مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره یازدهم، شماره چهل و یکم، پاییز ۱۳۹۹

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۲۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

صص ۵۸-۴۴

واکاوی تغییرات دمای استان آذربایجان شرقی با رویکرد تغییر اقلیم با استفاده از مدل SDSM

عبدالرضا کاشکی*، استادیار آب و هواشناسی-دانشگاه حکیم سبزواری

حسین ایمانی‌پور، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی-دانشگاه حکیم سبزواری

مینا فیروزیزدی، دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور-دانشگاه تهران

چکیده

تغییر دما در آینده که به لحاظ کشاورزی، عمرانی و سلامت دارای اهمیت زیادی است، می‌تواند یکی از پیامد-های تغییر اقلیم و پدیده‌ی گرمایش جهانی باشد و شناخت چگونگی آن می‌تواند کمک قابل‌توجهی به بخش کشاورزی، مباحث عمرانی و تصمیم‌گیری مدیران داشته باشد. از مهم‌ترین آثار پدیده‌ی تغییر اقلیم، افزایش دما در برخی مناطق جهان ازجمله ایران است؛ بنابراین بررسی این پدیده ضروری است. هدف از این مطالعه، اطلاع از میزان تغییر دما در دوره‌ی آینده (۲۰۱۵-۲۰۷۳) نسبت به دوره‌ی پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۴) در ایستگاه‌های استان آذربایجان شرقی است. در این بررسی، روند تغییرات دمای ایستگاه‌های همدید مراغه، میانه، جلفا و تبریز به کمک مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM تحت سه سناریوی واداشت تابشی خوش‌بینانه، حد واسط و بدبینانه طی دو دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴) و آینده‌ی میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳) موردبررسی قرار گرفته است. بدین منظور، داده‌های مشاهده‌ای میانگین حداکثر و حداقل دما برای ۲۹ سال (۱۹۸۷-۲۰۱۵) به‌عنوان ورودی وارد مدل شده است. نتایج خروجی مدل ریزمقیاس‌نمایی نشان داد که تغییرات دما در دوره‌های آینده در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه روند افزایشی دارند که در این میان، برای دوره‌ی آینده‌ی میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳) در سناریوی بدبینانه این افزایش دما محسوس‌تر است.

واژگان کلیدی: آذربایجان شرقی، افزایش دما، تغییر اقلیم، سناریوی واداشت تابشی، SDSM.

۱- مقدمه

یکی از مباحث بسیار مهم در بحث مربوط به آب‌وهوای مناطق مختلف، موضوع اقلیم و تغییر آن به‌عنوان یک وضعیت برگشت‌ناپذیر بوده و بسیاری از محققان به ابعاد مختلف این مهم پرداخته‌اند(حجازی‌زاده و پروین، ۱۳۸۸: ۴۳). به هم خوردن اندکی از تعادل اقلیم جهان موجب شده متوسط درجه‌حرارت کره‌ی زمین، تمایل به روند افزایش را نشان دهد(Intergovernmental Panel on Climate Change 2001, a: 1875). دما، متغیر جوی بسیار مهمی است که تغییر هرچند کوچک آن، منشأ بسیاری از تحولات فیزیکی، شیمیایی، زیست‌محیطی و نیز تغییر و دگرگونی سایر عناصر اقلیمی است(خوش‌اخلاق،۱۳۹۰: ۱۹۹). بسیاری از معضلات محیطی عصر ما ازجمله سیل، طوفان و خشک‌سالی و مسائل دیگر، همگی ریشه در تغییر اقلیم کره‌ی زمین خصوصاً افزایش دما دارند(پیرنیا و همکاران، ۱۳۹۴: ۹۰). افزایش دما بر روی بخش‌های مختلف زندگی انسان از قبیل سلامت، منابع هیدرولوژیکی و کشاورزی تأثیر عمده‌ای خواهد داشت که در این میان، بحث این تأثیرات بر سلامت انسان از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است(فلاح قالهری و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۳۴). اکثر اقلیم‌شناسان، علت اصلی روند افـزایش دمای کره‌ی زمین را فعالیت‌های انسانی می‌دانند که از طریق افـزایش بیش‌ازحد گازهای گلخانه‌ای سبب افزایش دمای جهانی در قرن اخیر شده است. گرمایش کلی کره‌ی زمین علاوه‌بر افزایش دمای سطح زمین، می‌تواند موجب افزایش دمای سطح پهنه‌های آبی گردد(رسولی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۸). سناریوی گرمایش جهانی یکی از سناریوهای مطرح در سطوح ملی، منطقه‌ای و جهانی است. امروزه سرعت افزایش درجه‌حرارت در مقایسه با گذشته افزایش چشم‌گیری یافته است؛ به‌طوری‌که در طول تاریخ بشر بی‌سابقه بوده است(فرج‌زاده اصل و فضلی، ۱۳۹۱: ۵۰).

با توجه به این نکته که دما از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است و تغییر در آن باعث تغییر در ماهیت آب و هوایی هر محل می‌گردد، بخش بزرگی از تحقیقات اقلیمی به بررسی روند دما اختصاص یافته است. طبق چهارمین گزارش ارزیابی تغییر اقلیم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، پیش‌بینی مدل‌های اقلیم جهانی برای قرن بیست‌ویک نشان می‌دهد که گرمایش جهانی به شتاب خود ادامه خواهد داد؛ حتی اگر بشر بتواند جلوی انتشار گازهای گلخانه‌ای را بگیرد. پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰ تغییرات متوسط دمای جهانی از ۱/۸ درجه به ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد و سطح متوسط دریاها بین ۰/۱۸ تا ۰/۵۴ متر بالا بیاید. فراوانی و حجم رخدادهای حدی نیز از قبیل سیل، خشک‌سالی و موج‌های گرمایی با افزایش دمای متوسط جهانی گسترش می‌یابد. تاکنون پژوهش‌های بسیاری در رابطه با پیش‌بینی دما با رویکرد تغییر اقلیم انجام شده است. تورکس[1] (۱۹۹۶) در پژوهشی به بررسی تغییر روند میانگین دمای سالانه پرداخت. نتایج، نشان‌دهنده‌ی روند افزایش دما در ناحیه‌ی آناتولی شرقی ترکیه و روند کاهشی در مناطق ساحلی این کشور بود. پژوهش اوکاسویچ[2] و همکاران (۲۰۰۵) که از اصولی‌ترین کارها در زمینه‌ی مطالعه‌ی روند دمای کرانگین است، در این پژوهش با استفاده از روش‌های ساده، تغییرات روند دماهای کرانگین بلغارستان را موردمطالعه قرار داده و میزان تغییرات مثبت و منفی آن را در طول دوره‌ی آماری تعیین کرده است. بارتولی و پونگراچ[3] (۲۰۰۷) در تحقیق خود بر روی شاخص‌های فرین دما و بارش در حوضه‌ی کارپتین، روندهای افزایش جهانی و قاره‌ای دما در منطقه‌ی مرکز و شرق اروپا را در طول نیمه‌ی دوم قرن بیستم زیادتر دانسته‌اند. قبل از این دوره، دما و تعداد حداکثری بارش‌ها بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۷ افزایش یافته بود. وارفی[4] و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های کمینه و بیشینه‌ی دمای ۱۷ ایستگاه همدید و بر پایه‌ی آستانه‌های صدکی نسبت به دوره‌ی پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۰)، به شناسایی روزهای فرین گرم و سرد یونان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده‌ی فرین‌های سرد نزولی و فرین‌های گرم افزایشی بود.

1- Turkes
2- Ukasevic
3- Bartholy & Pongracz
4- Varfi

مینو[5] و همکاران (۲۰۱۲) از مدل هیدرولوژیکی (HEC-HMS 3.4) برای مدل‌بندی هیدرولوژیکی و از روش ریزمقیاس‌نمایی SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی دماهای کمینه، بیشینه و نیز بارش روزانه در منطقه‌ی رودخانه‌ی تونگا-بهادرا در هندوستان استفاده کردند. نتایج، نشان‌دهنده‌ی بیلان آب، افزایش بارش و رواناب و کاهش تلفات تبخیر تعرق واقعی در این منطقه بود. نوری و آلام[6] (۲۰۱۳) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در طول سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۸۱ و با استفاده از مدل جهانی HadCM3 به بررسی داده‌های مشاهده‌ای بارش و دمای روزانه در شمال شرقی بنگلادش پرداختند. نتایج حاصل نشان‌دهنده‌ی مطابقت داده‌های دما و بارش ریزمقیاس‌شده با داده‌های مشاهده‌شده بود. کوکس[7] و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی اثر گرمایش جهانی بر تغییرات انرژی در نواحی مدیترانه را با استفاده از مدل گردش عمومی هوا شبیه‌سازی کردند. نخست داده‌های میانگین دمای روزانه‌ی هوا توسط مدل PRECLS طی دوره‌ی آماری ۱۹۵۰-۲۰۹۹ تحت سناریوی A1B در ابعاد ۲۵*۲۵ کیلومتر بر روی حوضه‌ی مدیترانه شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که میزان ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد طی دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۰۱ در این منطقه افزایش دارد که بر روی انرژی مصرفی جهت خنک کردن اماکن، اثر به‌سزایی دارد.

با توجه به اهمیت موضوع، در داخل ایران هم مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است. حجازی‌زاده و پروین (۱۳۸۸) به بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم‌قرن اخیر پرداختند. نتایج حاصل از بررسی‌ها مشخص کرد که عمدتاً دما در طی ۵۵ سال اخیر تغییر کرده است. این تغییر از نوع نوسانات کوتاه‌مدت اقلیمی است؛ تغییرات از نوع روند برای عنصر دمای سالانه، دماهای حداقل و حداکثر سالانه افزایشی و در جهت مثبت بوده است. دراین‌بین، پدیده-ی افزایش برای دمای سالانه و دماهای حداقل سالانه شدیدتر بوده است. دهقانی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی داده‌های بارش، تبخیر و دما با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در ایستگاه همدید تبریز پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل SDSM توانایی مناسبی در کوچک‌مقیاس نمودن داده‌های دما، تبخیر و بارش دارد. پیرنیا و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه‌ی آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره‌ی شمالی پرداختند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که بین افزایش دما و کاهش بارندگی رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد. همچنین شاهد افزایش قابل‌توجه دما، علی‌رغم افزایش و کاهش بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر هستیم.

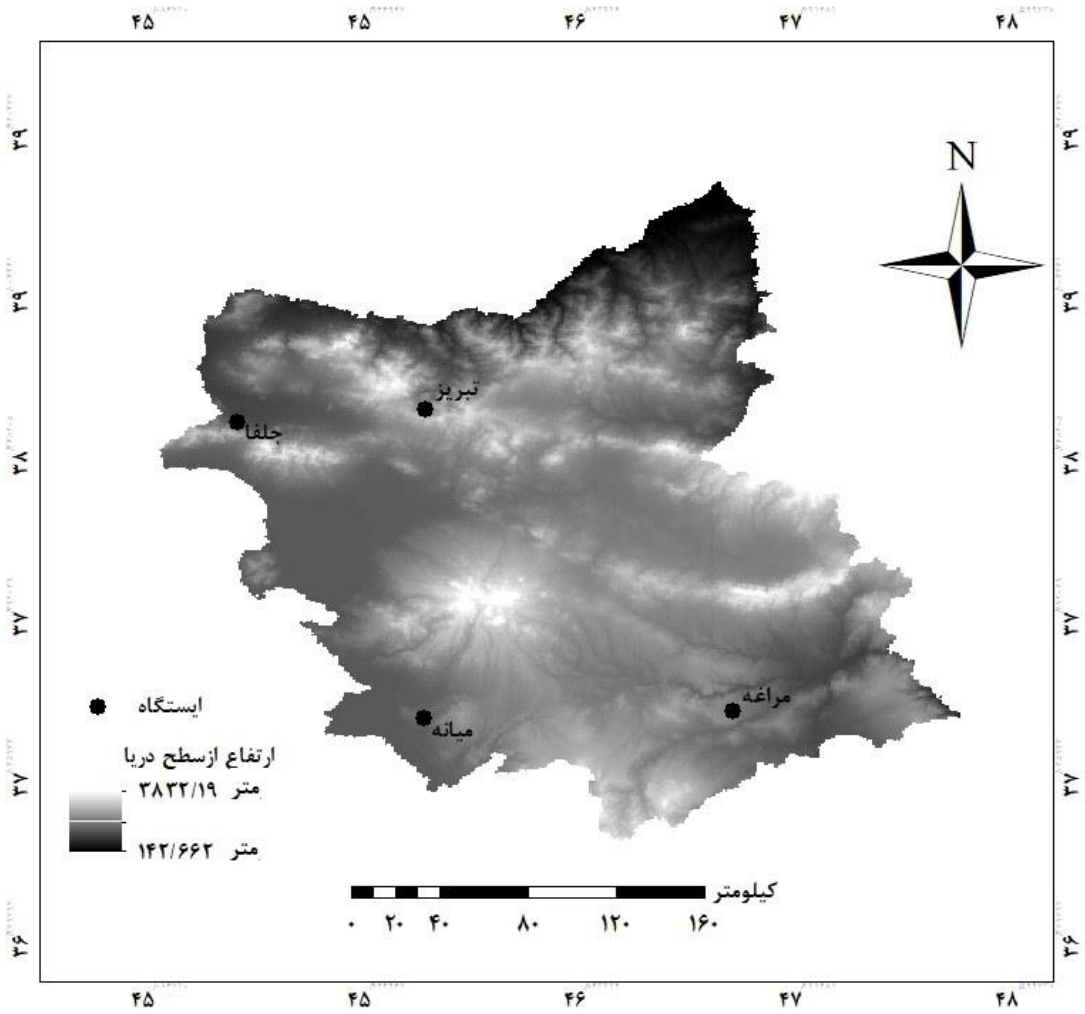
انجام مطالعات بیش‌تر در نقاط مختلف به منظور روشن شدن اثرات تغییر اقلیم ضروری است. تحقیق و بررسی و ارائه‌ی تصویری از تغییرات دمایی در یک منطقه می‌تواند در برآورد نیاز به انرژی در آینده بسیار مفید واقع شود و از هزینه‌های اضافی ناشی از عدم درک درست از وضعیت آینده و تصمیم‌گیری شتاب‌زده جلوگیری به عمل آورد. همچنین آگاهی از شرایط پیش روی آینده می‌تواند برای مواردی مانند شناسایی میزان مناسب ذخیره‌سازی گاز طبیعی به جهت ضرورت تأمین گاز طبیعی موردتقاضا مخصوصاً جهت مصارف گرمایشی در فصول سرد از یک‌سو و مخاطرات ذخیره‌سازی با افزایش حجم ذخیره‌سازی از طرف دیگر بسیار حائز اهمیت باشد. مشخص نمودن نوسانات فصلی یا ماهانه‌ی دماهای حداقل و حداکثر می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را در بخش‌های مختلف آگاه نماید و تصویر دقیقی را از تغییرات و نوسانات دمایی در آینده پیش روی آنان قرار دهد تا تصمیم‌گیری متناسب با شرایط آب و هوایی پیش رو اتخاذ گردد.

۲- منطقه‌ی موردمطالعه

استان آذربایجان شرقی از استان‌های مهم، پرجمعیت و آباد ایران است که در گوشه‌ی شمال غرب کشور واقع گردیده است و از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده‌ی ۴۵ درجه و ۷ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و

5- Meenu
6- Nury & Alam
7- Cox

۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت این استان ۴۵۴۹۰,۸۹ کیلومترمربع و جمعیت آن در سرشماری سال ۱۳۹۵ به میزان ۳۹۰۹۶۵۲ گزارش شده است. در شکل (۱) موقعیت استان آذربایجان شرقی و ایستگاه‌های منتخب نمایش داده شده است. با بررسی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه، سعی شده است از داده‌های ایستگاه‌هایی استفاده شود که داده‌های هواشناسی آن‌ها بیش‌تر از ۲۵ سال است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی موردمطالعه

۳- داده و روش‌ها

در این پژوهش به منظور واکاوی تغییرات دما در دوره‌ی پایه و آینده با رویکرد تغییر اقلیم، داده‌ی دمای کمینه و بیشینه‌ی روزانه‌ی چهار ایستگاه همدید استان آذربایجان شرقی (تبریز، جلفا، میانه، مراغه) در بازه‌ی زمانی ۱۹۸۶/۱/۱ تا ۲۰۱۴/۱۲/۳۱ (۲۸ سال) از اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی اخذ گردید. لازم به ذکر است ایستگاه‌هایی که دارای داده‌های ناقص قابل‌توجهی بودند، حذف گردیده‌اند. در ادامه، داده‌های مدل CanESM2_rcp_2.6,4.5,8.5 تحت سناریوهای واداشت تابشی نسل پنجم توسعه برای ۵۹ سال آینده از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۷۳ از سایت تغییر اقلیم کانادا بارگیری گردید و همچنین بازه‌ی زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۰ از داده‌های روزانه NCEP استخراج گردید.

هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از سناریوهای جدید به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوی جدید انتشار دارای چهار خط سیر

کلیدی است که در این پژوهش از سه سناریوی واداشت تابشی خوش‌بینانه (RCP 2.6)، سناریوی انتشار حد واسط (RCP 4.5) و سناریوی انتشار بدبینانه (RCP 8.5) استفاده شده است که بر اساس میزان واداشت تابشی آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند.

سناریوی بدبینانه (RCP 8.5): بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره‌ی زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP_8.5 پیش خواهد رفت؛ به‌گونه‌ای که ادامه‌ی این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایشی خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و مؤسسه‌ی IIASA به سرپرستی پروفسور کیوان ریاحی در مؤسسه‌ی بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه‌ی آن، روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است.

سناریوی حد واسط (RCP_4.5): سناریوی RCP_4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.

سناریوی خوش‌بینانه (RCP_2.6): این سناریو توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از مؤسسه‌ی ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو دربرگیرنده‌ی کم‌ترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو، واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی، بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل‌توجهی کاهش یابند(ایمان بابائیان، ۱۳۹۱).

پس از بارگیری داده‌های CanESM2_rcp_2.6, 4.5, 8.5 و NCEP بازه‌ی زمانی موردنظر برای ۵۹ سال آینده (۲۰۷۳-۲۰۱۶) از داده‌های روزانه CanESM2_rcp_2.6, 4.5, 8.5 استخراج گردید و همچنین بازه‌ی زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۰ از داده‌های روزانه NCEP استخراج گردید. سپس با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM ابتدا هر سه سناریو بر اساس پارامترهای آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس سناریویی که از دقت آماری بالاتری در منطقه‌ی موردمطالعه برخوردار بود، به‌عنوان مدل و سناریویی که با شرایط منطقه تطابق بیش‌تری دارد (دقت آماری بالاتر) انتخاب گردید.

کوچک‌مقیاس کردن داده‌های اقلیمی: درنهایت، به منظور انتخاب مدل گردش عمومی جو و سناریوی مناسب داده‌های ریزمقیاس‌سازی‌شده توسط مدل با داده‌های دوره‌ی پایه مورد ارزیابی قرار گرفتند. جهت راستی آزمایی عملکرد مدل و مقایسه‌ی آن‌ها از دو روش ترسیمی و معیارهای آماری مرسوم PBISE, NSE, MAE, RMSE, R ^2 استفاده گردید. این معیارها بر اساس روابط یک تا پنج محاسبه می‌شوند:

رابطه‌ی ۱ $$\boldsymbol{PBIAS} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(o_i - s_i)*\mathbf{100}}{\sum_{i=1}^{n}(o_i)}\right]$$

رابطه‌ی ۲ $$\boldsymbol{NSE} = \mathbf{1} - \frac{\sum_{t=1}^{N}(o_i - s_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(o_i - \bar{o})}$$

رابطه‌ی ۳ $$\boldsymbol{MAE} = \mathbf{1/n}\ \sum_{i=1}^{n}\ (s_i - o_i)$$

رابطه‌ی ۴ $$\boldsymbol{RMSE} = \left[\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\ (s_i - o_i)^{\mathbf{2}}\right]^{\mathbf{1/2}}$$

رابطه‌ی ۵ $$\boldsymbol{R^2} = \left[\frac{\frac{1}{n}\sum_{m=1}^{n}(s_i - \bar{s})(o_i - \bar{o})}{\sigma_s * \sigma_o}\right]^2$$

که در آن: o_i داده‌های دوره‌ی پایه، s_i داده‌های برآورد شده و σ واریانس است. مقادیر RMSE و MAE معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری است. هرچه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان‌دهنده‌ی عدم وجود خطا در برآورد مدل است. R^2 بیانگر ارتباط داده‌های دوره‌ی پایه و برآورد شده است. دامنه‌ی این پارامتر بین صفر تا یک است؛ هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی ارتباط قوی بین

دو گروه است. دامنه‌ی ضریب NSE بین ∞− تا یک است؛ دامنه‌ی بین صفر تا یک قابل‌قبول و بهترین حالت زمانی است که ضریب NSE برابر یک باشد. PBIAS هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده‌ی دقت بالاتر مدل در برآورد متغیر موردنظر است. درصورتی‌که مقدار این پارامتر به سمت مثبت میل کند، نشان‌دهنده‌ی این است که متغیر موردبررسی بسیار کم‌تر از مقدار واقعی برآورد شده است. اگر این پارامتر به سمت منفی میل کند، نشان می‌دهد که پارامتر موردنظر مقدار متغیر را بسیار بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده است. قابل‌ذکر است که برای این پارامتر، آستانه‌ی خاصی در نظر گرفته نشده است(Moriasi et al, 2007).

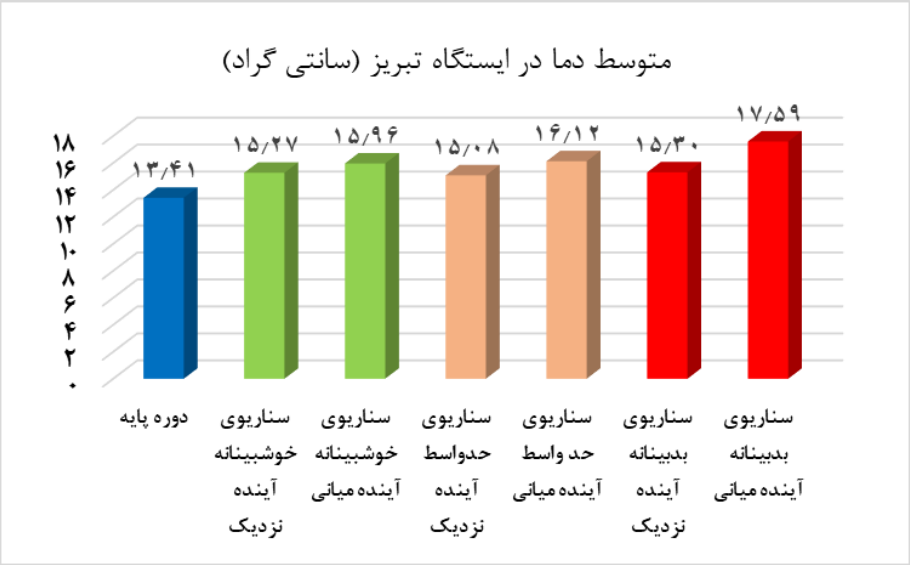
پس از آزمون، نرمال بودن داده‌ها توسط spss مشخص شد. داده‌ها در دو دوره‌ی نزدیک و میانی دارای توزیع نرمال بوده؛ بنابراین با استفاده از آزمون T وابسته (pair-sampels TTest)، میزان تغییر میانگین دما در ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره‌ی پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۵) نسبت به دوره‌ی آینده (سناریوی خوش‌بینانه) محاسبه گردید. آزمون T-TEST یکی از روش‌های پارامتری است که به منظور مقایسه و دستیابی به این امر که آیا تفاوت بین میانگین‌های دو گروه آماری معنی‌دار است یا نه؟ مورداستفاده قرار می‌گیرد (کلانتری: ۱۳۸۲).

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SDSM پس از انتخاب بهترین متغیر پیش‌بینی‌کننده و صحت‌سنجی داده‌ها، ریزگردانی داده‌ها برای دوره‌ی آینده به صورت روزانه در بازه‌ی زمانی ۵۹ ساله (۲۰۱۶-۲۰۷۳) برای سه سناریوی مذکور تولید شد.

با استفاده از نرم‌افزار SPSS، معادله‌ی رگرسیون خطی برای هر ایستگاه و هر سناریو جداگانه تولید و همچنین نقشه‌های پراکنش مکانی دما در دوره‌ی پایه و آینده در محیط نرم‌افزار ArcGIS ترسیم گردید. در مراحل مختلف این پژوهش از نرم‌افزارهای SPSS، SDSM, EXCEL, SURFER, Arc map, MATLAB نیز استفاده شده است.

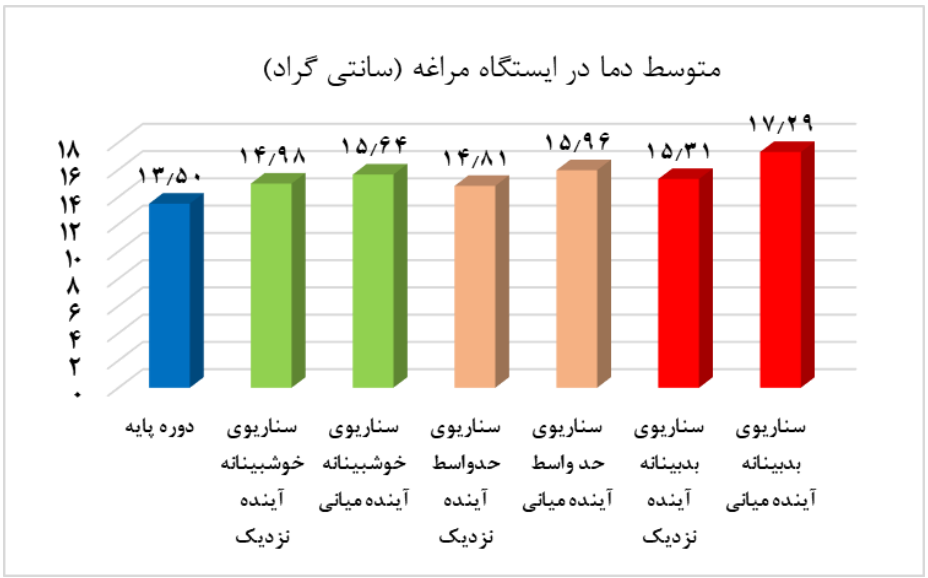
۴- نتایج و بحث

برای داده‌های پایه و آینده، میانگین سالیانه محاسبه و برای چهار ایستگاه موردمطالعه، نمودار ستونی میانگین دما برای دوره‌ی پایه و دوره‌های آینده تحت سه سناریوی واداشت تابشی ترسیم گردید و مورد مقایسه قرار گرفت. شکل-های (۲)، (۳)، (۴) و (۵) میانگین دمای چهار ایستگاه موردمطالعه در دوره‌ی پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۵) و آینده را تحت سه سناریو در دوره‌های نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴) و میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳) نشان می‌دهند. ایستگاه تبریز در دوره‌ی آینده تغییرات دمایی کم‌تری نسبت به دوره‌ی پایه دارد. در بهترین حالت، دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴) تحت سه سناریو است که تغییرات دمایی حدود ۲ درجه سانتی‌گراد است و در بدبینانه‌ترین حالت، دوره‌ی میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳) حدود ۴/۱۷ درجه سانتی‌گراد افزایش دما دارد.



شکل ۲: میانگین دما ایستگاه تبریز در دوره‌ی پایه، آینده‌ی نزدیک و میانی بر اساس سناریوهای مختلف

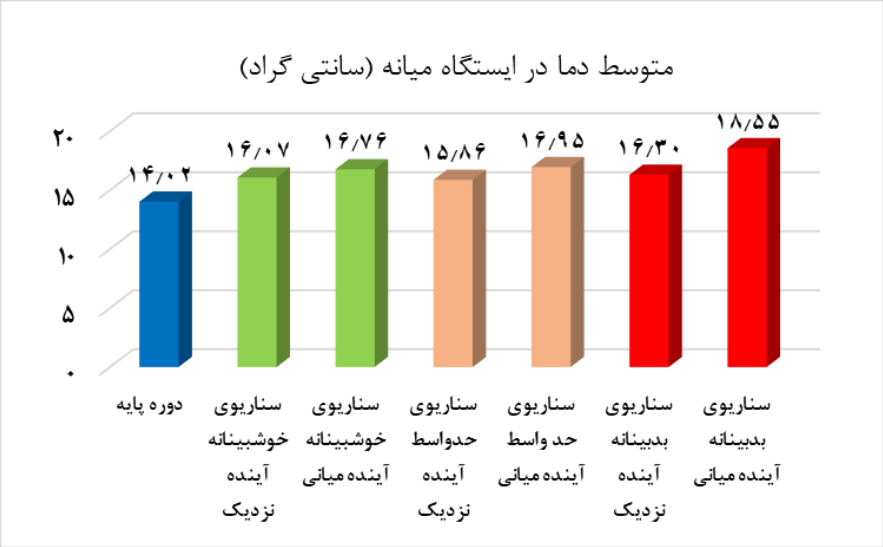
ایستگاه مراغه از لحاظ دمایی تفاوت چندانی با شهر تبریز ندارد. در سناریوی خوش‌بینانه و در دوره‌های آینده‌ی نزدیک و میانی کم‌تر از ۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی پایه افزایش دارد. متوسط دمای میانگین حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد در سناریوی خوش‌بینانه و حد واسط میانی و سناریوی بدبینانه نزدیک دارد. در بدترین حالت در دوره‌ی آینده‌ی میانی حدود ۳/۷۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را دارد که کم‌ترین تغییر دما را نسبت به سه ایستگاه موردمطالعه دارد.



شکل ۳: میانگین دما ایستگاه مراغه در دوره‌ی پایه، آینده‌ی نزدیک و میانی بر اساس سناریوهای مختلف

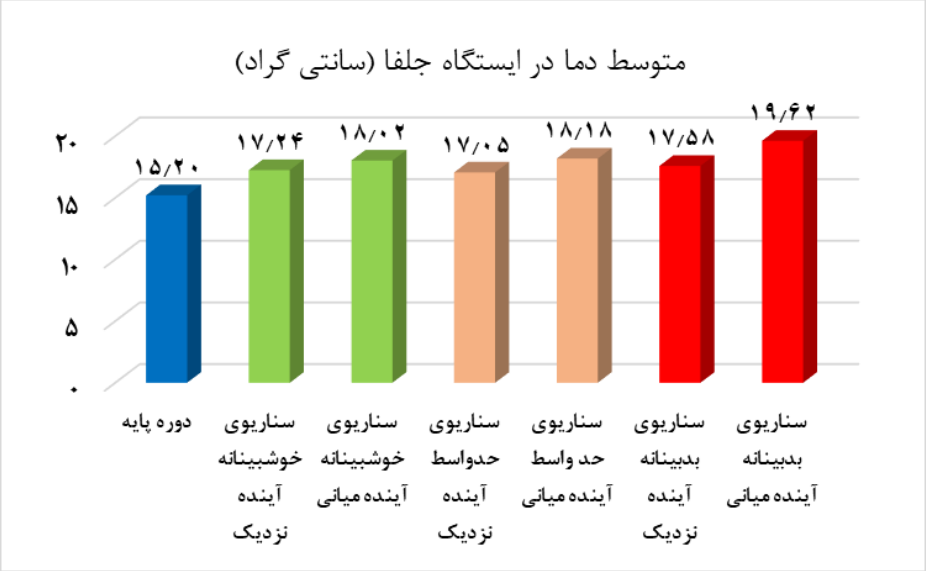
شهر میانه، پهناورترین شهرستان استان است و بعد از شهر جلفا به‌عنوان کم‌ارتفاع‌ترین شهر در میان شهرهای آذربایجان شرقی محسوب می‌شود. دمای شهر میانه در سناریوی حد واسط دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴) با افزایش حدود ۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی پایه، میانی و سایر سناریوها کم‌ترین تغییر را دارد. ایستگاه میانه،

بیش‌ترین افزایش دما را در دوره‌ی آینده‌ی میانی بر اساس سناریوی بدبینانه نسبت به سایر ایستگاه‌ها داراست که میزان این افزایش نسبت به دوره‌ی پایه‌ی این ایستگاه ۴/۵۱ درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۴: میانگین دما ایستگاه میانه در دوره‌ی پایه، آینده‌ی نزدیک و میانی بر اساس سناریوهای مختلف

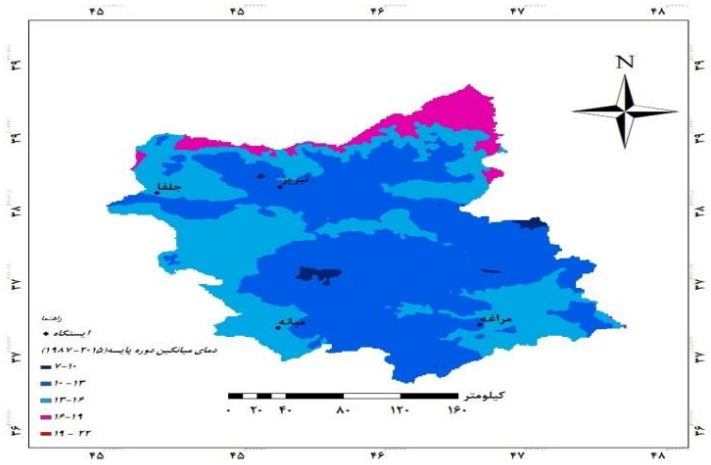
ایستگاه جلفا بیش‌ترین دمای دوره‌ی پایه نسبت به سه ایستگاه موردمطالعه دارد؛ به همین دلیل بیش‌ترین دما را در دوره‌ی آینده‌ی میانی بر اساس سناریوی بدبینانه دارد، اما نسبت به ایستگاه میانه تغییر کم‌تری دارد که میزان آن حدود ۴/۴۲ درجه سانتی‌گراد است و از نظر دمایی، گرم‌ترین ایستگاه است.



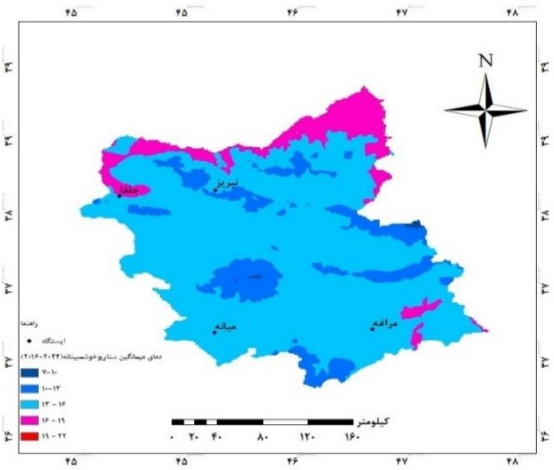
شکل ۵: میانگین دمای ایستگاه جلفا در دوره‌ی پایه، آینده‌ی نزدیک و میانی بر اساس سناریوهای مختلف

به منظور واکاوی تغییرات مکانی دما در دوره‌ی پایه و آینده‌ی دور و نزدیک بر اساس سناریوهای انتخابی، پهنه‌بندی دمایی استان با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS به وسیله‌ی روش کریجینگ صورت گرفت. مساحت و درصد هر پهنه برای دوره‌ی پایه و دوره‌های آینده‌ی نزدیک و میانی در شکل‌های (۶) تا (۱۲) و جدول (۱) نمایش داده شده

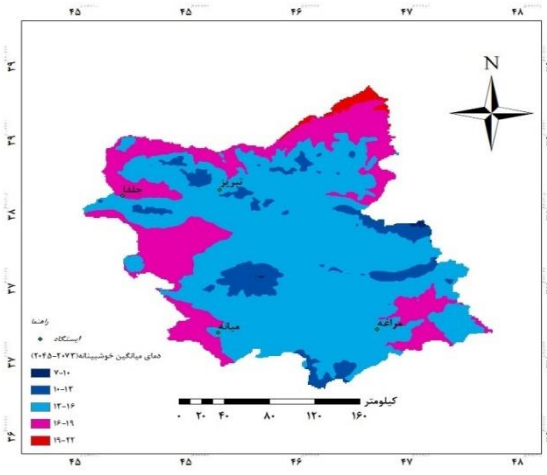
است. نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم باعث جابه‌جایی پهنه‌های دمایی و افزایش دما در منطقه‌ی موردمطالعه در دوره‌های آینده شده است. در دوره‌ی پایه، ۰/۹۷ درصد از مساحت استان در پهنه‌ی اول (سردترین پهنه) جای گرفته است؛ درصورتی‌که در دوره‌های آینده‌ی نزدیک و میانی در همه‌ی سناریوها این میزان کاهش پیدا می‌کند که نشان‌دهنده‌ی اثر گرمایش جهانی در سطح منطقه است. همچنین مساحت پهنه‌ی پنجم (گرم‌ترین پهنه) در دوره‌ی پایه و دوره‌ی نزدیک سناریوی حد واسط، صفر بوده است و در دوره‌ی میانی بر اساس سناریوی بدبینانه، ۶/۸۳ درصد افزایش می‌یابد که بازهم بیان‌کننده‌ی افزایش دما در استان آذربایجان شرقی در دوره‌ی آینده (۲۰۱۵-۲۰۷۳) است. همچنین می‌توان اشاره کرد حداقل دما در دوره‌ی پایه، ۷ درجه و حداکثر دما در این دوره، ۱۹ درجه است؛ درحالی‌که در دوره‌ی آینده در سناریوی بدبینانه میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳)، حداقل دما ۱۰ درجه و حداکثر دما ۲۲ درجه است که این امر نشان‌دهنده‌ی افزایش دما در اثر تغییر اقلیم در آینده است. بیش از ۹۸ درصد پهنه‌ی منطقه‌ی موردمطالعه در پهنه‌ی دمایی ۱۰ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد قرار دارد که در آینده از میزان مساحت این پهنه‌ی دمایی و به‌ویژه پهنه‌ی دمایی سرد کاسته می‌شود.



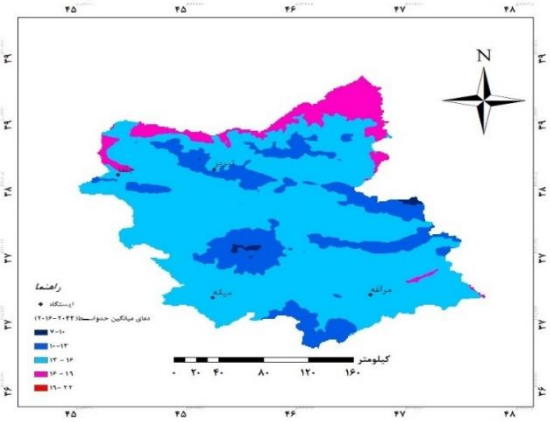
شکل ۶: پراکنش مکانی دمای متوسط در دوره‌ی پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۵)



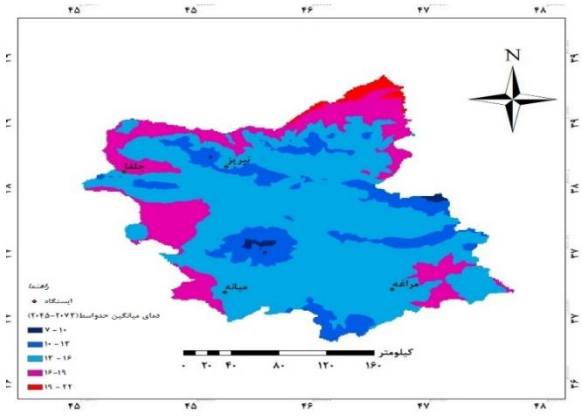
شکل ۷: پراکنش مکانی دمای متوسط در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴)، سناریوی خوش‌بینانه



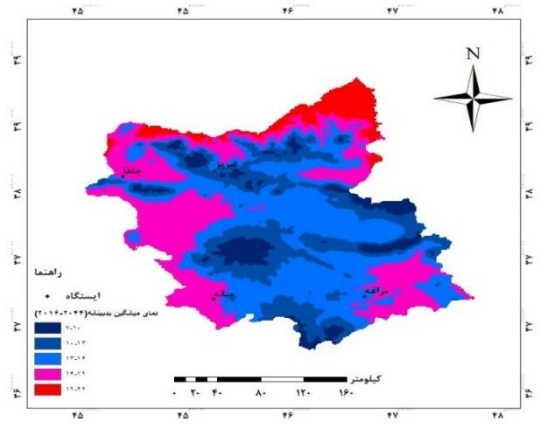
شکل ۸: پراکنش مکانی دمای متوسط در دوره‌ی آینده‌ی میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳)، سناریوی خوش‌بینانه



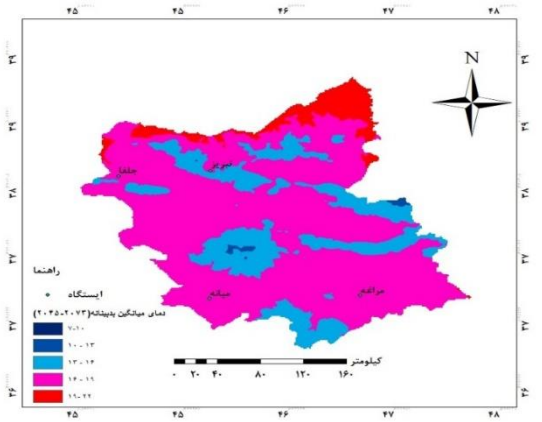
شکل ۹: پراکنش مکانی دمای متوسط در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴)، سناریوی حد واسط



شکل ۱۰: پراکنش مکانی دمای متوسط در دوره‌ی آینده‌ی میانی (۲۰۷۳-۲۰۴۵)، سناریوی حد واسط



شکل ۱۱: پراکنش مکانی دمای متوسط در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴)، سناریوی بدبینانه



شکل ۱۲: پراکنش مکانی دمای متوسط در دوره‌ی آینده‌ی میانی (۲۰۷۳-۲۰۴۵)، سناریوی بدبینانه

جدول ۱: مساحت پهنه‌های متوسط دمای سالیانه‌ی دوره‌ی پایه و آینده‌ی نزدیک و میانی بر اساس سناریوهای واداشت تابشی(٪)

میانگین دما	۷-۱۰	۱۰-۱۳	۱۳-۱۶	۱۶-۱۹	۱۹-۲۲
دوره‌ی پایه	۰/۹۷	۵۵/۸۸	۴۲/۳۷	۰/۷۷	۰
دوره‌ی نزدیک Rcp_2.6	۰/۲۲	۱۳/۷۸	۷۵/۴۹	۱۰/۴۹	۰/۰۰۴
دوره‌ی میانی Rcp_2.6	۰/۱۶	۸/۷۵	۶۵/۵۵	۲۴/۳۵	۱/۱۷
دوره‌ی نزدیک Rcp_4.5	۰/۴۵	۱۸/۶۰	۷۲/۸۶	۸/۰۷	۰
دوره‌ی میانی Rcp_4.5	۰/۵۷	۱۴/۳۹	۶۴/۲۶	۱۹/۲۸	۱/۴۸
دوره‌ی نزدیک Rcp_8.5	۰/۴۸	۱۴/۴۶	۷۱/۹۸	۱۲/۲۷	۰/۷۸
دوره‌ی میانی Rcp_8.5	۰/۰۰۲	۰/۵۱	۲۰/۷۸	۷۱/۸۶	۶/۸۳

با توجه به شکل‌های (۶) تا (۱۲) و جدول (۱) مشاهده می‌گردد پهنه‌ی سرد منطبق بر ارتفاعات و ستیغ کوه‌ها (رشته‌کوه‌ها و دامنه‌های سهند) است و پهنه‌هایی گرم هم منطبق بر نواحی پست و کم‌ارتفاع است (شمال و شمال شرق استان) که در آینده نسبت به دوره‌ی پایه از مساحت پهنه‌های سرد کاسته شده و بر مساحت پهنه‌های گرم

به‌ویژه در آینده‌ی میانی بر اساس سناریوی بدبینانه افزوده می‌گردد و مرز پهنه‌های دمایی با افزایش دما در نتیجه‌ی تغییر اقلیم دچار نوسان و تغییر می‌گردد؛ به‌بیان‌دیگر، تغییر اقلیم مرز پهنه‌هایی دمایی را درمی‌نوردد.

آماره‌های آزمون مقایسه‌ی میانگین در دوره‌ی پایه و آینده (سناریوهای واداشت تابشی)(pair-samples - T Test) برای سناریوی خوش‌بینانه:

با توجه به جدول (۲) و (۳) مشاهده می‌شود میزان تغییر میانگین دما در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه در تمام ایستگاه‌ها دارای تغییر معنی‌دار بوده که این تغییر افزایشی است؛ یعنی در دوره‌ی آینده، دما در ایستگاه‌های موردمطالعه افزایش می‌یابد. وقتی اختلاف میانگین در حدفاصل اطمینان ۹۵ درصد مابین کران بالا و پایین قرار گیرد و سطح معنی‌داری زیر ۰/۰۵ باشد، در این صورت تغییرات میانگین معنی‌دار خواهد بود. ملاحظه می‌شود تمام ایستگاه‌ها دارای تغییر معنی‌دار افزایشی هستند.

جدول ۲: میزان تغییر میانگین دما ایستگاه‌های منطقه‌ی موردمطالعه در دوره‌ی پایه نسبت به دوره‌ی آینده در سناریوی خوش‌بینانه نزدیک (۲۰۱۶-۲۰۴۴)

آماره‌ها / ایستگاه	اختلاف میانگین دما نسبت به دوره‌ی پایه	انحراف معیار	خطای استاندارد میانگین	مقادیر محاسبه‌شده	حدفاصل اطمینان ۹۵ درصد		درجه‌ی آزادی	درجه‌ی معناداری
				توسط t	مرز بالا	مرز پایین		
میانه	+۲/۰۴۱۱۸	.۹۳۳۰۱	.۱۷۳۲۶	+۱۱/۷۸۱	+۲/۳۹	+۱/۶۸	۲۸	.۰۰۰
مراغه	+۱/۴۸۵۷۱	.۹۵۰۵۲	.۱۷۶۵۱	+۸/۴۱۷	+۱/۸۴	+۱/۱۲	۲۸	.۰۰۰
جلفا	+۲/۰۴۸۰۷	۱/۰۲۹۸۳	.۱۹۱۲۴	+۱۰/۷۱۰	+۲/۴۱	+۱/۷۲	۲۸	.۰۰۰
تبریز	+۱۱۸۵۲۳۲	.۹۳۸۷۲	.۱۷۴۳۲	+۱۰/۶۲۶	+۲/۲۰	+۱/۴۹	۲۸	.۰۰۰

جدول ۳: مقایسه‌ی میانگین دما در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه بر اساس سناریوی خوش‌بینانه میانی (۲۰۴۵-۲۰۷۳) در ایستگاه‌های موردمطالعه

آماره‌ها / ایستگاه	اختلاف میانگین دما نسبت به دوره‌ی پایه	انحراف معیار	خطای استاندارد میانگین	مقادیر محاسبه‌شده	حدفاصل اطمینان ۹۵ درصد		درجه‌ی آزادی	درجه‌ی معناداری
				توسط t	مرز بالا	مرز پایین		
میانه	+۲/۷۲۷۲۵	۱/۳۳۹۷۵	.۲۴۸۷۸	+۱۰/۹۶۲	+۳/۲۳	+۲/۲۱	۲۸	.۰۰۰
مراغه	+۲/۱۳۵۹۰	۱/۳۰۷۴۸	.۲۴۲۷۹	+۸/۷۹۷	+۲/۶۳	+۱/۶۳	۲۸	.۰۰۰
جلفا	+۲,۸۲۴۸۲	۱/۲۲۵۷۲	.۲۲۷۶۱	+۱۲/۴۱۱	+۳/۲۹	+۲/۳۵	۲۸	.۰۰۰
تبریز	+۲/۵۸۹۶۷	۱/۱۶۳۳۷	.۲۱۶۱۱	+۱۱/۹۸۳	+۳/۰۳	+۲/۴	۲۸	.۰۰۰

آماره‌های آزمون مقایسه‌ی میانگین دما در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه بر اساس سناریوی حد واسط در ایستگاه‌های موردمطالعه:

برای مقایسه‌ی میانگین دما در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک و میانی نسبت به دوره‌ی پایه بر اساس سناریوی حد واسط در ایستگاه‌های موردمطالعه، از آزمون T جفتی برای گروه‌های وابسته استفاده گردید. بر اساس جدول (۴) و (۵) مشاهده می‌شود تغییر میانگین در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه معنی‌دار بوده است. همچنین قرار گرفتن مقدار اختلاف میانگین در کران پایین و بالای اطمینان ۹۵ درصد، نشان‌دهنده‌ی معنی‌دار بودن تغییرات میانگین است. تغییرات میانگین در ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۵) (بر اساس

سناریوی حد واسط)، نشان‌دهنده‌ی افزایش دما در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه است. طبق جدول‌های (۴) و (۵)، بیش‌ترین افزایش دما در ایستگاه جلفا و کم‌ترین میزان افزایش متوسط دما در ایستگاه مراغه در آینده بر اساس سناریوی حد واسط رخ خواهد داد.

جدول ۴: میزان تغییر میانگین دما ایستگاه‌های منطقه‌ی موردمطالعه در دوره‌ی آینده نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه بر اساس سناریوی حد واسط (۲۰۱۶-۲۰۴۴)

آماره‌ها / ایستگاه	اختلاف میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد میانگین	مقادیر محاسبه‌شده توسط t	حدفاصل اطمینان ۹۵ درصد		درجه‌ی آزادی	درجه‌ی معناداری
					مرز بالا	مرز پایین		
میانه	+۱/۸۳۱۶۸	۱/۰۴۱۲۳	.۱۹۳۳۵	+۹/۴۷۳	+۲/۲۲	+۱/۴۳	۲۸	.۰۰۰
مراغه	+۱/۱۱۰۱	۱/۰۲۳۶۸	.۱۹۰۰۹	+۶/۸۹۷	+۱/۷۰	+۰/۹۷	۲۸	.۰۰۰
جلفا	+۱/۸۵۸۴۶	۱/۰۸۴۵۹	.۲۰۱۴۰	+۹/۲۲۸	+۲/۲۷	+۱/۴۴	۲۸	.۰۰۰
تبریز	+۱/۶۶۹۸۹	.۹۹۰۱۴	.۱۸۳۸۶	+۹,۰۸۲	+۳/۰۸	+۲/۳۹	۲۸	.۰۰۰

جدول ۵: میزان تغییر میانگین دما ایستگاه‌های منطقه‌ی موردمطالعه در دوره‌ی آینده‌ی میانی نسبت به دوره‌ی پایه در سناریوی حد واسط (۲۰۴۵-۲۰۷۳)

آماره‌ها / ایستگاه	اختلاف میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد میانگین	مقادیر محاسبه‌شده توسط t	حدفاصل اطمینان ۹۵ درصد		درجه‌ی آزادی	درجه‌ی معناداری
					مرز بالا	مرز پایین		
میانه	+۲/۹۶۵۳۳	.۹۰۱۹۳	.۶۷۴۸ ۱	+۱۷/۷۰۵	+۳/۳۰	+۲/۶۲	۲۸	.۰۰۰
مراغه	+۲/۴۵۹۴۰	.۸۴۶۶۵	.۱۵۷۲۲	+۱۵/۶۴۳	+۲/۷۸	+۲/۱۳	۲۸	.۰۰۰
جلفا	+۲/۹۸۵۴۹	۱/۰۴۷۵۸	.۱۹۴۵۳	+۱۵/۳۴۷	+۳/۳۸	+۲/۳۸	۲۸	.۰۰۰
تبریز	+۲/۷۳۹۳۷	.۸۳۶۹۴	.۱۶۶۵۶	+۱۶/۴۴۷	+۲/۵۶	+۱/۲۵	۲۸	.۰۰۰

۴-۱- مقایسه‌ی متوسط دما در دوره‌ی آینده نسبت به دوره‌ی پایه بر اساس سناریوی بدبینانه در ایستگاه‌های موردمطالعه

پس از انجام آزمون تی جفتی وابسته برای واکاوی تغییر متوسط دما در دوره‌ی آینده‌ی (نزدیک و میانی) نسبت به دوره‌ی پایه بر اساس سناریوی بدبینانه در ایستگاه‌های منتخب نتایج در جدول‌های (۶) و (۷) ارائه گردید. با توجه به جدول (۶) و (۷) مشاهده می‌شود میزان تغییر میانگین دما در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه معنی‌دار است. تغییرات میانگین در این ایستگاه‌ها مثبت بوده که این امر نشان‌دهنده‌ی افزایش دما در تمام ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره‌ی آینده است. بیش‌ترین افزایش دما در آینده‌ی نزدیک در ایستگاه جلفا و در آینده‌ی میانی در ایستگاه میانه رخ خواهد داد و کم‌ترین میزان افزایش دما نیز در آینده در ایستگاه مراغه بر اساس سناریوی بدبینانه اتفاق خواهد افتاد.

جدول ۶: میزان تغییر میانگین دمای ایستگاه‌های منطقه‌ی موردمطالعه در دوره‌ی آینده‌ی نزدیک نسبت به دوره‌ی پایه در سناریوی بدبینانه (۲۰۱۶-۲۰۴۴)

آماره‌ها / ایستگاه	اختلاف میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد میانگین	مقادیر محاسبه‌شده توسط t	حدفاصل اطمینان ۹۵ درصد		درجه‌ی آزادی	درجه‌ی معناداری
					مرز بالا	مرز پایین		
میانه	+۲/۲۷۴۵۰	۱/۰۹۷۱۳	.۲۰۳۷۳	+۱۱/۱۶۴	+۲/۶۹	+۱/۸۷	۲۸	.۰۰۰
مراغه	+۱/۸۰۱۹۶	.۸۹۴۴۴	.۱۶۶۰۹	+۱۰/۸۴۹	+۲/۱۴	+۱/۴۶	۲۸	.۰۰۰
جلفا	+۲/۳۸۶۰۹	۱/۰۸۶۷۹	.۲۰۱۸۱	+۱۱/۸۲۳	+۲/۷۹	+۱/۹۷	۲۸	.۰۰۰
تبریز	+۱/۹۰۸۴۹	۱/۶۸۸۸۹	.۳۱۹۱۷	+۵/۹۸۰	+۲/۵۶	+۱/۲۵	۲۸	.۰۰۰

جدول ۷: میزان تغییر میانگین دما ایستگاه‌های منطقه‌ی موردمطالعه در دوره‌ی آینده‌ی میانی نسبت به دوره‌ی پایه در سناریوی بدبینانه (۲۰۴۵-۲۰۷۳)

آماره‌ها / ایستگاه	اختلاف میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد میانگین	مقادیر محاسبه‌شده توسط t	حدفاصل اطمینان ۹۵ درصد		درجه‌ی آزادی	درجه‌ی معناداری
					مرز بالا	مرز پایین		
میانه	+۴/۶۱۲۴۷	۱/۰۵۱۰۵	.۱۹۵۱۸	۲۳/۶۳۲	+۵/۰۱	+۴/۲۱	۲۸	.۰۰۰
مراغه	+۳/۸۷۳۹۱	۱/۸۲۲۹۲	.۱۵۲۸۱	+۲۵/۳۵۱	+۴/۱۸	+۳/۵۶	۲۸	.۰۰۰
جلفا	+۴/۵۲۷۳۹	۱/۲۴۲۱۹	.۲۳۰۶۷	+۱۹/۶۲۷	+۴/۹۹	+۴/۰۵	۲۸	.۰۰۰
تبریز	+۴/۱۱۲۷۴	۱/۹۵۲۳۳	.۲۳۲۵۵	+۱۷/۶۸۵	+۴/۵۷	+۳/۶۳	۲۸	.۰۰۰

۵- نتیجه‌گیری

با واکاوی تغییرات دمای متوسط روزانه‌ی ایستگاه‌های موردمطالعه در دوره‌ی آینده (۲۰۱۶-۲۰۷۳) نسبت به دوره‌ی پایه (۱۹۸۷-۲۰۱۵) تحت سه سناریوی واداشت تابشی مشخص گردید که تغییر اقلیم در این منطقه باعث افزایش دمای محسوس هوا شده است؛ به‌طوری‌که به‌عنوان نمونه در ایستگاه همدید تبریز در بدترین حالت (سناریوی بدبینانه) شاهد افزایش متوسط دما به میزان ۴,۱۷ درجه سانتی‌گراد در آینده خواهد بود و در بهترین حالت (سناریوی خوش‌بینانه)، میزان این افزایش ۱/۸۵ درجه سانتی‌گراد است. با توجه به نتایج ذکرشده، بیش‌ترین افزایش دما نسبت به دوره‌ی پایه برای ایستگاه همدید میانه به میزان ۴,۵۱ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین افزایش دما نسبت به دوره‌ی پایه، مربوط به ایستگاه همدید مراغه به میزان ۳,۷۸ درجه سانتی‌گراد بوده است. به نظر می‌رسد افزایش دمای کم‌تر در ایستگاه مراغه می‌تواند به دلیل واقع‌شدن شهرستان مراغه در دامنه‌ی جنوبی کوه سهند و در مجاورت رودخانه‌ی صوفی‌چای باشد. در آینده از مساحت پهنه‌هایی دمایی سرد منطقه‌ی موردمطالعه کاسته شده و بر مساحت پهنه‌های گرم افزوده می‌گردد و مرزهای طبقات دمایی دچار دگرگونی می‌شود که این امر هم نشان‌دهنده‌ی وجود تغییر اقلیم در منطقه خواهد بود و برنامه‌ریزان بخش‌های مختلف ازجمله کشاورزی، صنعتی، اقتصادی و شهری بایستی به این مهم توجه کافی داشته باشند.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد تغییرات میانگین دما دارای روند معنی‌دار است و دما در ایستگاه‌های موردمطالعه در حال افزایش است. نتایج این تحقیق با نتایج عزیزی و همکاران (۱۳۸۷)، حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) و پیرنیا و همکاران (۱۳۹۴) همسو بوده است. در این پژوهش، روند تغییرات میانگین دمای استان آذربایجان شرقی موردمطالعه قرار گرفت. با توجه به این واکاوی می‌توان بیان کرد در دوره‌ی آینده دمای هوا افزایش یافته است.

۶- منابع

۱. پیرنیا، عبدالله، حبیب‌نژاد روشن، محمود، سلیمانی، کریم (۱۳۹۴). بررسی تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه‌ی آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره‌ی شمالی. پژوهشنامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز، سال ششم، شماره‌ی ۱۱، صص ۶۸-۶۳.

۲. حجازی‌زاده، زهرا، پروین، نادر (۱۳۸۸). بررسی تغییرات دما و بارش تهران طی نیم‌قرن اخیر. جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای- پیش‌شماره‌ی پاییز و زمستان، صص ۵۶ -۴۳.

۳. حق‌طلب، نفیسه، گودرزی، محسن، حبیبی نوخندان، مجید (۱۳۹۲). مدل‌سازی اقلیم استان‌های تهران و مازندران با استفاده از مدل اقلیمی LARS-WG و مقایسه‌ی تغییرات آن در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مرکزی. فصلنامه‌ی علوم و تکنولوژی محیط زیست دوره‌ی ۱۵، شماره‌ی ۱، تهران، صص ۴۹-۳۷.

۴. خوش‌اخلاق، فرامرز، غریبی، ابراهیم، شفیعی، زلیخا (۱۳۹۰). نگرشی بر تغییرات حداقل‌های مطلق دما در پهنه‌ی ایران‌زمین. مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره‌ی پیاپی ۴۲، شماره‌ی ۲، صص ۲۱۶-۱۹۹.

۵. دهقانی‌پور، امیرحسین، حسن‌زاده، محمدجواد، عطاری، جال، عراقی‌نژاد، شهاب (۱۳۹۰). ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز). یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، صص ۹۳-۴۸.

۶. رحیم‌زاده، فاطمه، عسگری، احمد (۱۳۸۳). نگرشی بر تفاوت نرخ افزایش دمای حداقل و حداکثر و کاهش دامنه‌ی شبانه‌روزی دما در کشـور. فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۷۳، صص ۱۵۶-۱۵۴.

۷. رسولی، علی‌اکبر، بابائیان، ایمان، قائمی، هوشنگ، زوار رضا، پیمان (۱۳۹۲). بررسی تغییرات دمای سطح پهنه‌های آبی مؤثر بر ایران در دوره ۲۰۰۸-۱۸۵۴، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره‌ی ۴۷، صص ۹۲-۳۹.

۸. سالنامه‌ی آماری استان آذربایجان شرقی، (۱۳۹۶).

۹. سلیمی‌فرد، مژده، ثنائی‌نژاد، سیدحسین، جباری نوقابی، مهدی، ثابت دیزاوندی، لیلا (۱۳۹۶). شناسایی اثر اقلیم بر پدیده‌های حدی دما در استان خراسان رضوی (مطالعه‌ی موردی: ۲۰۰۵-۱۹۹۰). نشریه‌ی پژوهش اقلیم‌شناسی، سال هشتم، شماره‌ی ۲۹ و ۳۰، ص ۱۱۱.

۱۰. عزیزی، قاسم، شمسی‌پور، علی‌اکبر، یاراحمدی، داریوش (۱۳۸۷). بازیابی تغییر اقلیم در نیمه‌ی غربی کشور با استفاده از تحلیل‌های آماری چندمنظوره. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی-شماره‌ی ۶۶، صص ۳۵- ۱۹.

۱۱. فرجزاده اصل، منوچهر، فضلی، وحید (۱۳۹۱). آشکارسازی تغییرهای زمانی- مکانی عناصر دما و بارش در ایران. فصلنامه‌ی مدرس علوم انسانی- برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره‌ی شانزدهم، شماره‌ی ۴، صص ۴۱-۱۱.

۱۲. فلاح قالهری، غلامعباس، اسماعیلی، رضا، شاکری، فهیمه (۱۳۹۵). ارزیابی روند تغییرات فصلی تنش‌های گرمایی طی نیم‌قرن اخیر در چند نمونه‌ی اقلیمی ایران. مجله‌ی سلامت و محیط‌زیست، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره‌ی نهم، شماره‌ی دوم، صص ۲۴۶ - ۲۳۳.

۱۳. قهاری، غلامرضا، گندم‌کار، امیر، نجف‌پور، بهرام، نجابت، مسعود (۱۳۹۴). بررسی روند تغییرات دمای ایستگاه همدید شیراز به روش آماری مَن-کِندال. فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، سال هشتم، شماره‌ی ۲۷، صص ۸۹-۸۶.

۱۴. کلانتری، خلیل (۱۳۸۲). پردازش و تحلیل داده‌ها در تحقیقات اجتماعی- اقتصادی، تهران: نشر شریف.

15. Bartholy, J., & Pongrácz, R. (2007). Regional analysis of extreme temperature and precipitation indices for the Carpathian Basin from 1946 to 2001. Global and Planetary change, 57(1-2), 83-95.

16. Cox, R. A., Drews, M., Rode, C., & Nielsen, S. B. (2015). Simple future weather files for estimating heating and cooling demand. Building and Environment, 83, 104-114.

17. Varfi, M. S., Karacostas, T. S., Makrogiannis, T. J., & Flocas, A. A. (2009). Characteristics of the extreme warm and cold days over Greece. Advances in Geosciences, 20, 45-50.

18. Chen, H., Xu, C. Y., & Guo, S. (2012). Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. Journal of hydrology, 434, 36-45.

19. Cony, M., Hernández, E., & Del Teso, T. (2008). Influence of synoptic scale in the generation of extremely cold days in Europe. Atmósfera, 21(4), 389-401.
20. Moriasi, D N., Arnold JG., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50(3), 885-900.
21. Meenu, R., Rehana, S., & Mujumdar, P. P. (2013). Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga–Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM. Hydrological Processes, 27(11), 1572-1589.
22. Nury, A. H., & Alam, M. J. B. (2014). Performance study of global circulation model HADCM3 using SDSM for temperature and rainfall in North-Eastern Bangladesh. Journal of Scientific Research, 6(1), 87-96.
23. TUeRKES, M. U. R. A. T., SUeMER, U. M., & Kiliç, G. (1996). Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 16(4), 463-477.
24. Unkašević, M., Vujović, D., & Tošić, I. (2005). Trends in extreme summer temperatures at Belgrade. Theoretical and Applied Climatology, 82(3), 199-205.