

ارتباط سنجی تأثیر گرمایش جهانی بر کیفیت آب در خروجی حوضه آبریز گرگانرود با تأکید بر عنصر بارش

*غلامرضا روشن^۱، رویاسادات موسوی^۲ و اصغر کامیار^۳

استادیار اقلیم‌شناسی دانشگاه گلستان، ^۲دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه بوعلی سینا،

^۳دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۱/۹/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۴

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت کشور، نیاز روز افزون به منابع آب سالم جهت شرب و کشاورزی نیز افزایش می‌یابد. ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات بارش و ارتباط سنجی این تغییرات با کیفیت آب‌های سطحی در حوضه گرگانرود از اهداف این پژوهش می‌باشد. بدین منظور داده‌های روزانه و ماهانه دو مؤلفه دما و بارش در دوره ۲۰۰۸-۱۹۵۱ برای ایستگاه سینوپتیک گرگان و مؤلفه‌های کیفیت آب رودخانه‌ی گرگانرود در دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۰ به کار گرفته شد. تغییرات کیفیت آب در بستر زمان و در ارتباط با تغییرات مؤلفه‌ی بارش برای دوره‌ی مشترک ۲۰۰۵-۱۹۷۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس از مدل LARS-WG و داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 در ارتباط با سه سناریوی A1B، A2 و B1 استفاده شد مقادیر دما و بارش برای سه دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ شبیه‌سازی گردید و تغییرات هر دوره با مقادیر پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) توسط آزمون همبستگی پیرسون مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت و همچنین از مقدار P برای بیان سطح معناداری این تغییرات استفاده شد. بر اساس نتایج، تفاوت معناداری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی در سطح ۰/۰۵ وجود نداشت. نتایج شبیه‌سازی داده‌های دما برای سه دوره‌ی نام برده و در هر سه سناریو افزایش دما را پیش‌بینی کرد. در ارتباط با بارش سناریوهای A1B و B1 نسبت به سناریوی A2 خوش‌بینانه‌تر عمل کرده و دوره‌های ترسالی بیشتر و در نتیجه بهبود کیفیت آب را پیش‌بینی می‌نمایند ولی در دوره‌ی سوم این شرایط برعکس می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که کرنات‌ها با میزان بارش رابطه‌ای مستقیم دارند، درحالی‌که SAR و Na با میزان بارش رابطه‌ی معکوس داشته و بین درصد سدیم و مقدار بارش ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های گردش عمومی جو، شبیه‌سازی، سناریوهای انتشار، حوضه آبریز گرگانرود، کیفیت آب.

مقدمه

امروزه با توجه به افزایش جمعیت کره زمین، پیشرفت تکنولوژی و توسعه جوامع و نیاز روز افزون بشر به مناطق مسکونی، منابع اولیه و غیره، دست درازی بشر به محیط طبیعی، بیش از پیش نمایان شده است. بطوری که در دهه اخیر دخل و تصرف در محیط طبیعی، با روند صعودی همراه بوده و آثار مخرب و ویرانگری به جا گذاشته است. به عنوان نمونه می توان به استفاده فزاینده بشر از گازهای گلخانه‌ای و سوخت‌های فسیلی اشاره کرد که پیامد آن تسریع در روند تغییر اقلیم جهانی می باشد (روشن، ۱۳۸۵). مصرف سوخت‌های فسیلی توسط بشر سبب افزایش در انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای شده است. همه‌ی سناریوهای دول بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC^۱) و مدل‌های گردش عمومی (GCM^۲) پیش‌بینی می‌کنند که افزایش در غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند دمای سطح کره زمین را بالا ببرد که این تغییرات بر چرخه هیدرولوژی مناطق مختلف نیز اثر گذار خواهد بود (Daren, et al., 2009:2). افزایش دمای جهانی و تغییرات ناشی از آن می‌تواند روند بارش را در نقاط مختلف کره زمین دچار دگرگونی کند، همچنین مطالعات نشان می‌دهد که افزایش دمای محیطی منجر به افزایش تبخیر می‌گردد و این امر موجب کاهش جریان آب‌های جاری و افزایش در شدت و فراوانی خشکسالی‌ها خواهد شد (Rind, et al., 1999). برآورد تعدادی از متخصصان علم آب و هواشناسی بیانگر این است که میانگین کره زمین در حدود ۰/۳ تا ۰/۷ درجه سلسیوس افزایش یافته که عامل اصلی این افزایش دما، افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده است (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹). محققین پیش‌بینی می‌کنند که دمای کره زمین تا اواسط قرن آینده تا سقف ۱ تا ۳ درجه سلسیوس بیشتر از دمای حاضر گردد (عزیزی و روشنی، ۱۳۸۶). اکثر پژوهشگران بر این باورند که با افزایش گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسیدکربن در ابتدای دهه ۲۰۳۰، دمای کره خاکی به میزان ۲ تا ۵ درجه سلسیوس گرم‌تر شود. همچنین دور از انتظار نیست که در طول قرن ۲۱، تراز آب دریاها به میزان ۰/۲ تا ۱/۶ متر، بواسطه افزایش دما و ذوب پهنه‌های یخی قطبین و یخ‌های کوهستانی افزایش یابد (پورخباز، ۱۳۸۱). بنابراین در یک نگاه منطقی به اقلیم و نوسانات آن، شناسایی تغییرات مؤلفه‌ی بارش بسیار ضروری می‌باشد. با توجه به اهمیت این موضوع تحقیقات زیادی در زمینه پیش‌بینی مقادیر بارش برای دهه‌های آینده انجام شده است. یکی از این فعالیت‌ها مرتبط با نتایجی است که بوسیله هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در سومین گزارش ارائه گردیده است. در این گزارش اشاره شده که احتمال بیشتر شدن بارش‌های حدی و فرین برای عرض‌های جغرافیایی میانی و بالای کره زمین بواسطه تأثیر تغییر اقلیم بیشتر خواهد شد (IPCC, ۲۰۰۱). اگر چه تحقیقات، وجود یک روند مثبت قابل توجه

1- International Panel of Climate Change

2- General Circulation Models

برای کره زمین را نشان می‌دهد، ولی رخداد رفتارهای متفاوت از نظر جمع بارش و مقادیر فرین در مقیاس ناحیه‌ای مشاهده شده است (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج تعدادی از پژوهش‌ها گویای افزایش معنادار روند بارش در مقیاس منطقه‌ای و تعداد کمی روند منفی یا عدم وجود روند بوده که این نتایج، کم و بیش در راستای خروجی‌های مستخرج از اجرای مدل‌های اقلیمی با در نظر گرفتن تغییرات افزایشی گازهای گلخانه‌ای بالاخص دی‌اکسیدکربن می‌باشد (IPCC, ۲۰۰۱). با کاهش میزان بارش، تغییر رژیم بارش، افزایش دمای هوا و به تبع آن کاهش میزان اکسیژن محلول در آب، اکوسیستم‌های گیاهی و جانوری ریپرین^۱، میکرو و ماکرو فون‌های موجود در آب‌ها و جمعیت ماهیان تحت تنش قرار گرفته و این اکوسیستم‌ها در صورت عدم سازگاری با شرایط زیستی جدید مورد تهدید واقع شده و یا از بین می‌روند. از پیامدهای دیگر تغییر کمیت بارش، تأثیرگذاری آن بر کیفیت منابع آب، بالاخص آب‌های سطحی می‌باشد که در ادامه چند نمونه از پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه آورده شده است.

Astaraie et al. (2012) در پژوهشی به ارزیابی تأثیرات شهرنشینی و تغییر اقلیم بر کیفیت آب رودخانه با توجه به سیستم فاضلاب شهری در بریتانیا پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که با تغییر اقلیم و افزایش روند شهرنشینی کیفیت آب با کاهش اکسیژن و آمونیم محلول در آب پایین می‌آید. Delpa et al. (2009) در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت آب سطحی را در ارتباط با تولید آب آشامیدنی بررسی کردند و به این نتیجه رسیده‌اند که روندی کاهشی در کیفیت آب آشامیدنی با تغییر اقلیم به وجود خواهد آمد که این وضعیت خطری بالقوه برای شرایط بهداشتی آب در آینده به وجود خواهد آورد. Wilby et al. (2006)، به مدلسازی اثر تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت آب در رودخانه کنت^۲ بریتانیا پرداخته‌اند که نتایج مطالعه آنها کاهش جریان رودخانه و همچنین کاهش کیفیت آب‌های سطحی را در روندی بلند مدت نشان می‌دهد. Mimikou et al. (2000)، در یونان مرکزی اثرات منطقه‌ای تغییر اقلیم را بر شاخص‌های کمی و کیفی آب ارزیابی کرده‌اند. نتایج پژوهش آنها افزایش دما و کاهش بارش را برای اقلیم آینده این منطقه پیش‌بینی می‌کند. همچنین شبیه‌سازی کیفیت آب با توجه به این تغییرات کاهش قابل توجهی را در کیفیت آب به سبب کاهش جریان آب ارائه کرده است. Yiping, et al. (2012)، اثرات افزایش CO₂ و تغییر اقلیم روی چرخه و کیفیت آب در حوضه رودخانه جمز^۳ در غرب میانی ایالات متحده آمریکا را پیش‌بینی کرده‌اند. نتایج این پژوهش کاهش بارش و افزایش دما را برای این قرن نشان داد که این وضع کاهش قابل توجهی در آب‌های

1- Riparian

2- Kennet

3- James

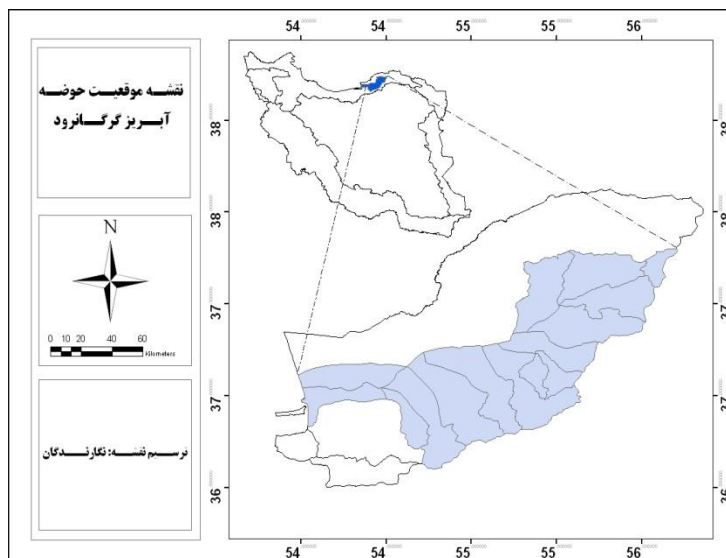
سطحی و زیرزمینی نیز به همراه خواهد داشت. همچنین خروجی مدل آنها کاهش جذب $\text{NO}_3\text{-N}$ توسط آب را نشان می‌داد که این امر می‌تواند تهدیدی جدی برای اکوسیستم آبی منطقه به شمار آید. با توجه به این که کشور ما از جمله پهنه‌های خشک تا نیمه‌خشک آب و هوایی کره زمین است، شناخت صحیح از تغییرات بارش و تأثیرگذاری آن بر کیفیت آب‌های سطحی امری الزامی و اجتناب ناپذیر می‌باشد. ضرورت این تحقیق از آنجا سرچشمه می‌گیرد که با افزایش جمعیت کشور و نیاز به منابع آبی سالم و کافی جهت شرب و کشاورزی رو به فزونی است از اینرو ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات دما و بارش و ارتباطسنجی این تغییرات با کیفیت آب‌های سطحی در حوضه‌های آبریز، به‌عنوان یکی از بزرگترین منابع تأمین کننده آب در کشور، امری ضروری و انکار ناپذیر است.

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز گرگانرود با جهت شرقی - غربی در جنوب‌شرقی دریاچه خزر و در دامنه‌های شمالی البرز واقع شده و آب حاصل از بارش‌ها و سیستم زهکشی خود را به خلیج گرگان و از آنجا به دریای خزر می‌ریزد. از نظر موقعیت جغرافیایی این حوضه بین عرض $33^{\circ} 36'$ تا $37^{\circ} 45'$ شمالی و در طول $3^{\circ} 54'$ تا $56^{\circ} 13'$ شرقی قرار دارد. حداکثر ارتفاع این حوضه در حدود ۳۶۰۰ متر و حداقل آن ۲۶ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).

کل مصرف از منابع آب حوضه آبریز گرگانرود ۱۱۸۵ میلیون مترمکعب بوده که ۳۱ درصد آن از آب سطحی و بقیه از آب زیرزمینی می‌باشد (سازمان تحقیقات منابع آب (شرکت مدیریت منابع آب ایران)، ۱۳۸۴). در حوضه آبریز گرگانرود دو رودخانه اصلی قره‌سو و گرگانرود جاری می‌باشند. رودخانه قره‌سو با سطح حوضه‌ای برابر با ۱۶۵۳ کیلومترمربع، سالیانه یا متوسط حجم آبدهی ۱۰۰ میلیون مترمکعب و رودخانه گرگانرود با سطح حوضه‌ای معادل با ۱۰۵۷۰ کیلومترمربع، سالیانه با متوسط حجم آبدهی ۷۰۰ میلیون مترمکعب همراه می‌باشند. جریان آب‌های سطحی در این حوضه متأثر از رژیم برفی- بارانی است و رودخانه‌ها از کوه‌هایی که بین ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متر ارتفاع دارند سرچشمه می‌گیرند. در حوضه آبخیز گرگانرود، در سرشاخه‌های رودخانه‌های مهم قره‌سو و گرگانرود محدودیت کیفی وجود ندارد، اما در اثر زهکشی آبریز زمینی دشت و آب برگشتی مزارع به ویژه در دوره‌های کم آبی غلظت املاح این رودخانه‌ها افزایش می‌یابد. با وجود این برای اکثر محصولات کشاورزی مناسب است. از نظر وضعیت شرب معمولاً آب‌هایی که در آن‌ها سختی کل کمتر از ۵۰۰ و مجموع املاح کمتر از ۱۰۰۰ باشد برای شرب قابل قبول می‌باشند. با توجه به اینکه در بدترین شرایط کیفی، میزان مجموع املاح در رودخانه‌های منطقه کمتر از حد نامطلوب است یا می‌توان گفت که به جز رودخانه گرگانرود و

قره‌سو، آب بقیه رودخانه‌ها از نظر کیفیت شیمیایی برای شرب مناسب است. همچنین مصارف صنعتی آب از نظر کیفیت بستگی کامل به نوع صنعت دارد (جدول ۱).



شکل ۱. جایگاه محدوده مورد مطالعه در نقشه ایران

جدول ۱. پارامترهای مجموع مواد محلول، هدایت الکتریکی و سختی کل آب در رودخانه‌های گرگانرود و قره‌سو

نام رودخانه	نام ایستگاه	مجموع مواد محلول	هدایت الکتریکی	سختی کل
گرگانرود	فزاقلی	۹۹۱	۱۵۲۰	۴۵۰
قره‌سو	نیاز آباد	۹۶۰	۱۵۰۰	۴۴۰

روش تحقیق

ارتباط سنجی بین متغیرها با استفاده از آزمون‌های آماری: در این بخش ابتدا داده‌های روزانه و ماهانه دو مؤلفه دما (کمینه و بیشینه) و بارش برای طول دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۵۱ ایستگاه سینوپتیک گرگان از سازمان هواشناسی استخراج گردید. سپس تغییرات این مؤلفه‌ها با آزمون همبستگی پیرسون در بستر زمان مورد سنجش و ارزیابی قرار گرفت. همچنین از مقدار P برای بیان سطح معناداری این تغییرات استفاده شده است.

در ادامه مؤلفه‌های کیفیت آب برای یک دوره آماری از سال ۲۰۰۵-۱۹۷۰ و شامل پارامترهایی کیفیت آب همچون Sum. K، Sum. A، %Na، SAR، pH، Ec و TDS و عناصر و ترکیباتی مانند

K, Na, mg, Ca, So₄, Cl, Hco₃ و Co₃ بودند، از سازمان شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه گردیدند. در مرحله بعد تغییرات این مؤلفه‌های کیفیت آب در بستر زمان و در ارتباط با تغییرات مؤلفه بارش برای سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۰ مورد ارزیابی قرار گرفت و سطح معناداری آن‌ها مشخص گردید.

ریز مقیاس نمایی داده‌های تغییر اقلیم با استفاده از مدل LARS-WG

همانگونه که مشخص است استفاده مستقیم از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو، بدلیل اینکه این داده‌ها در مقیاس و شبکه‌های طولی و عرضی بزرگی ارائه می‌شوند دقت کمی دارند. استفاده از این روش در مقیاس دهه‌ای و بالاتر به دلیل محدودیت‌های محاسباتی و زمانی، با مشکلاتی مواجه است، بطوری‌که در این مقیاس زمانی، محدودیت‌های جدی برای تفکیک مکانی مدل‌ها وجود دارد. برای فائق آمدن به نقیصه تفکیک فضایی کم مدل‌های گردش عمومی، دو راهکار وجود دارد که عبارتند از: ریز مقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل‌های آماری مانند LARS-WG و به کارگیری مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای. استفاده از مدل‌های دینامیکی برای ریز مقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو با محدودیت زمانی اجرای مدل مواجه است، لذا با توسعه روش‌های عددی در علم آب و هواشناسی، افق جدیدی در پیش‌بینی‌های چند روزه، فصلی و دهه‌ای پدید آمده است. استفاده از این روش‌ها در مقیاس هفته‌ای هم‌اکنون در اکثر مراکز پیش‌بینی جهانی با قدرت تفکیک کمتر از ۱۰ کیلومتر به موضوعی روزانه و عادی تبدیل شده است، اما مدل‌های ریزمقیاس نمایی آماری، مشکلاتی نظیر محدودیت زمانی اجرای مدل را که گریبان‌گیر مدل‌های دینامیکی می‌باشد، ندارند و این باعث گردیده که با استقبال بیشتری توسط پژوهشگران مواجه گردند. همچنین از دیگر مزیت‌های مدل‌های آماری ریز مقیاس نمایی این است که کم هزینه‌تر بوده و امکان ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی را فراهم می‌کند.

همانگونه که مطرح شد LARS-WG یکی از مدل‌های ریز مقیاس نمایی آماری بوده و به‌عنوان یکی از معروف‌ترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه برای اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود (راسکو و همکاران^۱، ۱۹۹۱؛ سمنوف و بارو^۲، ۲۰۰۲). اولین نسخه آن در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به‌عنوان ابزاری برای ریز مقیاس نمایی آماری ابداع شد.

تولید داده توسط مدل LARS-WG در سه مرحله‌ی کالیبره کردن، ارزیابی و تولید داده‌های هواشناسی انجام می‌شود. در این مدل داده‌های مدل گردش عمومی جو HADCM3 شامل بارش،

1- Rosco et al.

2- Semenov & Barrow

دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به صورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه مدل گردش عمومی جو یک سناریوی خاص مدل LARS-WG تدوین می‌شود. سازوکار عمل مدل به این صورت است که در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که دربرگیرنده رفتار اقلیم پایه می‌باشد، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق رابطه (۱) پریشیده می‌کند.

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه (F_{GCM}^{base} , F_{GCM}^{fut} , F_{obs} , F_{fut}) به ترتیب نشان دهنده‌ی پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده بر روی ایستگاه هواشناسی، پارامتر هواشناسی دیده‌بانی شده در همان ایستگاه، پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده بر روی مدل در دوره‌ی آینده و پارامتر هواشناسی مدل شده بر روی شبکه‌ی مدل در دوره‌ی گذشته می‌باشند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار را مطابق فرمول تغییر می‌دهد که در آن STD انحراف معیار پارامتر هواشناسی تحت بررسی است (بابائیان و کن، ۲۰۰۴)، (رابطه ۲).

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{OBS}}{STD_{base}^{GCM}} \cdot STD_{fut}^{GCM} \quad \text{رابطه (۲)}$$

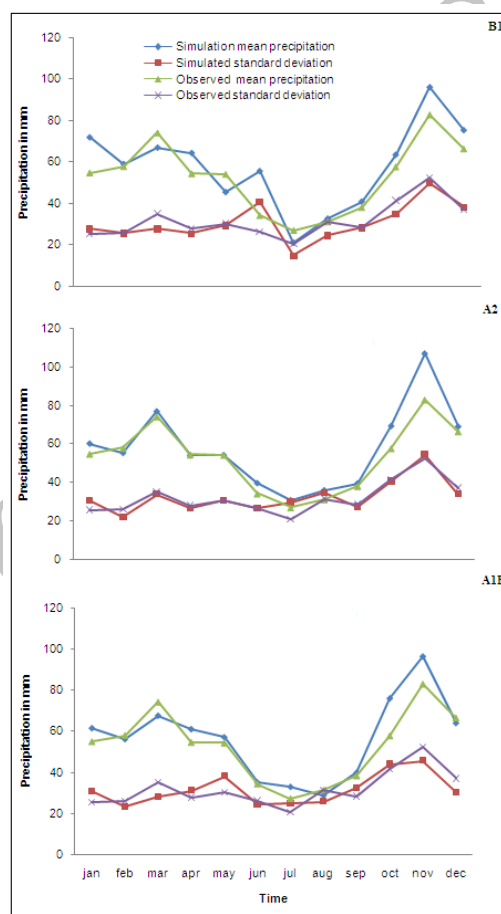
در این پژوهش از خروجی‌های مدل گردش عمومی HADCM3 به همراه سه سناریوی مختلف گرمایش جهانی به نام‌های A1B، A2 و B1 استفاده گردیده و تغییرات آب و هوایی دو مؤلفه‌ی دما و بارش برای سه دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰، دوره دوم ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و دوره سوم ۲۰۸۰-۲۰۹۹ شبیه‌سازی گردیده و این تغییرات با مقادیر پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) مقایسه شده‌اند. در نهایت پس از شبیه‌سازی مقادیر بارش برای دهه‌های آینده، به بررسی تأثیرات این افزایش یا کاهش بارش، بر تغییرات کیفیت آب‌های سطحی پرداخته شده است.

بحث

ارزیابی و صحت سنجی داده‌های شبیه‌سازی شده به وسیله داده‌های تجربی: مدل LARS-WG که توانایی تولید مقادیر فراسنج‌های دمای بیشینه و کمینه، بارش و تابش را دارا است، توسط گروه پژوهشی پژوهشکده اقلیم شناسی بر روی ۴۳ ایستگاه در ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج آن نشان می‌دهد که مدل از قدرت بالایی برای شبیه‌سازی فراسنج‌های نام برده برخوردار است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۴۱). از سوی دیگر مدل HADCM3 نیز با سناریوهای A2 و B2 توسط سیاری و همکاران (۱۳۹۰) کالیبره و اعتبارسنجی گردید.

در این مطالعه، به منظور کالیبره کردن و اعتبارسنجی دقت مدل LARS-WG، ابتدا یک سناریوی حالت پایه دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۰۷ تدوین و مدل LARS-WG برای این دوره اجرا گردید، سپس نتایج استخراج شده با مدل LARS-WG که شامل حداکثر و حداقل دمای روزانه، بارش و انحراف

معیار آن‌ها می‌باشند، با داده‌های ۲۶ ساله مشاهده شده در ایستگاه سینوپتیک گرگان (به‌عنوان نماینده حوضه گرگانرود) مقایسه شدند. اعتبارسنجی صحت مدل LARS-WG از طریق مقایسه بین داده‌های آماری تجربی و داده‌های تولید شده توسط مدل LARS-WG با استفاده از آزمون‌های آماری و نمودارهای مقایسه‌ای انجام شد. با تحلیل به دست آمده از آزمون‌های آماری (نظیر آزمون دو نمونه‌ای T زوجی) برای ایستگاه گرگان، ملاحظه می‌شود که تفاوت معناداری بین مقادیر شبیه‌سازی شده به وسیله مدل و مقادیر واقعی آنها در سطح 0.05 وجود ندارد. همچنین مقادیر همبستگی پیرسن نشان می‌دهند. همچنین مقادیر ضرایب همبستگی پیرسن نشان دهنده همبستگی معنی‌دار (در سطح 0.01) می‌باشد. در شکل (۲) به‌عنوان نمونه مقادیر بارش تولیدی توسط مدل و سناریوهای سه‌گانه در مقایسه با مقادیر دیده‌بانی آورده شده است.

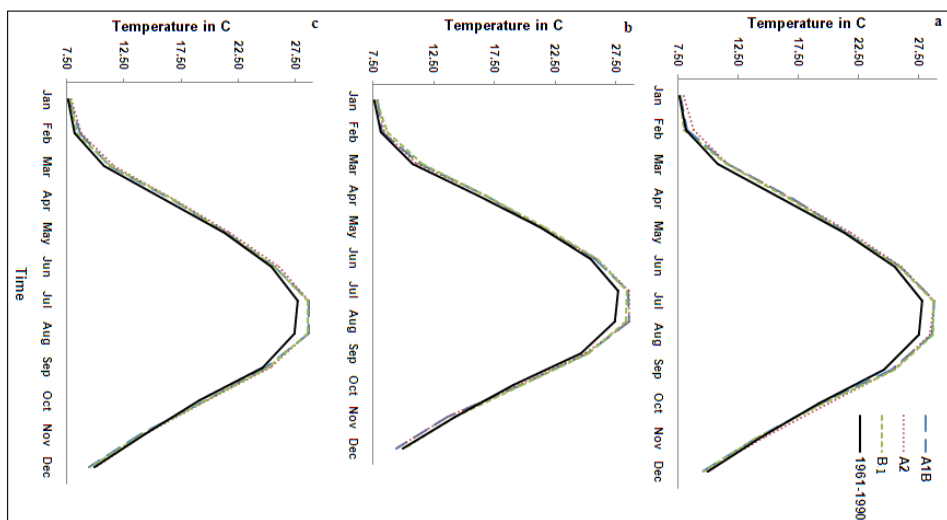


شکل ۲: مقایسه بین داده‌های تجربی و شبیه‌سازی شده مؤلفه‌ی بارش، با سناریوهای مختلف

علی‌رغم اینکه تمام سناریوها، از سطح اطمینان قابل قبولی در شبیه‌سازی داده‌ها برخوردار می‌باشند، اما این سناریوی A2 است که با بیشترین ضریب همبستگی به میزان ۰/۹۵ بالاترین سطح اطمینان را نشان می‌دهد و سناریوی A1B با ۰/۹۳ و سناریوی B1 با ۰/۸۹ به ترتیب در رتبه‌های بعدی از لحاظ سطح اطمینان و معناداری قرار دارند.

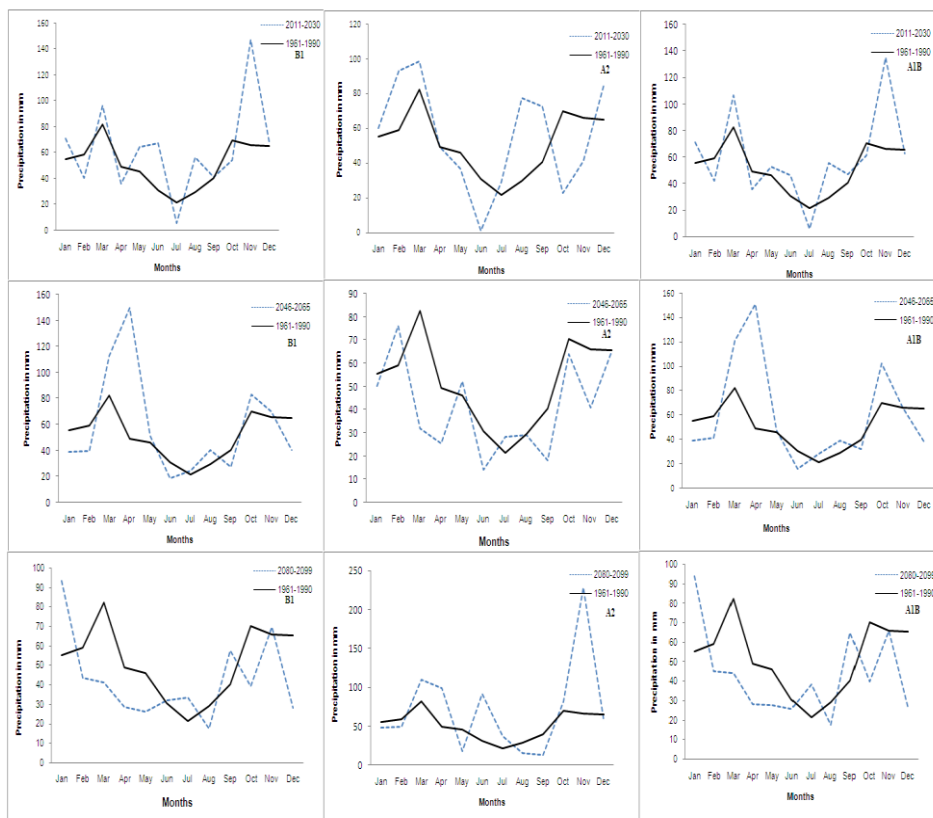
تأثیر تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های بارش و دما

در این بخش در ابتدا به دلیل اهمیت مؤلفه دما در تغییرات گرمایش جهانی، نوسانات این مؤلفه به وسیله ۳ سناریوی مورد نظر، در قالب ۳ دوره شبیه‌سازی گردید و تغییرات سناریوها در مقایسه با یکدیگر و همچنین نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ در شکل (۳) نشان داده شده است. آنچه از خروجی سناریوهای مختلف استنتاج می‌شود، وجود حداقل اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده این سه سناریو با یکدیگر می‌باشد، اما به هر حال سناریوی A1B با میانگین کلی از سه دوره شبیه‌سازی شده بیشترین مقدار افزایش دمای سالانه را تا میزان ۱۸/۳۲ درجه سلسیوس نشان می‌دهد و دو سناریوی دیگر میانگین ۱۸/۱ درجه سلسیوس را نشان می‌دهند، اما میانگین کلی هر سه سناریو برای هر دوره گویای افزایش میانگین سالانه دما به مقدار ۱۸/۲ درجه سلسیوس در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، و میانگین ۱۸/۱۳ درجه سلسیوس در دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و در آخر میانگین ۱۸/۱۸ درجه سلسیوس برای دوره‌ی مطالعاتی ۲۰۹۹-۲۰۸۰ می‌باشد. نکته حائز اهمیت وجود روند افزایش دما برای دهه‌های آینده نسبت به سال پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) می‌باشد. به گونه‌ای که میانگین سالانه دما برای دوره نام برده عدد ۱۷/۷۴ درجه سلسیوس محاسبه شده که نسبت به تمام دوره‌های شبیه‌سازی شده از حداقل مقدار برخوردار بوده است. همچنین در مقایسه بین داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های تجربی ۱۹۹۰-۱۹۶۱، بیشترین افزایش دما برای دوره گرم سال، بالاخص تابستان مشاهده می‌گردد (شکل ۳). از آنجا که گرم‌ترین دوره‌های سال، فصل تابستان می‌باشد و شبیه‌سازی‌ها از افزایش بیشتر مقدار دما برای این دوره اطلاع می‌دهند، لذا این امر می‌تواند به طور دوره‌ای کیفیت آب‌های سطحی را تغییر دهد و از آنجایی که دما یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در فرآیندهای فتوسنتز و تبخیر و تعرق گیاهان محسوب می‌شود، افزایش میزان تبخیر و تعرق و به دنبال آن افزایش نیاز آبی از پیامدهای حتمی افزایش دما، خصوصاً در فصول گرم سال (اواخر بهار و تابستان) که مصادف با دوره‌های میانی و پایانی کشت گیاهان زراعی در شرایط اقلیمی ایران می‌باشد. با توجه به الگوی افزایش دما که در شکل (۳) نشان داده شده است، میزان این افزایش بیش از فصول سرد بوده و افزایش نیاز آبی مورد انتظار در طول این دوره نیز قابل توجه خواهد بود. لذا دسترسی به آب کافی و با کیفیت مناسب جهت آبیاری به منظور جلوگیری از بروز تنش آبی و کاهش محصول ضروری می‌نماید.



شکل ۳. مقایسه مقادیر شبیه سازی شده ماهانه دما برای میانگین سال‌های (a): ۲۰۳۰-۲۰۱۱، (b): ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و (c): ۲۰۹۰-۲۰۸۰، با مقادیر پایه و تجربی سال‌های ۱۹۶۱-۱۹۹۰ بوسیله مدل HADCM3 و سناریوهای مختلف گرمایش جهانی.

در قسمت بعد شبیه‌سازی تغییرات بارش برای هر سه سناریو و دوره‌های مختلف مطالعاتی آورده شده است (شکل ۴). از آنجا که ضریب تغییرات بارش بالا می‌باشد، لذا مقایسه خروجی‌های مختلف هر سناریو برای دوره‌ای خاص در قالب یک شکل، کیفیت پایینی دارد. این عامل باعث گردید که تغییرات بارش برای هر دوره و سناریوی خاص در مقایسه با دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) در قالب نموداری جداگانه آورده شود.



شکل ۴. مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده میانگین ماهانه بارش با مقادیر دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) بوسیله مدل HADCM3 و سناریوهای مختلف گرمایش جهانی.

بعد از محاسبه میانگین سالانه بارش برای دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۱۹۹۰، عدد ۶۱۶ میلی‌متر محاسبه گردید، اما آنچه شبیه‌سازی‌ها برای سناریوها و دوره‌های مطالعاتی مختلف نشان می‌دهد گویای کاهش بارش برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بوسیله سناریوی B1 تا سقف ۱۰۴ میلی‌متر، همچنین کاهش میانگین درازمدت بارش سالانه برای دوره دوم ۲۰۴۶-۲۰۶۵ به میزان ۱۲۱ میلی‌متر بوسیله سناریوی A2 و اینکه کاهش مقدار بارش به میزان ۹۸ میلی‌متر برای دوره سوم ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بوسیله سناریوی A1B نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ می‌باشد. بنابراین با استناد به نتایج موارد بالا، فراوانی رخداد دوره‌های کم بارش برای دوره سوم محتمل‌تر می‌باشد، اما در مقایسه سناریوهای مختلف برای دوره اول (۲۰۱۱-۲۰۳۰) بیشترین مقدار افزایش بارش با میانگین سالانه ۷۵۲ میلی‌متر توسط سناریوی B1، برای دوره دوم (۲۰۴۶-۲۰۶۵) با مقدار ۷۲۰ میلی‌متر برای سناریوی A1B و در آخر

بیشترین مقدار بارش برای دوره سوم (۲۰۸۰-۲۰۹۹) با مقدار عددی ۸۵۶ میلی‌متر توسط سناریوی A2 شبیه‌سازی گردیده است. در مقایسه ماهانه داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی ۱۹۹۰-۱۹۶۱، آشکار می‌گردد که در مجموع سه دوره مشاهداتی، بالاترین فراوانی رخداد بارش‌های ماهانه کمتر از دوره پایه به ترتیب برای سناریوی B1، به تعداد ۵ بار رخداد در فصل زمستان، برای سناریوی A2 به طور مشترک در فصول بهار و پاییز به تعداد ۶ مرتبه و در نهایت برای سناریوی A1B با ۷ دوره رخداد در پاییز مشاهده می‌گردد. پس این موضوع دور از انتظار نیست که در آینده فصول پاییز با احتمال بیشتری در مقایسه با دوره‌های دیگر سال با کاهش بارش نسبت به دیگر فصل‌های سال همراه خواهند بود (شکل ۴). به هر حال آنچه دورنمای تغییرات اقلیم آینده بر اساس سناریوهای مختلف نشان می‌دهد، افزایش ترسالی‌ها نسبت به دوره‌های خشک است، اما نباید فراموش کرد که این افزایش بارش را باید در کنار افزایش دما تفسیر نمود.

ارتباط سنجی بین داده‌های مشاهداتی بارش و کیفیت آب‌های سطحی

جهت شناسایی تغییرات کیفی آب‌های سطحی، روند بلند مدت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در طول سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۰ مورد ارزیابی قرار گرفت. اگر چه عوامل متعددی بر روی کیفیت منابع آب سطحی تأثیرگذار هستند، اما در این میان سهم بارش به عنوان یکی از مؤثرترین مؤلفه‌ها غیرقابل چشم‌پوشی است. بنابراین همبستگی میان میزان بارش سالانه با میزان عناصر و مؤلفه‌های کیفی آب نیز در طول دوره‌ی مورد بررسی آزمون شد. همان طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، میزان آنیون و کاتیون‌ها (به جز K) و نیز مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب در طول زمان به طور معناداری افزایش یافته است. با افزایش توأم قلیاها (Na، mg و Ca) و نیز میزان اسیدهای قوی (SO₄ و Cl) تغییر معناداری در میزان pH در آب رخ نداده است. همچنین در میزان پتاسیم، بی‌کربنات و درصد سدیم تغییر معناداری در طول بازه مورد بررسی صورت نگرفته و از بین پارامترهای مورد ارزیابی تنها در میزان کربنات موجود در آب کاهش معنادار مشاهده شد.

جدول ۲. روند تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب در طول دوره مورد ارزیابی (۱۹۷۰-۲۰۰۵)

عنصر و ترکیبات	K	Na	mg	Ca	SO ₄	Cl	HCO ₃	CO ₃
r	۰/۲۱	۰/۴۶	۰/۵۰	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۴۷	۰/۱۷	-۰/۷
P-value	۰/۲۸۵	۰/۰۰۴***	۰/۰۰۲***	۰/۰۹۸*	۰/۰۰۳***	۰/۰۰۳***	۰/۳۰۴	۰/۰۰۶***
پارامترهای کیفی	Sum.K	Sum.A	%Na	SAR	pH	EC	TDS	-
r	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۲۷	۰/۴۹	-۰/۱۹	۰/۴۹	۰/۴۵	-
P-value	۰/۰۰۳***	۰/۰۰۳***	۰/۱۱۱	۰/۰۰۲***	۰/۲۷	۰/۰۰۲***	۰/۰۰۵***	-

P: significance value. Trends are significant with *P < 0.10, **P < 0.05, ***P < 0.01

بر اساس جدول (۳) همبستگی منفی میان میزان بارش و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب نشان از رابطه معکوس میان مقدار بارش با مقادیر عناصر و ویژگی‌های کیفی آب دارد. به طوری که با کاهش مقدار سالانه بارش مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها و نیز مجموع آن‌ها در آب افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر میزان املاح موجود در آب و به تبع آن EC و TDS افزایش می‌یابند. از بین املاح و ترکیبات مورد بررسی تنها مقدار کربنات همبستگی مثبت با میزان بارش نشان داد که به معنی تأثیرپذیری مستقیم این ترکیب از میزان بارش می‌باشد، به طوری که با کاهش میزان بارش از مقدار کربنات موجود در آب کاسته خواهد شد. وجود رابطه معکوس میان مقدار بارش سالانه با Na و SAR نشان‌دهنده افزایش میزان سدیم در آب در صورت کاهش بارش است. از بین مؤلفه‌های مورد ارزیابی، تنها درصد سدیم با تغییرات بارش تغییر معناداری را نشان نمی‌دهد.

جدول ۳. همبستگی پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب با میزان بارش سالانه (۱۹۷۰-۲۰۰۵)

عنصر و ترکیبات	K	Na	mg	Ca	SO ₄	Cl	HCO ₃	CO ₃
r	-۰/۳	-۰/۳۲	-۰/۴	-۰/۲۹	-۰/۳۴	-۰/۳۳	-۰/۴۱	۰/۴۵
P value	۰/۰۷۰*	۰/۰۵۲*	۰/۰۱۱***	۰/۰۸۳*	۰/۰۳۹**	۰/۰۴۹**	۰/۰۱۱***	۰/۰۰۵***
پارامترهای کیفی	Sum.K	Sum.A	%Na	SAR	pH	EC	TDS	-
r	-۰/۳۶	-۰/۳۶	-۰/۱۳	-۰/۲۹	۰/۳۶	-۰/۴۰	-۰/۴۰	-
P value	۰/۰۲۹**	۰/۰۲۹**	۰/۴۳۷	۰/۰۷۷*	۰/۰۳۰**	۰/۰۳۲**	۰/۰۱۶**	-

P: Significance Value. Trends are significant with *P < 0.10, **P < 0.05, ***P < 0.01

طبق نتایج همبستگی‌های مشاهده شده در جدول (۳)، در صورت کاهش میزان بارش، EC و SAR در آب افزایش یافته و این امر باعث افزایش شوری و تنزل کیفیت آب برای مقاصد آبیاری خواهد

شد. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش توأم قلیاها و اسیدهای موجود در آب در نتیجه کاهش بارش، pH کاهش یافته و به سمت اسیدیته بیشتر میل می‌کند.

گمانه‌زنی‌هایی از عملکرد تأثیر تغییر اقلیم بر کیفیت آب‌های سطحی

در این بخش رفتار و چگونگی تغییرات پارامترهای کیفی و ترکیبات شیمیایی موجود در آب، در طول زمان و در مواجهه با کاهش یا افزایش پیش‌بینی شده میزان بارش، طی سه دوره زمانی در آینده، مورد مطالعه قرار گرفته است. عواملی نظیر تغییر در میزان و رژیم بارش‌ها، بی‌نظمی بارش و افزایش بارش‌های سیلابی می‌توانند با تأثیر بر دبی پایه رودخانه‌ها و فرسایش خاک و بستر رودخانه‌ها منجر به تغییر در خصوصیات فیزیکی- شیمیایی آب رودخانه‌ها گردند. بر اساس نتایج حاصل از جدول (۳)، میان میزان بارش با میزان عناصر، املاح، شوری و SAR رابطه‌ی معکوس وجود داشته و میان میزان بارش با pH رابطه مستقیم مشاهده می‌شود. بر این اساس و بر مبنای پیش‌بینی‌های بارش صورت گرفته توسط سناریوهای مورد بحث، نحوه‌ی تغییرات کیفیت آب تحت تأثیر تغییرات میزان بارش در دوره‌های آینده پیش‌بینی می‌گردد. در دوره اول (۲۰۱۱-۲۰۳۰) نتایج سناریوهای A1B و B1 حاکی از افزایش میزان بارش و بهبود ویژگی‌های کیفی آب می‌باشد. پیش‌بینی‌های سناریوهای A1B و B1 برای دوره دوم (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نشان از افزایش میزان بارش در فصل بهار و در نتیجه بهبود کیفیت آب در این دوره دارد. اما سناریوی A2 برای دوره دوم (۲۰۴۶-۲۰۶۵)، کاهش بارش و به تبع آن افزایش املاح، شوری، SAR و تنزل کیفیت آب را طی این دوره پیش‌بینی نموده است. سناریوی A2 دوره‌های خشک با بارش کمتر از دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) را برای ماه‌های مارس تا ژوئن در دوره دوم (۲۰۶۵-۲۰۴۶) پیش‌بینی می‌نماید. سناریوی B1 افزایش میزان بارش را در دوره اول (۲۰۱۱-۲۰۳۰) نشان داده، لذا بر اساس نتایج این سناریو پیش‌بینی می‌شود کیفیت آب در این دوره بهبود یابد. این در حالی است که پیش‌بینی سناریوی A2 نشان‌دهنده‌ی تغییرات دوره‌ای در میزان بارش در دوره اول (۲۰۳۰-۲۰۱۱) بوده و بر اساس این سناریو کیفیت آب نیز به صورت دوره‌ای دست‌خوش تغییر می‌گردد. سناریوهای A1B و B1 در دوره سوم (۲۰۸۰-۲۰۹۹) کاهش میزان بارش را نشان داده‌اند. بنابراین نتایج این سناریوها پیش‌بینی می‌شود که در طول این دوره میزان املاح و عناصر و در نتیجه شوری آب افزایش یابد. به علاوه با افزایش میزان SAR محدودیت کیفی آب جهت مصارف کشاورزی افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج این دو سناریو برای دوره سوم (۲۰۸۰-۲۰۹۹) بیشترین میزان کاهش بارش در ماه‌های فوریه تا ژوئن رخ می‌دهد و انتظار تنزل کیفیت آب در این ماه‌ها، در دوره زمانی مذکور، می‌رود. بر خلاف سناریوهای A1B و B1، سناریوی A2 افزایش بارش را برای دوره سوم (۲۰۹۹-۲۰۸۰) پیش‌بینی نموده که نشان‌گر بهبود کیفیت آب در این دوره می‌باشد.

برای دوره‌های زمانی مورد بررسی یا پیش‌بینی می‌شود که در فصل پاییز بارش‌هایی کمتر از دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) رخ دهد و بنابراین در دهه‌های آینده تنزل کیفیت آب رودخانه گرگانود در این فصل از سال، تحت تأثیر منفی کاهش بارش، دور از انتظار نخواهد بود. در بررسی نتایج حاصل از سناریوها بین پیش‌بینی‌های سناریوهای A1B و B1 توافق بسیار خوبی دیده می‌شود. در حالی که پیش‌بینی سناریوی A2 در بسیاری موارد نتایج دو سناریوی مذکور را تأیید نمی‌کند. به‌طور کلی سناریوهای A1B و B1 در دوره اول (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و دوره دوم (۲۰۶۵-۲۰۴۶) نسبت به سناریوی A2 خوش‌بینانه‌تر عمل کرده و دوره‌های ترسالی بیشتر و در نتیجه بهبود کیفیت آب را پیش‌بینی می‌نمایند. در حالی که سناریوی A2 تنها در دوره سوم (۲۰۹۹-۲۰۸۰) (بر خلاف دو سناریوی دیگر) افزایش بارش و بهبود کیفیت آب را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

افزایش دمای جهانی و تغییرات ناشی از آن می‌تواند روند بارش را در نقاط مختلف کره زمین دچار دگرگونی کند، که یکی از پیامدهای تغییر کمیت بارش، تأثیرگذاری آن بر کیفیت منابع آبی، بالاخص منابع آب‌های سطحی می‌باشد. با توجه به افزایش جمعیت کشور و نیاز روز افزون به منابع آب سالم و کافی جهت شرب و کشاورزی، ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر نوسانات بارش و ارتباط سنجی این تغییرات در ارتباط با کیفیت آب‌های سطحی در حوضه‌های آبریز امری ضروری و انکار ناپذیر است. نتایج بررسی دما در این پژوهش، حداقل اختلاف را بین مقادیر شبیه‌سازی شده و سه سناریو با یکدیگر نشان می‌دهند. سناریوی A1B با میانگین کلی از سه دوره شبیه‌سازی شده بیشترین مقدار افزایش دمای سالانه را تا میزان ۱۸/۳۲ درجه سلسیوس و دو سناریوی دیگر میانگین ۱۸/۱ درجه سلسیوس را نشان می‌دهند و این در حالی است که میانگین سالانه دما در دوره مشاهداتی ۱۷/۷۴ درجه سلسیوس می‌باشد. در ارتباط با بارش در دوره‌های اول و دوم سناریوهای A1B و B1 افزایش و در دوره سوم کاهش این مؤلفه را نشان می‌دهند. سناریو A2 برای دوره‌های اول و دوم تغییر دوره‌ای بارش و برای دوره سوم افزایش بارش را پیش‌بینی می‌کند. به‌طور کلی با کاهش مقدار سالانه‌ی بارش مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌ها و نیز مجموع آن‌ها و به عبارت دیگر میزان املاح موجود در آب و به تبع آن EC و TDS افزایش می‌یابند. از بین املاح و ترکیبات مورد بررسی تنها مقدار کربنات همبستگی مثبت با میزان بارش نشان داد که به معنی تأثیرپذیری مستقیم این ترکیب از میزان بارش می‌باشد، به‌طوری که با کاهش میزان بارش از مقدار کربنات موجود در آب کاسته خواهد شد. وجود رابطه معکوس میان مقدار بارش سالانه با Na و SAR نشان‌دهنده‌ی افزایش میزان سدیم در آب در صورت کاهش بارش است. که افزایش در میزان سدیم و نسبت جذبی سدیم در طول دوره‌های کم باران می‌تواند منجر به

تنزل کیفیت و کاهش نفوذپذیری خاک گردد. لذا از دیدگاه کشاورزی این امر به همراه افزایش میزان شوری می‌تواند محدودیت‌هایی را برای آبیاری ایجاد نماید. به طوری که در طول دوره‌های خشکی با افزایش EC از مطلوبیت آب کاسته شده و قابلیت کاربرد آب برای مقاصد شرب و کشاورزی محدودتر می‌شود (ویلکاکس^۱، ۱۹۴۸). همچنین با افزایش توأم قلیاها و اسیدهای موجود در آب در نتیجه‌ی کاهش بارش، pH کاهش یافته و به سمت اسیدیته بیشتر میل می‌کند.

منابع

- ۱- بابائیان، ایمان، نجفی‌نیک، زهرا، زابل‌عباسی، فاطمه، حبیبی‌نوخندان، مجید، ادب، حامد، ملبوسی، شراره. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ۲- پورخباز، علیرضا و پورخباز، حمیدرضا. (۱۳۸۳). عمده‌ترین آشفتگی‌های زیست محیطی قرن حاضر، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- ۳- روشن، غلامرضا. (۱۳۸۵). مطالعه سینوپتیکی سیلاب‌های فراگیر حوضه گرگانود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: حسین محمدی، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیای طبیعی.
- ۴- عزیزی، قاسم، روشنی، محمود. (۱۳۸۶). مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من-کندال، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، تهران.
- ۵- عسگری، احمد، رحیم‌زاده، فاطمه، محمدیان، نوشین، فتاحی، ابراهیم. (۱۳۸۶). تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره سوم، تهران.
- ۶- محمدی، حسین، مقبل، معصومه، رنجبر، فیروز. (۱۳۸۹). مطالعه تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN، جغرافیا (فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال هشتم، شماره ۲۵، تهران.

7. Astarai-Imani, M., Kapelan, Z., Fu, G., and Butler, D. 2012. Assessing the Combined Effects of Urbanization and climate change on the river water quality in an integrated urban wastewater system in the UK, *Journal of Environmental Management*, Vol. 112, pp. 1-9.
8. Babaeian, I., Kwon, W., and Im, E. 2004. Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea. *Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab.*
9. Darren, F., Yazhouluo, E., and Zhang, M. 2009. Climate Changes Sensitivity Assessment of a Highly Agricultural Water shed Using SWAT, *Journal of Hydrology*, pp:1-41.

10. Delpla, I., Jung, A-V., Baures, E., Clement, M., and Thomas, O. 2009. Impacts of Climate Change on Surface Water Quality in Relation to Drinking Water Production, *Environment International*, Vol. 35, pp. 1225–1233.
11. IPCC, Climate Change 2001. Synthesis Report, A Contribution of Working Groups. I, II and III to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Watson and the Core Writing Team (eds), *Cambridge University press*, Cambridge United Kingdom, and New York, USA.
12. Mimikou, M., Baltas, E., Varanou, E., and Pantazis, K. 2000. Regional Impacts of Climate Change on Water resources quantity and quality indicators, *Journal of Hydrology*, Vol. 234, Pages 95–109.
13. Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A. 1991. A Serial Approach to Local Stochastic Models, *Journal of Ecological Modeling* 57, 27-41.
14. Rind, D., Goldberg R., Hansen, J., Rosen, Zweig C. and Ruedy, R. 1999. Potential Evapotranspiration and the Likelihood of Future Drought, *Journal of Geophysical Research*, No. 45.
15. Rowshan, G.R., Mohammadi, H., Nasrabadi, T., Hoveidi, H., and Baghvand, A. 2007. The Role of Climate Study in Analyzing Flood Forming Potential of Water Basins, *International Journal of Environment Research*, Volume 1, Number 3, 231-236.
16. Semenov, M., and Barrow, E. 2002. LARS-WG a Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies. User's Manual, Version 3.0.
17. Yiping, Wu, Gallant, A., and Liu, S. 2012. Predicting Impacts of Increased CO₂ and Climate Change on the Water Cycle and Water Quality in the Semiarid James River Basin of the Midwestern USA, *Science of the Total Environment*, Vol. 430, p: 150–160.
18. Wilby, R. 2006. Integrated Modeling of Climate Change Impacts on Water Resources and Quality in a lowland Catchment: River Kennet, UK, *Journal of Hydrology*, Vol. 330, Pages 204– 220.
19. Wilcox, L.V. 1948. The Quality of Water for Irrigation Use. U.S. Deptt. of Agriculture, Tech. Bull. Washington, D.C., U.S.A., pp. 1-19.