

## واکاوی روند تغییرات فرین‌های دما تحت تأثیر سناریوهای آینده به منظور ارزیابی نوسانات اقلیمی (مطالعه‌ی موردی: ایستگاه‌های همدیدی سنندج و سقز)

سید حسن علوی‌نیا\*، استادیار علوم و مهندسی آب‌خیزداری-دانشگاه کاشان

مهدی زارعی، استادیار مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی-دانشگاه حکیم سبزواری

### چکیده

تغییر اقلیم پدیده‌ای است که طی سال‌های اخیر اکوسیستم‌های طبیعی و نیز تمام جوانب زندگی انسان را تحت تأثیر خود قرار داده است. هدف از پژوهش حاضر، شناسایی بروز یا عدم وقوع تغییر اقلیم طی سال‌های ۱۹۶۱-۲۰۱۵ با استفاده از شاخص‌های حدی  $TN_n$  و  $TX_x$  است. همچنین برای پیش‌بینی سناریوهای اقلیمی آینده از ۳ سناریوی مدل CanESM2 استفاده و داده‌های موردنظر با مدل SDSM کوچک‌مقیاس شدند. بدین منظور از داده‌های دمای حداکثر و حداقل روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک سنندج و سقز استفاده شد. برای تشخیص روند شاخص‌ها از آزمون من-کندال و از روش تخمین‌گر شیب سن برای بزرگی روند استفاده شد. در ادامه، پیش‌بینی اقلیمی برای دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۵۰ صورت گرفت و دو شاخص حدی به دست آمد. نتایج نشان داد که طی دوره‌ی پایه در سنندج هر دو شاخص روند معنی‌دار دارند، اما در مورد سقز معنی‌داری تنها برای  $TN_n$  صادق است. این امر در مورد سناریوهای تولیدشده نیز تنها در RCP2.6 در هر دو شاخص برای سنندج و در RCP8.5 تنها در شاخص  $TX_x$  برای سقز رخ داد. بر اساس نتایج، روند افزایشی بزرگ‌ترین دمای بیشینه و کوچک‌ترین دمای کمینه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه همانند دوره‌ی پایه نیز طی ۳۰ سال آینده تحت هر سه سناریو افزایش خواهد یافت که این تغییرات افزایشی به میزان حدود یک درصد نسبت به میانگین دوره‌ی پایه خواهد بود. با توجه به یافته‌های حاصل می‌توان نتیجه گرفت که یکی از عوامل افزایش دما طی دوره‌ی مشاهداتی می‌تواند پدیده‌ی تغییر اقلیم تلقی گردد و این پدیده در سناریوی RCP2.6 ایستگاه سنندج نیز عامل افزایش دما بوده است.

**واژگان کلیدی:** تغییر اقلیم، روند، مدل گردش عمومی جو (GCM)، سناریوهای اقلیمی، CanESM2، SDSM.

\* Email: s.h.alavinia@kashanu.ac.ir

## ۱- مقدمه

تأثیرات جدی که پدیده‌ی تغییر اقلیم طی دو دهه‌ی قبل بر انسان‌ها، جامعه و محیط زیست گذاشته، ذهن پژوهشگران را به خود مشغول نموده و تعاریف متنوعی از پدیده‌ی تغییر اقلیم ارائه شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۱</sup>، تغییر اقلیم را تغییر وضعیتی از اقلیم معرفی می‌نماید که در آن میانگین و یا ویژگی‌های قابل تغییر آن به مدت چندین دهه و یا بیش‌تر دچار تغییر می‌گردد (Field et al, 2014: 7). احتمال دارد تغییر اقلیم به دلیل تغییر نیروهای داخلی و یا خارجی مانند نوسانات چرخه‌ی خورشیدی، فوران آتشفشان، افزایش گازهای گلخانه‌ای و یا تغییر کاربری اراضی باشد. طبق گزارش پنجم ارزیابی (AR5)<sup>۲</sup> هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) بین سال‌های ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲، دمای کره‌ی زمین ۰/۸۵ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یافته است (Pearce et al, 2013: 47) که این‌گونه تغییر در گرمایش جهانی باعث بروز تغییر اقلیم در قالب سیل و خشک‌سالی شده است (Li and Geng, 2013: 1403). شواهد مربوط به گرمایش جهانی حاکی از آن است که با وجود ابهامات فراوان در مورد گرم شدن کره‌ی زمین، اقلیم کره‌ی زمین دستخوش تغییرات چشم‌گیری شده است و انتظار می‌رود دمای هوا تا پایان قرن ۲۱ از ۱/۸۱ تا ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش یابد (Torabi et al, 2014: 4412). در سال‌های اخیر توجه به پدیده‌ی تغییر اقلیم از لحاظ ایجاد پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارت‌های مالی مرتبط با رویدادهای جوی اهمیت بالایی پیدا کرده است (محمدی و تقوی، ۱۳۸۴: ۱۶۵). اثرات مخرب این پدیده بر زندگی انسان‌ها از آنجایی بسیار مهم است که در میان ده عامل تهدیدآمیز مؤثر بر زندگی بشر در قرن بیست‌ویک مانند فقر، سلاح هسته‌ای، کمبود غذا و...، پدیده‌ی تغییر اقلیم مقام اول را به خود اختصاص می‌دهد (Solomon et al, 2007: 87). شناخت پدیده‌ی تغییر اقلیم، نیازمند بررسی روند سری زمانی پارامترهای اقلیمی همچون بارش و دماست. برای تشخیص پدیده‌ی تغییر اقلیم، سری‌های زمانی بلندمدت داده‌های اقلیمی موردنیاز است و قسمت عمده‌ای از مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم از طریق بررسی تغییرات سری‌های زمانی مربوط به بارندگی، دما، فشار، رطوبت و غیره و همچنین تشخیص وجود روند مثبت یا منفی در این‌گونه سری‌ها صورت می‌گیرد. پارامترهای اقلیمی در مقیاس زمان و مکان به دلایل زیادی تغییر می‌کنند که باید نحوه‌ی تغییرات آن‌ها بر اساس مشاهدات و با بهره‌گیری از روش‌های آماری تشخیص داده شود. نمایه‌های حدی اقلیمی نه‌تنها نقش مهمی در تجزیه‌وتحلیل وقایع اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی دارند، بلکه به مدل‌سازی اقلیمی و تصمیم‌گیران در ارزیابی اثرات بخش‌های متنوع نیز کمک می‌نماید (Mistry, 2019: 14). تحلیل روند از جمله مهم‌ترین روش‌های آماری است که به‌طور گسترده برای ارزیابی اثرات بالقوه‌ی تغییر اقلیم بر روی سری‌های زمانی مانند سری‌های زمانی مشاهداتی دما، بارش، جریان رودخانه و... در نقاط مختلف جهان استفاده شده است. آزمون من-کندال<sup>۳</sup> جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به شمار می‌رود و با استفاده از روش من-کندال تغییرات روند داده‌ها شناسایی می‌گردد. این روش به‌طور گسترده و متداولی در تحلیل روند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی به کار می‌رود (Shahid and Hazarika, 2010: 1991; Pasquini et al, 2006: 131). از اصلی‌ترین روش‌های شناسایی تغییر اقلیم، استفاده از نمایه‌های شناسایی تغییر اقلیم است که توسط تیم متخصصین شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها (ETCCDI)<sup>۴</sup> معرفی شده‌اند. لی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۸) وقایع بارش‌های حدی را در مغولستان بررسی کردند. آن‌ها گزارش دادند که ۱۱ شاخص حدی بارش به استثنای R5، R10 و PRCPTOT طی سال‌های ۱۹۵۹ الی ۲۰۱۴ کاهش یافته و بیش‌تر شاخص‌ها دارای روند غیرمعنی‌داری طی دوره‌ی آماری هستند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که شاخص‌های خشکی بیش‌تر از شاخص‌های مرطوب کاهش یافته‌اند (Li et al., 2018). رحیمی و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که روند تمام شاخص‌های دما و

1- Intergovernmental Panel on Climate Change

2- Fifth Assessment Report

3- Mann-Kendal

4- Expert Team on Climate Change Detection and Indices

5- Li

بارش حدی در ایران در طول دوره‌ی آماری ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۴ غیرمعنی‌دار است؛ هم‌روندهای مثبت و هم‌روندهای منفی. آن‌ها همچنین بیان داشتند که روند بزرگی و فراوانی شاخص‌های حدی سرما در حال کاهش و شاخص‌های گرمایی در حال افزایش است که این نشان‌دهنده‌ی روند گرم شدن است (Rahimi et al, 2018: 134). در مطالعه‌ی دیگر قیامی شمایی و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که تقریباً همه شاخص‌های مبتنی بر شاخص‌های حداقل دما طی دوره‌ی ۲۰۱۲-۱۹۶۱ افزایش یافته‌اند. همچنین تغییرات در شاخص‌های بارشی بسیار کم‌تر از شاخص‌های دمایی بوده است. به‌طور کلی آن‌ها گزارش دادند که ایران تحت تأثیر افزایش قابل توجه دما به‌ویژه شاخص‌های حداقل دمایی و همچنین کاهش در شاخص‌های بارشی در سرتاسر کشور مشاهده می‌شود (Ghiami-Shamami et al, 2019: 886).

برای درک ماهیت پیچیده‌ی اتمسفر و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده، باید مدلی از اقلیم با استفاده از قوانین و روابط ریاضی بین پارامترهای متنوع اتمسفر برقرار شود. به‌طور کلی، مدل‌های اقلیمی را بر اساس ساختار و عملکرد می‌توان به چهار نوع تقسیم کرد که شامل مدل‌های توازن انرژی، مدل‌های تابش همرفتی، مدل‌های دوبعدی دینامیکی-آماری و مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)<sup>۶</sup> می‌باشد (شهاب‌فر و قیامی، ۱۳۸۰). هر کدام از مدل‌های اقلیمی، فرآیندهای مؤثر بر اقلیم را شبیه‌سازی می‌کند و بر اساس آن، وضعیت اقلیم برای سال‌های آتی پیش‌بینی می‌گردد. با وجود کارکردهای قابل توجه مدل‌های گردش عمومی جو در ارزیابی تغییرات اقلیمی (Pielke and Wilby, 2012: 52; Christensen et al, 2007: 112)، اندازه‌ی تفکیک آن‌ها بسیار درشت بوده و تنها برای مقیاس‌های کلان به‌طور مستقیم قابل استفاده می‌باشند و برای ارزیابی عواملی دیگر از قبیل توپوگرافی منطقه‌ای، ابرناکی یا اثر کاربری اراضی بر تغییرات اقلیمی که در مقیاس‌های کم‌تر از ۲۰۰ کیلومتر نمود پیدا می‌کنند، کارآیی لازم را ندارند (Fowler et al, 2007: 1556; Maraun et al, 2010: 354)؛ بنابراین مدل‌های GCM قادر به پیش‌بینی الگوهای مؤثر بر شکل‌گیری رخدادهای هیدرولوژیکی در مقیاس منطقه‌ای نیستند. با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای و به‌کارگیری سناریوهای خاص می‌توان فرآیندهای کوچک‌مقیاس، میان‌مقیاس و منطقه‌ای را شناسایی، مطالعه و پیش‌بینی کرد (Wood et al, 1997: 213). به‌طور خلاصه سه روش برای به دست آوردن نتایجی در حد مقیاس محلی-منطقه‌ای از مدل‌های اقلیمی وجود دارد که شامل مدل‌های گردش عمومی تفکیک مکانی بالا، روش‌های آماری ریزمقیاس‌نمایی و مدل‌های اقلیمی مقیاس منطقه‌ای مشهور به روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی می‌شوند (Pasini, 2006:456). روش‌های مختلفی نیز برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در دوره‌های آینده وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی اقیانوس-جو (AOGCM)<sup>۷</sup> می‌باشند (Leander and Buishand, 2007: 491). این نکته قابل ذکر است که در صورت استفاده از روش‌های مناسب ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، این مدل‌ها ابزارهای مناسبی برای پیش‌بینی وقایع اقلیمی و حدی هستند، از طرف دیگر چنین مدل‌هایی می‌توانند داده‌های سری‌های زمانی طولانی‌مدت را نیز تولید کنند که با استفاده از آن‌ها می‌توان تغییرات احتمالی وقایع حدی را در آینده تجزیه و تحلیل نمود (Loukas et al, 2008:119). با توجه به اهمیت موضوع تغییر اقلیم در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در سطوح ملی و بین‌المللی در این زمینه صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. برای نمونه اشرف و همکاران در پژوهشی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی مشهد را در دوره‌ی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG بررسی کردند (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۷) که نتایج حاکی از توانمندی بالای این مدل مولد داده‌های هواشناسی در تولید داده‌های روزانه پارامترهای اقلیمی داشت. ویلی<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند که مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM برای پیش‌بینی سناریوهای تغییر اقلیم در دوره‌های آینده از طریق ارتباط بین مدل‌های GCM و عناصر آب‌وهوای منطقه‌ای مناسب‌تر است. مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی به بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه‌ی سد گلستان را با استفاده از مدل CGCM و برای دو سناریوی A2 و B1 در بازه‌های زمانی ۲۰۲۱-۲۰۵۰

6- General Circulation Model

7- Atmospheric-Ocean General Circulation Model

8- Wilby

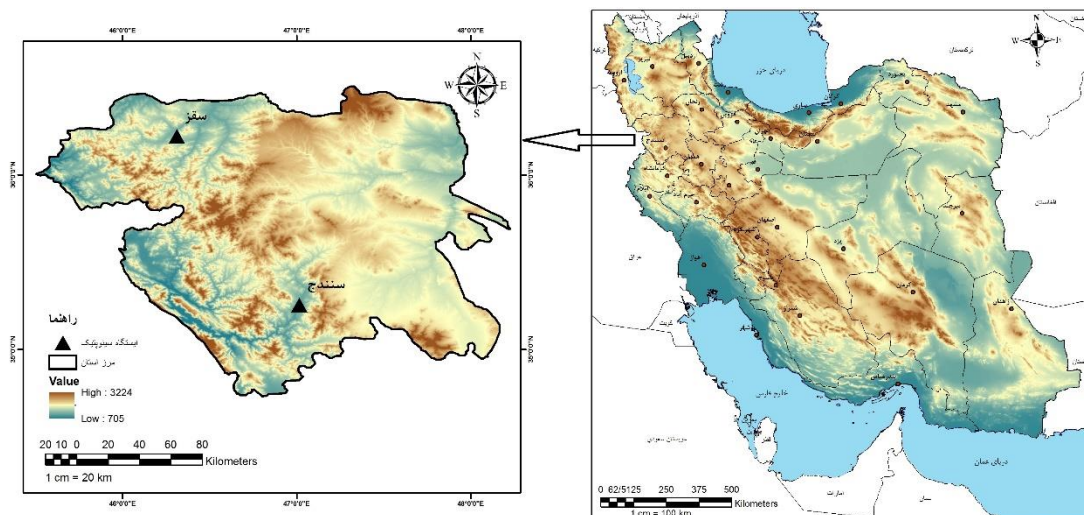
و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ با روش ریزمقیاس‌نمایی شبکه‌ی عصبی پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از افزایش میزان بارش در فصول پاییز و زمستان و کاهش بارش در بهار و تابستان است. کارآموز و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۹)، تأثیر روش‌های کوچک‌مقیاس کردن بر بارش جنوب ایران را با استفاده از خروجی مدل HadCM3 با روش‌های رگرسیون چندمتغیره، شبکه‌ی عصبی پرسپترون چندلایه و شبکه‌ی عصبی المان بررسی نمودند. ایشان نشان دادند که روش رگرسیون چندمتغیره، نتایج بهتری نسبت به روش شبکه‌ی عصبی خواهد داشت. در مطالعه‌ی در آفریقای جنوبی واکنش متغیرهای اقلیمی این منطقه به افزایش گازهای گلخانه‌ای توسط ژائو و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۵) مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه که از خروجی سه مدل چرخش عمومی و سناریوی B2 استفاده گردید نتایج شبیه‌سازی تا پایان قرن ۲۱ نشان‌دهنده‌ی کاهش بارندگی در بیش‌تر مناطق جنوبی به میزان ۸/۲ درصد است. مطالعه‌ی حاضر با هدف ارزیابی وقوع تغییر اقلیم بر پایه‌ی تغییرات شاخص‌های حدی دما تحت تأثیر سناریوهای مختلف اقلیمی پایه‌گذاری شده و برای نیل به این هدف از داده‌های روزانه دمای کمینه و بیشینه‌ی دو ایستگاه سنندج و سقز در استان کردستان طی دوره‌ی آماری سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ استفاده گردید؛ بدین‌صورت که از مدل CanESM2 مربوط به گزارش پنجم IPCC که در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ منتشر گردیده، استفاده و دمای کمینه و بیشینه تحت سه سناریوی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 پیش‌نمایی شده است.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

استان کردستان با وسعت ۲۹۱۳۷ کیلومترمربع در غرب کشور واقع شده است و ۱/۷ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود که در موقعیت جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). مرکز این استان، سنندج است که از شمال به استان آذربایجان غربی و قسمتی از استان زنجان، از مشرق به استان همدان و قسمت دیگری از استان زنجان، از جنوب به استان کرمانشاه و از مغرب به کشور عراق محدود است. به‌طور کلی، ارتفاع این استان از شرق به غرب افزایش می‌یابد. آب‌وهوای این استان بر اساس طبقه‌بندی کوپن جزء اقلیم سرد و معتدل و بر اساس کلیماگراف کوپن نیز در پشت خط استپی و نیمه‌بیابانی قرار می‌گیرد. همچنین در نقشه‌ی پهنه‌بندی اقلیمی ایران، استان کردستان با زمستان‌های سرد تا خیلی سرد و تابستان‌های معتدل، نیمه‌گرم و خشک نشان داده شده است. به‌طور کلی، آب‌وهوای این استان تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا بوده و جابه‌جایی توده‌های هوایی مناطق غربی کشور، تأثیر چشم‌گیری در نوع آب‌وهوای این منطقه داشته است. متوسط بارندگی استان ۵۲۱ میلی‌متر و متوسط دمای آن ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد است (مظفری و صفریور، ۱۳۹۲: ۲۵). در این مطالعه، علاوه بر داده‌های منتج‌شده از مدل‌های گردش عمومی جو، از داده‌های روزانه‌ی دمای دو ایستگاه سینوپتیک سنندج و سقز استفاده شده که مشخصات آن‌ها در جدول (۱) بیان شده است.

9- Karamouz et al

10- Zhao et al



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در کشور و ایستگاه‌های سینوپتیک در استان

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در ایران

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۱	سندج	۴۷° ۰۱'	۳۵° ۲۵'	۱۳۷۳/۴
۲	سقز	۴۶° ۳۱'	۳۶° ۲۲'	۱۵۲۲/۸

### ۳- مواد و روش‌ها

#### ۳-۱- داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه برای بررسی روند شاخص‌های حدی از داده‌های روزانه مشاهده‌ای دمای بیشینه و کمینه ایستگاه‌های سینوپتیک سندج و کردستان طی دوره‌ی آماری ۱۹۶۱ الی ۲۰۱۵ استفاده گردید تا با استفاده از نرم‌افزار RCLimDex شاخص‌های حدی بزرگ‌ترین دمای بیشینه (TXx) و کوچک‌ترین دمای کمینه (TNn) به دست آید. همچنین برای پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی سال‌های آتی از داده‌های مدل CanESM2 و NCEP استفاده می‌شود که این اطلاعات از وب‌سایت شبکه‌ی سناریوهای تغییر اقلیم کانادا (CCCSN)<sup>۱۱</sup> قابل دریافت است.

#### ۳-۲- روش تحقیق

آزمون من-کندال (Mann, 1945: 248; Kendall, 1975: 89)، به‌طور گسترده‌ای در آنالیز روندهای سری زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده می‌شود (Lettenmaier et al, 1994: 591). این آزمون را می‌توان بر روی یک سری زمانی که نرمال نیست و از هیچ توزیع خاصی پیروی نمی‌کند، برازش داد. تأثیرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی سری‌های زمانی یکی از اصلی‌ترین مزایای استفاده از این روش است (Turgay and Ercan, 2005: 34). فرض صفر آزمون من-کندال نشان از تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری زمانی است و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) نشانه‌ی وجود روند در سری داده‌ها است. در آزمون من-کندال مقدار هر داده با تمام مقادیر داده‌های بعدی مقایسه می‌گردد. مراحل محاسبه‌ی آماره‌ی این آزمون برای سری‌های زمانی  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  مطابق زیر است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{i=k+1}^n \text{sign}(x_i - x_k)$$

رابطه‌ی ۱

که در آن  $\text{sign}$  معادل:

$$(x_i - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

احتمال مرتبط با  $S$  و اندازه نمونه،  $n$ ، محاسبه می‌گردد تا با استفاده از آماره‌ی  $Z$  اندازه‌ی روند مطابق زیر به دست آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

که در آن واریانس از طریق معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

که در آن  $n$ ، تعداد نقاط داده‌ها؛  $m$ ، تعداد گروه‌های داده‌ها و  $t_i$  معرف تعداد گره‌های اندازه‌های حدی  $i$  است. یک گروه گره مجموعه‌ای از داده‌های نمونه دارای ارزش‌های یکسان است. مقدار مثبت یا منفی  $Z$  نشانگر روند صعودی یا نزولی روند است (Salman et al, 2017: 99). سن<sup>۱۲</sup> (۱۹۶۸) با توسعه و آنالیز مطالعات آماری که تیل<sup>۱۳</sup> (۱۹۵۰) انجام داده بود، روشی ناپارامتری را برای تحلیل سری‌های زمانی معرفی نمود. این روش همانند روش من-کندال نیز از اختلاف بین مشاهدات یک سری زمانی استفاده می‌کند. اساس محاسبه روش سن بر محاسبه‌ی یک شیب میانه برای سری زمانی و قضاوت در مورد معنی‌داری شیب به‌دست‌آمده در سطوح اعتماد مختلف است. مراحل محاسبه‌ی این آزمون به‌گونه‌ای است که در ابتدا شیب بین هر جفت داده مشاهده‌ای به شرح زیر به دست می‌آید:

$$Q = \frac{X_t X_s}{t-s} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

که در آن  $X_t$  و  $X_s$  به ترتیب داده‌های مشاهده‌ای در زمان‌های  $t$  و  $s$  و  $t$  یک واحد زمانی بعد از زمان  $s$  است. با اعمال رابطه‌ی بالا برای هر دو جفت داده‌ی مشاهده‌ای یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه‌شده حاصل می‌آید که از محاسبه‌ی میانه‌ی این سری زمانی شیب خط روند ( $Q_{med}$ ) به دست می‌آید. مقدار مثبت  $Q_{med}$  نشان از صعودی بودن روند و مقدار منفی آن، حاکی از نزولی بودن روند است.

برای بررسی نمایه‌های اقلیمی، تیم کارشناسی شناسایی تغییر اقلیم و شاخص‌ها (ETCCDI) ۲۷ شاخص اقلیمی را معرفی نمود (Peterson et al, 2001: 167) که از این تعداد ۱۶ شاخص مربوط به وقایع دمایی است (جدول ۲). در مطالعات گوناگون با اهداف متفاوت، پژوهشگران از شاخص‌های مناسب استفاده می‌نمایند. در این مطالعه برای تعیین و تشخیص دو شاخص حدی، شامل بزرگ‌ترین دمای بیشینه (TXx) و کوچک‌ترین دمای کمینه (TNn) از داده‌های دمای بیشینه و کمینه بین سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۵ استفاده و دو شاخص مذکور توسط کد نرم‌افزاری RCLimDex به دست آمدند. در ادامه برای تعیین روند و بزرگی شیب خط روند به ترتیب از روش من-کندال و روش تخمین‌گر شیب سن<sup>۱۴</sup> بهره گرفته شد. محاسبات مربوط به این روش‌ها با استفاده از برنامه‌ی XLSTAT انجام و روند هر یک از شاخص‌ها به دست آمد. همچنین بزرگی روند دو شاخص حدی دما، شامل TXx و TNn تعیین گردید.

جدول ۲: نمایه‌های حدی دما مربوط به گروه کارشناسی شناسایی تغییر اقلیم و نمایه‌ها

واحد	تعریف	نمایه
روز	روزهای یخبندان: تعداد روزهایی از سال که دمای کمینه‌ی روزانه کوچک‌تر از صفر درجه‌ی سانتی‌گراد باشد.	FD

12- Sen

13- Thiel

14- Sen's slope estimator

روز	روزهای تابستانی: تعداد روزهایی از سال که دمای بیشینه ی روزانه بزرگتر از ۲۵ درجه ی سانتی گراد باشد	SU25
روز	روزهای یخی: تعداد روزهایی از سال که دمای بیشینه ی روزانه کوچکتر از صفر درجه ی سانتی گراد باشد	ID
روز	شبهای حاره‌ای: تعداد روزهایی از سال که دمای کمینه بیش‌تر از ۲۰ درجه ی سانتی گراد باشد	TR20
روز	طول فصل رشد در سال	GSL
سانتی گراد	بزرگ‌ترین دمای بیشینه: میزان حداکثر دمای بیشینه ی روزانه در ماه	TXx
سانتی گراد	کوچک‌ترین دمای بیشینه: میزان حداقل دمای کمینه ی روزانه در ماه	TXn
سانتی گراد	بزرگ‌ترین دمای کمینه: میزان حداکثر دمای کمینه ی در ماه	TNx
سانتی گراد	کوچک‌ترین دمای کمینه: میزان حداقل دمای کمینه در ماه	TNn
روز	شبهای سرد: درصدی از روزها که دمای شبانه کوچکتر از صدک ۱۰ام دوره ی مینا باشد	TN10p
روز	روزهای سرد: درصدی از روزها که دمای روزانه کوچکتر از صدک ۱۰ام دوره ی مینا باشد	TX10p
روز	شبهای گرم: درصدی از روزها که دمای شبانه بزرگتر از صدک ۹۰ام دوره ی مینا باشد	TN90p
روز	روزهای گرم: درصدی از روزها که دمای روزانه بزرگتر از صدک ۹۰ام دوره ی مینا باشد	TX90p
روز	موج گرما: تعداد روزهای از سال که حداقل ۶ روز پیاپی دمای روزانه بیش‌تر از صدک ۹۰ام دوره ی مینا باشد	WSDI
روز	موج سرما: تعداد روزهای از سال که حداقل ۶ روز متوالی دمای شبانه کوچکتر از صدک ۱۰ام دوره ی مینا باشد	CSDI
سانتی گراد	دامنه ی دمای شبانه‌روزی: تفاوت میانگین ماهانه ی دمای روزانه و شبانه	DTR

برای پیش‌بینی تغییرپذیری متغیرهای اقلیمی در سطح جهانی و قاره‌ای از داده‌های مدل گردش عمومی جو استفاده می‌شود. در ادامه ی مراحل پژوهش از داده‌های مدل CanESM2<sup>15</sup> استفاده و با به‌کارگیری مدل رایانه‌ای SDSM داده‌های مذکور برای منطقه‌ی مورد مطالعه کوچک‌مقیاس شدند. مدل CanESM2 یا ویرایش دوم مدل کانادایی سیستم زمین، مدلی است که توسط CCCma<sup>16</sup> ارائه شده است. این مدل، نسخه‌ی بروز شده‌ی مدل‌های GCM است که تحت عنوان مدل‌های سیستم زمین (ESM)<sup>17</sup> شناخته می‌شوند. مدل CanESM2 دارای سه سناریو، شامل RCP<sup>18</sup>2.6، RCP4.5، RCP8.5 است. سناریوی اول دارای حداقل میزان افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است که مطابق با آن، واداشت تابشی در اواسط قرن حاضر به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش می‌یابد تا در سال ۲۱۰۰ به ۲/۶ وات بر مترمربع می‌رسد. میزان انتشار در سناریوی RCP4.5 حد واسط دو سناریوی دیگر است تا جایی که این سناریو به سناریوی تثبیت معروف است (Thomson et al, 2011: 214). سناریوی RCP8.5 سناریویی است که آب‌وهوای کره‌ی زمین بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاستی در جهت مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم در خط سیر این سناریو پیش خواهد رفت؛ به‌طوری‌که ادامه‌ی این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود و این زمانی است که غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ ppm می‌رسد و این روند همچنان افزایش خواهد یافت. در حال حاضر مدل CanESM2 تنها مدلی است که دارای داده‌های روزانه‌ی قابل کاربرد برای SDSM است. مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسط ویلبای و داوسون<sup>19</sup> (۲۰۱۳) توسعه داده شد. مدل مذکور جزء اولین ابزارهای کمکی برای بررسی تغییر اقلیم محلی است. این مدل بر اساس داده‌های روزانه‌ی محلی از

15- Canadian Earth System Model (second generation)

16- Canadian Center for Climate Modeling and Analysis

17- Earth System Model

18- Representative Concentration Pathways

19- Wilby& Dawson

قبیل بارش و دما و داده‌های بزرگ‌مقیاس ناحیه‌ای NCEP تنظیم می‌شود. پس‌از آن، آب‌وهوای روزانه‌ی محلی را برای دوره‌های پایه و آتی با استفاده از متغیرهای بزرگ جوی ناشی‌شده از مدل‌های اقلیم جهانی شبیه‌سازی می‌کند. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب‌وهوای رگرسیون است و برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای ریزمقیاس محلی و متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوی از داده‌های مستقل مشاهداتی استفاده می‌کند. در مدل SDSM ابتدا روابط بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی) و پیش‌بینی‌شونده‌ها (داده‌های تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی) مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد و روابط بین آن‌ها مشخص می‌گردد تا کاربر بتواند بهترین پیش‌بینی‌کننده‌ها را در رابطه با فرآیند کوچک‌مقیاس سازی انتخاب نماید. داده‌های NCEP و تاریخی مدل از سال ۱۹۶۱-۲۰۰۵ موجود می‌باشند. همچنین داده‌های سناریوهای RCP از سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ می‌باشند. لازم به ذکر است که سناریوهای انتشار شامل یک سناریوی دیگر نیز می‌شود که به نام RCP6 معرفی می‌گردد (Field et al, 2014: 25). در جدول مشخصات ۳ سناریوهای اقلیمی مربوط به گزارش پنجم IPCC که در این پژوهش استفاده شده‌اند، ارائه شده است.

جدول ۳: مشخصات سناریوهای اقلیمی گزارش پنجم

سناریو	کشور و موسسه طراح	فرض‌های کلیدی
RCP 2.6	گروه مدل‌سازی IMAGE از مؤسسه ارزیابی‌های محیطی هلند	واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند.
RCP 4.5	گروه مدل‌سازی MiniCAM و موسسه (JGCRI) در شمال غرب اقیانوس آرام	واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای، قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.
RCP 8.5	گروه مدل‌سازی MESSAGE و مؤسسه بین‌المللی آنالیز سامانه‌های کاربردی اتریش (IIASA)	بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب‌وهوای کره‌ی زمین در خط سیر انتشار پیش خواهد رفت؛ به‌طوری‌که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌شود. در این هنگام غلظت دی‌اکسید کربن به ۱۰۰۰ PPM رسیده و همچنان این روند افزایش خواهد داشت.

#### ۴- بحث و نتایج

در این پژوهش آزمون من-کندال در سطح اعتماد ۹۰ درصد، ۹۵ درصد و ۹۹ درصد، به ترتیب در سطح معناداری ۱۰ درصد، ۵ درصد و ۱ درصد برای هر یک از سری‌های زمانی شاخص‌های محاسبه‌شده مرتبط با تغییر اقلیم به کار گرفته شد و بر طبق آماره‌ی Z این آزمون روند صعودی یا نزولی هر شاخص در طی زمان به دست آمد. اگر Z کوچک‌تر از صفر باشد، روند سری زمانی منفی و اگر مثبت باشد، روند موردنظر مثبت است. پس از تشخیص وجود یا عدم وجود روند در سری زمانی موردنظر، شیب خط روند توسط روش تخمین گر شیب سن (Qmed) تعیین می‌گردد. بررسی روند شاخص‌های حدی داده‌های مشاهده‌ای نشان داد که روند تغییرات شاخص TXx در ایستگاه سنندج و سقز به ترتیب در سطح اعتماد ۹۰ درصد و ۹۹ درصد معناداری است. همچنین در شاخص حدی TNn در هر دو ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه روند افزایشی معناداری در سطح اعتماد ۹۹ درصد مشاهده گردید.

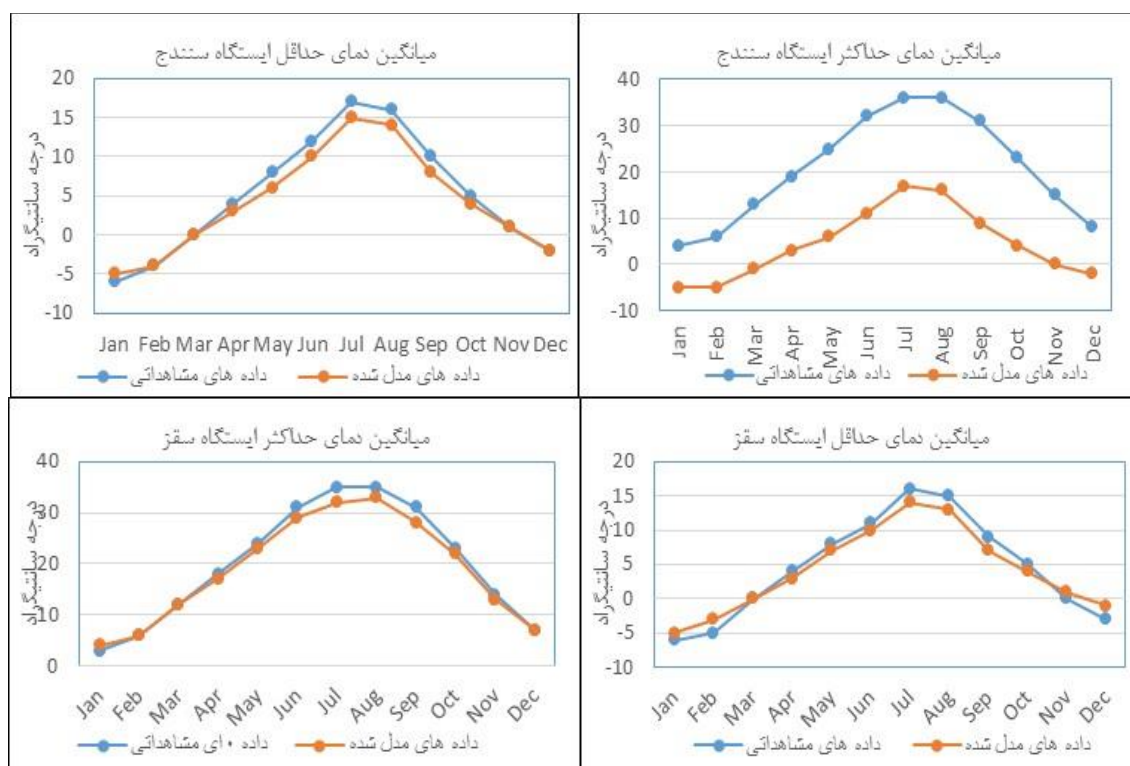
پس‌از آن با توجه به بزرگ‌مقیاس بودن و تفکیک مکانی بالای داده‌های مدل CanESM2 و غیرقابل استفاده بودن در مقیاس محلی و منطقه‌ای با استفاده از مدل SDSM اقدام به ریزمقیاس‌نمایی گردید. در این رابطه پیش‌بینی-کننده‌های مناسب برای هر کدام از شاخص‌های مورد بررسی در هر ایستگاه به شرح جدول (۴) مشخص گردید.



جدول ۴: متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP در ایستگاه‌های سینوپتیک سنندج و سقز

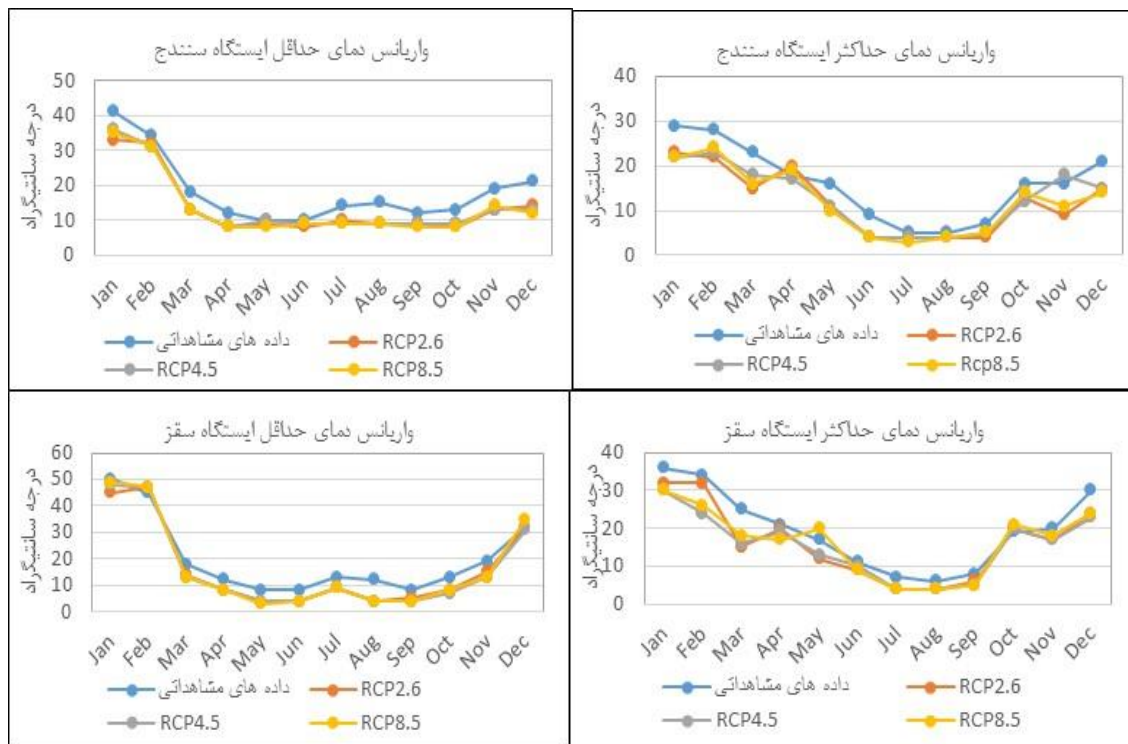
پیش‌بینی کننده‌های مناسب پارامتر Tmin		پیش‌بینی کننده‌های مناسب پارامتر Tmax		ایستگاه سینوپتیک
نام	ضریب همبستگی	نام	ضریب همبستگی	
nceps850gl	۰/۷	ncepp500gl	۰/۹۱	سنندج
ncepshumgl	۰/۷	nceptempgl	۰/۹۶	
nceptempgl	۰/۹			
ncepp8-ugl	-۰/۲	ncepp500gl	۰/۹۱	سقز
nceps850gl	۰/۷	nceptempgl	۰/۹۵	
ncepshumgl	۰/۷			
nceptempgl	۰/۹			

در ادامه برای تأیید دقت در انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها، مدل نیازمند واسنجی و صحت‌سنجی بود و میانگین داده‌های مشاهداتی دوره‌ی آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ با داده‌های مدل شده این مقطع زمانی مقایسه گردید که نتایج آن در شکل (۲) مشاهده می‌گردد. برای این مرحله از روش دو سوم به یک سوم استفاده شد، بدین معنی که از دو سوم داده‌ها برای واسنجی و از یک سوم باقیمانده‌ی داده‌ها برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد توانایی و کارایی مدل در رابطه با دماهای حداقل در هر دو ایستگاه بیشتر است و در مورد دمای حداکثر در ایستگاه سنندج نسبت به دیگر موارد از کارایی کم‌تری بهره‌مند است که دلیل این امر می‌تواند تغییرات زیاد این پارامتر در طی زمان باشد.



شکل ۲: ارزیابی نتایج صحت‌سنجی مدل SDSM در کوچک‌مقیاس سازی داده‌های بزرگ‌مقیاس

در ادامه مقادیر مشاهداتی دمای حداقل‌ها و حداکثرها با داده‌های مدل گردش عمومی جو CanESM2 تحت سه سناریوی مورد مطالعه در دوره‌ی پایه جهت تولید داده برای دوره‌ی آتی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ مقایسه‌ی گردید که نتایج مقایسه‌ی واریانس آن‌ها برای هر کدام از ایستگاه‌ها در شکل (۳) مشاهده می‌گردد.



شکل ۳: مقایسه‌ی واریانس داده‌های مشاهده‌ای دوره‌ی ۲۰۰۵-۱۹۶۱ با مقادیر ریزمقیاس شده داده‌های مدل CanESM2

در رابطه با نتایج حاصل از مقایسه‌ی داده‌های مشاهده‌ای و بزرگ‌مقیاس سناریوهای مدل CanESM2 باید گفت که همبستگی واریانس دمای حداقل در هر دو ایستگاه نسبت به دمای حداکثر بالاتر است (شکل ۳). همچنین در مورد دمای حداکثر ایستگاه سنندج بیش‌ترین تغییرات RCPها نسبت به داده‌های پایه در دو ماه پایانی سال مشاهده می‌گردد و بیش‌ترین همبستگی در رابطه با دمای حداقل این ایستگاه در ماه‌های می و ژوئن رخ داده است. نتایج نشان داد که در مورد دمای حداکثر ایستگاه سنندج بیش‌ترین همبستگی در سناریوی RCP4.5 اتفاق افتاده است و در رابطه با پارامتر دمای حداقل این ایستگاه بیش‌ترین همبستگی مربوط به سناریوی RCP8.5 است. در ایستگاه سقز به ترتیب سناریوهای RCP2.6 و RCP4.5 بالاترین همبستگی را به ترتیب با مقادیر ۰/۹۵ و ۰/۹۹ با دمای حداکثر و حداقل مشاهده‌ای دارند. پس از مدل‌سازی پارامترهای دما در دوره‌ی آماری ۱۹۶۱ الی ۲۰۰۵ و ارزیابی مدل، ضرایب معادله‌ای که برای واسنجی مدل کاربرد داشتند، برای تولید سناریوها و تولید داده‌ها استفاده گردید و از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ‌مقیاس مدل CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.5، RCP4.5 و RCP8.5 داده‌های دمای حداکثر و حداقل برای دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۵۰ شبیه‌سازی گردید (شکل ۴). از نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار RclimDex، شاخص‌های حدی TXx و TNn محاسبه گردید. روند سری‌های زمانی تولیدشده‌ی شاخص‌های حدی مورد نظر از سناریوهای مدل CanESM2 توسط آزمون من-کندال تعیین و از روش تخمین‌گر شیب سن برای تعیین شیب خط روند آن‌ها استفاده شد که نتایج آن در جدول (۵) بیان شده است. نتایج حاصل از نرم‌افزار XLSTAT که برای محاسبه‌ی آزمون من-کندال استفاده گردید، نشان داد که روند شاخص‌های حدی TXx و TNn در ایستگاه سنندج برای داده‌های مشاهداتی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار است. این در حالی است که در رابطه با سناریوها، روند تنها در RCP2.6

معنی دار است که در مورد شاخص  $TXx$  در سطح ۹۰ درصد و در شاخص  $TNn$  در سطح ۹۵ درصد معنی داری مشاهده گردیده و در دو سناریوهای  $RCP$  دیگر روند معنی داری مشاهده نشد. همچنین باید ذکر کرد که در مورد ایستگاه سنندج چه در داده‌های مشاهداتی و چه در سناریوهای تولیدشده روندی مثبت دیده می‌شود، به جزء در مورد شاخص  $TXx$  سناریوی  $RCP8.5$  که دارای روند منفی است. نتایج بررسی روند در ایستگاه سقز نشان داد تنها روند معنادار مشاهده شده مربوط به شاخص  $TNn$  داده‌های مشاهداتی در سطح اطمینان ۹۹ درصد و  $TXx$  سناریوی  $RCP8.5$  در سطح اطمینان ۹۰ درصد بوده است و  $RCP8.5$  دارای روند کاهشی است. همچنین باید بیان کرد که روند در داده‌های مشاهداتی و  $RCP4.5$  برای هر دو شاخص حدی مثبت و در  $RCP2.6$  و  $RCP8.5$  منفی است، به جزء در مورد شاخص  $TNn$  سناریوی  $RCP8.5$  که روندی مثبت را نشان می‌دهد.

جدول ۵: مقادیر آماره‌ی  $Z$  من-کندال و  $Qmed$  شاخص‌های حدی دما برای داده‌های مشاهداتی و سناریوهای اقلیمی ایستگاه-

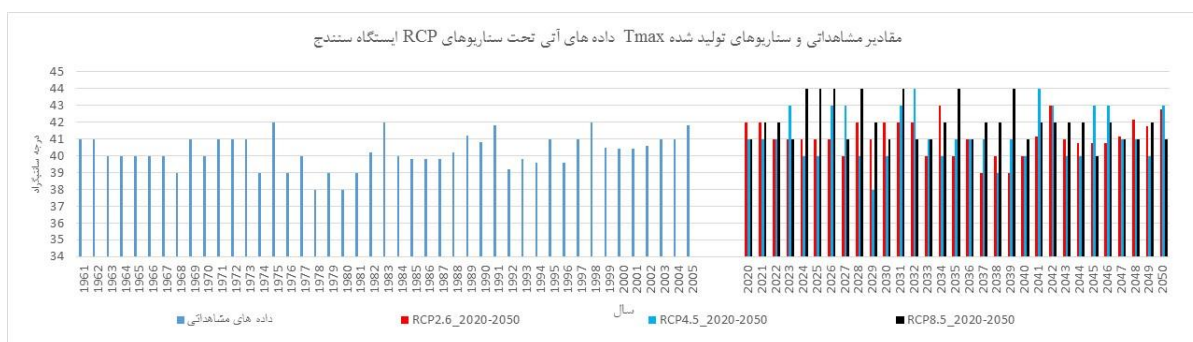
های سینوپتیک مورد مطالعه

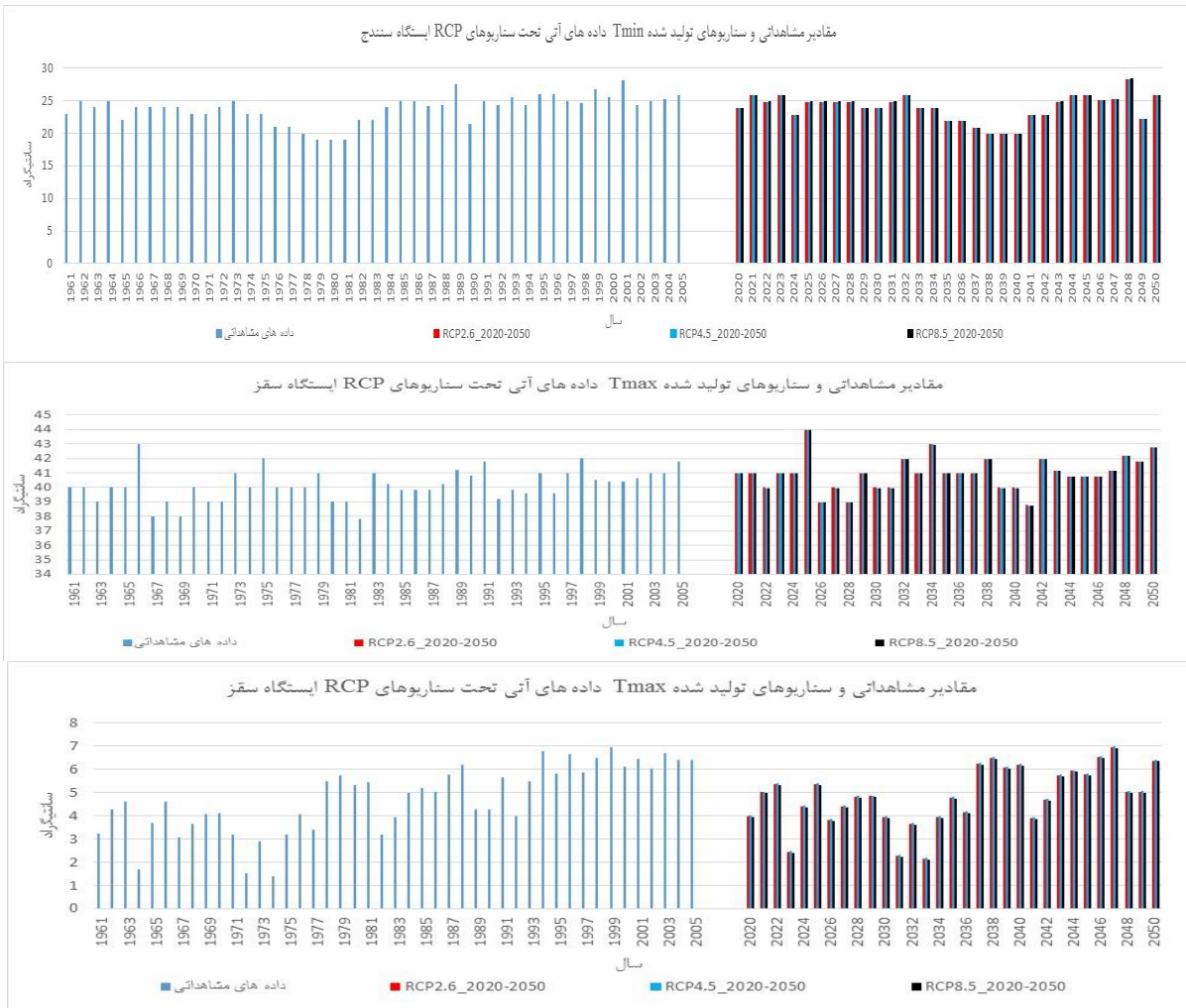
کوچک‌ترین دمای کمینه ( $TNn$ )		بزرگ‌ترین دمای بیشینه ( $TXx$ )		ایستگاه	
$Qmed$	$Z$	$Qmed$	$Z$		
۰/۲۰	۳/۸۸***	۰/۰۵	۴/۰۱***	مشاهده‌ای	سنندج
۰/۲۱	۲/۲۴**	.	۱/۸۴*	$RCP2.6$	
۰/۱۴	۱/۴۳	.	۰/۳۳	$RCP4.5$	
۰/۰۵	۰/۶۲	.	-۱/۲۵	$RCP8.5$	
۰/۲۳	۳/۰۹***	۰/۰۲	۱/۳۱	مشاهده‌ای	سقز
۰/۱۰۵	-۱/۱۱	.	-۱/۴۲	$RCP2.6$	
۰/۱۵	۰/۹۷	.	۱/۰۱	$RCP4.5$	
.	۰/۳۳	.	-۱/۷۶*	$RCP8.5$	

\*\*معناداری در سطح اطمینان ۹۰ درصد

\*\*\*معناداری در سطح اطمینان ۹۰ درصد

\*\*\*معناداری در سطح اطمینان ۹۹ درصد





شکل ۵: داده‌های مشاهداتی دوره‌ی پایه و شبیه‌سازی‌شده RCPها برای دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۵۰

## ۵- نتیجه‌گیری

برای برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در مورد شرایط آینده نیاز به پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده است. در پژوهش حاضر که برخلاف مطالعات صورت‌گرفته در این منطقه، هم روند شاخص‌های حدی دما در گذشته و هم روند در آینده بررسی گردید، برای بررسی تغییرات پارامتر اقلیمی دما و ارزیابی روند آن طی سال‌های گذشته و آینده از داده‌های حداقل و حداکثر دمای روزانه دو ایستگاه سنندج و سقر استفاده گردید؛ بدین معنی که از داده‌های مشاهداتی دوره‌ی ۱۹۶۱ الی ۲۰۱۵ دو شاخص حدی مرتبط با دما شامل TXx و TNn محاسبه گردید و از داده‌های مدل گردش عمومی جو CanESM2 و NCEP که در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۶۱ وجود داشتند جهت کوچک‌مقیاس‌سازی برای ایجاد داده‌های پیش‌بینی آینده برای منطقه‌ی مورد مطالعه استفاده گردید و در ادامه شاخص‌های حدی TXx و TNn برای داده‌های آبی نیز محاسبه گردید. نتایج نشان از وجود روند در داده‌های مشاهداتی شاخص‌های TXx و TNn ایستگاه سنندج و TNn ایستگاه سقر دارد که این نتایج با یافته‌های غفاری و چپی (۱۳۹۲) که به روند افزایش معنی‌دار دما در سطح استان کردستان تأکید داشتند، هم‌خوانی دارد. همچنین نتایج حاصل از محاسبات مربوط به داده‌های مشاهداتی این مطالعه با نتایج پژوهش دارند، (دارند، ۱۳۹۲: ۸۹) نیز مطابقت دارد. دارند در بررسی که به ارزیابی نمایه‌های فرین دما در استان کردستان پرداخته بود، به این نتیجه رسید که مناطق غرب، جنوب غرب و نیمه‌ی شرقی استان دارای روند مثبت است. در مطالعه‌ای دیگر نیز کاشکی و کردی (۱۳۹۷) به بررسی روند بارش و دما در استان کردستان پرداختند که نتایج آن‌ها

نیز با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت دارد. همچنین در مورد روند شاخص‌های حدی محاسبه‌شده از داده‌های پیش‌بینی‌شده باید بیان کرد که در ایستگاه سنندج از بین سه سناریوی اقلیمی تنها در سناریوی RCP2.6 روند در هر دو شاخص معنی‌دار بوده و این مورد در رابطه با ایستگاه سقز نیز تنها در شاخص TXX مربوط به سناریوی RCP8.5 صادق است. در ادامه‌ی بررسی‌های صورت‌گرفته مشخص شد که میانگین دمای حداکثر تولیدشده ایستگاه سنندج برای دوره‌ی ۲۰۲۰ الی ۲۰۵۰ تحت سه سناریوی RCP موجود نسبت به میانگین دوره‌ی پایه به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۸ و ۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد. این امر در مورد تغییرات میانگین دمای حداقل این ایستگاه طی دوره‌ی ۳۰ ساله پیش‌بینی‌شده از افزایش ۰/۸۵، ۰/۸۶ و ۰/۸۸ درصد به ترتیب برای سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 را دارد. این بررسی‌ها در رابطه با ایستگاه سقز نشان داد که میانگین دمای حداکثر برای هر سه سناریوی مورد استفاده به ترتیب ۰/۹۶، ۰/۹۵ و ۰/۹۶ درصد افزایش و برای میانگین دمای حداقل نیز افزایشی برابر ۰/۷۴، ۰/۷۸ و ۰/۷۰ درصد به ترتیب برای RCPهای ۲/۶، ۴/۵ و ۸/۵ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از این مطالعه با یافته‌های پژوهش میراکبری و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت می‌نماید. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که در طی ۳۰ سال آینده در محدوده‌ی استان کردستان میانگین دماهای حداقل و حداکثر تحت هر سه سناریو در حال افزایش خواهد بود. یافته‌های این پژوهش حاکی از تداوم افزایش دما در دوره‌ی آینده همانند دوره‌ی گذشته است. این امر با الگوی منظم افزایش دما در سایر مطالعات جهانی مطابقت دارد (Salman et al, 2017: 99; Ni et al, 2019: 121). در مطالعه‌ی داده‌های مدل گردش عمومی جو برای شهر آدیس آبابا کوچک‌مقیاس شدند و شبیه‌سازی داده‌های دما تحت RCPهای مختلف از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۸۰ نشان از افزایش در دمای حداکثر (از ۰/۹ تا ۲/۱ درجه‌ی سانتی‌گراد) و در دمای حداقل (از ۰/۱ تا ۱ درجه‌ی سانتی‌گراد) می‌دهد (Feyissa et al, 2018: 58). همچنین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به محاسبات مربوط به روند می‌توان بیان کرد که یکی از دلایل افزایش دما در طول دوره‌ی گذشته پدیده‌ی تغییر اقلیم بوده است و این عامل نیز در افزایش شاخص‌های دمایی سناریوی RCP2.6 ایستگاه سنندج نیز مؤثر خواهد بود. افزایش دمای حداقل‌ها می‌تواند باعث اختلال در اکوسیستم‌های گیاهی به لحاظ تولید محصول و زمان گلدهی گردد. این امر می‌تواند در زمان جابه‌جایی دامداران عشایری در منطقه نیز مؤثر باشد؛ چراکه این دسته از دامداران به فراخور زمانی تولید گیاهان مرتعی کوچ می‌کنند. همچنین این میزان دما می‌تواند بر روی زمان تولید محصولات کشاورزی و سیکل رویش نباتی تأثیرگذار باشد و عرضه‌ی بازار را دچار تنش نماید. همچنین به‌طور قطع افزایش دما نرخ تبخیر و تعرق گیاهی را نیز بالا برده و متعاقب آن نیاز آبی گیاهان دستخوش تغییراتی خواهد گردید؛ بنابراین لازم است مدیران و تصمیم‌گیرندگان، شیوه‌ها و روش‌های سازگاری با این تغییرات را در جهت به حداقل رساندن هرچه بیشتر اثرات منفی این افزایش دما ارائه نمایند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل SDSM می‌تواند با دقت بالایی داده‌های بزرگ‌مقیاس مدل گردش عمومی جو CanESM2 برای منطقه‌ی مطالعاتی را کوچک‌مقیاس نماید. باین حال با توجه به اینکه مدل‌سازی‌های اقلیم محلی و منطقه‌ای منتج‌شده از داده‌های خروجی مدل‌های گردش عمومی جو می‌تواند خطاهایی را در پی داشته باشد، این نیاز احساس می‌گردد تا در مطالعات بعدی در این منطقه از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دیگری نیز استفاده گردد و نتایج آن‌ها با یافته‌های حاصل از این پژوهش مقایسه گردد.

## ۶- منابع

۱. اشرف، بتول، موسوی بایگی، محمد، کمالی، غلامعلی، داوری، کامران (۱۳۹۰). بررسی روند تغییر پارامترهای اقلیمی مشهد در دوره‌ی ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی توسط مدل LARS-WG، اولین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، تهران، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران، صص ۱۲۹-۱۳۳.
۲. دارند، محمد (۱۳۹۲). ارزیابی تغییرات نمایه‌های فرین دما بر روی پهنه‌ی استان کردستان طی نیم‌سده‌ی اخیر، مخاطرات محیط طبیعی، سال دوم، شماره‌ی ۳، صص ۹۲-۷۵.

۳. شهاب‌فر، علیرضا، قیامی، علی (۱۳۸۰). پیش‌بینی درازمدت متغیرهای اقلیمی توسط مدل‌های رقومی گردش عمومی و روش‌های تبدیل مقیاس خروجی‌های این مدل‌ها از مقیاس جهانی به منطقه‌ای، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل، صص ۱۳۲-۱۳۳.
۴. کاشکی، عبدالرضا، کردی، آریتا (۱۳۹۷). واکاوی روند دما و بارش در استان کردستان با رویکرد تغییر اقلیم، دومین کنفرانس ملی آب و هواشناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، [https://www.civilica.com/Paper-SNCC02-SNCC02\\_034.html](https://www.civilica.com/Paper-SNCC02-SNCC02_034.html)
۵. غفاری، گلاره، چپی، کامران (۱۳۹۲). پهنه‌بندی اثرات تغییر اقلیم بر روند پارامترهای دمایی در استان کردستان با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، تهران، دانشگاه خوارزمی، [https://www.civilica.com/Paper-ICEHH02-ICEHH02\\_689.html](https://www.civilica.com/Paper-ICEHH02-ICEHH02_689.html)
۶. محمدی، حسین، تقوی، فرحناز (۱۳۸۴). روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۱۷۱-۱۵۱.
۷. مظفری، غلامعلی، صفرپور، فرشاد (۱۳۹۲). مدل اکولوژیکی پهنه‌بندی مراتع استان کردستان با تأکید بر عناصر اقلیمی دما و بارش، جغرافیا و پایداری محیط (پژوهشنامه‌ی جغرافیایی)، دوره ۳، شماره ۶، صص ۳۹-۲۳.
۸. مهدی‌زاده، صالح، مفتاح‌هلقی، مهدی، سید قاسمی، سمانه، مساعدی، ابوالفضل (۱۳۹۰). بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه‌ی سد گلستان، مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، شماره ۱۸، صص ۱۷-۱.
۹. میراکبری مریم، مصباح‌زاده طیبیه، محسنی ساروی محسن، خسروی حسن، مرتضایی فریزه‌ندی قاسم (۱۳۹۷). ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد (مطالعه‌ی موردی: استان یزد)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۰، شماره ۳، صص ۶۰۹-۵۹۲.
10. Christensen, J. H., Carter, T. R., Rummukainen, M., & Amanatidis, G. (2007). Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project.
11. Fenta Mekonnen, D., & Disse, M. (2018). Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River basin using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(4), 2391-2408.
12. Feyissa, G., Zeleke, G., Bewket, W., & Gebremariam, E. (2018). Downscaling of future temperature and precipitation extremes in Addis Ababa under climate change. *Climate*, 6(3), 58.
13. Field, C. B., Barros, V. R., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Abdrabo, M. K., Adger, N., ... & Burkett, V. R. (2014). Summary for policymakers. In *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-32). Cambridge University Press.
14. Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. (2007). Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 27(12), 1547-1578.
15. Ghiami-Shamami, F., Sabziparvar, A.A. and Shinoda, S. (2019) Long-term comparison of the climate extremes variability in different climate types located in coastal and inland regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 136, 875–897. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2523-4>.
16. Karamouz, M., FALAHI, M., Nazif, S., & RAHIMI, F. M. (2009). Long lead rainfall prediction using statistical downscaling and artificial neural network modeling.
17. Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*, Book Series, Charles Griffin.
18. Leander, R., & Buishand, T. A. (2007). Resampling of regional climate model output for the simulation of extreme river flows. *Journal of Hydrology*, 332(3-4), 487-496.
19. Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., & Wallis, J. R. (1994). Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. *Journal of Climate*, 7(4), 586-607.
20. Li, R. L., & Geng, S. (2013). Impacts of climate change on agriculture and adaptive strategies in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(8), 1402-1408.

21. Li, X., Wang, X. and Babovic, V. (2018a) Analysis of variability and trends of precipitation extremes in Singapore during 1980–2013. *International Journal of Climatology*, 38(1), 125–141. <https://doi.org/10.1002/joc.5165>.
22. Loukas, A., Vasiliades, L., & Tzabiras, J. (2008). Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, 17.
23. Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259.
24. Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A. M., Chandler, R. E., Kendon, E. J., Widmann, M., ... & Venema, V. K. C. (2010). Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics*, 48(3).
25. Mistry, M. N. (2019). A high-resolution global gridded historical dataset of climate extreme indices. *Data*, 4(1), 41.
26. Nie, H., Qin, T., Yang, H., Chen, J., He, S., Lv, Z., & Shen, Z. (2019). Trend analysis of temperature and precipitation extremes during winter wheat growth period in the major winter wheat planting area of China. *Atmosphere*, 10(5), 240.
27. Pasini, A. (2006). *From Observation to Simulation: A conceptual introduction to weather and climate modeling*: Translated by Francesca Sofri, Published by World Scientific Publishing Co. Inc., 216 p.
28. Pasquini, A. I., Lecomte, K. L., Piovano, E. L., & Depetris, P. J. (2006). Recent rainfall and runoff variability in central Argentina. *Quaternary International*, 158(1), 127-139.
29. Pearce, W., Holmberg, K., Hellsten, I., & Nerlich, B. (2013). Climate change on Twitter: topics, communities and conversations about the 2013 IPCC report. *PLoS ONE*.
30. Peterson TC, 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 1998–2001. World Meteorological Organization report. Geneve, Switzerland.
31. Pielke Sr, R. A., & Wilby, R. L. (2012). Regional climate downscaling: What's the point? *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 93(5), 52-53. Rahimi, M., Mohammadian, N., Vanashi, A.R. and Whan, K. (2018) Trends in indices of extreme temperature and precipitation in Iran over the period 1960-2014. *Open Journal of Ecology*, 8, 396. <https://doi.org/10.4236/oje.2018.87024>.
32. Salman, S. A., Shahid, S., Ismail, T., Chung, E. S., & Al-Abadi, A. M. (2017). Long-term trends in daily temperature extremes in Iraq. *Atmospheric Research*, 198, 97-107.
33. Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 63(324), 1379-1389.
34. Shahid, S., & Hazarika, M. K. (2010). Groundwater drought in the northwestern districts of Bangladesh. *Water resources management*, 24(10), 1989-2006.
35. Solomon, S., Manning, M., Marquis, M., & Qin, D. (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4)*. Cambridge university press.
36. Tabari, H., Abghari, H., & Hosseinzadeh Talaei, P. (2014). Impact of the North Atlantic Oscillation on streamflow in western Iran. *Hydrological Processes*, 28(15), 4411-4418.
37. Thiel, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. In *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen A (Vol. 53, pp. 1397-1412)*.
38. Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., ... & Edmonds, J. A. (2011). RCP4. 5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. *Climatic change*, 109(1-2), 77.
39. Turgay, P. and Ercan K. (2005). *Trend Analysis in Turkish Precipitation data*. Hydrological processes published online in wiley Interscience ([www.Interscience.wiley.com](http://www.Interscience.wiley.com)).
40. Wilby, R. L., & Dawson, C. W. (2004). Using SDSM version 3.1—A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *User manual*, 8.

41. Wilby, R. L., & Dawson, C. W. (2013). The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1707-1719.
42. Wood, A. W., Lettenmaier, D. P., & Palmer, R. N. (1997). Assessing climate change implications for water resources planning. In *Climate Change and Water Resources Planning Criteria* (pp. 203-228). Springer, Dordrecht.
43. Zhao, Y., Camberlin, P., & Richard, Y. (2005). Validation of a coupled GCM and projection of summer rainfall change over South Africa, using a statistical downscaling method. *Climate research*, 28(2), 109-122.