

تأثیرات حفاظتی تغییر اقلیم بر اساس ریزمقیاس سازی دمای پیش بینی شده در قرن ۲۱ (مطالعه موردی: دو ایستگاه آرازکوسه و نوده در استان گلستان)

مریم احمدوند کهریزی^۱ و حامد روحانی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبدکاووس، ایران

۲. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبدکاووس، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۱۰)

چکیده

ارزیابی تأثیرات بالقوه تغییرات اقلیم در قرن ۲۱ میلادی بر توزیع گونه‌ها و فرایندهای اکولوژیکی به سناریوهای اقلیمی با تفکیک پذیری مکانی کافی نیاز دارد. در پژوهش حاضر عملکرد سناریوهای SRES و RCP در پیش بینی دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده، واقع در استان گلستان در دوره‌های زمانی ۲۰۶۱-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره پایه ۱۹۸۶-۲۰۰۵ مقایسه شد. بدین منظور از هشت مدل GCM و شش سناریوی انتشار و مدل‌های ریزمقیاس‌نمای LARS-WG و SDSM استفاده شد. نتایج نشان داد در بین سناریوهای انتشار قدیم، A1B و در بین سناریوهای جدید، RCP 8.5 بیشترین افزایش دما را برای هر دو ایستگاه پیش‌بینی کردند. مقدار افزایش دما به‌طور نسبی از سناریوی RCP 2.6 به سمت سناریوی RCP 8.5 افزایش می‌یابد. در هر دو سناریوهای جدید و قدیم، دمای تابستان آینده ممکن است با نرخ بیشتری نسبت به دیگر فصول افزایش یابد. همچنین در این تحقیق گسترده‌تر بودن تغییرات دما با مدل MICP5 و سناریوهای RCP نسبت به مدل‌های MICP3 و سناریوهای SRES به‌وضوح مشاهده شد. تفاوت‌ها در پیش‌بینی‌ها توسط سناریوها بیانگر وجود عدم قطعیت است. به‌طور کلی، عدم قطعیت به‌محدوده وسیعی از برآورد تأثیرات تغییر اقلیم منجر می‌شود. بنابراین، با توجه به پیش‌بینی‌های متنوع آینده دما، در صورت انتخاب فقط یک یا تعداد محدودی از مدل‌های گردش عمومی جو، برداشتی اشتباه درباره تغییرات اقلیمی آینده ایجاد می‌شود.

کلیدواژه‌گان: سناریوی انتشار، سناریوی مسیر غلظت، عدم قطعیت، LARS-WG، SDSM.

مقدمه

بر مترمربع محاسبه کرده است [۱]. ارزیابی تأثیرات بالقوه از تغییرات اقلیم در قرن بیست و یکم روی توزیع گونه‌ها و فرایندهای اکولوژیکی به سناریوهای اقلیمی با تفکیک‌پذیری مکانی کافی نیاز دارند تا تغییرات در عواملی از جمله فیزیک ناهمگون، چشم‌اندازهای زیستی و فرهنگی را نشان دهند. متأسفانه، تفکیک‌پذیری موضعی از مدل‌های اقلیمی جهانی (معمولاً به‌طور تقریبی 2×2 یا بزرگ‌تر) برای مدل‌سازی تغییرات آینده در تنوع زیستی، توزیع گونه‌ها، بازده محصول و منابع آب، ناکافی‌اند [۵ و ۷]. همچنین پیش‌بینی اقلیم باید قبل از استفاده خطاهای آن بررسی شود. به‌طور مثال، برای متعادل کردن خطای سیستماتیک بین نتایج مدل و داده‌های مشاهداتی از اقلیم حاضر اصلاح شود. بدین‌منظور از روش‌های ریزمقیاس‌نما استفاده می‌شود. در واقع روش‌های ریزمقیاس‌نما برای پرکردن شکاف فضایی و زمانی بین داده‌های مدل‌های GCM و متغیر اقلیمی به‌کار می‌روند که شبیه‌سازی و پیش‌بینی خواهد شد.

معمولاً بین نتایج همه مدل‌ها و مقادیر مشاهده‌شده تفاوت وجود دارد که بیشتر عدم قطعیت خواننده می‌شود. موضوع تغییر اقلیم همراه با عدم قطعیت است که بسیاری از آن عدم قطعیت‌ها فقط به‌طور نسبی، تعداد محدودی از آن عدم قطعیت‌ها توسط ابزارهای آنالیزی موجود شناخته شده است. بعضی از این عدم قطعیت‌ها ریشه در زیربنای علمی دارند، در حالی که دیگر عدم قطعیت‌ها مرتبط با نفهمیدن کامل چگونگی اثر سیستم سیاسی-اجتماعی بر تغییر اقلیم هستند [۸]. نایت (۱۹۲۱) گفت: «ما در دنیایی از عدم قطعیت هستیم (احتمال‌های ناشناخته) تا ریسک (احتمالات شناخته‌شده)». چگونه در این محیط اطلاعاتی می‌توان تصمیم‌گیری کرد؟ عدم قطعیت به‌دلایل مختلفی از جمله ضعف مدل به‌دلیل در نظر نگرفتن پارامترهای مؤثر و یا کمبود اطلاعات مد نظر ایجاد می‌شود [۹]. اخیراً توجه بسیاری محققان به عدم قطعیت در مدل‌های ریزمقیاس‌سازی شده است. خان و همکارانش (۲۰۰۶) سه مدل آماری ریزمقیاس‌گردانی آماری (SDSM)^۲، مولد آب و هوای ایستگاه تحقیقاتی اشتون (LARS-WG)^۳ و شبکه عصبی مصنوعی (ANN)^۴ را برای بررسی عدم قطعیت بارش روزانه، بیشترین

دمای سطح زمین از اواسط قرن ۱۹ تا کنون سیر افزایشی داشته است، به‌طوری که در مقیاس جهانی هر دهه به‌ترتیب گرم‌تر از دهه قبل شده است [۱]. مطالعات اخیر نشان داده است تأثیرات انسانی به‌طور مشخص، افزایش انتشار CO_2 و دیگر گازهای گلخانه‌ای، عامل بیشتر گرمایش زمین در ۱۵۰ سال گذشته بوده است که سبب افزایش متوسط $1/5$ درجه فارنهایت در نزدیکی سطح زمین شده است [۲-۴]. از این‌رو، در صورت کاهش نیافتن مناسب و اقدامات سازگاری تغییر اقلیم، بیشتر بخش‌ها مانند کشاورزی، منابع آب و توریسم را تحت تأثیر قرار خواهد داد. بنابراین، پایش تغییر اقلیم به‌دلیل اهمیت اطلاعات به‌دست‌آمده برای برنامه‌ریزی‌های بلندمدت هیدرولوژیکی و اکولوژیکی بالارزش است [۵].

پیشرفت در تحقیقات مرتبط با تغییر اقلیم در دو دهه اخیر بیانگر آن است که بدون شک افزایش CO_2 و دیگر گازهای آلاینده مهم‌ترین دلیل افزایش دماست [۶]. بنابراین، با افزایش این گازها، اقلیم بیشتر تغییر خواهد کرد، اما موردی که کمتر مشخص است اینکه چه مقدار و با چه سرعتی اقلیم به این تغییرات اتمسفری پاسخ خواهد داد. جامعه تحقیقاتی سعی در ارائه مدل‌های مختلفی برای شناخت روابط بین اقلیم آینده و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند، ولی هنوز نتایج بسیار نامشخص است. پنجمین گزارش ارزیابی هیئت دولت‌ها تغییرات اقلیم در سال ۲۰۱۴ میلادی برای ثابت نگاه‌داشتن شرایط آب و هوایی، سناریوهای خانواده مسیر غلظت نماینده (RCP)^۱ براساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی و خط مشی‌ها در آینده تعیین شده‌اند. در سناریوی RCP 8.5، غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، ۱۳۷۰ ppm و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را تا ۸/۵ وات بر مترمربع تخمین زده است. در سناریوی RCP6، میزان غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، ۸۵۰ ppm و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی، تا ۶ وات بر مترمربع تخمین زده شده است. در سناریوی RCP 4.5، میزان غلظت CO_2 تا سال ۲۱۰۰، ۶۵۰ ppm و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را ۴/۵ وات بر مترمربع تخمین می‌زند. سناریوی RCP 2.6، میزان غلظت CO_2 را تا سال ۲۱۰۰، ۴۹۰ ppm تخمین زده و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی تا ۲/۶ وات

2. Statistical DownScaling Model

3. Long Ashton Reserch Station_ Weather Generator

4. Artificial Neoral Network

1. Representative Concentration Pathway

HADCM3 نسبت به مدل CGCM3 شدیدتر خواهد بود [۱۶].

از آنجا که ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی از تغییر اقلیم بر منابع آب و اجزای بیولوژیکی، بخش جدایی‌ناپذیر از تحقیقات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی و منبع مدیریت زمین در قرن بیست‌ویکم است، بنابراین بررسی تأثیرات تغییر اقلیم در قرن ۲۱ در حوضه‌ای همچون شرق حوضه آبخیز گرگان‌رود به دلیل منابع آب منطقه و تولید محصولات استراتژیک کشاورزی برای اتخاذ سیاست‌های مناسب به‌منظور کاهش این تأثیرات اهمیت بسزایی دارد. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر اساس ریزمقیاس‌سازی دمای پیش‌بینی‌شده دو سناریوی قدیم و سناریوی جدید ارائه‌شده توسط IPCC در دو ایستگاه باران‌سنجی آرازکوسه (دشتی) و نوده (کوهستانی) واقع در شرق حوضه آبخیز گرگان‌رود در دو دوره آبی به‌وسیله مدل‌های ریزمقیاس‌ساز SDSM و LARS-WG است. امید است که این مطالعه دیدی بهتر از آینده به‌منظور مدیریت صحیح‌تر و برنامه‌ریزی دقیق‌تر دهد.

مواد و روش‌ها

شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای اقلیمی

در این مطالعه ابتدا داده‌های هواشناسی بیشترین و کمترین دما، ساعت‌های آفتابی و بارش با گام زمانی روزانه از سال ۱۹۸۶-۲۰۰۵ میلادی مربوط به دو ایستگاه باران‌سنجی واقع در شرق استان گلستان تهیه شد. بررسی تغییرات دمای بیشینه و کمینه دو ایستگاه آرازکوسه و نوده در بازه زمانی ۱۹۸۶-۲۰۰۵ بیانگر آن است که در هر دو ایستگاه ماه‌های ژوئیه و اوت بیشترین دماهای بیشینه و کمینه را در دوره پایه دارند. بیشترین دمای متوسط بیشینه ایستگاه آرازکوسه ۳۵/۹ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه نوده ۳۳ درجه سانتی‌گراد در ماه ژوئیه ثبت شده است. کمترین تغییرات دمای متوسط کمینه در هر دو ایستگاه نوده و آرازکوسه به‌ترتیب ۲/۱۶ و ۲/۰۱ درجه سانتی‌گراد بود که در ماه ژانویه طی دوره آماری بررسی شده ثبت شده است. سپس به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی بیشترین و کمترین دمای این دو ایستگاه در دو دوره آبی بیست‌ساله ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ میلادی، از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای جدید و قدیم استفاده شد.

و کمترین دمای روزانه به‌کار بردند. بررسی عدم قطعیت سه مدل یادشده برای متوسط ماهانه و واریانس متغیرهای خروجی و مقادیر مشاهداتی هر ماه بیانگر عملکرد بهتر SDSM از سایر مدل‌ها بود [۱۰]. همچنین در بررسی عدم قطعیت مدل ریزمقیاس آماری داده‌های دو مدل گردش عمومی جو HADCM3 و CGCM2 برای سری زمانی بارش و بیشترین و کمترین دمای روزانه با آزمون ویلکاکس و روش تخمین بوت استرپ توسط دیپایک و همکارانش (۲۰۰۶) در سواحل شمالی کانادا بیانگر قابل قبول بودن نتایج SDSM بود [۱۱]. هاشمی و همکارانش (۲۰۱۱) دقت مدل‌های SDSM و LARS-WG برای تغییرات پارامتر بیشترین بارش را در جنوب ایسلند قابل قبول اعلام کردند [۱۲]. صمدی و همکارانش (۲۰۱۳) دقت مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی آماری و شبکه عصبی مصنوعی را روی متغیر دمای حوضه کرخه بررسی کردند. در نهایت، نتایج نشان داد روش ریزمقیاس‌نمای آماری نتایج بهتری به همراه داشته است [۱۳]. ساراف و همکارانش (۲۰۱۶) به‌منظور ارزیابی تغییر اقلیم برای بارش و دما در حوضه آبخیز گوداواری هند، با استفاده از مدل ریزمقیاس‌ساز SDSM و دو مدل گردش عمومی جو CGCM3 و HADCM3 با سناریوهای A2 و B2 به این نتیجه رسیدند که در دوره آبی، دمای حداقل با مدل HADCM3 کاهش و با مدل CGCM3 افزایش و دمای حداکثر با مدل HADCM3 نسبت به مدل CGCM3 افزایش بیشتری دارد. همچنین هر دو مدل روند افزایشی برای بارش پیش‌بینی کردند [۱۴]. دانش‌فراز و همکارانش (۱۳۹۳) در ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق پتانسیل و دما در استان آذربایجان غربی با مدل گردش عمومی HADCM3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 در دوره آبی نتیجه گرفتند که به‌ترتیب سناریوهای A1B، A2 و در نهایت B1 افزایش تبخیر و تعرق و متوسط دمای بیشتری را پیش‌بینی می‌کنند [۱۵]. عباس‌نیا و همکارانش (۱۳۹۴) در پیش‌بینی تغییرات بیشترین دمای روزانه هفت ایستگاه سینوپتیک با استفاده از مدل SDSM و دو مدل گردش عمومی HADCM3 و CGCM3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2، B1، B2 در بازه‌های زمانی ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۰۹۹ نتیجه گرفتند که دمای ایران به‌طور متوسط در دهه‌های پایانی قرن بیست‌ویکم، ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. این افزایش دما بر اساس سناریوهای مختلف مدل

گلستان اخذ شد. دومین دسته داده‌های NCEP هستند که شامل داده‌های روزانه ۲۶ متغیر پیش‌بینی‌کننده هستند و دسته سوم شامل داده‌های بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی جو هستند.

بنابراین، در این مطالعه داده‌های NCEP و مدل‌های گردش عمومی جو HADCM3 با سناریوی A2 و CGCM3 با سناریوهای A1B و A2 و CanESM2 با سناریوهای RCP 2.6 و RCP 4.5 و RCP 8.5 از لینک (<http://ccds-dscc.ec.gc.ca>) براساس طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده اخذ شدند. مدل SDSM در اولین مرحله، به شناسایی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده دارای بیشترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی پارامتر مد نظر می‌پردازد [۵]. در این تحقیق NCEP‌های منتخب با بیشترین همبستگی در جدول ۱ یاد شده است.

مدل LARS-WG یک مولد آب و هوای تصادفی است که داده‌های ورودی آن شامل تابش یا ساعت‌های آفتابی، بیشترین دما، کمترین دما و بارش منطقه مد نظر است. بنابراین، با معرفی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع هر یک از ایستگاه‌های یادشده در غالب st و تبدیل داده‌های ورودی مد نظر با فرمت dat. مدل LARS-WG برای هر یک از سناریوهای A1B، B1، A2، مختص به پنج مدل گردش عمومی GFCM2، CNCM3، NCPCM، HADCM3، MPEH5 که در مدل LARS-WG تعبیه شده‌اند، در دو دوره آتی اجرا شد. مدل ریزمقیاس‌نمای آماری SDSM با ترکیب دو روش احتمالاتی و رگرسیونی، داده‌های متغیرهای هواشناسی را می‌سازد. سه دسته داده به‌عنوان ورودی مدل SDSM استفاده می‌شود. اولین دسته داده‌های مشاهداتی روزانه پارامتر مد نظر است که از سازمان آب منطقه‌ای استان

جدول ۱. NCEP‌های منتخب پارامترهای دمای بیشینه و کمینه حوضه‌های آبخیز آرازکوسه و نوده

ایستگاه	مدل گردش عمومی جو	پارامتر اقلیمی	NCEP‌های منتخب
آرازکوسه	HADCM3	دمای کمینه	shum, temp
		دمای بیشینه	p-u, p5-u, shum, temp
	CGCM3	دمای کمینه	s850, shum, temp
		دمای بیشینه	p-f, p5-u, shum, temp
نوده	HADCM3	دمای کمینه	s850, shum, temp
		دمای بیشینه	p1-v, p5-v, temp
	CanESM2	دمای کمینه	shum, temp
نوده	HADCM3	دمای بیشینه	p-u, p5-v, rhum, temp
		دمای کمینه	s850, shum, temp
	CGCM3	دمای بیشینه	p5-u, p5-zh, shum, temp
		دمای کمینه	s850, temp
	CanESM2	دمای بیشینه	mssl, p5-u, p5-v, temp

بسیار و یکم برای سناریوهای RCP بسیار شبیه به نزدیک‌ترین همتایانشان در سناریوی SRES خواهد بود. به طوری که پیش‌بینی دما با سناریوی RCP 4.5 شبیه به سناریوی B1 و پیش‌بینی دمای سناریوی RCP6 نزدیک به پیش‌بینی سناریوهای B2 و A1B از سناریوهای AR4 است. همچنین پیش‌بینی سناریوی RCP 8.5 از سری جدید در دوره آتی به پیش‌بینی A2 از سری قدیم نزدیک است.

یافته‌های پژوهش

در این مطالعه از دو مدل SDSM و LARS-WG برای

سپس در مرحله بعد داده‌های مشاهداتی هر یک از متغیرهای پیش‌بینی‌شونده به دو قسمت برای واسنجی ۱۹۸۶-۱۹۹۵ و صحت‌سنجی ۱۹۹۶-۲۰۰۵ مدل به‌کار برده شد [۱۷]. پس از این مرحله، مدل واسنجی‌شده SDSM با استفاده از NCEP‌های منتخب و داده‌های هر سناریو اقدام به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی مد نظر می‌کند و در نهایت داده‌های پیش‌بینی‌شده ریزمقیاس با گام زمانی روزانه به دست می‌آیند.

مقایسه سناریوهای CMIP3 و CMIP5 نشان داده است که میانگین جهانی پیش‌بینی دما تا پایان قرن

سناریوی A1B در هر دو ایستگاه بیشترین افزایش دمای کمینه پیش‌بینی‌شده با مدل‌های گردش عمومی نسبت به دوره پایه دیده می‌شود.

در دوره آتی دوم نیز نتایج پیش‌بینی در همه سناریوها بیانگر افزایش دمای کمینه نسبت به دوره پایه است (شکل ۲). سناریوی A1B بیشترین مقدار افزایش دمای کمینه نسبت به دوره پایه در هر دو ایستگاه را نشان می‌دهد و مقدار افزایشی آن در ایستگاه آرازکوسه ۴/۲ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه نوده ۴/۶ درجه سانتی‌گراد هستند. سناریوی B1 در این دوره در هر دو ایستگاه چولگی منفی دارد و خط میانه فاصله کمتری با ۷۵ صدک دارد (شکل ۲).

فصل تابستان

در دوره اول آتی دمای بیشینه پیش‌بینی‌شده در هر دو ایستگاه در سناریوی A1B بیشترین نوسانات را دارد (شکل ۱). در ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده کمترین مقدار افزایش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه بین هر سه سناریو به ترتیب ۱/۱ درجه سانتی‌گراد با سناریوی B1 و ۱/۲ درجه سانتی‌گراد با سناریوی A1B بود. در ایستگاه آرازکوسه پیش‌بینی‌های مختلف با سناریوی A2 و در ایستگاه نوده نیز در سناریوی B1 اختلاف بین پیش‌بینی‌های دمای بیشینه با مدل‌های گردش عمومی بررسی شده، کمترین است (شکل ۱). در دوره دوم آتی در هر دو ایستگاه بیشترین و کمترین اختلاف دمای بیشینه نسبت به دوره پایه با سناریوی A1B به ترتیب با مقدار ۴ و ۱/۹ درجه سانتی‌گراد برای ایستگاه نوده و ۴ و ۱/۸ درجه سانتی‌گراد برای ایستگاه آرازکوسه (CFCM2) پیش‌بینی شد (شکل ۱). در هر دو ایستگاه مطالعه‌شده در سناریوی A1B به دلیل تغییرات و پراکنش زیاد داده‌های کمتر، چولگی منفی دارد.

بررسی دمای کمینه در دوره اول آتی در هر دو ایستگاه گویای افزایش دما در آینده هستند (شکل ۲). به‌طور مشترک در هر دو ایستگاه، باکس-ویسکر سناریوی A1B چولگی منفی دارد ولی دو سناریوی B1 و A2 توزیع یکنواختی دارند. بیشترین مقدار پیش‌بینی‌شده نسبت به دوره پایه در هر دو ایستگاه توسط سناریوی A1B (مدل گردش عمومی CFCM2) تخمین زده شد (شکل ۲). در

ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو MPEH5، GFCM2، CNCM3، NCPCM، HADCM3، CGCM3، CanESM2، برای سه سناریوی انتشار (A1B، B1، A2) و سه سناریوی مسیر غلظت (RCP 2.6، RCP 4.5، RCP 8.5) در دو ایستگاه آرازکوسه و نوده استفاده شد. از نمودار باکس-ویسکر برای توزیع گروهی از داده‌های پیش‌بینی‌شده CMIP3 با سناریوهای انتشار مختلف با دو مدل ریزمقیاس‌نمای LARS-WG و SDSM، از طریق چارک و حد بین چارکی استفاده شد [۱۸]. درنهایت، نتایج پیش‌بینی دمای بیشینه و کمینه فصلی در دو دوره آتی اول (۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی) و دوره آتی دوم (۲۰۸۰-۲۰۹۹ میلادی) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۶-۲۰۰۵ میلادی) برحسب درجه سانتی‌گراد مقایسه شد.

نتایج پیش‌بینی فصلی دماهای بیشینه و کمینه با سناریوهای قدیم

نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌های CMIP3 تحت سه سناریو و دو مدل ریزمقیاس‌نمای تحقیق‌شده در دو ایستگاه آرازکوسه و نوده برای دو دوره آتی بیست‌ساله با نمودار باکس-ویسکر (شکل‌های ۱ و ۲) مقایسه شد که نتایج فصلی به‌دست‌آمده به شرح خلاصه زیر است:

فصل بهار

در دوره آتی اول نتایج هر دو ایستگاه مطالعه‌شده بیانگر افزایش دمای بیشینه در دو سناریوی A1B و A2 است. در ایستگاه آرازکوسه و نوده بیشترین افزایش دمای بیشینه در سناریوی A1B به ترتیب برابر ۲/۹ درجه سانتی‌گراد و ۳/۲ درجه سانتی‌گراد با استفاده از مدل CFCM2 پیش‌بینی شد. همچنین در هر دو ایستگاه مطالعه‌شده فقط در سناریوی B1، مدل HADCM3 کاهش دمای بیشینه در آینده را نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کرد (شکل ۱). در دوره دوم آتی مانند دوره اول آتی نیز در سناریوی A1B در مقایسه با دیگر سناریوها، بیشترین مقدار افزایش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه با مقدار ۴ درجه سانتی‌گراد در هر دو ایستگاه پیش‌بینی شد. در خصوص دمای کمینه (شکل ۲) در دوره آتی اول در هر دو ایستگاه مطالعه‌شده پیش‌بینی‌ها در سه سناریوی A1B، B1 و A2 بیانگر افزایش دما در دوره آینده است. در بین سناریوها،

پیش‌بینی‌های دمای بیشینه آینده اول با دوره پایه در دو ایستگاه آرازکوسه و نوده به‌ترتیب در سناریوی A2 (۳) درجه سانتی‌گراد) و A1B (۱/۵ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد (شکل ۱). پیش‌بینی‌های دمای بیشینه با مدل‌های مختلف گردش عمومی در ایستگاه آرازکوسه در دو سناریوی A1B و B1 و در ایستگاه نوده در سناریوی B1 چولگی مثبت داشت. در دوره دوم آتی بیشترین افزایش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده به‌ترتیب در سناریوی A2 با مقدار ۳/۷ درجه سانتی‌گراد افزایش دما و سناریوی A1B با مقدار ۲/۳ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد (شکل ۱). در هر دو ایستگاه کمترین تغییر دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در سناریوی B1 با مقدار ۰/۶ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد.

در دوره اول آتی با فرض حاکم‌بودن سناریوهای A1B و A2 (CGCM3)، پارامتر دمای کمینه در ایستگاه آرازکوسه برای همه ماه‌ها کاهش خواهد یافت. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، این کاهش در سناریوی A1B برابر ۰/۳- و در A2، ۰/۲- درجه سانتی‌گراد است. بیشترین و کمترین اختلاف دمای کمینه پیش‌بینی‌شده در هر دو ایستگاه با سناریوی A1B به‌ترتیب با مقادیر ۲/۳ و ۰/۳- درجه سانتی‌گراد (ایستگاه آرازکوسه) و ۲/۲ و ۰/۵- درجه سانتی‌گراد (ایستگاه نوده) نسبت به دوره پایه پیش‌بینی شد. در دوره دوم آتی در هر دو ایستگاه نوده و آرازکوسه تنها پیش‌بینی‌های دمای کمینه سناریوی A1B است که به‌دلیل نزدیکی خط میانه با چارک اول چولگی مثبت دارد؛ در حالی که دو سناریوی دیگر توزیعی یکنواخت دارند (شکل ۲). سناریوی A1B (MPEH5) برای ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده با مقادیر ۳/۳ و ۲/۹ درجه سانتی‌گراد، بیشترین اختلاف دمای کمینه پیش‌بینی‌شده را نسبت به دوره پایه نشان داد.

نتایج پیش‌بینی فصلی دمای بیشینه و دمای کمینه با سناریوهای جدید

نمودار ستونی مختص به اختلاف دمای بیشینه فصلی دو دوره آتی بیست‌ساله نسبت به دوره پایه در دو ایستگاه آرازکوسه و نوده در شکل ۳ نشان داده شده است که نتایج آن به‌تفکیک هر فصل در زیر بیان شده است.

دوره دوم آتی بیشترین اختلاف دمای کمینه نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده با مقدار ۴ درجه سانتی‌گراد توسط سناریوی A1B پیش‌بینی شد (شکل ۲). نتایج پیش‌بینی مدل با سناریوی B1 نشان داد کمترین اختلاف دمای کمینه نسبت به دوره پایه با مدل HADCM3 با مقدار ۱/۱۲ درجه برای آرازکوسه و ۱/۸ درجه سانتی‌گراد برای نوده است.

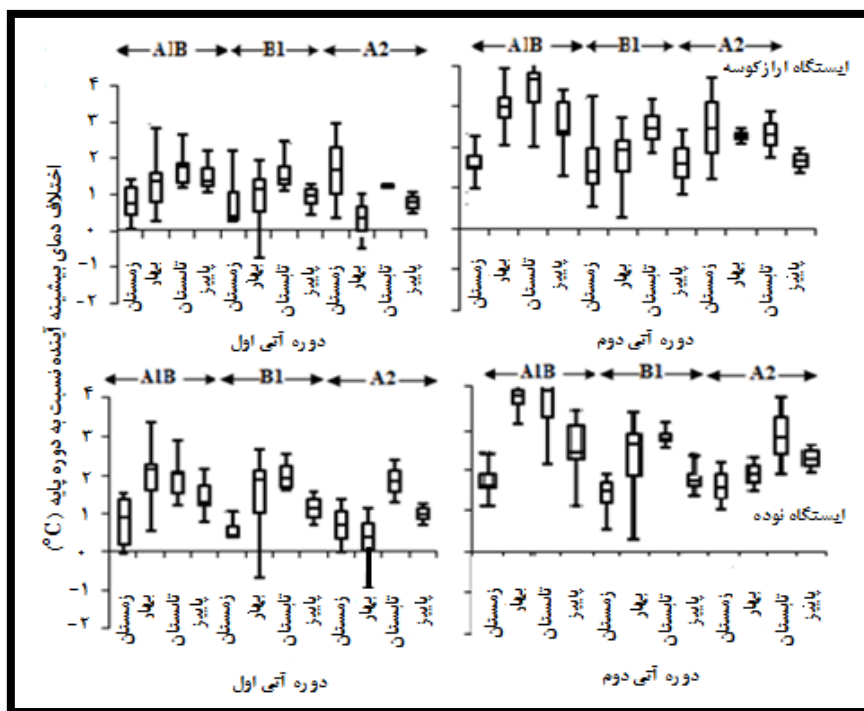
فصل پاییز

در زمینه دمای بیشینه در دوره اول کمترین افزایش دما نسبت به دوره پایه در ایستگاه آرازکوسه با ۰/۴ درجه سانتی‌گراد توسط سناریوی B1 و در ایستگاه نوده برابر ۰/۷ درجه سانتی‌گراد با هر دو سناریوی A2 و B1 پیش‌بینی شد. در هر دو ایستگاه با سناریوی A1B بیشترین افزایش دما (حدود ۲/۲ درجه سانتی‌گراد) نسبت به دوره پایه در هر دو دوره آتی پیش‌بینی شد. نتایج پیش‌بینی مدل‌ها در دوره اول آتی نشان داد اختلاف دمای کمینه پیش‌بینی‌شده نسبت به دوره پایه در ایستگاه آرازکوسه با سناریوی B1 و در ایستگاه نوده با سناریوی A1B بیشترین است. در این دوره دو مدل گردش عمومی جو HADCM3 و CGCM3 کاهش دمای کمینه ایستگاه آرازکوسه را در آینده پیش‌بینی کرده‌اند (شکل ۲).

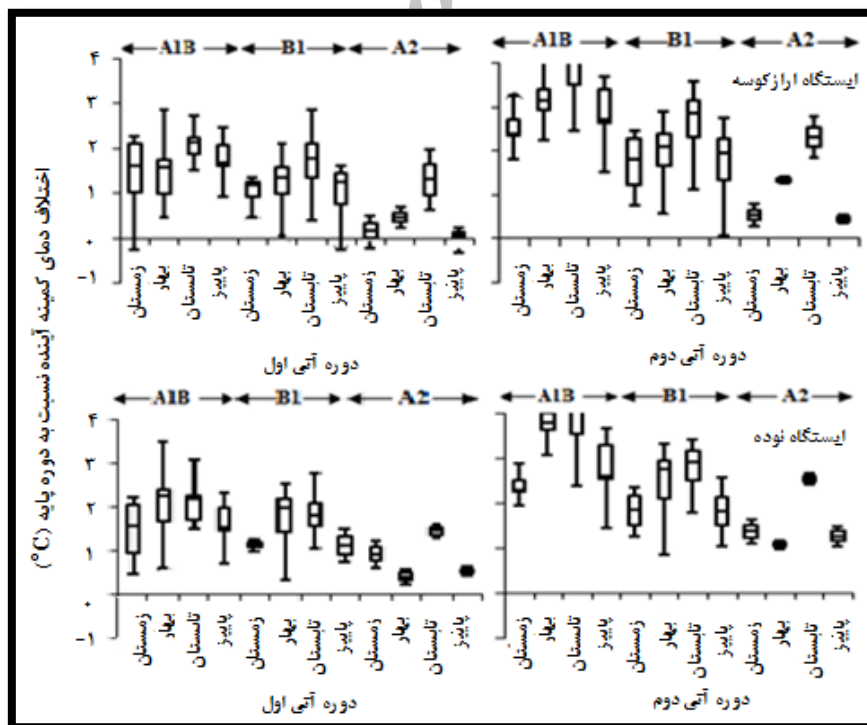
در دوره دوم آتی در هر دو ایستگاه توسط هر سه سناریو به‌وضوح افزایش دمای کمینه آینده دیده می‌شود. با توجه به باکس-ویسکرهای این دوره، بیشترین نوسانات در مقادیر پیش‌بینی‌شده در ایستگاه آرازکوسه مختص به سناریوی B1 و در ایستگاه نوده سناریوی A1B است. کمترین اختلاف پیش‌بینی‌شده دمای کمینه نسبت به دوره پایه در ایستگاه آرازکوسه با مقدار ۰/۱ توسط سناریوی B1 و در ایستگاه نوده ۱/۱ درجه سانتی‌گراد به‌طور مشترک در سناریوهای B1 و A2 پیش‌بینی شد؛ اما بیشترین اختلاف در ایستگاه آرازکوسه و نوده با سناریوی A1B و مقدار ۳/۷ درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی شد (شکل ۲).

فصل زمستان

عدم قطعیت در پیش‌بینی دمای بیشینه که به‌صورت چارک اول و چارک سوم در نظر گرفته شده، بین ۱/۷ Δ تا ۰/۴ Δ در ایستگاه آرازکوسه و ۰/۹ Δ تا ۰/۴ Δ در ایستگاه نوده پیش‌بینی شد. در دوره اول آتی بیشترین اختلاف



شکل ۱. نمودار باکس-ویسکر تغییر دمای بیشینه دو دوره آبی نسبت به دوره پایه به دست آمده از هفت مدل گردش عمومی جو و دو مدل ریزمقیاس نما در سه سناریوی مختلف در دو ایستگاه ارازکوسه و نوده



شکل ۲. نمودار باکس-ویسکر تغییر دمای کمینه دو دوره آبی نسبت به دوره پایه به دست آمده از هفت مدل گردش عمومی جو و دو مدل ریزمقیاس نما در سه سناریوی مختلف در دو ایستگاه ارازکوسه و نوده

فصل بهار

در دوره آتی اول (دوم) مقدار دمای بیشینه پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در تمامی سناریوها در هر دو ایستگاه افزایش دمای آینده را نشان می‌دهند (شکل ۳). بیشترین تغییرات در این دوره نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده مختص به سناریوی RCP 8.5 است که مقادیر آن در دو ایستگاه و به‌طور افزایشی به‌ترتیب ۲ (۳/۷) و ۱/۶ (۳/۳) درجه سانتی‌گراد خواهد بود. کمترین افزایش دمای کمینه در دوره آتی اول (ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده به‌ترتیب ۰/۸ و ۰/۸۳ درجه سانتی‌گراد) و دوره آتی دوم (حدود ۰/۹ درجه سانتی‌گراد) با دوره پایه توسط سناریوی RCP 2.6 پیش‌بینی شد (شکل ۴).

فصل تابستان

در دوره آتی اول تحت سناریوی RCP 8.5 مقدار دمای بیشینه نسبت به دوره پایه بیشترین تغییرات را داشت که برای ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده به‌طور افزایشی به‌ترتیب به‌میزان ۲/۱۸ و ۲/۳۴ درجه سانتی‌گراد خواهد بود (شکل ۳). کمترین افزایش دمای بیشینه پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه در ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده توسط سناریوی RCP 2.6 با مقادیر ۱/۲۴ و ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد بود، اما در دوره آتی دوم این افزایش اختلاف دمای بیشینه پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه بیشتر و به‌ترتیب مقادیر ۳/۰۹ و ۳/۱۳ درجه سانتی‌گراد خواهد بود (شکل ۳).

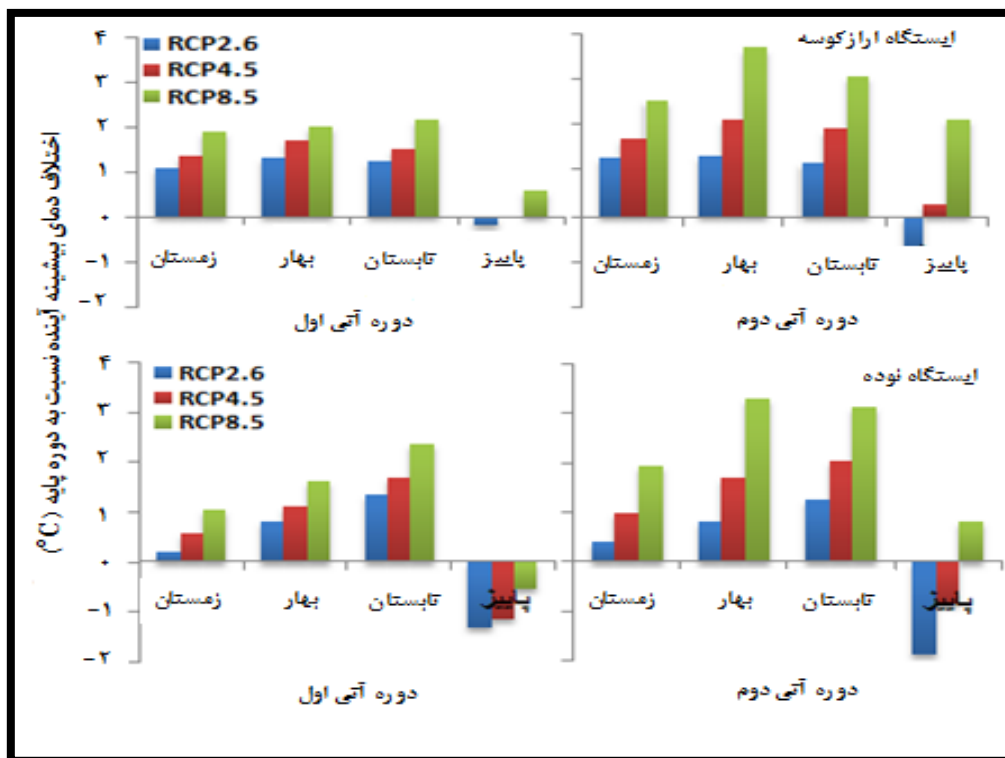
روند تغییرات دمای کمینه تحت سناریوی RCP 8.5 در هر دو دوره آینده و برای همه ماه‌ها افزایشی است. بیشترین میزان کاهش در دوره آتی اول نسبت به دوره پایه برای ایستگاه آرازکوسه با مقدار ۲/۶۳ درجه سانتی‌گراد و برای ایستگاه نوده با مقدار ۳/۱۲ درجه سانتی‌گراد بود و دو سناریوی دیگر با اختلاف کمتری نسبت به هم پیش‌بینی کردند (شکل ۴). در دوره دوم آتی نیز در بین سه سناریو کمترین اختلاف دمای کمینه پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه مختص به سناریوی RCP 2.6 است که در ایستگاه آرازکوسه ۱/۶۵ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه نوده ۲ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۴).

فصل پاییز

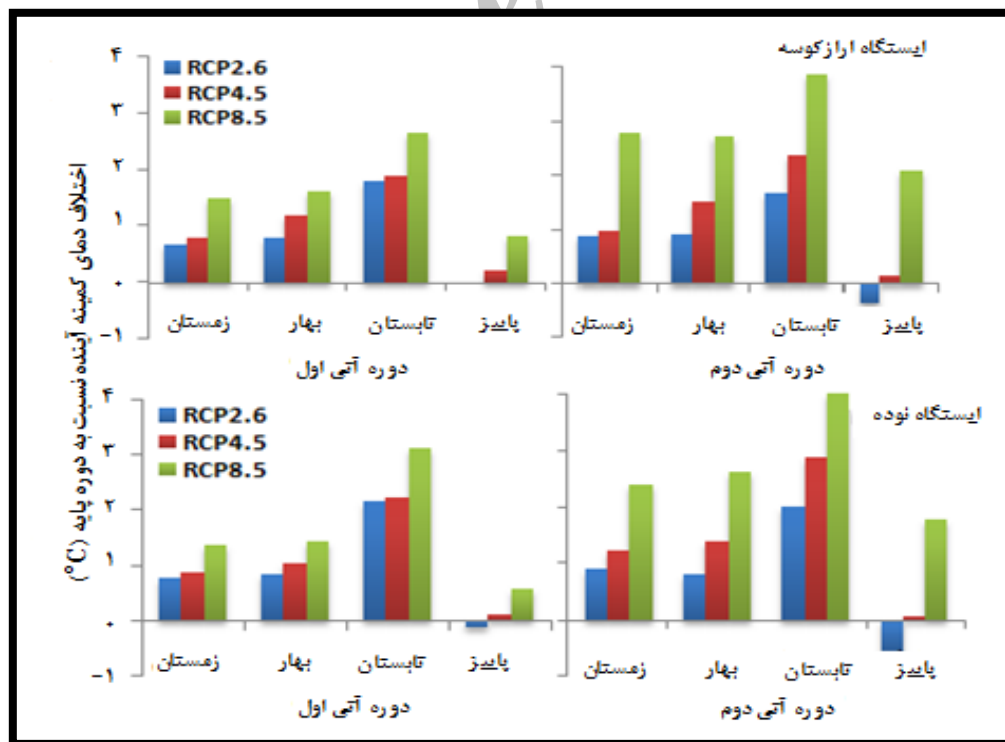
در دوره آتی اول تحت هر سه سناریو برای ایستگاه‌های نوده و آرازکوسه تنها سناریوی RCP 2.6 دمای بیشینه کاهش پیدا خواهد کرد (شکل ۳). در دوره آتی دوم دمای بیشینه برای ایستگاه نوده فقط تحت سناریوی RCP 8.5 افزایش دما در آینده (۰/۸۲) را خواهیم داشت. بیشترین اختلاف دمای بیشینه با دوره پایه برای ایستگاه آرازکوسه تحت سناریوی RCP 8.5 با مقدار ۲/۰۸ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. در دوره آتی اول سناریوی RCP 2.6 برای ایستگاه آرازکوسه هیچ‌گونه اختلاف دمای کمینه‌ای نسبت به دوره پایه پیش‌بینی نکرده است، اما همین سناریو برای ایستگاه نوده کاهش دمای اندکی با مقدار ۰/۱۱- درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه نشان داد. در دوره دوم آتی نیز در هر دو ایستگاه به‌جز سناریوی RCP 2.6 سایر سناریوها افزایش دما برای آینده پیش‌بینی کرده‌اند. به‌طور کلی، تغییرات دمایی در دوره دوم نسبت به دوره اول، تحت سناریوهای مختلف مطالعه‌شده محسوس‌تر خواهد بود.

فصل زمستان

روند تغییرات دمای بیشینه نسبت به دوره پایه در دوره اول آتی و دوره دوم آتی و برای همه ماه‌ها از سناریوی RCP 2.6 تا RCP 8.5 در هر دو ایستگاه افزایشی است. در دوره آتی دوم، کمترین اختلافی که بین دمای بیشینه پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه وجود دارد در دو ایستگاه مطالعه‌شده مختص به سناریوی RCP 2.6 با مقادیر ۱/۲۶ (ایستگاه آرازکوسه) و ۰/۴۲ (ایستگاه نوده) درجه سانتی‌گراد خواهد بود. اختلاف دمای کمینه نسبت به دوره پایه در دوره آتی در ایستگاه آرازکوسه با سناریوی RCP 8.5 با مقدار ۱/۴۹ درجه سانتی‌گراد، بیشترین مقدار پیش‌بینی شده است. در دوره دوم آتی نیز این مقدار افزایش دمای کمینه نسبت به دوره پایه در ایستگاه آرازکوسه تقریباً دو برابر مقدار پیش‌بینی شده در دوره اول آتی توسط همین سناریو با مقدار ۲/۸ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۳. نمودار ستونی تغییر دمای پیشینه دو دوره آتی نسبت به دوره پایه به دست آمده از مدل گردش عمومی جو CanESM2، و مدل ریزمقیاس‌نمای SDSM در سه سناریوی مختلف در ایستگاه‌های ارازکوسه و نوده



شکل ۴. نمودار ستونی تغییر دمای کمینه دو دوره آتی نسبت به دوره پایه به دست آمده از مدل گردش عمومی جو CanESM2 و مدل ریزمقیاس‌نمای SDSM در سه سناریوی مختلف در ایستگاه‌های ارازکوسه و نوده

مقایسه نتایج سناریوهای جدید و قدیم

نتایج گروه مدل‌های CMIP3 بیانگر تنوع زیاد در تغییرات دما بین مدل‌ها و سناریوهای انتشار است (شکل‌های ۱ و ۲). در همه سناریوها بیشترین و کمترین افزایش دمای بیشینه و کمینه به ترتیب در دو فصل تابستان و زمستان خواهد بود. به طوری که در فصل تابستان دمای بیشینه و کمینه در دوره اول آتی $1/5 \pm 0/1$ درجه سانتی‌گراد و در دوره دوم آتی $0/2 \pm 0/3$ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه احتمالاً افزایش خواهد یافت. سناریوی A1B نسبت به دو سناریوی B1 و A2 افزایش دمای بیشتری را در هر دو دوره آتی پیش‌بینی کرد. در این بخش هر یک از سناریوهای جدید (RCP) با سناریوهای قدیم نظیر آنها (SRES) مقایسه شد.

در فصل بهار در دوره آتی اول و دوم در ایستگاه ارازکوسه سناریوهای جدید RCP 4.5 و RCP 8.5 افزایش دمای بیشینه بیشتری نسبت به دوره پایه از سناریوهای نظیرشان در سناریوی قدیم پیش‌بینی کردند. در صورتی که در ایستگاه نوده در دوره آتی اول و دوم (غیر از سناریوی RCP 8.5 در دوره دوم) سناریوهای قدیم دمای بیشینه بیشتری (۷ درصد در دوره اول و ۹/۷ درصد در دوره دوم) در مقایسه با سناریوی‌های متناظر جدید نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کردند. در دوره آتی اول و دوم اختلاف دمای کمینه پیش‌بینی شده با سناریوهای B1 و RCP 8.5 نسبت به دوره پایه در هر دو ایستگاه نسبت به سناریوهای نظیرشان مقدار افزایش بیشتری را پیش‌بینی کردند.

در فصل تابستان در ایستگاه ارازکوسه سناریوهای جدید (غیر از سناریوی RCP 4.5 در دوره دوم) در هر دو دوره آتی افزایش دمای بیشینه بیشتری نسبت به دوره پایه در مقایسه با سناریوهای قدیم نظیرشان پیش‌بینی کردند، در حالی که در ایستگاه نوده در دوره‌های آتی اول و دوم، سناریوهای B1 و RCP 8.5 اختلاف دمای بیشینه بیشتری را نسبت به سناریوهای نظیرشان نشان داده‌اند. در دوره‌های آتی اول و دوم در هر دو ایستگاه، سناریوهای جدید (غیر از سناریوی RCP 4.5 در دوره دوم) اختلاف دمای کمینه بیشتری (۱۱-۲۱ درصد برای ایستگاه نوده، ۹-۱۹ درصد برای ایستگاه ارازکوسه) نسبت به دوره پایه در مقایسه با سناریوهای نظیرشان پیش‌بینی کردند. در فصل پاییز در دوره‌های آتی اول و دوم در هر دو

ایستگاه، سناریوهای قدیم (غیر از سناریوی A2 در دوره آتی دوم برای ایستگاه ارازکوسه) بیشترین اختلاف دمای بیشینه (۳-۷ درصد برای ایستگاه ارازکوسه، ۵-۱۱ درصد برای ایستگاه نوده) را نسبت به سناریوهای نظیرشان نشان داده‌اند. سناریوهای B1 و RCP 8.5 در هر دو ایستگاه برای دو دوره آتی بیشترین اختلاف دمای کمینه را نسبت به دوره پایه در مقایسه با سناریوهای هم‌تایشان پیش‌بینی کردند.

در فصل زمستان در دو دوره آتی ایستگاه‌های ارازکوسه و نوده، سناریوهای جدید (غیر از سناریوی RCP 4.5 در دوره آتی دوم برای ایستگاه نوده) اختلاف دمای بیشینه بیشتری در مقایسه با سناریوهای نظیرشان نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کردند. در زمینه اختلاف دمای کمینه در دوره‌های آتی اول و دوم، سناریوهای B1 و RCP 8.5 به ترتیب در مقایسه با سناریوهای RCP 4.5 و A2 اختلاف بیشتری را نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کردند.

به طور کلی، در زمینه دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های ارازکوسه و نوده، در هر دو دوره آتی جز در برخی موارد افزایش دما توسط همه سناریوها پیش‌بینی شد. نتایج محققان مختلفی چون آشفته و همکارانش [۱۹]، ثانی‌خانی و همکارانش [۲۰]، فرج‌زاده و همکارانش [۲۱]، طائی سمیرمی و همکارانش [۲۲]، حمیدیان‌پور و همکارانش [۲۳]، ریبالایگوا و همکارانش [۲۴]، ماجهی و همکارانش [۲۵] و وباس و همکارانش [۲۶] نیز بیانگر افزایش دما در دهه‌های آتی برای منطقه مطالعه شده‌شان بود. در همه سناریوها بیشترین افزایش دمای بیشینه و کمینه در فصول بهار و تابستان مشاهده شد که با نتایج نوحیان و همکارانش [۲۷]، فرج‌زاده و همکارانش [۲۸]، نوری و همکارانش [۲۸]، لکزائیان‌پور و همکارانش [۲۹]، ریبالایگوا و همکارانش [۲۴] و آن و همکارانش [۳۰] مطابقت دارد. در بین سناریوهای SRES به ترتیب سناریوی A1B سپس A2 و در نهایت B1 در اغلب موارد بیشترین مقادیر را برای دمای بیشینه و کمینه هر دو ایستگاه پیش‌بینی کردند که با نتایج تحقیق دانش‌فراز و همکارانش [۷] مطابقت دارد. در تحقیق ریبالایگوا و همکارانش [۲۴] در آراگون اسپانیا نیز کمترین افزایش دما در بین سه سناریوی A1B، A2 و B1 مختص به سناریوی B1 بود که نتایج به دست آمده با آن مطابقت دارد. در صورتی که بیشترین افزایش دما در پژوهش ریبالایگوا و همکارانش [۲۴] و دوستی و همکارانش [۳۱] با سناریوی A2 پیش‌بینی شد

مدل برای مطالعات منطقه‌ای قابل اعتماد نیست [۳۳]، بنابراین استفاده از مدل‌های چندگانه برای مطالعات منطقه‌ای نسبت به استفاده از یک مدل اقلیمی واحد، به دلیل کاهش هر دو میانگین خطا و واریانس دقت بیشتری دارد [۳۴]. بنابراین، محققان از نتایج مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی آینده چندگانه برای مدل‌سازی پوشش اقلیم زیستی یا پیش‌بینی توزیع گونه‌ها برای کاهش عدم قطعیت در نتایج، استفاده می‌کنند [۳۵]. بنابراین، در تحقیق حاضر برای ساخت سطوح پاسخ قابل اعتمادی که همه محدودۀ عدم قطعیت را پوشش دهد از دو گروه از مدل‌ها، CMIP5 و CMIP3، دو مجموعه از سناریوهای انتشار قدیم و جدید و نیز از دو مدل ریزمقیاس‌نما استفاده شد.

نتایج کلی بیانگر جواب‌های مختلف میان هر دو گروه از سناریوها است، که یک دلیل آن پراکنده‌بودن دو ایستگاه مطالعه‌شده در دو منطقه دشتی و کوهستانی است که منبع شایان توجهی از عدم قطعیت در تولید مجموعه داده‌های مشاهداتی اقلیمی با درجه بالایی از تفکیک‌پذیری برای دو ایستگاه ایجاد می‌کنند. درون‌یابی مکانی از متغیر دما در منطقه کوهستانی می‌تواند میزان خطا را تصحیح کند، اما به‌طور کلی همه متغیرهای اندازه‌گیری‌شده، متحمل افزایش خطاهای درون‌یابی در مناطق کوهستانی و خشک و سرد و جایی می‌شوند که شبکه ایستگاه‌ها پراکنده‌اند. همچنین تفاوت در ساختار و ویژگی‌های GCMها نیز منبع اصلی از عدم قطعیت در پیش‌بینی اقلیم آینده هستند. از آنجا که پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی توسط مدل‌های متفاوت قطعاً عدم قطعیتی را به همراه دارد، بنابراین در تحقیق حاضر نیز سعی شده تا با مقایسه دمای بیشینه و کمینه پیش‌بینی‌شده توسط سناریوها و مدل‌های گردش عمومی جو به کار برده‌شده نسبت به دوره پایه در دو ایستگاه آرازکوسه و نوده به وجود عدم قطعیت سناریوهای مختلف و میزان نسبی این عدم قطعیت بین سناریوهای انتشار قدیم و جدید پی برد. بدین‌منظور نتایج پیش‌بینی دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های یادشده با نمودارهای باکس-ویسکر و ستونی نشان داده شد تا مقایسه بین مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای مختلف دقیق‌تر و سریع‌تر انجام شود. همان‌گونه که IPCC در سال ۲۰۱۴ گسترده‌تری تغییرات دما در مدل‌های CMIP5 نسبت به مدل‌های CMIP3 را گزارش داد، نتایج مقایسه سناریوها در تحقیق حاضر نیز گویای این امر

که با نتایج این تحقیق مطابقت ندارد که بیشترین افزایش دمای بیشینه و کمینه در هر دو ایستگاه با سناریوی A1B پیش‌بینی شد. در بین سناریوهای RCP در هر دو پارامتر اقلیمی بررسی‌شده مختص به ایستگاه‌های آرازکوسه و نوده، بیشترین افزایش دمای پیش‌بینی‌شده مختص به سناریوی RCP 8.5 است که با نتایج محققانی چون آن و همکارانش [۳۰]، بشیر و همکارانش [۳۲] و ماجهی و همکارانش [۲۵] مطابقت دارد. همچنین کمترین افزایش دمای بیشینه و کمینه در بین سناریوهای جدید در هر دو ایستگاه توسط RCP 2.6 پیش‌بینی شد که با نتایج آن و همکارانش [۳۰] مطابق است. در دو ایستگاه مطالعه‌شده، سناریوهای انتشار در دوره دوم آتی در مقایسه با دوره آتی اول افزایش دمای بیشتری را پیش‌بینی کرده‌اند که نشان‌دهنده تغییرات تدریجی اقلیم است و مشابه نتایج طائی سمیرمی و همکارانش [۲۲] و همچنین حمیدیان‌پور و همکارانش [۲۳] در تحقیقی با عنوان «ارزیابی تغییرات دما و بارش در جنوب شرق ایران» است. در تحقیق حاضر در بیشتر موارد افزایش دمای کمینه در هر دو ایستگاه بیش از دمای بیشینه بود که نصحیان و همکارانش [۲۷] نیز در تحقیقی به نتایج مشابه دست یافتند. در مقایسه سناریوهای SRES با سناریوهای RCP، در بیشتر موارد مقایسه‌ای در این مطالعه، مقادیر پیش‌بینی‌شده با سناریوهای RCP بیشتر از پیش‌بینی با سناریوهای SRES برای دماهای بیشینه و کمینه پیش‌بینی‌شده وجود این تفاوت‌ها در مقادیر پیش‌بینی‌شده بیشترین و کمترین دمای دو ایستگاه آرازکوسه و نوده با سناریوهای تغییر اقلیم در فصول مختلف در دو دوره آتی بیانگر وجود عدم قطعیت در شبیه‌سازی این دو پارامتر است که بخش بزرگی از این عدم قطعیت مختص به مدل‌ها و سناریوهای متفاوت و بخشی دیگر ممکن است در زمینه داده‌های مشاهداتی باشد.

نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم در حال حاضر یکی از مسائلی مهمی است که جامعه انسانی با آن روبه‌روست چرا که افزایش خطر وقوع سیلاب، کاهش منابع آب و افزایش تبخیر و تعرق و... را به دنبال خواهد داشت. بنابراین، در این نوشتار برای درک درست از تغییرات اقلیم آینده به پیش‌بینی دو پارامتر دمایی، دمای بیشینه و کمینه با استفاده از سناریوی انتشار و سناریوی مسیر غلظت پرداخته شد. از آنجا که فقط نتایج یک

- [7]. Wilby R L, Wigley T M L, Conway D, Jones P D, Hewitson B C, Main J, Wilks D S. Statistical downscaling of general circulation model output: a comparison of methods. *Water Resources Research*. 1998; 34: 2995-3008.
- [8]. Tabor K, Williams J W. Globally downscaled climate projections for assessing the conservation impacts of climate change. *Ecological Applications*. 2010; 20 (2): 554-565.
- [9]. Knight F H. Risk, Uncertainty, and Profit. Boston: Houghton Mifflin. 1921.
- [10]. Khan M S, Coulibaly P. Climate change impact study on water resources with uncertainty estimates using Bayesian neural network. McMaster University, PhD Thesis, Canada. 2006.
- [11]. Dibike Y B, Coulibaly P. Temporal neural network for downscaling climate variability and extremes. *Neural Networks*. 2006; 19 (2): 135-144.
- [12]. Hashemi M Z, Shamseldin A Y. Comparison of SDSM and LARS-WG simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed. *Stoch Environ Res Risk Assess*. 2011; 25 (4): 475-484.
- [13]. Samadi S, Catherine A M, Wilson E, Moradkhanim H. Uncertainty analysis of statistical downscaling models using Hadley Centre Coupled Model. *Theoretical and Applied Climatology*. 2013; 114 (4): 673- 690.
- [14]. Saraf V R, Regulwar D G. Assessment of climate change for precipitation and temperature using statistical downscaling methods in upper Godavari River Basin, India. *Journal of Water Resource and Protection*. 2016; 8 (1): 31-45.
- [15]. Daneshfaraz R, Razaghpour H. Assessment of climate on evapotranspiration of West Azerbaijan province. *Journal of Geographic Space*. 2014; 14 (46): 199-211. (Persian).
- [16]. Abbasnia M, Tavosi T, Khosravi M, Toros H. Uncertainty analysis of future changes in daily maximum temperatures over Iran by GIS. *Journal of Geographic information*. 2015; 25 (97): 29-43. (Persian).
- [17]. Ahmadvand Kahrizi M, Rouhani H, Heshmatpour A, Seyedian M. Evaluation SDSM downscaling model to predict temperature (Case Study: Arazkuseh stations and nodes). Conference semi-arid hydrology, University of Kurdistan. 2015. (Persian).
- [18]. Jafarzadeh M, Rouhani H, Heshmatpour A, Kashani M. Detecting trend of meteorological series across the Gorganrood Basin in the last three decades. *Journal of Watershed Management Research*. 2016; 7 (13): 230-240. (Persian).

بود که گرچه مدل‌های CMIP3 محدوده بزرگی از جواب‌های پیش‌بینی دمای بیشینه و کمینه در دوره آتی را دارند، اما تغییر دما در مدل CMIP5 در سناریوهای AR5 طیف گسترده‌تری نسبت به سناریوهای AR4 دارند.

به‌طور کلی، عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها به محدوده وسیعی از برآورد تأثیرات تغییر اقلیم منجر می‌شود که بیشتر از نظر علم اقلیم قابل بررسی و دفاع است. مطالعاتی که فقط براساس یک یا تعداد محدودی از مدل‌های اقلیمی و سناریوهای انتشار هستند، در واقع یک اطمینان اشتباهی نسبت به پیش‌بینی آینده ارائه می‌دهند. توانایی انتخاب بین مجموعه گسترده‌ای از مدل‌ها و سناریوهای انتشار اقلیمی، با توجه به پیش‌بینی‌های متنوع آینده دما، در صورت انتخاب فقط یک یا تعداد کمی مدل‌های گردش عمومی جو، سبب برداشت اشتباه درباره تغییرات اقلیمی آینده می‌شود.

منابع

- [1]. IPCC. Climate change 2013. The physical science basis. Summary for policy makers. Contribution of Working Group I to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 2013; 18.
- [2]. Foster G, Rahmstorf S. Global temperature evolution 1979-2010. *Environmental Research Letters*. 2011; 6 (4): 044022.
- [3]. Gillett N P, Arora V K, Flato G M, Scinocca J F, Salzen k. Improved constraints on 21st-century warming derived using 160 years of temperature observations. *Geophysical Research Letters*. 2012; 39 (1): L01704.
- [4]. Huber M, Knutti R. Anthropogenic and natural warming inferred from changes in earth's energy balance. *Nature Geosciences*. 2011; 5 (1): 31-36.
- [5]. Wilby R L, Charles S P, Zorita E, Timbal B, Whetton P and Mearns L O. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. 2004. IPCC Task Group on data and scenario support for Impact and Climate Analysis (TGICA). http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004. Pdfi.
- [6]. IPCC. Climate change 2007. The Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel science basis of climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007; 996.

- [19]. Ashofteh P, Massah Bouani A R. Impact of climate change on maximum discharges, Case study of Aidoghmoush Basin, East Azerbaijan. *Soil and Water Sciences*. 2010; (14) 53: 25-39. (Persian).
- [20]. Sanikhani H, Dinpajoh Y, Pour Yusef S, Ghavidel S Z, Solati B. The impact of climate change on runoff in watersheds, (Case study: Ajichay watershed in East Azerbaijan province, Iran). *Journal of Water and Soil*. 2014; 27 (6): 1225-1234. (Persian).
- [21]. Farajzadeh M. Climate change effects on river discharge, Case study Sheshpir River. *Journal of Geography and Environmental Planning*. 2013; 49 (1): 17-32. (Persian).
- [22]. Taei Semiromi S, Moradi H R, Khodaghohi M. Simulation and forecasting of climatic variables by multiple linear model SDSM and General Circulation Models, Case study: Watershed Nishabur. *Journal of Humans and the Environment*. 2014; 12 (1): 1-15. (Persian).
- [23]. Hamidianpour M, Baaghideh M, Abbasnia M. Assessment of the precipitation and temperature changes over south east Iran using downscaling of general circulation models outputs. *Physical Geography Researches*. 2016; 48 (1): 107-123. (Persian).
- [24]. Ribalaygua J, Pino M R, Portoles J, Roldan E, Gaitan E, Chinarro D, Torres L. Climate change scenarios for temperature and precipitation in Aragon (Spain). *Science of the Total Environment*. 2013; 463: 1015-1030.
- [25]. Majhi S, Pattnayak KC, Pattnayak R. Projections of rainfall and surface temperature over Nabarangpur district using multiple CMIP5 models in RCP4.5 and 8.5 scenarios. *International Journal of Applied Research*. 2016; 2 (3): 399- 405.
- [26]. Wobus C, Flanner M, Sarofim M C, Moura M C P, Smith S J. Future Arctic temperature change resulting from a range of aerosol emissions scenarios. *Earth's Future*. 2016; 4: 270-281.
- [27]. Nosouhian S, Ghobadinea M, Tabatabaei S H, Khaleghi H. Effect of climate change on temperature and precipitation in Shahrekord and Boroojen plan during 2020-2049. *Iran's National Meteorological Conference*. 2013. (Persian).
- [28]. Noori M, Sharifi M B, Zarghami M. Effects of climate changes on inflow of reservoirs in the uncertainty condition, Case study: Bostan and Golestan dams in the Gorganroud catchment). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 2015; 9 (2): 367-380. (Persian).
- [29]. Lakzaianpoor GH, Mohammadrezapoor O, Malmir M. Evaluating the effects of climatic changes on runoff of Nazloochaei River in Uremia lake catchment area. *Journal of Geography and Development*. 2016; 14 (42): 183-198. (Persian).
- [30]. Aung M T, Shrestha S, Weesakul S, Shrestha P K. Multi- model climate change projections for Belu River Basin, Myanmar under Representative Concentration Pathways. *Journal of Earth Science & Climatic Change*. 2016; 7(1): 1-13.
- [31]. Dousti M, Habibnezhad Roshan M, Shahedi K, Miryaghoubzade M H. Study of climate of Tamar river basin Golestan province in terms of climate change by LARS-WG model. *Journal of Earth and Space Physics*. 2013; 39 (4): 177-189. (Persian).
- [32]. Basheer A K, Lu H, Omer A, Ali A B, Abdelgader A M S. Impact of climate change under CMIP5 RCP scenarios and the streamflow in the Dinder river and ecosystem habitats in Dinder National Paek, Sudan. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2016; 20 (4): 1331-1353.
- [33]. Martinez-Meyer E. Climate change and biodiversity: some considerations in forecasting shifts inspecies' potential distributions. *Biodiversity Informatics*. 2005; 26 (2).
- [34]. Pierce ES. Where are all the Mycobacterium avium subspeciesparatuberculosis in patients with Crohn's disease?. *PLoS Pathog*. 2009Mar 27;5 (3): e1000234.
- [35]. Beaumont NJ, Austen MC, Atkins JP, Burdon D, Degraer S, Dentinho TP, Derous S, Holm P, Horton T, Van Ierland E, Marboe AH. Identification ,definition and quantification of goods and services provided by marinebiodiversity: implications for the ecosystem approach. *Marine PollutionBulletin*. 2007; 54 (3): 253-65.