

تحلیل دامنه عدم قطعیت تغییرات آینده دمای حداکثر روزانه بر روی ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

محسن عباس نیا^۱، تقی طاوسی^۲،
محمود خسروی^۳، حسین توروس^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۱۰/۱۳

چکیده

شناخت و ارزیابی تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده با هدف برنامه‌ریزی محیطی مناسب در جهت سازگاری و کاهش اثرات آن امری کاملاً ضروری است. در این پژوهش نیز تغییرات دمای حداکثر روزانه بر روی کشور ایران در دو دوره زمانی (۷۰-۲۰۴۱ و ۹۹-۲۰۷۱) و بر اساس خروجی دو مدل گردش عمومی جو Hadcm3 و CGCM3 تحت سناریوهای انتشار موجود (A2, A1B, B1, B2) مورد بررسی مقایسه‌ای قرار گرفت. بدین منظور پس از بررسی توانمندی مدل آماری SDSM در شبیه‌سازی اقلیم دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۱)، مقادیر آینده دمای حداکثر روزانه با لحاظ نمودن عدم قطعیت، بر روی ۷ ایستگاه سینوپتیک به عنوان نماینده‌های آب و هوایی انتخابی ایران، ریز مقیاس نمایی گردید. 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 داشته است. همچنین یافته‌های پژوهش بر روی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که دمای ایران به طور متوسط در دهه‌های میانی و پایانی قرن بیست و یکم، بین ۱ تا ۲ درجه سلسیوس افزایش می‌یابد، که البته این افزایش دما بر اساس سناریوهای مختلف مدل Hadcm3 نسبت به مدل CGCM3 شدیدتر بوده است. از نظر پراکنش فضایی تغییرات در محیط GIS نیز بر اساس خروجی همه مدل-سناریوها، کمترین افزایش دما بر روی ایستگاه بندرعباس واقع در سواحل پست جنوبی ایران مشاهده شده و بالعکس بر روی ایستگاه تبریز واقع در عرض‌های شمالی‌تر و مناطق بلند و کوهستانی ایران، افزایش دما به حداکثر می‌رسد. در مجموع می‌توان عوامل مهم و مؤثر در تغییرات آینده دمای ایران را در سه گروه: عامل ارتفاع، عرض جغرافیایی و رطوبت جوی دسته‌بندی نمود. چرا که بر اساس تمامی خروجی‌های مدل-سناریوها، ارتفاعات عرض‌های شمالی ایران، بیشترین افزایش دما را تجربه خواهند نمود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات دمای حداکثر روزانه، ایران، عدم قطعیت، ریز مقیاس نمایی آماری، مدل Hadcm3، مدل CGCM3.

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، (نویسنده مسئول) Am_abbasnia@pgs.usb.ac.ir

۲. استاد اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران T.tavousi@gep.usb.ac.ir

۳. دانشیار اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران Khosravi@gep.usb.ac.ir

۴. دانشیار هواشناسی دانشکده هوانوردی و فضاوردی، دانشگاه صنعتی استانبول، استانبول، ترکیه Toros@itu.edu.tr

۱-مقدمه

در این رابطه، برای شناخت جامع اثرات گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در دوره‌های زمانی آینده، می‌توان از خروجی مدل‌های گردش عمومی (GCM) 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 بعدی شامل حرکات جوئی، تبادلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی هستند. (Dracup & Vicuna, 2005: 16)

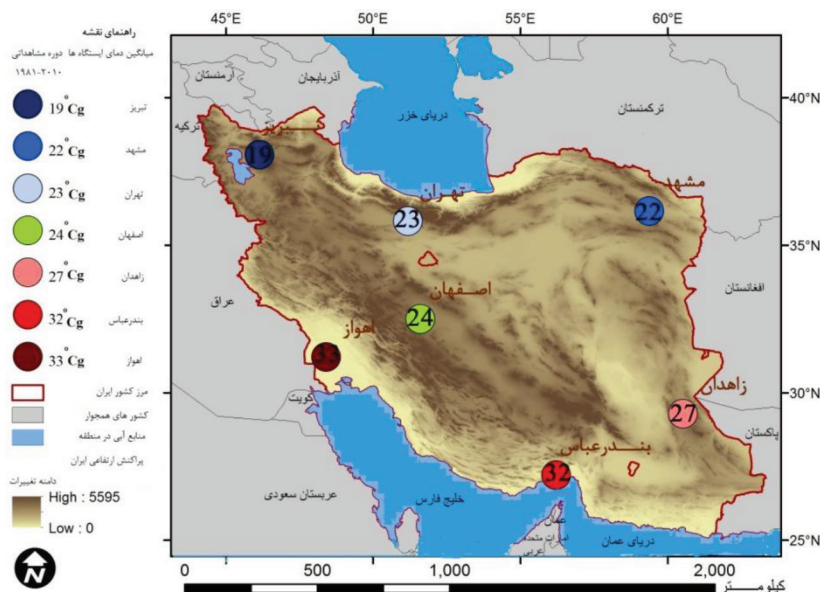
در مقیاس جهانی بر حسب مدل‌ها-سناریوهای مختلف، افزایش دمای ناشی از تغییرات اقلیمی در اغلب نقاط جهان پیش‌بینی و نتایج مختلفی ارائه گردیده است. (Bernstein et al, 2007) به عبارتی بر طبق مدل‌های مختلف گردش عمومی جو، درجه حرارت زمین تا سال ۲۱۰۰ میلادی در دامنه‌ای بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. (IPCC^۱, 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). بدین منظور 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 ویل‌بای و همکاران (بعنوان سازندگان مدل SDSM) این مدل را ابزاری مناسب برای ریزمقیاس‌نمایی آماری دانسته و طی پژوهشی قابلیت‌های کاربردی مدل SDSM را در پیش‌بینی و تولید داده‌های اقلیمی زمان حال و آینده، تشریح می‌نمایند (Wilby et al, 2002: 145-157). تاکنون در مقیاس جهانی پژوهش‌های گسترده‌ای برای بررسی و ارزیابی مقایسه‌ای اثرات تغییر اقلیم در زمان حال و آینده از مدل SDSM

امروزه یکی از چالش‌های مهم پیش‌روی بشر، پدیده‌ی گرمایش جهانی و تغییر اقلیم می‌باشد. پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که تغییر اقلیم با افزایش میزان CO₂ مرتبط است که چه بسا سهم کشورهای پیشرفته و توسعه یافته در این زمینه متفاوت می‌باشد (Parry et al, 2004: 55). گزارش‌های ارزیابی چهارم IPCC (۲۰۰۷) حاکی از آن است که به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای طی قرن گذشته، حدود ۰/۴ تا ۰/۸ درجه سانتی‌گراد بر میانگین دمای هوای جهانی افزوده شده، که حتی بر اساس گزارش ارزیابی پنجم IPCC (۲۰۱۳) نیز این روند در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری داشته است. تاکنون در حوزه‌ی 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 منطقه‌ای (برازیل و همکاران، ۱۹۹۵؛ جیانگ و یو، ۱۹۹۶؛ کومار و هینگن، ۱۹۸۸؛ چانگ و یو، ۲۰۰۰؛ یو هاشینو، ۲۰۰۳؛ الگیب و همکاران، ۲۰۱۰؛ توروس، ۲۰۱۲؛ سونالی و کمار، ۲۰۱۳؛ وان و همکاران، ۲۰۱۴)، نیمکره‌ای (جونز، ۱۹۹۴؛ استرن و کافمن، ۲۰۰۰؛ جونز و مویرگ، ۲۰۰۳) و سیاره‌ای (هورتون، ۱۹۹۵؛ رامستروف و گانوپولسکی، ۱۹۹۹) و همچنین از دیدگاه مقیاس زمانی در مقیاس ماهانه (گیمر و همکاران، ۲۰۰۴؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۹)، فصلی (تورکش و همکاران، ۱۹۹۶؛ کادیوگلو و همکاران، ۲۰۰۱؛ تونکاز و همکاران، ۲۰۰۷) و سالانه (تورکش و همکاران، ۱۹۹۵؛ هادکینز و همکاران، ۲۰۰۲؛ نصری و مدرس، ۲۰۰۹) تقسیم بندی نمود. در مطالعات صورت گرفته بر روی کشور ایران نیز محققانی چون (مسعودیان، ۱۳۸۴؛ شیرغلامی و قهرمان، ۱۳۸۴؛ طبری و حسین زاده، ۲۰۱۱ و مجرد و همکاران، ۱۳۹۳) ضمن تأکید بر افزایش عمومی دماها، روند تغییرات دمای متوسط سالانه‌ی ایران را در اکثر مناطق ایران مورد بررسی قرار داده‌اند. تمامی این پژوهش‌ها وضع موجود پارامترهای دمایی را مشخص نموده‌اند، درحالی‌که تاکنون بر روی اثرات تغییر اقلیم بر چگونگی رخدادهای دمایی در دهه‌های آینده، تحقیقات چندانی انجام نشده است.

1 - General Circulation Models

2 - The Intergovernmental Panel on Climate Change

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
 تحلیل دامنه عدم قطعیت تغییرات آینده دمای حداکثر ... / ۳۱



نگاره ۱: موقعیت جغرافیایی و نسبی پراکنش ایستگاه‌های انتخابی در محدوده مورد مطالعه

(مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۳)

۲- داده‌ها و روش‌شناسی

۲-۱- محدوده‌ی مورد مطالعه

از لحاظ جغرافیایی ایران کشوری است ناهموار که در منطقه‌ی خشک و کم آب خاورمیانه واقع شده است و ارتفاع میانگین آن از تراز دریا حدود ۱۲۵۰ متر است (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۱۰). وجود کوه‌های بلند و تنوع توپوگرافی سبب شده که توزیع مکانی درجه حرارت در ایران از الگوی منظمی تبعیت نکند. ولی بطور کلی درجه حرارت ایران از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش دارد و علت این ویژگی وجود ارتفاعات در شمال و غرب کشور و کاهش تدریجی زاویه تابش به طرف عرض‌های شمالی تر است (علیچانی، ۱۳۹۰: ۱۳). در این پژوهش نیز برای دستیابی به دورنمایی از تغییرات آینده دمایی ایران، با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های مدل‌های بزرگ مقیاس، ۷ ایستگاه سینوپتیک بعنوان نماینده آب و هوایی انتخابی از پهنه‌ی گسترده‌ی ایران در مقیاس محلی مورد بررسی قرار گرفته است (نگاره ۱).

۲-۲- روش‌شناسی

بدین ترتیب در این پژوهش برای شناخت و ارزیابی تغییرات دمای حداکثر بر روی گستره ایران طی دهه‌های

برای فرایند ریزمقیاس‌نمایی استفاده نموده اند (گگنون و همکاران، ۲۰۰۵؛ چو و همکاران، ۲۰۱۰؛ هانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ محمود و بابل، ۲۰۱۳). در مقیاس منطقه‌ای نیز اغلب پژوهش‌هایی که بدنبال آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی و حدی‌های دمایی بوده‌اند، در شرق و جنوب شرق آسیا یعنی بر روی کشورهای چین، هند و پاکستان انجام شده است (ایسلام، ۲۰۰۹؛ گو و همکاران، ۲۰۱۲؛ روادکار و همکاران، ۲۰۱۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ محمود و بابل، ۲۰۱۴). در 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 ضروری می‌نماید.

بنابراین در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از فرایند ریزمقیاس‌گردانی آماری SDSM، بر روی داده‌های دو مدل بزرگ مقیاس جوّی (Hadcm3 و T63-CGCM3) تحت سناریوهای موجود (B2, B1, A1B, A2)، به بررسی و ارزیابی مقایسه‌ای اثرات تغییر اقلیم بر رخداد دمای حداکثر روزانه برای آینده نزدیک (۷۰-۲۰۴۱) و آینده دور (۹۹-۲۰۷۱) پردازد و سرانجام با دیدگاهی مقایسه‌ای، دامنه عدم قطعیت ناشی از این مدل‌ها-سناریوها در برآورد تغییرات دمای آینده ایران تحت تأثیر شرایط تغییر اقلیم را مشخص نماید.

جدول ۱: مشخصات مدل‌های گردش عمومی در دسترس بعنوان ورودی نرم افزار SDSM

مرجع	IPCC	سناریوها	قدرت تفکیک مکانی به درجه	مدل جهانی
Met Office, Hadley, AR4 Center for Climate Prediction & Research(HCCPR), United Kingdom	IPCC4	B2, A2	$2/5^{\circ} \times 3/75^{\circ}$	Hadcm3
Canadian Centre for Climate, AR4 Modeling and Analysis(CCCma), Canada	IPCC4	A1B, B1, A2	$2/81^{\circ} \times 2/81^{\circ}$	T63-CGCM3

(مأخذ: IPCC, 2007)

دوره‌های آینده (۷۰-۲۰۴۱ و ۹۹-۲۰۷۱) که از تارنمای مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا^۸ بصورت خام استخراج گردید. و سپس پیش‌بینی‌کننده‌های این مدل‌های بزرگ مقیاس نسبت میانگین و انحراف معیار دوره‌ی مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) نرمالیزه شدند. جدول (۱) به طور خلاصه به مهمترین ویژگی‌های مدل‌های بزرگ مقیاس جوی در دسترس بعنوان ورودی مدل SDSM اشاره دارد. (IPCC, 2007)

آینده از مدل SDSM^۱ بعنوان ابزاری برای ریزمقیاس گردانی آماری بر روی خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس جوی، استفاده شده است.

فرایند ریز مقیاس گردانی^۲ عامل ایجادکننده ارتباط میان متغیرهای اقلیمی در مقیاس ایستگاه مشاهداتی (پیش‌بینی شونده‌ها^۳) و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی (پیش‌بینی کننده‌ها^۴) است. (Wilby & Dawson, 2013: 1709)

۲-۳- ریزمقیاس گردانی آماری SDSM

مدل SDSM توسط ویلبای و همکاران، بعنوان ابزاری مناسب برای ریزمقیاس گردانی آماری و ساخت داده‌های هواشناسی با استفاده از ترکیب روش‌های احتمالاتی (SWG^۹) و رگرسیون (MLR^{۱۰}) توسعه یافته و در طبقه‌بندی روش‌های مختلف ریزمقیاس گردانی جزء بهترین مدل‌ها می‌باشد. (Wilby et al, 2002: 149). مبنای این مدل، رگرسیون چند متغیره می‌باشد 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 چندمتغیره بین متغیرهای پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس (متغیرهای مستقل) و متغیر پیش‌بینی شونده (متغیر مشاهداتی) بعنوان متغیر وابسته تدوین می‌گردد.

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 ۷ ایستگاه سینوپتیک بعنوان نماینده‌های آب و هوایی انتخابی در گستره‌ی کشور ایران برای دوره‌ی مشاهداتی (۱۹۸۱ تا ۲۰۱۰) تهیه گردید. و صحت این داده‌ها در سطح معنی داری ۹۵ درصد، بر اساس آزمون‌های کفایت داده‌ها، همگنی ران‌تست^۵ و نرمال بودن^۶ K-S، مورد تأیید قرار گرفت. ۲- داده‌های روزانه بزرگ مقیاس جوی شامل پیش‌بینی کننده‌های مرکز^۷ NCEP در دوره مشابه دیده بانی و برون‌داد دو مدل بزرگ مقیاس Hadcm3 و T63-CGCM3 تحت سناریوهای موجود در دوره مشابه دیده‌بانی و در

1 - Statistical Down Scaling Model

2 - Down Scaling Technique

3 - predictands

4 - predictors

5 - Runs Test

6 - Kolmogrov-Smirnov Test

7 - The National Center for Environmental Prediction

8 - <http://www.cccma.ec.gc.ca>

9 - Stochastic Weather Generator

10 - Multiple Linear Regression

جدول ۲: مقادیر همبستگی جزئی بین پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب با دمای حداکثر مشاهداتی

متغیر	ایستگاه						
	توصیفات	تهران	تبریز	اصفهان	اهواز	زاهدان	مشهد
Ha ¹ - mslp	فشار سطح دریا	-۰/۲۹	-۰/۳۱	۰/۰۷	-۰/۲۱	-۰/۳۴	-۰/۶۴
		-۰/۲۸	-۰/۲۸	-۰/۰۳	-۰/۰۵	-۰/۱۱	-۰/۲۳
Ha-p500	ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۵۰۰	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۵۶	۰/۷۳
		۰/۴۳	۰/۴۸	۰/۴۴	۰/۱۴	۰/۵۵	۰/۴۱
Ha-p850	ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰	—	—	—	۰/۱۵	—	—
		—	—	-۰/۱۰	—	-۰/۰۳	—
u-Ha-p8	بادمداری سطح ۸۵۰	-۰/۲۵	—	—	-۰/۳۲	—	۰/۶۷
		-۰/۲۸	۰/۱۳	—	—	—	-۰/۰۷
Ha-r850	رطوبت نسبی سطح ۸۵۰	۰/۱۲	—	—	-۰/۱۱	-۰/۲۹	—
		-۰/۰۷	-۰/۰۶	-۰/۲۶	-۰/۳۶	-۰/۲۹	-۰/۲۸
Ha-shum	رطوبت ویژه سطحی	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۰۵	—	—
		—	۰/۰۹	—	—	—	—
Ha-temp	دمای ۲ متری سطح زمین	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۷۰	۰/۱۷	۰/۱۸	—
		۰/۲۹	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۵۱	۰/۱۷	۰/۶۲
v_Ha-p8	بادنصف النهاری سطح ۸۵۰	—	—	—	-۰/۲۶	—	-۰/۰۹
Ha-p5zh	واگرایی سطح ۵۰۰	—	—	—	۰/۰۷	—	—
Ha-p_z	تاوایی سطح زمین	—	—	—	-۰/۲۰	—	-۰/۲۱
Ha-r500	رطوبت نسبی سطح ۵۰۰	—	—	-۰/۳۶	-۰/۱۷	—	—
Ha-rhum	رطوبت نسبی سطحی	-۰/۲۰	-۰/۰۶	-۰/۲۱	-۰/۲۰	—	—

مأخذ: محاسبات آماری نگارندگان، ۱۳۹۳

۴-۲- پایش و گزینش متغیرها

و انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مناسب و دارای قوی‌ترین ارتباط معنی‌دار با دمای مشاهداتی هر ایستگاه از تحلیل‌های همبستگی بین پیش‌بینی‌کننده‌ها با هم و با پیش‌بینی شونده، شامل: تحلیل ماتریس همبستگی^۴، همبستگی جزئی^۵، نمودار پراکنش^۶ و نحوه ارتباط همبستگی و همچنین درصد واریانس تبیین شده بین متغیرها استفاده می‌شود (فلاح‌قاله‌ری، ۱۳۹۳: ۴۲). بدین ترتیب در این پژوهش بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های همبستگی، بهترین پیش‌بینی‌کننده‌ها برای طراحی و چیدمان مدل رگرسیون

از آنجایی که سری زمانی دمای حداکثر مشاهداتی دارای توزیع نرمال بوده و متغیری غیرشرطی^۳ محسوب می‌شود، بنابراین برای چیدمان مدل رگرسیون چندمتغیره در نرم افزار SDSM، ارتباط بین دمای حداکثر مشاهداتی بعنوان متغیر پیش‌بینی شونده با پیش‌بینی‌کننده‌های بزرگ مقیاس جو^۱ به عنوان متغیرهای مستقل، مستقیم در نظر گرفته شده و دارای شدت و ضعف گوناگون می‌باشد. از این جهت برای شناسایی

4 - Correlation matrix

5 - Partial correlations

6 - Scatterplot

1- Hadem3 Model

2- CGCM3-T63 Model

3- Unconditional

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

میانگین انحراف خطا: این معیار در برآورد میزان خطای مدل می‌تواند ارزش مثبت یا منفی بگیرد درحالی که بهترین مقدار عملکرد آن برابر صفر است. (Jacovides, 1998: 96)

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

شاخص ترکیبی: در این زمینه جاکوویدز (۱۹۹۸) نشان داد که در مدل‌سازی استفاده مجزا از شاخص‌های $RMSE$ ، MBE ، موجب به وجود آمدن خطا در انتخاب بهترین مدل می‌شود. لذا توصیه نمود که در کنار این دو شاخص، از معیار T که ترکیبی از آنها است نیز، استفاده شود. در بررسی مقایسه‌ای نیز مقدار این شاخص هرچه به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده دقت بالاتر آن است.

$$T = \sqrt{\frac{(n-1)MBE^2}{RMSE^2 - MBE^2}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط فوق P_i مقادیر برآورد شده روزانه، O_i مقادیر مشاهداتی روزانه و n تعداد داده‌ها می‌باشد. در این پژوهش نتایج همگی پارامترهای آماری خطاسنجی ناشی از مرحله اعتبارسنجی SDSM نشان می‌دهد که معادلات رگرسیونی توسعه یافته نهایی، برای تخمین و پیش‌بینی پارامتر دمای حداکثر روزانه بر اساس متغیرهای بزرگ مقیاس جوّی بعنوان متغیرهای مستقل پیش‌بین هر یک از دو مدل بزرگ مقیاس، از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشند (جدول ۳). همچنین تحلیل نتایج حاصل از آزمون آماری T برای دوره‌های زمانی مختلف (ماهانه، فصلی و سالانه) نشان داد که در سطح بحرانی ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مدلسازی شده نهایی و مقادیر واقعی دمای حداکثر طی دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) در مقیاس مکانی هر ایستگاه وجود ندارد.

چند متغیره در هر ماه از سال و برای هر ایستگاه مشاهداتی انتخاب گردید. چنانکه در جدول (۲) نتایج حاصل از میزان همبستگی‌های جزئی و معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، بین پیش‌بینی کننده‌های منتخب از هر مدل بزرگ مقیاس با دمای حداکثر مشاهداتی در هر ایستگاه آورده شده است، که در این میان هرچه میزان این همبستگی به ± 1 نزدیکتر باشد، شدت همبستگی بیشتر خواهد بود.

۲-۵- کالیبره و اعتبارسنجی

برای ارزیابی عملکرد مدل‌های تخمین و پیش‌بینی، شاخص‌های آماری واسنجی و خطاسنجی مختلفی وجود دارد. در این پژوهش علاوه بر بررسی خطای استاندارد (SE) مکانی و زمانی پیش‌بینی‌ها از شاخص‌های: ضریب تعیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE^2$)، میانگین انحراف خطا MBE و شاخص ترکیبی (T) برای ارزیابی دقت و مقایسه نسبی نتایج مدل‌های تخمینی رگرسیون چندمتغیره با مقادیر دمای حداکثر ایستگاه‌ها طی دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) استفاده شده است: ضریب تعیین: معیاری بدون بُعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. این معیار درصد واریانس تبیین شده از کل واریانس توجیهی توسط عامل‌های مستقل مدل رگرسیون چندمتغیره برای هر دوره زمانی را نشان می‌دهد. رابطه (۱) نحوه محاسبه آن می‌باشد (صدقات‌کردار و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۷).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i O_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i^2 \sum_{i=1}^n O_i^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

مجذور میانگین مربعات خطا: معمولاً هرچه پیش‌بینی مدل بیشتر بر داده‌های مشاهداتی منطبق باشد، با توجه به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، مقدار آن کمتر و به صفر نزدیکتر می‌شود (صدقات‌کردار و همکاران، ۱۳۸۷: ۶۷).

- 1- Standard Error
- 2- R Square
- 3- Root Mean Square Error
- 4- Mean Bios Error

جدول ۳: مقادیر حاصل از مرحله‌ی کالیبره و اعتبارسنجی مدل‌ها در دوره‌ی مشاهداتی پایه (۱۹۸۱-۲۰۱۰)

ایستگاه	خطای مدل	SE	R ²	RMSE	MBE (Bias)	T
تهران	Ha	۲/۲۵	۰/۶۲	۲/۴۲	۰	۰/۱۷
	CG	۲/۲۹	۰/۶۱	۳/۳۳	۰/۰۴	۰/۴۰
تبریز	Ha	۲/۵۳	۰/۶۱	۲/۶۷	۰	۰/۱۴
	CG	۲/۴۵	۰/۶۳	۶/۳۹	۲/۶۳	۸/۱۲
اصفهان	Ha	۲/۲۰	۰/۵۷	۳/۱۸	۰/۰۳	۰/۰۳
	CG	۲/۲۶	۰/۵۵	۱/۴۶	-۰/۰۲۷	۰/۴۶
اهواز	Ha	۲/۰۱	۰/۵۹	۲/۹۳	۰/۰۲۱	۰/۲۶
	CG	۲/۳۵	۰/۴۶	۲/۵۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۴
زاهدان	Ha	۲/۲۱	۰/۶۰	۲/۳۴	۰/۰۱	۰/۲۶
	CG	۲/۲۰	۰/۶۱	۳/۱۴	-۰/۰۲۳	۰/۲۴
مشهد	Ha	۳/۴۲	۰/۴۸	۳/۶۷	۰/۰۱	۰/۱۲
	CG	۳/۴۶	۰/۴۵	۳/۶۹	-۰/۰۰۴	۰/۰۳
بندرعباس	Ha	۱/۸۰	۰/۴۵	۲/۵۵	۰/۰۰۷	۰/۱۱
	CG	۲/۰۶	۰/۲۸	۲/۱۷	۰/۰۱	۰/۲۳

مأخذ: محاسبات آماری نگارندگان، ۱۳۹۳.

۶-۲- تولید سناریوهای اقلیمی

پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که تغییر اقلیم با افزایش میزان CO₂ مرتبط است. از آنجا که تغییر اقلیم وابستگی زیادی به فعالیت‌های بشر در آینده دارد، مدل‌های اقلیمی چندین سناریوی انتشار ایجاد می‌کنند. (IPCC (Parry et al, 2004: 56) حدود چهار سناریوی انتشار از مجموعه SRES با فرض مقدار گازهای گلخانه‌ای، کاربری اراضی، رشد تکنولوژی و سایر فعالیت‌های بشری در نظر می‌گیرد. مهم‌ترین خانواده‌ی سناریوهای انتشار و ویژگی‌های آنها که در گزارش ارزیابی چهارم کنفرانس IPCC (۲۰۰۷) مشخص شده‌اند عبارتند از: B2, B1, A2, A1T, A1B, A1F1, A1

بر این اساس در نرم افزار SDSM نیز تولید سناریوهای اقلیمی آینده در مورد تغییرات پارامترهای محلی، بر اساس داده‌های مدل- سناریوهای مختلف انتشار در دهه‌های آینده می‌باشد. به عبارتی، در این مرحله از پژوهش، با توجه به معادلات آماری و رگرسیونی کالیبره شده بین پیش‌بینی

کننده‌های بزرگ مقیاس مرکز NCEP با پارامتر دمای حداکثر مشاهداتی، فرایند ریزمقیاس‌نمایی بر روی داده‌های آینده دو مدل گردش عمومی Hadcm3 و CGCM3 تحت سناریوهای مختلف انتشار انجام شده و سرانجام بر این اساس سری داده‌های روزانه‌ی پارامتر دمای حداکثر در مقیاس ایستگاهی، برای دهه‌های آینده شبیه‌سازی و تولید می‌شوند.

۷-۲- بررسی عدم قطعیت‌ها

در مطالعات تغییر اقلیم بر حسب پیش‌بینی‌ها و نتایج مختلف مدل‌ها-سناریوها، لازم است ابتدا عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی تغییر اقلیم در نظر گرفته شده تا نتایج قابل اطمینان‌تری حاصل شود. (Semenov & Stratonovitch, 2010: 4). در ارزیابی تغییر اقلیم نیز منابع متعددی از عدم قطعیت‌ها وجود دارد که در دو گروه اصلی جای می‌گیرند. نخستین مورد به ساختار دینامیکی مدل اقلیمی جهانی و

جدول ۴: احتمال رخداد یا وزن هر مدل-سناریو در شبیه سازی دمای حداکثر طی دوره آماری (۹۹-۲۰۴۱) به درصد

ایستگاه	CG-A1B	CG-B1	CG-A2	Ha-B2	Ha-A2
تهران	۰/۲۰	۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۱۵
تبریز	۰/۲۲	۰/۳۲	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۳
اصفهان	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۲۹	۰/۱۳
اهواز	۰/۲۲	۰/۳۷	۰/۱۳	۰/۱۸	۰/۱۱
زاهدان	۰/۱۹	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۱۴
مشهد	۰/۲۴	۰/۴۳	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۸
بندرعباس	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۹

مأخذ: محاسبات آماری نگارندگان، ۱۳۹۳

عملکرد هر یک از مدل-سناریوها در شبیه سازی پارامتر دمای مشاهداتی با استفاده از رابطه فوق محاسبه گردید. همانطور که بر اساس نتایج در جدول (۴)، مشخص می شود، شبیه سازی دمای محلی بر اساس مدل CGCM3 و تحت سناریوی انتشار B1 در تمام ایستگاه ها به جز ایستگاه اصفهان، دارای عملکرد بهتری بوده و به عبارتی بیشترین درصد احتمال رخداد نسبت به سایر مدل-سناریوها را به خود اختصاص داده است. همچنین در ادامه پژوهش با توجه به دامنه عدم قطعیت مربوط به خروجی مدل های گردش عمومی جو در مقیاس محلی، برای دریافت دیدی جامع نسبت به تغییرات دما در دهه های آینده، سناریوی ترکیبی (Assemble) با لحاظ نمودن وزن هر مدل-سناریو در پیش بینی ها ایجاد گردید.

$$SRE_{Assemble} = \sum_{j=1}^n (T_{i,j} \times W_{i,j}) \quad (6)$$

در این رابطه نیز تعریف واحد اجزاء مانند معادله ۵ می باشد. در ادامه پژوهش، با در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط خروجی مدل ها-سناریوها برای دوره های آینده (۹۹-۲۰۴۱) در مقیاس محلی نیز مشخص گردید که کمترین افزایش دما با کمترین دامنه عدم قطعیت، بر روی نیمه ی جنوب ایران (ایستگاه های بندرعباس و اهواز) و بالعکس بیشترین افزایش دما با بیشترین دامنه عدم قطعیت نیز بر روی نیمه شمالی ایران (ایستگاه های مشهد و تبریز) مشاهده می شود (نگاره ۲).

فرآیند گسسته سازی عددی آنها مرتبط است که سهم این نوع عدم قطعیت به دلیل افزایش کیفیت و دقت مدل ها به تدریج کاهش می یابد. دومین موضوع در عدم قطعیت مربوط به میزان خروجی و انتشار گازهای گلخانه ای است (Covey et al, 2003: 105). به طور کلی این منابع شامل عدم قطعیت مدل های GCM در شبیه سازی متغیرهای اقلیمی، روش های کوچک مقیاس کردن و عدم قطعیت های مربوط به سناریوهای مختلف انتشار می باشند (سادات آشفته، ۱۳۹۱: ۱۵۱). در این پژوهش جهت بررسی عدم قطعیت ناشی از بکارگیری مدل ها-سناریوهای مختلف از روش وزن دهی میانگین های مشاهداتی دما^۱ در قالب رویکرد بیزین^۲ استفاده شده است (برای جزئیات بیشتر رجوع شود به هاشمی عنا و همکاران، ۲۰۱۵).

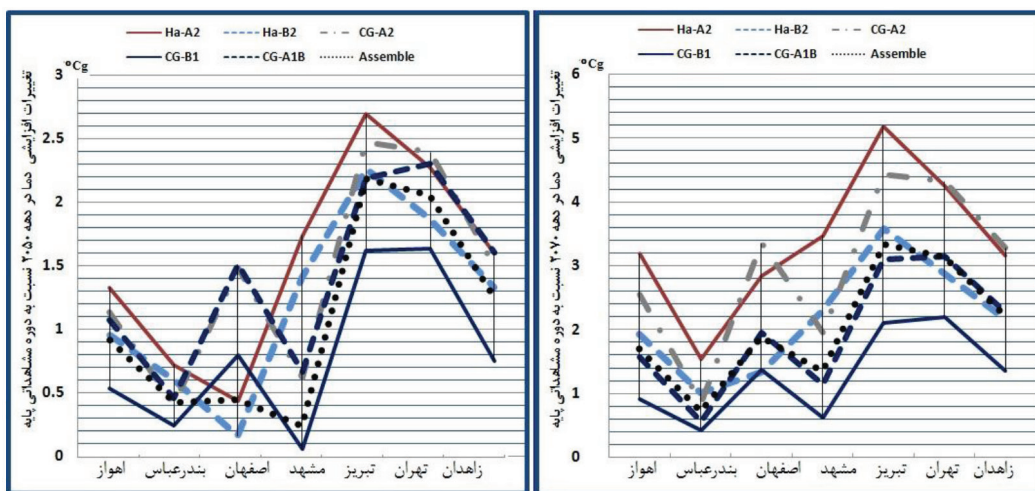
$$W_{i,j} = \frac{1}{\sum_{j=1}^n (1/\Delta T_{i,j})} \quad (5)$$

در این معادله، $W_{i,j}$: وزن داده شده به هر یک از مدل ها (j)، $\Delta T_{i,j}$: اختلاف میانگین دمای شبیه سازی شده دوره آینده از میانگین دمای مشاهداتی دوره پایه در هر روز (i) و n: تعداد مدل ها-سناریوها می باشد. (Hashemi-Ana, 2015: 80)

بدین ترتیب در این پژوهش ابتدا وزن مربوط به توانایی

1- Mean Observed Temperoture Method

2- Bayesian Approach



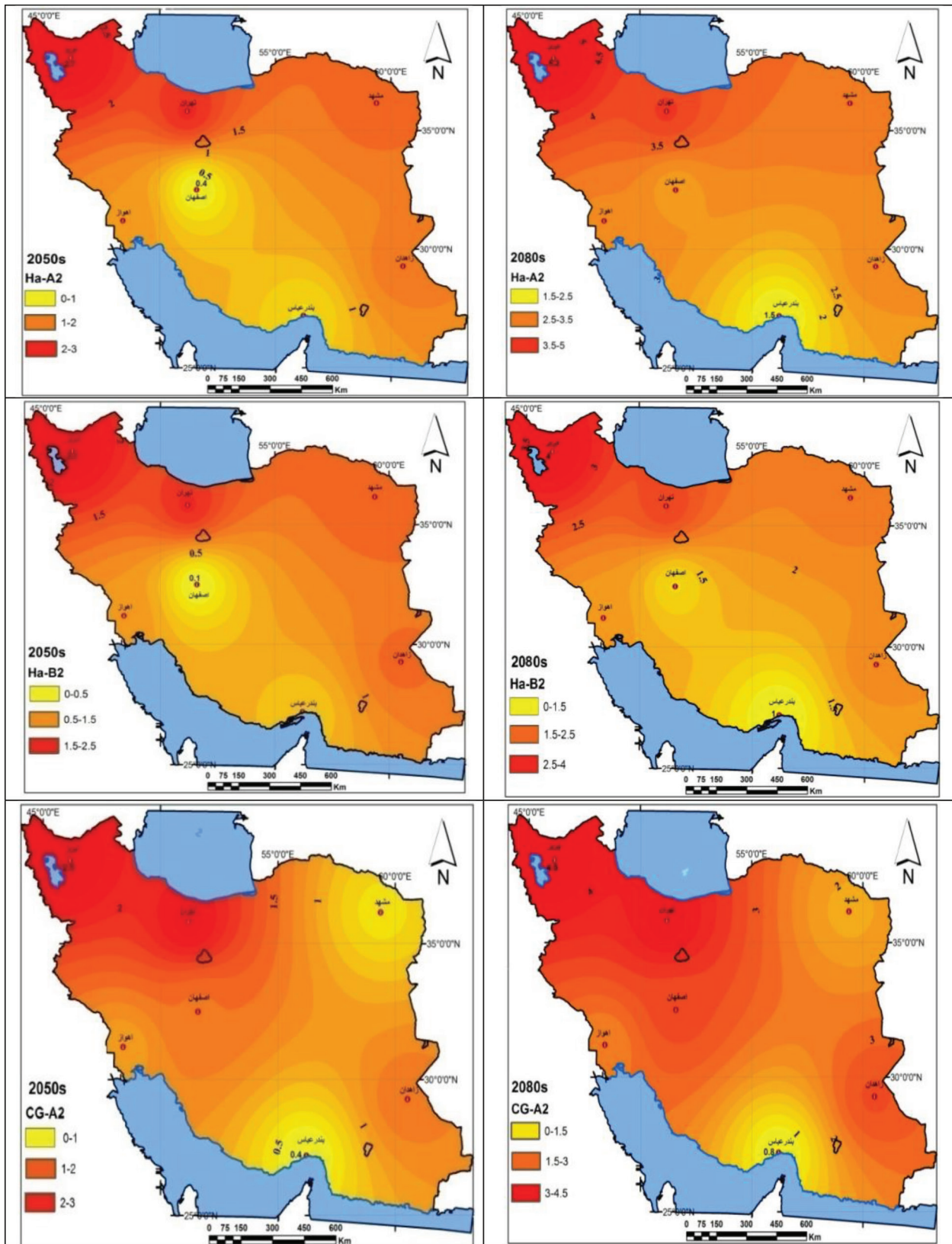
نگاره ۲: دامنه عدم قطعیت مدل-سناریوهای حاصل از شبیه‌سازی آبنمای حداکثر به درجه سانتی‌گراد (مأخذ: محاسبات آماری نگارندگان، ۱۳۹۳)

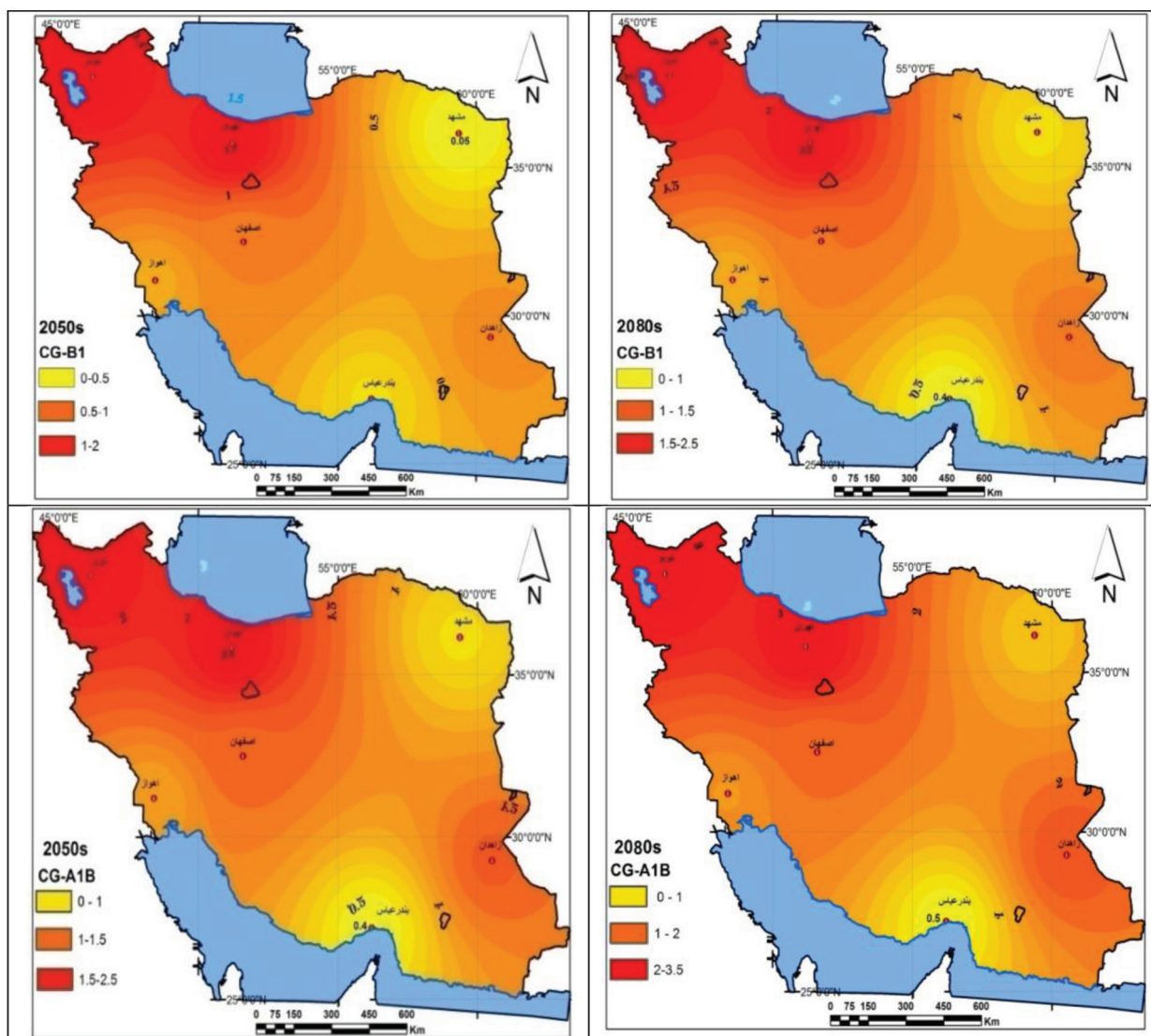
زمانی آبنمای متفاوت است. بدین ترتیب الگوهای پراکنش فضایی تغییرات افزایشی دما بر اساس مدل‌ها-سناریوهای مختلف، در قالب دو دهه‌ی آبنمای (۲۰۵۰ و ۲۰۸۰)، بر روی گستره‌ی ایران نیز مورد مقایسه قرار گرفت (نگاره ۳).

در ابتدا با تحلیل پراکنش تغییرات دمای حداکثری در اواسط قرن حاضر (۷۰-۲۰۴۱) مشخص شد که بر اساس تمامی مدل-سناریوها، دما بطور میانگین از حدود ۰/۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد در گستره‌ی کشور ایران افزایش نشان می‌دهد. همچنین در سراسر دهه‌ی 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. در این رابطه بر اساس سناریوهای مختلف مدل Hadcm3، بیشترین افزایش دما بر روی ایستگاه تبریز واقع در نیمه شمال غربی ایران و بالعکس کمترین افزایش دما بر روی ایستگاه اصفهان و بندرعباس واقع در نیمه‌ی مرکزی و جنوبی ایران مشاهده می‌شود. در صورتی که بر اساس سناریوهای مختلف مدل CGCM3، دامنه تغییرات افزایش دما کمتر بوده و همچنین از لحاظ پراکنش فضایی تغییرات دما، بیشترین افزایش دما بر روی ایستگاه تبریز، آن‌هم با وسعت فضایی گسترده‌تر و بالعکس کمترین

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش پس از ارزیابی توانمندی مدل آماری SDSM، مقادیر آبنمای میانگین دمای حداکثر روزانه بر اساس خروجی‌های در دسترس از دو مدل بزرگ مقیاس Hadcm3 و CGCM3 (T63) بر روی ایستگاه‌های انتخابی از کشور ایران، در مقیاس ایستگاهی ریزمقیاس گردانی شدند. سپس به دلیل وجود تنوع توپوگرافی در پهنه‌ی گسترده‌ی ایران از روش میانبایی معکوس فاصله یا IDW (عباس‌نیا و باعقیده، ۱۳۹۳: ۱۲۲)، برای برآورد و ارزیابی صحیح تغییرات دما در دو دوره‌ی زمانی آبنمای (۷۰-۲۰۴۱ و ۹۹-۲۰۷۱) و ترسیم نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها استفاده گردید. سرانجام تغییرات دما بر اساس هر یک از مدل-سناریوها با لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها در دوره‌های زمانی آبنمای نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) مورد مقایسه قرار گرفت. شایان ذکر است که نتایج برگرفته از مدل ترکیبی (Assemble) بر اساس وزن‌های بدست آمده و لحاظ عدم قطعیت هر یک از مدل-سناریوها، مبین رفتار افزایشی دما در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره‌های آبنمای می‌باشد، که البته میزان این افزایش دما در ایستگاه‌ها و در دوره‌های





نگاره ۳: تغییرات افزایشی رخداد دماهای حداکثر آینده بر روی ایستگاه‌های انتخابی در ایران به درجه سانتی‌گراد
 (مأخذ: مطالعات نگارندگان، ۱۳۹۳)

تفاوتی خاصی دیده نمی‌شود. آنچه که در ارزیابی مقایسه‌ای بین دو دهه مهم است، تغییرات در میزان شدت افزایش دما است. بطوریکه در دهه‌ی ۲۰۸۰ بر دامنه تغییرات افزایشی دما نسبت به دهه‌ی ۲۰۵۰ افزوده شده و شدت این افزایش دما تا حدود ۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. بنابراین بیشترین افزایش دما بر اساس مدل Hadcm3 تحت سناریوی A2 آن‌هم در گوشه‌ی شمال غربی ایران و بالعکس کمترین افزایش دما در نیمه‌ی جنوبی ایران و بر اساس مدل CGCM3 تحت سناریوی B1 مشاهده می‌شود. در یک جمع بندی می‌توان

افزایش دما بر روی ایستگاه بندرعباس در نیمه‌ی جنوبی و سپس بر روی ایستگاه مشهد در نیمه‌ی شمال شرقی ایران مشاهده می‌شود.

همانطور که از ترسیم نقشه‌های پراکنش الگوهای فضایی دما مشخص می‌شود، تغییرات افزایشی دما در دوره‌ی پایانی قرن حاضر (۹۹-۲۰۷۱) نیز دارای رفتار مکانی مشابهی نسبت به دهه‌های میانی قرن حاضر (۷۰-۲۰۴۱) است، به عبارتی، از لحاظ الگوی پراکنش وسعت فضایی تغییرات دمای حداکثر، بین دو دوره‌ی زمانی آینده

در نظر گرفتن عدم قطعیت در خروجی مدل‌ها-سناریوهای مورد استفاده، نتایج حاصل از شبیه‌سازی سناریوی ترکیبی (Assemble) نشان داد که بطور متوسط دامنه تغییرات افزایش دما در ایران برای دهه‌ی ۲۰۵۰ بین ۰/۲ تا ۲/۲ درجه سانتی‌گراد و برای دهه‌ی ۲۰۸۰ بین ۰/۷ تا ۳/۱ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. به عبارتی در تمام ایستگاه‌ها و بر اساس تمام مدل‌ها-سناریوهای مورد استفاده، دمای ایران بطور متوسط در دهه‌های میانی و پایانی قرن حاضر بین ۰/۵ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره‌ی مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۱) افزایش نشان داده است.

همچنین در رابطه با تحلیل الگوی کلی پراکنش فضایی تغییرات افزایشی دما بر اساس خروجی مدل Hadcm3 و تحت تمام سناریوها، نتایج نشان داد که ایستگاه‌های واقع در نواحی مرتفع عرض‌های شمالی‌تر در مقایسه با ایستگاه‌های واقع در نواحی پست و مخصوصاً همجوار با سواحل جنوبی ایران، افزایش دمای بیشتری دارند. این در حالی است که بر اساس خروجی مدل CGCM3 و تحت تمام سناریوها، ایستگاه‌های واقع در نواحی مرتفع نسبت به ایستگاه‌های کم‌ارتفاع و پست ساحلی و یا واقع در خشکی، بیشترین افزایش دما را دارند. بنابراین به نظر می‌رسد، عامل‌های مهم در تغییرات افزایشی دما در دهه‌های آینده به ترتیب اهمیت در سه گروه شامل: ارتفاع، عرض جغرافیایی و رطوبت جو قرار گیرند. بطوری که بر اساس تمام خروجی‌های مدل-سناریوها، ایستگاه‌های واقع شده در نواحی مرتفع عرض‌های شمالی ایران دارای بیشترین افزایش دما بوده‌اند. در این رابطه، عامل همجواری با منابع رطوبتی نیز بیشتر تحت تأثیر عامل عرض جغرافیایی قرار داشته، چرا که کمترین تغییرات افزایشی دما طی دوره‌های آینده، بر روی ایستگاه‌های واقع در نواحی همجوار با سواحل عرض‌های جنوبی ایران مشاهده می‌شود. در حالیکه در نواحی همجوار با سواحل شمالی ایران، بر دامنه تغییرات افزایشی دما افزوده می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد در بین عوامل مذکور، عامل ارتفاع مهم‌ترین پارامتر در تعیین شدت تغییرات مکانی

گفت رفتار افزایشی دما در شبیه‌سازی تغییرات آینده دما بر روی گستره‌ی ایران، بر اساس مدل Hadcm3 نسبت به مدل CGCM3 در سناریوهای مختلف انتشار، بیشتر بوده است. آنچه که در تحلیل پراکنش فضایی تغییرات دما، بر اساس خروجی همه مدل-سناریوها نتیجه گرفته می‌شود، این است که کمترین افزایش دما در ایستگاه‌های کم ارتفاع و پست آن هم واقع در سواحل عرض‌های جنوبی ایران مشاهده خواهد شد و بالعکس در عرض‌های شمالی‌تر و مناطق مرتفع‌تر و کوهستانی ایران، تغییرات افزایشی دما، حداکثری خواهد بود. به طوری که بر روی ایستگاه‌های واقع در سراسر نواحی کم ارتفاع و همجوار با سواحل عرض‌های جنوبی ایران، حداکثر افزایش دما در طی دوره آینده (۹۹-۲۰۴۱) و بر اساس تمام مدل-سناریوها، کمتر از ۲/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. درحالی که بدون لحاظ کردن عامل عرض جغرافیایی، بر روی اکثر نواحی غیر ساحلی حداقل افزایش دما در سراسر دوره آینده (۹۹-۲۰۴۱) به بیش از ۲/۵ درجه سانتی‌گراد نیز خواهد رسید. در این رابطه به نظر می‌رسد، عدم افزایش شدید میانگین دما در ایستگاه‌های ساحلی ممکن است ناشی از اثرات تعدیلی دریا و رطوبت سواحل در برابر افزایش شدید دما در مقایسه با نواحی واقع در خشکی باشد.

۴- نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم و افزایش دمای هوا مخصوصاً دماهای حدی یکی از مسائل مهم زیست محیطی بشر به حساب می‌آید که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی را به خود اختصاص داده است. بنابراین در این پژوهش برای شناخت و ارزیابی مقایسه‌ای اثرات تغییر اقلیم بر رخداد دمای حداکثر روزانه بر روی تعداد ۷ ایستگاه سینوپتیک با پراکنش جغرافیایی مناسب در گستره‌ی کشور ایران طی دو دوره‌ی آینده (۷۰-۲۰۴۱ و ۹۹-۲۰۷۱) سعی شده است تا با استفاده از مدل آماری SDSM، داده‌های دو مدل بزرگ مقیاس جوئی (Hadcm3 و T63-CGCM3) تحت سناریوهای موجود (A2، A1B، B1 و B2)، ریزمقیاس‌نمایی شوند. بدین ترتیب با

مدل‌های بزرگ مقیاس موجود بر روی گستره‌ی کشور ایران، بعنوان ورودی فرایند ریزمقیاس گردانی و همچنین سایر راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان در تکمیل مراحل مختلف پژوهش، ابراز می‌دارند.

منابع و مأخذ

- ۱- بابائیان و نجفی نیک، ایمان و زهرا (۱۳۸۵)، معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳، مجله نیوار، شماره ۶۲ و ۶۳، صص ۶۹-۴۹.
- ۲- سادات آشفته و مساح بوانی؛ پریسا و علیرضا (۱۳۸۹)، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب؛ مطالعه موردی حوضه قرنفو، آذربایجان شرقی، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، هیدرولوژی، هیدرولیک و جنبه‌های مختلف منابع آب ایران، شرکت آب منطقه‌ای کرمانشاه، صص ۱۶۱-۱۴۷.
- ۳- شیرغلامی و قهرمان؛ هادی و بیژن (۱۳۸۴)، بررسی روند تغییرات دمای متوسط سالانه در ایران، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱، صص ۲۳-۹.
- ۴- صداقت کردار و فتاحی؛ عبدالله و ابراهیم (۱۳۸۷)، شاخص‌های پیش‌آگاهی خشکسالی در ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۱، صص ۷۶-۵۹.
- ۵- عباس نیا و باعقیده؛ محسن و محمد (۱۳۹۴)، ناحیه بندی آب وهوایی استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از تکنیک‌های نوین آماری، مجله پژوهش آب ایران، جلد ۹، شماره ۲، پیاپی ۱۷، صص ۱۲۱-۱۲۶.
- ۶- علیجانی، بهلول (۱۳۸۵)، آب وهوای ایران، چاپ هفتم، انتشارات پیام نور، تهران، ۲۲۱ص.
- ۷- فلاح قالهری، غلامعباس (۱۳۹۳)، ریز مقیاس نمای آماری داده‌های اقلیمی، چاپ اول، انتشارات سخن گستر، مشهد، ۱۵۲ص.
- ۸- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۹۰)، آب و هوای ایران، چاپ اول، انتشارات شریعه توس، مشهد، ۲۸۸ص.

دمای ایران طی دوره‌های آینده خواهد بود، چرا که بر روی ایستگاه تبریز واقع در ناحیه‌ی کوهستانی و همچنین بر روی ایستگاه مشهد واقع در ناحیه‌ی کم ارتفاع و غیرکوهستانی محصور شده در خشکی‌های مناطق شمالی ایران، الگوی پراکنش فضایی متفاوتی را بر اساس شبیه‌سازهای آینده‌ی دو مدل Hadcm3 و CGCM3 نشان داده‌اند. بطوریکه بر اساس تمام سناریوها در مدل Hadcm3، الگوی یکنواخت میزان افزایش دما بر روی ایستگاه مشهد واقع در ناحیه شمال شرق ایران به تبعیت از ارتفاع و رطوبت کمتر آن نسبت به نواحی خشک و هم عرض کوهستانی، بطور میانگین بین ۱/۵ تا ۲ درجه سانتی گراد قرار دارد، این در حالی است که بر اساس مدل CGCM3، بطور میانگین میزان این افزایش دما بر روی ایستگاه مشهد واقع در ناحیه شمال شرق ایران تنها به تبعیت از ارتفاع کمتر آن (نه عامل عرض جغرافیایی و یا عامل رطوبت)، و در الگوی فضایی غیر یکنواختی نسبت به نواحی همجوار، بین ۰/۵ تا ۱ درجه سانتی گراد قرار دارد. ولی آنچه که می‌توان بطور کلی نتیجه‌گیری نمود این است که رفتار افزایشی دما بر اساس شبیه‌سازی تغییرات دمای حداکثر بر روی ۷ ایستگاه سینوپتیک با پراکنش جغرافیایی مناسب در گستره‌ی کشور ایران، در مدل Hadcm3 نسبت به مدل CGCM3 تحت سناریوهای مختلف انتشار، شدیدتر ولی یکنواخت تر بوده است. همچنین کمترین افزایش دما با کمترین دامنه عدم قطعیت نیز بر روی ایستگاه‌های بندرعباس و اهواز در نیمه جنوبی ایران و بالعکس بیشترین افزایش دما با بیشترین دامنه عدم قطعیت نیز بر روی ایستگاه‌های مشهد و تبریز در نیمه شمالی ایران مشاهده شده است.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب قدردانی و تشکر خویش را از جناب دکتر ویل بای^۱ استاد دانشگاه لافبورگ انگلیس و سازنده نرم افزار SDSM، در ارتباط با تهیه و ارسال داده‌های روزانه

1- Professor Rob Wilby, Department of Geography, Loughborough University, UK.

- (2005). An application of the statistical downscaling model (SDSM) to simulate climatic data for streamflow modelling in Québec. *Canadian Water Resources Journal*, .314-297 ,(4)30
- 21- Hodgkins, G. A., James, I. C., & Huntington, T. G. (2002). Historical changes in lake ice out dates as indicators of climate change in New England, 2000–1850. *International Journal of Climatology*, .1827-1819 ,(15)22
- 22- Horton, B. (1995). Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures. *Atmospheric Research*, .117-101 ,(1)37
- 23- Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, C., Wang, B., & Yao, J. (2011). Estimation of future precipitation change in the Yangtze River basin by using statistical downscaling method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, .792-781 ,(6)25
- 24- Hashemi-Ana, S. K., Khosravi, M., & Tavousi, T. (2015). Validation of AOGCMs Capabilities for Simulation Length of Dry Spells under the Climate Change in Southwestern Area of Iran. *Open Journal of Air Pollution*, .76 ,(02)4
- 25- Islam, S., Rehman, N., & 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*, .45-35 ,(2-1)94
- 26- IPCC. (2001). *Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group 1 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.
- 27- 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.
- 28- 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.
- 29- Jiang, J. M., & You, X. T. (1996). Where and when did an abrupt climatic change occur in China during the last 43 years?. *Theoretical and Applied Climatology*, .39-33 ,(4-1)55
- 30- Jones, P. D., & Moberg, A. (2003). Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *Journal of*
- ۹- مسعودیان، سید ابوالفضل (۱۳۸۴)، بررسی روند دمای ایران در نیم سده‌ی گذشته، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۴، صص ۴۵-۲۹.
- ۱۰- مجرد و بساطی؛ فیروز و سعید (۱۳۹۳)، واکاوی تغییرات زمانی و مکانی دماهای حداکثر در ایران، مجله مدرس علوم انسانی- برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۸، شماره ۲، صص ۱۵۲-۱۲۹.
- 11- Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Davidson, O. (2007). *Climate change 2007: synthesis report. Summary for policymakers*. In *Climate change 2007: synthesis report. Summary for policymakers*. IPCC.
- 12- Brázdil, R., Budikova, M., Faško, P., & Lapin, M. (1995). Fluctuation of maximum and minimum air temperatures in the Czech and the Slovak Republics. *Atmospheric research*, .65-53 ,(1)37
- 13- Chung, Y. S., & Yoon, M. B. (2000). Interpretation of recent temperature and precipitation trends observed in Korea. *Theoretical and Applied Climatology*, .180-171 ,(4-3)67
- 14- Chu, J. T., Xia, J., Xu, C. Y., & Singh, V. P. (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, .161-149 ,(2-1)99
- 15- Covey, C., AchutaRao, K. M., Cubasch, U., Jones, P., Lambert, S. J., Mann, M. E., ... & Taylor, K. E. (2003). An overview of results from the Coupled Model Intercomparison Project. *Global and Planetary Change*, .133-103 ,(1)37
- 16- Dracup, J. A., & Vicuna, S. (2005, May). An overview of hydrology and water resources studies on climate change: the California experience. In *World Water Congress* (pp. .19-15
- 17- Elagib, N. A., & Abdu, A. S. A. (2010). Development of temperatures in the Kingdom of Bahrain from 1947 to 2005. *Theoretical and applied climatology*, ,(4-3)101 .279-269
- 18- Gemmer, M., Becker, S., & Jiang, T. (2004). Observed monthly precipitation trends in China 2002–1951. *Theoretical and applied climatology*, .45-39 ,(2-1)77
- 19- Gu, H., Wang, G., Yu, Z., & Mei, R. (2012). Assessing future climate changes and extreme indicators in east and south Asia using the RegCM4 regional climate model. *Climatic change*, .317-301 ,(2)114
- 20- Gagnon, S., Singh, B., Rousselle, J., & Roy, L.

- precipitation climatology. *Clim. Res.*, 41-31 ,(1)38
- 44- Semenov, M. A., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts. *Climate research (Open Access for articles 4 years old and older)*, 1 ,(1)41
- 45- Toros, H. (2012). Spatio temporal variation of daily extreme temperatures over Turkey. *International Journal of Climatology*, 1055-1047 ,(7)32
- 46- Tonkaz, T., Çetin, M., & Tülüçü, K. (2007). The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi-arid region, Turkey. *Climatic Change*, 209-195 ,(2-1)82
- 47- Türkes, M., Sümer, U. M., & Kiliç, G. (1996). Observed changes in maximum and minimum temperatures in Turkey. *International journal of climatology*, 477-463 ,(4)16
- 48- Türkeş, M., Sümer, U. M., & Kiliç, G. (1995). Variations and trends in annual mean air temperatures in Turkey with respect to climatic variability. *International Journal of Climatology*, 569-557 ,(5)15
- 49- Tabari, H., & Talaei, P. H. (2011). Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*, 10-1 ,(1)79
- 50- Zhang, Q., Xu, C. Y., & 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*, 99-89 ,(2-1)98
- 51- Whan, K., Alexander, L. V., Imielska, A., McGree, S., Jones, D., Ene, E., ... & Vaimene, M. (2014). Trends and variability of temperature extremes in the tropical Western Pacific. *International Journal of Climatology*, 2603-2585 ,(8)34
- 52- Wilby, R. L., Dawson, C. W., & Barrow, E. M. (2002). SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 157-145 ,(2)17
- 53- Wilby, R. L., & Dawson, C. W. (2013). The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*, 1719-1707 ,(7)33
- 54- Wang, X., Yang, T., Shao, Q., Acharya, K., Wang, W., & Yu, Z. (2012). Statistical downscaling of extremes of precipitation and temperature and construction of their future scenarios in an elevated and cold zone. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 418-405 ,(3)26
- 55- Yue, S., & Hashino, M. (2003). Temperature trends in Japan: 1996–1900. *Theoretical and Applied Climatology*, 27-15 ,(2-1)75
- Climate, 223-206 ,(2)16
- 31- Jones, P. D. (1994). Hemispheric surface air temperature variations: a reanalysis and an update to 1993. *Journal of Climate*, 1802-1794 ,(11)7
- 32- Jacovides, C. P. (1998). Reply to comment on “Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models”. *Agricultural Water Management*, 97-95 ,(1)37.
- 33- Kadioğlu, M., Şen, Z., & Gültekin, L. (2001). Variations and trends in Turkish seasonal heating and cooling degree-days. *Climatic change*, 223-209 ,(2-1)49
- 34- Kumar, K. R., & Hingane, L. S. (1988). Long-term variations of surface air temperature at major industrial cities of India. *Climatic Change*, 307-287 ,(3)13
- 35- Mahmood, R., & 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*, 44-27 ,(2-1)113
- 36- Mahmood, R., & 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*, 66-56 ,5
- 37- Nasri, M., & Modarres, R. (2009). Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran. *International journal of climatology*, 1438-1430 ,(10)29
- 38- Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., & Fischer, G. (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 67-53 ,(1)14
- 39- Revadekar, J. V., Kothawale, D. R., Patwardhan, S. K., Pant, G. B., & Kumar, K. R. (2012). About the observed and future changes in temperature extremes over India. *Natural hazards*, 1155-1133 ,(3)60
- 40- Rahmstorf, S., & Ganopolski, A. (1999). Long-term global warming scenarios computed with an efficient coupled climate model. *Climatic change*, 367-353 ,(2)43
- 41- Sonali, P., & Kumar, D. N. (2013). Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. *Journal of Hydrology*, 227-212 ,476
- 42- Stern, D. I., & Kaufmann, R. K. (2000). Detecting a global warming signal in hemispheric temperature series: A structural time series analysis. *Climatic Change*, 411 ,(4)47 .438
- 43- Salon, S., Cossarini, G., Libralato, S., Gao, X., Solidoro, C., & Giorgi, F. (2008). Downscaling experiment for the Venice lagoon. I. Validation of the present-day

