

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره سه، خرداد ماه ۹۹

بررسی نقش گرمایش جهانی بر نوسانات فراسنج‌های باد و فشار تراز دریا در

منطقه‌ی سیستان

اسمعیل پودینه^۱

برومند صلاحی^{۲*}

bromand416@yahoo.com

محمود خسروی^۳

محسن حمیدیان پور^۴

تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۸/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: تغییرپذیری زمانی بادهای محلی سیستان در دوره‌ی تشدید گرمایش جهانی موضوع پژوهش حاضر است. در دهه‌های اخیر، گرمایش جهانی سبب بروز تغییرات محسوس در دمای کره‌ی زمین و عاملی تأثیرگذار بر سایر فراسنج‌های جوی از جمله سرعت باد شده است. در مطالعه‌ی فراسنج‌های جوی، تخمین میزان تأثیرگذاری گرمایش جهانی بر روی این پارامترها از اهمیت زیادی برخوردار است.

روش بررسی: تغییرات مقادیر سرعت باد محلی سیستان و فشار تراز دریا در منطقه مورد مطالعه تحت شرایط دو سناریو A2 و B2 خروجی مدل جهانی Hadcm3 ریزگردانی شده و برای سه دوره زمانی ۳۰ ساله تا ۲۰۹۹ میزان تغییرات این دو فراسنج تولید و مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان دادند که به‌طور متوسط میزان سرعت باد محاسبه شده توسط سناریوی B2 برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی به ترتیب به ۰/۶۷، ۰/۸۸ و ۱/۱۵ متر بر ثانیه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین تغییرات متوسط سرعت باد تحت شرایط سناریوی A2 که یک سناریوی بدبینانه است به ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۵۷ و ۱/۷۹ متر بر ثانیه برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین میزان فشار محاسبه شده توسط سناریوی B2 برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی به ترتیب به ۰/۰۴، ۰/۱۰ و ۰/۱۶ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.

۱- دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دکترای تخصصی اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- دکترای تخصصی اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۴- دکترای تخصصی اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

بحث و نتیجه گیری: نتایج نشان داد که کاهش فشار هوا و افزایش سرعت باد در منطقه مورد مطالعه در طی سال به صورت یکنواخت پراکنده نشده است به نحوی که طی فصول زمستان و بهار و تابستان افت فشار روند منظم تری نسبت به فصل پاییز دارد.

واژه های کلیدی: بادهای سیستان، پیش بینی اقلیمی، شبیه سازی اقلیمی، گرمایش جهانی، مدل SDSM.

Investigating the Role of Global Warming on Wind Speed and Sea Level Pressure Fluctuations in Sistan Region

Esmaeil Poudineh¹

Bromand Salahi^{2*}

bromand416@yahoo.com

Mahmoud Khosravi³

Mohsen Hamidianpour⁴

Admission Date: September 6, 2017

Date Received: August 8, 2017

Abstract

Background and Objective: The temporal variability of local winds of Sistan during the period of global warming is the subject of this research. In recent decades, global warming has brought about tangible changes in the temperature of the planet and has influenced other atmospheric parameters such as wind speed.

Method: In the study of atmospheric parameters, estimating the effect of global warming on these parameters is important. For this purpose, variations in the Sistan wind speeds and sea level pressure in the study area under the conditions of the two scenarios A2 and B2 from the output of the global Hadcm3 model were downscaled and for three periods of 30 years up to 2099, the changes in these two parameters were generated and examined.

Findings: The results showed that the average wind speed calculated by scenario B2 for the period 2010-2039, 2040-2069 and 2070-2070 respectively 0.67, 0.88 and 1.15 m / s Relative to the Basic course will increase. Also, the average wind speed variation under A2 scenario Conditions, which is a pessimistic scenario, is 1.36 and 1. 57 and 1.79 m / s for the periods 2039-2039 and 2069-2070 and 2070-2070 Also, the pressure calculated by scenario B2 for the period 2010-2039, 2040-2069, and 2070-2070 will be reduced to 0.04, 0.10, and 0.16, respectively, compared to the base period.

Discussion and Conclusions : The results showed that the decline in pressure and increase in wind speed has not been uniformly distributed throughout the year. However, during the winter and spring and summer, pressure drop is more regular than the autumn season.

Key Words: Climate Forecasting, Climate Simulation, Global Warming, SDSM Model, Sistan Winds.

1- Ph. D in Climatology, University of Mohaghegh Ardabil, Ardabil, Iran.

2-Professor, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
*(Corresponding Author)

3- Professor, Department of Physical Geography, University of Sistan & Baluchestan, Zahedan, Iran

4- Assistant Professor, Department of Physical Geography, University of Sistan & Baluchestan, Zahedan, Iran

مقدمه

با استفاده از مدل اقلیمی منطقه‌ای (RCA3) اثر تغییر اقلیم را بر روی انرژی باد در ایرلند شبیه‌سازی کردند و نشان دادند که در ماه‌های زمستان‌های آینده افزایش خوبی در انرژی باد اتفاق خواهد افتاد (۹). (Mustamin Rahim, 2012) توزیع متوسط سرعت سالانه‌ی باد را در مدت سال‌های ۲۰۹۹-۱۹۶۱ در ارتفاع ۱۰۰-۳۰ متری بالای سطح زمین در ژاپن مرکزی را بر اساس چند پایگاه داده مطالعه کردند و دریافتند که سرعت متوسط باد در ارتفاع ۳۰ متری بالای سطح زمین در سال ۲۰۹۹ اندکی بیش‌تر از سال ۲۰۰۱ خواهد بود. آن‌ها همچنین دریافتند که اگر گرمایش جهانی به همین روال پیش برود با توجه به سناریوی A1B، IPCC سرعت بادهای سطحی در ژاپن مرکزی افزایش می‌یابد (۱۰). کامران‌زاد (۱۳۹۳) اثر تغییر اقلیم بر سرعت متوسط باد در نزدیکی چابهار را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در نزدیکی چابهار تغییرات چندانی در سرعت متوسط باد وجود نخواهد داشت (۱۱). در شرق ایران، سیستان به‌واسطه وجود بادهای معروف ۱۲۰ روزه یا باد سیستان، خشکی هوا و وجود بستر خشک و پهناور دریاچه‌ی هامون بیش از هر جای دیگر از وقوع طوفان‌ها و بادهای شدید رنج می‌برد (۱۲، ۱۳). این باد به‌طور معمول از ۱۵ اردیبهشت تا اواخر مهر از ارتفاعات شمال‌شرق به سرزمین‌های جنوب شرقی ایران می‌وزد (۱۴، ۱۵). با توجه به اهمیت افزایش سرعت باد در منطقه که در نحوه فعالیت و زندگی بشری تأثیرگذار است و برای درک ماهیت پیچیده‌ی جو و پیش‌نمایی تغییرات آن در آینده باید آن را مدل‌سازی نمود.

روش بررسی

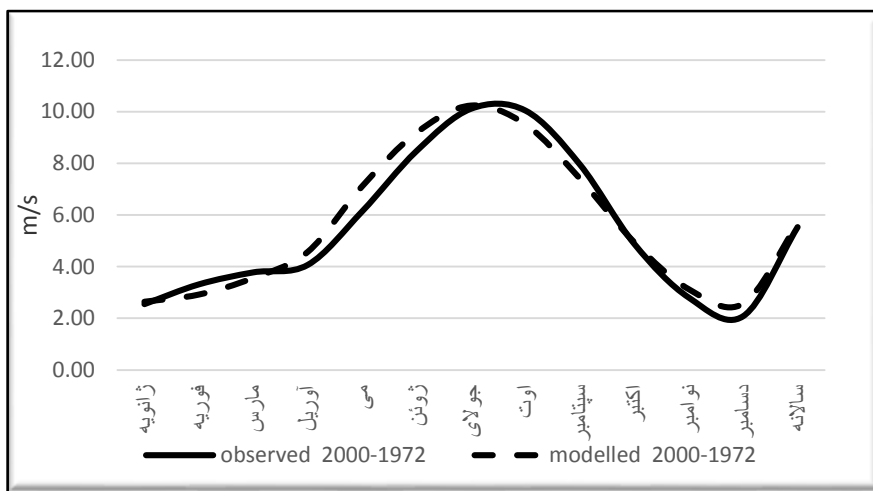
مدل‌های اقلیمی جهانی برای شبیه‌سازی اثرات افزایش گازهای گل‌خانه‌ای در جو و تغییرات جهانی اقلیم ناشی از آن طراحی شده‌اند و قادرند سری‌های زمانی متغیرهای اقلیمی را به‌صورت جهانی مدل‌سازی کنند که در نوع خود ارزشمند هستند (۱۱). در مدل‌های جهانی اقلیم، سناریوهای مختلفی برای بررسی نحوه‌ی تغییر اقلیم آینده تعریف شده است. در این تعریف، میزان تولید گازهای گل‌خانه‌ای در مدل‌های پیش‌بینی متفاوت

افزایش انتشار گازهای گل‌خانه‌ای در اثر فعالیت‌های توسعه‌ای، یکی از مهم‌ترین دلایل اصلی گرمایش جهانی است (۱). مطالعات زیادی در خصوص گرمایش جهانی و انتشار گازهای گل‌خانه‌ای انجام شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهند که دمای جهان نسبت به گذشته به میزان ۰/۷۴ درجه سانتی‌گراد در قرن افزایش‌یافته است. گرم شدن هوا در نتیجه افزایش گازهای گل‌خانه‌ای، اثرات زیادی بر محیط طبیعی و فعالیت‌های انسانی خواهد داشت. این اثرات می‌تواند به‌صورت افزایش تراز سطح آب دریاها، افزایش سیل، فرسایش سواحل و تخریب بندرها باشد (۲، ۱۱). هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) اعلام نمود که در نیمکره شمالی، شواهدی مبنی بر تغییرات میزان بارش در عرض‌های جغرافیایی میانه و بالا وجود دارد. داده‌های ماهواره‌ای نیز مبین این است که وسعت پوشش برف از دهه‌ی ۶۰ میلادی تاکنون حدود ۱۰ درصد کاهش یافته است (۱۱). بر اساس طراحی مدل‌های تغییرات آب‌وهوایی توسط IPCC، در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ میلادی میانگین دمای هوای سطح زمین بین ۱/۱ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (۳). دانشمندان معتقدند حتی اگر میزان گازهای گل‌خانه‌ای جو زمین ثابت بماند، اثرات آن تا پایان هزاره سوم پابرجا خواهد بود (۴). مطالعات متعددی در مناطق مختلف جهان در زمینه‌ی بررسی گرمایش جهانی و ارزیابی تغییرات باد انجام شده است. بررسی‌ها نشان داد که در انگلستان میزان افزایش سرعت باد در طی ۴۰ سال حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد در فصل زمستان بوده است (۵). (Kull, 2005) معتقد است که در استونی، سرعت باد در فصل زمستان افزایش و در فصل تابستان کاهش یافته است (۶). (Tuller, 2004) دریافت که میانگین سالانه و فصل زمستان سرعت باد در چهار ایستگاه غرب کانادا کاهش یافته است (۷). (Yao Yao et al, 2012) با مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم بر منبع قدرت باد انتاریو، افزایش ۵ درصدی سرعت باد در جنوب انتاریو در دوره‌های ۲۰۷۱-۲۱۰۰ را نشان دادند و به این نتیجه رسیدند که سرعت باد تحت سناریوی A2 شدیدتر از سرعت باد تحت سناریوی B2 خواهد بود (۸). (Paul Nolan et al, 2011)

نتایج حاصل از ریزگردانی خروجی مدل HADCM3 توسط SDSM

جهت بررسی توانایی کلی مدل SDSM در شبیه سازی داده های مشاهداتی از دو روش ترسیمی و معیارهای آماری مرسوم MAE و RMSE که نشان دهنده ی میزان خطای مدل هست که بهترین مقدار آن ها برابر صفر است و ضریب R^2 که بهترین مقدار برابر یک است، استفاده گردید و سپس نتایج با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. مقادیر MAE و RMSE و R^2 به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۴۲ و ۰/۹۷ محاسبه، بنابراین مدل در برآورد میزان سرعت متوسط باد دارای کارایی و دقت خوبی است. همچنین نتایج حاصل از روش ترسیمی نیز این مطلب را تصدیق می کند که مدل توانسته به خوبی داده های دوره ی پایه را شبیه سازی کند. مطابق شکل شماره ۱ میزان برآورد سرعت متوسط باد در دوره سرد سال در مقایسه با دوره گرم سال بسیار نزدیک تر به دوره دیده بانی است. ضمن این که مقادیر شبیه سازی شده در فصل بهار کمی بیش تر و تابستان کمی کم تر از دوره دیده بانی است. پس از ارزیابی عملکرد مدل SDSM با استفاده از شاخص های خطاسنجی و اطمینان از مناسب بودن مدل داده های سه دوره ۳۰ ساله با استفاده از مدل Hadcm3 تحت شرایط دو سناریوی A2 و B2 تولید گردید.

بوده و بر این اساس، پیش بینی وضعیت های متفاوت جوی انجام شده است (۱۱). ریزگردان SDSM یکی از بهترین نرم افزارهایی است که از تلفیق روش های رگرسیونی و مولدهای آب و هوای تصادفی بهره می گیرد چون الگوهای چرخشی بزرگ مقیاس و متغیرهای جوی به صورت خطی استفاده می شوند. این نرم افزار ارتباط آماری بین پیش بینی کننده ها و پیش بینی شونده ها را بر اساس روش رگرسیون خطی چندگانه برقرار می کند (۱۶). داده های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: داده های روزانه متوسط سرعت باد و فشار تراز دریا ایستگاه همدید زابل از سال ۱۹۸۱-۲۰۰۰ به عنوان متغیر وابسته، داده های NCEP/NCAR از سال ۱۹۶۱-۲۰۹۹ به عنوان متغیرهای مستقل و داده های بازتحلیل شده مرکز ملی پیش بینی متغیرهای محیطی کانادا متعلق به مدل Hadcm3، داده های NCEP/NCAR و Hadcm3 به طور مستقیم و بدون هیچ تغییری قابل استفاده در مدل SDSM هستند اما داده های ایستگاه هواشناسی باید به فرمت قابل قبول مدل SDSM تبدیل شوند

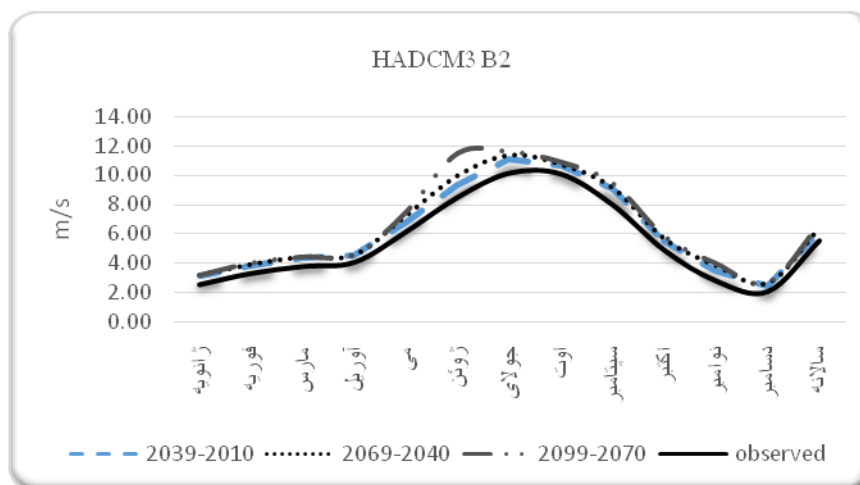


شکل ۱- صحت سنجی پارامتر سرعت باد مشاهداتی و شبیه سازی شده در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)

Figure 1. Validation of the observed wind speed parameter simulated during the base period (1971-2000)

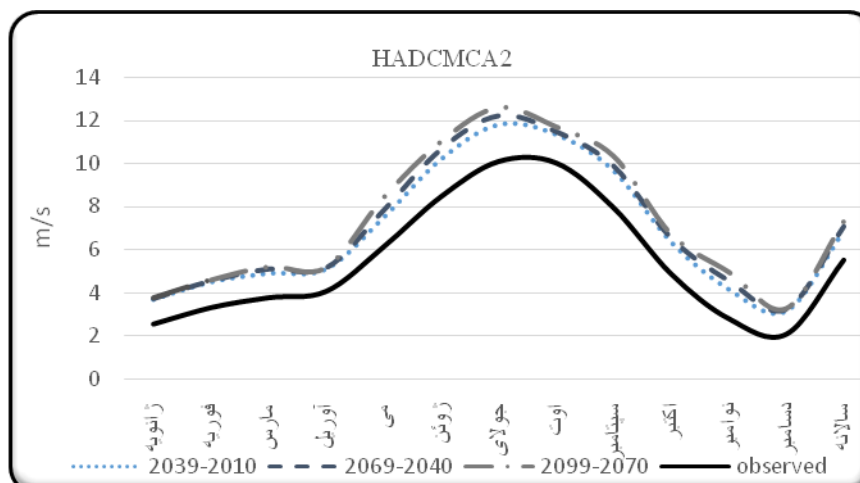
تغییرات متوسط سرعت باد در ایستگاه سینوپتیک زابل در سه دوره ۳۰ ساله تحت شرایط سناریوی B2 و A2 در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود به‌طور متوسط میزان سرعت باد محاسبه شده توسط سناریوی B2 برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی به ترتیب به ۰/۶۷، ۰/۸۸ و ۱/۱۵ متر بر ثانیه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت کم‌ترین میزان افزایش مربوط به فصول پاییز و زمستان است و بیش‌ترین افزایش هم مربوط به فصول بهار و تابستان است. همچنین تغییرات متوسط

سرعت باد تحت شرایط سناریوی A2 که یک سناریوی بدبینانه است به ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۵۷ و ۱/۷۹ متر بر ثانیه برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. میزان افزایش متوسط سرعت باد تحت شرایط سناریوی A2 به‌مراتب بیش‌تر از سناریوی B2 به‌خصوص در فصول بهار و تابستان است همچنین تحت شرایط سناریوی A2 بیش‌ترین افزایش متوسط سرعت باد مربوط به فصول بهار و تابستان و پاییز است و در فصل زمستان هم این افزایش سرعت محسوس است.



شکل ۲- مقایسه سرعت باد شبیه‌سازی شده توسط سناریو B2 در سه دوره زمانی آتی

Figure 2. Comparison of the wind speed simulated by scenario B2 for the three subsequent periods.



شکل ۳- مقایسه سرعت باد شبیه‌سازی شده توسط سناریو A2 برای سه دوره متوالی

Figure 3. Comparison of the wind speed simulated by scenario A2 for the three subsequent periods

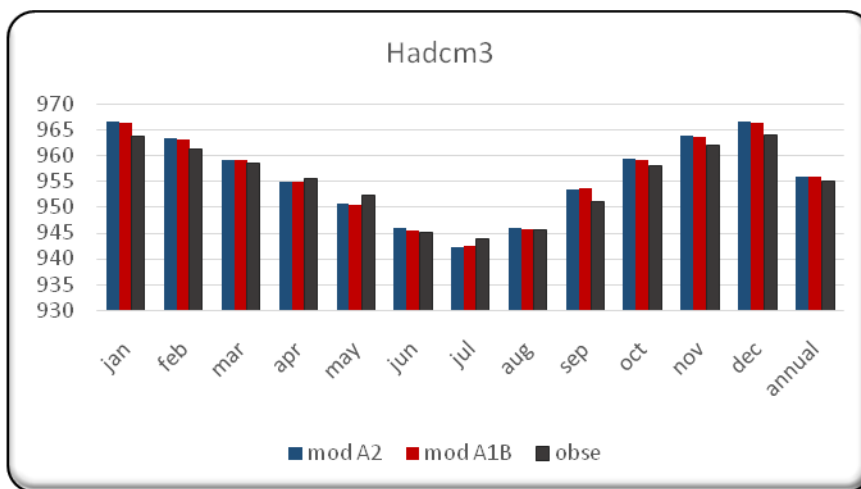
فشار

نتایج حاصل از ریزگردانی خروجی مدل HADCM3

توسط SDSM

در این مدل از میان متغیرهای مستقل دمای متوسط در ارتفاع ۲ متری، فشار سطح دریا و ژئوپتانسیل ۸۵۰hpa بیشترین همبستگی را با پارامتر فشار تراز دریا داشتند. در نهایت نسبت به واسنجی مدل بر اساس روش حداقل مربعات خطا اقدام شد. جهت بررسی توانایی کلی مدل SDSM در شبیه‌سازی داده‌های مشاهداتی از دو روش ترسیمی و معیارهای آماری MAE

و RMSE که نشان‌دهنده‌ی میزان خطای مدل هست که بهترین مقدار آن‌ها برابر صفر است و ضریب R^2 که بهترین مقدار برابر یک است، استفاده گردید و سپس نتایج با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. مقادیر فوق به ترتیب برای سناریوی A2، ۱/۵ و ۱/۸ و ۰٫۹۴ و برای سناریوی B، ۰٫۱۶ و ۲ و ۰٫۹۳ محاسبه گردید. همچنین نتایج حاصل از روش ترسیمی نیز این مطلب را تصدیق می‌کند که مدل توانسته به‌خوبی داده‌های دوره‌ی پایه را شبیه‌سازی کند.

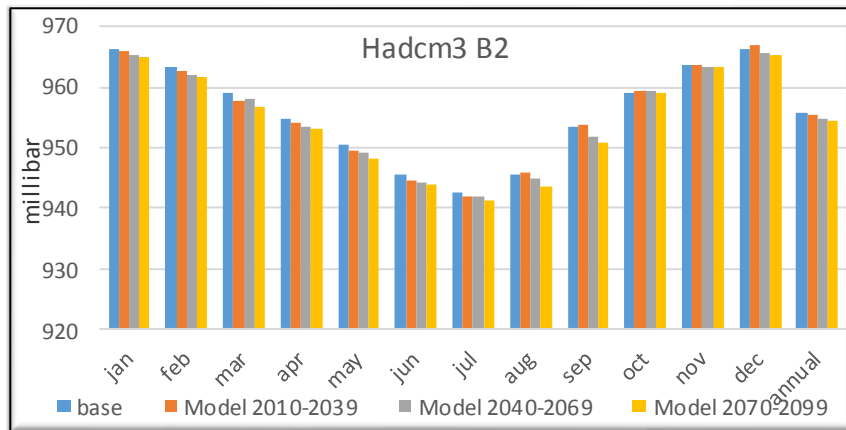


شکل ۴- مقایسه فشار دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰)

Figure 4. Comparison of the monitored and simulated pressure in the base period (1971-2000)

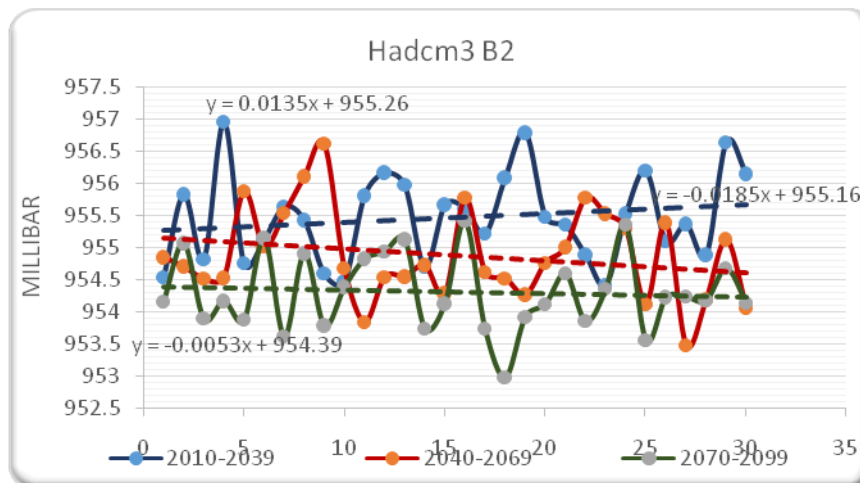
یعنی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در فصل پاییز نسبت به پایه افزایش نشان می‌دهد. بررسی سری زمانی تغییرات فشار تراز دریا هم در شکل ۶ مؤید این نکته است که خط روند طی دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ یک سیر صعودی محسوس را داراست. مطابق این شکل در طول سه دوره مختلف، بیش‌ترین روند کاهشی مربوط به دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ هست که با شیب تندتری نسبت به دو دوره‌ی دیگر مقدار فشار تراز دریا تضعیف شده است و نهایتاً در دوره زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ خط روند تغییرات سری زمانی با شیب ملایم‌تری تضعیف شده است.

میزان فشار تولید شده برای سناریوی B2 در شکل شماره ۵ ترسیم شده است. به‌طور متوسط میزان فشار محاسبه شده توسط سناریوی B2 برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی به ترتیب به ۰٫۰۴، ۰٫۱۰ و ۰٫۱۶ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. لیکن این کاهش در طی سال به‌صورت یکنواخت پراکنده نشده است. به‌نحوی که طی فصول زمستان و بهار و تابستان افت فشار روند منظم‌تری نسبت به فصل پاییز دارد. نکته قابل توجه در این سناریو این است که مقادیر فشار تراز دریا در دوره‌ی ابتدایی



شکل ۵- مقایسه فشار شبیه‌سازی شده توسط سناریو A1B در سه دوره زمانی آتی

Figure 5. Comparison of pressure simulated by A1B scenario in the next three periods

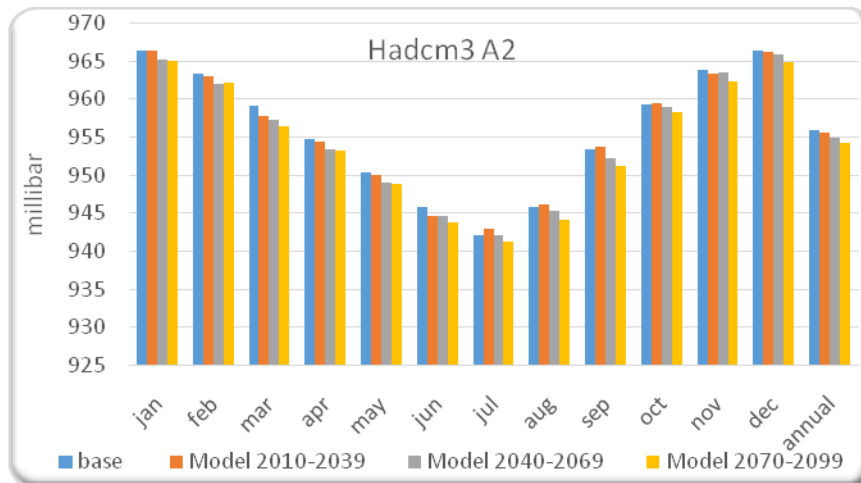


شکل ۶- سری زمانی تغییرات فشار تراز دریا طی سه دوره زمانی آینه

Figure 6. Time series of seawater pressure changes over the next three periods

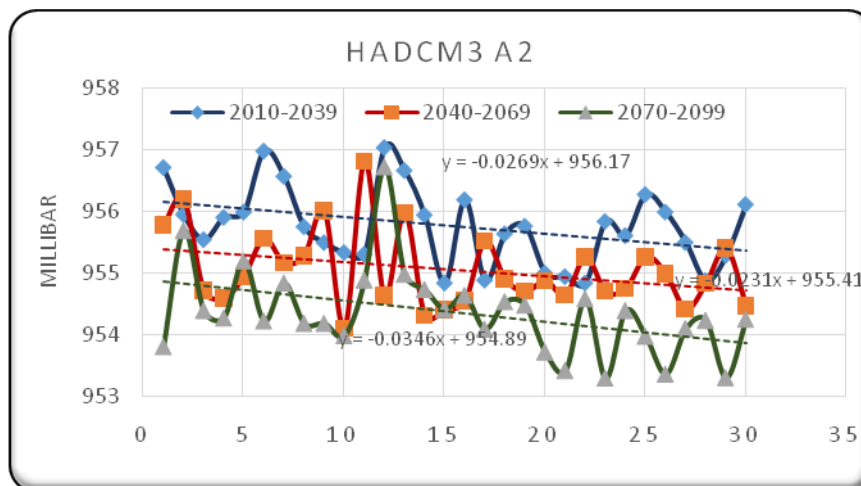
دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در اواخر فصل تابستان و اوایل پاییز مقداری افزایش خواهد یافت؛ و در دو دوره‌ی بعدی میزان افت فشار روند منظم‌تری را خواهد داشت. در شکل ۸ سری زمانی تغییرات فشار تراز دریا تحت شرایط سناریو A2 درج گردیده است. مطابق این شکل در طول سه دوره مختلف، مقادیر کاهش فشار تراز دریا در دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ داری روند کاهشی ملایم‌تری نسبت به دو دوره‌ی دیگر است.

در شکل ۷، میزان تغییرات متوسط فشار تراز دریا تحت شرایط سناریوی A2 که یک سناریوی بدبینانه است نشان داده شده است. طبق این شکل مقادیر فشار برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به ترتیب ۰/۰۳، ۰/۰۹ و ۰/۱۶ نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. تحت شرایط سناریوی مذکور بیش‌ترین کاهش را در دوره پایانی به میزان ۰/۱۶ درصد خواهیم داشت. تحت شرایط این سناریو هم کاهش در طی سال به صورت یکنواخت نخواهد بود. مقادیر فشار در



شکل ۷- مقایسه فشار شبیه سازی شده توسط سناریو A1B در سه دوره زمانی آتی

Figure 7. Comparison of pressure simulated by A1B scenario in the next three periods



شکل ۸- سری زمانی تغییرات فشار تراز دریا طی سه دوره زمانی آینده

Figure 8. Time series for sea level pressure changes over the next three periods

نتیجه گیری

۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. میزان افزایش متوسط سرعت باد تحت شرایط سناریوی A2 به مراتب بیش تر از سناریوی B2 به خصوص در فصول بهار و تابستان می باشد. همچنین تحت شرایط سناریوی A2 بیشترین افزایش متوسط سرعت باد مربوط به فصول بهار و تابستان و پاییز می باشد و در فصل زمستان هم این افزایش سرعت محسوس است. به لحاظ دوره‌ی زمانی بیشترین افزایش با ۳۲ درصد افزایش نسبت به دوره‌ی پایه مربوط به دوره‌ی زمانی ۲۰۷۰-۲۰۹۹ می باشد. همچنین

مطابق نتایج به دست آمده به طور متوسط میزان سرعت باد محاسبه شده توسط سناریوی B2 برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی به ترتیب به ۰/۶۷، ۰/۸۸ و ۱/۱۵ متر بر ثانیه نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. کمترین میزان افزایش مربوط به فصول پاییز و زمستان می باشد و بیشترین افزایش هم مربوط به فصول بهار و تابستان است. همچنین تغییرات متوسط سرعت باد تحت شرایط سناریوی A2 که یک سناریوی بدبینانه است به ترتیب ۱/۳۶ و ۱/۵۷ و ۱/۷۹ متر بر ثانیه برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-

Reference

1. Miu, L. M. (2015). The impact of climate change on wind power production in Scotland. *Energy and Sustainability V: Special Contributions*, 206, 239.
2. Kont, A., Jaagus, J., & Aunap, R. (2003). Climate change scenarios and the effect of sea-level rise for Estonia. *Global and Planetary Change*, 36(1), 1-15.
3. Ghosh, S., & Misra, C. (2010). Assessing hydrological impacts of climate change: modeling techniques and challenges. *The Open Hydrology Journal*, 4(1).
4. Solomon, S. (Ed). (2007). *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC* (Vol. 4). Cambridge University Press
5. Harrison, G. P., & Wallace, A. R. (2005). Sensitivity of wave energy to climate change. *IEEE transactions on energy conversion*, 20(4), 870-877.
6. Kull, A. (2005), Relationship between inter-annual variation of wind direction and wind speed. *Publication Instituti Geographiei universitatis Tartuensis*, 97: 62-70.
7. Tuller, S. E. (2004). Measured wind speed trends on the west coast of Canada. *International journal of climatology*, 24: 1359-1374. Doi: 10.1002/joc.1073.
8. Yao, Y., Huang, G.H., Lin, Q, (2012). Climate change impacts on Ontario wind power resource, *Environmental systems reserch*. DOI:10.1186/2193-2697-1-2.

میزان تغییرات فشار محاسبه شده تحت شرایط سناریو B2 برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی به ترتیب ۰/۰۴، ۰/۱۰ و ۰/۱۶ می‌باشد که نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. لیکن این کاهش در طی سال به صورت یکنواخت پراکنده نشده است. به نحوی که طی فصول زمستان و بهار و تابستان افت فشار روند منظم‌تری نسبت به فصل پاییز دارد. بررسی سری زمانی تغییرات فشار تراز دریا نشان‌دهنده‌ی این امر است که در طول سه دوره مختلف، بیش‌ترین روند کاهشی مربوط به دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ می‌باشد که با شیب تندتری نسبت به دو دوره‌ی دیگر مقادیر فشار تراز دریا تضعیف شده است. میزان تغییرات متوسط فشار تراز دریا تحت شرایط سناریوی A2 که یک سناریوی بدبینانه است نشان داد که مقادیر فشار برای دوره‌های زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به ترتیب ۰/۰۳، ۰/۰۹ و ۰/۱۶ درصد نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت. تحت شرایط سناریوی مذکور بیش‌ترین کاهش را در دوره پایانی به میزان ۰/۱۶ درصد خواهیم داشت. تحت شرایط این سناریو هم کاهش در طی سال به صورت یکنواخت نخواهد بود. همچنین در بررسی سری زمانی تغییرات فشار، مقادیر کاهش فشار تراز دریا در دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ دارای روند کاهشی ملایم‌تری نسبت به دو دوره‌ی دیگر است. نتایج حاضر با یافته‌های صفراد و همکاران (۱۳۹۴)؛ کردی و همکاران (۱۳۹۵)؛ علیزاده و همکاران (۱۳۹۵)؛ که تغییرات فشار تحت تأثیر گرمایش جهانی را بررسی کرده‌اند (۱۷، ۱۹) و همچنین خردادی و همکاران (۱۳۸۶)؛ رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۵)؛ خسروی (۱۳۸۷)، که تغییرات سرعت باد را در چند ایستگاه ایران مورد بررسی قرار دادند مطابقت دارد (۲۲، ۲۰). دلیل افزایش سرعت باد در طول قرن ۲۱ را می‌توان افزایش دمای کره‌ی زمین، از بین رفتن پوشش گیاهی، کاهش سطح یخ‌پهنه‌های آبی و افزایش روند گرمایش در سطح زمین و در نتیجه افزایش شیب تغییرات فشار بین این منطقه و نواحی مرتفع مجاور دانست.

- tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, *Environment Agency of England and Wales*, 94 pp.
17. Safarrad, T., Azizi, GH, Mohammadi, H., Faraji Sabokbar, H. (2015). "The variability of the intensity of Siberian anticyclone during the period of intensifying global warming." *Geography and Environmental Hazards*, 13: 94-77. (In Persian)
 18. Kurdi Tamin, P., Khosravi, M., Hamidianpour, M. (2016). "A Study of Tempo Spatial Variation of Pakistan Low Pressure in the period 1980-2015". Master Thesis, Sistan and Baluchestan University. (In Persian)
 19. Alizadeh, T., Azizi, Q, Moheb Al-Hijjah, A, Khosh-Akhlaq, F. (2016). "Identification of severe temporal and spatial changes in the Mediterranean with a numerical algorithm". *Earth and Space Physics*, 42(2):417-405. (In Persian)
 20. Khordadi, M.S., Islamian, S., Abedi Kupali, J. (1997). "Study of the trend of meteorological parameters in several regions of Iran". Technical Workshop on Climate Change Impacts in Water Resources Management, Tehran, National Irrigation and Drainage Committee. (In Persian).
 21. Rahimzadeh, F., Fattahi, A., Hosseini Dastak, F. (2005). "Study of Climate Variability in Iran Using Statistical Models". *Iranian Journal of Water Resources Research*, 2: 73-61.(In Persian)
 22. Khosravi, M. (2008). "Environmental Impacts of the Interaction of Helmand River Oscillations with 120-Day Winds". *Geographical Research*, 23: 19-48. (In persian)
 9. Nolan, P., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, S. (2011). Simulating climate change and its effects on the wind energy resource of Ireland. *Wind Energy*, 15 (4): 593-608.
 10. Rahim, M., Yoshino, J., Doi, Y., Yasuda, T. (2012). Effects of global warming on the average wind speed field in central Japan. *Journal of sustainable energy-Environment*, 3 (4): 165-171.
 11. Kamranzad, B. "Study of wind speed changes near Chabahar region in the Oman Sea due to climate change". *Journal of Marine Engineering*, 2014, 10th year, 19: 20-13. (In Persian)
 12. Mofidi, A., Hamidianpour, M., Saligheh, M., Alijani, B "Determining the time of beginning, end and duration of Sistan wind by using the methods of estimating the change point". *Geography and Environmental Hazards*, 2013, 8:112-87.(In Persian)
 13. Hamidianpour, M., Mofidi, A., Saligheh, M. "Analysis of the nature and structure of Sistan wind". *Iranian Journal of Geophysics*, 2016, 10(2): 109-83 .(In Persian)
 14. Hosseinzadeh, R. (1997). "120-day winds of Sistan". *Geographical Research Quarterly*, 46: 127-102 .(In Persian)
 15. Mofidi, A., Kamali, S. (2012). "Investigation and analysis of the structure of dust storms in Sistan plain using the climate model of RegCM4 regional scale, Case Study: July 30, 2001", The First National Conference on Desert, Karaj. (In Persian)
 16. Wilby, R. L., & Dawson, W. C. (2007). SDSM 4.2- A decision support