

۱۹۷۹ افزایش خواهد یافت. که شدت این افزایش دما در جبهه جنوبی بیشتر از شمالی خواهد بود. نتایج حاصل از تعیین اقلیم به روش دومارتن نشان داد که در جبهه شمالی اقلیم در ایستگاه‌های بابلسر، رامسر و رشت نسبت به اقلیم مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ در دوره‌های آتی تغییری نخواهد کرد. در ایستگاه گرگان در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت سناریو A2 اقلیم از مدیترانه‌ای به نیمه خشک تغییر خواهد کرد. و در جبهه جنوبی در ایستگاه تهران در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تحت سناریو A2 اقلیم از نیمه خشک به خشک و در ایستگاه زنجان در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تحت سناریو A2 اقلیم از نیمه خشک به مدیترانه‌ای و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ از اقلیم مدیترانه‌ای دوباره به اقلیم نیمه‌خشک تغییر خواهد کرد. می‌توان با صحت بالا از این داده‌های شبیه‌سازی شده جهت آینده‌نگری مناسبتر از شرایط آب‌وهوایی در دوره‌های آتی استفاده کرد و به کمک آن مدیریت‌های کلان آتی را در زمینه‌های بهره‌وری مناسب‌تر از منابع و به خصوص منابع آبی ارتقاء بخشید.

کلید واژه‌ها: دومارتن، تغییر اقلیم، پیش‌بینی، ریزمقیاس آماری، SDSM

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین شده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این پدیده می‌تواند بر بخشهای مختلف اعم از منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، بهداشت، صنعت و اقتصاد اثرات منفی داشته باشد [۱] و [۸]. اقلیم کره زمین در طول تاریخ همواره در حال تغییر بوده، با شروع انقلاب صنعتی نقش بشر در تغییرات اقلیمی افزایش پیدا کرد. این امر به طور عمده به علت افزایش مصرف سوختهای فسیلی، شهرنشینی، جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی می‌باشد [۱۹] و [۱۱]. تغییر اقلیم با نوسانات اقلیمی تفاوت علمی دارد. نوسانات اقلیمی دوره‌های است و انحرافات پارامترهای اقلیمی از میانگین را بیان می‌کند و در دوره‌های زمانی مختلف می‌تواند اتفاق بیفتد، ولی تغییر اقلیم نوسان کلی و گسترده در آب‌وهوای یک منطقه است؛ در حال حاضر روند گرم شدن دمای کره زمین را بخشی از تغییر اقلیم قلمداد می‌کنند [۹]. برای پیش‌بینی شرایط آینده، در بیشتر تحقیقات از داده‌های

مدل‌سازی اقلیم و مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در جبهه شمالی و جنوبی البرز با استفاده از مدل SDSM

علی دسترنج^۱، علی شهبازی^۲، محسن محسنی ساروی^۳، ابوطالب صالح‌نسیب^۴، شیرکو جعفری^۵

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۱

چکیده:

در این تحقیق ایستگاه‌های تهران، زنجان و قزوین در جبهه جنوبی و ایستگاه‌های رشت، رامسر، بابلسر و گرگان در جبهه شمالی البرز به منظور پیش‌بینی مقادیر بارش، درجه حرارت میانگین، حداکثر و حداقل و تعیین اقلیم آینده با کاربرد مدل‌های گردش عمومی‌جو و شبیه‌سازی اقلیمی در دوره‌های ۲۰۹۹-۲۰۷۰، ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تهیه سناریوهای اقلیمی در آینده از خروجی‌های مدل‌گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 و B2 و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل SDSM استفاده گردید و در ادامه با استفاده از روش دومارتن اقلیم آینده تعیین گردید. هدف اصلی مقایسه تغییرات در دو جبهه شمالی و جنوبی البرز در شرایط تغییر اقلیم می‌باشد. عملکرد مدل در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بر اساس شاخص ضریب شخیص (R2) و جذر میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) ارزیابی شد. نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی نشان داد شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی توسط مدل با دقت بالایی انجام گرفته است. در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه بارش در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ در مقایسه با دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ دارای یک روند افزایشی می‌باشد ولی شدت افزایش در جبهه‌های جنوبی بیشتر از شمالی خواهد بود. درجه حرارت حداکثر، حداقل و میانگین در دوره‌های ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و ۲۰۴۹-۲۰۲۰ نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه هرمزگان
Dastranj66@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳- استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری جنگلداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۵- دانشجوی دکتری محیط زیست دانشگاه تهران

مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) که معمولاً با سناریوهای پخش تعریف شده و توسط هیئت بیندول تغییر اقلیم (IPCC) اجرا شده‌اند، استفاده می‌شود [۲۰]. یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آنها به لحاظ مکانی نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM وجود دارد که به این روش‌ها، کوچک مقیاس کردن (downscaling) گفته می‌شود. برای ریزمقیاس کردن معمولاً از دو سری مدل استفاده می‌شود:

۱- مدل‌های آماری (Statistical Downscaling) ۲- مدل‌های دینامیکی (Dynamical downscaling). استفاده از مدل‌های دینامیکی برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو با محدودیت زمانی اجرای مدل مواجه است [۳]. اما در روش آماری و در عرض چند ثانیه می‌توان ریزمقیاس‌نمایی آماری را برای یک سایت یا ایستگاه مشخص برای چندین ده سال انجام داد. روش‌های آماری در مقایسه با روش‌های دینامیکی، خصوصاً در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب‌وهوایی مورد نیاز باشد، از مزیت و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است. از جمله مدل‌های که در روش آماری استفاده می‌شوند می‌توان به SDSM, LARS-WG, GEM, USCLIMATE WGEN اشاره کرد. [۳]

پرویز و همکاران [۲۶] با استفاده از خروجی سناریوی A1B و A2 مدل CGCM3.1 و ریزمقیاس‌نمایی آماری با استفاده از مدل SDSM نوسانات و مقادیر بارش را برای گنگر و براهماپوترا شبیه‌سازی کردند و افزایش بارش را برای هر دو منطقه گزارش نمودند. در تحقیقی محمود و همکاران [۲۱] در پاکستان با استفاده از خروجی سناریوی A2 و B2 و با استفاده از مدل SDSM دمای حداکثر و حداقل را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که شدت و فرکانس درجه حرارت خیلی گرم به احتمال زیاد افزایش و شدت و فرکانس درجه حرارت‌های خیلی سرد در آینده کاهش می‌یابد. ترامبلی و همکاران [۲۷] طی تحقیقی به بررسی اثر تغییر اقلیم روی واقعه رگبار در Morocco پرداختند. آنها در این تحقیق از سناریوی A1B و ۱۵ مدل RCM استفاده کردند. نتایج نشان داد در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بارش ۱۲ درصد کاهش خواهد یافت. وانو و همکاران [۲۸] با اجرای ۲۰ مدل اقلیمی منتشر شده توسط IPCC در حوزه آبریز رودخانه یاکیما در آمریکا به این نتیجه رسیدند که با تغییرات اقلیمی که در قرن ۲۱ اتفاق می‌افتد دبی رودخانه به مقدار قابل توجهی کاهش خواهد یافت. چنگ و همکاران [۵] متغیرهای هواشناسی مختلف را با استفاده از روش‌های کوچک مقیاس‌سازی آماری سناریوهای اقلیمی روزانه و ساعتی سه مدل گردش عمومی در بخش‌های مرکزی-جنوبی کانادا را شبیه‌سازی نمودند. اسپچمیدل و همکاران [۲۵]، ویتروال و همکاران [۲۹] و اکستروم و همکاران [۷] در مطالعات خود به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی با استفاده از

مدل‌های گردش عمومی جو پرداختند. بوسیوک و همکاران [۴] در تحقیقی شبیه‌سازی‌های بارش زمستانی رومانی را مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. در این تحقیق برای تعیین تغییرات ممکن در بارش، روش کوچک مقیاس‌سازی آماری و خروجی مدل گردش عمومی NACAR و خروجی NCEP، تحت سناریوی A2 بررسی و ارزیابی قرار گرفت. دوستی و همکاران [۶] در تحقیقی به بررسی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبخیز تمر در استان گلستان با استفاده از مدل HADCM3 تحت سناریوی A2 و A1B و کاربرد مدل LARS-WG پرداختند. نتایج نشان داد که دما و بارش تحت سناریوی A2 به ترتیب ۲/۴۸ درجه و ۱/۶٪ و تحت سناریوی A1B به ترتیب ۲/۴۳ درجه و ۲٪ افزایش خواهد یافت. حقلطب و همکاران [۸] در تحقیقی به منظور مدل‌سازی اقلیمی استان‌های تهران و مازندران از مدل LARS-WG استفاده کردند. رضایی‌زمان و همکاران [۲۲] در تحقیقی با استفاده از داده‌های تغییر اقلیم از مدل HadCM3 (سناریوهای A2 و B2) تغییرات دما و بارش را در دوره‌های آتی در حوضه سیمینه رود بررسی کردند. جهت ریزمقیاس کردن داده‌ها از ترکیب مدل SDSM و روش TOPSIS استفاده شد. آبکار و همکاران [۲] به بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک پرداختند. به منظور ارزیابی مدل از معیار میانگین خطای مطلق استفاده شد و با استفاده از دو مدل گردش عمومی CGCM1 و HadCM3 تحت دو سناریو A2 و B2 شاخص‌های دمایی (حداکثر، حداقل و متوسط دمای سالانه) تا سال ۲۱۰۰ شبیه‌سازی شد. نتایج حاصله از این تحقیق نشان داد، که مدل مذکور توانایی لازم جهت شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی را دارد. از دیگر محققانی که در داخل کشور به بررسی تغییر اقلیم پرداختند می‌توان صمدینقاب و همکاران [۲۴]، مدرسی و عراقی‌نژاد [۱۸]، خزانه‌داری و همکاران [۱۳]، خورشیددوست و رحیمی [۱۴]، بابائیان و همکاران [۳] و مساح بوانی و مرید [۱۶] را نام برد.

در این تحقیق ایستگاه‌های تهران، زنجان و قزوین در جبهه جنوبی و ایستگاه‌های رشت، رامسر، بابلسر و گرگان در جبهه شمالی البرز به دلیل داشتن داده‌های بلند مدت به منظور پیش‌بینی مقادیر بارش، درجه حرارت میانگین، حداکثر و حداقل و تعیین اقلیم آینده با کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو و شبیه‌سازی اقلیمی در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۷۰-۲۰۸۹ و دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تهیه سناریوهای اقلیمی در آینده از خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوی انتشار A2 و B2 و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل SDSM استفاده گردید و در ادامه با استفاده از روش دومرتن اقلیم آینده تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

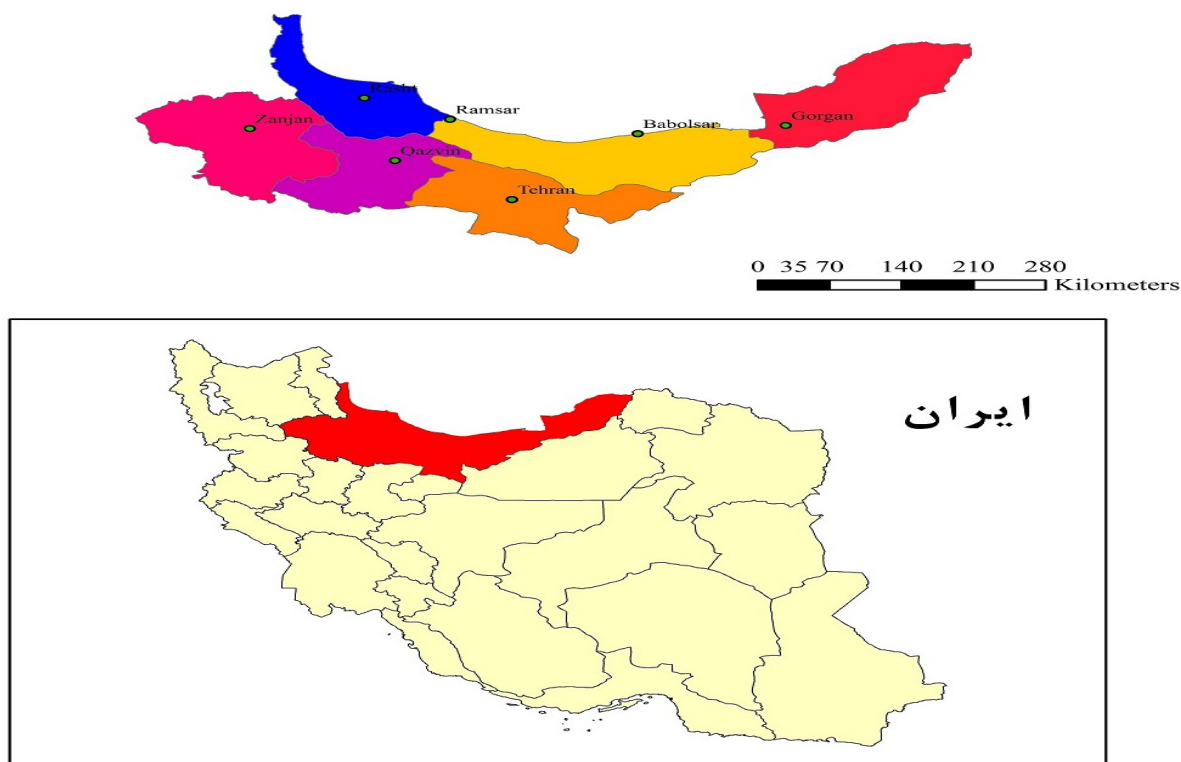
در این مطالعه به منظور مقایسه بررسی روند تغییر اقلیم در

جدول ۱- مختصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. studied stations Coordinate

سال تاسیس	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی (درجه - دقیقه)	طول جغرافیایی (درجه - دقیقه)	نام ایستگاه	Station name
Established year	Elevation (m)	Latitude (Degree)	Longitude (Degree)		
1959	1279.2	36° 15'	50° 03'	قزوین	Ghazvin
1951	1190.8	35° 41'	51° 19'	تهران	Tehran
1955	1663	36° 41'	48° 29'	زنجان	zanjan
1956	36.7	37° 12'	49° 39'	رشت	Rasht
1955	20-	36° 54'	50° 40'	رامسر	Ramsar
1951	21-	36° 43'	52° 39'	بابلسر	Babolsar
1952	13.3	36° 51'	54° 16'	گرگان	Gorgan

منبع: سازمان هواشناسی کشور ۱۳۹۳



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

Fig 1. studied position of the stations

ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز از داده‌های بارش، دمای میانگین، حداکثر و حداقل هفت ایستگاه سینوپتیک استفاده شد. که ایستگاه‌های رشت، بابلسر، رامسر و گرگان در نیمه شمالی و ایستگاه‌های زنجان، تهران و قزوین در نیمه جنوبی قرار دارند. در جدول (۱) مشخصات جغرافیایی این ایستگاه‌ها آورده شده است. و شکل (۱) موقعیت این

معرفی مدل SDSM1

در این پژوهش در روش کوچک مقیاس سازی آماری از نرم افزار

1- Statistical Downscaling Model

Table 2. The comparison of evaluation indexes for validation of Tehran and Rasht station

صحت‌سنجی Validation		ایستگاه Station	
شاخص	Index	RMSE	R ²
بارش	Precipitation	6.54	0.65
درجه حرارت حداکثر	Max Temperature	0.82	0.90
درجه حرارت حداقل	Min Temperature	0.87	0.91
درجه حرارت میانگین	Mean Temperature	1.1	0.91
بارش	Precipitation	5.54	0.62
درجه حرارت حداکثر	Max Temperature	0.96	0.93
درجه حرارت حداقل	Min Temperature	0.87	0.93
درجه حرارت میانگین	Mean Temperature	2.1	0.92

حداکثر، حداقل، میانگین و بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه در یک دوره ۳۰ ساله (۲۰۰۸-۱۹۷۹) استخراج شد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل SDSM شبیه‌سازی اقلیمی برای پارامترهای بارش، دمای حداکثر، حداقل و میانگین در دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ و دوره‌های آتی ۲۰۴۹ - ۲۰۲۰ و ۲۰۹۹ - ۲۰۷۰ انجام گرفت. تولید داده‌های SDSM به طور کلی در شش مرحله صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای پیش‌کننده غالب، کالیبراسیون مدل، تولید داده‌های تاریخی و صحت‌سنجی مدل، آنالیز داده‌ها و تولید سناریوهای اقلیمی آینده. بر این اساس برای اجرای مدل پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها، دوره ۳۰ ساله (۲۰۰۸-۱۹۷۹) به عنوان دوره پایه برای ورود به مدل انتخاب شد. بعد از کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها متغیرهای پیش‌بینی‌کننده غالب از بین متغیرهای NCEP انتخاب گردید. سپس با معرفی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده و پیش‌بینی‌شونده به مدل، کالیبراسیون مدل انجام گرفت. در مرحله بعد عملکرد مدل در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بر اساس شاخص ضریب تشخیص (R2) و جذر میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) ارزیابی شده‌است (جدول (۲) و شکل (۱)). پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی (HadCM3)، (سناریوهای A2 و B2) برای دوره‌های سی ساله ۲۰۰۸-۱۹۷۹، ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی و با دوره سی ساله مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ مقایسه گردیدند. سپس به کمک روش دومارتن اقلیم آینده برای دوره‌های آینده مشخص گردید. و در نهایت روند تغییرات اقلیم در دوره‌های آینده در جبهه‌های شمالی و جنوبی البرز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

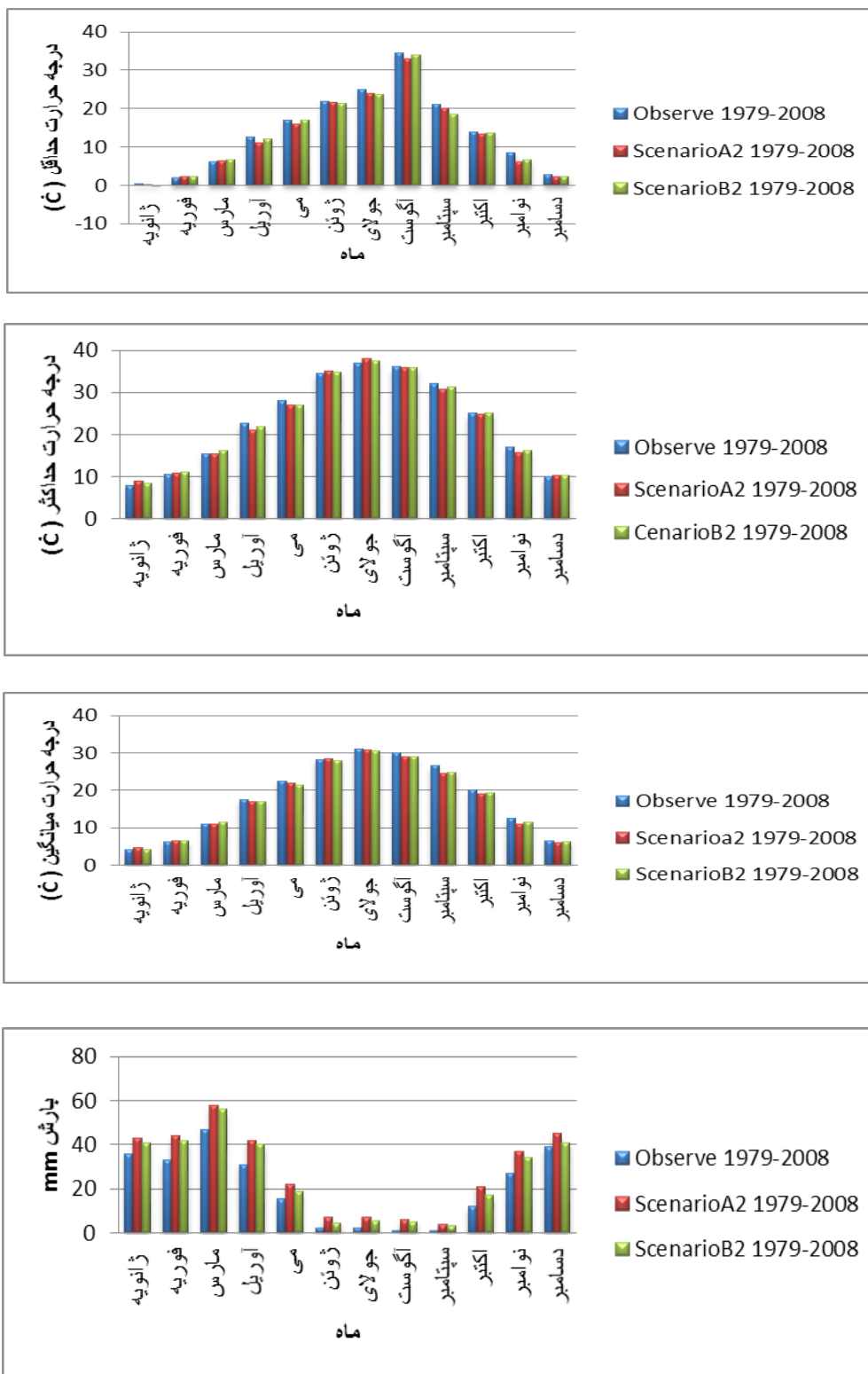
ارزیابی مدل و اطمینان از صحت آن از طریق مقایسه بین داده‌های گذشته با داده‌های تولید شده توسط مدل در دوره پایه (۲۰۰۸ - ۱۹۷۹) انجام گرفت. برای این منظور، ابتدا مدل برای دوره پایه اجرا گردید، سپس عملکرد مدل در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بر اساس شاخص ضریب تشخیص (R2) و جذر میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) ارزیابی شد. که نتایج در جدول (۲) نشان داده شده است. در این بخش با توجه زیاد بودن جداول و اشکال فقط نتایج مربوط به تهران و رشت آورده شده است.

همانطور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود مقادیر پارامترهای اقلیمی با دقت خوبی شبیه‌سازی شده‌اند. به خصوص برای درجه حرارت میانگین، حداکثر و حداقل که داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل تحت سناریوی A2 و B2 بسیار به مقادیر داده‌های مشاهداتی نزدیک بوده و دارای اختلاف بسیار نامحسوسی می‌باشند.

SDSM4.2.9 [۳۱] برای بررسی تغییرات دما و بارش در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. مدل کوچک مقیاس‌سازی SDSM از اولین ابزارهای کمکی برای ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم محلی می‌باشد، که توسط ویلبای و داوسون [۳۰] در انگلستان توسعه یافت. این مدل بر اساس داده‌های روزانه اقلیم محلی (دما، بارش) و داده‌های بزرگ مقیاس ناحیه‌ای NCEP1 تنظیم می‌شود و پس از آن با استفاده از متغیرهای بزرگ مقیاس جوی ناشی شده از مدل‌های اقلیم جهانی؛ آب و هوای روزانه محلی، برای دوره‌های پایه و آینده شبیه‌سازی می‌شوند. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب‌وهوا و مدل رگرسیون است [۳۱]. برای بررسی و ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم در آینده نیازمند یک دوره مرجع به عنوان دوره پایه می‌باشیم. در این مدل ابتدا روابط بین پیش‌بینی‌کننده‌ها (خروجی مدل‌های گردش عمومی جو) و پیش‌بینی‌شونده‌ها (داده‌های تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی) مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد و روابط تجربی بین آنها تعیین می‌شود و به کاربر اعلام می‌گردد.

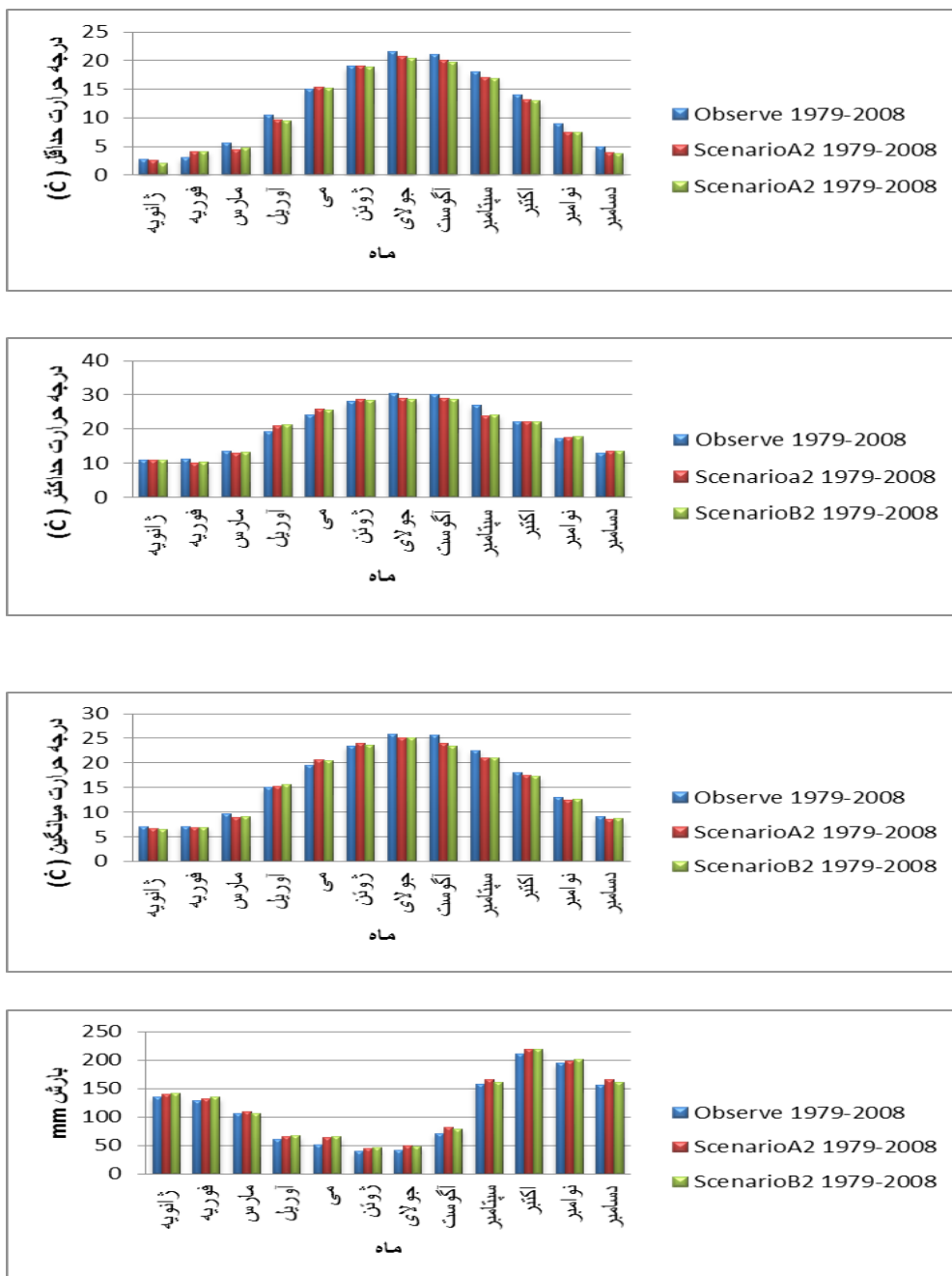
روش کار

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی اقلیمی در دوره‌های آینده از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک تهران، زنجان، قزوین، رشت، رامسر، بابلسر و گرگان استفاده شد. با توجه به معیار توصیه شده توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) که حداقل باید یک دوره سی ساله به منزله دوره پایه در نظر گرفته شود [۶]، بدین منظور داده‌های دمای



شکل ۲- ارزیابی صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی پارامترهای بارندگی، درجه حرارت حداکثر، حداقل و میانگین برای ایستگاه تهران در دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸

Fig 2 . Evaluation of the model validity in predicting precipitation ,maximum ,minimum and average temperature parameters for the period of observation 1979-2008 in Tehran station



شکل ۳ - ارزیابی صحت‌سنجی مدل در پیش‌بینی پارامترهای بارندگی، درجه حرارت حداکثر، حداقل و میانگین برای ایستگاه رشت در دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹

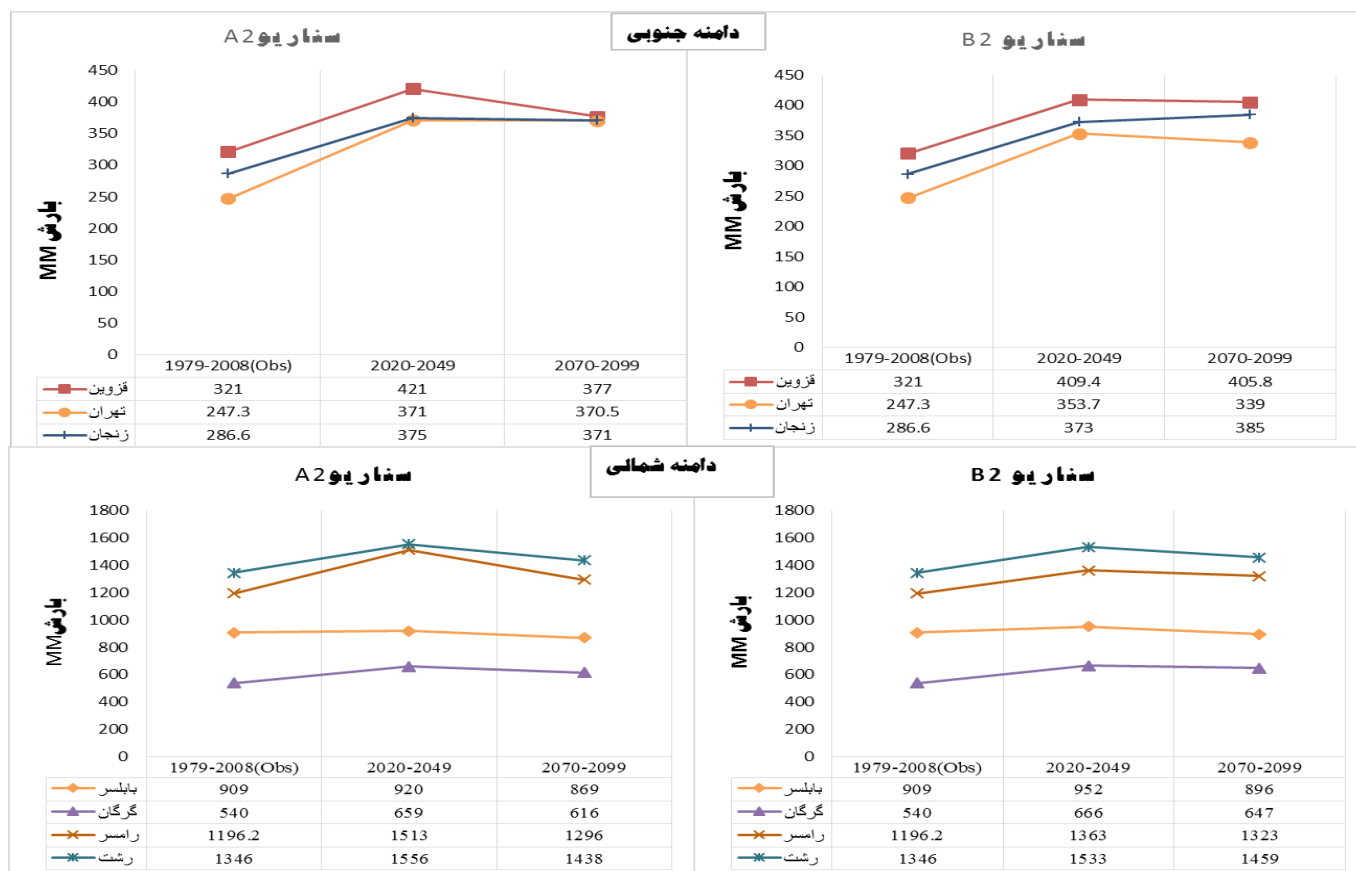
Fig 3. Evaluation of the model validity in predicting precipitation ,maximum ,minimum and average temperature parameters for the period of observation 1979-2008 in Rasht station

همکاران (۱۳۹۳) [۹] مطابقت دارد. شکل (۲) و (۳) مقایسه نتایج حاصل از مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی دمای حداقل، حداکثر، میانگین و بارش میانگین را در ایستگاه تهران و رشت نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مدل به خوبی توانسته روند تغییرات داده‌ها را مدل‌سازی کند.

داده‌های بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به داده‌های درجه حرارت شبیه‌سازی شده توسط مدل در مقایسه با داده‌های مشاهداتی در سطح ایستگاه دارای اختلاف بیشتری می‌باشند. یعنی مدل درجه حرارت را نسبت به بارش به علت غیره شرطی بودن و نرمال نبودن داده‌های بارش، بهتر شبیه‌سازی کرده است، که با نتایج بدست آمده توسط حقطلب و همکاران (۱۳۹۲) [۸] و حجارپور و

جدول ۳- تغییرات بارش در جبهه جنوبی و شمالی البرز در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2 و B2
 Table3 . Precipitation variation in northern and southern sides of the Alborz in periods 2020-2049 and 2070-2099 under (Scenarios A2 and B2)

۲۰۹۹-۲۰۷۰ 2070-2099		۲۰۴۹-۲۰۲۰ 2049-2020		دوره Period
سناریو B2 B2 Scenario	سناریو A2 A2 Scenario	سناریو B2 B2 Scenario	سناریو A2 A2 Scenario	منطقه Region
↑ mm 91	↑ mm 88	↑ mm 93.4	↑ mm 98	جبهه جنوبی side Southern
↑ mm 83.5	↑ mm 52	↑ mm 130.7	↑ mm 164	جبهه شمالی side Northern



شکل ۴- روند تغییرات میانگین سالانه بارش جبهه جنوبی و شمالی البرز در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ (سناریو A2 و B2)

Fig 4. Trend of variation in average annual precipitation of northern and southern sides of the Alborz in periods 2020-2049 and 2070-2099 compared to observation period 1979-2008 (Scenarios A2 and B2)

نتایج حاصل از مدل

پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی (HadCM3)، (سناریوهای A2 و B2) برای دوره‌های سی ساله ۲۰۰۸-۱۹۷۹، ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی و با دوره سی ساله مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ مقایسه گردیدند.

بارش

شکل (۴) مقادیر بارش و تغییرات این پارامتر را برای دوره‌های ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه بابلسر در هر دو دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ تحت هر دو سناریوی A2 و B2 شاهد افزایش در میانگین بارش خواهیم بود. این روند افزایش در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ کمتر می‌باشد یعنی در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ بارش نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ کاهش یافته است (شکل ۴). در ایستگاه بابلسر در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ بارش نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ تحت سناریوی A2 و B2 به ترتیب ۴۰٪ و ۱۳ میلیمتر کاهش خواهد یافت. در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ بیشترین میزان افزایش بارش در نیمه شمالی جبهه‌های البرز مربوط به ایستگاه رامسر ۳۱۷ میلیمتر (۲۶٪) تحت سناریوی A2 و ۱۶۷ میلیمتر (۱۳٪) در سناریوی B2 و در نیمه جنوبی البرز در ایستگاه تهران بارش به میزان ۱۲۳/۷ میلیمتر (۳۳/۳ درصد) تحت سناریوی A2 و ۱۰۶/۴ میلیمتر (۳۰ درصد) تحت سناریوی B2 خواهد بود. (شکل ۴). در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ بیشترین میزان افزایش بارش در نیمه شمالی البرز همانند دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ مربوط به رامسر (به ترتیب ۸ و ۱۰ درصد تحت سناریوی A2 و B2) و در نیمه جنوبی تهران خواهد بود. در نیمه جنوبی البرز فقط در ایستگاه زنجان در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تحت سناریوی B2 بارش افزایش خواهد یافت و در بقیه ایستگاه‌ها چه جبهه شمالی و چه جنوبی کاهش خواهد یافت. در جبهه جنوبی بیشترین کاهش بارش در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ در ایستگاه قزوین تحت سناریوی A2 به میزان ۸۴ میلیمتر (۱۹ درصد) و ایستگاه تهران به میزان ۱۴ میلیمتر (۳ درصد) سناریوی B2 خواهد بود. روند کاهش بارش در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ در جبهه‌های شمالی نسبت به جنوبی بیشتر خواهد بود به گونه‌ای که بیشترین کاهش در ایستگاه رامسر به میزان ۲۱۷ میلیمتر تحت سناریوی A2 و ایستگاه بابلسر تحت سناریوی B2 خواهد بود. جدول (۳) میزان افزایش بارش در جبهه‌های جنوبی و شمالی را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود بارش در هر دو جبهه شمالی و جنوبی البرز افزایش خواهد یافت. شدت افزایش بارش در جبهه‌های جنوبی البرز بیشتر از جبهه‌های شمالی می‌باشد.

درجه حرارت حداکثر

با توجه به پیش‌بینی‌های انجام گرفته برای دوره‌های آتی توسط مدل بر اساس خروجی‌های گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2، مقادیر میانگین درجه حرارت حداکثر در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ و ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تحت سناریوهای A2 و B2 نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۷۹) در همه ایستگاه‌ها به جز در ایستگاه رامسر تحت سناریوی A2 افزایش خواهد داشت است (شکل ۵). در نیمه شمالی بیشترین مقدار افزایش درجه حرارت حداکثر در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تحت هر دو سناریوی A2 و B2 در ایستگاه بابلسر و گرگان به ترتیب ۲/۵ و ۳/۴ درجه سانتیگراد خواهد بود. و در جبهه جنوبی در ایستگاه زنجان به ترتیب ۱/۶ و ۱/۷ درجه سانتیگراد تحت سناریوی A2 و B2 خواهد بود. در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ بیشترین افزایش درجه حرارت نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۷۹) همانند دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ در ایستگاه بابلسر و گرگان (جبهه شمالی) و در ایستگاه زنجان (جبهه جنوبی) تحت سناریوی A2 و B2 خواهد بود. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه فقط در ایستگاه رامسر در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ دمای حداکثر نسبت به دوره مشاهداتی کاهش خواهد یافت. در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ درجه حرارت حداکثر تحت سناریوی A2 و B2 در همه ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت. جدول (۴) نشان‌دهنده میزان افزایش درجه حرارت حداکثر در نیمه شمالی و جنوبی را نشان می‌دهد همانطور که ملاحظه می‌شود میزان افزایش درجه حرارت در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ در مقایسه با دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ بیشتر خواهد بود.

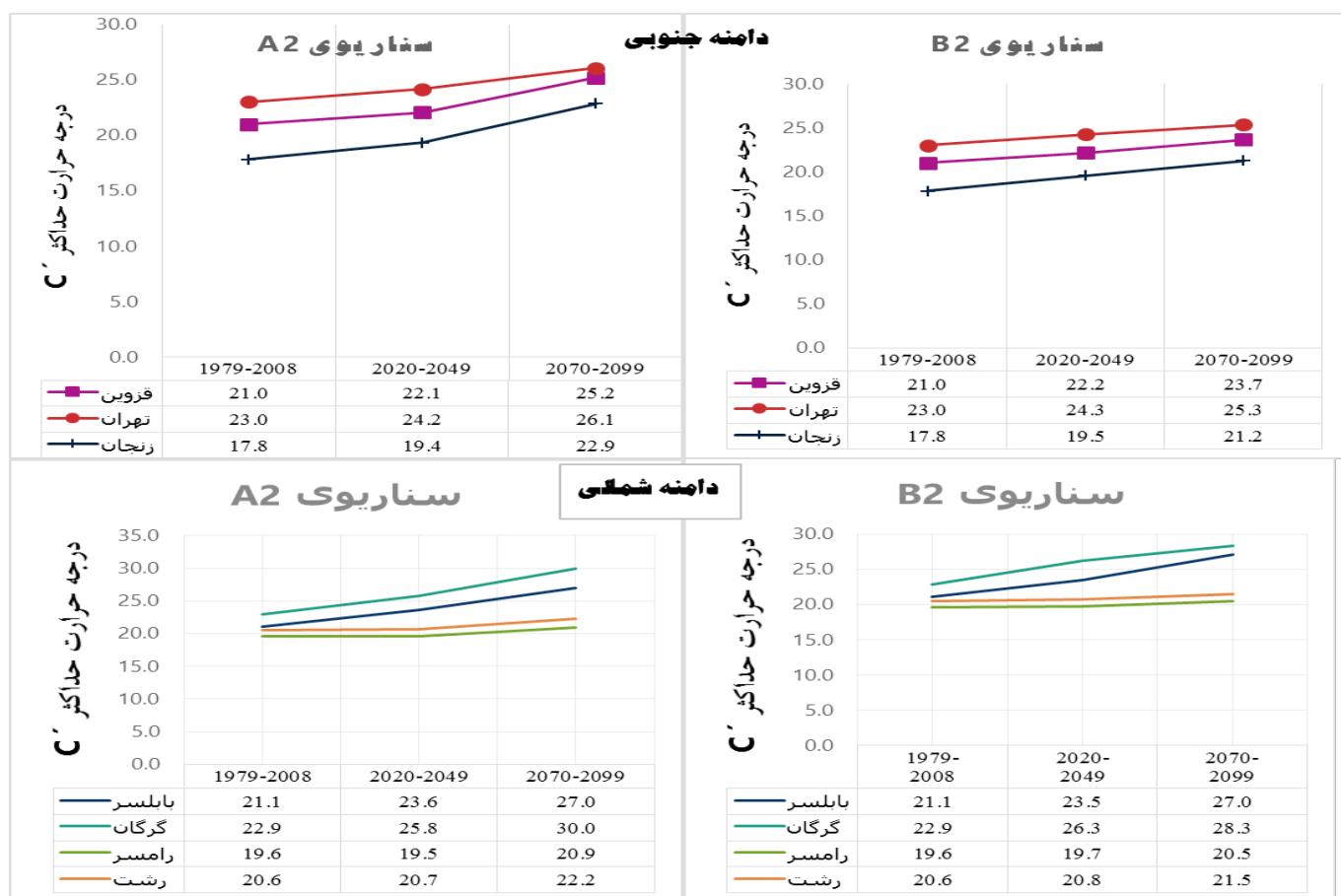
درجه حرارت حداقل

در شکل (۶) روند تغییرات درجه حرارت حداقل در دوره‌های آتی نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در دوره‌های ۲۰۴۹-۲۰۲۰ و ۲۰۴۹-۲۰۷۰ در تمام ایستگاه‌ها درجه حرارت حداقل همانند درجه حرارت حداکثر در هر دو سناریوی A2 و B2 به دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۷۹) افزایش خواهد یافت. در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ بیشترین افزایش درجه حرارت حداقل تحت هر دو سناریوی A2 و B2 در ایستگاه زنجان به ترتیب ۰/۷ و ۰/۹ خواهد بود. به طور کلی در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ میانگین درجه حرارت حداقل سالیانه نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۷۹) در نیمه شمالی البرز یک درجه سانتیگراد تحت سناریوی A2 و ۰/۷ درجه تحت سناریوی B2. و در نیمه جنوبی ۰/۳ درجه سانتیگراد (سناریوی A2) و ۰/۵۶ درجه سانتیگراد (سناریوی B2) افزایش خواهد یافت (جدول ۵). در دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۰ بیشترین افزایش درجه حرارت حداقل تحت سناریوی A2 و B2 در نیمه شمالی در ایستگاه گرگان به میزان ۴/۷ و ۳/۶ درجه سانتیگراد و در نیمه جنوبی البرز در ایستگاه زنجان به میزان ۳/۳ و ۲/۲ درجه خواهد بود. در این دوره درجه حرارت حداقل نسبت به دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰، در نیمه شمالی و جنوبی در

جدول ۴- تغییرات درجه حرارت حداکثر در جبهه جنوبی و شمالی البرز در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2 و B2

Table 4. Maximum temperature variation in northern and southern sides of the Alborz in periods 2020-2049 and 2070-2099 under (Scenarios A2 and B2)

2099-2070		2049-2020		دوره
سناریو B2	سناریو A2	سناریو B2	سناریو A2	Period
B2 Scenario	A2 Scenario	B2 Scenario	A2 Scenario	منطقه
				Region
↑(14%) 2.8 °C	↑(7%) 1.4 °C	↑ (7%) 1.4 °C	↑(6%) 1.3 °C	جبهه جنوبی side Southern
↑(16%) 3.4 °C	↑(19%) 4.02 °C	↑ (7%) 1.57 °C	↑(5%) 1.22 °C	جبهه شمالی side Northern



شکل ۵- روند تغییرات درج حرارت حداکثر جبهه جنوبی و شمالی البرز در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ (سناریو A2 و B2)

Fig 5. Trend of maximum temperature variation of northern and southern sides of the Alborz in periods 2020-2049 and 2070-2099 compared to observation period 1979-2008 (Scenarios A2 and B2)

و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ دمای میانگین نسبت به دمای مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ همانند درجه حرارت حداکثر و حداقل افزایش خواهد یافت. در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در نیمه جنوبی البرز ایستگاه زنجان دارای بیشترین افزایش تحت سناریو A2 و B2 و ایستگاه تهران دارای

مقایسه با دوره مشاهداتی بیشتر افزایش خواهد یافت (جدول ۵).

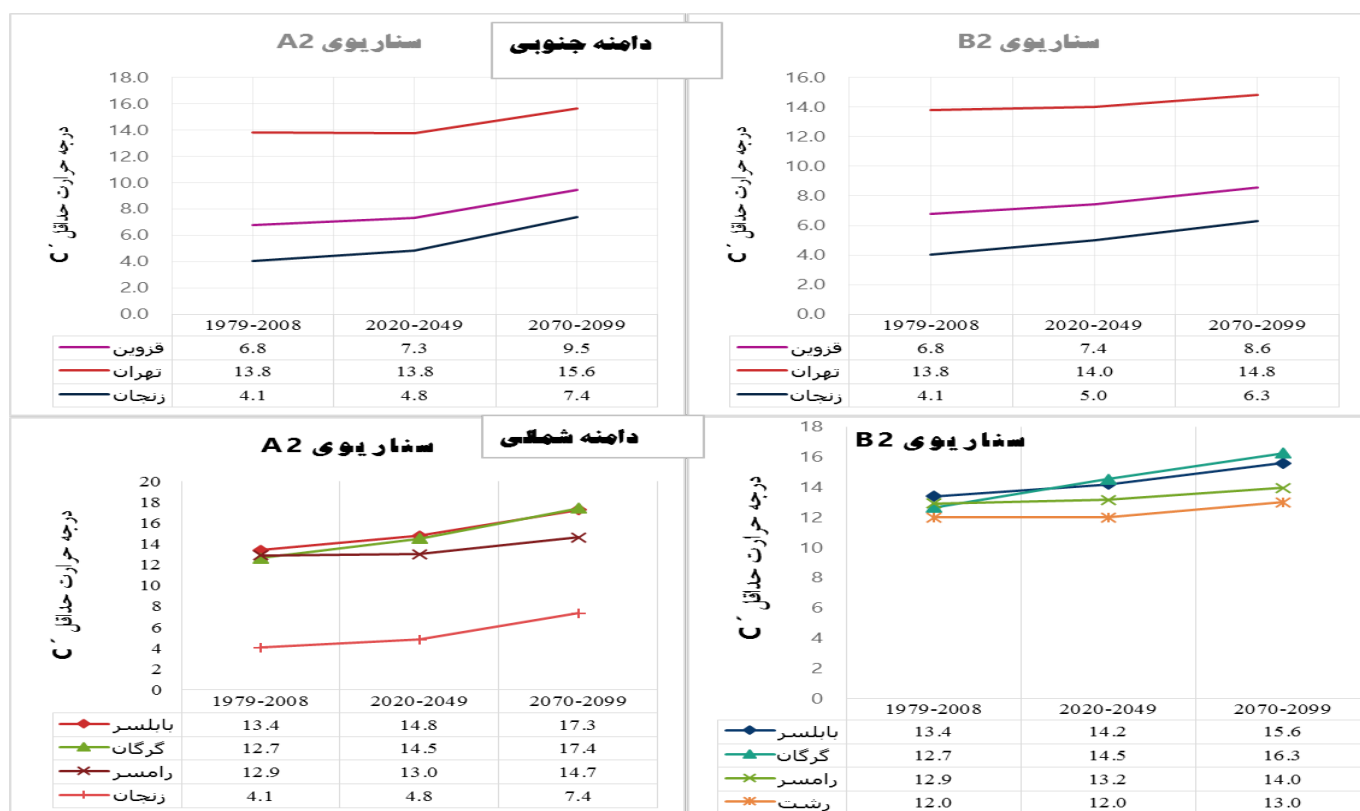
درجه حرارت میانگین

همانطور که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹

جدول ۵- تغییرات درجه حرارت حداقل در جبهه جنوبی و شمالی البرز در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2 و B2

Table 5. Minimum temperature variation in northern and southern sides of the Alborz in periods 2020-2049 and 2070-2099 under (Scenarios A2 and B2)

۲۰۹۹-۲۰۷۰ 2070-2099		۲۰۴۹-۲۰۲۰ 2049--2020		دوره Period
سناریو B2 B2 Scenario	سناریو A2 A2 Scenario	سناریو B2 B2 Scenario	سناریو A2 A2 Scenario	منطقه Region
↑ (21%) 1.7	↑ (32%) 2.6	↑ (7%) 0.56	↑ (3%) 0.3	جبهه جنوبی Southern side
↑ (16%) 1.97	↑ (28%) 3.4	↑ (5%) 0.7	↑ (8%) 1	جبهه شمالی Northern side



شکل ۶ - روند تغییرات درجه حرارت حداقل جبهه جنوبی و شمالی البرز در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ (سناریو A2 و B2)

Fig 6. Trend of minimum temperature variation of northern and southern sides of the Alborz in period 2020-2049 and 2070-2099 compared to observation period 1979-2008 (Scenarios A2 and B2)

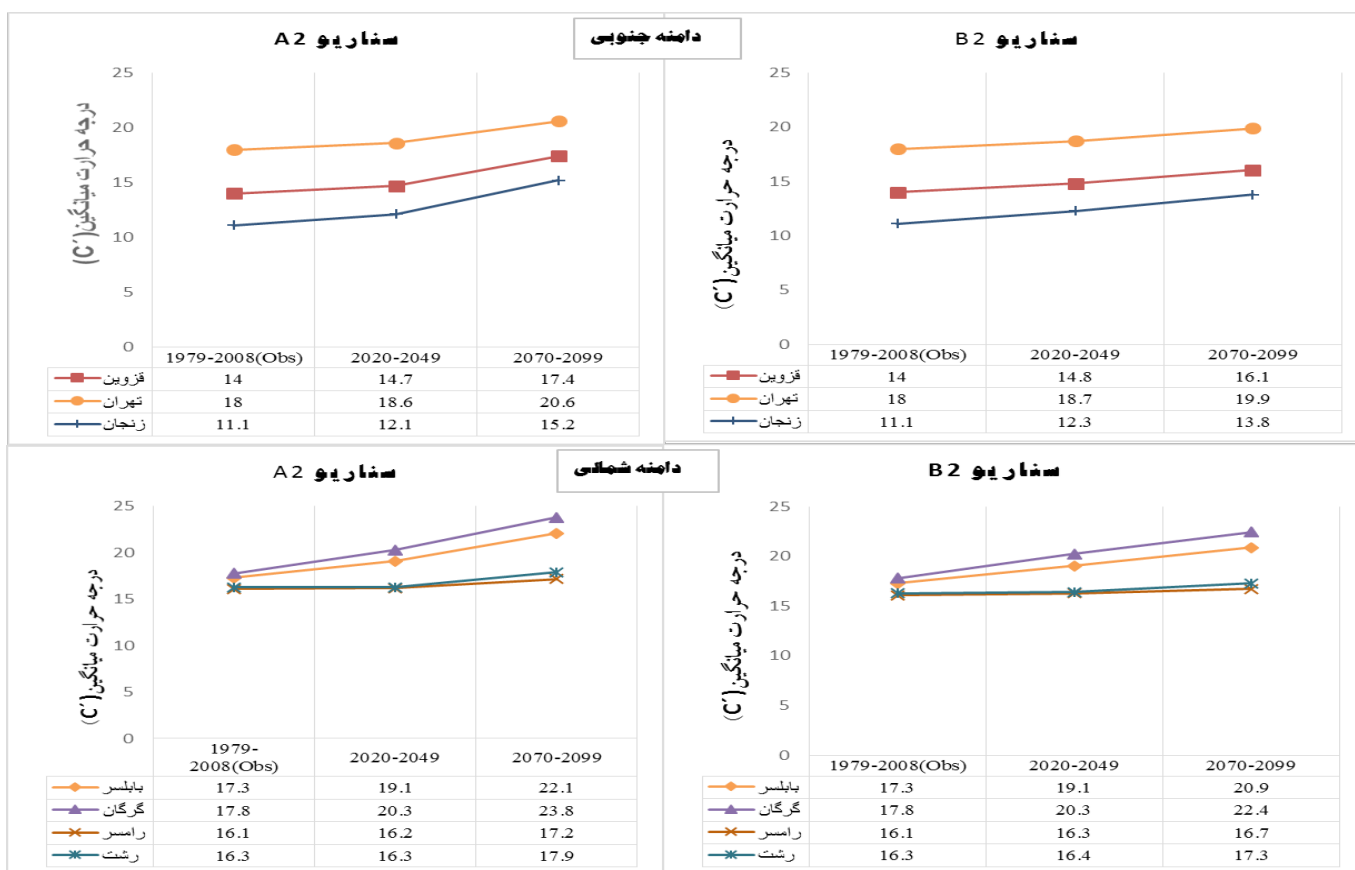
میانگین در نیمه شمالی و جنوبی البرز را نشان می‌دهد. بطور کلی در نیمه جنوبی و شمالی در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ افزایش درجه حرارت میانگین بیشتر خواهد بود (جدول ۶).

کمترین افزایش خواهد بود. و در نیمه شمالی بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه گرگان و کمترین افزایش مربوط به ایستگاه رشت خواهد بود (شکل ۷). جدول (۶) میزان افزایش درجه حرارت

جدول ۶- تغییرات درجه حرارت میانگین در جبهه جنوبی و شمالی البرز در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2 و B2

Table 6. Average temperature variation in northern and southern sides of the Alborz in periods 2020-2049 and 2070-2099 under (Scenarios A2 and B2)

۲۰۷۰-۲۰۹۹		۲۰۲۰-۲۰۴۹		دوره
2070-2099		2049-2020		Period
سناریو B2	سناریو A2	سناریو B2	سناریو A2	منطقه
B2 Scenario	A2 Scenario	B2 Scenario	A2 Scenario	Region
↑ (21%) 1.7 °C	↑ (32%) 2.6 °C	↑ (6%) 0.9 °C	↑ (5%) 0.7 °C	جبهه جنوبی Southern side
↑ (16%) 1.97 °C	↑ (28%) 3.4 °C	↑ (5%) 0.7 °C	↑ (8%) 1 °C	جبهه شمالی Northern side



شکل ۷ - روند تغییرات درجه حرارت میانگین جبهه جنوبی و شمالی البرز در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ (سناریو A2 و B2)

Fig 7. Trend of average temperature variation of northern and southern sides of the Alborz in period 2020-2049 and 2070-2099 compared to observation period 1979-2008 (Scenarios A2 and B2)

نتایج حاصل از تعیین اقلیم با روش دومارتن در جدول (۷) آمده است. در نیمه شمالی در ایستگاه‌های بابلسر، رامسر و رشت اقلیم در دوره‌های آینده هیچ تغییری نمی‌کند ولی در ایستگاه گرگان در دوره

تعیین اقلیم آینده با استفاده از روش دومارتن با استفاده از روش دومارتن اقلیم در دوره مشاهداتی ۲۰۰۸-۱۹۷۹ و دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۰ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تعیین گردید. که

جدول ۷- نتایج حاصل از تعیین اقلیم با روش دومارتن در دوره‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹

Table 7. The results of Dumarten method in periods 2020-2049 and 2070-2099

اقلیم ۲۰۷۰-۲۰۹۹ Climate(2070-2099)		اقلیم ۲۰۲۰-۲۰۴۹ Climate(2020-2049)		اقلیم ۱۹۷۹-۲۰۰۸ Climate Station (1979-2008)						
B2		A2		B2		A2				
اقلیم Climate	ضریب خشکی Drought index	اقلیم Climate	ضریب خشکی Drought index	اقلیم Climate	ضریب خشکی Drought index	اقلیم Climate	ضریب خشکی Drought index			
مدیترانه‌ای Mediterranean	20.1	نیمه‌خشک semi-arid	18.3	مدیترانه‌ای Mediterranean	22.2	مدیترانه‌ای Mediterranean	21.9	مدیترانه‌ای Mediterranean	30.2	گرگان Gorgan
نیمه‌خشک semi-arid	11.3	نیمه‌خشک semi-arid	10.3	نیمه‌خشک semi-arid	12.4	نیمه‌خشک semi-arid	12.3	خشک Arid	8.8	تهران Tehran
نیمه‌خشک semi-arid	18.6	نیمه‌خشک semi-arid	16.5	مدیترانه‌ای Mediterranean	20.6	مدیترانه‌ای Mediterranean	20	نیمه‌خشک semi-arid	13.6	زنجان Zanjan

ساله ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی و با دوره سی ساله مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ مقایسه گردیدند. نتایج مربوط به ارزیابی مدل نشان داد که مدل داده‌های درجه حرارت حداکثر، حداقل و میانگین را نسبت داده‌های بارش، بهتر شبیه‌سازی می‌کند (شکل ۲ و ۳) و (جدول ۲). دلیل این امر به خاطر غیره شرطی بودن و غیره نرمال بودن داده‌های بارش می‌باشد. یعنی مدل برای داده‌های شرطی نتایج قابل قبول‌تری را نشان دادند.

نتایج نشان می‌دهد که در تمام ایستگاه‌های جبهه‌های جنوبی و شمالی به جز ایستگاه بابلسر در هر دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ تحت هر دو سناریوی A2 و B2 شاهد افزایش در میانگین بارش خواهیم بود. این روند افزایش در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ کمتر می‌باشد یعنی در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بارش نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ کاهش یافته است (شکل ۴). در نیمه جنوبی البرز فقط در ایستگاه زنجان در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو B2 بارش افزایش خواهد یافت و در بقیه ایستگاه‌ها چه جبهه شمالی و چه جنوبی کاهش خواهد یافت. روند کاهش بارش در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در جبهه‌های شمالی نسبت به جنوبی بیشتر خواهد بود به گونه‌ای که بیشترین کاهش در ایستگاه رامسر به میزان ۲۱۷ میلیمتر تحت سناریو A2 و ایستگاه بابلسر تحت سناریو B2 خواهد بود. بطور کلی بارش در هر دو جبهه شمالی و جنوبی البرز افزایش خواهد یافت (جدول ۳). که این نتایج با مطالعات ویت‌رهال (۲۰۰۵) [۲۹]، استیل دانی و همکاران (۲۰۰۸) [۳۳]، هارمسن و همکاران (۲۰۰۹) [۳۶]، لوم و همکاران (۲۰۰۹) [۳۷] و بابائیان و همکاران (۲۰۰۹) [۳] مطابقت دراد. با

۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2 اقلیم از مدیترانه‌ای به نیمه‌خشک تغییر می‌کند ولی در سناریو B2 تغییری نمی‌کند. در نیمه جنوبی در ایستگاه قزوین اقلیم تغییری نخواهد کرد ولی در ایستگاه تهران در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو A2 اقلیم از خشک به نیمه‌خشک و در ایستگاه زنجان در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو A2 اقلیم از نیمه‌خشک به مدیترانه‌ای و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ (سناریو A2) دوباره به نیمه‌خشک تبدیل می‌گردد.

نتیجه‌گیری

برای پیش‌بینی شرایط آینده، در بیشتر تحقیقات از داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) که معمولاً با سناریوهای پخش تعریف شده و توسط هیئت بین دول تغییر اقلیم (IPCC) اجرا شده‌اند، استفاده می‌شود. یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)، بزرگ مقیاس بودن سلولهای محاسباتی آنها به لحاظ مکانی نسبت به منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های GCM وجود دارد که به این روش‌ها، کوچک مقیاس کردن گفته می‌شود. در این مطالعه با استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری و به کارگیری مدل SDSM شبیه‌سازی اقلیمی برای پارامترهای بارش، دمای حداکثر، حداقل و میانگین در دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ و دوره‌های آتی ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ انجام گرفت. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی (HadCM3)، (سناریوهای A2 و B2) برای دوره‌های سی

توجه به پیش‌بینی‌های انجام گرفته تحت سناریوهای A2 و B2، مقادیر میانگین درجه حرارت حداکثر در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریوهای A2 و B2 نسبت به دوره مشاهداتی (۲۰۰۸-۱۹۷۹) در همه ایستگاه‌ها (به جز در ایستگاه رامسر تحت سناریو A2) افزایش خواهد داشت است (شکل ۵). که این نتایج با مطالعات هولدن و همکاران (۲۰۰۳) [۱۰]، ژانگ و نیرینگ (۲۰۰۵) [۳۲]، یانو و همکاران (۲۰۰۷) [۳۸]، استیل دانی و همکاران (۲۰۰۸) [۳۳]، ازکول (۲۰۰۹) [۳۵]، سالتانا و همکاران (۲۰۰۹) [۳۴]، لوم و همکاران (۲۰۰۹) [۳۷]، مساح بوانی و مرید (۲۰۰۶) [۱۷]، خورشید دوست و قویدل رحیمی (۲۰۰۹)، بابائیان و همکاران (۲۰۰۹) [۳] و کوچکی و همکاران (۲۰۰۸) [۱۵] همخوانی دارد. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۴۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۹۹ درجه حرارت حداکثر تحت سناریوی A2 و B2 در همه ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت. ولی میزان افزایش درجه حرارت حداکثر در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در مقایسه با دوره مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ بیشتر خواهد بود (جدول ۴). در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ در تمام ایستگاه‌ها درجه حرارت حداقل همانند درجه حرارت حداکثر در هر دو سناریو A2 و B2 به دوره مشاهداتی (۱۹۷۹-۲۰۰۸) افزایش خواهد یافت. به طور کلی در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ میانگین درجه حرارت حداقل سالیانه نسبت به دوره مشاهداتی (۱۹۷۹-۲۰۰۸) در نیمه شمالی البرز یک درجه سانتیگراد تحت سناریو A2 و ۰/۷ درجه تحت سناریو B2 و در نیمه جنوبی ۰/۳ درجه سانتیگراد (سناریو A2) و ۰/۵۶ درجه سانتیگراد (سناریو B2) افزایش خواهد یافت. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ درجه حرارت حداقل نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹، در نیمه شمالی و جنوبی در مقایسه با دوره مشاهداتی بیشتر افزایش خواهد یافت (جدول ۵). در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ درجه حرارت میانگین نسبت به دمای مشاهداتی ۱۹۷۹-۲۰۰۸ همانند درجه حرارت حداکثر و حداقل افزایش خواهد یافت. در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ در نیمه جنوبی البرز ایستگاه زنجان دارای بیشترین افزایش تحت سناریو A2 و B2 و ایستگاه تهران دارای کمترین افزایش خواهد بود. در نیمه شمالی بیشترین افزایش مربوط به ایستگاه گرگان و کمترین افزایش مربوط به ایستگاه رشت خواهد بود (شکل ۷). بطور کلی در نیمه جنوبی و شمالی در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ نسبت به دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ افزایش درجه حرارت میانگین بیشتر خواهد بود (جدول ۶). نتایج حاصل از تعیین اقلیم با روش دومارتن نشان داد که در نیمه شمالی در ایستگاه‌های بابل، رامسر و رشت اقلیم در دوره‌های آینده هیچ تغییری نمی‌کند ولی در ایستگاه گرگان در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریو A2 اقلیم از مدیترانه‌ای به نیمه‌خشک تغییر می‌کند. در نیمه جنوبی در ایستگاه قزوین اقلیم تغییری نخواهد کرد ولی در ایستگاه تهران در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو A2 اقلیم از خشک به نیمه‌خشک و در ایستگاه زنجان در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریو A2 اقلیم از نیمه‌خشک به مدیترانه‌ای و در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹

(سناریو A2) دوباره به نیمه‌خشک تبدیل می‌گردد. بطور کلی نتایج بیانگر این امر است که مدل به خوبی توانسته پارامترهای اقلیمی را برای دوره‌های آتی شبیه‌سازی بکند پس می‌توان با صحت بالا از این داده‌های شبیه‌سازی شده جهت آینده‌نگری مناسبتر از شرایط آب‌وهوایی در دوره‌های آتی استفاده کرد و به کمک آن مدیریت‌های کلان آبی را در زمینه‌های بهره‌وری مناسبتر از منابع و به خصوص منابع آبی ارتقاء بخشید. در جبهه‌های شمالی و جنوبی با توجه به افزایش بارش احتمال بارش‌های سیل آسیا نیز زیاد زیاده‌تر خواهد شد که شدت این بارش‌های سیل آسا در نیمه شمالی البرز کمتر از نیمه جنوبی خواهد بود.

شدت افزایش درجه حرارت میانگین در جبهه جنوبی بیشتر جبهه شمالی خواهد بود. از سوی دیگر افزایش دما می‌تواند باعث طولانی شدن و زود فرا رسیدن فصل رشد و نمو گیاهان شده و همچنین بر منابع آبی از طریق تشدید تبخیر اثر گذاشته و از کم و کیف منابع آبی خواهد کاست. با افزایش دما از میزان بارش‌های جامد نیز کاسته خواهد شد و با ذوب برف‌ها و یخ‌ها در منطق کوهستانی و مرتفع و افزایش بارش‌های همرفتی، پتانسیل رخداد سیلاب افزایش خواهد یافت [۲۳]. با توجه به این نتایج و با توجه به تغییراتی که در پارامترهای اقلیمی موجود روی خواهد، پیشنهاد می‌شود که مسئولان و برنامه ریزان منطقه مورد بررسی در بخش‌های کشاورزی، منابع آب، محیط زیست، صنعت و اقتصاد راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید اتخاذ کنند.

منابع

1. Abbasi, F. Malbusi, Sh. And Babaeian, A. 2010. Prediction of climatic changes during the 2039 - 2010 AD using micro-scale statistical power output of ECHO-G Model in South Khorasan. Journal of Soil and Water. 218-233. (In Persian).
2. Abkar, A. Habibnadjad, M. Solaimani, K. and Naghavi, H. 2013. Investigation efficiency SDSM model to simulate temperture indexes in arid and semi-arid regions. Journal of Irrigation and Water Engineering 4(14), 1-17. (In Persian).
3. Babaeian, A. Najafneik, Z. Abbasi, F. Nokhandan, M. and Adab, H. 2009. Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model. Geography and Development Iranian Journal. 7(16), 135-152. (In Persian).
4. Busiio, A. Giorgi, F. Bi, X. 2006. Comparison of Regional Climate Model and Statistical Downscaling Simulation of Different Winter Precipitation Change

prospect of drought in thirty years in Iran. *Journal of Geography and Regional Development*. 12, 83-98. (In Persian).

14. Khorshid Dust, A. and GhavidelRahimi, Y. 2008. assessment of climate change of Tabriz in terms of carbon dioxide doubling of atmospheric using ECHAM4 model. The third conference of Iran Water Resources Management, Tabriz. (In Persian).

15. Kouchaki, A. and Sharifi, H. 2007. Climate Change: Appearance and Development. *Journal of Nivar*. 27, 28-57. (In Persian).

16. Massah Bavani, A. and Morid, S. 2005. Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science*. 9 (4), 17-28. (In Persian).

17. Massah Bavani, A. Morid, S. and Mohammadzadeh, M. 2006. The future of Zayandeh Roud impact of climate change: A comparison of different AOGCM models scenarios. The second Iranian conference of water resources management. (In Persian).

18. Modaresi, F. and Araghinejad, Sh. 2009. The effect of climate change on the maximum flow rate (Case study: Gorgan River basin). Msc Thesis. Faculty of Agricultural Engineering and Technology. University of Tehran. (In Persian).

19. Nabi Bidehendi, Gh. Mohammadnejad, Sh. And Ebadati, F. 2008. Concepts and consequences of climate change considerations in the review of the Kyoto Protocol. Tehran University press. (In Persian).

20. Qian, B., Gameda, S., Hayhoe, H., DeJong, R. and Bootsma, A. 2004. Comparison of LARS-WG and AAFC-WG stochastic weather generators for diverse Canadian climates. *Climate Research*. 26.

21. Rashid M, Mukand 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*. 2014.

22. Rezaee Zaman, M. Morid, S. and Delavar, M. 2013. Evaluate the effects of climate change on Hydroclimatologic variables in Siminehrood basin.

Scenario over Romania. *Theoretical and Applied Climatology*. 101- 123.

5. Cheng, C. Li, Q. and Auld, H. 2008. Statistical downscaling of hourly Canada *Theoretical and Applied Climatology*. 129-147.

6. Dousti, M. HabibnezhadRoshan, M. Shahedi, K. and Miryaghoubzade, M. H. 2013. Study of climate indices of Tamar River basin Golestan Province in terms of climate change using by LARS-WG model. *Journal of the EARTH AND SPACE PHYSICS*. 39 (4), 177-189. (In Persian).

7. Ekestrom, M. Fowler, H. J. Kilsby, G. G. and Jones, P.D. 2003. New estimates of futher change in extreme rainfall across the UK using regional climate Model intergrations,2. Future estimations and use in impacte Studies. *J. Hydrology*. 300. 234- 251.

8. Haghtalab, N. Goodarzi, M. HabibiNokhandan, M. Yavari, A. and Jafari, H. R. 2014. Climate Modeling in Tehran & Mazandaran Provinces by LARSWG and Comparing Changes in Northern and Southern Central Alborz hillside. *Journal of Environmental Science and Technology*. 15(1), 37-49. (In Persian).

9. Hajarpour, A. Yousefi, M. and Kamkar, B. 2014. Accuracy Assessment of Weather Assimilators of CLIMGEN, LARS-WG and Weather Man in Assimilation of three Different Climatic Parameters of three Different Climate (Gorgan, Gonbad and Mashhad). *Geography and Development Iranian Journal*. 12(35), 201-216. (In Persian).

10. Holden, N. M. Brereton, A. J. and Sweeney, J. 2003. Possible change in Irish Climate and its impact on barley and Potato Yields. *Agricultural and Forest Meteorology*, 116. 181- 196.

11. Intergovernmental Pannel on Climate change (2001), *Climate change 2001.: The scientific Basis*, Cambridge Univ. Perss, New York. In Intense PreCipitation in the Clumate record, *J. climate change* 18. 1326- 1350.

12. IPCC, 2007. *Climate change: The Physical Scientific Basis*. Contribution of working Group to the Fourth Assessment Report of the intergovernmental Panell on climate change. Cambridge Univ. Perss. 1-18.

13. Khazanehdari, L. and Abbasi, F. 2009. The

30. Wilby, R. L. Charles, S. Zorita, E. Timbal, B. 2004. Guidelines for use of Climate Scenarios developed from Statistical downscaling methods. Support material of IPCC Reports.
31. Wilby, R. L. Dawson, C. W. 2007. Using SDSM version 4.2 –A decision Support tool from assessment of regional Climate change impacts. User manual.
32. Zhang, X. C. Nearing, M.A. 2005. Impact of Climate change on Soil erosion, runoff, and wheat Productivity in Central Oklahoma. *Cetena*. 61, 185-195.
33. Steele- Dunne, S. Lynch, P. semmler, T. Wang, S. Hanafin, J. 2008. The impact of Climate change in Hydrology in Irland. *J. Hydrology*, 356, 28-45.
34. Sultana, H. Ali, N. Iqbal, M. M. and khan. A. 2009. Vunerability and daptability of Wheat Production in different Climatic Zones of Pakistan Under Climate change scenarios. *J. Climate change*, 94, 123- 142.
35. Ozkul, S. 2009. Assessment of climate change eifacts in Aegean River Basins: The case of Gediz Buyuk Menders Basins. *J. climate change*.
36. Harmsen, E. W. Miller, N. L. Schelgel, N. J. and Gonzalez, J.E. 2009. Seasonal climate change Impactes on Evapotranspiration, Percipitation deficit and crop Yield in Puer Rico. *J. of Agricultural Water Management*, 96. 1085- 1095.
37. Lhumme, Q. Bellotti, W. Williams, M. Wange, E. 2009. Adaption to Climate change of Whest growing in South Australia: Analysis of Management and breeding Strategies. *J. of Agriculture, Ecosystem and Environment*, 129. 261-267.
38. Yano, T. Aydin, M. Haraguchi, T. 2007. Impact of Climate change on Irrigation Demand and Crop Growth in a Mediterranean Environment of Turkey. *J. Sensors*, 7, 2297-2315.
- Journal of Water and Soil. 27(6), 1247-1259. (In Persian).
23. Roshan, G. R. Khosh Akhlagh, F. and Azizi, Gh. 2012. Assessment of Suitable General Atmosphere Circulation Models for Forecasting Temperature and Precipitation Amounts in Iran Under Condition of Global Warming. *Geography and Development Iranian Journal*. 10 (27), 19-36. (In Persian).
24. Samadi Naghab, S. Khorshiddust, A. Habibi Nokhandan, M. and ZabolAbbasi, F. 2011. Using SDSM Model to Downscaling Precipitation and Temperature GCM Data: Case Study for Station Climate Predictions over Iran. *Journal of Climate Research*. 2(5), 57-68. (In Persian).
25. Schimidli, H. Goodess, C. M. Frei, C. Haylouk, m. R. and Schmith. 2007. Statistical and dynamical downscaling Precipitation: An Evaluation and Camparison of scenario for the European Alps. *J. Geophysical Research*. 112. 1-20.
26. Shahriar.P. Geoffrey M. Henebry. 2014. Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation— Downscaled from GCM predictors. *Journal of Hydrology* 517 ,120–134
27. Trambly, Y., Badi, W., Driouech, F., Adlouni, S. El., Neppel, L. and Servat, E., 2012, Climate change impacts on extreme precipitation in Morocco, *Global and Planetary Change*, 83, 104-114.
28. Vano, J. A. Scott, M. Viosin, N. Stockel, C. Hamlet, A. and Lenttenmair, D. P. 2009. Climate change impact on Water management and irrigated Agriculture in the Yakima river Basin. Washington, USA.
29. Wetterhall, F. 2005. Statistical Downscaling of Precipitation from Large – scal Atmospheric Circulation – Comparison of methods and Climate Region. Mscdissertation, Faculty of Sceince and Technology, UPPSALA University.

*Abstract***Climate Modeling and comparison of changes in climatic parameters using SDSM in the northern and southern sides of the Alborz**A. Dastran¹, j. A. Shahbazi², M. Mohseni Saravi³, A. Salehnasab⁴ and Sh. Jafari⁵

Received: 2015.05.24 Accepted: 2016.01.31

This study presents the predicted amount of precipitation, temperature and the climate simulation periods 2099-2070, 2049-2020 and 2008-1979 observation period under A2 and B2 SRES scenarios using the statistical downscaling model (SDSM) in Tehran, Zanjan, Qazvin and Rasht stations on the southern side and Ramsar, Babol and Gorgan in Northern side of the Alborz. Also, future climate was determined using the Domarten method. The main objective was to compare the climate change on two fronts in the north and south of the Alborz. The performance of model to predict the climatic parameters was evaluated based on the coefficient of determination (R^2) and root mean squared estimation error (RMSE). The results of predicting the climate parameters indicate that the model simulated these parameters adequately. The results of the precipitation in all stations in period 2020- 2049 compared with the period 1979-2008 show an increasing trend in all stations and the period 2070-2099 compared to observation periods show an increasing trend in precipitation; while it has a decreasing trend compared to the periods 2020-2049. In 2070-2099 and 2020-2049 periods, the average, minimum and maximum temperature was increased relative to the observation period 1979-2008. The results of the climate determination by the Domarten method show that the climate in the Babolsar, Qazvin, Ramsar and Rasht stations will be change comparing with the observed climate in 1979-2008 in the future periods. In the Gorgan station at period 2070-2099 under the A2 scenario, the climate will change from semi-arid to the arid climate. In the Zanjan station at period 2020-2049 under the A2 scenario, the climate will change from semi-arid to Mediterranean climate and at period 2070-2099 climate from Mediterranean to semi-arid climate. This data can be simulated with high accuracy to better foresight the climatic conditions in future periods to help the future macro-management in providing better productivity of resources, particularly the water resources management.

Keywords: *Climate change, Predict, Downscaling, SDSM.*

1- PhD student of Watershed Management, Hormozgan University Corresponding Author Email:Dastranj66@gmail.com

2- PhD student of Watershed Management, Tehran University

3- Professor of Tehran University

4- PhD student of Forestry Management, Tehran University

5. PhD student of Tehran University