

اثرات تغییر اقلیم بر روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما بر اساس گزارش پنجم IPCC (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی)

الهام عابدینی^۱، محمد موسوی بایگی^{۲*}، عباس خاشعی سیوکی^۲، یحیی سلامی ورزی^۴

۱- دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۲- استاد هواشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳- استاد مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، ایران

۴- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

چکیده

در سال‌های اخیر توجه به تغییرات اقلیمی به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده است. مطالعه مقادیر حدی در برنامه ریزیه‌ها و سیاست‌گذارانه‌های بخش کشاورزی و مدیریت منابع آب اهمیت بسیار دارد. لذا در این پژوهش برای مطالعه اثرات تغییرات اقلیمی بر روند نمایه‌های حدی دما، از داده‌های روزانه دمای ۱۷ ایستگاه هواشناسی استان خراسان جنوبی در دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۲ و بر اساس مدل اقلیمی MIROC5 و روش ریزمقیاس نمایی دلتا بر اساس گزارش پنجم IPCC داده‌های دوره میانی ۲۰۱۷-۲۰۵۰ شبیه‌سازی شدند. سپس ۱۶ نمایه حدی دما که توسط گروه کارشناسی ETCCDMI تعریف شده است با استفاده از بسته نرم افزاری RCLimindex در محیط نرم افزار برنامه نویسی R محاسبه شدند. از آزمون‌های ناپارامتری من کندال و پارامتری رگرسیون خطی برای بررسی روند نمایه‌ها استفاده شد و احتمال وقوع کلیه نمایه‌ها در سطوح احتمالاتی ۰/۸، ۰/۹۶ و ۰/۹۹۵ محاسبه و نقشه‌های پهنه‌بندی احتمال وقوع نمایه‌ها نیز با استفاده از روش زمین‌آماری کریجینگ معمولی ترسیم شدند. نتایج نشان داد که نمایه‌های حدی سرد TXn و IDO، CSDI در اکثر ایستگاه‌ها در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در حال افزایش و نمایه‌های FDO، TN10P و TX10P در اکثر ایستگاه‌ها در حال کاهش هستند. نمایه‌های حدی گرم روند افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 دارند و سناریوهای آینده نشان می‌دهد که احتمال خطر افزایش نمایه‌های حدی گرم علاوه بر غرب استان به سمت جنوب و مرکز استان و احتمال خطر کاهش نمایه‌های حدی سرد از شمال به شمال شرق استان کشیده می‌شود.

کلید واژه‌ها: رویدادهای حدی اقلیمی، نمایه‌های حدی، روند، RCP، خراسان جنوبی.

مقدمه

در سال‌های اخیر وقوع پدیده‌های حدی مثل طوفان‌های سهمگین، خشک‌سالی‌های شدید، یخبندان‌ها و امواج گرما و سرما و غیره افزایش یافته است. مطابق با گزارش‌های هیئت بین‌دولت‌های تغییرات آب‌وهوا (IPCC¹) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از دوران پیش از شکل‌گیری صنعت افزایش یافته (IPCC, 2014) که منجر به افزایش دمای اتمسفر شده است (کارل و ترنبرس، ۲۰۰۳). این افزایش دما منجر به تغییرات در الگوهای آب و هوایی در سراسر جهان می‌شود که اثرات آن در سامانه‌های طبیعی مشهود است (ترنبرس، ۲۰۱۱؛ آرنل و گوزنیل، ۲۰۱۶).

مشخصه اصلی تغییر اقلیم جابه‌جایی میانگین پارامترهای اقلیمی و افزایش فراوانی وقوع پدیده‌های حدی اقلیمی است (WMO, 1998). گزارش پنجم IPCC نشان می‌دهد که از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ با افزایش میانگین جهانی دمای سطح زمین و اقیانوس به میزان ۰/۸۳ (۱/۰۶-۰/۶۵) درجه سلسیوس، کمینه‌های دما نسبت به بیشینه‌های آن افزایش، فراوانی روزهای یخبندان کاهش و فراوانی شب‌های حاره‌ای افزایش معنی‌داری در دهه‌های آینده خواهند داشت (Kharin, 2013). تعداد روزها و شب‌های سرد به‌طور معناداری در مقیاس جهانی در حال کاهش می‌باشد در حالی که تعداد روزها و شب‌های گرم در حال افزایش است (IPCC, 2014).

پدیده‌های حدی اقلیمی پدیده‌هایی هستند که از نظر شدت و فراوانی کمیاب هستند و بروز تغییر در شدت و مدت آنها موجب خسارت‌های زیادی به محیط‌زیست، کشاورزی و اقتصاد می‌شود. پروژه مشترکی در چهارچوب فعالیت‌های سازمان جهانی هواشناسی، بین کمیسیون اقلیم‌شناسی CCL²، تغییرپذیری و پیش‌بینی پذیری اقلیم CLIVAR³ و برنامه تحقیقات جهانی WCRP⁴ در زمینه پایش و آشکارسازی تغییر اقلیم و نمایه‌های آن انجام و روابط خاصی برای محاسبه نمایه‌های مختلف ارائه شد که نتیجه آن تولید چند نرم‌افزار مانند Climdex و RCLimdex بود (Zhang, 2007).

تغییرات اقلیمی در کل کره زمین مشابه نیست و در مناطق مختلف به شکل‌های مختلفی رخ می‌دهد. در کشور ایران این تغییرات با افزایش دما و کاهش بارش‌ها در اکثر مناطق کشور خود را نشان داده است. محمدی و تقوی (۲۰۰۵) در ایران روند نمایه‌های حدی دما و بارش را در تهران مورد بررسی قرار دادند. آنها از داده‌های روزانه دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش ایستگاه سینوپتیکی مهرآباد - تهران در دوره آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ استفاده کردند و توزیع دنباله‌های حدهای گرم و سرد و کاربرد نمایه‌ها نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که نمایه‌های تعداد روزهای یخبندان با دمای حداقل زیر صفر درجه سلسیوس FD و تعداد روزهای یخی با دمای حداکثر زیر صفر درجه سلسیوس ID یا نمایه‌های سرد روند کاهشی محسوسی دارند و از طرفی روند دمای حداقل و دمای متوسط روزانه کاملاً افزایشی است و شیب مثبت دارد. این در حالی است که روند افزایشی دمای حداکثر شیب کمتری دارد. نمایه‌های حدی بارش نیز روند کاهشی با شیب بسیار کم را نشان دادند. علیجانی و فرج زاده (۲۰۱۵) ۱۶ شاخص حدی دما در ۱۳ ایستگاه هواشناسی در شمال غرب ایران را با استفاده از بسته نرم‌افزاری RCLimdex استخراج و از روش من کندال برای بررسی وجود روند و از روش موجک برای بررسی تغییرات و نوسان‌های دوره‌ای موجود در سری‌ها استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که روند نمایه‌های حدی در اکثر ایستگاه‌های منتخب حاکی از کاهش فراوانی نمایه‌های حدی سرد و افزایش فراوانی نمایه‌های حدی گرم است. نتایج حاصل از تحلیل تئوری موجک نشان داد که نمایه‌های حدی سرد دارای نوسان‌های دوره‌ای معنی‌دار کاملاً آشکار طی چرخه‌های زمانی ۲ تا ۴ ساله بودند و در بین نمایه‌های حدی گرم تنها نمایه گرم‌ترین دمای روز TXx در چرخه زمانی ۲ تا ۴ ساله و نمایه تعداد شب‌های حاره‌ای در چرخه‌های زمانی ۴ تا ۸ ساله بارزترین محدوده‌های معنی‌داری را نشان دادند. کوزه‌گران و موسوی بایگی (۲۰۱۵) روند رویدادهای حدی اقلیمی را در شمال شرق ایران با استفاده از آزمون من کندال مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که نمایه‌های حدی گرم روند

1. Intergovernmental Panel on Climate Change
3. World Climate Research Programme

2. Commission for Climatology
4. Climate Variability and Predictability

بعد از تغییر به‌منظور یافتن الگوهای افزایش یا کاهش احتمالی انجام شد. نتایج نشان داد که تغییرات در میانگین و دوره بازگشت آن بین دوره‌های قبل از تغییر آب‌وهوا و بعد از تغییر آب‌وهوا در نمایه‌های حدی مختلف در زمان و مکان به میزان قابل‌توجهی متفاوت است. افزایش نمایه‌های حدی گرم درجه حرارت بعد از دوره تغییرات آب‌وهوا دیده می‌شود که باعث آب‌وهوای گرم‌تر در این منطقه شده است. ژائو و همکاران (۲۰۱۹) به تحلیل منطقه‌ای نمایه‌های حدی دمای حوضه رودخانه هایپی چین طی دوره ۱۹۶۰-۲۰۰۹ پرداختند. نتایج نشان داد که در سراسر حوضه نمایه‌های حدی سرد از جمله روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب‌های سرد، روزهای سرد، دوام امواج سرما و دامنه دمای شبانه‌روزی روند کاهشی و معنی‌داری را نشان می‌دهند در حالی که نمایه‌های گرم حدی از جمله روزهای تابستانی، طول دوره رشد، میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه، کوچک‌ترین دمای کمینه، شب‌های گرم، روزهای گرم و امواج گرما روند مثبت و معنی‌داری را نشان می‌دهند. نرخ افزایش دمای کمینه بیش‌تر از دمای بیشینه است.

شبیه‌سازی‌های مدل‌های اقلیم جهانی توسط پروژه هم سنج مدل جفت شده CMIP¹ که یکی از مهم‌ترین منابع برای بررسی شرایط آب و هوایی قرن بیست و یکم هستند از سال ۱۹۹۵ آرشو شده است (بارکر و هانگ، ۲۰۱۴). شبیه سازی‌های فاز سوم CMIP³ از اوایل دهه ۲۰۰۰، با افزودن سناریوهای انتشار SRES² در سومین گزارش ارزیابی به‌طور گسترده‌ای در سطح جهان مورد بررسی قرار گرفته و از آن‌ها در چهارمین گزارش ارزیابی AR⁴ استفاده شده است. با شروع دهه ۲۰۱۰، CMIP⁵ سناریوهای جدید RCP⁴ بر اساس نقش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر سطح واداشت تابشی، سطح فنآوری، وضعیت اجتماعی و اقتصادی در چهار نوع اقلیم احتمالی آینده حالت‌های ۲.۶، ۴.۵، ۶ و ۸.۵ را پیشنهاد کرد. سناریوهای واداشت‌های تابشی RCP^{2.6} در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن، RCP^{4.5} معرف متوسط واداشت‌های تابشی با حداقل مدیریت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای،

افزایشی دارند که این روند برای نمایه‌هایی مانند روزهای تابستانی، تعداد شب‌های حاره‌ای، روزها و شب‌های گرم معنادار بود. در حالی که نمایه‌های حدی سرد در دوره مورد مطالعه روند کاهشی داشتند که نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادها و روزها و شب‌های سرد بود. سلطانی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تغییرات الگوهای فضایی و زمانی نمایه‌های حدی آب و هوایی در ۵۰ ایستگاه هواشناسی کشور ایران در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۵ پرداختند. نتایج آن‌ها گویای افزایش دماهای حدی گرم، تعداد روزهای گرم و شب‌های گرم و کاهش تعداد روزهای و شب‌های سرد در حدود ۳ تا ۴ روز در اکثر ایستگاه‌ها بود. حداکثر سالانه و حداقل درجه حرارت در سراسر ایران افزایش‌یافته بود و در ۸۵ درصد ایستگاه‌ها تغییرات معنادار دمایی مشاهده می‌شد. عابدینی و همکاران (۲۰۲۰) روند رویدادهای اقلیمی حدی را با استفاده از آزمون گرافیکی ناپارامتریک من-کنندال در ۱۲ ایستگاه هواشناسی استان خراسان جنوبی بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند افزایش نمایه‌های حدی گرم و کاهش نمایه‌های حدی سرد در کلیه ایستگاه‌ها مشهود است به‌طوری‌که نمایه تعداد روزهای تابستانی که دمای هوا بالاتر از ۲۵ درجه سلسیوس است (SU25) در کلیه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی و نمایه شب‌های سرد (TN10P) در اکثر ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی است. همچنین به دلیل پراکندگی زیاد و میزان کم بارش در اغلب ایستگاه‌ها الگوی بارش منطقه‌ای مشخصی قابل‌ارائه نبود، ولی آنچه مسلم است این است که در کلیه ایستگاه‌ها روند کاهش بارش وجود دارد به‌طوری‌که بارش‌های بالاتر از یک میلی‌متر در شمال و مرکز استان دارای روند کاهشی معناداری می‌باشند. در خارج از ایران نیز تحقیقات گسترده‌ای در مورد تغییرات نمایه‌های حدی صورت گرفته است. به‌طورمثال آن و همکاران (۲۰۱۹) برای بررسی تغییرات اقلیمی دما و بارش‌های حدی استان گانسوی چین هفت نمایه حدی دما و بارش را در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۶۱ با استفاده از نرم‌افزار Rclimindex محاسبه کردند. با توجه به تغییرات ناگهانی آب‌وهوا در دوره آماری ۱۹۸۱-۱۹۸۰ دوره مطالعه به یک دوره (قبل از تغییر آب‌وهوا) دوره ۱۹۸۰-۱۹۶۱ و دوره بازگشت (بعد از تغییر آب‌وهوا) دوره ۲۰۱۷-۱۹۸۱ تقسیم شد. مقایسه میانگین نمایه‌های شدید برای دوره‌های قبل و

1. Coupled Model Intercomparison Project

2. Special Report on Emissions Scenarios

3. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

4. Representative Concentration Pathways

حدی دما را کمتر تخمین بزنند. میانگین چند مدل نشان می‌داد که شدت بارش در طول قرن گذشته افزایش یافته است و در پایان قرن تعداد روزهای سرد کاهش و تعداد روزهای گرم افزایش می‌یابد. شارما و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات ۲۳ نمایه حدی دما و بارش در حوزه رودخانه تیسنا در منطقه هیمالیای هند را برای دوره آماری ۲۱۰۰-۱۹۵۱ با استفاده از ۴ مدل اقلیمی GFDL، GFDL-CM3، GFDL-ESM2M و CNRM-CM5، ESM2G تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 بررسی کردند. آن‌ها تغییرات قابل‌توجهی در میزان بارش، دما و الگوهای شدید آب و هوایی در شرایط مشاهده‌شده و شبیه‌سازی‌شده یافتند. به‌طورکلی در هر دو سناریو افزایش دما و افزایش بارش مشهود بود. بارش‌ها در فصل‌های مونسون و غیر مونسون در حال افزایش و افزایش زیادی در نمایه‌های حدی تعداد روزها با بارشهای بیشتر از ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر R10 و R20، حداکثر بارش یک روز و پنج روزه RX1day و RX5day، روزهای تر و خیلی تر CWD و R95P تحت هر دو سناریو دیده می‌شود.

لذا در این پژوهش به‌منظور تحلیل مکانی و بررسی روند تغییرات اقلیمی نمایه‌های حدی دمایی و احتمال وقوع آن‌ها در سطوح احتمالاتی ۰/۸، ۰/۹۶ و ۰/۹۹۵ در استان خراسان جنوبی از خروجی‌های ریزمقیاس شده داده‌های مدل اقلیمی MIROC5 تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است که قطعاً با بررسی نتایج آن می‌توان در برنامه‌ریزی‌های مناسب و منسجم در زمینه کشاورزی و هیدرولوژی استان خراسان جنوبی تصمیمات جدیدی اتخاذ کرد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و محدوده مورد مطالعه پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش استان خراسان جنوبی واقع در شرق ایران است که مساحتی در حدود ۱۵۱'۱۹۳ کیلومترمربع دارد و بین مدار جغرافیایی ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۶۰ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاعات خراسان جنوبی امتداد شمالی-جنوبی دارند و بلندترین نقطه استان قله باقران با ارتفاع ۳۶۱۵ متری و پست‌ترین منطقه در دشت کویر با ارتفاع ۶۵۰ متر از سطح

RCP6 مطابق با سناریوی وضع موجود، RCP8.5 معرف بیشینه واداشته‌های تابشی بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاستی جهت کاهش آثار و پیامدهای اقلیمی می‌باشد. نتایج کارگروه تخصصی ابتدا منجر به معرفی و توسعه نمایه‌های حدی گردید، سپس با تحلیل اثرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف جهان مشخص شد که مناطق مختلف جهان از جمله آمریکای شمالی، استرالیا، اروپا و ... روندهای متفاوتی را تجربه می‌کنند (Beniston et al, 2007؛ Lee et al, 2008؛ Nandintsetseg et al, 2007). برخی از محققین با استفاده از پیش‌بینی روند دما در سناریوهای مختلف اثرات آن را بر موضوعات مختلف از قبیل منابع آب، کشاورزی و ... بررسی کردند (Bassu et al, 2013؛ Deryng et al, 2014). در گزارش پنجم IPCC و برخی تحقیقات دیگر پیش‌بینی شده است که بر اساس سناریوهای RCP، کمینه‌های دما نسبت به بیشینه‌های آن افزایش، فراوانی روزهای یخبندان کاهش و فراوانی شب‌های حاره‌ای افزایش معناداری در دهه‌های آینده خواهند داشت (Collins, 2013). در ایران نیز دشت بزرگی و همکاران (۱۳۹۴) نمایه‌های حدی دمای استان خوزستان را بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 شبیه‌سازی کردند که نتایج آن‌ها نشان داد که در وضعیت موجود (دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۸۲) کمینه‌های دما (۲/۷۲ درجه سلسیوس در سناریوی وضعیت موجود) نسبت به بیشینه آن (۱/۲ درجه سلسیوس در سناریوی وضعیت موجود) با سرعت تقریباً بیشتری در حال افزایش است به‌طوری‌که این مسئله منجر به روند کاهشی اختلاف دمای شب و روز شده است. شبیه‌سازی روند تغییرات دما بر اساس سناریوهای RCP حاکی از آن است که در آینده (دوره آماری ۲۰۵۰-۲۰۱۳) روند افزایش دما هم چنان ادامه خواهد داشت. الکساندر و اربلاستر (۲۰۱۷) روند داده‌های حدی دما و بارش یک قرن در استرالیا را با داده‌های خروجی ۲۲ مدل اقلیمی CMIP5 تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 با استفاده از روش‌های ثابت با یکدیگر مقایسه کردند. ۲۴ نمایه حدی دما و بارش در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۱۱ در کل استرالیا محاسبه شد که نتایج نشان‌دهنده روند افزایش نمایه‌های گرم و روند افزایشی معنی‌دار کمی در میان بارش‌ها بود. همچنین مدل‌ها تمایل داشتند که کمینه‌های حدی دما را بیشتر و بیشینه‌های

یخبندان و ۳۵ روز بارانی دارد (اداره کل هواشناسی خراسان جنوبی، ۱۳۹۹). در این مطالعه از داده‌های روزانه دمای هفده ایستگاه هواشناسی خراسان جنوبی در دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۲ استفاده شد که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.

دریا واقع شده است. این استان از شرایط اقلیمی خشک و بیابانی در نواحی پست و آب‌وهوای نیمه‌خشک در نواحی کوهستانی برخوردار است. میانگین بارش ۳۰ ساله در این استان ۱۱۹/۲ میلی‌متر، متوسط دما ۱۸/۷ درجه سلسیوس و متوسط رطوبت ۳۴ درصد می‌باشد و به‌طور متوسط ۴۹ روز

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی استان خراسان جنوبی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع ایستگاه
آرین شهر	۱۴°۵۹'	۲۰°۳۳'	۱۶۰۰	اقلیم‌شناسی
اسدیه	۰۰°۶۰'	۳۳°۳۲'	۱۵۰۰	سینوپتیک تکمیلی خودکار
ارسک	۲۲°۵۷'	۴۳°۳۳'	۱۲۴۰	اقلیم‌شناسی
بشرویه	۲۶°۵۷'	۵۲°۳۳'	۸۷۹	سینوپتیک تکمیلی خودکار
بیرجند	۱۷°۵۹'	۵۳°۳۳'	۱۴۹۱	سینوپتیک
خور	۲۷°۵۸'	۵۵°۳۳'	۱۱۱۷	سینوپتیک
دیپوک	۳۱°۵۷'	۱۸°۳۳'	۱۳۳۸	اقلیم‌شناسی
زهان	۴۸°۵۹'	۲۵°۳۳'	۱۷۱۴	سینوپتیک تکمیلی خودکار
سربیشه	۴۷°۵۹'	۳۷°۳۲'	۱۸۴۶	سینوپتیک تکمیلی خودکار
طبس	۵۷°۵۶'	۳۶°۳۳'	۷۱۱	سینوپتیک
عشق‌آباد	۵۶°۵۶'	۲۱°۳۴'	۷۷۴	اقلیم‌شناسی
فتح‌آباد	۲۳°۵۸'	۰۷°۳۴'	۱۸۴۰	اقلیم‌شناسی
فردوس	۱۸°۵۸'	۰۱°۳۴'	۱۲۹۳	سینوپتیک
قاین	۱۰°۵۹'	۴۴°۳۳'	۱۴۳۲	سینوپتیک
محمد شهر	۰۱°۵۹'	۵۳°۳۲'	۱۴۱۰	اقلیم‌شناسی
معدن پروده	۵۰°۵۶'	۵۹°۳۲'	۸۵۵	اقلیم‌شناسی
نهبندان	۰۳°۶۰'	۳۲°۳۱'	۱۱۸۸	سینوپتیک

نمایه‌های حدی

در ابتدا ارزیابی همگنی و کنترل کیفی داده‌ها با استفاده از بسته نرم‌افزاری RCLimindex انجام شد و داده‌های پرت و به‌طور مثال داده‌هایی که دمای بیشینه کمتر از دمای کمینه بود شناسایی و تصحیح شدند. سپس ۱۶ نمایه حدی دمایی تعریف شده توسط گروه کارشناسی ETCCDMI که در جدول ۲ آورده شده، با استفاده از بسته نرم‌افزاری RCLimindex در محیط زبان برنامه‌نویسی Ri2.12.2 در مقیاس‌های سالانه و ماهانه محاسبه شدند.

مدل اقلیمی

برای ارزیابی توانایی شبیه‌سازی داده‌های دما در آینده از خروجی مدل‌های GCM¹ ارائه‌شده توسط CMIP5 که از کیفیت مکانی بالایی برخوردار می‌باشند استفاده شد (Marengo et al., 2014). لذا از بین ۲۶ مدل اقلیمی موجود، مدل MIROC5 (۱.۴۰۶۳ * ۱.۴۰۶۳) به علت توانایی بالای آن جهت شبیه‌سازی داده‌های دما در مناطق خشک و بیابانی انتخاب شد (دشت بزرگی، ۱۳۹۴؛ Ullah., 2018). به‌طوریکه نتایج داده‌های گذشته CMIP5، عملکرد خوب این مدل را برای شبیه‌سازی جو، اقیانوس، یخچال‌ها، شیمی و آتروسول‌های زمین و اتمسفر نشان می‌دهد.

جدول ۲- نمایه‌های حدی دما توصیه‌شده توسط گروه کارشناسی CCL/CLIVAR

شماره	نمایه	معرفی نمایه	یکا
۱	FDO	تعداد روزهای یخبندان (دمای حداقل روزانه $> 0^{\circ}C$)	روز
۲	SU25	تعداد روزهای تابستانی (دمای حداکثر روزانه $25^{\circ}C$)	روز
۳	IDO	تعداد روزهای یخی دمای حداکثر روزانه $> 0^{\circ}C$	روز
۴	TR20	تعداد شب‌های حاره‌ای دمای حداقل روزانه $< 20^{\circ}C$	روز
۵	TXx	بیشینه ماهانه دمای حداکثر روزانه	$^{\circ}C$
۶	TNx	بیشینه ماهانه دمای حداقل روزانه	$^{\circ}C$
۷	TXn	کمینه ماهانه دمای حداکثر روزانه	$^{\circ}C$
۸	TNn	کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه	$^{\circ}C$
۹	GSL	طول فصل رویش	روز
۱۰	TX90 P	روزهای گرم، درصد روزهایی که دمای حداکثر بیشتر از صدک نودم باشد	روز
۱۱	TN90 P	شب‌های گرم، درصد روزهایی که دمای حداقل بیشتر از صدک نودم باشد	روز
۱۲	TX10 P	روزهای سرد، درصد روزهایی که دمای حداکثر کمتر از صدک دهم باشد	روز
۱۳	TN10 P	شب‌های سرد، درصد روزهایی که دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد	روز
۱۴	DRT	دامنه تغییرات شبانه‌روزی دما	$^{\circ}C$
۱۵	CSDI	نمایه طول مدت سرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداقل کمتر از صدک دهم باشد.	روز
۱۶	WSDI	نمایه طول مدت گرما، تعداد روزهایی که حداقل شش روز متوالی دمای حداکثر آن‌ها بیشتر از صدک نودم باشد	روز

میانگین خطا RMSE استفاده شد که به ترتیب روش محاسبه آن‌ها در روابط (۲)، (۳) و (۴) آورده شده است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |T_i - O_i|}{N} \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (O_i - T_i)^2}{N}} \quad (4)$$

N : تعداد نمونه‌ها، T_i : i امین پارامتر دمای پیش‌بینی شده، O_i : i امین پارامتر دمای مشاهده‌شده و \bar{O} : متوسط پارامتر دمای مشاهده شده می‌باشد. دامنه NSE بین ۱ تا منفی بینهایت می‌باشد و ضرایب نزدیک عدد ۱ نشان دهنده دقت بالای مدل است (Krause., 2005).

بررسی روند

از آزمون‌های آماری ناپارامتریک من- کندال گرافیکی و آزمون پارامتریک رگرسیون خطی جهت بررسی روند با سطح معنی داری ۵ درصد استفاده شد. آزمون من کندال در سال ۱۹۸۸ به‌وسیله سازمان جهانی هواشناسی پیشنهاد شده و به‌طور متداول و گسترده‌ای در

در این پژوهش از میان چهار سناریوی معرفی‌شده توسط AR5، دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 که به ترتیب نشان دهنده حالت حد واسط و حداکثر تغییرات اقلیمی در آینده می‌باشند برای تحلیل شرایط در دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۰۶ انتخاب شدند. پس از انتخاب مدل و سناریوهای اقلیمی با توجه به اینکه خروجی مدل‌های GCM دارای قدرت تفکیک مکانی کمی می‌باشند از روش آماری مقیاس کاهی دلتا برای رفع این محدودیت استفاده شد. در این روش که به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به متوسط داده‌های جوی مورد استفاده شده است دما از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$T_{SD}^{Delta} = T_{GCMrcp} + (\bar{T}_{Obs} - \bar{T}_{GCMhist}) \quad (1)$$

T_{SD}^{Delta} داده دمای ریزمقیاس شده، T_{GC} خروجی‌های دمای RCP در مدل \bar{T}_{Obs} دماهای مشاهده شده، $\bar{T}_{GCMhist}$ متوسط دماهای تاریخی GCM شبیه‌سازی شده می‌باشد. جهت ارزیابی دقت مدل برای شبیه‌سازی تغییرات دما در منطقه با دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۰۶ از نمایه‌های آماری میانگین خطای مطلق MAE (McKinnon., 2016)، معیار ناش - ساتکلیف NSE (Nash., 1970) و ریشه مذور

بهترین خطی که بر مختصات نقاط حاصل از دو متغیر X و Y بر یک صفحه وجود دارد تعیین گردد. یکی از روش‌های برازش خط، روش حداقل مربعات است. در این روش، خطا طوری روی نقاط برازش می‌یابد که مجموع مربعات انحرافات به حداقل برسد (محمودی و همکاران، ۱۳۹۴). معادله رگرسیون ساده طبق رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\alpha = Y + \beta X \quad (8)$$

که در آن α عرض از مبدا و β شیب خط است.

$$\alpha = Y - \beta X \quad (9)$$

یک مقدار مثبت برای β نشانگر افزایش متغیر مورد مطالعه با زمان و یک مقدار منفی برای β نشانگر کاهش متغیر مورد مطالعه با زمان خواهد بود. برای $\beta = 0$ فرض وجود روند رد می‌شود (غیاث آبادی فراهانی و همکاران، ۱۳۹۷).

پس از محاسبه کلیه نمایه‌ها، روند آن‌ها با هر دو روش آماری در شرایط وضعیت موجود در بازه زمانی ۲۰۱۶-۱۹۹۲ و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در بازه زمانی پیش‌بینی میانی ۲۰۵۰-۲۰۱۷ بررسی شدند.

احتمال وقوع نمایه‌ها

برای محاسبه احتمال وقوع کلیه نمایه‌ها، در ابتدا توزیع‌های آماری نرمال، پیرسون تایپ ۳ و گمبل با تابع احتمال ویبول مورد بررسی قرار گرفتند که پس از برازش بر نمایه‌های ذکر شده توزیع پیرسون تپ ۳ به‌عنوان بهترین توزیع آماری انتخاب شد. تابع احتمال ویبول یکی از توابع احتمالاتی پیوسته است که شخصی به نام والودی ویبول آن را با جزئیات کامل در سال ۱۹۵۱ توصیف کرد که تابع چگالی احتمال از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ f(x, k, \lambda) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}, & x \geq 0 \end{cases} \quad (10)$$

فرمول تجربی ویبول از رابطه ۱۱ بدست می‌آید (علیزاده، ۱۳۸۵):

$$P = \frac{M}{(N+1)} \quad (11)$$

که در آن P : احتمال وقوع، M : شماره ردیف و N : تعداد سال است. احتمال وقوع نمایه‌های حدی در سطوح احتمالاتی ۰/۸، ۰/۹۶ و ۰/۹۹۵ با استفاده از نرم‌افزار SMADA برای دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۲ و سناریوهای

تحلیل روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی به‌منظور واری و وجود روند و تعیین نوع آن، شناسایی روندهای مقطعی و کوتاه‌مدت، نقاط جهش و نقاط شروع روند استفاده می‌شود. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلالت بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. جهت شناسایی نقاط جهش و نقاط شروع روند سری زمانی از نمودار سری زمانی برحسب مقادیر $U(t)$ و $\hat{U}(t)$ استفاده می‌شود. برای محاسبه $U(t)$ و $\hat{U}(t)$ در مرحله اول متغیرها رتبه‌بندی و در مرحله دوم تعداد اعداد بزرگ‌تر از هر رتبه به‌طرف ردیف‌های بالاتر از ردیف خود محاسبه که این مرحله t_i نامیده می‌شود. سپس تابع توزیع E_i از رابط (۵) محاسبه می‌گردد.

$$E_i = \frac{Row*(Row-1)}{4} \quad (5)$$

در این مرحله شماره ردیف هر متغیر را ابتدا از عدد یک کم سپس در شماره ردیف همان متغیر ضرب و جواب حاصله را بر ۴ تقسیم می‌کند. برای محاسبه واریانس از رابطه (۶) استفاده می‌کنیم.

$$V_i = \frac{Row*(Row-1)*(2*Row+5)}{17} \quad (6)$$

در مرحله پنجم تراکم تجمعی t_i محاسبه می‌شود که Zt_i نام دارد. مقادیر $U(t)$ از رابطه (۷) قابل محاسبه است.

$$U_t = \frac{(Zt_i - E_i)}{V_i^{0.5}} \quad (7)$$

کلیه مراحل محاسبه بایستی برای محاسبه $\hat{U}(t)$ نیز تکرار شود. در این روش، مقادیر متوالی از مقدار $U(t)$ و $\hat{U}(t)$ حاصله از آزمون من-کندال به‌صورت گرافیکی نمایش داده می‌شود که اگر مقادیر $U(t)$ و $\hat{U}(t)$ از منحنی‌ها چندین بار روی همدیگر قرار بگیرند روند یا تغییری وجود نخواهد داشت ولی درجایی که منحنی‌ها همدیگر را قطع می‌کنند منحنی‌ها محل شروع روند یا تغییرات را به‌صورت تقریبی به نمایش می‌گذارند. اگر منحنی‌ها همدیگر را در داخل محدوده بحرانی ($\pm 1/96$) با سطح احتمال ۰/۹۵ درصد قطع کنند نشانه زمان آغاز تغییر ناگهانی و در صورتی که خارج از محدوده بحرانی همدیگر را قطع کنند بیانگر وجود روند در سری‌های زمانی است (Sneyers, 1990).

در تحلیل زمانی، ساده‌ترین تعریف از روند تغییرات اقلیمی، به وسیله رگرسیون خطی بیان می‌شود. در این راستا باید

RCP8.5 و RCP4.5 در دوره آماری ۲۰۱۷-۲۰۵۰ محاسبه شدند.

روش زمین آماری

یکی از خصوصیات مشترک عوامل محیطی، تغییرات پیوسته مکانی آن‌ها می‌باشد. بنابراین جهت توصیف کمی الگوهای پراکنش متغیرهای محیطی، علاوه بر مقدار تعیین شده خصوصیت موردنظر بایستی موقعیت جغرافیایی مشاهدات نیز به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته شود (Buma, 1996). شاخه‌ای از علم آمار کاربرد بنام زمین‌آمار قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای زمین‌آمار به منظور برآورد خصوصیت موردنظر در مکانی که نمونه‌برداری نشده، با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط نمونه‌برداری شده می‌باشد. (Hajrasuliha, 1980). روش‌های زمین‌آمار به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها از اهمیت زیادی برخوردارند و می‌توان موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با کمیت آن‌ها مورد بررسی قرارداد (Mahdian, 2002). برای بررسی تغییرات مکانی احتمال وقوع نمایه‌های حدی اقلیمی از نیم تغییر نما استفاده شده است. نیم تغییر نما عدم تشابه بین داده‌ها را هر چه فواصل بین آن‌ها افزایش می‌یابد، بیشتر نشان می‌دهد. نیم تغییر نمای تجربی که با علامت $\gamma^*(h)$ نشان داده می‌شود از فرمول (۱۲) قابل محاسبه است.

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\} \quad (12)$$

که در آن $N(h)$ تعداد جفت نقاط و $Z(x_i)$ و $Z(x_i + h)$ به ترتیب مقادیر مشاهده شده متغیر در نقاط x_i و $x_i + h$ هست. روش زمین آماری کریجینگ معمولی برای برآورد نقطه ناشناخته به هریک از نمونه‌های اندازه‌گیری شده وزنی را نسبت می‌دهد. روش عمومی محاسبه این روش بر اساس رابطه (۱۳) می‌باشد.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n w_i Z(x_i) \quad (13)$$

که در این رابطه $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. در این پژوهش برای رسم نیم تغییر نما ابتدا نیاز به تعیین نوع داده‌ها به لحاظ نرمال بودن و در صورت نیاز استفاده از توابع لوگ نرمال و یا ریشه مربعات می‌باشد که این عملیات با استفاده از نرم افزار GS+ انجام و در ادامه از سه مدل کروی، لگاریتمی و گوسین برای برازش بر داده‌ها استفاده شد. درواقع با مشخص کردن

مدل‌های نیم تغییر نمای مناسب برای برازش بر داده‌ها و تعیین شاخص‌های آن‌ها، ارتباط مکانی داده‌ها با یکدیگر و نحوه اختصاص عامل وزنی آن‌ها تعیین شده و به فرمول‌های ریاضی مربوطه تبدیل و سپس عملیات تخمین با روش‌های ذکر شده انجام شد. برای ارزیابی مدل‌های نیم تغییر نمای برازش داده شده بر داده‌ها از پارامترهای آماری ضریب تبیین (R^2) و نسبت $\frac{C}{C+C_0}$ که شاخصی از قدرت ساختار مکانی در داده‌های مورد مطالعه است و از روش ارزیابی متقابل برای ارزیابی مدل به‌کاررفته استفاده شد. در روش ارزیابی متقابل، در مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود که این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. در نهایت مقادیر واقعی با مقادیر تخمین زده شده متناظر با خود با استفاده از روش‌های میان‌یابی میانگین خطای انحراف (MBE) و ریشه مجذور میانگین خطا (RMSE) مقایسه می‌شود (روابط ۱۴ و ۱۵).

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z^*(x_i) - Z(x_i) \quad (14)$$

$Z^*(x_i)$: مقدار برآورد شده x_i ، $Z(x_i)$: مقدار برآورد شده x_i و n : تعداد داده‌هاست.

نتایج و بحث

پس از انجام کنترل کیفیت بر روی داده‌های روزانه دقت مدل MIROC5 برای شبیه‌سازی تغییرات دما در منطقه که به‌طور مثال نتایج آن برای سناریوی RCP4.5 در جدول ۳ آورده شده است برآورد شد. مقادیر NSE برای دمای کمینه و بیشینه بسیار نزدیک به عدد یک و مقادیر RMSE و MAE نتایج قابل قبولی برای هر دو سناریو نشان می‌دهند که نشان‌دهنده مطابقت مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده کمینه و بیشینه دما در مدل MIROC5 می‌باشد.

جدول ۳- ارزیابی آماری دقت مدل MIROC5 برای شبیه‌سازی تغییرات دما در استان خراسان جنوبی بر اساس سناریوی RCP4.5

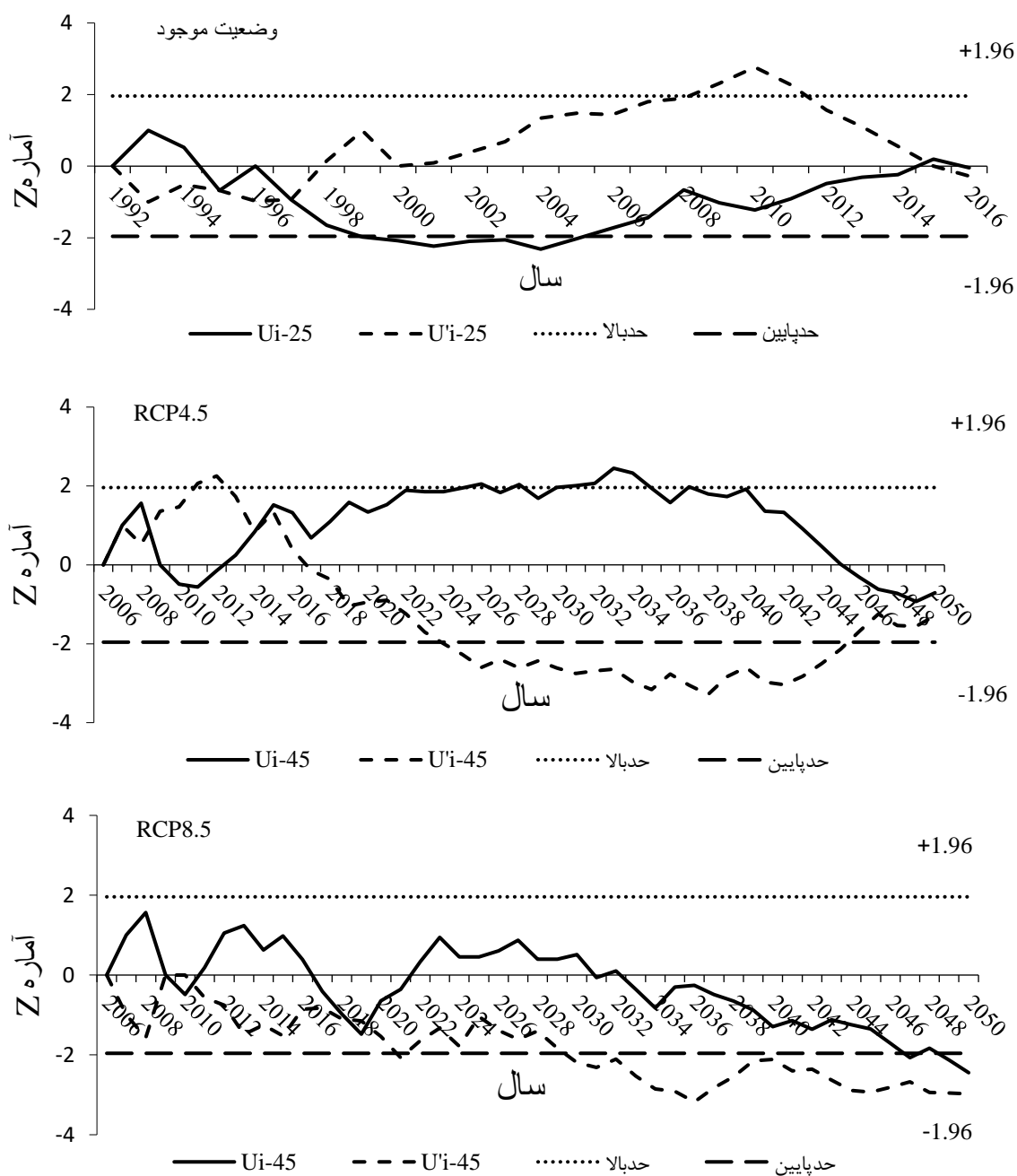
	آرین شهر			اسدیه			ارسک		
	MAE	NSE	RMSE	MAE	NSE	RMSE	MAE	NSE	RMSE
دمای بیشینه	۳/۴۸	۰/۷۶	۴/۱۵	۳/۴۲	۰/۷۷	۴/۰۵	۳/۷۶	۰/۷۸	۴/۹۳
دمای کمینه	۲/۶۶	۰/۸۶	۳/۲۲	۲/۱۱	۰/۸۹	۲/۷	۳/۲۳	۰/۷۸	۴/۱۸
	بشروه			بیرجند			خور		
دمای بیشینه	۲/۵۳	۰/۹	۳/۲۷	۲/۸۲	۰/۸۵	۳/۴۴	۲/۷۱	۰/۸۸	۳/۲۱
دمای کمینه	۲/۲۵	۰/۹	۲/۸۷	۲/۰۲	۰/۹	۲/۵۶	۲/۱۴	۰/۹۲	۲/۶۴
	طیس			فتح‌آباد			فردوس		
دمای بیشینه	۲/۶۱	۰/۸۸	۳/۵۶	۲/۸۲	۰/۸۵	۳/۳۷	۲/۵۸	۰/۸۹	۳/۱۲
دمای کمینه	۲/۴۶	۰/۸۹	۳/۰	۲/۰	۰/۹	۲/۵۴	۲/۱۲	۰/۹	۲/۶۹
	قاین			محمد شهر			نهبندان		
دمای بیشینه	۳/۰۹	۰/۸۱	۳/۷۵	۳/۰۱	۰/۸۲	۳/۶۶	۲/۷۳	۰/۸۷	۳/۲۸
دمای کمینه	۲/۵۸	۰/۸۳	۳/۲۸	۱/۷۳	۰/۹۳	۲/۲۵	۱/۹۲	۰/۹۳	۲/۳۹
	دیهوک			عشق‌آباد			معدن پروده		
دمای بیشینه	۲/۵۷	۰/۸۹	۳/۱۴	۲/۵	۰/۸۹	۳/۲۷	۲/۶۳	۰/۹	۳/۲۷
دمای کمینه	۱/۷۶	۰/۹۱	۲/۳۵	۲/۲	۰/۹۱	۲/۸۴	۲/۴۵	۰/۸۸	۳/۰۸
	سربیشه			زهان					
دمای بیشینه	۳/۰۳	۰/۸۲	۳/۶۴	۳/۷۳	۰/۷۴	۴/۵۳			
دمای کمینه	۲/۰۶	۰/۹	۲/۶۳	۲/۸۸	۰/۸۱	۳/۴۴			

بررسی روند نمایه‌های حدی

نمایه‌های حدی سرد

مطابق با نتایج جدول ۴ بررسی روند به روش من کندال، در شرایط وضعیت موجود نمایه CSDI در ۸۸ درصد ایستگاه‌ها به‌جز عشق‌آباد که دارای شرایط روند کاهشی معنادار است در سطح معناداری ۵ درصد در حال افزایش و یا دارای روند افزایشی می‌باشد. در شرایط RCP4.5 این کاهش علاوه بر عشق‌آباد در معدن پروده نیز دیده می‌شود و بر اساس RCP8.5 فقط طیس در شرایط نرمال قرار می‌گیرد و در بقیه ایستگاه‌ها دارای روند معنادار افزایشی است. نمایه FDO در ایستگاه‌های گرمسیر استان بر اساس شرایط وضعیت موجود در حال افزایش و بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در اکثر ایستگاه‌ها در حال کاهش است. تعداد روزهای یخی با دمای زیر صفر درجه (IDO) در شرایط وضعیت موجود در ۷۱ درصد ایستگاه‌ها بعد از زمستان سال ۲۰۰۸ که یخبندان شدیدی در شرق کشور اتفاق افتاد در حال افزایش است و فقط ایستگاه‌های نهبندان و آرین شهر بر اساس سناریوی RCP4.5 در شرایط نرمال و ایستگاه فتح‌آباد دارای روند کاهشی معنادار می‌باشد. این نمایه بر اساس سناریوی RCP8.5 در ایستگاه‌های سردسیر استان دارای روند کاهشی

معنادار است. نمایه TN10P در شرایط وضعیت موجود به‌جز زهان که در وضعیت نرمال هست در کلیه ایستگاه‌ها و بر اساس هر دو سناریو دارای روندی کاهشی است. نمایه TNn که نشان‌دهنده کمینه ماهانه دمای حداقل روزانه است و در بحث کشاورزی نمایه مهمی است به‌جز آرین شهر، اسدیه، بیرجند و معدن پروده در ۷۶ درصد ایستگاه‌ها دارای تغییر ناگهانی و روندی کاهشی است در حالی که بر اساس سناریوی RCP8.5 در همه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی معنادار است. روزهای سرد (TX10P) در ایستگاه‌های ارسک، دیهوک و فردوس در شرایط موجود دارای تغییر ناگهانی افزایشی است ولیکن بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 روندی کاهشی در کلیه ایستگاه‌ها وجود دارد. نمایه TXn در وضعیت موجود در ۵۹ درصد ایستگاه‌ها افزایشی و در ۴۱ درصد آنها کاهشی و دارای روند است. بر اساس سناریوی RCP4.5 در ایستگاه‌های سربیشه، اسدیه و نهبندان روند کاهشی معنادار و بر اساس سناریوی RCP8.5 در کلیه ایستگاه‌ها روند افزایشی معنادار دیده می‌شود.



شکل ۱- نمودار گرافیکی من کندال نمایه FDO در سناریوی وضعیت موجود، RCP4.5 و RCP8.5 ایستگاه دیهوک

افزایش وجود دارد. در شرایط RCP4.5 و RCP8.5 این نمایه در ۶۵ و ۱۲ درصد ایستگاه‌ها در حال افزایش است. نمایه FDO در شرایط وضعیت موجود در ۳۵ درصد ایستگاه‌ها در حال افزایش ناگهانی و یا روند افزایشی معنادار است و بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در همه ایستگاه‌ها در حال کاهش ناگهانی و یا روند کاهشی معنادار است. در ایستگاه خور این نمایه دارای روند افزایشی با بیشترین شیب خط ۰/۶۰۵ می‌باشد. نمایه IDO در شرایط

در این پژوهش کلیه نمودارهای من کندال در هر سه سناریو برای کلیه ایستگاه‌ها رسم شده است که به‌طور مثال نمودار گرافیکی من کندال نمایه FDO در هر سه سناریو برای ایستگاه دیهوک در شکل ۱ آورده شده است.

نتایج بررسی روند با روش رگرسیون خطی در جدول ۵ آورده شده است. در شرایط وضعیت موجود نمایه CSDI در ۳۵ درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی در سطح معناداری ۵ درصد است که در نهبندان با شیب خط ۰/۲۸۵ بیشترین

افزایشی معنادار است. نمایه روزهای سرد (TX10P) فقط در ایستگاه ارسک در شرایط موجود دارای تغییر ناگهانی افزایشی است و بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 روندی کاهش‌ی معناداری در کلیه ایستگاه‌ها وجود دارد. نمایه در TXn در وضعیت موجود در ۶۵ درصد ایستگاه‌ها افزایشی و دارای روند هستند که بر اساس سناریوی RCP4.5 کاهش می‌یابند و بر اساس سناریوی RCP8.5 فقط در ایستگاه بشرویه تغییر ناگهانی کاهش‌ی وجود دارد.

وضعیت موجود در ۷۷ درصد ایستگاه‌ها در حال افزایش است ولی در RCP8.5 در ۸۸ درصد ایستگاه‌ها دارای روند کاهش‌ی معنادار است. نمایه TN10P در شرایط وضعیت در ایستگاه‌های خور و سریشه در حال افزایش ناگهانی هستند درحالی‌که در دو سناریوی RCP دارای روند کاهش‌ی معنادار می‌باشند. نمایه TNn در شرایط وضعیت موجود در ایستگاه‌های گرمسیر استان در حال کاهش است درحالی‌که بر اساس سناریوی RCP8.5 در همه ایستگاه‌ها دارای روند

جدول ۴- بررسی روند نمایه‌های حدی به روش گرافیکی آزمون من کندال در وضعیت موجود، RCP4.5 و RCP8.5

نماینده	تهندان	معنن پروده	محمد شهر	قاین	فردوس	فتح‌آباد	طس	عشق‌آباد	سریشه	زهان	دهوک	خور	بیرجند	بشرویه	ارسک	اسدی	آرین شهر	انواع سناریو	نمایه	
نمایه‌های حدی سرد	CSDI	وضعیت موجود	IT	IT	IT	I	I	DT	IT	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	وضعیت موجود	IT	
		RCP4.5	IT	DT	IT	IT	IT	IT	DT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	RCP4.5	IT
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	RCP8.5	IT
	FDO	وضعیت موجود	IT	IT	DT	DT	DT	I	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	وضعیت موجود	IT
		RCP4.5	DT	DT	D	IT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	RCP4.5	DT
		RCP8.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	RCP8.5	DT
	IDO	وضعیت موجود	IT	IT	IT	N	IT	N	IT	N	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	وضعیت موجود	N
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	N	RCP4.5	N
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	N	RCP8.5	D
	TN10 P	وضعیت موجود	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	N	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	وضعیت موجود	DT
		RCP4.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	RCP4.5	DT
		RCP8.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	RCP8.5	DT
TNn	وضعیت موجود	I	D	D	D	D	D	D	D	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	D	وضعیت موجود	I	
	RCP4.5	IT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	RCP4.5	IT	
	RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT	
TX10 P	وضعیت موجود	DT	DT	IT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	D	وضعیت موجود	DT	
	RCP4.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	RCP4.5	DT	
	RCP8.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	RCP8.5	DT	
TXn	وضعیت موجود	IT	D	D	D	D	DT	IT	IT	DT	IT	IT	IT	N	I	DT	I	وضعیت موجود	IT	
	RCP4.5	I	DT	I	I	IT	IT	I	I	DT	I	I	I	I	I	I	I	RCP4.5	I	
	RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT	
نمایه‌های حدی گرم	TXx	وضعیت موجود	IT	DT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	وضعیت موجود	IT
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT
	WSDI	وضعیت موجود	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	وضعیت موجود	IT
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT
	SU25	وضعیت موجود	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	DT	وضعیت موجود	IT
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT
	TN90 P	وضعیت موجود	IT	IT	IT	IT	DT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	وضعیت موجود	IT
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT
TNx	وضعیت موجود	I	I	IT	D	D	IT	IT	IT	DT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	وضعیت موجود	I	
	RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT	
	RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT	
TR20	وضعیت موجود	IT	DT	IT	IT	DT	DT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	D	وضعیت موجود	IT	
	RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT	
	RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT	
TX90 P	وضعیت موجود	I	DT	IT	IT	IT	IT	DT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	D	وضعیت موجود	I	
	RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT	
	RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT	
نمایه طول دوره	DRT	وضعیت موجود	DT	D	DT	D	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	DT	وضعیت موجود	DT	
		RCP4.5	IT	IT	I	I	I	I	I	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT	
		RCP8.5	IT	IT	IT	DT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT	
GSL	وضعیت موجود	DT	I	I	I	D	DT	DT	IT	IT	IT	IT	IT	D	DT	D	D	وضعیت موجود	DT	
	RCP4.5	IT	DT	I	IT	DT	IT	IT	I	I	I	I	I	IT	IT	IT	IT	RCP4.5	IT	
	RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	RCP8.5	IT	

IT* = روند افزایشی، DT = روند کاهش‌ی، I = تغییر ناگهانی افزایشی، D = تغییر ناگهانی کاهش‌ی و N = بدون تغییر

جدول ۵- بررسی روند نمایه‌های حدی به روش آزمون آماری رگرسیون خطی در وضعیت موجود، RCP4.5 و RCP8.5

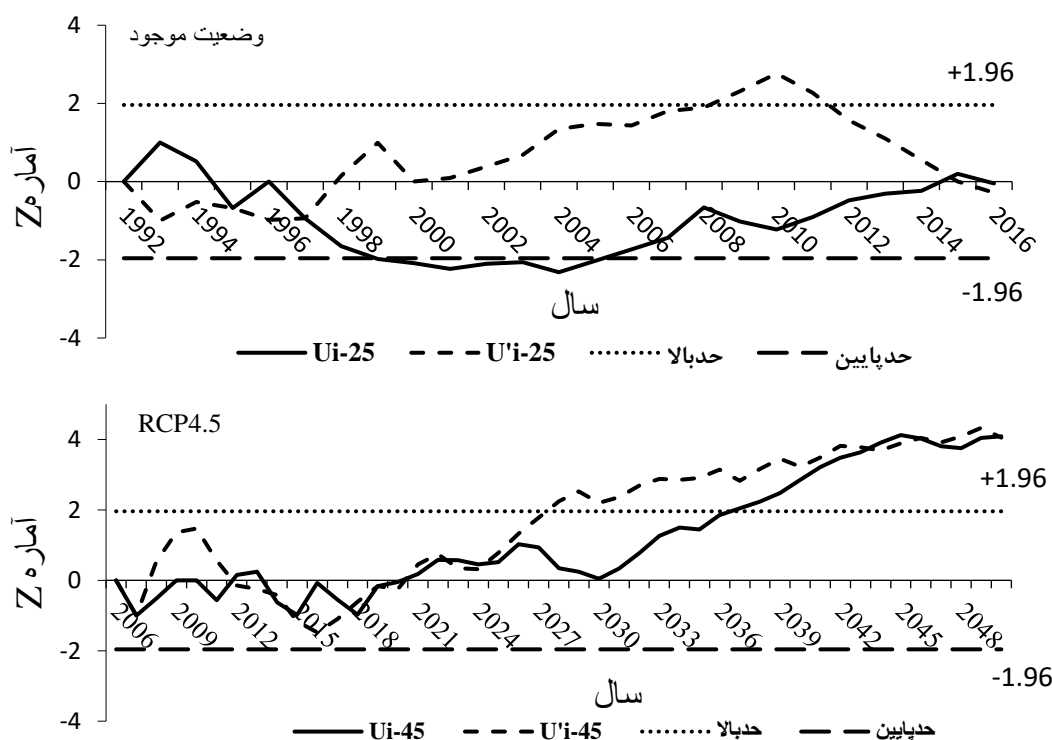
نماینده	انواع سناریو	آرین شهر	اسدیه	ارسک	بشرویه	بیرجند	نور	دهوک	زهان	سربیشه	عشق‌آباد	طیس	فتح‌آباد	فردوس	قاین	محمدشهر	ممنن پروده	نهبندان		
نمایه‌های حدی سرد	CSDI	وضعیت موجود	D	DT	I	D	D	I	DT	DT	I	I	I	DT	D	DT	DT	DT	I	
		RCP4.5	D	I	I	I	I	I	D	D	D	D	I	I	I	I	I	D	I	
		RCP8.5	D	D	D	I	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	I	D
	FDO	وضعیت موجود	I	DT	D	I	D	IT	D	DT	D	I	I	D	D	DT	DT	DT	DT	I
		RCP4.5	DT	D	D	D	D	D	D	DT	DT	D	I	DT	DT	DT	D	D	DT	
		RCP8.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	D	DT	DT	DT	DT	DT	DT	
	IDO	وضعیت موجود	D	I	D	I	D	I	N	I	D	I	I	I	N	D	D	D	I	
		RCP4.5	DT	I	D	I	I	I	D	D	D	D	I	D	D	I	I	I	I	
		RCP8.5	DT	DT	DT	N	DT	DT	DT	DT	DT	DT	N	DT	DT	DT	DT	D	DT	
	TN10P	وضعیت موجود	D	DT	D	DT	DT	I	DT	D	I	D	DT	D	DT	DT	DT	DT	DT	
		RCP4.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	
		RCP8.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	
	TNn	وضعیت موجود	I	I	D	D	I	D	D	I	DT	D	D	I	I	I	I	D	D	
		RCP4.5	IT	D	D	D	D	D	D	D	D	N	D	D	D	D	D	D	I	
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
	TX10P	وضعیت موجود	DT	D	I	DT	DT	DT	D	DT	DT	D	D	DT	D	DT	DT	DT	DT	
		RCP4.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	
		RCP8.5	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	DT	
	TXn	وضعیت موجود	IT	I	D	D	I	I	I	D	D	D	I	D	I	I	I	I	I	
		RCP4.5	IT	D	D	I	D	D	I	D	D	I	I	D	D	D	D	D	I	
		RCP8.5	IT	IT	IT	D	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
	نمایه‌های حدی گرم	TXx	وضعیت موجود	I	I	I	I	I	I	I	IT	I	I	I	D	N	I	I	I	IT
			RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
			RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
WSDI		وضعیت موجود	I	I	IT	IT	I	IT	D	IT	I	I	IT	D	I	I	I	I	IT	
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
SU25		وضعیت موجود	IT	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	I	I	I	IT	IT	IT	IT	
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
		RCP8.5	IT	I	I	IT	IT	I	IT	IT	IT	I	IT	IT	I	IT	I	I	I	
TN90P		وضعیت موجود	I	IT	IT	IT	I	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	IT	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
TNx		وضعیت موجود	D	I	IT	I	I	I	I	I	IT	D	I	IT	IT	I	IT	IT	I	
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
TR20		وضعیت موجود	D	IT	IT	IT	I	D	IT	IT	IT	D	IT	D	IT	IT	IT	IT	IT	
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
		RCP8.5	IT	IT	IT	I	IT	IT	IT	N	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
TX90P		وضعیت موجود	I	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	I	I	IT	IT	I	IT	
		RCP4.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
		RCP8.5	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	
نمایه طول دوره		DRT	وضعیت موجود	IT	D	DT	I	IT	IT	I	I	IT	DT	D	D	DT	I	D	DT	IT
			RCP4.5	I	IT	IT	IT	I	I	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT	IT
			RCP8.5	I	I	I	D	I	I	I	IT	I	I	N	I	I	I	I	I	
	GSL	وضعیت موجود	D	D	D	D	D	D	D	IT	I	D	D	D	D	I	D	I	D	
RCP4.5		I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	D	I	I	I	I	I		
RCP8.5	IT	IT	I	N	IT	IT	I	IT	I	IT	N	I	I	IT	I	IT	IT			

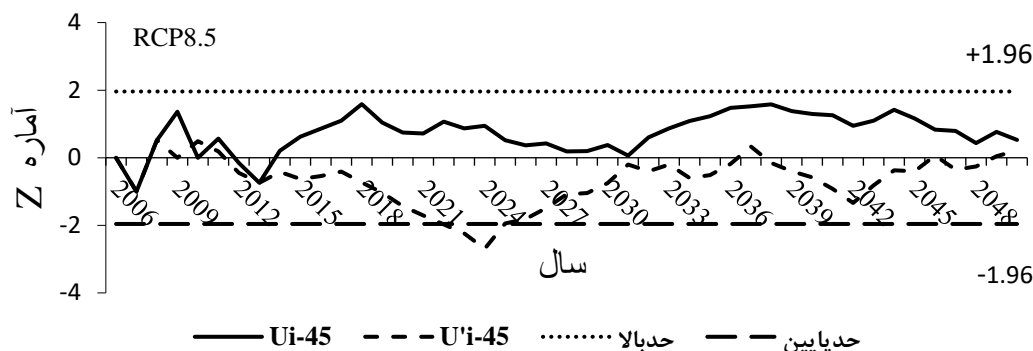
*IT=بروند افزایشی، DT=روند کاهش، I=تغییر ناگهانی افزایشی، D=تغییر ناگهانی کاهش و N=بدون تغییر

نمایه‌های حدی گرم

مطابق با نتایج جدول ۴ بررسی روند به روش من کندال، نمایه TXx به‌جز ایستگاه طیس که در شرایط وضعیت موجود دارای روند کاهشی معناداری است در دیگر ایستگاه‌ها بر اساس هر دو سناریو روند افزایشی معناداری دارد. ایستگاه بیرجند در وضعیت موجود نیز دارای روند افزایش معنادار است که مطابق با نتایج سلطانی (۲۰۱۶) است. نمایه WSDI در وضعیت موجود فقط در نهبندان نرمال و در فتح‌آباد افزایش ناگهانی و بر اساس دو سناریوی دیگر روند افزایشی معنادار دارد. نمایه SU25 در سناریوی وضعیت موجود فقط در ایستگاه فتح‌آباد دارای روندی کاهشی معنادار است و طبق مطالعات سلطانی (۲۰۱۶) و کوزه‌گران (۱۳۹۴) در بیرجند روند افزایشی معناداری دارد و بر اساس دو سناریوی RCP در کلیه ایستگاه‌ها دارای روندی افزایشی معنادار است. برخلاف نتایج سلطانی (۲۰۱۶) نمایه TN90P در ایستگاه بیرجند در شرایط موجود دارای روند

کاهشی معنادار است درحالی‌که بر اساس دو سناریوی دیگر هم در ایستگاه بیرجند و هم در دیگر ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی معنادار می‌باشند. نمایه TNx در ایستگاه‌های بشرویه و بیرجند در شرایط موجود دارای کاهش ناگهانی و در ایستگاه‌های زهان و نهبندان دارای روند کاهشی معنادار است و بر اساس دو سناریوی دیگر کلیه ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی معنادار می‌باشند. در شرایط موجود نمایه TR20 در ایستگاه‌های خور، اسدیه و بیرجند روندی کاهشی معنادار و در فتح‌آباد دارای تغییر ناگهانی کاهشی است ولیکن بر اساس هر دو سناریو در حال افزایش می‌باشد. نمایه TX90P در اسدیه و دیهوک بر اساس سناریوی وضعیت موجود روندی کاهشی و در فتح‌آباد و فردوس دچار تغییر ناگهانی کاهشی هستند ولیکن بر اساس دو سناریوی دیگر روندها افزایشی می‌باشند. نمودار گرافیکی من کندال نمایه TNx در هر سه سناریو برای ایستگاه بیرجند به‌طور مثال در شکل ۲ آورده شده است.





شکل ۲- نمودار گرافیکی من کندال نمایه TN_x در هر سه سناریو برای ایستگاه بیرجند

ایستگاه‌ها در حال کاهش است که در دو سناریوی دیگر افزایش می‌یابد.

بررسی احتمال وقوع نمایه‌های حدی

پس از بررسی روند نمایه‌ها به روش من کندال و روش رگرسیونی احتمال وقوع آن‌ها در سطوح احتمالاتی ۰/۸، ۰/۹۶ و ۰/۹۹۵ با استفاده از نرم‌افزار SMADA محاسبه شد و نقشه‌های تغییرات مکانی نمایه‌ها در استان خراسان جنوبی با استفاده از روش کریجینگ معمولی ترسیم شد که به‌طور مثال نقشه‌های هم احتمال وقوع نمایه FDO در شکل ۳، ۴ و ۵ آورده شده است. مشخصات آنالیز آماری و مدل برازش داده‌شده به نیم تغییر نمایه تجربی نمایه FDO به‌طور مثال در سه سناریوی وضعیت موجود، RCP4.5 و RCP8.5 در جدول ۶ آورده شده است. همان‌طور که در نقشه‌ها می‌توان مشاهده کرد در وضعیت موجود در سطح احتمال ۰/۸ تعداد روزه‌های یخبندان FDO در مناطق شرق و شمال شرقی بین ۷۵-۱۱۵ روز می‌باشد که بر اساس RCP4.5 از گستردگی این مناطق کاسته شده ولیکن تعداد روزه‌های یخبندان در اطراف سریشه افزایش می‌یابد. بر اساس سناریوی RCP8.5 تعداد روزه‌های یخبندان کمتر شده و رنجی بین ۹۳-۱۱۲ روز خواهد داشت. در سطح احتمالاتی ۰/۹۶ مناطق شمال شرقی و شرقی دارای تعداد روزه‌های یخبندان بین ۸۰-۱۲۶ روز می‌باشند که سریشه و زهان بین ۱۰۹-۱۲۶ روز یخبندان دارند. بر اساس سناریوی RCP4.5 برگسترده‌گی این مناطق در شرق استان افزوده می‌شود و سریشه دارای رنجی بین ۹-۱۱۲/۱۳۸ روز یخبندان است و بر اساس سناریوی RCP8.5 تعداد روزه‌های یخبندان کاهش می‌یابد و در اکثر

مطابق با نتایج جدول ۵ بررسی روند به روش رگرسیون خطی نمایه‌های TN_{90P} ، TN_{90P} ، SU_{25} در شرایط موجود و سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در حال افزایش ناگهانی و روند افزایشی می‌باشند. در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای نمایه‌های TR_{20} ، TN_x ، $WSDI$ نیز روند افزایشی دما وجود دارد.

نمایه‌های DRT و GSL

بررسی روند نمایه DRT به روش من کندال نشان می‌دهد که در شرایط وضعیت موجود در اسدیه، ارسک، آراین شهر، بشرویه، طبس، فردوس، معدن پروده و محمد شهر تغییرات ناگهانی کاهشی مشاهده می‌شود که این مسئله دلالت برافزایش کمینه‌های دما دارد که می‌تواند اثرات مخربی بر فنولوژی محصولات زراعی و باغی داشته باشد و باعث کاهش عملکرد گیاه دریاپان دوره رشد می‌شود (McFadden, 2014). ولی بر اساس دو سناریوی دیگر این نمایه نیز افزایش پیدا خواهد کرد ولیکن بر اساس سناریوی RCP8.5 در بشرویه و نهبندان همچنان روندی کاهشی دارد. نمایه GSL نیز، در شرایط وضعیت موجود در ایستگاه‌های اسدیه، ارسک، بشرویه، سریشه، زهان، قاین و نهبندان در حال افزایش است و بر اساس دو سناریوی دیگر نیز دارای تغییر ناگهانی و روند افزایشی در اکثر ایستگاه‌ها می‌باشد.

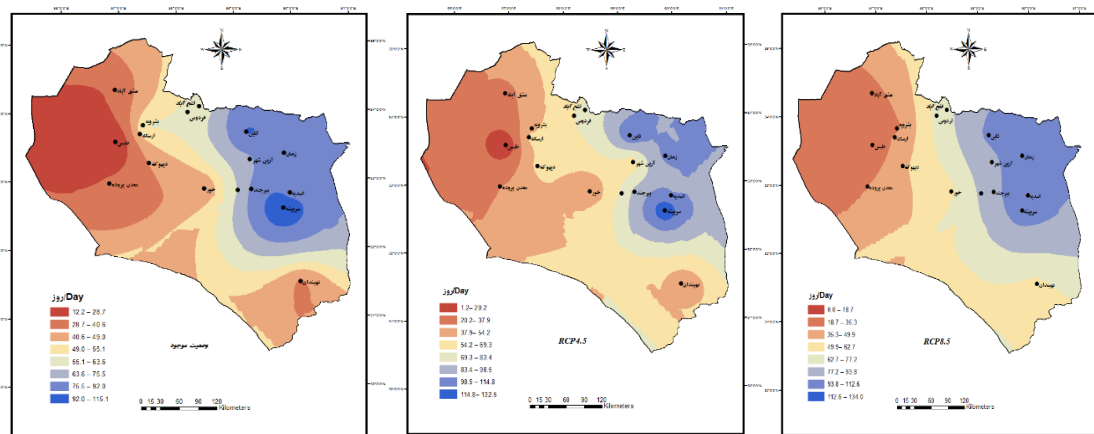
بر اساس بررسی روند به روش رگرسیون خطی نمایه DRT در شرایط موجود در ۵۳ درصد ایستگاه‌ها در حال افزایش است که در سناریوی RCP4.5 این افزایش در کل ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود. نمایه GSL نیز در شرایط موجود در اکثر

سناریوی دیگر کاهش می‌یابد. گستردگی تعداد روزهای یخی بین رنج ۱۳۶۷۱-۹۶۲ بر اساس سناریوی RCP8.5 در شمال شرق و شرق استان گسترش می‌یابد.

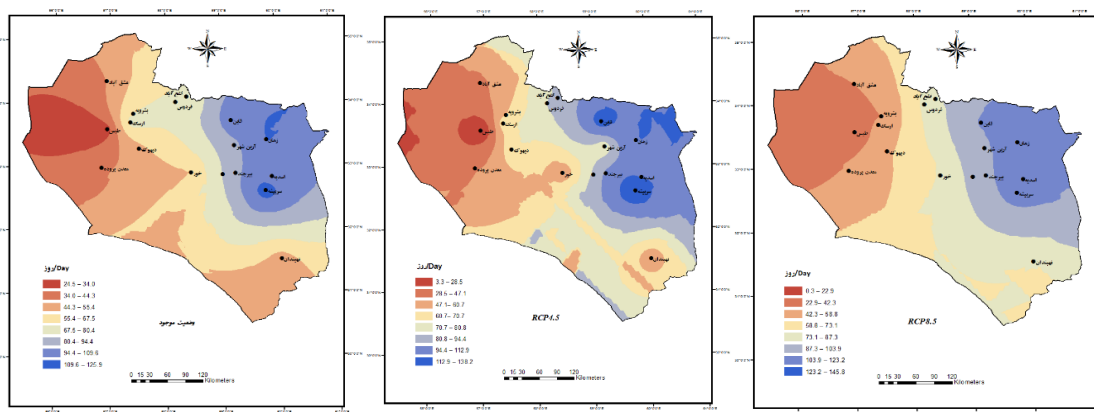
مناطق شرقی رنجی بین ۱۲۳/۲-۸۷/۳ روز دارد. در سطح احتمالاتی ۰/۹۹۵ در سناریوی وضعیت موجود حداکثر تعداد روزهای یخبندان در زهان اتفاق می‌افتد که بر اساس دو

جدول ۶- آنالیز آماری و مشخصات مدل برازش داده‌شده به نیم تغییر نمای تجربی نمایه FDO بر اساس هر سه سناریو

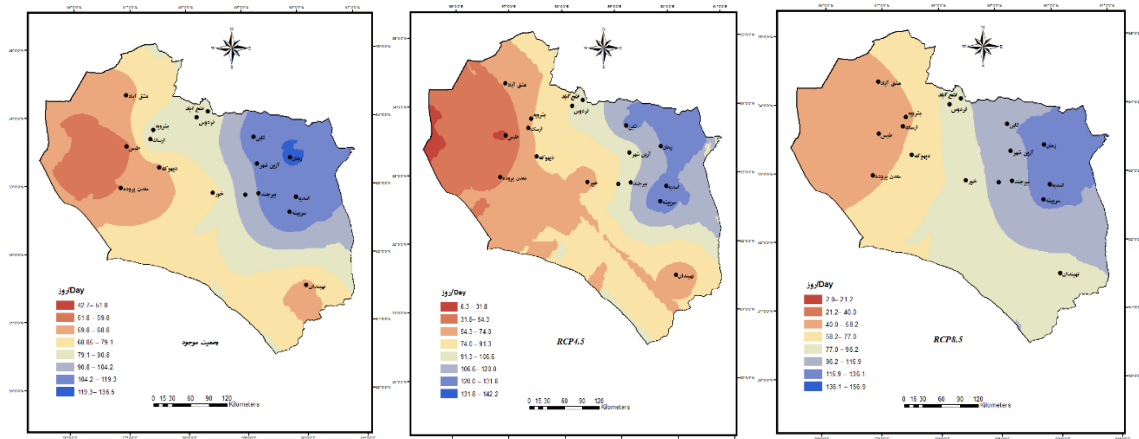
وضعیت موجود	سناریوی RCP4.5			سناریوی RCP8.5			آنالیز زمین آماری			
	احتمال وقوع %			احتمال وقوع %						
	۰/۹۹۵	۰/۹۶	۰/۸	۰/۹۹۵	۰/۹۶	۰/۸	۰/۹۹۵	۰/۹۶	۰/۸	
کمینه	۴۲/۸	۲۴/۵	۱۲/۲	۶/۴	۳/۳	۱/۲	۴۲/۸	۲۴/۵	۱۲/۲	کمینه
بیشینه	۱۳۶/۶	۱۲۶/۰	۱۱۵/۲	۱۴۲/۲	۱۳۸/۲	۱۳۲/۵	۱۳۶/۵	۱۲۵/۹	۱۱۵/۲	بیشینه
میانگین	۸۸/۵	۷۳/۳	۵۹/۶	۸۶/۳	۷۶/۶	۶۶/۴	۸۸/۵	۷۳/۳	۵۹/۶	میانگین
انحراف معیار	۲۸/۸	۲۷/۷	۲۶/۷	۳۴/۸	۳۴/۰	۳۳/۳	۲۸/۸	۲۷/۷	۲۶/۷	انحراف معیار
چولگی	۰/۱	۰/۲	۰/۲	-۰/۳۲	-۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۳	چولگی
کشیدگی	-۱/۲	-۰/۸	-۰/۴	-۰/۱	-۰/۲	-۰/۴	-۱/۲	-۰/۸	-۰/۵	کشیدگی
نوع مدل	کروی	کروی	کروی	کروی	لگاریتمی	لگاریتمی	کروی	لگاریتمی	لگاریتمی	نوع مدل
C/C+C ⁰	۰/۶	۱/۰	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۶	C/C+C ⁰
RMSE	۲۴/۸	۲۲/۰	۱۸/۷	۲۶/۹	۲۶/۵	۲۵/۸	۳۲/۰	۳۰/۳	۲۸/۴	RMSE
MBE	۲/۹	۳/۵	۲/۶	۲/۲	۲/۶	۲/۵	۰/۸	۱/۲	۱/۶	MBE



شکل ۳- پهنه‌بندی نمایه FDO در سطح احتمالاتی ۰/۸ در شرایط موجود، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۴- پهنه‌بندی نمایه FDO در سطح احتمالاتی ۰/۹۶ در شرایط موجود، RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۵- پهنه‌بندی نمایه FDO در سطح احتمالاتی ۰/۹۹۵ در شرایط موجود، RCP4.5 و RCP8.5

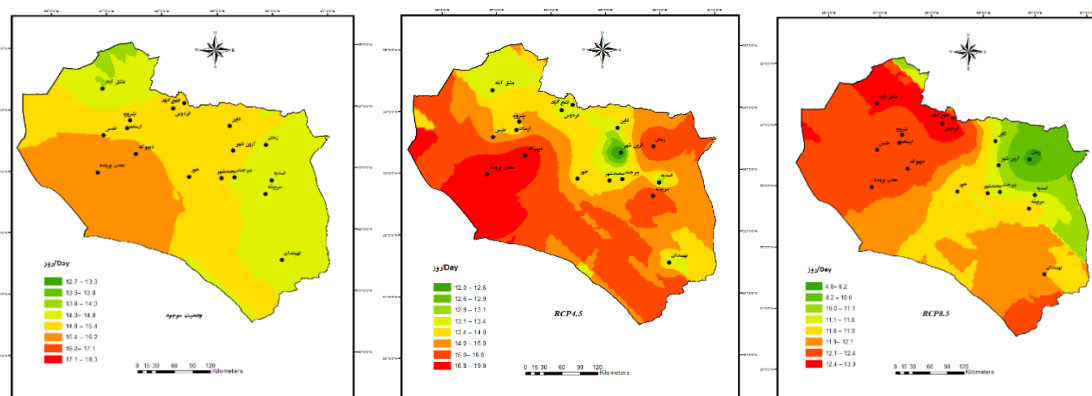
مشخصات آنالیز آماری و مدل برازش داده‌شده به نیم تغییر نمای تجربی نمایه SU25 در سه سناریوی وضعیت موجود، RCP4.5 و RCP8.5 در جدول ۸ آورده شده است. نمایه DRT در هر سه سطح احتمالاتی در سناریوی وضعیت موجود رنجی بین ۱۴/۲-۱۳/۲ در شمال و شمال غرب استان دارد که بر اساس RCP4.5 به وسعت دامنه آن افزوده می‌شود و در سناریوی RCP8.5 مقدار این نمایه در نیمه غربی و جنوبی استان کاهش پیدا می‌کند. در هر سه سطح احتمالاتی نمایه GSL بر اساس RCP4.5 و RCP8.5 در شمال شرق استان کاهش پیدا می‌کند.

گسترده‌گی نمایه IDO در سطح احتمالاتی ۰/۸ و ۰/۹۶ در نیمه شرقی استان بر اساس سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در حال افزایش است ولیکن مقدار این نمایه در حال کاهش می‌باشد. نمایه TN10P در مناطق کویری شمال غرب، غرب و جنوب شرقی استان در سطح احتمال ۰/۸ در شرایط موجود در حال افزایش است، درحالی‌که بر اساس سناریوی RCP8.5 خطر شب‌های سرد به سمت شمال استان کشیده می‌شود. نمایه CSDI بر اساس هر دو سناریو در مناطق شمال غربی و غرب استان در حال کاهش است.

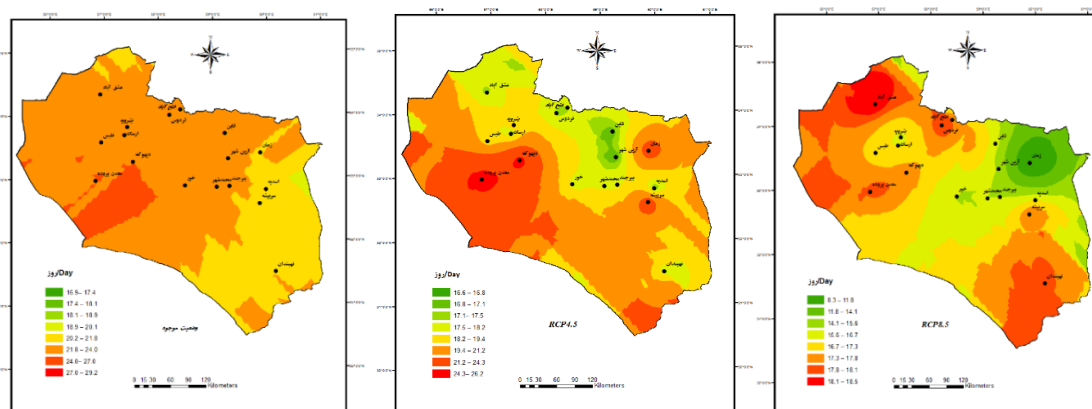
مطابق با نتایج شکل ۶، ۷ و ۸ در سطح احتمال ۰/۸ نمایه SU25 در غرب استان اطراف معدن پروده دارای رنجی بین ۴/۴-۱۵/۱۶ است که بر اساس سناریوی RCP4.5 این رنج افزایش یافته و بر اساس سناریوی RCP8.5 دوباره دچار کاهش شده و گسترده‌گی آن از غرب به سمت شمال غربی کشیده می‌شود. همچنین در سطح احتمال ۰/۹۹۵ این نمایه در جنوب استان نیز افزایش می‌یابد. در هر سه سطح احتمالاتی نمایه TN90P بر اساس RCP4.5 در شرق استان و بر اساس RCP8.5 در جنوب و غرب استان در حال افزایش است. TNx نیز در هر سه سطح احتمالاتی در شمال غرب و غرب استان در حال افزایش می‌باشد. نمایه TR20 نیز در RCP4.5 و RCP8.5 و نمایه TX90P در هر سه در جنوب استان در حال افزایش است. گسترده‌گی TXx بر اساس سناریوی RCP8.5 در شما و شمال غرب استان زیاد می‌شود. نمایه WSDI بر اساس RCP4.5 در جنوب استان و در سطح ۰/۹۹۵ در شرق نیز رو به افزایش است. جدول

جدول ۸- آنالیز آماری و مشخصات مدل برازش داده‌شده به نیم تغییر نمای تجربی نمایه SU25 بر اساس هر سه سناریو

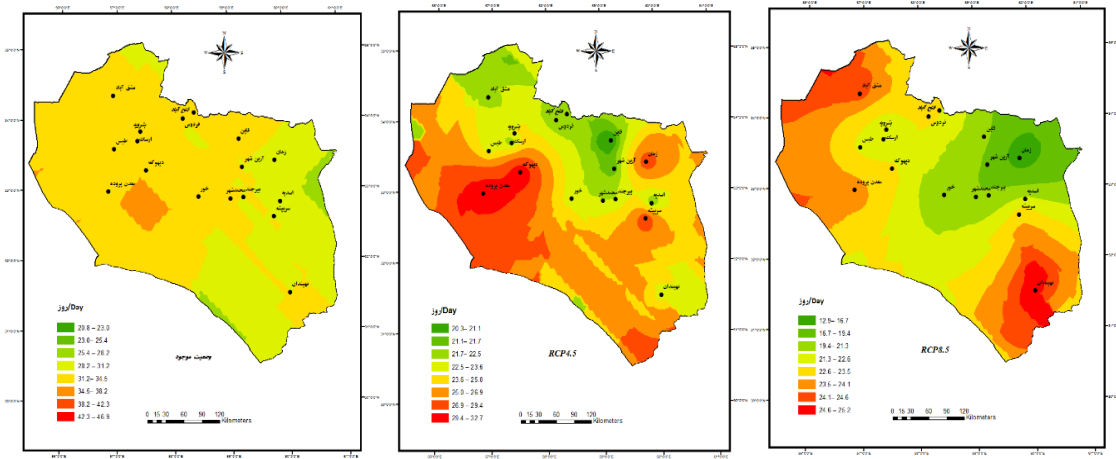
وضعیت موجود			سناریوی RCP4.5			سناریوی RCP8.5			آنالیز زمین آماری
احتمال وقوع %			احتمال وقوع %			احتمال وقوع %			
۰/۹۹۵	۰/۹۶	۰/۸	۰/۹۹۵	۰/۹۶	۰/۸	۰/۹۹۵	۰/۹۶	۰/۸	
۲۰/۸۱	۱۷/۰	۱۲/۷	۲۰/۳	۱۶/۷	۱۲/۱	۱۲/۹	۸/۴	۴/۹	کمینه
۴۶/۹	۲۹/۳	۱۸/۳	۳۲/۸	۲۶/۲	۲۰/۰	۲۵/۳	۱۸/۶	۱۳/۱	بیشینه
۳۱/۳	۲۲/۴	۱۴/۹	۲۴/۱	۱۹/۲	۱۴/۵	۲۱/۶	۱۶/۵	۱۱/۷	میانگین
۸/۳	۴/۱	۱/۴	۳/۹	۳/۱	۲/۴	۳/۰	۲/۳	۱/۸	انحراف معیار
۰/۴	۰/۴	۰/۶	۱/۳	۱/۳	۱/۳	-۱/۲	-۲/۶	-۳/۴	چولگی
-۱/۲	-۱/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۱/۹	۶/۹	۱۰/۴	کشیدگی
کروی	کروی	کروی	لگاریتمی	لگاریتمی	لگاریتمی	کروی	کروی	کروی	نوع مدل
۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۹	۰/۸	۰/۷	C/C+C ⁰
۸/۷	۴/۳	۱/۵	۴/۲	۳/۳	۲/۶	۲/۷	۲/۱	۱/۸	RMSE
۱/۰	۱/۰	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۰	۱/۰	۱/۰	MBE



شکل ۶- پهنه‌بندی نمایه SU25 در سطح احتمالاتی ۰/۸ در شرایط موجود RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۷- پهنه‌بندی نمایه SU25 در سطح احتمالاتی ۰/۹۶ در شرایط موجود RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۸- پهنه‌بندی نمایه SU25 در سطح احتمالاتی ۰/۹۹۵ در شرایط موجود، RCP4.5 و RCP8.5

نتیجه‌گیری

وقوع مکرر رخداد‌های حدی آب و هوایی به سبب اثرات قابل‌توجه آن بر محیط‌زیست و داشتن پیامدهای اقتصادی و اجتماعی در زندگی انسان‌ها موجب شده است تا گرایش به تحقیقات نمایه‌های حدی آب و هوایی در سال‌های اخیر بیشتر شود. لذا در این مطالعه به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روند نمایه‌های حدی اقلیمی دمای استان خراسان جنوبی پرداخته شده است. با توجه به اینکه مناطق مرکزی، شمال و شمال شرقی استان مناطق قطب کشاورزی هستند، کاهش و افزایش نمایه‌های حدی می‌تواند اثرات زیادی بر روی افزایش و یا کاهش عملکرد محصولات این مناطق داشته باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که دما در طول دوره آماری افزایش یافته است و روند افزایشی آن در سناریوهای آینده ادامه خواهد داشت.

نمایه‌های بر پایه صدک‌های دوره سرد (TN10P, TX10P) در اکثر ایستگاه‌ها در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در حال کاهش و نمایه‌های بر پایه صدک‌های دوره گرم (TN90P و TX90P) دارای روند افزایشی است که مشابه با نتایج دشت بزرگی و همکاران (۱۳۹۴) می‌باشد. نمایه‌های دوره‌ای طول مدت گرما WSDI در اکثر ایستگاه‌ها در شرایط وضعیت موجود و دو سناریوی دیگر در حال افزایش است که این نتایج در تحقیقات علیجانی و همکاران (۱۳۹۴)، کوزه‌گران و موسوی بایگی (۱۳۹۵) نیز به‌دست‌آمده است. مقادیر کمینه دما در مناطق گرمسیر افزایش بیشتری نسبت به مقادیر بیشینه دما داشته‌اند لذا اختلاف دمای شب و روز

به‌خصوص در مناطق گرمسیر کاهش یافته است که در تحقیقات دشت بزرگی و همکاران (۱۳۹۴) و فریچ و همکاران (۲۰۰۲) نیز این مسئله رخ داده است. به طور کلی نتایج نشان‌دهنده کاهش شدت و فراوانی رویدادهای سرد بوده در حالی که در دوره مورد مطالعه رویدادهای گرم به‌طور قابل‌توجهی روند افزایشی داشتند، که این نتایج دارای روندی همسو با نتایج هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم (محمدی و تقوی، ۲۰۰۵ و رضایی بنفشه و همکاران، ۲۰۱۲) و مطالعات جهانی (مربانچ و همکاران، ۲۰۰۹؛ شاهید، ۲۰۱۱؛ الکساندر و اربلاستر، ۲۰۱۷؛ ژائو و همکاران، ۲۰۱۹) و منطقه‌ای (چاو و همکاران، ۲۰۰۹؛ کریستیدیس و همکاران، ۲۰۰۵؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۱۶) می‌باشد. باوجود افزایش روند نمایه‌های حدی گرم تعداد روزهای سرد متوالی و تعداد روزهای یخی در استان در حال افزایش است که این مسئله موجب افزایش خسارت سرمازدگی به محصولات باغی شده زیرا بر طبق آمار خسارات محصولات باغی که در سطح استان گزارش شده است تداوم هوای سرد و زیر آستانه تحمل گیاه بیشتر از دو روز موجب خسارت سرمازدگی می‌شود. بررسی احتمال وقوع نمایه‌ها نشان می‌دهد که تعداد شب‌های سرد بر اساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در شمال و شمال شرق استان در حال کاهش است که نشان‌دهنده عدم تأمین نیاز سرمایی درختان موجود در این مناطق در آینده خواهد بود. از طرفی نمایه‌های حدی گرم از جمله نمایه TR20 در شمال و شمال غرب استان گسترش داشته است و گستردگی دمای بالای ۲۵ درجه

6. Arnell, N.W & Gosling, S.N. (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climate Change*. No. 134(3). pp.387-401.
7. Alexander, L.V & Arblaster, J.M. (2017). Historical and projected trends in temperature and precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. *Weather and Climate Extremes*. No.15. pp.34-56.
8. Barker, N. C & Huang, H. P. (2014). A Comparative Study of Precipitation and Evaporation between CMIP3 and CMIP5 Climate Model Ensembles in Semiarid Regions. *Journal of Climate*. No. 27. pp.3731-3749.
9. Bassu, S., Brisson, N., Durand, J. L., Boote, K., Lizaso, J., Jones, J. W & Basso, B. (2014). How do various maize crop models vary in their responses to climate change factors? *Global Change Biology*. No.20(7). pp.2301-2320.
10. Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A., Frei, C., Goyette, S & Woth, K. (2007). Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Climatic Change*. No.8(1). pp. 71-95.
11. Bouma, J., Bootink, H. W. G & Finke, P. A. (1996). Use of survey data for modeling solute transport in the Vaduz. *Jornal of Environ. Quality*. No.25. pp. 519-526.
12. Choi G., Collins D., Ren G., Trewin B., Baldi M., Fukuda Y., Afzaal M., Pianmana T., Gomboluudev P., Huong P.T.T., Lias N., Kwon W.T., Boo K.O., Cha Y.M & Zhou, Y. (2009). Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network region, 1955–
- سلسیوس SU25 در سطوح احتمالاتی ۰/۸ و ۰/۹۶ از غرب و شمال غرب به مرکز و جنوب استان کشیده می‌شود. سناریوهای آینده نشان می‌دهد که علاوه بر مناطق شمالی احتمال خطر نمایه‌های حدی سرد از شمال به شمال شرق استان کشیده می‌شود و افزایش فراوانی وقوع پدیده سرمازدگی در این مناطق وجود خواهد داشت و از طرفی احتمال خطر افزایش نمایه‌های حدی گرم علاوه بر غرب استان به سمت جنوب و مرکز استان کشیده می‌شود که موجب افزایش فراوانی وقوع پدیده گرم‌زدگی می‌شود و در نهایت اثرات مخربی بر صنعت کشاورزی، انرژی و منابع آب استان می‌گذارد.
- منابع
1. Abedini, E., Mousavi Baygi, M., Khashei Siuki, A & Selahvarzi, Y. (2020). Investigating the trend of Extreme Climatic Events in South Khorasan Province. *Agrometeorology Journal*. No.7(2). pp.55-66. (in Persian with English abstract)
 2. Adhikary, P., Chandrasekharan, H., Chakraborty, D & Kamble, K. (2010). Assessment of groundwater pollution in West Delhi, India using geostatistical approach. *Environ Monit Assess*. No. 167. pp.599-615.
 3. Alijani, B & Farajzade, H. (2015). Analysis of Extreme temperature indices in northern Iran. *Journal of Geography and Planning*. No.19(52). pp.229-256. (in Persian with English abstract).
 4. Alizade.A.2008. Principles of Applied Hydrology. Imam Reza University Press, Mashhad.
 5. An, D., Du, Y., Berndtsson, R., Berndtsson, Z., Zhang, L & Yuan, F. (2019). Evidence of climate shift for temperature and precipitation extremes across Gansu Province in China. *Theoretical and Applied Climatology*. No. 139. pp.1137-1149.

- Geographical Sciences.No.18(48). pp.59-78.
(in Persian with English abstract)
19. Hajrasuliha, S., Baniabassi, N., Meohey, J & Nielson, D. R. (1980). Spatial variability of soil sampling for salinity studies in Southwest Iran. *Irrigation Science.No.(1)*. pp.197-208.
 20. IPCC. (2014). *Climate Change2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva.Switzerland.
 21. Kaidani, M & Delbari, M. (2011). Soil Salinity Zoning and Salinity Risk Assessment in Mid-Kenyan Area (Sistan) Using Geostatistical Methods. *Journal of Irrigation Science and Engineering*. No. 35(1). pp. 59-49. (in Persian with English abstract)
 22. Kouzegaran, S & Mousavi Baygi, M. (2015). Investigation of Meteorological Extreme Events in the North-East of Iran. *Journal of Water and Soil*. No.29 (3). pp.750-764. (in Persian with English abstract).
 23. Karl, T.R & Trenberth, K.E. (2003). Modern global climate change. *Science.No.(302)*. pp.1719-1723.
 24. Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X & Wehner, M. (2013). Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic Change*. No.119(2). pp. 345-357.
 25. Krause, P., Boyle D. P & Base, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*. No.5. pp. 89-97.
 26. Lee, J. J., Liu, C. W., Jang, C. S & Liang, C. P. (2008) Zonal management of multi-purpose use of water from arsenic-affected 2007. *International Journal of Climatology*. No.29. pp. 1906-1925.
 13. Christidis N., Stott P.A., Brown S., Hegerl, G.C & Caesar, J. (2005). Detection of changes in temperature extremes during the second half of the 20th Century. *Geophysical Research Letters*. doi: 10.1029/2005GL023885.
 14. Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J. M., Dufresne, J. L., Fichefet, T., Friedlingstein, P & Wehner, M. (2013). Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. Working Group, I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report.1029-1136.
 15. Dasht Bozorgi, A., Alijani, B., Jafarpour, Z & Shakiba, A.R. (2015). Simulation of Khuzestan province temperature limit indices based on RCP scenarios. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. No.16. pp. 123-105. (in Persian with English abstract)
 16. Department of Meteorology of South Khorasan Province. (2016). Long-term statistics and information of meteorological stations of South Khorasan. Birjand. (in Persian with English abstract)
 17. Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J and Warren, R. (2014). Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*. No.9(3). pp034011.
 18. Giasabadi farahani, F., Khoshakhlagh, F., Shamsipoor, A.A., Azizi, G & Fatahi, E. (2018). Investigation and analysis of changes within decades of trend and spatial pattern of precipitation Annual and Seasonal (Case Study: Western Midlands of Iran). *Journal of Applied Research in*

34. Rezaei Banafshe M., Sarafuze F & Jalali, T. (2012). The Study of Daily Extreme Temperature and Precipitation in Urmia Lake Basin. *Journal of Geography and Planning*. 16(28):42-74. (in Persian with English abstract).
35. Shahid, S. (2011). Trends in extreme rainfall events of Bangladesh. *Theoretical Applied Climatology*. 104: 489-499.
36. Sharma, A & Goyal, M.K. (2020). Assessment of the changes in precipitation and temperature in Teesta River Basin in Indian Himalayan Region under climate change. *Atmospheric Research*. No 231. pp.104670.
37. Sneyers, R. 1990. On the statistical analysis of series of observation. *World Meteorological Organization (WMO). Technical Note*. No.143. Geneva: pp .192.
38. Soltani, M., Laux, P., Kunstmann, H., Stan, K., Sohrabi, M.M., Molanejad, M., Sabziparvar, A.A., Ranjbar, A., SaadatAbadi, A., Ranjbar, F., Rousta, I., Zavar-Reza, P., hoshakhlagh, F., Soltanzadeh, I., Babu, C. A & Azizi, G. H. (2016). Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. No.126. pp.775-795.
39. Trenberth, K.E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*. No.(47). pp. 123–138.
40. Ullah, A., Salehnia, N., Kolsoumi, S., Ashfagh A & Khaliq, T. (2018). Prediction of effective climate change indicators using statistical downscaling approach and impact assessment on pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) yield through Genetic Algorithm in Punjab, Pakistan. *Ecological Indicators*. No.90. pp.569–576.
- aquifers by using a multi-variable indicator kriging approach. *Journal of Hydrology*. No. (359). pp. 260– 273.
27. Mahmoudi, P., Khosravi, M., Masoudian, S. A & Alijani, B. (2016). Investigating the trend of changes in the days Along with Iran's pervasive and semi-pervasive glaciers. *geography and planning*. No.54. pp.304-326. (in Persian with English abstract)
28. Maryanj. Z., Marufi s., & Abbasi, H. (2009). Detection the trends of the flow rate and its relationships with meteorological parameters in Yalfan Hamedan basin using Mann- Kendall test. *Third Water Resources Management*. (in Persian)
29. McKinnon, K.A., Rhines, A., Tingley, T. P & Huybers, P. (2016). The changing shape of Northern hemisphere summer temperature distributions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. No .121(15). pp.8849–8868.
30. Mohammadi, H & Taghavi, F. (2005). The trend of extreme temperature and precipitation indices in Tehran. *Journal of Geographical Research*. 53(2):151-172. (in Persian with English abstract).
31. Nandintsetseg, B., Greene, J. S & Goulden, C. E. (2007). Trends in extreme daily precipitation and temperature near Lake Hövsgöl, Mongolia. *International Journal of Climatology*. No .27(3). pp. 341-347.
32. Nash, J. E & J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I a discussion of principles. *Journal of Hydrology*. No.10(3). pp. 282–290.
33. Ozturk, D & Kilic, F. (2016). Geostatistical Approach for Spatial Interpolation of Meteorological Data. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. No.88(4). pp. 2121-2136.

43. Zao, Y., Xu, X., Huang, W., Wang, Y., Xu, Y., Chen, H & Kang, Z. 2019. Trends in observed mean and extreme precipitation within the Yellow River Basin, China. *Theoretical and Applied Climatology*. No.136. pp.1387-1396.
41. World Meteorological Organization (WMO). (1998). *The Global Climate System Review*. No. 856.
42. Zhang, X. (2007). ETCCDI/CRD climate change indices software, Jan 1, 2007, Climate Research Division of Environment Canada, ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml.