سه احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد برای ۴ زیر حوضه شبیه‌سازی و نهایتاً حجم

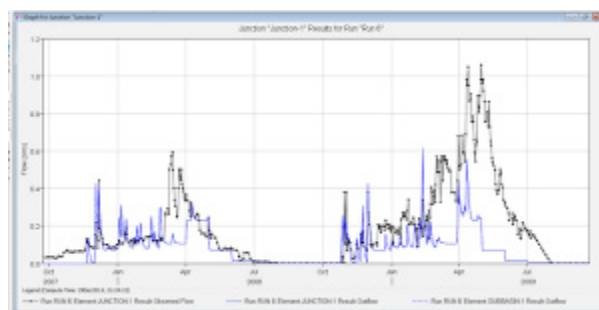


شکل ۲- روند نمای تحقیق

Figure2. Research flowchart



(ب) (B)



(الف) (A)

شکل ۳- الف) مقایسه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره واسنجی (هیدروگراف روزانه سال آبی ۸۷-۸۶ و ۸۸-۸۷) (ب) مقایسه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (هیدروگراف ماهانه سال آبی ۸۷-۸۸)

Figure3. A) Comparing observed and simulated discharge data by calibrated part (daily hydrograph 88-87 and 87-86 years)
B) Comparing observed and simulated discharge data (monthly hydrograph 88-87 year).

جدول ۱- نتایج آزمون مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی دبی توسط مدل HEC-HMS در مرحله کالیبراسیون

Table1. Result of comperation test between observe and estimated discharge with HEC-HMS

| بازه زمانی | همبستگی | ریشه خطای مطلق | ریشه استاندارد خطا | ضریب نش ساتکلیف | ریشه خطای مطلق |
|-------------------|------------|----------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Time Range | regression | RMSE | MAE | NASH | BIOS |
| روزانه Daily | 0.8 | 0.2 | 0.3 | 0.52 | -0.32 |
| ماهانه Monthly | 0.92 | 0.1 | 0.3 | 0.58 | -0.33 |

در شکل ۳ ب) مقایسه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هیدروگراف ماهانه سال آبی ۸۷-۸۸ نشان داده شده است. هیدروگراف ماهانه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد که مدل، دبی پیک هیدروگراف در ماه‌های بهمن، اسفند و اردیبهشت را نتوانسته است به خوبی تخمین بزند ولی شاخه نزولی هیدروگراف و شاخه صعودی هیدروگراف به خوبی شبیه‌سازی شده است. در جدول ۱ نتایج آزمون خطا داده‌های روزانه و ماهانه مدل بارش-رواناب در زیرحوضه شماره ۱ در دوره کالیبراسیون نشان داده شده است. با توجه به جدول میزان همبستگی بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده برای مقادیر روزانه ۰/۸، میزان خطای استاندارد ۰/۲ مترمکعب بر ثانیه، میزان ضریب خطای مطلق ۰/۳ مترمکعب بر ثانیه، ضریب نش ۰/۵۲ و ضریب بایاس ۰/۳۲- می‌باشد. در ارتباط با مقایسه داده‌های ماهانه شبیه‌سازی شده و واقعی ضریب

همبستگی و نش ساتکلیف نسبت به داده‌های روانه متفاوت بوده و سایر آماره‌های خطا یکسان می‌باشد. به این معنی که همبستگی و ضریب نش ساتکلیف داده‌های ماهانه شبیه‌سازی شده نسبت به واقعی از داده‌های روزانه بهتر بوده است. البته همانطور که در سایر تحقیقات نشان داده شده است (گارسیا و همکاران، [۴])، یعقوبی و مساح [۱۳]، گیوالی و همکاران [۳] و مرادی [۱۲] میزان همبستگی و ضریب نش ساتکلیف به دست آمده برای مدل کالیبره شده پیوسته HEC-HMS مقادیر بالایی نبوده و معمولاً کمتر از مقادیر مربوط به مدل واقعه محور می‌باشد. به عنوان مثال در تحقیقی که توسط یعقوبی و مساح صورت گرفت ضریب نش در مدل پیوسته بارش-رواناب در واسنجی ۰/۶۲ و در صحت سنجی ۰/۵۷ بود، دلیل آن هم مربوط به زیادی پارامترهای موثر در فرایند تبدیل بارش به رواناب در طول یک سال یا فصل یا دوره مورد نظر می‌باشد.

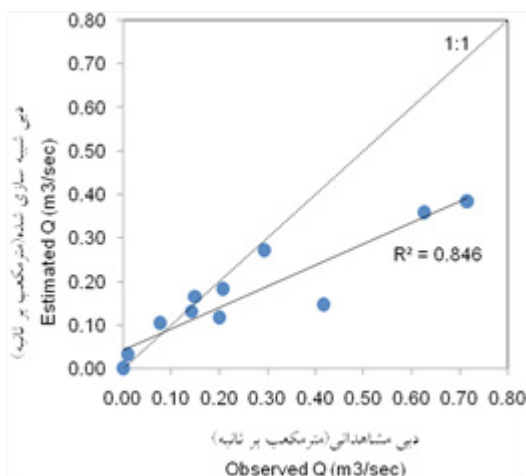
به خوبی تخمین بزند. البته مدل در ماه اردیبهشت نتوانست به خوبی نقطه پیک نمودار را تخمین بزند، در حالی که شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف به خوبی شبیه‌سازی شده است.

در شکل ۵ (ب) مقایسه داده‌های هیدروگراف دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مقادیر ماهیانه سال آبی ۸۹-۸۸ نشان داده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که داده‌های تخمینی به خوبی توانسته است شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف را تخمین زده و تنها دبی پیک - که در اردیبهشت ماه اتفاق افتاده است - به خوبی تخمین زده نشده و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل،

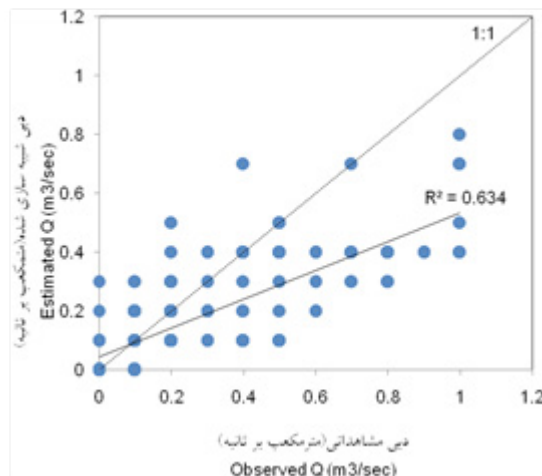
شکل ۴ الف و ب به بررسی دبی شبیه‌سازی شده روزانه و ماهانه در زیرحوضه شماره ۱ پرداخته است. در این نمودارها مشاهده می‌شود که مدل کالیبره شده HEC-HMS دچار ۳۰٪ کم برآورد شده است.

اعتبارسنجی

شکل ۵ الف) مقایسه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هیدروگراف روزانه سال آبی ۸۹-۸۸ بدست آمده از اعتبارسنجی مدل HEC-HMS را نشان می‌دهد. نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد که HEC-HMS توانسته است داده‌های دبی روزانه را



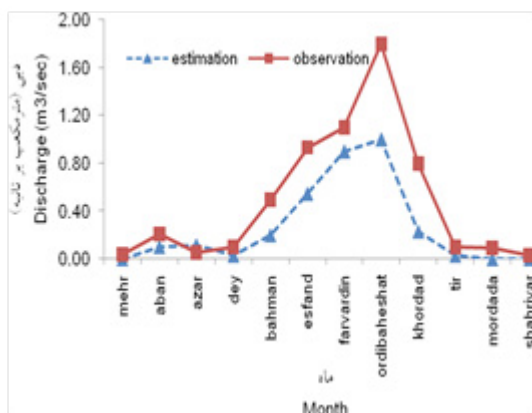
(ب)
(B)



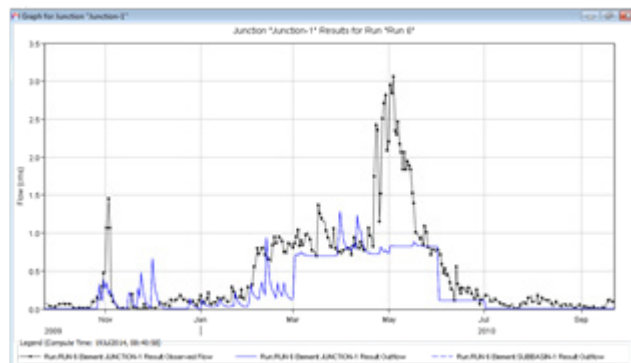
(الف)
(A)

شکل ۴- مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی دبی توسط مدل HEC-HMS برای بازه‌های زمانی روزانه (الف) و ماهانه (ب)

Figure4. Comparing observed and simulated HEC-HMS discharge data for daily(A) and monthly(B) interval



(ب)
(B)



(الف)
(A)

شکل ۵- الف) مقایسه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هیدروگراف روزانه سال آبی ۸۹-۸۸ (دوره اعتبارسنجی) (ب) مقایسه داده‌های دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط هیدروگراف ماهانه سال آبی ۸۹-۸۸

Figure5. A) Comparing observed and simulated discharge data by validation part (daily hydrograph 88-89), B) Comparing observed and simulated discharge data (monthly hydrograph 88-89 year).

برای مقادیر اعتبارسنجی ۳۰٪ می‌باشد.

شبیه‌سازی دبی خروجی در زیرحوضه‌های مجاور فاقد آمار همانطور که در قسمت روش کار توضیح داده شد، به منظور شبیه‌سازی آمار سه زیرحوضه دشت تویسرکان که فاقد آمار می‌باشد، از گرادیان ارتفاع بارش استفاده شد. شکل ۷ گرادیان ارتفاع-بارش ایستگاه‌های بارانسنج حوضه تویسرکان و حوضه‌های مجاور را نشان می‌دهد. با توجه به رابطه مناسب بارش و ارتفاع در حوضه تویسرکان و مناطق اطراف (همبستگی ۰.۸۱٪) مقدار بارش با توجه به ارتفاع متوسط در هر یک از زیرحوضه‌ها برای سال آبی ۸۸-۸۷ برآورد شد.

حجم رواناب خروجی از حوضه آبخیز

در جدول ۳ مساحت، میزان بارش و حجم رواناب خروجی از هر یک از زیرحوضه‌های تویسرکان نشان داده شده است. با توجه به میزان بارش و مساحت هر یک از زیرحوضه‌ها مقدار حجم رواناب خروجی محاسبه گردید. بیشترین میزان رواناب خروجی مربوط به

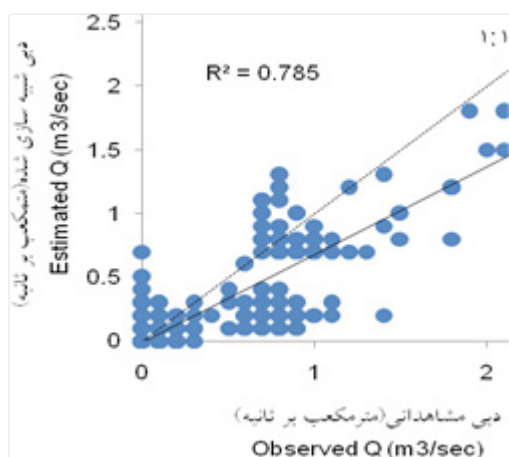
دچار کم برآورد نسبت به داده‌های واقعی شده است. جدول ۲ نتایج آزمون خطا برای داده‌های روزانه و ماهانه مدل اعتبارسنجی شده HEC-HMS در سال آبی ۸۸-۸۹ را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی بین مقادیر دبی مشاهداتی و دبی تخمینی روزانه در اعتبارسنجی مدل ۰/۸۸، میانگین خطای استاندارد، ۰/۲۹ مترمکعب بر ثانیه و میانگین خطای مطلق، ۰/۴۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد ضریب نش ساتکلیف، ۰/۶۴ و خطای بایاس ۰/۳۰- می‌باشد. همبستگی ماهانه مدل با مقادیر واقعی، ۰/۹۴ بوده، ضریب نش ساتکلیف ماهانه ۰/۷۱ و خطای استاندارد ۰/۲ را نشان می‌دهد. سایر آماره‌های خطای مقادیر ماهانه شبیه‌سازی شده، مشابه مقادیر روزانه می‌باشد.

شکل ۶ مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی دبی رواناب توسط مدل HEC-HMS برای بازه‌های زمانی روزانه (الف) و ماهانه (ب) به همراه خط ۴۵ درجه نشان داده شده است همانطور که در مورد مقادیر شبیه‌سازی شده مشاهده می‌شود، دچار کم برآورد می‌باشد و طبق محاسبات صورت گرفته این مقدار کم برآورد نیز

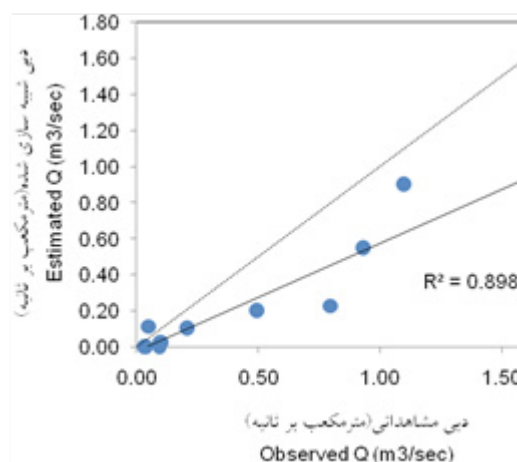
جدول ۲- نتایج آزمون خطا برای داده‌های روزانه شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی مدل HEC-HMS

Table2. result of comperation test between observe and estimated discharge with HEC-HMS

| بازه زمانی | همبستگی | ریشه خطای مطلق | ریشه استاندارد خطا | ضریب نش ساتکلیف | ریشه خطای مطلق |
|-------------------|------------|----------------|--------------------|-----------------|----------------|
| Time Range | regression | RMSE | MAE | NASH | BIOS |
| روزانه Daily | 0.88 | 0.29 | 0.42 | 0.64 | -0.32 |
| ماهانه Monthly | 0.94 | 0.20 | 0.42 | 0.71 | -0.31 |



(ب) B



(الف) A

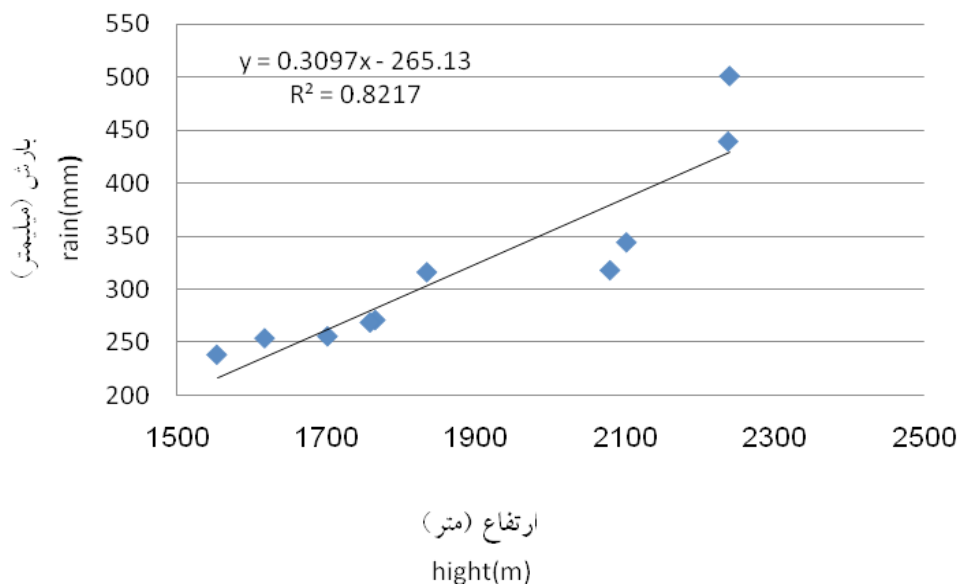
شکل ۶- مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی دبی توسط مدل HEC-HMS برای بازه‌های زمانی روزانه (الف) و ماهانه (ب)

Figure6. Comparing observed and simulated HEC-HMS discharge data for daily (A) and monthly (B) interval

را افزایش می‌دهد، اما استفاده از روش احتساب رطوبت خاک به خوبی می‌تواند رواناب خروجی حوضه‌های فاقد آمار را شبیه‌سازی نماید.

بررسی اثرات تغییر اقلیم در دشت تویسرکان در این بخش ابتدا نتایج صحت سنجی مدل LARS-WG در دشت تویسرکان بیان می‌شود و سپس نتایج اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دشت تویسرکان ارائه خواهد شد. جدول ۴ مقادیر آماره‌های خطای مدل LARS-WG را برای پارامترهای دمای کیمنه، دمای بیشنه و بارش نشان می‌دهد. مقادیر ضرایب همبستگی، نش ساتکلیف، ریشه

زیرحوضه شماره ۴ و کمترین رواناب خروجی مربوط به زیرحوضه شماره ۲ می‌باشد. نتایج بالا نشان می‌دهد که برای تعیین رواناب خروجی در حوضه‌های فاقد آمار، می‌توان از مدل‌های بارش-رواناب مثل HEC-HMS استفاده کرد. به طوری که رحیمی و همکاران [۱۵]، گارسیا و همکاران [۴]، مرادی [۱۲] و خاکبازو همکاران [۸] نیز به این نتیجه رسیدند که هر چند به علت پارامترها و اطلاعات زیادی که مدل احتساب رطوبت خاک لازم دارد (که بعضا در دسترس نبوده و نیاز به تخمین دارد) و همین امر عدم قطعیت و خطای مدل کالیبره شده



شکل ۷-گرادین ارتفاع-بارش ایستگاه‌های باران‌سنج حوضه تویسرکان و حوضه‌های مجاور
Figure7. Elevation-rain gradient in rain gauge stations in Tuyserkan catchment

جدول ۳- مساحت، بارش و حجم رواناب خروجی از هر یک از زیرحوضه‌ها
Table3. Area, precipitation and runoff volume of each of the sub-basins

| نوع پارامتر | زیر حوضه ۱ | زیرحوضه ۲ | زیرحوضه ۳ | زیرحوضه ۴ |
|---|-------------|------------|------------|------------|
| parametre | sub basin 1 | sub basin2 | sub basin3 | sub basin4 |
| مساحت (کیلومتر مربع) AREA | 55.38 | 42.32 | 60.40 | 130.90 |
| میزان بارش (میلیمتر) Precipitation | 362 | 458 | 475 | 398 |
| حجم رواناب (میلیون مترمکعب) Runn off Volume | 7.91 | 7.79 | 9.8 | 15 |

جدول ۴- مقادیر آماره‌های خطای مدل LARS-WG
Table4. statistical error values of LARS-WG model

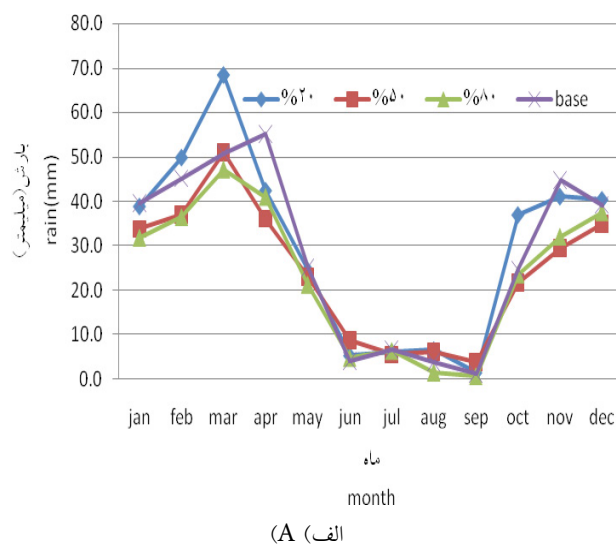
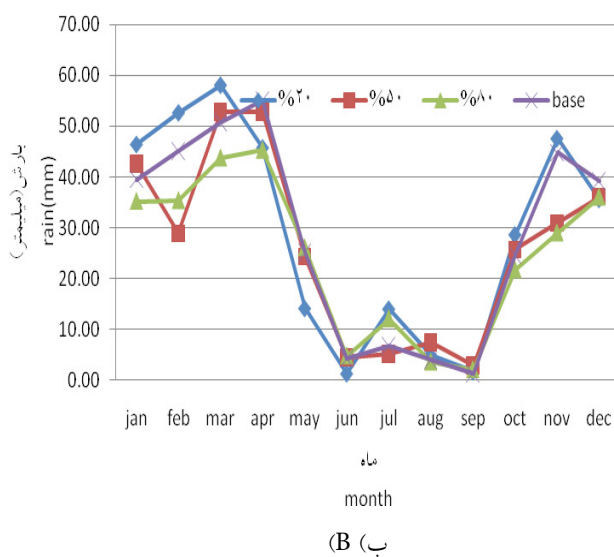
| نام پارامتر | همبستگی | ریشه خطای مطلق | ریشه استاندارد خطا | ضریب نش ساتکلیف |
|----------------------|-------------|----------------|--------------------|-----------------|
| Parameter | Corrolation | RMSE | MAE | Nash Sutklief |
| بارش (precipitation) | 0.96 | 2.43 | 3.75 | 0.96 |
| دمای کیمینه (T_min) | 0.99 | 0.17 | 0.26 | 0.99 |
| دمای بیشینه (T_max) | 0.99 | 0.22 | 0.31 | 0.99 |

فصلی دوره پایه بررسی می‌شود (جدول ۳-۱۲). با توجه به شکل ۸ و تغییرات بارش ماهانه، در دوره آبی نه تنها میزان بارش در فصول مختلف تغییر کرده است بلکه الگوی توزیع بارش نیز متفاوت شده است. در دوره پایه بیشترین میزان بارش در فصل زمستان (۱۴۰ میلی‌متر) و سپس پائیز (۱۱۹ میلی‌متر) رخ داده است، این در حالیست که تحت سناریوی B1 و با احتمال وقوع ۸۰٪، بیشترین میزان بارش در فصل پائیز (۱۰۸ میلی‌متر) و بعد از آن بهار (۸۴ میلی‌متر) می‌باشد. در ضمن بیشترین میزان کاهش بارش تحت این سناریو در فصل زمستان رخ خواهد داد. در فصل زمستان تحت سناریوی A1B و احتمال وقوع ۸۰٪ الگوی توزیع بارش همانند دوره پایه بوده به طوری که در زمستان با مقدار ۱۳۵ میلی‌متر بیشترین میزان بارش و بعد از آن فصل بهار به میزان ۸۷ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین میزان کاهش بارش تحت این سناریو، در فصل پائیز خواهد بود. به طور کلی با احتمال وقوع ۸۰٪ تحت سناریوی A1B و B1 بیشترین کاهش بارش، در فصول پائیز و زمستان رخ می‌دهد. اثر تغییر اقلیم بر رواناب-بعد از شبیه‌سازی بارش روزانه در دوره‌های آبی و با استفاده از مدل کالیبره شده HEC-HMS، شبیه‌سازی رواناب در هر یک از زیر حوضه‌ها تحت تاثیر تغییر اقلیم صورت گرفت.

خطای استاندارد و ریشه خطای مطلق در جدول ۴ همگی نشان دهنده همبستگی بالای مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی و خطای کم داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG می‌باشد. به طور کلی نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که مدل به خوبی برای دشت تویرکان کالیبره شده است.

در اشکال ۸ الف و ب تغییرات بارش تحت تاثیر سناریوی B1 و A1B در احتمال وقوع‌های ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد به صورت ماهانه در دوره آبی ۲۰۳۱-۲۰۱۱ نشان داده شده است.

طبق محاسبات صورت گرفته میزان بارش از احتمال وقوع ۲۰٪ به ۸۰٪ تحت هر دو سناریو کمتر می‌شود. تحت سناریوی B1 مقادیر بارش ۳۶۳، ۲۹۲ و ۲۸۴ میلی‌متر و کمتر به ترتیب در احتمال وقوع‌های ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد رخ می‌دهد و تحت سناریوی A1B مقادیر ۳۵۱، ۳۱۵ و ۲۹۵ میلی‌متر و کمتر به ترتیب در احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد رخ خواهد داد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقدار کاهش بارش تحت سناریوی B1 از سناریوی A1B در هر سه نوع احتمال وقوع بیشتر می‌باشد. از آنجاییکه احتمال وقوع ۸۰٪ محتمل‌ترین حالت خواهد بود، بنابراین تغییرات بارش فصلی تحت سناریوی A1B و B1 در احتمال وقوع ۸۰٪ و مقایسه آن با بارش



۸-الف) تغییرات بارش در احتمال وقوع‌های مختلف تحت سناریوی B1 ب) تغییرات بارش در احتمال وقوع‌های مختلف تحت سناریوی A1B Figure7. A) Precipitation changes in the probability of the B1 scenario B) Precipitation changes in the probability of the A1B scenario

جدول ۵-رواناب شبیه‌سازی شده در هر یک از زیرحوضه‌های دشت تویرکان تحت سناریوی A1B (واحد: میلیون مترمکعب)

Table5. Estimated runoff in each sub basin of Tuyserkan basin under A1B senario

| کل رواناب | حجم زیر حوضه ۴ | حجم زیر حوضه ۳ | حجم زیر حوضه ۲ | حجم زیر حوضه ۱ | احتمال وقوع |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|
| Total runoff volume | Volume of sub basin4 | Volume of sub basin3 | Volume of sub basin2 | Volume of sub basin1 | Probability |
| 40.1 | 14.77 | 9.71 | 7.69 | 7.89 | 20% |
| 37.2 | 13.56 | 9.06 | 7.25 | 7.35 | 50% |
| 35.8 | 12.96 | 8.72 | 7.02 | 7.13 | 80% |

در جدول ۵ رواناب شبیه‌سازی شده در هر یک از زیرحوضه‌های دشت تويسرکان تحت سناریوی AIB و با احتمال وقوع ۲۰، ۵۰ و ۸۰ درصد نشان داده شده است. از احتمال وقوع ۲۰٪ به ۸۰٪ حجم کل رواناب کاهش می‌یابد که به دلیل کاهش بارش از احتمال ۲۰ به ۸۰٪ می‌باشد. حجم رواناب استحصالی در احتمال وقوع ۸۰٪، ۳۵/۸ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد.

در جدول ۶ رواناب شبیه‌سازی شده در هر یک از زیرحوضه‌های دشت تويسرکان تحت سناریوی B1 نمایش داده شده است. در این سناریو نیز از احتمال وقوع ۲۰٪ به ۸۰٪ حجم رواناب کاهش یافته به طوری که از ۴۰/۹ میلیون مترمکعب در سال در احتمال وقوع ۲۰٪، به ۳۴/۹ میلیون مترمکعب در سال در احتمال وقوع ۸۰٪ می‌رسد. در مجموع در اثر تغییرات اقلیمی رواناب ورودی به دشت به علت کاهش بارش، تحت هر دو سناریوی B1 و AIB کم شده است به طوری که از ۴۰/۶ میلیون مترمکعب در سال آبی ۸۷-۸۸ به ۳۵/۸ و ۳۴/۹ میلیون مترمکعب در سال در دوره آبی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) رسیده است. همانطور که مشخص است کاهش رواناب تحت سناریوی B1 بیش از سناریوی AIB بوده است که به علت کاهش بیشتر بارش تحت این سناریو می‌باشد. نکته قابل توجه آنکه در مدل کالیبره شده بارش-رواناب که جهت شبیه‌سازی دوره آبی استفاده شد، تنها پارامتر بارش تغییر داده شده و پارامترهای مربوط به کاربری اراضی، پوشش سطح زمین و درصد مناطق نفوذناپذیر که تاثیر به بسزایی در تولید رواناب دارند، ثابت فرض شد. همین امر موجب ایجاد عدم قطعیت و ایجاد خطا در مدل جهت شبیه‌سازی داده‌های رواناب در دوره‌های آبی شده است. از یک طرف کاهش بارش و به تبع آن منابع آب کاهش می‌یابد که سبب کاهش رواناب می‌شود و از طرف دیگر پوشش گیاهی تحت تاثیر منابع آب ممکن است کاهش یابد و یا مناطق نفوذناپذیر شهری و صنعتی به علت رشد جمعیت افزایش

یابد که می‌تواند باعث افزایش رواناب شود. بنابراین نتایج حاصل از مدل کالیبره شده بارش-رواناب، در دوره‌های آبی که در بالا ارائه شد، تنها با اتکا به پارامتر بارش مورد بحث قرار گرفته است که همراه با عدم قطعیت‌های ذکر شده می‌باشد.

بررسی اثر بارورسازی ابر بر بیلان آبی دشت تويسرکان همانطور که در روش تحقیق بیان شد احتمال افزایش ۱۰٪ بارش تحت تاثیر بارورسازی ابر به عنوان یکی از سناریوهای کاهش اثرات تغییر اقلیم در نظر گرفته شد. از آنجایی که فرض احتمال وقوع ۸۰٪ در دوره‌های آبی تحت سناریوی AIB و B1 محتمل تر می‌باشد، بنابراین افزایش ۱۰٪ بارش تحت این دو سناریو و احتمال وقوع ۸۰٪ در نظر گرفته شد. در اثر بارورسازی ابر بارش از ۲۹۵ میلیمتر تحت سناریوی AIB به ۳۲۵ میلیمتر در سال خواهد رسید و بارش از ۲۸۳ میلیمتر تحت سناریوی B1 به ۳۱۲ میلیمتر در سال در اثر بارورسازی ابر رسیده است. بارش شبیه‌سازی شده تحت تاثیر بارورسازی ابر، وارد مدل کالیبره شده HEC-HMS شد و رواناب ناشی از آن برای هر ۴ زیرحوضه شبیه‌سازی شد. در جدول ۷ نتایج رواناب شبیه‌سازی شده در هر یک از زیرحوضه‌های دشت تويسرکان تحت سناریوی B1 و AIB با فرض ۱۰٪ افزایش بارش در اثر بارورسازی ابر نشان داده شده است. حجم رواناب شبیه‌سازی شده در اثر بارورسازی ابر و تحت سناریوی AIB، ۳۸/۱ میلیون مترمکعب در سال رسیده است. با توجه به جدول ۷، حجم رواناب تولیدی تحت این سناریو بدون بارورسازی ابر ۳۵/۸ میلیون مترمکعب بوده است یعنی در اثر بارورسازی ابر ۳/۷ میلیون مترمکعب افزایش یافته است. در اثر بارورسازی ابر و تحت سناریوی B1، حجم کل رواناب ورودی به دشت تويسرکان به ۳۶/۹ میلیون مترمکعب خواهد رسید، با توجه به جدول ۳-۱۸، حجم کل رواناب ورودی به دشت تويسرکان ۳۴/۹ میلیون مترمکعب بدون بارورسازی ابر می‌باشد یعنی ۲ میلیون

جدول ۶- رواناب شبیه‌سازی شده در هر یک از زیرحوضه‌های دشت تويسرکان تحت سناریوی B1 (واحد: میلیون مترمکعب)

Table6. Estimated runoff in each sub basin of Tuyserkan basin under B1 senario

| احتمال وقوع | حجم زیر حوضه ۱ | حجم زیر حوضه ۲ | حجم زیر حوضه ۳ | حجم زیر حوضه ۴ | کل رواناب |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Probability | Volume of sub basin1 | Volume of sub basin2 | Volume of sub basin3 | Volume of sub basin4 | Total runoff volume |
| 20% | 7.9 | 7.8 | 9.9 | 15.1 | 40.9 |
| 50% | 7.06 | 7 | 8.63 | 12.8 | 35.5 |
| 80% | 6.98 | 6.88 | 8.51 | 12.5 | 34.9 |

جدول ۷- رواناب شبیه‌سازی شده در هر یک از زیرحوضه‌های دشت تويسرکان تحت سناریوی B1 و AIB (واحد: میلیون مترمکعب)

Table7. Estimated runoff in each sub basin of Tuyserkan basin under AIB and B1 senario

| سناریو | حجم زیر حوضه ۱ | حجم زیر حوضه ۲ | حجم زیر حوضه ۳ | حجم زیر حوضه ۴ | کل حجم رواناب |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Senario | Volume of sub basin1 | Volume of sub basin2 | Volume of sub basin3 | Volume of sub basin4 | Total runoff volume |
| AIB | 7.5 | 7.3 | 9.2 | 13.9 | 38.1 |
| B1 | 7.3 | 7.2 | 8.9 | 13.4 | 36.9 |

نتیجه گیری

استفاده از مدل احتساب رطوبت خاک در نرم افزار HEC-HMS نیاز به پارامترهای زیادی دارد که کالیبره کردن آن برای هر منطقه کار دشواری است؛ چرا که علاوه بر خصوصیات خاک سطحی نیاز به ارائه خصوصیات خاک زیرقشری نیز می باشد. این مدل علاوه بر رواناب سطحی، رواناب ناشی از آب اضافی زیرقشری و حتی هدررفت مربوط به تبخیر را نیز در نظر می گیرد. ویژگی های خاک پس از خشک و مرطوب شدن مجدد و یا تبخیری که در طول دوره صورت می گیرد، از جمله مواردی است که در کالیبره کردن مدل پیچیدگی ایجاد می کند. نکته قابل ذکر آنکه در مدل کالیبره شده، میزان رواناب در فصل پاییز و زمستان به خوبی شبیه سازی شده و در فصل بهار دچار کم برآورد شده است به عبارتی دیگر مدل کالیبره شده بارش-رواناب شاخه صعودی و نزولی هیدروگراف را به خوبی شبیه سازی کرده ولی در شبیه سازی نقطه اوج جریان نتوانسته به خوبی شبیه سازی را انجام دهد. همچنین دقت مدل کالیبره شده HEC-HMS در شرایط پیوسته کمتر از حالت واقعه محور می باشد (با توجه به ضریب نش ساتکلیف). این مساله همانطور که بیان شد به علت پارامترهای زیادی است که در مدل احتساب رطوبت خاک وجود دارد و کالیبره کردن آنها در منطقه نیاز به اطلاعات جامعتری دارد که معمولاً در دسترس نبوده و یا تخمینی است. نهایتاً باید اذعان نمود که هر چند مدل پیوسته رطوبت خاک دارای عدم قطعیت هایی می باشد، ولی پیشنهاد می شود برای شبیه سازی بارش-رواناب، با انجام نمونه گیری های کافی در منطقه مورد مطالعه، واسنجی مدل حتماً انجام شود. نکته دیگر آنکه با توجه به برفگیر بودن مناطق کوهستانی بالا دست دشت تویسرکان، به نظر می رسد حجم قابل توجهی از رواناب حوضه از ذوب برف حاصل شود که در مدل بارش رواناب در نظر گرفته نشده است که بهتر است در مطالعات آتی مد نظر قرار گیرد. البته نیاز به ایستگاههای برف سنجی نیز در حوضه آبریز تویسرکان می باشد. این موضوع خود می تواند یکی از پیشنهادات این تحقیق برای ادامه موضوع در قالب یک پایان نامه و یا طرح تحقیقاتی باشد. تغییر اقلیم باعث کاهش بارش با احتمال وقوع ۸۰٪ تحت دو سناریوی B1 و AIB در دشت تویسرکان گردیده است. همچنین مشخص شد که بیشترین کاهش بارش در فصول سرد سال یعنی پاییز و زمستان رخ خواهد داد. تحت تاثیر تغییر اقلیم، نه تنها بارش کاهش یافته است، بلکه الگوی بارش نیز تحت اثرات تغییر اقلیم در دشت تویسرکان متفاوت شده است. به طوری که بیشترین مقدار بارش از زمستان و پاییز در دوره پایه به زمستان و بهار تحت سناریوی AIB و به پاییز و بهار تحت سناریوی B1 تغییر پیدا کرده است. همین امر بر الگوی کشت آبی و دیم منطقه و حتی گونه های کشت شده و پوشش طبیعی منطقه تاثیر گذار خواهد بود. بالتبع کاهش بارش و تغییر الگوی

زمانی آن، بر رژیم جریان و رودخانه و زمان دبی پیک نیز تاثیر گذار خواهد بود. تاثیر تغییر اقلیم باعث کاهش رواناب ورودی به دشت تویسرکان شده است؛ به طوریکه تحت هر دو سناریوی AIB و B1 کاهش رواناب خروجی از زیرحوضه ها رخ خواهد داد. رواناب شبیه سازی شده در دوره های آبی دارای عدم قطعیت های زیادی از جمله، مدل تغییر اقلیم، سناریوی های اقلیمی و مدل بارش-رواناب می باشد. همانطور که قبلاً نیز بیان شد، بدلیل عدم آگاهی از شرایط فرهنگی، اجتماعی، صنعتی و وضعیت کاربری اراضی در دوره های آبی، به طور دقیق نمی توان تاثیرات آن را بر رواناب شبیه سازی شده از زیرحوضه ها شبیه سازی نمود. پیشنهاد می شود که در تحقیقات جداگانه ای، سناریوهای مختلف تغییر کاربری اراضی در دوره های آبی تعریف و بر اساس هر سناریو، اثرات تغییر اقلیم بر رواناب بررسی شده و با همدیگر مقایسه گردد. با توجه به نتایج ارائه شده در این تحقیق و به عنوان یک راهکار، می توان از تکنیک بارورسازی ابر به عنوان یکی از منابع تامین کننده آب دشت در دوره های آبی استفاده نمود. بارورسازی ابر با فرض افزایش ۱۰ درصدی بارش (که بر اساس ارزیابی های صورت گرفته از پروژه های باروری ابر در کشور، این عدد قریب به یقین نیز هست)، می تواند تا حد زیادی تغییرات منفی ذخیره آبی دشت را جبران نماید و بر بیلان آبی دشت تاثیرات مثبت داشته باشد. نتایج این تحقیق ثابت کرد که این تکنیک می تواند راهکاری در جهت کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم در منطقه مطالعاتی عمل نموده و بخشی از منابع آبی محدود شده را جبران نماید. بنابراین در ارتباط با کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم در منطقه مطالعاتی، تکنیک بارورسازی ابر را نیز می توان به عنوان یک راهکار در کنار سایر راهکارهای پیشنهادی نظیر بهینه سازی مدیریت آب در مزرعه، اصلاح الگوی کشت، بهره برداری بهینه از منابع آب سطحی و زیرزمینی و ... مطرح و اجرایی نمود.

منابع

- Anderson, L. Wilk, J. Todd, M. Hughes, D. Earle, A. Kniveton, D. Layberry, R. and Savenije, H. (2006). Impact of climate change and development scenarios on flow patterns in the Okavango River. *Journal of Hydrology*, 331, 43-57.
- Burns, D. Klaus, J. and Mchale, M. (2007). Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, NEW YORK, USA. *Journal of Hydrology*, 336: 155-17.
- Gyawali Rabi, S.M.ASCE1. and David W. Watkins, M.ASCE. 2013. Continuous Hydrologic Modeling of Snow-Affected Watersheds in the Great Lakes Basin Using Hec-hms, *Journal of Hydrologic Engineering* © Asce/ January pp:29-39.
- Garcia M, L. Villagarcía, F. Domingo, J. Puigdefábregas,

12. Moradi, N. 2013, The effect of clouds seeding on soil loss and runoff in the watershed areas, MSc Thesis, University of Yazd, p. 122. (In Persian)
13. Masah Bavani, AR. And Morid, Said. 2005, Effects of climate change on river flows, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, No. 4. (In Persian)
14. Poormohammadi, S. Dastorani, MT. Massah Bavani, AR, and Rahimian, MH. 2011, Prediction of the impact of climate change drought in three decades using of AOGCM models (case study Yazd station), the Fourth Conference on Water Management, Iran. (In Persian)
15. Rahimi, M., Saghafian, B., Azadi, M. and Sedghi, H., 2010, Flood forecasting in arid and semi arid region using continuous hydrological modeling, *World applied science journal*, 10(6), 645-654.
16. Samuel, K. Michele, L. Warburton, E. Archer van, G. and Graham P.W. 2013. Impacts of climate change on water resources in southern Africa: A review study of Vernonia, Oregon, USA, Volume 46, *Applied Geography*, Pages 137–146.
17. Veijalainen, N. Lotsari, E. Alho, P. Vehvilainen, B. and Kayhko, J. 2010. National scale assessment of climate change impacts on flooding in Finland. *Journal of Hydrology*, 391: 333-350.
- I. Sandholt. 2014. Accuracy of the Temperature–Vegetation Dryness Index using MODIS under water-limited vs. energy-limited evapotranspiration conditions, *Remote Sensing of Environment*, Volume 149, June 2014, Pages 100–117
5. Hertig, E. and Jacobeit, J. (2008). Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area. *Global and Planetary Change*, 63: 127-131.
6. Jung, II.W. and Chang, H. (2010). Assessment of future runoff trends under multiple climate change scenarios in the Willamette River Basin, Oregon, USA. *Hydrological processes*. 25: 258-277.
7. Kingston, D.G. Thompson, J.R. and Kite, G. (2010). Uncertainty in climate change projections of discharge for the Mekong River Basin. *Hydrol. Earth. Syst. Sci. Discuss.*, 7, 5991-6024.
8. Khakbaz, B. Bisher, I. 2012. Kuolin Hsu, Soroosh Sorooshian From lumped to distributed via semi-distributed: Calibration strategies for semi-distributed hydrologic models, *Journal of Hydrology* 418–419 .61–77.
9. Komozeq, T. and Chung, Ok . 2014. The effects of climate change on the water resources of the Geumho River Basin, Republic of Korea, *Journal of Hydro-environment Research*, Volume 8, Issue 4, December 2014, Pages 358–366.
10. Lehner, B. Doll, P. Alcamo, T. Henrichs, T. and Kaspar, F. 2006. Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: a continental, integrated analysis. *Climate Change*, 75: 273-299.
11. Leio, G. Buishand, A. and Van Deursen, W. 2007. Estimates of future discharges of river Rhine using two scenario methodologies: direct versus delta approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1145-1159.

Abstract

Effects of Climate Change on River Runoff and Compatible Solutions (Case Study: Tuyserkhan Basin, Hamedan)

S. Poormohammadi¹, M.T.Dastorani², A.R. Massah Bavani³, M.Gudarzi⁴, H. Jafari⁵ and M.H. Rahimian⁶

Received: 2015/02/21 Accepted: 2016/09/09

Climate change in addition to the direct impact on climate parameter indirectly will affect on the economy, society, agriculture and so on and will cause consequences such as floods, drought, migration, and poverty. Thus, it is necessary to determine the mechanism and proper planning to reduce the negative consequences of climate change phenomenon. Because of the importance of the climate change phenomenon on water resources in rivers, scrutiny of river behavior and especially river discharge in the future periods which is affected by climate change is essential to water resource management and finding solutions for adaptation and mitigation to climate change. Goal of this research is investigation of climate change impact on watershed runoff of Tuyserkhan River and appropriate solutions to reduce the impact of these changes. For this purpose, hydrometric and meteorological data and soil characteristics and topography of the area were collected. The soil moisture accounting algorithm was implemented to continuous rainfall-runoff model for sub-basin of Tuyserkhan plain. Then, by applying 15 general circulation models and LARS-WG model with the beta distribution function were simulated rainfall under A1B and B1 scenarios. Rainfall-runoff model was run using future rainfall and volume of runoff in each of sub-basin for the future period of 2011-2030. Finally, with 10% increase in rainfall by cloud seeding technique river runoff was estimated. The results showed that the decrease in rainfall due to climate change will reduce runoff volume of each sub-basin. As of 40.5 million cubic meters in base period will be 34.9 and 35.8 million cubic meters under scenarios A1B and B1. The results showed that the 10% increase in precipitation from clouds seeding, about 2 million cubic meters of runoff volume declined due to climate change will be compensated.

Keywords: *Climate change, River runoff, Cloud seeding*

1- Ph.D. in Watershed Science and Engineering, Research Expert of National Cloud Seeding Research Center, Ministry Of Energy, Yazd, Iran. Corresponding author. Email:s.poormohammadi@gmail.com

2- Faculty member of Ferdowsi University of Mashhad,

3- Faculty member of Aboureyhan University of Tehran,

4- Faculty member of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran

5- Faculty member of Shahrood University of Technology,

6- Ph.D. student of science and water engineering, Isfahan University of Technology