

شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP

آمنه دشت بزرگی - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران
بهلول علیجانی^۱ - استاد آب و هواشناسی و مدیر قطب علمی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

زین‌العابدین جعفرپور - استاد آب و هواشناسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

علیرضا شکیبا - دانشیارسنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۷/۲۹

چکیده

این مقاله، سعی نموده است روند شاخص‌های حدی دما را بر اساس سناریوی وضعیت موجود و سه سناریوی RCP شامل ۲/۶، ۴/۵ و ۶/۰ به‌عنوان سناریوهای پیشنهادی فاز ۵ CMIP در استان خوزستان شبیه‌سازی نماید. برای این منظور شاخص‌های TMINmean, DTR, TMAXmean, TN10p, TX10p, TN90p, TN90p و TX90p از مجموعه شاخص‌های معرف تغییر اقلیم جهت تحلیل روند دما انتخاب گردیدند. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد در وضعیت موجود (۲۰۱۲-۱۹۸۲) کمینه‌های دما (+۲/۷۲) در سناریوی وضعیت موجود) نسبت به بیشینه‌های آن (۱/۲+ در سناریوی وضعیت موجود) با سرعت تقریباً بیشتری در حال افزایش هستند؛ به‌طوری‌که این مسئله منجر به روند کاهشی شاخص DTR شده است و شبیه‌سازی روند تغییرات دما بر اساس سناریوهای RCP حاکی از آن است در آینده (۲۰۵۰-۲۰۱۳) روند افزایش دما همچنان ادامه خواهد داشت. به‌طورکلی در این پژوهش روند شاخص‌های شب‌های سرد و گرم (TN10p و TN90p) با روند شاخص TMINmean و شاخص‌های روزهای سرد و گرم (TX10p و TX90p) با شاخص TMAXmenn در مناطق مختلف استان هماهنگی نشان می‌دهد؛ به‌طوری‌که بر اساس آن‌ها تا سال ۲۰۵۰ شاخص‌های دوره سرد روند کاهشی (روزها و شب‌های سرد) و شاخص‌های دوره گرم سال (روزها و شب‌های گرم) روند افزایشی خواهند داشت.

کلیدواژه‌ها: شاخص‌های حدی دما، خوزستان، سناریوهای RCP

۱. مقدمه

ویژگی و پیش‌بینی رخدادهای حدی یکی از شش چالش بزرگ شناسایی شده توسط برنامه جهانی تحقیقات اقلیمی (WCRP^۱) می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده توسط منابع مختلف نشان می‌دهد رخدادهای حدی اقلیمی در طول دهه‌های اخیر افزایش معنی‌داری داشته‌اند (ها و یان^۲، ۲۰۱۲؛ فان^۳ و همکاران، ۲۰۱۵؛ سنویرتن^۴ و همکاران، ۲۰۱۴؛ سو^۵ و همکاران، ۲۰۱۴؛ IPCC^۶, 2014). تغییرات منطقه‌ای رخدادهای حدی قطعیت بیشتری نسبت به تغییرات در میانگین‌های فصلی دارند و افزایش وقوع رخدادهای حدی بر زیرساخت‌های اجتماعی و اقتصادی از قبیل کشاورزی، سلامت، منابع آب، خدمات عمومی تأثیر زیادی می‌گذارد (استرلینگ^۷ و همکاران، ۲۰۰۰؛ میل^۸ (a) و همکاران، ۲۰۰۰؛ فرومکین^۹ و همکاران، ۲۰۰۸). تحلیل روند شاخص‌های حدی دما در تخمین روند گرمایش جهانی با اهمیت است. افزایش دما نقش مهمی در افزایش شدت خشکی که منجر به وقوع بیشتر رخداد حدی خشک‌سالی می‌شود دارد؛ همچنین می‌تواند باعث بیابان‌زایی، کاهش منابع آب و کاهش تولیدات کشاورزی ناشی از خرابی و نابودی محصولات شود (لیو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۹؛ چمچتی و باهیر^{۱۱}، ۲۰۱۱؛ فرناندز^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۳؛ مکفدن^{۱۳}، ۲۰۱۴؛ ویر و احمد^{۱۴}، ۲۰۱۵).

از زمان ثبت داده‌های هواشناسی تا اواسط ۱۹۸۰، تحلیل روند گرمایش جهان با استفاده از میانگین‌های ماهانه دما انجام می‌شد. در دهه ۱۹۸۰، محققین با تحلیل روند بلندمدت میانگین دما، پی به افزایش روند دما و به دنبال آن گرمایش جهانی بردند. نتایج آن‌ها نشان می‌داد برای یک دوره طولانی در دهه‌های ۱۹۴۰، ۱۹۵۰ و تا اوایل دهه ۱۹۶۰ دمای هوا کاهش، و بعد از آن تا دهه ۱۹۸۰ دمای هوا بیشترین مقدار افزایش را تا آن زمان داشته است (جونس^{۱۵} و همکاران، ۱۹۸۲؛ مرنس^{۱۶} و همکاران، ۱۹۸۴؛ هانسن^{۱۷}، ۱۹۸۷، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۴). بعد از شکل‌گیری تأسیس هیئت بین

-
- 1 World Climate Research Programme
 - 2 Ha and Yan
 - 3 Fan
 - 4 Seneviratne
 - 5 Seo
 - 6 Intergovernmental Panel on Climate Change
 - 7 Easterling
 - 8 Meahl
 - 9 Frumkin
 - 10 Liu
 - 11 Chamchati and Bahir
 - 12 Fernández
 - 13 McFadden
 - 14 Muhire and Ahmed
 - 15 Jones
 - 16 Mearns
 - 17 Mearns

الدول تغییر اقلیم (IPCC) در سال ۱۹۸۸ و انجام تحقیقات گسترده در سطح جهان برای درک بهتر تغییرات رخ داده شده، محققین دریافتند میانگین ماهانه دما برای نمایش تغییرات گرمایش جهانی از توانایی لازم برخوردار نمی باشد. نتایج به دست آمده از تحلیل روند میانگین های پیشینه و کمینه دما در اوایل دهه ۱۹۹۰ نشان داد میانگین حداقل های دما با سرعت بیشتری نسبت به میانگین حداکثرهای دما در حال افزایش می باشد (کارل^۱ و همکاران، ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵؛ هایلوک^۲ و همکاران، ۲۰۰۰؛ IPCC, 2001 & 2007).

در سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱، با همکاری سازمان جهانی هواشناسی (WMO^۳)، برنامه تحقیقات اقلیمی (WCRP / CLIVAR^۴) و کارگروه آشکارسازی تغییر اقلیم (WGCCD^۵) کارگروهی با هدف تحقیق درباره شیوه های تولید شاخص های حدی اقلیمی با مقیاس روزانه، محدودیت ها و کاربردهای مختلف آن ها در بخش های مختلف در سطوح جهان و محلی تشکیل گردید. نتایج کارگروه تخصصی ابتدا منجر به معرفی و توسعه شاخص های حدی متعددی با ویژگی های متفاوتی از قبیل فراوانی روزانه (روزهای همراه با بارش های سنگین)، صدک ها (صدک ۱۹۰م حداقل دما) و ... از داده های روزانه دما و بارش گردید، سپس با تحلیل اثرات تغییر اقلیم در مناطق مختلف جهان مشخص گردید مناطق مختلف از قبیل آمریکای شمالی، استرالیا، اروپا و ... روندهای متفاوتی را تجربه می کنند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸؛ برونیتی^۶ و همکاران، ۲۰۰۰؛ میل و همکاران (b)، ۲۰۰۰؛ کلین تنک^۷ و همکاران؛ ۲۰۰۱؛ جانگ^۸ و همکاران، ۲۰۰۱؛ یان^۹ و همکاران، ۲۰۰۲؛ فلند^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۲؛ پیترسن^{۱۱} و همکاران، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲؛ فریچ^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۲؛ کارل و همکاران، ۲۰۰۳؛ بل^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۴؛ الکساندر^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۶؛ بنیستون^{۱۵} و همکاران، ۲۰۰۷؛ نندایتستسگ^{۱۶} و همکاران، ۲۰۰۷؛ لئو و همکاران، ۲۰۰۸؛ رحیم زاده و همکاران، ۲۰۰۸). با تلاش زیاد محققین در آن سال ها برای ارائه تصویر جهانی از تغییر اقلیم، به دلیل مشکلات مربوط به دسترسی و وجود داده های روزانه با فرمت یکسان در سراسر جهان، همچنان مناطقی وجود داشت که در آن ها آشکارسازی تغییر اقلیم انجام نگردید. در اوایل دهه

1 Karl

2 Haylock

3 World Meteorological Organization

4 Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change

5 Working Group on Climate Change Detection

6 Brunetti

7 Klein Tank

8 Zhang

9 Yan

10 Folland

11 Peterson

12 Frich

13 Bell

14 Alexander

15 Beniston

16 Nandintsetseg

۲۰۰۰، IPCC سناریوهای انتشار^۱ SRES را در سومین گزارش ارزیابی (TAR^۲) منتشر و از آن‌ها در چهارمین گزارش ارزیابی (AR^۳) استفاده نمود. سناریوهای معرفی شده در دو گروه A و B بودند و هرکدام شامل زیرگروه‌های مختلفی می‌شدند. در سناریوهای انتشار جنبه‌های متفاوت رشد جمعیت، تغییرات انرژی و کاربری اراضی، توسعه اقتصادی و مسائل زیست‌محیطی از دید جهانی و منطقه‌ای دیده شده است. محققین زیادی در آن سال‌ها روند تغییرات دما را با در نظر گرفتن اثرات متفاوتی که بر بخش‌های مختلف از قبیل کشاورزی دارد بررسی نمودند و با توجه به تفاوت‌های منطقه‌ای که در شاخص‌های حدی دما مشاهده نمودند دریافتند شاخص‌های بیشینه و کمینه دما با شیب خط‌های متفاوت، افزایش معنی‌داری در آینده خواهند داشت (یلونگا و تسایندا^۴، ۲۰۰۴؛ فریو و همکاران^۵، ۲۰۱۱؛ چمچتی و باهیر، ۲۰۱۱؛ خارین^۶ و همکاران، ۲۰۱۳؛ مویر و احمد، ۲۰۱۵).

با شروع دهه ۲۰۱۰، CMIP5^۷ سناریوهای جدید RCPS^۸ را پیشنهاد داد سناریوهای پیشنهادی در چهار حالت 2.6، 4.5، 6.0 و 8.5 هستند. RCPهای ۴،۵، ۶،۰ و ۸،۵ تقریباً با سناریوهای B1، A1B و A2 مطابقت دارند (موس^۹ و همکاران، ۲۰۱۰، پلتنر و استکر^{۱۰}، ۲۰۱۰؛ ون ویورن^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۱؛ تایلر^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۲؛ جانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ خارین و همکاران، ۲۰۱۳؛ IPCC, 2014؛ مرنگو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۴؛ مویر و احمد، ۲۰۱۵). با انتشار سناریوهای جدید در سال‌های اخیر، تمرکز زیادی بر استفاده از آن‌ها شده است. در گزارش ارزیابی پنجم IPCC و برخی تحقیقات دیگر، پیش‌بینی شده است بر اساس سناریوهای RCP، کمینه‌های دما نسبت به بیشینه‌های دما افزایش، فراوانی روزهای یخبندان کاهش و فراوانی شب‌های حاره‌ای افزایش معنی‌داری در دهه‌های آینده خواهند داشت (کلینس^{۱۴}، ۲۰۱۳؛ LATS^{۱۵}, 2013). به دنبال توسعه سناریوهای RCP، برخی از محققین با استفاده از پیش‌بینی روند دما در سناریوهای مختلف، اثرات آن‌ها را بر اثرات آن‌ها را بر موضوعات مختلف از قبیل منابع آب، کشاورزی و ... بررسی نمودند (درینگ^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۴؛ بسو^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۴).

1 Special Report on Emissions Scenarios

2 Third Assessment Report

3 Fourth Assessment Report: Climate Change 2007

4 Ilunga and Tsinda

5 Furió

6 Kharin

7 Coupled Model Intercomparison Project 5

8 Representative Concentration Pathways

9 Moss

10 Plattner and Stocker

11 Van Vuuren

12 Taylor

13 Marengo

14 Collins

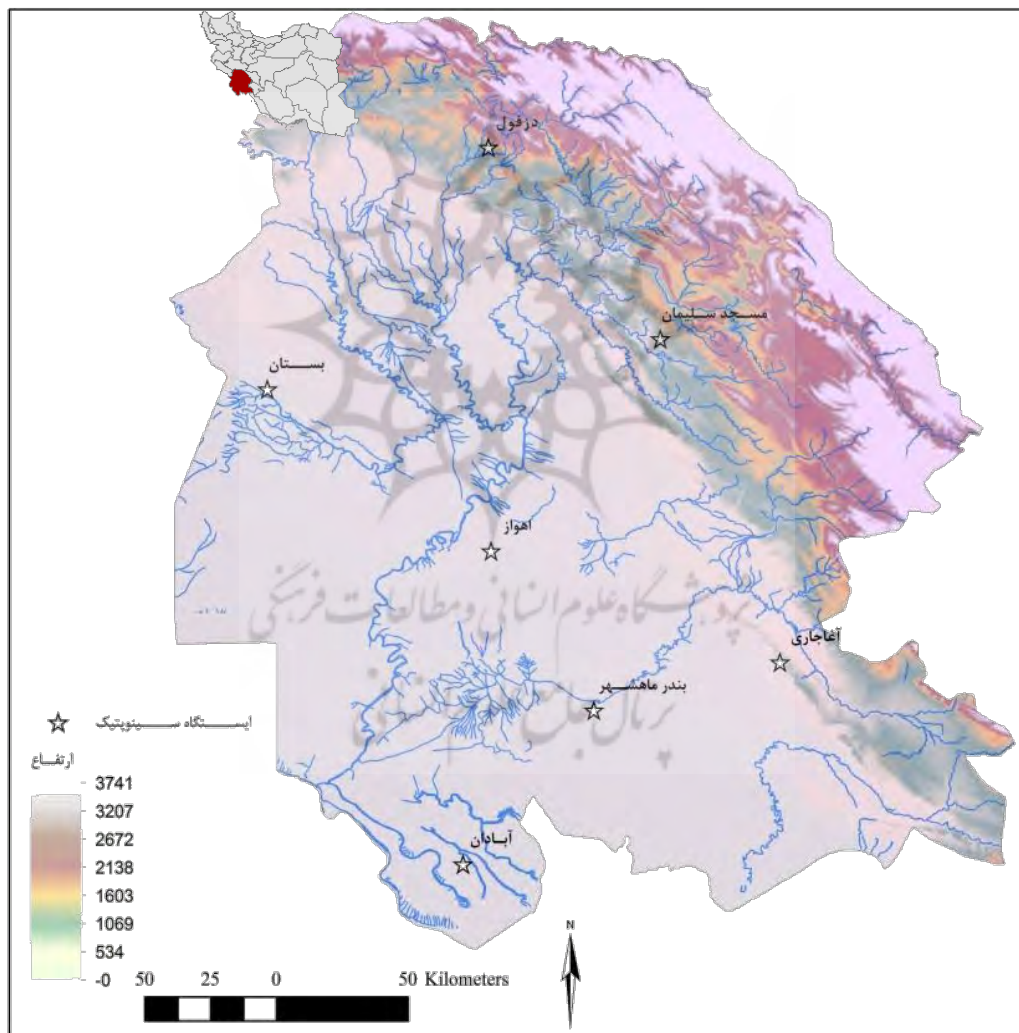
15 Long-Term Adaptation Scenarios flagship research programme (LTAS) for South Africa

16 Deryng

17 Bassu

۲. منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق سعی شده است با استفاده از سناریوهای جدید RCP شرایط اقلیمی آینده استان خوزستان بر اساس شاخص های حدی دما تا دهه ۲۰۵۰ تحلیل گردد. استان خوزستان بین طول های ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی، در جنوب غربی ایران واقع شده است و جایگاه ویژه ای در اقتصاد کشور از منظر کشاورزی و صنعت ایفاء می نماید. به همین دلیل آشکارسازی چگونگی روند تغییر اقلیم در آن از اهمیت ویژه ای برخوردار است زیرا عدم توجه به این چالش محیطی مهم، در آینده می تواند سیاست گذاران و مردم محلی منطقه را با چالش های اساسی زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی مواجه نماید.



شکل ۱ پراکنش ایستگاه های سینوپتیک در استان خوزستان

۳. مواد و روش‌ها

متدولوژی بررسی آینده شرایط اقلیمی خوزستان بر اساس سناریوهای RCP در دو بخش وضعیت موجود و آینده انجام گردید که هر کدام شامل مراحل مختلفی می‌باشند. به منظور تحلیل شرایط اقلیمی آینده، از میان شاخص‌های معرفی شده توسط مرکز بین‌المللی ETCCDI^۱، هفت شاخص دمای TMAXmean, DTR, TMINmean, TN10p, TX10p, TN90p و TX90p انتخاب گردید (جدول ۱). هدف از انتخاب شاخص‌های دما در استان اهمیت اثرات آن بر بخش‌های مختلف منطقه به ویژه کشاورزی می‌باشد.

جدول ۱ شاخص‌های دما

شاخص	توضیحات
DTR	دامنه تغییرات دما $DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (Tx_{ij} - Tn_{ij})}{I}$
TMAXmean	میانگین بیشینه دما
TMINmean	میانگین کمینه دما
TN10p	شب‌های سرد $Tn_{ij} < Tn_{in10}$
TX10p	روزهای سرد $Tx_{ij} < Tx_{in10}$
TN90p	شب‌های گرم $Tn_{ij} > Tn_{in90}$
TX90p	روزهای گرم $Tx_{ij} > Tx_{in90}$

برای شروع تحلیل شرایط اقلیمی آینده منطقه، ابتدا وضعیت موجود در سه مرحله بررسی گردید. ابتدا ایستگاه‌های سینوپتیک استان بررسی و از میان آن‌ها ایستگاه‌هایی که طول دوره آماری ثبت داده‌های آن‌ها بیشتر یا نزدیک به ۳۰ سال بود و توزیع مکانی مناسبی در سطح استان داشتند انتخاب گردیدند. ایستگاه‌های انتخاب شده شامل آبادان، اهواز، بندر ماهشهر، امیدیه (آغاچاری)، مسجدسلیمان، دزفول و بستان می‌باشد (شکل ۱). بازسازی داده‌های مفقود شده با برنامه ClimGen انجام شد و کنترل کیفی و همگن‌سازی با استفاده از بخش کنترل کیفی برنامه RCLimDex انجام گردید. در نهایت شاخص‌ها برای دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۱۲ مدل‌سازی و تحلیل روند شدند و معنی‌داری روند شاخص‌ها در محدوده آماری ۰,۰۵ P value آزمون گردید.

در مدل‌های اجرا شده برای پنجمین گزارش ارزیابی IPCC (AR5^۲)، سناریوهای RCP جایگزین سناریوهای SRES شدند (ون ویورن و همکاران، ۲۰۱۱). سناریوهای RCP نشان دهنده محرکه‌های تابشی هستند و در میان

آن‌ها سناریوی RCP 2.6 سناریوهای انتشار و محرکه‌های تابشی کم (تقریباً با سناریوهای B1 یا B2 مطابقت دارند) و سناریوی RCP 8.5 محرکه‌های تابشی و سناریوهای انتشار زیاد (تقریباً با سناریوهای A1 یا A2) را نشان می‌دهند. همچنین سناریوهای RCP 4.5 و 6.0 حالت متوسط دارند (مرنگو و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از معیارهایی که در تهیه سناریوهای RCP مورد توجه بوده است توانایی آن‌ها در شبیه‌سازی کاربری ارضی از قبیل زمین‌های زراعی، مراتع و پوشش گیاهی می‌باشد که بر اساس آن‌ها، در RCP 2.6 تا سال ۲۱۰۰ زمین‌های زراعی افزایش (همراه با مدیریت بهینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای) و در RCP 4.5 کاهش خواهند یافت (همراه با حداقل مدیریت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و RCP 6.0 مطابق با سناریوی وضعیت موجود خواهد بود. به همین دلیل یکی از مهم‌ترین ویژگی این سناریوها توانایی ارزیابی اثرات تغییر اقلیم می‌باشد (ون ویورن و همکاران، ۲۰۱۱). در این تحقیق برای تحلیل آینده از میان چهار سناریوی معرفی شده در توسط پنجمین گزارش ارزیابی IPCC (AR5)، سه سناریوی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6.0 برای دوره زمانی ۲۰۱۳-۲۰۵۰ انتخاب گردید. هدف از انتخاب آن‌ها پیش‌بینی حداکثر، حداقل و حد واسط تغییرات آینده می‌باشد.

مدل‌های GCM^۱ ارائه شده در فاز CMIP^۵ در مقایسه با فاز CMIP^۳ از کیفیت مکانی بالاتری برخوردار هستند (مرنگو و همکاران، ۲۰۱۴). لذا در این تحقیق GCM های مختلف ارائه شده در فاز ۵ CMIP مورد توجه قرار گرفتند. علاوه بر کیفیت مکانی سعی گردید مدلی انتخاب گردد تا از توانایی مناسب در پیش‌بینی دما و حداقل خطا در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی منطقه بهره‌مند باشد. به این دلایل ابتدا سه GCM، (۱/۸۷۵ × MRI-CGCM3^۴، (۱/۲۴۱۴ × HadGEM2-ES^۲، (۱/۴۰۶۳ × MIROC5^۳) و (۱/۱۲۵ × ۱/۱۲۵) انتخاب گردیدند. پس از انتخاب سناریوها و GCM های مناسب برای تحلیل شرایط آینده، انواع مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی بررسی گردید و نتایج به دست آمده نشان داد مدل‌های Pattern Scaling توانایی زیادی در شبیه‌سازی الگوهای تغییرات دما در یک منطقه دارند (کنت و بونومو^۵، ۲۰۰۶؛ لویز^۶ و همکاران، ۲۰۱۱؛ کرمسر^۷ و همکاران، ۲۰۱۴؛ تبدلی^۸ و همکاران، ۲۰۱۴). به همین دلیل مدل MARKSIM به‌عنوان مدل ریزمقیاس‌نمایی انتخاب گردید. جهت ارزیابی دقت مدل برای شبیه‌سازی تغییرات دما در منطقه، ابتدا مدل‌های GCM انتخاب شده برای دوره آماری ۲۰۱۳-۲۰۵۰ ریزمقیاس‌نمایی، مدل‌سازی شاخص‌های دما انجام و خروجی مدل‌های مختلف مقایسه گردید. سپس

1 General Circulation Models/ Global Climate Models

2 Met Office Hadley Centre

3 Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute (The University of Tokyo), and National Institute for Environmental Studies

4 Meteorological Research Institute

5 Kennett and Bunnomo

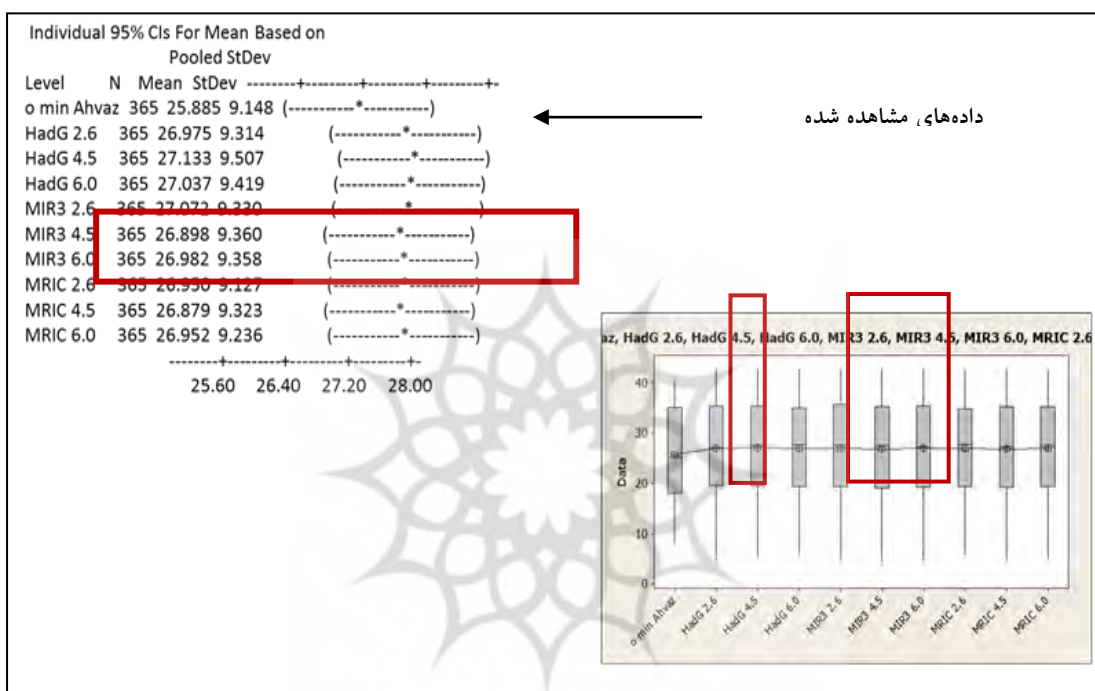
6 Lopez

7 Kremser

8 Tebaldi

با استفاده از تحلیل واریانس (شکل ۲) مدل MIROC5 به عنوان مدل مناسب انتخاب گردید. و سطح معنی داری روند شاخص های دما در محدوده ۰/۰۵ بررسی گردید.

در مرحله آخر به منظور تحلیل مکانی تغییرات آینده و مقایسه آن با شرایط وضع موجود با استفاده از روش درون یابی^۱ IDW، شاخص شیب خط پهنه بندی گردید و چهار سناریوی وضعیت موجود، RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 6.0 با هم مقایسه و تغییرات آنها نسبت به هم تحلیل و میزان آسیب پذیری منطقه در شرایط تغییر اقلیم بررسی گردید



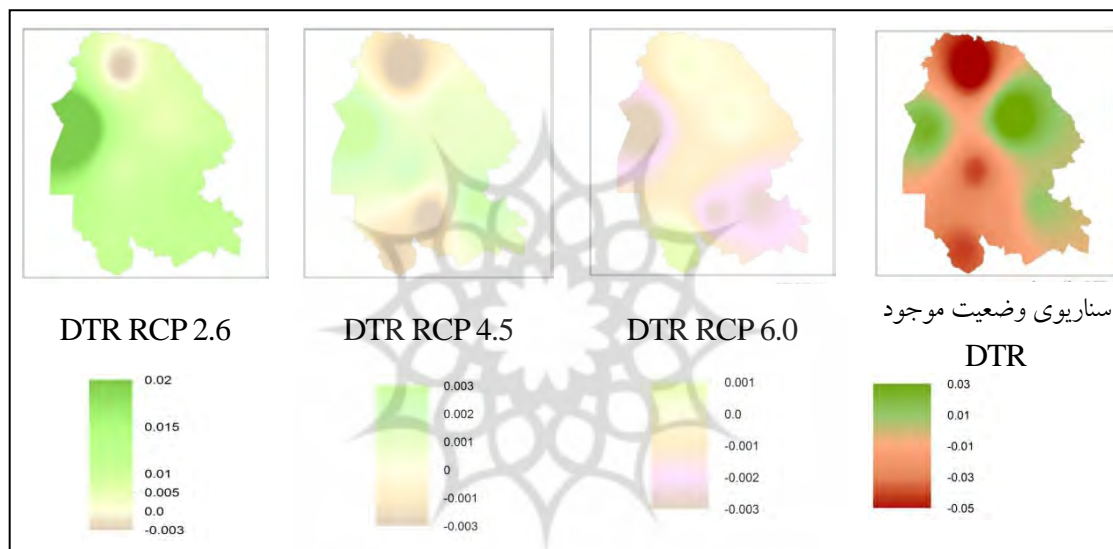
شکل ۲ آنالیز واریانس GCM های انتخاب شده (HadGEM2-ES، MIROC5 و MRI-CGCM3) با

داده های مشاهده شده

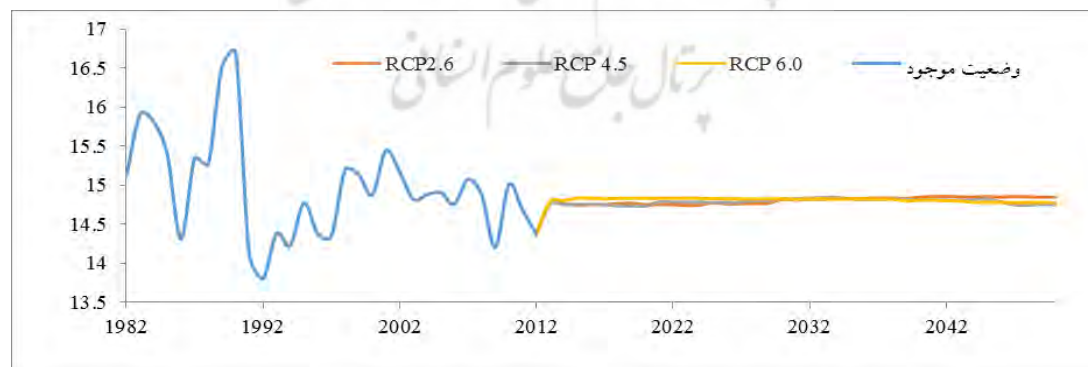
۴. بحث و نتایج

در این تحقیق الگوی تغییرات مکانی شاخص های حدی دما در استان خوزستان برای دو دوره آماری ۲۰۱۲-۱۹۸۳ و ۲۰۱۳-۲۰۵۰ و چهار سناریوی وضعیت موجود، RCP 2.6، RCP 4.5، RCP 6.0 و تحلیل و مقایسه گردید. نتایج به دست آمده نشان داده است تحت سناریوهای مختلف شاخص های کمینه و بیشینه دما، به ویژه شاخص های برگرفته از صدک های متفاوتی در نواحی مختلف استان خواهند داشت. شکل ۳ تغییرات مکانی شاخص DTR را بر اساس چهار سناریوی فوق در استان خوزستان نشان می دهد. بر اساس سناریوی وضعیت

موجود نواحی شمالی، مرکزی و جنوبی خوزستان روند کاهشی معنی داری داشته اند و دیگر نواحی استان با روند افزایشی مواجه بوده اند. دامنه تغییرات ایجاد شده در سناریوی وضعیت موجود حدود $-0/05$ - $0/02$ می باشد. روند کاهشی DTR دلالت بر افزایش کمینه های دما دارد و افزایش کمینه های دما در نواحی نیمه خشک عرض های جنوبی اثرات مخربی بر فنولوژی محصولات زراعی خواهد گذاشت که باعث کاهش عملکرد گیاه در پایان دوره رشد می شود (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۳؛ مکفدن، ۲۰۱۴). شیب خط تغییرات برآورد شده برای سناریوهای آینده تغییراتی حدود $-0/005$ - $0/02$ می باشد. میانگین روند DTR در شکل ۴ نشان می دهد این شاخص تحت سناریوهای مختلف تغییرات معنی داری نخواهد داشت. دلیل این موضوع می تواند روند افزایشی سریع میانگین های بیشینه دما همگام با میانگین های کمینه دما می باشد (شکل ۶).



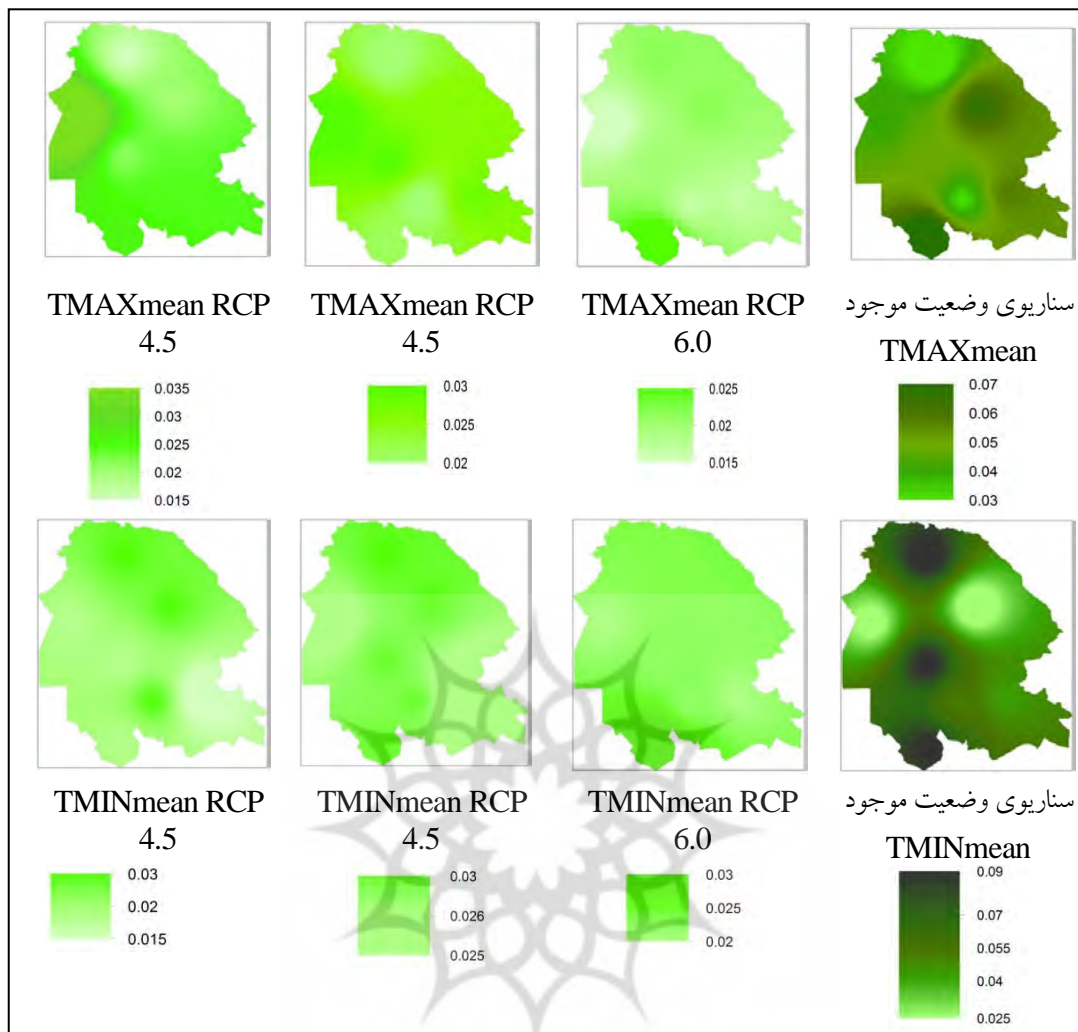
شکل ۳ تغییرات مکانی شاخص DTR بر اساس سناریوهای مختلف



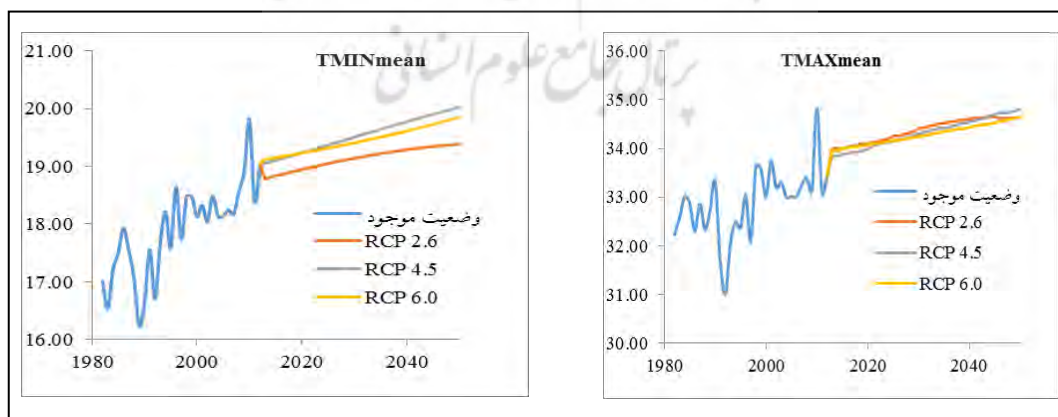
شکل ۴ روند شاخص DTR بر اساس سناریوهای مختلف

نتایج به دست آمده از روند زمانی میانگین‌های بیشینه و کمینه در وضعیت موجود نشان می‌دهد کمینه‌های دما ($+2/72$ در سناریوی وضعیت موجود) نسبت به بیشینه‌های آن ($+1/2$ در سناریوی وضعیت موجود) با سرعت تقریباً بیشتری در حال افزایش هستند که این مسأله علل کاهش شاخص DTR می‌باشد (فریو و همکاران، ۲۰۱۱). شاخص TMINmean نسبت به شاخص TMAXmean در نواحی مختلف استان از شدت و ضعف بیشتری برخوردار است به طوری که نواحی جنوبی، مرکزی و شمالی حداکثر روند افزایشی را در سناریوی وضعیت موجود تجربه کرده‌اند. اگرچه روند این دو شاخص در سناریوهای آینده مانند وضعیت موجود افزایشی می‌باشد اما شیب خط نسبتاً کمتر دارند. شاخص TMINmean در سناریوی RCP 4.5 به طور میانگین 1°C نسبت به دو سناریوی دیگر افزایش خواهد داشت و بیشتر نواحی استان آن را تجربه خواهند کرد. روند این شاخص در سناریوی RCP 6.0 در مقایسه با دو سناریوی دیگر در سراسر استان همگن تر می‌باشد و تنها ناحیه جنوبی استان افزایشی در روند نسبت به دیگر نواحی خواهد داشت. به طور کلی الگوی افزایشی دما در تمام منطقه دیده می‌شود این موضوع در مطالعات انجام شده در آمریکای جنوبی (مرنگو و همکاران، ۲۰۱۴) دیده شده است.

شاخص TMAXmean در سناریوی RCP 2.6 روند افزایشی بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر دارد و حداکثر افزایشی که رخ خواهد داد در نواحی غربی استان است و دیگر نواحی از روند همسانی برخوردار خواهند بود. در سناریوی RCP 4.5 علاوه بر نواحی غربی نواحی مرکز نیز روند افزایشی بیشتری نسبت به سایر نواحی خواهند داشت و در نهایت برای سناریوی RCP 6.0 پیش‌بینی شده است سراسر استان به صورت همگن تقریباً $0/7^{\circ}\text{C}$ افزایش در میانگین بیشینه دما خواهد داشت. محققین یکی از علل افزایش کمینه و بیشینه دما را در یک منطقه تغییرات زیاد کاربری اراضی می‌دانند (لادچی^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). همچنین محققین زیادی درباره ارتباط میان افزایش بیشینه کمینه دما با دوره رشد محصولات زراعی تحقیق نموده‌اند نتایج آن‌ها نشان داده است افزایش دما و ایجاد تنش حرارتی برای گیاه در زمان پرشدگی دانه، باعث ضعیف شدن آن و به دنبال آن کاهش عملکرد می‌شود (نوید^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به نتایج به دست آمده از روند تغییرات TMINmean و TMAXmean در چهار سناریوی مختلف و وجود روند افزایشی در این دو شاخص نشان می‌دهد در آینده محصول زراعی استان در برابر تغییر الگوهای دمایی آسیب‌پذیر خواهد گشت. شکل‌های ۵ و ۶ تغییرات میانگین بیشینه و کمینه دما بر اساس چهار سناریو نشان می‌دهد.



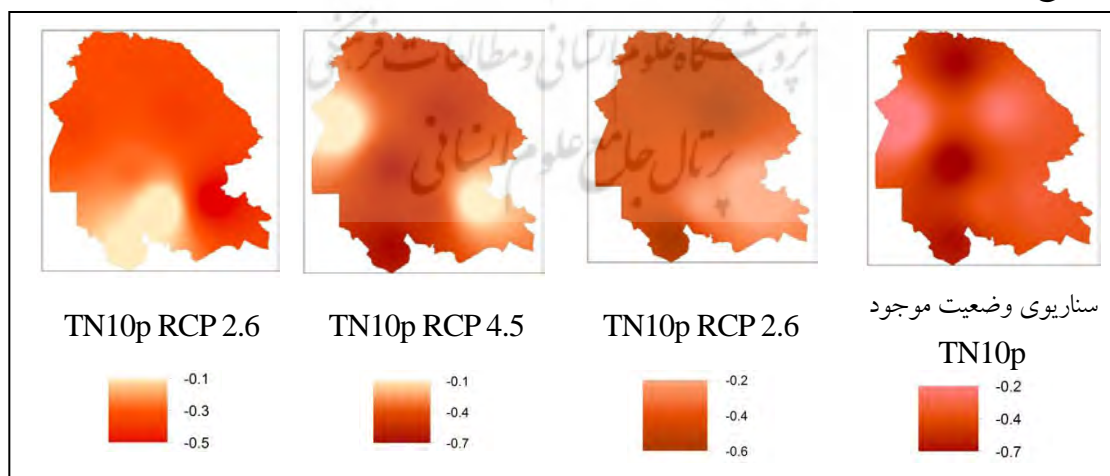
شکل ۵ تغییرات مکانی شاخص های TMAXmean و TMINmean بر اساس سناریوهای مختلف

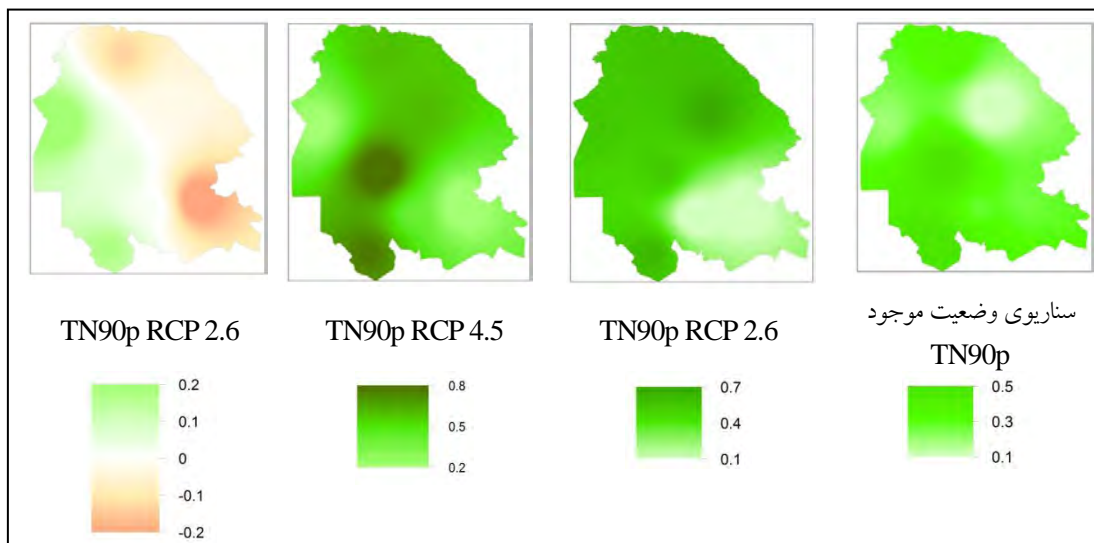


شکل ۶ روند شاخص های TMAXmean و TMINmean بر اساس سناریوهای مختلف

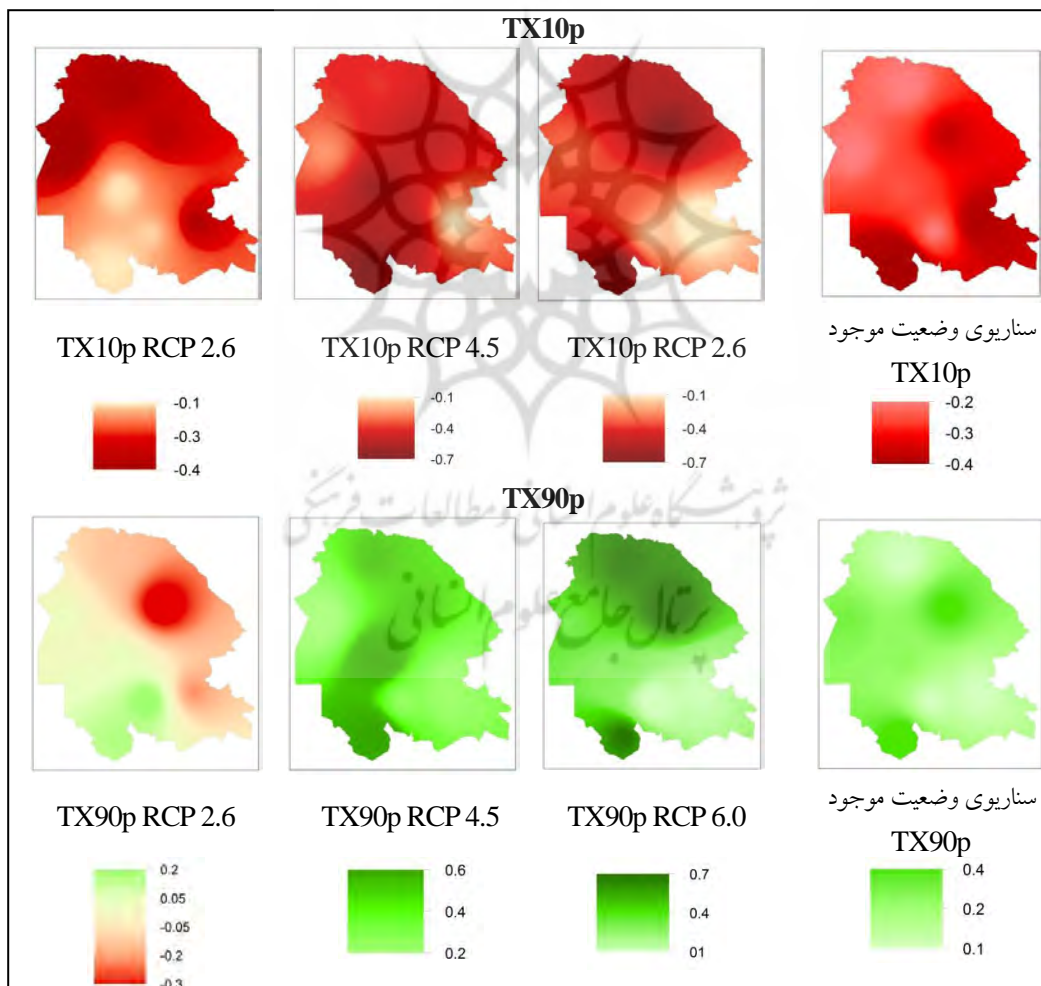
بر اساس شکل‌های ۷، ۸ و ۹ و بررسی شاخص‌های برگرفته از صدک‌های دما شامل شاخص‌های دوره سرد (TN10p و TX10p) و گرم (TN90p و TX90p) در سناریوهای مختلف همانند شاخص‌های فوق نشان می‌دهد شاخص‌های دوره سرد روند کاهشی و شاخص‌های دوره گرم روند افزایشی دارند. مقایسه روند شاخص‌های TN10p و TN90p در سناریوی وضعیت موجود مانند شاخص DTR نشان می‌دهد نواحی جنوبی، مرکزی و شمالی استان با روند کاهشی در شاخص TN10p و افزایشی TN90p مواجه بوده‌اند. و این حالت در نواحی مرکزی استان به دلیل تغییرات شدید کاربری اراضی در سناریوهای RCP 6.0 و RCP 4.5 ادامه خواهد داشت. در میان سناریوهای آینده سناریوی RCP 4.5 بیشترین تغییرات مکانی را برای شاخص TN10p و سناریوی RCP 6.0 بیشترین تغییرات مکانی برای شاخص TN90p نشان می‌دهد. شاخص TN90p در سناریوهای مختلف تقریباً با همان شیب خطی که شاخص شب‌های سرد در حال کاهش است روند افزایشی را نشان می‌دهد. سناریو RCP 2.6 در شاخص TN90p نشان می‌دهد چنانچه سیاست‌های کنترل و سازگاری با تغییر اقلیم در منطقه اتخاذ گردد روند افزایش شب‌های گرم کنترل خواهد شد. شاخص‌های TX10p و TX90p روندی مشابه با شاخص‌های TN10p و TN90p نشان می‌دهد و اما تفاوت مکانی کمتری دیده می‌شود و شاخص TX90p در سناریوی RCP 2.6 همانند شاخص TN90p می‌باشد. مناطق شرقی استان نسبت به مناطق غربی کاهش بیشتری در روزها و شب‌های گرم خواهند داشت.

در میان چهار شاخص فوق، شاخص TN90p به دلیل اینکه اثرات مخرب زیست‌محیطی خود را در اواخر تابستان نشان می‌دهد (بوکوا^۱ و همکاران، ۲۰۱۴) تأثیر منفی زیادی بر محصولات زراعی استان که در فصل تابستان کشت می‌شود می‌گذارد. بر اساس این چهار شاخص، دوره گرم در تمام مناطق استان در حال افزایش و دوره سرد سال در حال کاهش است. که نیاز به اتخاذ سیاست‌ها و اجرای راهکارهای سازگاری در سطوح مختلف را ضروری می‌نماید تا امکان وقوع سناریوی RCP 2.6 محقق گردد.

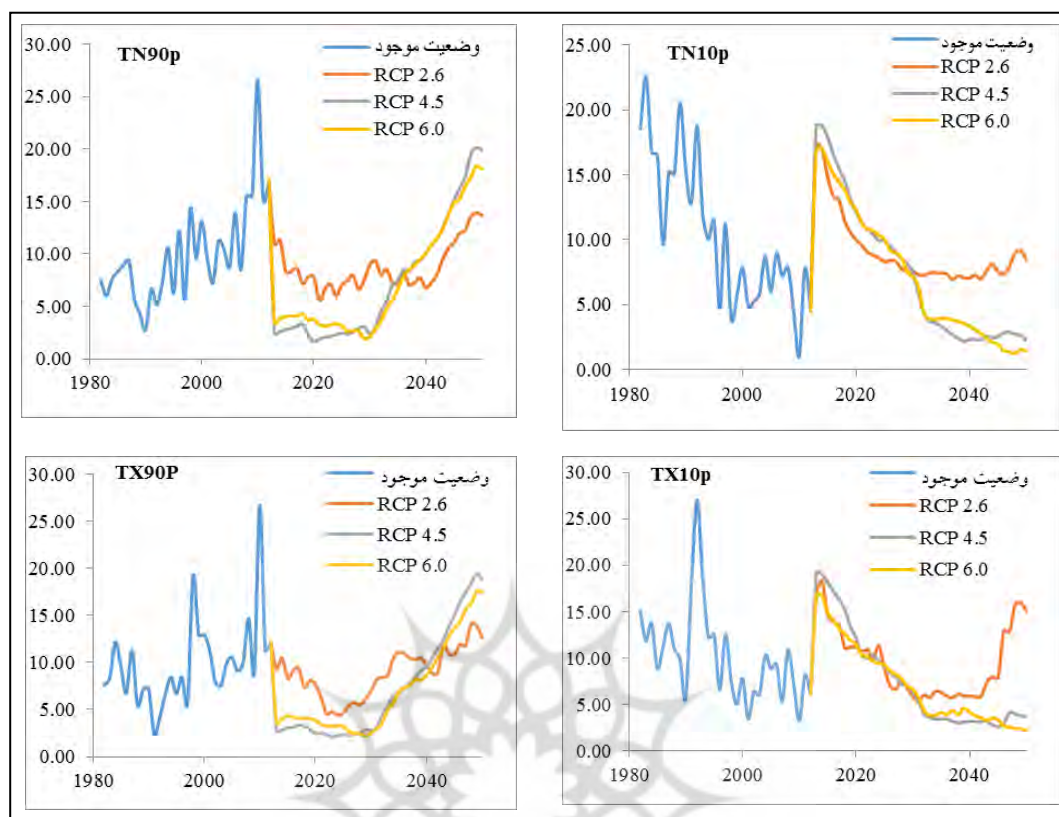




شکل ۷ تغییرات مکانی شاخص TN90P و TN10p بر اساس سناریوهای مختلف



شکل ۸ تغییرات مکانی شاخص TX90P و TX10p بر اساس سناریوهای مختلف



شکل ۹ روند شاخص‌های TN90p, TN10p, TX10p و TX90p بر اساس سناریوهای مختلف

۵. نتیجه‌گیری

این مقاله با تحلیل زمانی-مکانی شاخص‌های حدی دما در سناریوی وضعیت موجود (1982-2012) و سه سناریوی RCP 2.6, 4.5 و 6.0 (2013-2050) بر اساس داده‌های مشاهده شده و مدل MIROC5, GCM تغییرات دمای خوزستان را شبیه‌سازی نموده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در طول دوره آماری افزایش یافته است و روند افزایشی آن در سناریوهای آینده خواهد داشت. همچنین کل منطقه مطالعاتی الگوی مکانی تقریباً مشابهی خواهد داشت (سنویرتن و همکاران، ۲۰۱۴). و آستانه‌های کمینه دما (TMINmean) نسبت به بیشینه (TMAXmean) آن در وضعیت موجود با سرعت بیشتری در حال افزایش می‌باشد و این روند در آینده به دلیل بالارفتن بیشینه‌های دما روندی مشابه با کمینه‌های دما پیدا نموده است (شکل ۶) و به‌طور کلی بر روند شاخص DTR تأثیر گذاشته است (شکل ۴) این موضوع در نتایجی محققینی همچون جو^۱ و همکاران (۲۰۰۹) دیده شده است.

روند تغییرات شاخص های شب های سرد و گرم (TN10p و TN90p) با روند شاخص TMINmean و شاخص های روزهای سرد و گرم (TX10p و TX90p) با شاخص TMAXmenn در مناطق مختلف استان هماهنگی نشان می دهد. این موضوع می تواند متأثر از سیاست های تغییر کاربری اراضی در سال های اخیر باشد و مطابق با سناریوهای مختلف چنانچه روند ادامه داشته باشد منطقه را به شدت آسیب پذیر و بخش کشاورزی را با کاهش عملکرد محصول مواجه خواهد نمود. بر اساس تحلیل های انجام شده، در آینده دوره گرم سال در حال افزایش و دوره سرد سال روند کاهشی خواهد داشت و منجر به بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق و کاهش رطوبت خاک و دلیلی برای کاهش ذخیره آبی خواهد گردید (یلونگا و تسایندا، ۲۰۰۴؛ مویر و احمد، ۲۰۱۵). از این رو این افزایش دما و پتانسیل تبخیر و تعرق به علت کمبود آب زراعی، منجر به از بین رفتن محصولات یا کاهش تولید محصولات کشاورزی می شود. این موارد در نواحی شمالی و مرکزی استان که قطب های کشاورزی هستند در سناریوهای مختلف دیده می شود. سناریوهای آینده نشان می دهند علاوه بر نواحی شمالی استان که از نظر کشاورزی دارای اهمیت است و به شدت از تغییرات دمایی تحت شرایط تغییر اقلیم آسیب پذیر خواهد شد، نواحی غربی و جنوب شرقی که در شرایط کنونی کمتر متأثر گشته اند در آینده به شدت آسیب پذیر خواهند شد.

نتایج به دست آمده در سناریوهای مختلف با روند تغییرات دما در مناطق مختلف جهان مطابقت نشان می دهند (بل و همکاران، ۲۰۰۴؛ الکساندر و همکاران، ۲۰۰۶؛ کلینس و همکاران، ۲۰۱۳؛ سنویرتن و همکاران، ۲۰۱۴)؛ به ویژه در مناطقی مانند آمریکای جنوبی (مرنگو و همکاران، ۲۰۱۴)، آرژانتین، (فرناندز و همکاران، ۲۰۱۳)، اروپا (بنیستون و همکاران، ۲۰۰۷)، ایتالیا (برونتی^۱ و همکاران، ۲۰۰۴)، اسپانیا (فریو و همکاران، ۲۰۱۱) و ... الگوی مکانی - زمانی تغییرات دمای استان شباهت زیادی نشان می دهد.

کتابنامه

شکیبا، علیرضا، خلیلی، عین الله و دشت بزرگی، آمنه؛ ۱۳۸۸. تحلیل روند تغییرات دمایی شهرستان اهواز بر اساس شاخص های حدی. مجله چشم انداز جغرافیایی. علمی - پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت. سال چهارم. شماره ۸ بهار و تابستان.

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G. & Tagipour, A. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5),

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*, 20(7), 2301-2320.

Bell, J. L., Sloan, L. C., & Snyder, M. A. (2004). Regional changes in extreme climatic events: A future climate scenario. *Journal of Climate*, 17(1), 81-87

- 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*, 81(1), 71-95.
- Bokwa, A., & Limanówka, D. (2014). Effect of relief and land use on heat stress in Kraków, Poland. *DIE ERDE—Journal of the Geographical Society of Berlin*, 145(1-2), 34-48.
- Brunetti, M., Buffoni, L., Mangianti, F., Maugeri, M., & Nanni, T. (2004). Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy. *Global and Planetary Change*, 40(1), 141-149.
- Chamchati, H., & Bahir, M. (2011). Contribution of climate change on water resources in semi-arid areas: Example of the Essaouita Basin (Morocco). *Am. J. Sci. Ind. Res*, 2(2), 209-215.
- 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.
- Deryng, D., Conway, D., Ramankutty, N., Price, J., & Warren, R. (2014). Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures. *Environmental Research Letters*, 9(3), 034011.
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R., & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068-2074.
- Fan, L., & Xiong, Z. (2015). Using quantile regression to detect relationships between large-scale predictors and local precipitation over northern China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 32(4), 541-552.
- Fernández-Long, M. E., Müller, G. V., Beltrán-Przekurat, A., & Scarpati, O. E. (2013). Long-term and recent changes in temperature-based agroclimatic indices in Argentina. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1673-1686.
- Folland, C. K., Karl, T. R., & Jim Salinger, M. (2002). Observed climate variability and change. *Weather*, 57(8), 269-278.
- Frich, P., Alexander, L. V., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M., & Peterson, T. (2002). Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 19(3), 193-212.
- Frumkin, H., Hess, J., Luber, G., Malilay, J., & McGeehin, M. (2008). Climate change: The public health response. *American Journal of Public Health*, 98(3), 435-445.
- Furió, D., & Meneu, V. (2011). Analysis of extreme temperatures for four sites across Peninsular Spain. *Theoretical and Applied Climatology*, 104(1-2), 83-99.
- Ha, K. J., & Yun, K. S. (2012). Climate change effects on tropical night days in Seoul, Korea. *Theoretical and Applied Climatology*, 109(1-2), 191-203.
- Hansen, J., & Lebedeff, S. (1987). Global trends of measured surface air temperature. *Journal of Geophysical Research*, 92(13), 345-13.
- Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. (2013). Global temperature update through 2012. *National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies*. http://www.nasa.gov/pdf/719139main_2012_GISTEMP_summary.pdf.

- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W., & Medina-Elizade, M. (2006). Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(39), 14288-14293.
- Haylock, M. R., Peterson, T. C., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y. M. T., Baez, J., ...& Vincent, L. A. (2006). Trends in total and extreme South American rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *Journal of Climate*, 19(8), 1490-1512.
- ILUNGA, L., & TSHENDA, A. (2004). Facteurs physiques du ruissellement à Kigali (Rwanda). *Geo-Eco-Trop*, 28, 1-2.
- IPCC, 2001: climate change 2001: the scientific basis. Contribution of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by J. T. Houghton, Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell and C. A. Johnson (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. No. of pages: 881. Price £34.95, US\$ 49.95, ISBN 0-521-01495-6 (paperback). £90.00, US\$ 130.00, ISBN 0-521-80767-0 (hardback).
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324
- Jones, P. D., Wigley, T. M. L., & Kelly, P. M. (1982). Variations in surface air temperatures: Part 1. Northern Hemisphere, 1881-1980. *Monthly Weather Review*, 110(2), 59-70.
- Jones, P.G. (2012). MarkSim_standalone for DSSAT users. Available at: http://www.ccafs-climate.org/pattern_scaling/
- Karl, T. R., & Trenberth, K. E. (2003). Modern global climate change. *Science*, 302(5651), 1719-1723.
- Karl, T. R., Knight, R. W., & Plummer, N. (1995). Trends in high-frequency climate variability in the 20th-century. *Nature*, 377(6546), 217-220.
- Karl, T. R., Knight, R. W., Gallo, K. P., Peterson, T. C., Jones, P. D., Kukla, G., ... & Charlson, R. J. (1993). A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 74(6), 1007-1023.
- Kennett, E. J., & Buonomo, E. (2006). Methodologies of pattern scaling across the full range of RT2A GCM ensemble members. *Met Office Hadley Centre for Climate Prediction and Research: Exeter, UK*.
- Kharin, V. V., Zwiers, F. W., Zhang, X., & Wehner, M. (2013). Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Climatic Change*, 119(2), 345-357.

- Klein Tank, A. M. G., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., ... & Heino, R. (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International journal of climatology*, 22(12), 1441-1453.
- Kremser, S., Bodeker, G. E., & Lewis, J. (2014). Methodological aspects of a pattern-scaling approach to produce global fields of monthly means of daily maximum and minimum temperature. *Geoscientific Model Development*, 7, 249-266.
- LaDochy, S., Medina, R., & Patzert, W. (2007). Recent California climate variability: Spatial and temporal patterns in temperature trends. *Climate Research*, 33(2), 159-169.
- Li, J., Zhang, Q., Chen, Y. D., Xu, C. Y., & Singh, V. P. (2013). Changing spatiotemporal patterns of precipitation extremes in China during 2071° 2100 based on Earth System Models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(22).
- Liu, B., Xu, M., Henderson, M., Qi, Y., & Li, Y. (2004). Taking China's temperature: Daily range, warming trends, and regional variations, 1955-2000. *Journal of Climate*, 17(22), 4453-4462.
- Liu, J., Fritz, S., Van Wesenbeeck, C. F. A., Fuchs, M., You, L., Obersteiner, M., & Yang, H. (2008). A spatially explicit assessment of current and future hotspots of hunger in Sub-Saharan Africa in the context of global change. *Global and Planetary Change*, 64(3), 222-235.
- Liu, S. C., Fu, C., Shiu, C. J., Chen, J. P., & Wu, F. (2009). Temperature dependence of global precipitation extremes. *Geophysical Research Letters*, 36(17).
- Lopez, A., Smith, L. A., & Suckling, E. (2011). Pattern scaled climate change scenarios: Are these useful for adaptation? *Centre for Climate Change Economics and Policy Working Paper, December*.
- Marengo, J. A., Chou, S. C., Torres, R. R., Giarolla, A., Alves, L. M., & Lyra, A. (2014). Climate change in central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture. Working Paper No 73.
- McFadden, J., & Miranowski, J. (2014, May). Climate Change Impacts on the Intensive and Extensive Margins of US Agricultural Land. In *2014 Annual Meeting, July 27-29, 2014, Minneapolis, Minnesota* (No. 170512). Agricultural and Applied Economics Association.
- Mearns, L. O., Katz, R. W., & Schneider, S. H. (1984). Extreme high-temperature events: Changes in their probabilities with changes in mean temperature. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(12), 1601-1613.
- Meehl, G. A., Karl, T., Easterling, D. R., Changnon, S., Pielke Jr, R., Changnon, D., ... & Zwiers, F. (2000). An introduction to trends in extreme weather and climate events: Observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 413-416.
- Meehl, G. A., Zwiers, F., Evans, J., Knutson, T., Mearns, L., & Whetton, P. (2000). Trends in extreme weather and climate events: Issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 427-436.

- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756.
- Muhire, I., & Ahmed, F. (2016). Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda. *Theoretical and Applied Climatology*, 123(1-2), 399-414.
- Nandintsetseg, B., Greene, J. S., & Goulden, C. E. (2007). Trends in extreme daily precipitation and temperature near Lake Hövsgöl, Mongolia. *International Journal of Climatology*, 27(3), 341-347.
- Naveed, S., Aslam, M., Maqbool, M. A., Bano, S., Zaman, Q. U., & Ahmad, R. M. (2014). Physiology of high temperature stress tolerance at reproductive stages in maize. *J. Anim. Plant Sci*, 24(4), 1141-1145.
- Peterson, T. C., Taylor, M. A., Demeritte, R., Duncombe, D. L., Burton, S., Thompson, F., ... & Klein Tank, A. (2002). Recent changes in climate extremes in the Caribbean region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107(D21).
- Peterson, T., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). *Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Plattner, G. K. & Stocker, T. F. (2010). From AR4 to AR5: New Scenarios in the IPCC Process. Workshop Report
- Rahimzadeh, F., Asgari, A., & Fattahi, E. (2009). Variability of extreme temperature and precipitation in Iran during recent decades. *International Journal of Climatology*, 29(3), 329-343.
- Seneviratne, S. I., Donat, M. G., Mueller, B., & Alexander, L. V. (2014). No pause in the increase of hot temperature extremes. *Nature Climate Change*, 4(3), 161-163.
- Seo, Y. A., Lee, Y., Park, J. S., Kim, M. K., Cho, C., & Baek, H. J. (2015). Assessing changes in observed and future projected precipitation extremes in South Korea. *International Journal of Climatology*, 35(6), 1069-1078.
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J., & Meehl, G. A. (2012). An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(4), 485-498.
- Tebaldi, C., & Arblaster, J. M. (2014). Pattern scaling: Its strengths and limitations, and an update on the latest model simulations. *Climatic Change*, 122(3), 459-471.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., ... & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, 109, 5-31.
- Yan, Z., Jones, P. D., Davies, T. D., Moberg, A., Bergström, H., Camuffo, D., ... & Thoen, E. (2002). Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations. In *Improved Understanding of Past Climatic Variability from Early Daily European Instrumental Sources* (pp. 355-392). Springer Netherlands.
- Zhang, X., Hogg, W. D., & Bonsal, B. R. (2001). A cautionary note on the use of seasonally varying thresholds to assess temperature extremes: Comments on the use of indices to identify changes in climatic extremes'. *Climatic Change*, 50(4), 505-507.
- Zhou, L., Dai, A., Dai, Y., Vose, R. S., Zou, C. Z., Tian, Y., & Chen, H. (2009). Spatial dependence of diurnal temperature range trends on precipitation from 1950 to 2004. *Climate Dynamics*, 32(2-3), 429-440.