

## بررسی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی متغیر دما در استان خوزستان

یاسر زکوی<sup>۱</sup>، رضا برنا<sup>۲\*</sup>، جعفر مرشدی<sup>۳</sup>، جبرائیل قربانیان<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار گروه شهرسازی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۴- استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

### چکیده

تغییر اقلیم و افزایش دما از مسایل مهم زیست محیطی بشر به حساب می‌آیند در چند دهه اخیر افزایش دمای زمین باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب گردیده است در این پژوهش برای پیش‌نگری دما از خروجی‌های مدل اقلیمی *CanESM2*، تحت سناریوهای *RCP2.6* و *RCP8.5* و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری *SDSM* استفاده شده است. ۷ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان، که دارای آمار اقلیمی ۴۵ ساله (۲۰۰۵ - ۱۹۶۱) و ۴۰ ساله (۲۰۰۵ - ۱۹۶۶) میلادی بودند، انتخاب گردید. داده‌های دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۶۱) میلادی است که از ۳۰ سال اول داده‌ها (۱۹۹۰-۱۹۶۱) برای واسنجی و از ۱۵ سال دوم (۲۰۰۵-۱۹۹۱) برای ارزیابی نحوی عملکرد مدل با استفاده از معیارهای خطا و دقت ارزیابی شده است. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل آماری برای هر دو مجموعه داده مشاهداتی و ریزمقیاس‌نمایی شده نشان می‌دهد که، مدل *SDSM* در ریزمقیاس‌نمایی دمای خروجی مدل *CanESM2* دارای توانمندی بالایی است بطوریکه میزان ضریب *RMSE* و ۲ طی دوره صحت‌سنجی در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی به ترتیب دارای دامنه ۱/۶ تا ۲/۷ و برای ضریب همبستگی از ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۷ بوده است. پیشنهادی بدینانه و خوش‌بینانه را به ترتیب با سناریوهای *RCP2.6* و *RCP8.5* در دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۶ را نشان می‌دهد که نسبت به دوره پایه به طور متوسط دمای میانگین استان  $24.8^{\circ}C$  به ترتیب ۲/۴ و ۲/۱ درجه سانتیگراد افزایش داشته‌اند که بیشترین افزایش دما در ایستگاه اهواز و شوشتر و کمترین دما در ایستگاه باغ ملک رخ می‌دهد.

کلید واژه‌ها: پیش‌نگری، تغییرات اقلیمی، استان خوزستان، دما، ریزمقیاس‌نمایی، *SDSM*.

## مقدمه

بررسی و شناخت تحقیقات انجام شده در راستای موضوع مورد مطالعه می باشد.

معتبرترین ابزار پیش نگری اقلیمی و تولید سناریوهای آتی متغیرهای اقلیمی مدل های جهانی اقلیمی هستند با این وجود به دلیل قدرت تفکیک پایین مکانی این مدل ها، نیاز به مقیاس نمایی برون داد این مدل ها با استفاده از روش های دینامیکی و آماری است. یکی از مدل های رایج در مقیاس کاه آماری مدل SDSM است که توسط دکتر رابرت ویلبای و همچنین کریستین داوسون در انگلستان توسعه یافته است. ویلبای و داوسون (۲۰۰۲)، اساس مدل SDSM برای ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی محلی با استفاده از یک روش آماری بر مبنای رگرسیون به منظور ریزمقیاس نمایی خروجی مدل های گردش عمومی جو می باشد. مدل SDSM به منظور کمک به کاربران متغیرهای بزرگ مقیاس اقلیمی در زمینه پیش نگری آینده مناطق طراحی شد. بررسی تغییرات اقلیمی در یک نقطه خاص و بر اساس مدل های آماری با استفاده از داده های آن نقطه، از مهم ترین اهداف طراحی این مدل می باشد. این مدل با هدف تولید اطلاعات اقلیمی با قدرت تفکیک بالا (روزانه) از داده های شبیه سازی درشت مقیاس GCMs طراحی شده است. طبق پژوهش های انجام شده، این مدل به عنوان بهترین ترکیب حاصل از مولد تصادفی آب و هوا و روش های رگرسیون چندگانه خطی شناخته شده است (خان و همکاران، ۲۰۰۶).

برزگری و ملکی نژاد (۱۳۹۷)، علیزاده فرد (۱۳۹۹) در مطالعات خود نشان داده اند که روش های ریزمقیاس نمایی آماری، به منظور پیش نگری متغیرهای اقلیمی مانند دما، به دلیل اهمیت این فاکتور در برنامه ریزی و مدیریت محیطی کاربرد وسیعی دارند. مدل SDSM از کارایی بالاتر و دقت قابل قبولی برای پیش نگری دما برخوردار است. همچنین نتایج بیانگر افزایش دما در تمام ایستگاه های مورد بررسی می باشد. چوبه و کاکه ممی (۱۳۹۴)، حاجری و همکاران (۱۳۹۸)، دسترنج و رستمی (۱۳۹۹)، خان و همکاران (۲۰۰۶)، دیبایک و کولیالی (۲۰۱۹) در پژوهش های متفاوت بیان کردند که مدل در پیش نگری دما از دقت بالاتری نسبت به بارش برخوردار است و عملکرد بهتری را نشان می دهد. در حال حاضر آگاهی یافتن از میزان تغییرات اقلیمی و رفتار متغیرهای اقلیمی در جهت به کارگیری تمهیدات لازم در برابر اثرات ناشی از تغییر اقلیم موضوع مورد بحث و کانون توجه بسیاری از پژوهشگران به خصوص

تغییرات اقلیمی یکی از مهم ترین و پیچیده ترین نگرانی های قرن حاضر و آینده است (توکلی و همکاران، ۱۴۰۰). تغییرات اقلیمی مجموعه ای از مباحث جدید است که در محافل مختلف علمی مورد بحث می باشد و امروزه نظر بسیاری از محققان محیط زیست را به خود معطوف داشته و از بلایای قرن بیستم به شمار می رود (سبزابایی و همکاران، ۱۳۹۴). به طور گسترده ای پذیرفته شده است که اقلیم در حال تغییر است (امین، ۱۳۹۹). تغییرات اقلیمی، آب و هوای کره زمین را دچار تغییرات شگرف کرده است (طبری و همکاران، ۱۳۸۶).

تغییرات اقلیمی، آب و هوای کره زمین را دچار تغییرات شگرف کرده است. پدیده های طبیعی و آب و هوا در شرایط عادی قدرت بالایی دارند و قادر هستند در صورت به خطر افتادن حیات یا خارج شدن از سیر طبیعی، خود را بازیابی کنند و به حالت طبیعی بازگردند. افزایش دما (کابات، ۲۰۰۰)، ذوب شدن یخ های قطبی، بالا آمدن سطح آب های آزاد و بی نظمی در پدیده های اقلیمی از مهمترین پیامدهای تغییر اقلیم محسوب می شوند (رسول پورنالكیاشری، ۱۳۹۶). با بررسی روند تغییرات دمای هوا، می توان رد پای تغییرات اقلیمی را در پهنه ایران جستجو کرد (حمیدیان پور و همکاران، ۱۴۰۲). دما یکی از مهم ترین پارامترهای هواشناسی است که در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار می گیرد (جمالی و خالدی، ۱۴۰۰). این پارامتر در بررسی های تغییر اقلیم از اهمیت ویژه ای برخوردار است، بطوری که افزایش دما یکی از مسائل مهم زیست محیطی بشر به حساب می آید (زارعی و مقیمی، ۱۳۹۵). متغیر دما به عنوان شاخص مناسبی برای ردیابی تغییر اقلیم بوده است. این متغیر یکی از عمده ترین و اساسی ترین پارامتر اقلیمی است که به علت اهمیت آن از دیرباز مورد توجه اقلیم شناسان بوده است. با توجه به اهمیت افزایش دما در چگونگی زندگی و فعالیت های بشری (میرطاهری و همکاران، ۱۳۹۳) و نیز تغییرات دما برای درک ماهیت پیچیده جو و پیشنگری تغییرات آنها در آینده، باید از مدل سازی استفاده کرد. پیش نگری بلند مدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای کمتر شدن اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه متخصصان مختلف از جمله اقلیم شناسان و پژوهشگران قرار گرفته است. به طور کلی آنچه که در تمام مطالعات علمی ضروری و مهم است،

نسبی ۳.۹ درصد از کل مساحت کشور، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا در جنوب غربی ایران واقع شده است. بر اساس آمار معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی، حدود ۸۵ درصد از وسعت استان خوزستان دارای اقلیم فراخشک، خشک و نیمه خشک است. به طور کلی از ویژگی‌های بارز اقلیم این استان می‌توان به خشکی، بالا بودن دما، میزان تبخیر سطحی و پایین بودن میزان نزولات جوی و شوری خاک اشاره کرد (رحیمی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷). در این مطالعه داده‌های هواشناسی شامل مقادیر دمای کمینه، دمای بیشینه و متوسط دما برای دوره ای مورد مطالعه برای ایستگاه‌های هواشناسی استان (جدول ۱) استفاده شده است. داده‌های مذکور از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده است.

اقلیم‌شناسان قرار گرفته است. شناخت و ارزیابی تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده با هدف برنامه‌ریزی محیطی در جهت سازگاری با شرایط آینده اقلیم و کاهش اثرات آن امری تأثیرگذار می‌باشد. در این پژوهش، هدف از تحقیق نگاهی به تغییرات متوسط دما در دوره پایه و آینده استان خوزستان می‌باشد. بررسی ارزیابی مدل و بازتولید متغیرهای اقلیمی و دورنمایی از شرایط اقلیمی آینده می‌باشد و این سوال مطرح است آیا مدل SDSM در استان خوزستان از دقت بالایی برخوردار است؟

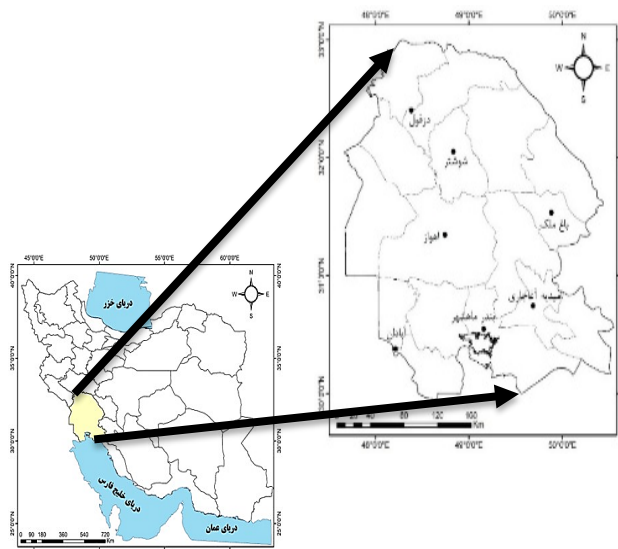
## مواد و روش

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر استان خوزستان است. استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۳۲۱۳ کیلومتر مربع و بطور

جدول ۱ ایستگاه‌های هواشناسی خوزستان (ماخذ: برگرفته از سازمان هواشناسی کشور)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	متوسط دما (۱۹۶۱-۲۰۰۵)
اهواز	۴۸.۷۴	۳۱.۳۴	۲۲.۵	۲۵.۵
آبادان	۴۸.۲۱	۳۰.۳۸	۶.۶	۲۵.۵
دزفول	۴۸.۳۸	۳۲.۴	۱۴۳	۲۴.۴
شوشتر	۴۸.۸۳	۳۲.۰۵	۶۷	۲۷.۴
باغ ملک	۴۹.۸۸	۳۱.۵۳	۷۱۰	۲۲.۲
بندر ماهشهر	۴۹.۱۶	۳۰.۵۵	۶.۲	۲۵.۹
امیدیه آغاچاری	۴۹.۶۹	۳۰.۷۴	۲۷	۲۶.۵



شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

## روش کار

## مدل‌های اقلیمی جهانی

مدل‌های گردش عمومی جو-اقیانوس (AOGCM)، مدل‌های استاندارد هستند که در گزارش‌های ارزیابی هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (AR4) بکار رفته‌اند. تابع اصلی این مدل‌ها، شناخت مولفه‌های فیزیکی و دینامیکی سامانه اقلیم (جو، اقیانوس، سطح زمین و یخ دریا) است و پیش‌بینی‌های این مدل‌ها بر اساس واداشت گازهای گلخانه‌ای و آنروسل‌ها می‌باشد. این مدل‌ها، جامع‌ترین ابزار موجود برای شبیه‌سازی پاسخ گذشته و آینده سامانه اقلیم به واداشت‌های خارجی محسوب می‌شوند که در این واداشت‌ها، بازخوردهای زیست-زمین-شیمی نقش مهمی دارند (هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳). از سال ۱۹۹۵، کارگروه مدل‌سازی جفت شده (WGCM)، پروژه ارزیابی متقابل مدل‌های جفت شده (CMIP) را به عنوان یک پروتکل استاندارد به منظور دسترسی پژوهشگران به برونداد مدل‌های اقلیمی برای استفاده از برونداد مدل‌های گردش عمومی جفت شده جو-اقیانوس در مطالعات و پژوهش‌های در دست انجام، پایه‌گذاری کرد. طی سال ۲۰۱۳-۲۰۱۲، WCRP پیش‌بینی‌های جهانی اقلیم بر اساس فاز پنجم CMIP، در اختیار جامعه علمی قرار دارد (هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۱۳، تیلور و همکاران، ۲۰۱۲). مزیت CMIP5 نسبت به نسخه قبلی، قدرت تفکیک بالاتر مدل‌های استفاده شده در آن، تعداد بیشتر مدل‌ها و مجموعه غنی‌تری از میدان‌های خروجی (علاوه بر دما و بارش) است. در مدل‌های پروژه هم‌سنج مدل جفت شده ۵، از سناریوهای جدید به نام «نمایند خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای» (RCP) استفاده شده است.

در این پژوهش از خروجی مدل CanESM2 استفاده شده است. این مدل چهارمین نسل از مدل‌های اقلیمی است که در مرکز مدل‌سازی و تحلیل اقلیمی کانادا (ECCma) توسعه یافته است. در این مدل کره زمین به صورت  $128^*64$  یاخته شبکه بندی شده است. داده‌های تاریخی مدل تا سال ۲۰۰۵ با بکارگیری داده‌های بازتحلیل NCEP به منظور واسنجی مدل و تدوین مدل و روابط مقیاس‌کاهی در مدل SDSM مورد استفاده قرار می‌گیرد و داده‌های ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ نیز جهت پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی رای دوره‌های آتی بکار می‌رود (عطایی و همکاران، ۲۰۲۲).

## ریزمقیاس نمایی

مدل‌های اقلیمی جهانی (GCMs) به عنوان اولین منبع برای ساخت و ارایه سناریوهای اقلیمی مطرح می‌باشند. این مدل‌ها مبنایی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در تمام مقیاس‌ها از محلی تا جهانی را فراهم می‌آورند. با این وجود، در مطالعه اثرات تغییر اقلیم، به ندرت از برونداد مدل‌های اقلیمی به طور مستقیم استفاده می‌شود زیرا این مدل‌ها به دلایلی چون محدود بودن قدرت تفکیک مکانی، ساده‌سازی‌های انجام شده در فرایندهای ترمودینامیکی و فیزیکی و روش‌های عددی یا عدم شناخت کامل از فرآیندهای سامانه اقلیم، دارای خطاهایی بر مبنای این سامانه (اریبی‌ها) می‌باشند.

روش‌های متفاوت ریزمقیاس گردانی، برای مطالعات زیربنایی تغییر اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای ارایه شده‌اند که در دو دسته روش‌های دینامیکی و ریزمقیاس گردانی آماری تقسیم بندی می‌شوند.

یکی از ابزارهای ریزمقیاس نمایی آماری SDSM است که برای ارزیابی اثرات محلی تغییر اقلیم توسعه داده شد (حمیدیان پور و همکاران، ۱۴۰۰). این مدل که هسته اصلی آن تلفیقی از روش‌های تصادفی و همبستگی می‌باشد با هدف تبیین حداکثری تغییرپذیری اقلیم محلی یک ایستگاه از تأثیر گذارترین متغیرهای بزرگ مقیاس طراحی شده است. ورودی این مدل داده‌های دیدبانی روزانه ایستگاه (پیش‌نگری شونده)، متغیرهای بزرگ مقیاس NCEP (پیش‌نگری کننده) در دوره مشابه دیدبانی و برونداد متغیرهای بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار گوناگون برای دوره مطالعاتی آینده می‌باشد. (عساکره و شادمان، ۱۳۹۷). مراحل کار مدل به طور خلاصه شامل چندین مرحله است. کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای مستقل مناسب، واسنجی مدل، تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهده‌ای، آنالیز آماری داده‌های مشاهده شده، نمایش گرافیکی خروجی مدل و تولید داده‌های اقلیم آینده با استفاده از متغیرهای مستقل است (عرب سلغار و همکاران، ۱۴۰۱). در این پژوهش جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری، از نرم‌افزار SDSM و داده‌های مدل CanESM2 استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل دمای کمینه و بیشینه، دمای میانگین روزانه است. همچنین از داده‌های NCEP که شامل ۲۶ متغیر جوی است که به عنوان متغیرهای مستقل بکار رفته و پس از آزمون‌های آماری

گلخانه‌ای و روش‌های سازگاری با تغییر اقلیم تأکید دارد (سمنوف و استارتویچ، ۲۰۱۰). سناریوی خانواده RCP شامل ۴ سناریوی مختلف است که این سناریوها عبارتند از: ۸/۵، ۶، ۴/۵، ۲/۶ که براساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط مشی‌ها در آینده (زو و همکاران، ۲۰۱۲) است که در هر شرایطی می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی گردد (یوسفی، ۱۳۹۸). در این پژوهش از نسل دوم مدل سامانه زمین CanESM2 به همراه نسل چهارم مدل جهانی آب و هوا توسعه یافته توسط مرکز محیط زیست کانادا برای مدل سازی و تجزیه و تحلیل اقلیم و ارایه پیش‌نگری‌های آتی استفاده شد.

#### روش درون‌یابی

مقایسه و تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس روش IDW صورت گرفته است. روش‌های متعددی برای درون‌یابی یک متغیر ارائه شده‌اند. که روش وزندهی بر مبنای عکس فاصله IDW از جمله روش مرسوم می‌باشند. در درون‌یابی با روش IDW با گرفتن میانگین از ارزش نقاط نمونه برداری شده، ارزش نهایی یاخته‌های لایه رستر خروجی را برآورد می‌کند. هرچه نقطه نمونه برداری شده به مرکز یاخته‌ای که قرار است ارزش آن را برآورد نمود نزدیکتر باشد آن نقطه با ضریب تاثیر (وزن) بیشتری در فرایند محاسبه میانگین وزنی ارزش نقاط نمونه برداری شده مجاور شرکت خواهد کرد. این روش میان‌یابی بر این فرض استوار است که پدیده‌ای که در حال تهیه نقشه توزیع مکانی آن هستید همگام با زیاد شدن فاصله و دور شدن از یک نقطه نمونه برداری شده، مقدار درصد تاثیر (وزن) آن نقطه در برآورد ارزش یاخته خروجی کاهش می‌یابد.

در روش درون‌یابی معکوس فاصله (IDW) یا روش وزن دهی معکوس فاصله که در فرمول (۷) نشان داده شده است، فرض اساسی بر این است که میزان همبستگی و تشابه بین همسایه‌ها با فاصله بین آنها متناسب است، که می‌توان آن را به صورت تابعی با معکوس فاصله از هر نقطه‌ای از نقاط همسایه تعریف کرد. لازم به یادآوری است که تعریف شعاع همسایگی و توان مربوط به تابع عکس فاصله از مسائل مهم در این روش محسوب می‌شود. این روش در حالتی که نقاط نمونه به اندازه کافی با پراکنش مناسب در سطوح مقیاس محلی باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از مزایای این روش در نشان دادن

متغیرهای پیش‌نگری‌کننده از بین آن‌ها انتخاب می‌شوند. با توجه به این که متغیرهای پیش‌نگری‌کننده می‌توانند روابط مختلفی با داده‌های پیش‌نگری‌شونده داشته باشند بنابراین متغیرهایی دارای اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین واریانس خطا باشند، (شمسی پور، ۱۳۹۲). دوره پایه براساس داده‌های موجود همه ایستگاه‌ها سال‌های ۱۹۶۱ الی ۲۰۰۵ است. سال‌های آماری ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۵ برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد.

#### معیارهای آماری

جهت بررسی دقت و ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل، از جذر مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، میانگین خطای اریبی (MBE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربع خطا (MSE) و ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) استفاده شده است:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (1)$$

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\frac{X_{max} - X_{min}}{2}} \quad (4)$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

که در آن  $O_i$ ، میزان مقادیر مشاهده شده،  $P_i$  میزان مقادیر پیش‌نگری شده و  $\bar{O}$  میانگین مقادیر مشاهده شده،  $\bar{P}$  میانگین مقادیر پیش‌نگری شده و  $n$  تعداد داده‌ها است (مک‌گوفی و هندرسون، ۲۰۰۱). پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی مدل و قابلیت آن در شبیه‌سازی متغیرهای وابسته (در اینجا دما)، این مدل برای ریز مقیاس کردن داده‌های مدل گردش کلی و تولید داده یا شبیه‌سازی داده‌های CanESM2 برای دوره‌های آتی تحت سناریوهای واداشت تابشی اجرا شد و میزان دمای بیشینه و کمینه و میانگین ایستگاه‌های منتخب برای سه دوره (۲۰۰۶-۲۰۴۰)، (۲۰۴۱-۲۰۷۰) و (۲۰۷۱-۲۰۱۰) پیش‌نگری و با دوره پایه مقایسه گردید. سناریوهای بکار رفته در گزارش پنجم IPCC که در سال ۲۰۱۴ منتشر شد، بیش‌تر بر جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی تغییرات اقلیم و نقش آن در توسعه پایدار، مدیریت ریسک و چهارچوب کلی آن بر کاهش گازهای

بر اساس مقادیر میانگین متغیرها در هر ماه محاسبه شد. این مقادیر با توجه به دمای روزانه تولید شده توسط مدل و مقادیر مشاهده شده برای دوره واسنجی و صحت سنجی به دست آمد. نتایج نشان داد با توجه میزان NRMSE میزان خطا در برآورد دما قابل قبول (کم تر از ۱۰ درصد) و در همه ایستگاهها تقریباً یکسان است. هر چه مقدار MAE, RMSE, NRMSE کم تر باشد نشان دهنده کارایی بیش تر مدل در برآورد متغیرهاست. برای بررسی دقیقتر آزمون برازش رگرسیون خطی بین داده های مشاهداتی و چشم انداز آبی دمای متوسط، پیشینه و کمینه صورت گرفت. نتایج نشان داد با توجه به ضریب همبستگی بالای ۸۷٪ عملکرد مدل مورد تأیید است.

خطوط ناپیوسته مانند شکستگی ها، خط واره ها، گسل ها و رودخانه ها که ایجاد شکستگی و ناپیوستگی در سطح می کنند می باشد.

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}} \quad (7)$$

که در آن  $Z_0$  مقدار تخمین متغیر،  $Z_i$  مقدار نمونه در نقطه  $d_i$ ،  $d_i$  فاصله نقطه نمونه تا نقطه مورد تخمین،  $n$  ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می کند.

## یافته های تحقیق

### واسنجی و اعتبارسنجی مدل

نتایج واسنجی و صحت سنجی مدل برای دما در جدول ۲ آورده شده است. MAE, RMSE, NRMSE و R2

جدول ۲ نتایج واسنجی و صحت سنجی میانگین، حداقل و حداکثر دما (ماخذ: نگارنده: ۱۴۰۲)

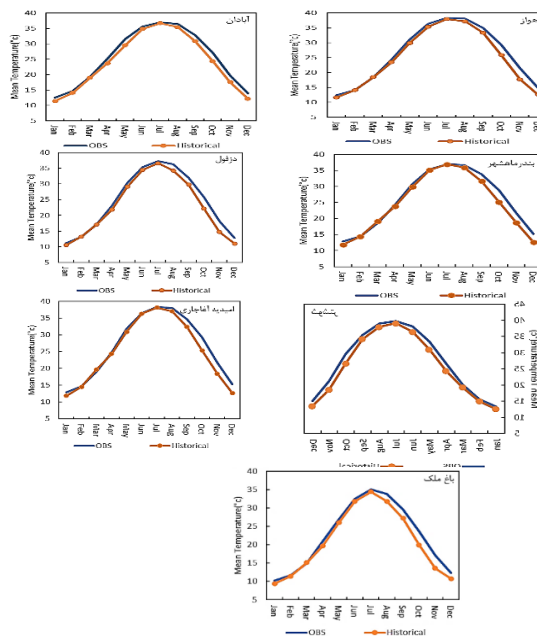
ایستگاه	RMSE		MAE		MSE		NRMSE		R2	
	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی
<b>میانگین دما</b>										
آبادان	۲.۴	۱.۶	۰.۰۶	۰.۰۴	۵.۹	۵.۱	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۹۷۲	۰.۹۶۶
آغاجاری	۲.۴	۱.۹	۰.۰۵	۰.۰۵	۶.۸	۷.۱	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۹۶۶	۰.۹۶۴
اهواز	۲.۷	۱.۸	۰.۰۶	۰.۰۴	۷.۲	۶.۵	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۹۷۰	۰.۹۶۳
باغ ملک	۳.۹	۲.۷	۰.۰۹	۰.۰۶	۱۷.۳	۱۴.۲	۰.۰۶	۰.۰۹	۰.۹۲۴	۰.۸۹۵
دزفول	۳.۱	۱.۹	۰.۰۷	۰.۰۴	۹.۴	۷.۲	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۹۶۴	۰.۹۵۱
ماهشهر	۲.۴	۱.۸	۰.۰۶	۰.۰۴	۶	۶	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۹۶۰	۰.۹۶۰
شوشتر	۲.۵	۱.۸	۰.۰۵	۰.۰۴	۶.۸	۶.۶	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۹۶۷	۰.۹۶۶
<b>حداکثر دما</b>										
آبادان	۳.۳	۲.۴	۰.۰۷	۰.۰۵	۱۱.۴	۱۱.۲	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۹۵۲	۰.۹۴۶
آغاجاری	۲.۷	۲.۲	۰.۰۶	۰.۰۵	۹.۶	۹.۶	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۹۶۱	۰.۹۶۰
اهواز	۳	۲.۱	۰.۰۶	۰.۰۵	۹.۲	۸.۵	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۹۶۵	۰.۹۶۱
باغ ملک	۳.۸	۳.۳	۰.۰۸	۰.۰۷	۲۹.۹	۲۸.۱	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۸۷۶	۰.۸۵۶
دزفول	۳.۲	۲.۱	۰.۰۶	۰.۰۵	۱۰.۴	۱۰.۲	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۹۵۷	۰.۹۵۵
ماهشهر	۲.۶	۲.۳	۰.۰۶	۰.۰۵	۱۱	۱۱	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۹۵۱	۰.۹۴۹
شوشتر	۳	۲.۲	۰.۰۶	۰.۰۵	۱۰.۴	۱۰.۳	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۹۵۹	۰.۹۵۶
<b>حداقل دما</b>										
آبادان	۳.۵	۲.۴	۰.۰۹	۰.۰۷	۱۲.۸	۱۱.۶	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۹۱۸	۰.۹۰۲
آغاجاری	۳.۵	۲.۷	۰.۰۸	۰.۰۷	۱۵	۱۵	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۸۸۲	۰.۸۷۳
اهواز	۳.۴	۲.۵	۰.۰۸	۰.۰۷	۱۲	۱۱.۹	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۹۲۴	۰.۹۰۹
باغ ملک	۳	۲.۶	۰.۰۸	۰.۰۶	۱۹.۲	۱۷.۹	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۸۴۳	۰.۸۰۳
دزفول	۴.۲	۲.۶	۰.۰۹	۰.۰۷	۱۸.۶	۱۶.۱	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۸۸۸	۰.۸۶۳
ماهشهر	۲.۹	۲.۵	۰.۰۸	۰.۰۷	۱۲	۱۲	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۹۰۰	۰.۸۹۵
شوشتر	۴.۱	۲.۹	۰.۰۹	۰.۰۷	۱۸.۷	۱۷.۸	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۸۹۸	۰.۸۶۹

مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در شکل‌های ۲ نشان داده شده است، در اکثر ایستگاه‌ها در ماه‌های اول سال بیشترین همپوشانی را دارند که دلیل صحت بیشتر مدل در ماه‌های اول سال میلادی می‌باشد. در ایستگاه‌های اهواز، بندرماهشهر، امیدیه آغاچاری و باغ ملک در هفت ماه اول سال میلادی بیشترین همپوشانی و صحت را شامل می‌شوند که در پنج ماه آخر سال میلادی دمای گذشته نگر به طور متوسط در این ایستگاه‌ها به ترتیب ۲.۴، ۲.۶، ۲.۷ و ۲.۸ درجه سانتیگراد اختلاف را با داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های دزفول، آبادان و شوشتر بیشترین همپوشانی و صحت را در سه ماه اول سال و ماه جولای دارند در بقیه ماه‌ها دمای گذشته نگر به طور متوسط در این ایستگاه‌ها به ترتیب ۲.۶، ۲ و ۲ درجه سانتیگراد اختلاف را با داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد.

در پژوهش حاضر از میانگین حسابی دما (میانگین‌گیری از تمام سری‌های زمانی ایستگاه‌ها) استفاده شده است و سری‌های زمانی داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های هم‌مدیدی استان خوزستان با سری‌های زمانی داده‌های خروجی مدل SDSM در دوره مشابه مقایسه شدند. شکل ۱ مقایسه بین داده‌های مدل و داده‌های مشاهداتی را برای متغیر اقلیمی میانگین دما نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده شده است، نتایج حاصل از ارزیابی مدل مبتنی بر شاخص آماره‌های خطا جدول ۳ نشان می‌دهد بالا بودن مقدار R2 و پایین بودن مقادیر مربوط به شاخص‌های RMSE و NRMSE متغیر میانگین دما نشان‌دهنده کارایی مناسب این مدل در شبیه‌سازی این متغیر است. در نهایت بیانگر این است مدل در برآورد میزان متغیر اقلیمی دما دارای دقت نسبتاً خوبی می‌باشند. برای نمایش بهتر کارایی مدل در استان خوزستان، دمای ماهانه دوره گذشته نگر (تاریخی) مدل با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مورد

جدول ۳ ارزیابی داده‌های مدل مورد استفاده در این تحقیق با داده‌های خوزستان (۲۰۰۵-۱۹۶۱) (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

MBE (mm)	MAE (mm)	NRMSE	RMSE (mm)	R <sup>2</sup>	R	میانگین دما خوزستان
۱.۳۷	۱.۳۷	۰.۰۶۵	۱.۷۱	۰.۹۸۷	۰.۹۹۴	



شکل ۲ بررسی صحت مدل توسط داده‌های میانگین دمای ماهانه گذشته نگر تولید شده توسط مدل با داده‌های مشاهداتی

(ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

## سناریوهای آبی دما برای استان خوزستان

بعد از انجام واسنجی و ارزیابی مدل، متغیر دمای میانگین روزانه توسط مدل SDSM برای دوره (۲۱۰۰-۲۰۰۶) میلادی تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 با استفاده از پرونداد مدل CanESM2 تولید و مقادیر میانگین ماهانه و سالانه برای دوره آبی استخراج و با مقادیر دوره ی پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج تغییرات دما

تحت دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 در جدول (۴) نشان داده شده است. مطابق جدول، دما در همه دوره‌ها افزایش داشته و برای سناریو RCP2.6 افزایش کمتری نسبت به سناریو RCP8.5 دارد. که کمترین افزایش متوسط دما RCP2.6 در اهواز به مقدار ۰.۲ درجه پیش‌نگری شده است و بیشترین افزایش RCP8.5 در ایستگاه‌های دزفول و شوشتر به مقدار ۱.۹ می‌باشد.

جدول ۴ متوسط تغییرات متوسط دمای سالانه ایستگاه‌های استان خوزستان ۲۱۰۰-۲۰۰۶ نسبت به دوره پایه تحت دو سناریو

RCP2.6 و RCP8.5 (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

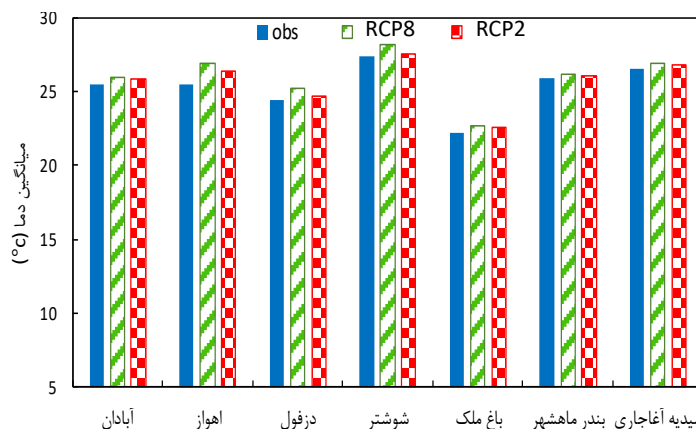
ایستگاه	میانگین دما		حداکثر دما		حداقل دما	
	RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
آبادان	۰.۴	۰.۶	۰.۴	۰.۶	۰.۳	۰.۴
آغاجاری	۰.۳	۰.۵	۰.۴	۰.۶	۱.۲	۱.۳
اهواز	۱.۵	۱.۹	۰.۳	۰.۹	۰.۳	۰.۸
باغ ملک	۱.۶	۱.۷	۰.۰۳	۰.۱	۰.۱	۰.۲
دزفول	۰.۲	۰.۹	۰.۳	۰.۹	۰.۳	۰.۸
بندر ماهشهر	۰.۳	۰.۴	۰.۳	۰.۵	۰.۳	۰.۴
شوشتر	۰.۲	۰.۹	۰.۳	۰.۹	۰.۴	۱

دوره پیش‌نگری شده با سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 و دوره مشاهداتی به ترتیب تقریباً ۲۷.۵، ۲۸.۲ و ۲۷.۳ درجه سانتیگراد مربوط به ایستگاه شوشتر و کمترین میانگین دما هم به ترتیب تقریباً ۲۲.۷، ۲۲.۶ و ۲۲.۲ درجه سانتیگراد مربوط به ایستگاه باغ ملک است.

همانطور که در جدول (۵) و شکل (۳) مشاهده می‌کنید میانگین دما در دوره پیش‌نگری شده با سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 به طور متوسط در استان به ترتیب ۲۵.۷ و ۲۶ درجه سانتیگراد می‌باشد که نسبت به دوره گذشته ۰.۴ و ۰.۷ افزایش را نشان می‌دهد و همچنین بیشترین میانگین دما در

جدول ۵ نتایج میانگین دما شبیه سازی شده (۲۱۰۰-۲۰۰۶) و مشاهداتی (۲۰۰۵-۱۹۶۱) (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

ایستگاه	RCP2.6			RCP8.5			مشاهداتی
	۲۰۷۰-۲۰۴۱	۲۰۴۰-۲۰۰۶	۲۱۰۰-۲۰۷۱	۲۰۷۰-۲۰۴۱	۲۰۴۰-۲۰۰۶	۲۱۰۰-۲۰۷۱	۲۰۰۵-۱۹۶۱
اهواز	۲۵.۷۶	۲۵.۸۷	۲۵.۹۲	۲۵.۹۳	۲۶	۲۵.۹۲	۲۵.۴۸
آبادان	۲۶.۳۵	۲۶.۴۲	۲۶.۹۶	۲۶.۹۴	۲۶.۹۵	۲۶.۳۵	۲۵.۵
دزفول	۲۴.۶۴	۲۴.۶۷	۲۵.۲۸	۲۵.۲۷	۲۵.۲۴	۲۴.۶۴	۲۴.۴
شوشتر	۲۷.۵۱	۲۷.۶۲	۲۸.۱۹	۲۸.۲۰	۲۸.۱۸	۲۷.۵۱	۲۷.۳۳
باغ ملک	۲۲.۵۴	۲۲.۶۱	۲۲.۷۳	۲۲.۵۵	۲۲.۷۷	۲۲.۵۴	۲۲.۲
بندر ماهشهر	۲۶.۰۶	۲۶.۱۵	۲۶.۱۶	۲۶.۲۰	۲۶.۲۸	۲۶.۰۶	۲۵.۹
امیدیه آغاجاری	۲۶.۷۶	۲۶.۸۵	۲۶.۸۶	۲۶.۹۱	۲۶.۹۷	۲۶.۷۶	۲۶.۵
استان	۲۵.۷	۲۵.۷	۲۶	۲۶	۲۶.۱	۲۵.۷	۲۵.۳



شکل ۳ نتایج میانگین دما شبیه‌سازی شده (۲۰۰۶-۲۱۰۰) و مشاهداتی (۱۹۶۱-۲۰۰۵) (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

مشاهداتی در مقابل دمای محاسبه شده تحت دو سناریوی منتخب ترسیم شده است. بررسی ضریب همبستگی نشان داد که بیشترین میزان همبستگی دما با مقادیر شبیه‌سازی شده تحت سناریوی RCP2.6 بدست آمده است (شکل ۴).

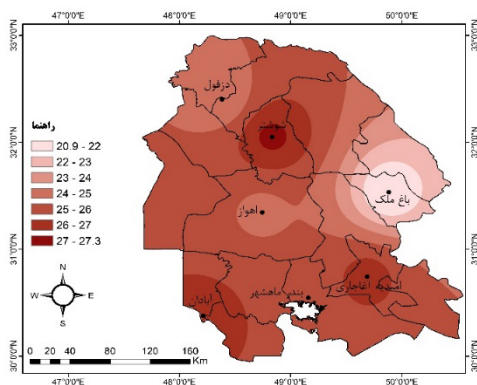
با توجه به اینکه از سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۲۲ داده‌های مشاهداتی میانگین دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دسترس می‌باشد و دوره آینده از سال ۲۰۰۶ به بعد پیش‌نگری شده است و اینکه دوره ۲۰۰۶ لغایت ۲۰۲۲ دوره مشترک مشاهداتی و پیش‌نگری هستند شکل مربوط به دمای سالانه



شکل ۴- مقایسه میانگین دمای مشاهداتی سالانه ۲۰۰۶-۲۰۲۲ ایستگاه با میانگین دمای پیش‌نگری شده خوشبینانه و بدبینانه (صحت سنجی) (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

۱۹۶۱ را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های شوشتر، آبادان و امیدیه آغاچاری به ترتیب با میانگین دمای ۲۷.۳، ۲۶.۵ و ۲۶.۴ درجه سانتیگراد بیشترین دما و ایستگاه باغ ملک که در شرق استان قرار دارد با ۲۰.۹ درجه سانتیگراد کمترین دما را دارند.

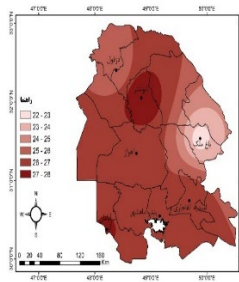
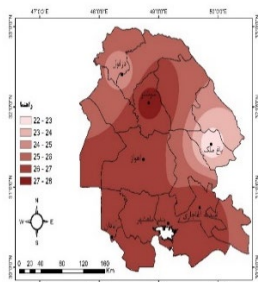
توزیع مکانی میانگین دمای سالانه تحت سناریوهای منتخب مقایسه و تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی بر اساس روش IDW صورت گرفته است. شکل (۵) پهنه‌بندی میانگین دمای استان خوزستان با ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه ۲۰۰۵-



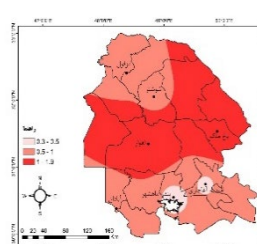
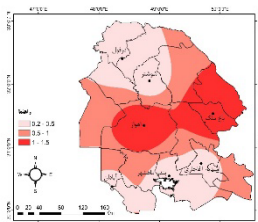
شکل ۵ پراکندگی میانگین دمای سالانه استان خوزستان در طی دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱ (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

افزایش و در ایستگاه های جنوب استان بندرماهشهر و امیدیه آغاچاری با سناریو بدبینانه به ترتیب ۰.۴ و ۰.۵ درجه سانتیگراد و در ایستگاه های جنوب استان بندرماهشهر و امیدیه آغاچاری با افزایش ۰.۲ درجه سانتیگراد و در شمال استان دزفول و شوشتر با افزایش ۰.۳ درجه سانتیگراد با سناریو خوشبینانه کمترین افزایش را داشته اند که در شکل های (۷) نشان داده شده است.

پیش نگری بدبینانه و خوش بینانه را به ترتیب با سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در دوره ۲۰۰۶-۲۱۰۰ انجام شده است که در شکل های (۶) مشاهده می کنید، بیشترین دما در ایستگاه شوشتر و کمترین دما در ایستگاه باغ ملک رخ می دهد و بیشترین تغییرات و افزایش دما در ایستگاه های اهواز و باغ ملک به ترتیب با سناریو خوشبینانه ۱.۵ و ۱.۶ درجه سانتیگراد و با سناریوی بدبینانه ۱.۹ و ۱.۷ درجه سانتیگراد



شکل ۶ پیش نگری RCP8.5 (سمت راست) و پیش نگری RCP2.6 (سمت چپ) متوسط دمای سالانه استان خوزستان در طی دوره (۲۰۰۶-۲۱۰۰) (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)



شکل ۷ تغییرات میانگین دمای سالانه استان خوزستان با پیش نگری های RCP8.5 (سمت راست) RCP2.6 (سمت چپ) در طی دوره (۲۰۰۶-۲۱۰۰) (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۲)

مطمناً در پیش بینی یا تهیه تصویر اقلیمی آینده با استفاده از مدل های گردش عمومی جو عدم قطعیت زیادی وجود داشته و به طور قطعی چیزی را نمی توان پیش بینی نمود. طی دهه های اخیر، افزایش گازهای گلخانه ای و به ویژه

### نتیجه گیری

امروزه موضوع تغییر اقلیم بسیار مورد توجه دانشمندان و سیاست گذاران عرصه های بین المللی قرار گرفته است؛ زیرا هر تغییر در آب و هوا، خسارت ها را افزایش خواهد داد.

دی‌اکسیدکربن، به عنوان پدیده‌ای نامطلوب مطرح بوده و پیامدهای آن منجر به گرم شدن کره زمین شده است. افزایش دما موجب کاهش بارندگی و تغییر عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. تأثیرات تغییر اقلیم بسیار به شرایط جغرافیایی محلی و تغییرپذیری اقلیمی محل دارد. بنابراین مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم بایستی در مقیاس محلی صورت پذیرد تا امکان ارزیابی نتایج احتمالی آن فراهم گردد. سناریوهای اقلیمی که توسط مدل‌های گردش عمومی کلی تولید می‌شوند، مربوط به کل کره زمین است که دقت مکانی آن‌ها صدها کیلومتر است. به همین دلیل روش‌های ریزمقیاس‌گردانی مورد نیاز است تا به وسیله آن‌ها بتوان پلی بر روی این فاصله بزرگ مقیاس سناریوهای اقلیمی و کوچک مقیاس تأثیرات محلی زده شود. یکی از روش‌های مرسوم استفاده از مدل‌های مولد آب‌وهوایی است. یک مولد آب‌وهوایی به عنوان ابزاری نسبتاً دقیق و ارزان برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم چند ساله در مقیاس روزانه به کار برده می‌شود و تغییرات در متغیرهای اقلیمی و میانگین‌های اقلیمی را ترکیب می‌کند. مهم‌ترین نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل SDSM با استفاده از آزمون‌های آماری و شاخص‌های خطاسنجی مختلف نشان داد این مدل در استان خوزستان مورد بررسی و از دقت مناسبی جهت شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار است. ارزیابی اثرات پدیده گرمایش جهانی بر رخداد حدی‌های اقلیمی امری کاملاً بایسته است. افزایش دما در کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آبی رخ داده است. در دو سناریو RCP2.6 (تعهد کشورها به کاهش گازهای گلخانه‌ای) و RCP8.5 (در صورت عدم پایبندی به کاهش گازهای گلخانه‌ای) در دوره‌های مورد مطالعه ریزمقیاس گردید. این در حالی است در دوره مطالعاتی سالانه، نواحی هم‌جوار با سواحل جنوبی ایران، کم‌ترین افزایش دما را خواهند داشت، به طوری که میزان این افزایش دما در ایستگاه‌های واقع در خشکی از ایستگاه‌های مناطق ساحلی بیشتر است. مطالعات افزایش دما در استان خوزستان با مطالعات و تحقیقات پژوهش‌گرانی چون حاجیوند پایداری و همکاران (۱۴۰۱) و قاسمی و همکاران (۱۳۹۸) همسویی و مطابقت دارد، زیرا بررسی روند تغییرات دمای هوا، می‌توان ردپای تغییرات اقلیمی را در پهنه

ایران (حمیدیان پور و همکاران، ۱۴۰۲) جستجو کرد. بیشترین افزایش متوسط دما در سناریو RCP8.5 در اهواز به مقدار ۱.۹ درجه پیش‌نگری شده است و کمترین افزایش در سناریو RCP2.6 در ایستگاه‌های دزفول و شوشتر به مقدار ۰.۲ می‌باشد. در این تحقیق نوع تغییرات فصلی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد در کلیه ایستگاه‌ها، به طور کلی استان خوزستان روند افزایشی پارامتر میانگین دما را نشان می‌دهند. تحقیقات نشان داده است روند دما حداکثر در دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۶۱ روند افزایشی می‌باشد و در دوره‌های آبی این روند همچنان ادامه پیدا می‌کند. مطالعات افزایش دما در استان خوزستان با مطالعات و تحقیقات پژوهش‌گرانی چون حاجیوند پایداری و همکاران (۱۴۰۱) و قاسمی و همکاران (۱۳۹۸) همسویی و مطابقت دارد. حاجیوند پایداری و همکاران (۱۴۰۱)، اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی روزانه بارش، حداقل، و حداکثر دما در ایستگاه‌های سینوپتیک شمال خوزستان در دوره‌ی آماری (۲۰۱۴-۱۹۸۵) مورد بررسی قرار دادند. پیش‌بینی‌ها را با استفاده از سناریوی A2 و B1 و مدل HadCM3 برای دوره زمانی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و (۲۰۵۰-۲۰۳۰) انجام دادند. نتایج نشان می‌دهد بیشترین افزایش دما در فصل زمستان مشهودتر است. و بیشترین افزایش دما را در سناریو A2 برای افق ۲۰۵۰ مشاهده کردند. قاسمی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیق خود به این نتایج رسیدند که روند تغییرات دما، در الگوی اقلیمی RCP8.5 برای فصل بهار در سطح ۹۵ درصد و تابستان در سطح ۹۹ درصد افزایشی می‌باشد و در الگوی اقلیمی RCP2.6 در فصل تابستان روند افزایشی در سطح ۹۵ درصد را نشان می‌دهد. در الگوی اقلیمی RCP8.5، روند دما در فصول پاییز و زمستان در سطح ۹۵ درصد دارای روندی معنی‌دار افزایشی می‌باشد.

دما یکی از اصلی‌ترین متغیرهای اقلیمی است که بطور مستقیم و غیر مستقیم بر تمامی جنبه‌های زندگی و آسایش انسان و فعالیت‌های اقتصادی از جمله کشاورزی، صنعتی، تجاری (مصرف انرژی) موثر است و تغییرات آن باعث یک سلسله واکنش‌های زنجیره‌ای زیست محیطی دامنه‌دار می‌گردد (محمدی و برنا، ۱۳۹۴) که ممکن است ادامه‌ی روند

- models. Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran, 7(1), 142-151.
10. Mir Tahari, Fereshte Al-Sadat and Samai, Zahra and Kasmai, Zahra and Malek Siah Chesh, Zahra, 2014, Effects of temperature increase on the planet, 7th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran.
  11. Ataiee, Hooshmand and Koochi, Mansooreh, 2022, Predicted changes in temperature and precipitation of Kashf Rood Basin based on dynamic and statistical straw-scale methods, Journal of Natural Environmental Hazards, Vol.10, Issue 30, Winter 2022.
  12. Wilby, R.L., and Dawson, C.W., Using SDSM Version 4.1 SDSM 4.2. 2—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual, Leicestershire, UK. (2007).
  13. Khan, M. S., Coulibaly, P., Dibike, Y. (2006). Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. Journal of Hydrology, 319, pp 357-382.
  14. Barzegari, Fatima. Maliknejad, Hossein. (2018). Investigating the effects of climate change on water demand and sustainability of water consumption in the agricultural sector of the Yazd-Ardakan Plain. Journal of Agricultural Ecology, Volume 10, Number 4: 1161-1176.
  15. Alizadefard, Elham, Mirmusavi, Seyed Hossein, Yarahamdi, Jamshid, Faraji, Abdullah 2020. Evaluation of the effect of climate change on precipitation in areas without observational statistics using CCT software package, case study: Daryan Basin. Journal of Geography and Planning, No. 73:305-323.
  16. Chobeh, Sepideh and Kake Memi, Azad, 2015, investigation of the effectiveness of statistical exponential microscale model (SDSM) in predicting temperature and precipitation parameters (case study: Ardabil Baliqlochai watershed), the second national conference on protection of natural resources and environment, Ardabil.
  17. Hajari, Zainab and Zand, Mehran and Karampour, Mostafa and Tagvi Guderzi, Saeed and Fakhrabadi, Amir, 2019, Prediction of monthly and seasonal temperature and precipitation parameters using the SDSM model (case study: Khorramabad), 2nd international conference new horizons in basic and technical sciences and engineering, Tehran.
  18. Destranj, Ali and Rostami, Mohammad, 2020, evaluation and prediction of climate changes in the coming decades using micro-scale models. Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran, 7(1), 142-151.
- افزایش آن، زندگی را تا چند دهه آینده برای این استان غیر ممکن خواهد کرد.
- ### منابع
1. Sabzegbaei, Gholamreza, Eslami, Masoud, Makroni, Sarwar. Consequences of climate change and its impact on people's livelihood. The third national conference on environment, energy and biodefense, Tehran. 2015.
  2. Amin, Maryam, Simulating the effect of climate change on the growth and yield of wheat and barley in Tehran province and providing crop adaptation solutions, Master's thesis, Shahid Beheshti University, Environmental Sciences Research Institute, 2019.
  3. Tavakoli, Mohsen, Mohammadi, Samira, Zarafshani, Kiyomarth, Mehdizadeh, Hossein, Amiri, Farzad. (2022). Forecasting the effects of climate change on temperature and precipitation using atmospheric general circulation models, a solution for sustainable agriculture (case study: Kermanshah city). Environmental Science and Technology Quarterly, 23(6), 15-31.
  4. Tabari, Hossein and Ayini, Ali and Aghajanlou, Mohammad Baqer, 2007, a review on the effects of climate change on the water resources of the planet, technical workshop on the effects of climate change in water resources management, Tehran.
  5. Kabaat. p 'coping with impacts of climate variability and climate change in water management 'A Scoping paper Wageningen p3,2000.
  6. Rasool Pournalkiashri, Samia, 2017, climate changes and its impact on water resources in the Middle East, the 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran.
  7. Hamidianpour, Mohsen and Nazaripour, Hamid and Khazai Faizabad, Elnaz and Farzaneh, Mahsa and Firuzeh, Siddiq, 2023, Determination of the change point of temperature thresholds of heat and cold waves in Iran during the statistical period of 1966-2018, Quarterly Journal of Natural Environment Hazards, period: 12, number 37.
  8. Jamali, Farimah Sadat and Khalidi, Shahriar, 2021, The role of temperature changes in the environmental sustainability of Tehran. Earth Science Research Quarterly, Volume: 12, Number: 1.
  9. Zarei, Abdol Rasul, Moghimi, Mohammad Mahdi. 2016. Forecasting and checking the average monthly temperature using time series

29. Yousefi, Abdul Hossein, 2019, Investigating the impact of climate change on the desertification risk potential of land based on climate and groundwater criteria (case study: Bagh Fars Desert), PhD Thesis, Lorestan University, Faculty of Literature and Human Sciences.
30. Hajivandpaydari, Samia, Yazdan Panah, Hojat Elah, Andarzian, Seyyed Bahram. 2022. Investigating the regional effects of the climate change phenomenon in the north of Khuzestan province using the HadCM3 model under the LARS-WG micro-exponential comparison in the statistical period of 2010-2030 and 2030-2050. *Geography and Human Relations* 299-31
31. Ghasemi, Mahbobeh, Soltani, Amir, Naseri, Abdul Ali, Moazed, Hadi. 2018. Investigating future climate change trends under radiative forcing scenarios using non-parametric Mann-Kendall test (case study: south of Ahvaz). *Newar* 43(106-107), 79-88.
32. Intergovernmental Panel on Climate Change. 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.* Cambridge Univ. Press, Cambridge.
33. 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: 485-498.
34. Mohammadi, Mohammad Reza and Borna, Reza, 2015, the increase in temperature in Khuzestan province during the last two decades and the investigation of its factors, environmental consequences and the mutual effect that this increase in temperature has on energy consumption and also energy consumption on temperature increase, the third national environmental conference, energy and biological defense, Tehran, <https://civilica.com/doc/402151>.
19. Khan, M.S., Coulibaly, P. and Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *J. Hydrol*, 1-4: 357-382.
20. Dibike, Y.B. and Coulibaly, P. 2018. Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes. *Neural Networks*, 2: 135-144.
21. Rahimi Moghadam, Sajjad, Kambozia, Jafar, Dihim Fard, Reza. 2017, Risk assessment due to heat stress in grain corn of Khuzestan province under climate change conditions., *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, Volume 11, Number 3, pp 749-764.
22. Hamidianpour, Mohsen, Fallah Qalhari, Gholam Abbas, Alimoradi, Mohammadreza. 2021. Evaluating the effectiveness of the SDSM model in investigating the consequences of climate change for different climatic zones of Iran. *Climate change researches* 2(5), 1-14.
23. Asakareh, Hossein and Shadman, Hassan, 2017, evaluation of the power of SDSM model in simulating the average temperature of Urmia city, *Journal of Geography and Environmental Planning*, Volume: 29, Number: 4.
24. Arab Salghar, Ali Akbar, Parhamt, Jahangir, Godarzi, Massoud. 2022. Forecasting climate changes using atmospheric general circulation models and straw-scale SDSM and LARS-WG models under radiative forcing scenarios in the Dez catchment. *Natural Geography* 15(55), 129-149.
25. Shamsipour, Ali Akbar. 2012. *Climate modeling, theory and method.* Tehran: University of Tehran.
26. McGuffey, KA and Henderson, Sellers. 2001. *The first step in climate modeling.* Translated by Seyedaboulfazl Masoudian and Hasan Ali Ghayor 2000. Isfahan University Publications.
27. Semenov, M.A, Stratonovitch, P, 2010, Use of Multi-Model Ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts, *Climate Research*, No. 4, PP. 1-14 .
28. Xu, C.H, Xu, Y, 2012, The projection of temperature and precipitation over china under RCP scenarios using a CMIP5 multi-model ensemble, *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, Vol. 5, No. 6, PP. 527-533.