

ارزیابی جامع تغییرات فصلی آینده دمای حداکثر ایران طی دوره گرم بر اساس مدل‌های گردش عمومی جو

محسن عباس نیا^{۱*}، تقی طاوسی^۲، محمود خسروی^۳

^۱دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۲استاد اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۳دانشیار اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۲۹

چکیده

ارزیابی اثرات پدیده گرمایش جهانی بر رخداد حدی‌های اقلیمی امری کاملاً بایسته است؛ لذا در این پژوهش، تغییرات در دمای حداکثر روزانه ۴۴ ایستگاه سینوپتیک در ایران برای دو دوره زمانی آینده نزدیک (۷۰-۲۰۴۱) و آینده دور (۹۹-۲۰۷۱)، تحت دو سناریوی (A2 و B2) از مدل گردش عمومی جو Hadcm3 نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۸۱-۲۰۱۰) بررسی گردید؛ همچنین، در زمینه تحلیل میزان عدم قطعیت در پیش‌بینی رخداد‌های دمای حداکثری آینده، از خروجی دو مدل گردش عمومی جو Hadcm3 و CGCM3 تحت تمام سناریوهای انتشار موجود (A2، A1B، B1 و B2) برای بررسی مقایسه‌ای نتایج بر روی ۷ ایستگاه نماینده اقلیمی در گستره ایران، استفاده شد. بدین‌منظور، پس از بررسی توانمندی مدل آماری SDSM در شبیه‌سازی اقلیم دوره پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۰)، مقادیر آینده دمای حداکثر روزانه در مقیاس ایستگاه‌های مطالعاتی ریز مقیاس گردانی گردید. نتایج حاصل از توزیع فضایی تغییرات دمای حداکثر بر اساس خروجی مدل Hadcm3 نشان داد که در دهه‌های آینده، نواحی کوهستانی و مرتفع عرض‌های شمالی ایران در فصل بهار و همچنین پهنه مرکزی ایران در فصل تابستان با بیشترین افزایش دما مواجه خواهند بود. این در حالی است که در هر دو فصل طی دوره گرم سال، نواحی همجوار با سواحل جنوبی ایران، کمترین افزایش دما را خواهند داشت. در این میان بیشترین افزایش در دمای حداکثر آینده نسبت به دوره پایه، به ترتیب برای فصل بهار و تابستان براساس سناریوی A2 حدود (۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد) و بر اساس سناریوی B2 حدود (۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد) برآورد شده است؛ همچنین در تحلیل عدم قطعیت مربوط به مدل-سناریوها، مشخص شد که مدل CGCM3 تحت سناریوی B1 در بین مدل-سناریوهای مختلف، بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی دمای آینده دارد و تغییرات دمایی آینده، بر اساس سناریوهای مختلف از مدل Hadcm3 نسبت به مدل CGCM3 شدیدتر است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات دمای حداکثر، ریز مقیاس گردانی آماری، مدل SDSM، عدم قطعیت‌ها، ایران.

مقدمه

مورد استناد قرار می‌دهند. گزارش‌های ارزیابی چهارم هیات بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ (IPCC, 2007) حاکی از آن است که به دلیل افزایش در انتشار گازهای گلخانه‌ای طی قرن گذشته، حدود ۴/۰ تا ۸/۰ درجه سانتی‌گراد بر میانگین دمای هوای جهانی افزوده شده، که حتی بر اساس گزارش ارزیابی پنجم (IPCC,

امروزه افزایش میانگین دمای کره زمین و تغییرات آن، نمایه‌ای از تغییرات اقلیمی است که در تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم به آن توجه شده است. در حال حاضر مباحث زیادی درباره تغییرات اقلیمی در سراسر کره زمین بین متخصصان مطرح است که اغلب آنها دمای هوا را به عنوان شاهدهی جهت اثبات فرضیه خود

2- The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

*نویسنده مسئول: Am_abbasnia@pgs.usb.ac.ir

2013) این روند در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری داشته است. بدین ترتیب دماهای حدی نیز به دلیل ارتباط مستقیم با تغییر اقلیم مورد توجه خاص قرار گرفته است. دانش بشر در حدی نیست که بتواند از وقوع پدیده‌های حدی جلوگیری نماید؛ اما با مطالعه و شناخت ویژگی‌های آن‌ها می‌توان از پیامدهای وقوع آن در مکان‌های گوناگون جلوگیری کرد. تاکنون در حوزه تغییر اقلیم مطالعات جهانی گسترده‌ای بر روی تحلیل وضع موجود افزایش دما در کشورهای مختلف صورت گرفته است. به طوری که از دیدگاه مقیاس مکانی می‌توان آنها را در سه دسته مطالعات منطقه ای (Yue & Hashino, 2003: 15; Toros, 2012: 2585; Whan et al., 2014: 1047)، نیمکره‌ای (Jones, 1994: 1794; Jones & Moberg, 2003: 206) و سیاره‌ای (Horton, 1995: 101) و همچنین از دیدگاه مقیاس زمانی در سه دسته ماهانه (Zhang et al., 2009: 89)، فصلی (Tonkaz et al., 2007: 195) و سالانه (Nasri & Modarres, 2009: 1430) تقسیم‌بندی نمود. در مطالعات صورت گرفته بر روی کشور ایران نیز اکثر محققان بر افزایش عمومی پارامترهای دمایی در اکثر مناطق طی دهه‌های اخیر تاکید داشته‌اند، چنان‌که در پژوهشی مسعودیان (۱۳۸۴: ۸۹) به افزایش نیم درجه‌ای دمای حداکثر ایران طی یک بازه ۵۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۵۱م) و در پژوهشی مشابه مجرد و بساطی (۱۳۹۳: ۱۲۹) به افزایش حدود ۰/۶۲ درجه‌ای دمای حداکثر طی یک بازه ۴۵ ساله (۲۰۰۸-۱۹۶۴م) اعتقاد دارند. ولی بطور کلی در تمامی این پژوهش‌ها وضع موجود پارامترهای دمایی مشخص شده است، در حالی که بررسی اثرات تغییر اقلیم بر چگونگی رخدادهای دمایی در دهه‌های آینده، با توجه به اهمیت مخاطرات دمایی در برنامه‌ریزی‌های ملی و منطقه‌ای مرتبط با پیشگیری و سازگاری در برابر آنها، نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

در این رابطه، برای شناخت جامع اثرات گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی آینده، می‌توان

از خروجی مدل‌های گردش عمومی^۱ استفاده کرد که بهترین اطلاعات را درباره تغییرات اقلیم در دوره‌های زمانی آینده با توجه به افزایش گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌کنند. تمامی این مدل‌ها وابسته به زمان و دارای شبیه‌سازی‌های عددی سه بُعدی شامل حرکات جوی، تبادلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی هستند (Dracup & Vicuna, 2005: 16). در مقیاس جهانی بر حسب مدل‌ها و سناریوهای مختلف، افزایش دمای ناشی از تغییرات اقلیمی در اغلب نقاط جهان پیش بینی و نتایج مختلفی ارائه گردیده است. به عبارتی بر طبق مدل‌های مختلف گردش عمومی جو، درجه حرارت زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی در دامنه‌ای بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت (IPCC, 2001). از آنجا که قدرت تفکیک زمانی و مکانی مدل‌های گردش عمومی جو پایین بوده؛ بنابراین برای تبدیل برون‌داد مدل‌های گردش عمومی به متغیرهای محلی در مقیاس ایستگاه‌های مشاهداتی، وجود ابزار و مدلی برای ریزمقیاس‌نمایی ضرورت دارد (Salon et al., 2008: 34). بدین‌منظور از دو روش دینامیکی و آماری می‌توان استفاده کرد؛ هر چند که مدل‌های دینامیکی منطقه‌ای دقت فضایی مناسب برای ارزیابی اقلیمی دارند، ولی جزء روش‌های پرهزینه و وقت‌گیر بوده و نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی فوق‌سریع دارند که اغلب کشورها فاقد آن هستند، لذا توجه عمومی به روش ریزمقیاس‌نمایی آماری معطوف شده است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۵: ۵۳). در این رابطه ویل بای و همکاران به‌عنوان سازندگان مدل (SDSM^۲)، این مدل را ابزاری مناسب برای ریزمقیاس‌نمایی آماری دانسته و طی پژوهشی قابلیت‌های کاربردی آن را در پیش‌بینی و تولید داده‌های اقلیمی زمان حال و آینده تشریح می‌نمایند (Wilby et al., 2002: 145). تاکنون در مقیاس جهانی پژوهش‌های گسترده‌ای برای بررسی و ارزیابی مقایسه‌ای اثرات تغییر اقلیم در زمان حال و آینده از مدل (SDSM) برای فرایند ریزمقیاس

1- General Circulation Model

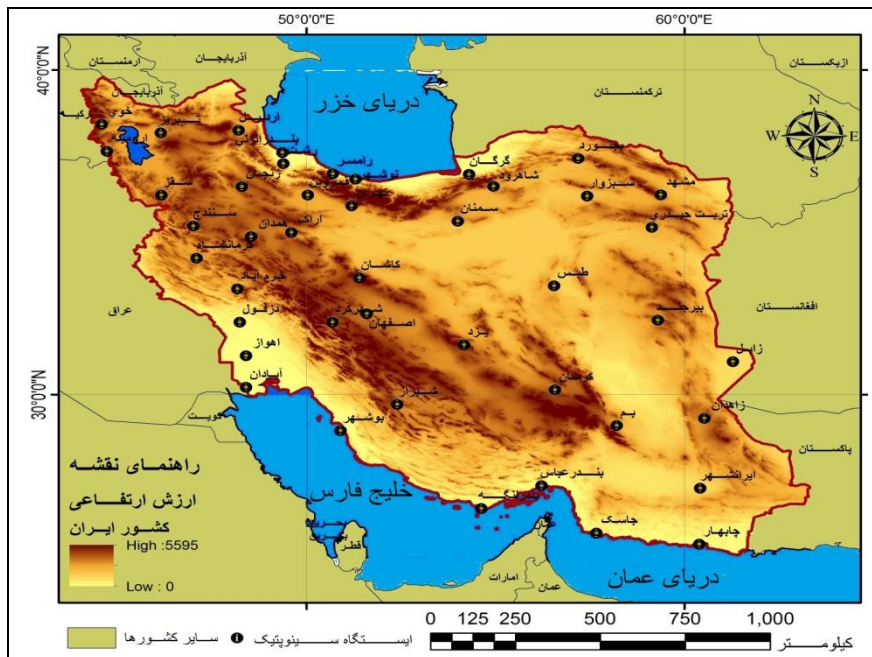
2- Statistical DownScaling Model

دماهای حداکثری در ایران، با در نظر گرفتن میزان عدم قطعیت‌ها طی دهه‌های آینده و آنهم بر اساس تکنیک ریزمقیاس نمایی آماری در مقیاس ایستگاهی پرداخته شود، تا بتوان با داشتن پیش‌آگاهی در زمینه سازگاری، پیشگیری و یا آماده‌سازی در برابر اثرات این پدیده حدی اقلیمی در قلمروی ملی یا محلی برنامه‌ریزی نمود.

محدوده مورد مطالعه

وجود کوه‌های بلند و تنوع توپوگرافی سبب شده که توزیع مکانی درجه حرارت در ایران از الگوی منظمی تبعیت نکند. ولی به‌طور کلی درجه حرارت ایران از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش می‌یابد و علت این ویژگی وجود ارتفاعات در شمال و غرب کشور و همچنین کاهش تدریجی زاویه تابش به طرف عرض‌های شمالی‌تر است. در این پژوهش نیز برای دستیابی به دورنمایی جامع از تغییرات دمایی ایران، تعداد ۴۴ ایستگاه سینوپتیک با کامل‌ترین طول دوره آماری مشترک در سراسر پهنه گسترده ایران بررسی گردید (شکل ۱).

نمایی استفاده نموده‌اند (Mahmood & Babel, 2013: 27). در مقیاس منطقه‌ای نیز اغلب، پژوهش‌هایی که دنبال آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی و حدی‌های دمایی بوده‌اند، در شرق و جنوب شرق آسیا بر روی کشورهایی همچون چین، هند و پاکستان انجام شده است (Islam et al., 2009: 35; Revadekar et al., 2012: 1133; Wang et al., 2012: 405; Mahmood & Babel, 2014: 56). صورتی که لزوم آشکارسازی و یا ارزیابی مقایسه‌ای اثرات گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بر پارامتر دما و رخداد پدیده‌های حدی اقلیمی، بخاطر تنوع اقلیمی در هر منطقه‌ای و از جمله کشور ایران ضروری است؛ چنان که در گزارش خلاصه رخدادهای حدی اقلیمی ایران (۲۰۱۲)، افزایش رخدادهای حدی اقلیمی و لزوم آگاهی‌سازی این‌گونه پدیده‌ها در عرصه ملی، برای کاهش پیامدها و سازگاری با پدیده‌های حدی اقلیم مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع گرمایش جهانی و فقدان مطالعات جامع در زمینه مدل‌سازی و آینده‌نگری اثرات آن بر رخداد حدی‌های دمایی در محدوده کشور ایران، در این پژوهش سعی شده است که به ارزیابی تغییرات



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی و نسبی پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک مطالعاتی در ایران

داده‌ها و روش‌شناسی

در این پژوهش برای شناخت و ارزیابی تغییرات دمای حداکثر ایران طی دهه‌های آینده از مدل SDSM به‌عنوان ابزاری برای ریزمقیاس گردانی آماری بر روی خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس جوی، استفاده شده است. فرایند ریزمقیاس گردانی عامل ایجادکننده ارتباط میان متغیرهای اقلیمی در مقیاس ایستگاه مشاهداتی (پیش‌بینی شونده‌ها) و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی (پیش‌بینی کننده‌ها) است (Wilby & Dawson, 2013: 1709)؛ بنابراین برای انجام این پژوهش و دستیابی به دورنمایی از تغییرات دمای حداکثر روزانه در مقیاس ایستگاهی دو گروه داده مورد نیاز است: ۱- داده‌های دیده‌بانی مربوط به دمای حداکثر روزانه که از سازمان هواشناسی کشور ایران بر روی ۴۴ ایستگاه سینوپتیک دارای کامل‌ترین سری زمانی ثبت داده‌ها و با پراکنش جغرافیایی مناسب در گستره کشور ایران برای دوره مشاهداتی (۱۹۸۱ تا

۲۰۱۰) تهیه گردید. سپس صحت داده‌های مشاهداتی هر ایستگاه، در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، بر اساس آزمون‌های کفایت داده‌ها، همگنی ران تست و نرمالیتی کلمو اسمیرنوف، مورد تایید قرار داده شد. ۲- داده‌های روزانه بزرگ مقیاس جوی شامل پیش‌بینی کننده‌های مرکز NCEP در دوره مشابه دیده‌بانی و برون‌داد دو مدل بزرگ مقیاس Hadcm3 و CGCM3-T63 تحت سناریوهای موجود در دوره مشابه دیده‌بانی و در دوره‌های آینده (۷۰-۲۰۴۱ و ۹۹-۲۰۷۱) که از تارنمای مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا استخراج گردید. لازم به توضیح است که ابتدا پیش‌بینی کننده‌های این مدل‌های بزرگ مقیاس، بایستی نسبت میانگین و انحراف معیار داده‌ها در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) نرمالیزه گردند. در جدول (۱) بعنوان نمونه مشخصات شماره ردیف‌های جغرافیایی در استخراج داده‌های دو مدل بزرگ مقیاس بر روی ۷ ایستگاه نماینده اقلیمی ایران آورده شده است.

جدول ۱: شماره ردیف‌های شبکه طولی و عرضی استخراج داده مدل‌های بزرگ مقیاس بر روی ۷ ایستگاه نماینده

مدل GCM	ایستگاه	مشهد	زاهدان	تهران	اصفهان	بندرعباس	اهواز	تبریز
Hadcm3	طول	۱۷	۱۷	۱۵	۱۵	۱۶	۱۴	۱۳
	عرض	۲۱	۲۳	۲۱	۲۲	۲۴	۲۳	۲۰
CGCM3	طول	۲۱	۲۲	۱۸	۱۸	۲۰	۱۷	۱۶
	عرض	۴۵	۴۳	۴۵	۴۴	۴۲	۴۴	۴۶

همچنین جدول (۲)، به‌طور خلاصه به مهم‌ترین ویژگی‌های مدل‌های بزرگ مقیاس جوی در دسترس،

به‌عنوان ورودی مدل SDSM اشاره دارد (IPCC, 2007).

جدول ۲: مشخصات مدل‌های گردش عمومی در دسترس بعنوان ورودی نرم افزار SDSM

مدل جهانی	قدرت تفکیک مکانی	سناریوها	IPCC	مرجع
Hadcm3 (Ha)	$2/5^{\circ} \times 3/75^{\circ}$	A2, B2	IPCC 4	AR4, Met Office, Hadley Centre for Climate Prediction & Research (HCCPR), United Kingdom
CGCM3-T63 (CG)	$2/81^{\circ} \times 2/81^{\circ}$	A2, B1, A1B	IPCC 4	AR4, Canadian Centre for Climate Modeling and Analysis (CCCma), Canada

ریز مقیاس گردانی آماری SDSM: مدل آماری (SDSM) توسط ویلبی و همکاران، به‌عنوان ابزاری مناسب برای ریزمقیاس گردانی آماری و ساخت

داده‌های هواشناسی با استفاده از ترکیب روش‌های احتمالاتی (SWG^۱) و رگرسیون (MLR^۲) توسعه

- 1- Stochastic Weather Generator
- 2- Multiple Linear Regression

یافته و در طبقه‌بندی روش‌های مختلف ریزمقیاس گردانی، جزء بهترین مدل‌ها می‌باشد (Wilby et al., 2002: 149). مبنای این مدل رگرسیون چند متغیره است و برای شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در درازمدت از پیش‌بینی‌کننده‌ها یا متغیرهای بزرگ مقیاس جوی استفاده می‌کند. به عبارتی در این مدل برای هر دوره زمانی (ماهانه، فصلی یا سالانه) یک مدل رگرسیون خطی چند متغیره بین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده بزرگ مقیاس (متغیرهای مستقل) و متغیر پیش‌بینی شونده (متغیر مشاهده‌ای) به‌عنوان متغیر وابسته تدوین می‌گردد. از آنجایی که سری زمانی دمای حداکثر مشاهده‌ای دارای توزیع نرمال بوده و متغیری غیرشرطی^۱ محسوب می‌شود؛ بنابراین برای چیدمان مدل رگرسیون چند متغیره در نرم‌افزار (SDSM)، ارتباط بین دمای حداکثر مشاهده‌ای بعنوان متغیر پیش‌بینی شونده با پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس جوی به‌عنوان متغیرهای مستقل، مستقیم در نظر گرفته شد که آنهم دارای شدت و ضعف گوناگون است. از این جهت برای شناسایی و انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب و دارای قوی‌ترین ارتباط معنی‌دار با دمای مشاهده‌ای هر ایستگاه از تحلیل‌های همبستگی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها با هم و با پیش‌بینی شونده، شامل: تحلیل ماتریس همبستگی، همبستگی جزئی، نمودار پراکنش و نحوه ارتباط همبستگی و همچنین درصد واریانس تبیین شده بین متغیرها استفاده می‌شود (فلاح قاله‌ری، ۱۳۹۳: ۴۲). بدین ترتیب در این پژوهش براساس نتایج حاصل از تحلیل‌های همبستگی، بهترین پیش‌بینی‌کننده‌ها برای طراحی و چیدمان مدل رگرسیون چند متغیره در هر ماه از سال و برای هر ایستگاه مشاهده‌ای انتخاب گردید.

در مرحله بعد برای ارزیابی عملکرد مدل‌های رگرسیونی تخمین و پیش‌بینی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد، علاوه بر بررسی آزمون آماری T-Test و خطای استاندارد (SE^2) مکانی و زمانی پیش‌بینی‌ها، از

شاخص‌های ضریب تعیین (R^2)^۳، مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE^4$)، میانگین انحراف خطا (MBE^5) برای ارزیابی دقت و مقایسه نسبی نتایج مدل‌های تخمینی رگرسیون چند متغیره با مقادیر دمای حداکثر روزانه ایستگاه‌ها طی دوره مشاهده‌ای (۲۰۱۰-۱۹۸۱) استفاده شده است. در این زمینه، ضریب تعیین، معیاری بدون بُعد بوده که بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. این معیار درصد واریانس تبیین شده از کل واریانس توجیهی توسط عامل‌های مستقل مدل رگرسیون چند متغیره برای هر دوره زمانی را نشان می‌دهد؛ همچنین در دو شاخص خطاستنچی مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا، هرچه پیش‌بینی مدل بیشتر بر داده‌های مشاهده‌ای منطبق باشد، با توجه به واحد اندازه‌گیری داده‌ها مقدار خطا کمتر و به صفر نزدیکتر می‌شود (صداقت‌کردار و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۷). در مرحله نهایی، برای شبیه‌سازی تغییرات آینده دمای حداکثر در نرم‌افزار (SDSM)، از آنجایی که تولید سناریوهای اقلیمی آینده در مورد تغییرات پارامترهای محلی بر اساس داده‌های در دسترس از مدل - سناریوهای مختلف انتشار در دهه‌های آینده است؛ لذا در این مرحله از پژوهش با توجه به معادلات آماری و رگرسیونی کالیبره شده بین پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس مرکز (NCEP^۶) با پارامتر دمای حداکثر مشاهده‌ای، فرایند ریزمقیاس‌نمایی بر روی داده‌های در دسترس آینده از دو مدل گردش عمومی جوی شامل خروجی مدل Hadcm3 (بر روی ۴۴ ایستگاه مطالعاتی) و خروجی مدل CGCM3 (بر روی ۷ ایستگاه نماینده در دسترس) تحت سناریوهای مختلف انتشار انجام شده و سرانجام بر این اساس، سری زمانی پارامتر دمای حداکثر روزانه در مقیاس ایستگاهی برای دهه‌های آینده شبیه‌سازی و تولید گردید.

3-R Square

4- Root Mean Square Error

5- Mean Bias Error

6-National Centers for Environmental Prediction (NCEP)

1- Unconditional

2- Standard Error

تحلیل عدم قطعیت‌ها

می‌باشد.

در مطالعات تغییر اقلیم بر حسب پیش بینی‌ها و نتایج مختلف مدل‌ها-سناریوها، منابع متعددی از عدم قطعیت‌ها وجود دارد (Covey et al., 2003: 105)، که لازم است عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی تغییر اقلیم در نظر گرفته شده تا نتایج قابل اطمینان‌تری حاصل شود. در این پژوهش جهت بررسی میزان عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های دمایی، با تهیه و آماده سازی داده‌های در دسترس از دو مدل بزرگ مقیاس جوی Hadcm3 و CGCM3 تحت سناریوهای انتشار موجود بر روی ۷ ایستگاه سینوپتیک به‌عنوان نماینده‌های آب و هوایی ایران (Abbasnia and Toros, 2016: 1)، روش وزن‌دهی میانگین مشاهداتی دما مورد استفاده قرار گرفت (حمیدیان پور و همکاران، ۱۳۹۵). بدین ترتیب با استفاده از رابطه (۱) وزن مربوط به توانایی عملکرد هر یک از مدل-سناریوهای مورد استفاده در شبیه‌سازی پارامتر دمای مشاهداتی محاسبه گردید (رابطه ۱).

$$W_{i,j} = \frac{1}{\Delta T_{i,j}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\sum_{j=1}^n (1/\Delta T_{i,j})$$

در این معادله، $W_{i,j}$: وزن داده شده به هر یک از مدل‌ها (j)، $\Delta T_{i,j}$: اختلاف میانگین دمای شبیه‌سازی شده دوره آینده از میانگین دمای مشاهداتی دوره پایه در هر روز (i) و n : تعداد مدل‌ها-سناریوها می‌باشد؛ همچنین در ادامه با توجه به دامنه عدم قطعیت مربوط به خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در مقیاس محلی و برای دریافت دیدی جامع نسبت به تغییرات دما در دهه‌های آینده، سناریوی ترکیبی (Assemble) با لحاظ نمودن وزن هر مدل-سناریو در پیش‌بینی‌ها ایجاد گردید (رابطه ۲).

$$SRE_{Assemble} = \sum_{j=1}^n (T_{i,j} \times W_{i,j}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه نیز تعریف واحد اجزاء مانند معادله ۱

یافته‌های پژوهش

در این پژوهش، پس از ارزیابی توان‌مندی مدل آماری SDSM، مقادیر آینده میانگین دمای حداکثر روزانه بر اساس خروجی‌های در دسترس از دو مدل بزرگ مقیاس Hadcm3 و CGCM3 بر روی کشور ایران و در مقیاس ایستگاهی ریزمقیاس گردانی شدند. در جدول (۳)، نتایج حاصل از پیش‌بینی کننده‌های منتخب از هر مدل بزرگ مقیاس برای انجام فرایند ریزمقیاس‌گردانی آماری و میزان همبستگی جزئی بین آنها با دمای حداکثر طی دوره مشاهداتی بر روی ایستگاه‌های نماینده آب و هوایی نشان داده شده است. در ادامه، نتایج همه پارامترهای آماری خطاسنجی ناشی از مرحله اعتبارسنجی برای مقیاس‌های زمانی مختلف و بر روی هر ایستگاه مورد بررسی نشان داد که معادلات رگرسیونی توسعه یافته نهایی، در پیش بینی پارامتر دمای حداکثر روزانه طی دهه‌های زمانی آینده، دقت قابل قبولی دارند که در جدول (۴) نتایج حاصل از مرحله اعتبارسنجی مدل، بعنوان نمونه بر روی ۷ ایستگاه نماینده آب و هوایی ایران آورده شده است.

همچنین تحلیل نتایج حاصل از آزمون آماری-T-Test برای دوره‌های زمانی مختلف (ماهانه، فصلی و سالانه) نشان داد که در سطح معنی داری ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدل‌سازی شده نهایی و مقادیر واقعی دمای حداکثر طی دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) و در مقیاس مکانی هر ایستگاه وجود ندارد. در شکل (۲) بطور نمونه، مقادیر شبیه‌سازی شده توسط پیش‌بینی کننده‌های منتخب حاصل از مدل Hadcm3 با مقادیر واقعی دمای حداکثر طی دوره زمانی پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) بر روی ایستگاه مشهد نشان داده شده است.

جدول ۳: میزان همبستگی جزئی بین پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب از دو مدل Hadcm (Ha) و CGCM3 (CG) با دمای حداکثر ایستگاه‌های انتخابی در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد

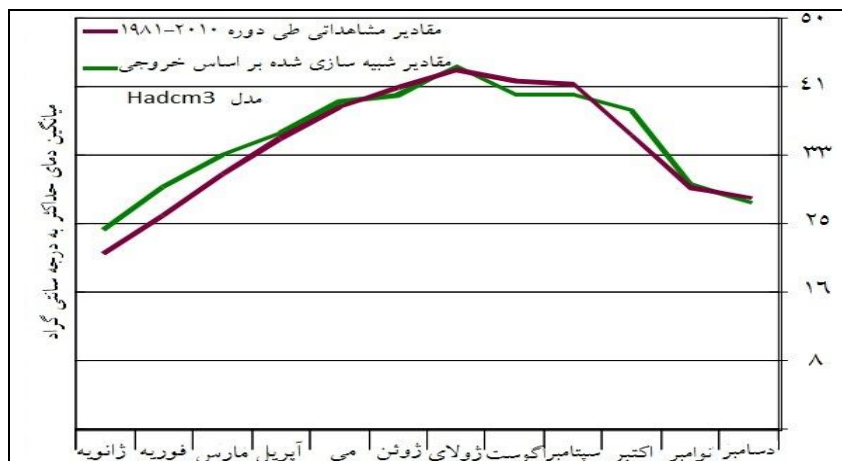
متغیر	توصیفات ایستگاه						بندرعباس
	تهران	تبریز	اصفهان	اهواز	زاهدان	مشهد	
Ha-mslp	-۰/۲۹	-۰/۳۱	۰/۰۷	-۰/۲۱	-۰/۳۴	-۰/۶۴	-۰/۷۶
CG-mslp	-۰/۲۸	-۰/۲۸	-۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۱۱	-۰/۲۳	—
Ha-p500	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۵۶	۰/۷۳	—
CG-p500	۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۱۴	۰/۵۵	۰/۴۱	۰/۲۸
Ha-p850	—	—	—	۰/۱۵	—	—	۰/۶۷
CG-p850	—	—	-۰/۱۰	—	-۰/۰۳	—	—
Ha-p8_u	-۰/۲۵	—	—	-۰/۳۲	—	۰/۱۲	۰/۶۷
CG-p8_u	-۰/۲۸	۰/۱۳	—	—	—	-۰/۰۷	—
Ha-r850	۰/۱۲	—	—	-۰/۱۱	-۰/۲۹	—	—
CG-r850	-۰/۰۷	-۰/۰۶	-۰/۳۶	-۰/۳۶	-۰/۲۹	-۰/۲۸	-۰/۱۴
Ha-shum	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۵	—	—	-۰/۱۳
CG-shum	—	۰/۰۹	—	—	—	—	—
Ha-temp	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۷۰	۰/۱۷	۰/۱۸	—	—
CG-temp	۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۶۲
Ha-p8_v	—	—	—	-۰/۲۶	—	—	-۰/۰۹
Ha-p5zh	—	—	—	۰/۰۷	—	—	—
Ha-p_z	—	—	—	-۰/۲۰	—	—	-۰/۲۱
Ha-r500	—	—	—	-۰/۱۷	—	—	—
Ha-rhum	-۰/۲۰	-۰/۰۶	-۰/۲۱	-۰/۲۰	—	—	—

ماخذ: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۵

جدول ۴: مقادیر حاصل از مرحله کالیبره و اعتبارسنجی مدل‌ها بر روی ۷ ایستگاه انتخابی طی دوره مشاهداتی پایه

ایستگاه	خطای مدل	SE	R ²	RMSE	MBE
تهران	Hadcm3	۲/۲۵	۰/۶۲	۲/۴۲	۰
	CGCM3	۲/۲۹	۰/۶۱	۳/۳۳	۰/۰۴
تبریز	Hadcm3	۲/۵۳	۰/۶۱	۲/۶۷	۰
	CGCM3	۲/۴۵	۰/۶۳	۶/۳۹	۲/۶۳
اصفهان	Hadcm3	۲/۲۰	۰/۵۷	۳/۱۸	۰/۰۰۳
	CGCM3	۲/۲۶	۰/۵۵	۱/۴۶	-۰/۰۲۷
اهواز	Hadcm3	۲/۰۱	۰/۵۹	۲/۹۳	۰/۰۲۱
	CGCM3	۲/۳۵	۰/۴۶	۲/۵۱	-۰/۰۰۲
زاهدان	Hadcm3	۲/۲۱	۰/۶۰	۲/۳۴	۰/۰۱
	CGCM3	۲/۲۰	۰/۶۱	۳/۱۴	-۰/۰۲۳
مشهد	Hadcm3	۳/۴۲	۰/۴۸	۳/۶۷	۰/۰۱
	CGCM3	۳/۴۶	۰/۴۵	۳/۶۹	-۰/۰۰۴
بندرعباس	Hadcm3	۱/۸۰	۰/۴۵	۲/۵۵	۰/۰۰۷
	CGCM3	۲/۰۶	۰/۲۸	۲/۱۷	۰/۰۱

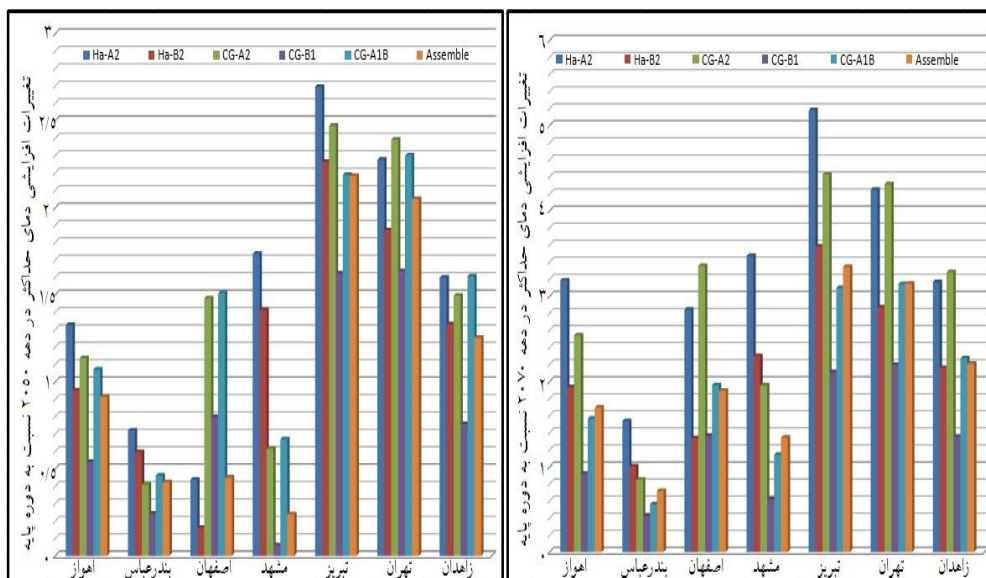
ماخذ: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۵



شکل ۲: نمودار مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی دمای حداکثر ایستگاه مشهد

احتمال رخداد نسبت به سایر مدل-سناریوها را به خود اختصاص داده است. همچنین با تحلیل عدم قطعیت مربوط خروجی مدل-سناریوها برای دوره‌های آینده (۹۹-۲۰۴۱)، مشخص گردید که کمترین افزایش دما با کمترین دامنه عدم قطعیت بر روی ایستگاه‌های بندرعباس و اهواز در نیمه جنوبی ایران و بالعکس بیشترین افزایش دما با بیشترین دامنه عدم قطعیت بر روی ایستگاه‌های مشهد و تبریز در نیمه شمالی ایران مشاهده می‌شود.

نتایج تحلیل عدم قطعیت مربوط به بکارگیری داده‌های دو مدل بزرگ مقیاس جوی Hadcm3 و CGCM3 تحت تمام سناریوهای انتشار موجود (A2، A1B، B1 و B2) در شبیه‌سازی پارامتر دمای مشاهداتی بر روی ۷ ایستگاه نماینده اقلیمی ایران، نشان داد که شبیه‌سازی دمای محلی بر اساس مدل CGCM3 و تحت سناریوی انتشار B1 در بین تمام ایستگاه‌های مطالعاتی به جز ایستگاه اصفهان، دارای عملکرد بهتری بوده است. به طوری که بیشترین درصد



شکل ۳: دامنه عدم قطعیت مدل-سناریوهای حاصل از شبیه‌سازی آینده میانگین دمای حداکثر بر روی ۷ ایستگاه انتخابی (به درجه سانتی‌گراد)

افزایش دما، ابتدا در مقیاس مکانی ایستگاه‌های واقع شده در پهنه کوهستانی شمالی و شمال غربی ایران و همچنین در باریکه ساحلی جنوب دریای خزر و سپس در گوشه جنوب شرقی ایران رخ خواهد داد، در حالی که ایستگاه‌های واقع شده در پهنه مرکزی و همچنین نیمه شمال شرقی ایران ممکن است بخاطر وجود ارتفاعات کمتر و قرارگیری در عرض جغرافیایی پایین‌تر، افزایش دمای کمتری را تجربه کنند. در این میان جالب توجه است که تغییرات افزایشی در دمای حداکثر آینده طی دوره گرم، بر روی اکثر ایستگاه‌های همجوار با سواحل جنوبی ایران که دارای اقلیمی گرم و شرجی هستند، نسبت به سایر مناطق ایران کمتر خواهد بود. که این مهم نیز می‌تواند تحت تاثیر اثرات تعدیلی رطوبت و گرمای هوا و همچنین ارتفاع کم این مناطق و قرارگیری در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر مورد توجه قرار گیرد؛ همچنین در توضیح تغییرات فصلی، آنچه که مهم به نظر می‌رسد این است که در فصل تابستان بخش‌های میانی ایران، افزایش دمای شدیدتری نسبت به فصل بهار خواهند داشت و این مهم نیز می‌تواند به استیلای قدرتمندتر سامانه پرفشار جنب حاره و در نتیجه خشکی بیشتر این مناطق در فصل تابستان طی دهه‌های آینده منجر شود. در مجموع، میزان تغییرات افزایشی در میانگین دمای حداکثر طی فصل تابستان نسبت به فصل بهار و همچنین بر اساس خروجی سناریوی A2 نسبت به سناریوی B2 شدیدتر خواهد بود (جدول ۵).

شایان ذکر است که نتایج برگرفته از مدل ترکیبی (Assemble) بر اساس وزن‌های بدست آمده و با لحاظ عدم قطعیت هر یک از مدل-سناریوها، مبین رفتار افزایشی دما بر روی ۷ ایستگاه نماینده در دوره‌های زمانی آینده می‌باشد که البته میزان این افزایش دما در هر ایستگاه و دوره زمانی متفاوت است (شکل ۳). چنان که بر اساس خروجی تمامی مدل-سناریوها دما بطور میانگین از حدود ۱/۰ تا ۳ درجه سانتی‌گراد در اواسط قرن حاضر (۲۰۴۱-۷۰) افزایش خواهد داشت؛ بنابراین در سراسر دهه ۲۰۵۰ بیشترین افزایش دما بر اساس مدل Hadcm3 تحت سناریوی A2 و بالعکس کمترین افزایش دما بر اساس مدل CGCM3 تحت سناریوی B1 مشاهده می‌شود. همچنین، در دهه ۲۰۸۰ بر این دامنه تغییرات افزایشی دما نسبت به دهه ۲۰۵۰ افزوده شده و شدت این افزایش دما تا حدود ۵ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. بطور کلی، بر اساس سناریوهای مختلف مدل CGCM3، دامنه تغییرات افزایش دما کمتر بوده است.

بررسی و تحلیل پراکنش تغییرات فصلی دمای حداکثر تحت دو سناریوی موجود (A2, B2) از مدل Hadcm3 بر روی ۴۴ ایستگاه مطالعاتی در ایران نشان داد که بر میزان شدت دمای حداکثر آینده (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و (۲۰۹۹-۲۰۷۱)، نسبت به دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱) افزوده خواهد شد. به طوری که دامنه تغییرات افزایش دمای آینده، در مقیاس مکانی ایستگاه‌ها متفاوت خواهد بود. بر این اساس، بیشترین

جدول ۵: میزان تغییرات فصلی میانگین دمای حداکثر آینده بر روی ۴۴ ایستگاه مطالعاتی ایران (به درجه سانتی‌گراد)

Hadcm3-B2				Hadcm3-A2				مشاهداتی		داده‌ها
۲۰۷۱-۲۰۹۹		۲۰۴۱-۲۰۷۰		۲۰۷۱-۲۰۹۹		۲۰۴۱-۲۰۷۰		۱۹۸۱-۲۰۱۰		دوره زمانی
تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	تابستان	بهار	فصول
-۱/۱	-۱/۹	-۲/۲	-۲/۹	۰/۳	۰	-۱/۸	-۲/۳	۴۵/۱	۳۹/۱	آبادان
۲/۲	۱/۲	۱/۲	-۰/۱	۳/۲	۲/۹	۱/۷	۰/۳	۴۵/۱	۳۹	اهواز
۳/۵	۲/۷	۲/۳	۱/۴	۵/۲	۴/۷	۲/۸	۲	۳۳/۴	۲۵/۷	اراک
۱/۶	۲/۹	۱	۱/۲	۲/۸	۳/۷	۱/۱	۲/۳	۲۴	۱۹/۹	اردبیل
-۰/۲	۰/۵	-۰/۳	-۰/۱	-۰/۲	۱/۲	-۰/۳	۰	۳۷/۴	۳۵/۹	بندرعباس
۱/۲	۲/۴	۰/۶	۱/۹	۲/۱	۳/۳	۰/۷	۲	۲۷/۸	۲۱/۱	بندر انزلی
-۰/۴	۰/۴	-۰/۴	-۰/۱	-۰/۷	۰/۹	-۰/۴	-۰/۱	۳۶/۹	۳۴/۱	بندر لنگه
۳/۱	۱/۹	۱/۷	۱/۱	۴/۴	۳/۳	۲/۵	۱/۳	۳۸/۲	۳۵/۴	بم

۲/۷	۲/۳	۱/۴	۱/۲	۳/۷	۴/۲	۱/۲	۱/۶	۳۳/۸	۳۰	بیرجند
۱	۱/۵	۰/۳	۰/۴	۲/۳	۲/۷	۰/۶	۰/۸	۳۰/۸	۲۴/۸	بجنورد
-۲/۷	۰/۸	-۰/۱	-۰/۱	-۲,۲	۱/۱	-۰/۱	-۰/۴	۳۷/۷	۳۳/۹	بوشهر
۱/۹	۰/۹	۱/۷	۰/۶	۱/۹	۱/۳	۱/۷	۰/۷	۳۱/۹	۳۲/۵	چابهار
۱/۹	۲/۲	۱	۱	۲/۸	۳/۸	۱/۴	۱/۳	۴۴/۴	۳۷/۸	دزفول
۶/۶	۰/۹	۵/۲	-۰/۳	۸/۴	۲/۶	۵/۸	-۰/۱	۳۵	۲۸/۸	اصفهان
۲/۳	۱/۴	۱/۲	۰/۵	۳	۲/۵	۱/۶	۰/۶	۳۸/۲	۳۲/۹	فسا
۲/۸	۲/۵	۱/۷	۱/۲	۴/۸	۳/۶	۲	۲/۳	۳۲	۲۶/۶	گرگان
۳/۸	۲/۴	۲/۴	۱/۲	۵/۸	۴/۴	۳	۱/۶	۳۲/۷	۲۴	همدان
۲	۲/۵	۱/۲	۱/۷	۲/۷	۴	۱/۶	۱/۹	۴۲/۵	۴۰/۱	ایرانشهر
۴/۵	۱/۴	۳/۳	۰/۱	۶	۳/۱	۳/۸	۰/۵	۳۸/۳	۳۲	کاشان
۳/۴	۲/۷	۱/۲	۱/۶	۴/۵	۴/۴	۲/۷	۲	۳۴/۱	۳۰/۲	کرمان
۴	۲/۴	۲/۶	۱/۱	۶	۴/۶	۳/۱	۱/۶	۳۶/۴	۲۷/۳	کرمانشاه
۲/۹	۲	۱/۸	۰/۷	۴/۳	۳/۹	۲/۲	۱/۱	۳۷/۶	۲۸/۹	خرم آباد
۴/۲	۲/۶	۲/۸	۱	۵/۹	۳/۴	۳/۳	۱/۵	۳۱/۱	۲۳/۸	خوی
۲/۲	۱/۶	۱/۱	۰/۷	۳/۴	۳/۱	۱/۶	۱/۲	۳۲/۵	۲۷/۳	مشهد
۵/۱	۲/۶	۳/۶	۱	۶/۸	۴/۸	۱/۴	۱/۷	۲۹/۲	۲۲/۱	ارومیه
۴/۴	۲/۲	۳/۲	۰/۶	۶/۳	۴/۶	۳/۶	۱/۳	۳۳/۶	۲۶/۱	قزوین
۰/۷	۳/۲	-۰/۵	۲/۲	۲/۷	۴	-۰/۱	۳/۲	۲۷/۹	۲۱/۳	رامسر
۲/۲	۲	۱/۴	۱/۲	۳/۳	۳/۱	۱/۷	۱/۴	۲۹/۳	۲۳/۷	رشت
۴	۲/۳	۲/۶	۱	۵/۵	۴/۲	۳/۲	۱/۵	۳۵/۸	۳۰/۷	سبزوار
۳/۴	۲/۶	۲/۹	۱/۳	۶/۳	۴/۶	۳/۵	۱/۷	۳۵/۳	۲۶/۳	سنندج
۳/۱	۲/۶	۱/۹	۱/۱	۴/۸	۴/۴	۲/۳	۱/۶	۳۲/۳	۲۲/۳	سقز
۱/۴	۱/۹	۲/۷	۰/۴	۵/۹	۴	۳/۲	۱/۲	۳۵/۶	۲۹/۶	سمنان
۶/۵	۱/۹	۵/۲	۰/۸	۸/۱	۳/۵	۵/۷	۱/۱	۳۱/۷	۲۴/۵	شهرکرد
۳/۲	۲/۲	۲	۱/۱	۴/۸	۳/۷	۲/۴	۱/۶	۳۱/۸	۲۶/۵	شاهرود
۲/۸	۱/۴	۱/۵	۰/۶	۳/۵	۲/۳	۱/۹	۰/۵	۳۶/۷	۳۰/۸	شیراز
۳/۴	۱/۶	۲	۰/۴	۴/۸	۳/۴	۲/۷	۰/۸	۴۰/۱	۳۵/۲	طبرس
۳/۹	۲/۹	۲/۶	۱/۱	۵/۵	۵/۱	۳	۱/۸	۳۱/۶	۲۳/۳	تبریز
۳/۹	۲/۴	۲/۶	۱/۲	۵/۶	۴/۲	۳/۲	۱/۷	۳۴/۸	۲۸/۳	تهران
۲/۳	۱/۳	۱/۱	۰/۵	۳/۳	۲/۸	۱/۷	۰/۷	۳۱/۳	۲۶/۳	تربت حیدریه
۴/۲	۱/۵	۳/۱	۰/۴	۵/۵	۳	۳/۵	۰/۶	۳۷/۶	۳۲/۶	یزد
۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۲/۸	۳/۵	۱/۶	۱/۷	۳۹/۵	۳۶/۴	زابل
۲	۱/۹	۱/۱	۱/۱	۲/۸	۳/۲	۱/۵	۱/۳	۳۵/۳	۳۲/۵	زاهدان
۴	۲/۶	۲/۷	۱/۳	۵/۸	۴/۴	۳/۱	۱/۱,۹	۳۰/۳	۲۲/۷	زنجان

ماخذ: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۵

نتیجه گیری

نمایندة آب وهوایی ایران، نشان داد که به طور متوسط دامنه تغییرات افزایش دما در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای دهه ۲۰۵۰ تا ۲/۲ درجه سانتی گراد و برای دهه ۲۰۸۰ بین ۰/۷ تا ۳/۱ سانتی گراد خواهد بود. به طوری که بر اساس شبیه سازی تمام مدل‌ها- سناریوهای مورد مطالعه انتظار می‌رود، دامنه تغییرات

در حال حاضر تغییر اقلیم و افزایش دمای هوا یکی از مسائل مهم زیست محیطی بشر به حساب می‌آید. مطالعه دامنه عدم قطعیت در خروجی داده‌های دو مدل CGCM3 و Hadcm3 تحت سناریوهای انتشار موجود (A2، A1B، B1 و B2) بر روی ۷ ایستگاه

گفت عامل ارتفاع مهمترین چیدمان مکانی تغییرات دمایی را بر روی ایستگاه‌های مورد مطالعه در این پژوهش کنترل می‌نماید و برخلاف نتیجه پژوهش مجرد و بساطی (۱۳۹۲: ۱۲۹) عامل عرض جغرافیایی از نظر اهمیت، بعد از عامل ارتفاعی قرار می‌گیرد؛ چرا که در ایستگاه تبریز و ایستگاه مشهد محصور شده در خشکی‌های مناطق شمالی ایران، اختلاف در شدت افزایش دمای حداکثر طی دهه‌های آینده احتمالاً به دلیل پراکنش ارتفاعی متفاوت بین دو ایستگاه بوده است (نه به دلیل عامل عرض جغرافیایی و یا عامل رطوبت). در مجموع، خطرات احتمالی ناشی از افزایش دما با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی و توپوگرافی مسلط بر نواحی آب‌هوایی گوناگون ایران در قالب مدیریت بحران بایستی به صورت جدی‌تر مورد توجه قرار گیرد.

منابع

۱. بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک. ۱۳۸۵. معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳، مجله نیوار، شماره ۶۲ و ۶۳.
 ۲. حمیدیان‌پور، محسن، محمد باعقیده و محسن عباس‌نیا. ۱۳۹۵. ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس گردانی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴۸.
 ۳. صداقت‌کردار، عبدالله و ابراهیم فتاحی. ۱۳۸۷. شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱.
 ۴. علیجانی، بهلول. ۱۳۸۵. آب و هوای ایران. جلد اول. چاپ ششم، تهران، انتشارات پیام نور.
 ۵. فلاح قاهره، غلامعباس. ۱۳۹۳. ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های اقلیمی. چاپ اول، مشهد، انتشارات سخن گستر.
 ۶. مجرد، فیروز و سعید بساطی. ۱۳۹۳. واکاوی تغییرات زمانی و مکانی دماهای حداکثر در ایران، مجله مدرس علوم انسانی - برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۸، شماره ۲.
- افزایشی دمای ایران به‌طور متوسط در دهه‌های میانی و پایانی قرن حاضر بین ۰/۵ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) افزایش یابد. به‌عبارتی دیگر نسبت به متوسط تغییرات افزایشی حدود یک درجه سانتی‌گراد در دمای حداکثری ایران طی صد سال اخیر (مسعودیان، ۱۳۸۴: ۸۹)، متوسط تغییرات افزایشی دمای حداکثر ایران تا اواخر قرن حاضر تا حدود ۱/۵۶ درجه سانتی‌گراد امکان افزایش را خواهد داشت. در این رابطه، تحلیل الگوی مکانی تغییرات افزایشی دمای حداکثر آینده بر روی تعداد ۴۴ ایستگاه مطالعاتی بر اساس خروجی مدل Hadcm3 و تحت دو سناریوی A2 و B2 نشان داد که در فصل بهار بالاترین دماهای حداکثر در سواحل پست نیمه جنوبی ایران و بالعکس کمترین دماهای حداکثر نیز به پیروی از الگوی پراکنش ارتفاعات در نیمه شمالی ایران رخ خواهند داد. در صورتیکه در فصل تابستان، نواحی پست و خشک واقع در کویر مرکزی ایران نسبت به نواحی همجوار با سواحل گرم و شرجی جنوبی ایران، ارزش دمایی بیشتری خواهند داشت. این در حالی است که در دوره مشاهداتی پایه، با حرکت از عرض‌های شمالی‌تر به عرض‌های جنوبی‌تر و به خصوص نواحی همجوار با سواحل جنوبی ایران، بر میانگین شدت دمای حداکثر در دوره گرم سال افزوده می‌شود. بطور کلی در بررسی تغییرات فصلی دمای حداکثر آینده در مقیاس ایستگاهی، آنچه که مهم به نظر می‌رسد این است که ایستگاه‌های همجوار با سواحل جنوبی ایران در سراسر دوره گرم سال طی دهه‌های آینده، تحت تاثیر ارتفاع کم، عرض جغرافیایی پایین‌تر و اثرات تعدیلی رطوبت جوی، کمترین تغییرات افزایشی دما را خواهند داشت و بهمین دلیل در دهه‌های آینده نیز از شدت دمای حداکثر این منطقه بعنوان گرمترین ناحیه دمایی در دوره مشاهداتی نسبت به سایر مناطق کشور ایران، کاسته خواهد شد؛ بنابراین در تحلیل رابطه و نقش عوامل محلی اقلیم در کنترل دماهای حداکثر، بر طبق نتایج پژوهش‌های گذشته چون علیجانی (۱۳۸۵: ۶۴-۵۰) و مسعودیان و کاویانی (۱۳۸۷: ۶۶-۵۳)، می‌توان

17. Islam, S., Rehman, N., and Sheikh, M.M. 2009. Future change in the frequency of warm and cold spells over Pakistan simulated by the PRECIS regional climate model. *Climatic change*, 94(1-2), 35-45.
18. Jacovides, C.P. 1998. Reply to comment on "Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models". *Agricultural Water Management*, 37(1), 95-97.
19. Jones, P.D., and Moberg, A. 2003. Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of Climate*, 16(2), 206-223.
20. Jones, P.D. 1994. Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993. *Journal of Climate*, 7(11), 1794-1802.
21. Mahmood, R., and Babel, M. S. 2013. Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theoretical and applied climatology*, 113(1-2), 27-44.
22. Mahmood, R., and Babel, M.S. 2014. Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. *Weather and Climate Extremes*, 5, 56-66.
23. Nasri, M., and Modarres, R. 2009. Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran. *International journal of climatology*, 29(10), 1430-1438.
24. Revadekar, J.V., Kothawale, D.R., Patwardhan, S.K., Pant, G.B., and Kumar, K.R. 2012. About the observed and future changes in temperature extremes over India. *Natural hazards*, 60(3), 1133-1155.
25. Salon, S., Cossarini, G., Libralato, S., Gao, X., Solidoro, C., and Giorgi, F. 2008. Downscaling experiment for the Venice lagoon. I. Validation of the present-day precipitation climatology. *Climate Research*, 38(1), 31-41.
26. Tonkaz, T., Çetin, M., and Tülücü, K. 2007. The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi-arid region, Turkey. *Climatic Change*, 82(1-2), 195-209.
27. Toros, H. 2012. Spatio-temporal variation of daily extreme temperatures over Turkey. *International Journal of Climatology*, 32(7), 1047-1055.
28. Wang, X., Yang, T., Shao, Q., Acharya, K., Wang, W., and Yu, Z. 2012. Statistical downscaling of extremes of precipitation and temperature and construction of their
۷. مسعودیان، سید ابوالفضل. ۱۳۸۴. بررسی روند دمایی ایران در نیم سده‌ی گذشته، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴.
۸. مسعودیان، سید ابوالفضل و مسعود کاویانی. ۱۳۸۷. اقلیم شناسی ایران. چاپ اول، اصفهان، انتشارات دانشگاه اصفهان.
9. Abbasnia, M., and Toros, H. 2016. Future changes in maximum temperature using the statistical downscaling model (SDSM) at selected stations of Iran. *Journal of Modeling Earth Systems and Environment*, 2(2), 1-7.
10. Covey, C., AchutaRao, K.M., Cubasch, U., Jones, P., Lambert, S.J., Mann, M.E., and Taylor, K.E. 2003. An overview of results from the Coupled Model Intercomparison Project. *Global and Planetary Change*, 37(1), 103-133.
11. Dracup, J.A., and Vicuna, S. 2005. May. An overview of hydrology and water resources studies on climate change: the California experience. In *World Water Congress*, pp: 15-19.
12. Horton, B. 1995. Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures. *Atmospheric Research*, 37(1), 101-117.
13. IPCC. 2001. *Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to The Third Assessment report to the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, N.Y., U.S.A., 881pp.
14. IPCC. 2007. *Climate Change 2007: the physical science basis*. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller H.L. (Eds), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
15. 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*. Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge, United Kingdom and New York, USA.
16. IRIMO. 2012. *Summary Reports of Iran's Extreme Climatic Events*. Ministry of Roads and Urban Development, Iran Meteorological Organization, 26p. (www.cri.ac.ir)

31. Wilby, R.L., and Dawson, C.W. 2013. The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 33(7), 1707-1719.
32. Yue, S., and Hashino, M. 2003. Temperature trends in Japan: 1900–1996. *Theoretical and Applied Climatology*, 75(1-2), 15-27.
33. Zhang, Q., Xu, C.Y., and Zhang, Z. 2009. Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(1-2), 89-99.
29. Whan, K., Alexander, L. V., Imielska, A., McGree, S., Jones, D., Ene, E., and Vaiimene, M. 2014. Trends and variability of temperature extremes in the tropical Western Pacific. *International Journal of Climatology*, 34(8), 2585-2603.
30. Wilby, R.L., Dawson, C.W., and Barrow, E.M. 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17(2), 145-157.

