

اثرات پیش بینی شده احتمالی تغییر اقلیم بر اکوسیستم های ساحلی مانگرو خلیج

فارس با تاکید بر متغیرهای دما و بارش

هانای اعتمادی^{*۱}

h.etemadi@pgu.ac.ir

حسین دلش^۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۲

چکیده

زمینه و هدف: تغییر اقلیم و گرمایش جهانی یکی از گسترده ترین و مهم ترین مخاطرات زیست محیطی است. هدف این مطالعه بررسی روند دمای حداقل، حداکثر و بارندگی در دوره گذشته بوشهر به عنوان استان ساحلی خلیج فارس و پیش بینی آینده اقلیمی آن تا انتهای سال ۲۱۰۰ میلادی و همچنین اثرات احتمالی پیش بینی شده بر اکوسیستم های جنگلی مانگرو خلیج فارس می باشد. **روش بررسی:** در این مطالعه از روش ریزمقیاس رگرسیونی $SDSM^3$ و از مدل GCM^4 کانادایی $CanESM2$ در سه سناریو $RCP2.6$ ، $RCP4.5$ و $RCP8.5$ و مدل $HadCM3$ در سناریو $A2$ برای شبیه سازی داده های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک بوشهر در دوره های پایه، مشاهداتی و آتی (۲۰۱۰-۲۱۰۰) استفاده شد. همچنین اعتبارسنجی مدل با پنج شاخص آماری و عدم قطعیت مدل با روش بوت استرپ محاسبه شد.

یافته ها: میزان افزایش دمای میانگین فصل زمستان و تابستان در طول دوره ۴۷ ساله به ترتیب $1/8$ و $1/7$ درجه سانتی گراد بوده است. پیش بینی آینده اقلیمی دمای بیشینه و کمینه در مدل $CanESM2^5$ و $HadCM3^6$ بیش ترین افزایش را در ماه های سرد سال نشان دادند. همچنین دمای پیش بینی شده مدل $CanESM2$ در ماه های گرم از دمای کنونی کم تر خواهد بود. شبیه سازی متغیر اقلیمی بارش در مدل $HadCM3$ افزایش بارش را در فصل تابستان و پاییز و مدل $CanESM2$ افزایش بارش را برای همه فصول سال نشان دادند.

بحث و نتیجه گیری: هر دو مدل زمستان های گرم تری را در دهه های آتی برای استان بوشهر پیش بینی کردند. با پیش بینی طولانی شدن فصل گرم در مدل $CanESM2$ ممکن است زمان جوانه زنی و گل دهی مانگروها طولانی تر و از سه ماه به شش ماه تغییر یابد. در

۱- استادیار گروه محیط زیست، پژوهشکده خلیج فارس، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران * (مسئول مکاتبات).

۲- دانش آموخته دکتری محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

- 3 - Statistical Down-Scaling Model
- 4 - General Circulation Model
- 5 - Canadian Earth System Model
- 6 - Hadley Center Climate Model

صورتی که افزایش بارش های پیش‌بینی شده به صورت ریزش‌های حدی نباشند می‌توانند همراه با افزایش دما باعث رشد و توسعه بیش تر مانگروها شوند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریزمقیاس نمایی، مانگروهای خلیج فارس، دما، بارش.

Potential Expected Climate Change Impact on Persian Gulf Coastal Mangrove Ecosystems Based on Temperature and Precipitation Variables

Hana Etemadi ^{1*}

h.etemadi@pgu.ac.ir

Hossein Delshab ²

Admission Date: April 18, 2018

Date Received: September 24, 2017

Abstract

Background and Objective: Climate change and global warming are one of the most widespread and important environmental hazards. The purpose of this study is to investigate the trend of minimum, maximum and rainfall temperatures in the past period of Bushehr as a coastal province of the Persian Gulf and predict its climatic future by the end of 2100 AD, as well as the possible effects on the mangrove forest ecosystems of the Persian Gulf.

Method: In this research, the statistical down scaling model (SDSM) along with two different GCMs entitle CanESM2 in three RCP2.6, RCP4.5 RCP8.5 scenarios and HadCM3 in A₂ scenario, were used to simulate climatic variables during base (1961-2005), current and future (2010–2099) periods in Bushehr synoptic station. Furthermore, model evaluation and uncertainty assessment performed by five different statistical criteria and a non-parametric bootstrapping technique, respectively.

Findings: The linear regression of the observed winter and summer mean temperature showed that mean temperature has increased +1.8 and +1.7°C over the past 47 years, respectively. Both, CanESM2 and HadCM3 model simulation results demonstrated that the most raise of minimum and maximum temperatures will occur in the future cold seasons. But, CanESM2 simulation analysis revealed that a decrease trend will occur in the minimum and maximum temperatures through future warm months. Also, HadCM3 simulation results showed that precipitation will rise in summer and fall seasons, while CanESM2 results presented an increase in rainfall variable throughout the year.

Discussion and Conclusion: Both of models have predicted warmer winter in the next several decades. Based on CanESM2 model results that we will have longer warmer seasons, there is a possibility of prolonging reproduction (germination and flowering) season in Persian Gulf mangroves from 3 to 6 months. Based on our results, future rainfall is more likely to become more frequent and intense. If those precipitations do not occur in extreme events, accompany with high temperature can cause more mangrove expansion and growth in future decades.

Keywords: Climate Change, Down-Scaling, Persian Gulf Mangroves, Temperature, Precipitation.

1- Assistant Professor of Environmental Sciences, Persian Gulf Research Institute, Persian Gulf University, Bushehr, Iran
**(Corresponding Author)*

2- PhD in Environmental Science, Science and Technology Unit, Azad University, Tehran, Iran.

مقدمه

می‌باشد. پوشش درختان مانگرو با نام‌های مانگروهای بیدخون (۹۶ هکتار) و مانگروهای بساتین (۴۰ هکتار) و جنگل‌های حرای مل‌گزه (۱۰/۵ هکتار) در محدوده بخش بردخون می‌باشد (۵). شکل ۱ جانمایی مانگروهای استان بوشهر را نشان می‌دهد.

شبیه سازی متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی

روش‌های مختلفی برای شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در دوره های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آن‌ها استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو یا GCM می‌باشد. در این تحقیق از دو مدل CanESM2 و HadCM3 به عنوان مدل‌های منتخب GCM برای تولید متغیرهای اقلیمی آینده استفاده شد. مدل CanESM2 با رزولوشن ۱/۸۷۵ درجه در سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای شبیه سازی داده های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک بوشهر در دوره های پایه، مشاهداتی و آتی (۲۰۱۰-۲۰۱۰) مورد استفاده قرار گرفت. مدل HadCM3 دارای قدرت تفکیک افقی ۲/۵ در ۳/۷۵ درجه عرض و طول جغرافیایی می باشد. قدرت تفکیک بالای مولفه اقیانوسی، مهمترین مزیت این مدل می باشد که در این مطالعه از سناریو A2 استفاده شد. پس از انتخاب مدل های GCM مورد نظر و تهیه پارامترهای اقلیمی مربوط به هرمدل اقدام به کوچک مقیاس کردن آن‌ها به کمک مدل آماری رگرسیونی SDSM، می‌کنیم.

معرفی مدل SDSM^۲

مدل آماری SDSM یکی از پرکاربردترین روش‌های ریزمقیاس نمایی است که با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره روابط بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته را مشخص می‌کند. شرح کامل مدل SDSM در مقاله (۶) قابل استناد است. طول دوره پایه این مدل ۴۵ سال از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ می‌باشد همچنین برخی از پیش‌بینی کننده های استفاده شده در مدل

تغییرات اقلیمی یکی از ویژگی های طبیعی چرخه اتمسفری می‌باشد که بر اثر ناهنجاری ها و یا نوساناتی در روند پارامترهای هواشناسی از جمله بارندگی و دما حاصل می شود (۱). گزارش جامع پنجمین ارزیابی گروه کاری موسسه هیات بین دول تغییر اقلیم^۱ (IPCC) در سپتامبر ۲۰۱۳ منتشر شد. از یک نسل جدیدی از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌کنند به طوری که مدل‌های جدید جزئیات بیش تری از اقلیم جهانی را ارائه می‌دهند. در گزارش پنجم، IPCC از سناریوهای اقلیمی جدیدی با عنوان (RCPs^۲) برای پیش بینی وضعیت اقلیمی آینده، استفاده کرده‌اند. بر پایه این گزارش، دامنه پیش‌بینی افزایش میانگین جهانی دمای سطحی کره زمین تا انتهای قرن ۲۱ در گزارش پنجم بین ۱-۴/۸ درجه سانتی‌گراد می باشد. بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک عرض‌های جغرافیایی میانی بارش کم‌تری (با قطعیت زیاد) تجربه خواهند کرد (۱). بر اساس مطالعات مختلف صورت پذیرفته تغییر اقلیم اثرات باقوه-ای بر نواحی خشک و نیمه خشک بر جای می‌گذارد زیرا از یک طرف کاهش بارندگی و افزایش دما باعث تقویت خشک سالی، بیابان زایی و تبخیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده و از سوی دیگر این مناطق بدون در نظر گرفتن اثرات تغییر اقلیم بدلیل خشک سالی های طولانی مدت نواحی آسیب‌پذیر به لحاظ استانداردها و مخاطرات محیطی هستند (۲، ۳). چهار اثر اصلی و شاخص تغییر اقلیم بر سواحل شامل افزایش درجه حرارت، تغییر در میزان بارش، افزایش سطح آب دریا، افزایش وسعت و شدت وقایع حدی مثل سیل، طوفان‌های دریایی، هجوم امواج گرمایی و گرد و غبار می باشد که همگی از مخاطرات جدی تغییر اقلیم می باشند (۴).

داده ها و روش ها

گونه‌ی حرا با نام علمی *Avicennia marina* متعلق به خانواده‌ی Avicenniaceae تنها گونه‌ی عمده‌ی جامعه‌ی حرای خلیج فارس محسوب می‌گردد و نوع غالب حرای ایران

1 - Intergovernmental Panel on Climate Change
2 - Representative Concentration Pathways

3- Statistical Downscaling Model

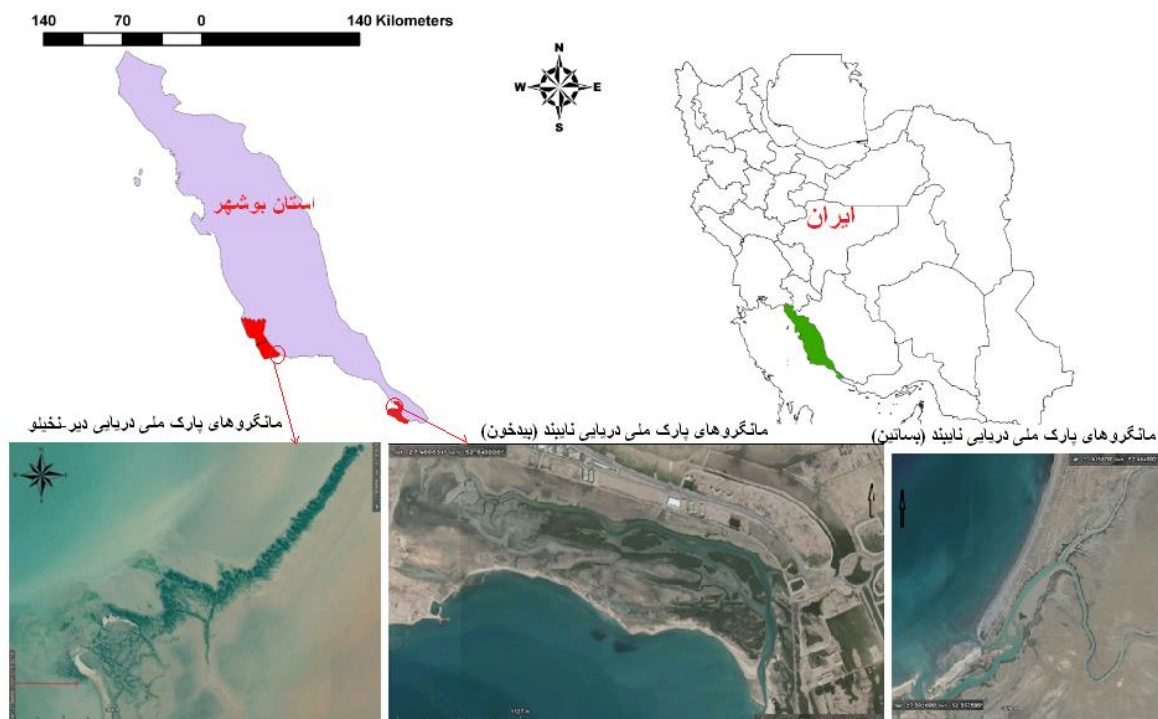
نتایج و بحث

اعتبارسنجی مدل **SDSM**: نتایج اعتبارسنجی مدل ریزمقیاس SDSM برای دو مدل CanESM2 و HadCM3 به طور ماهیانه بر پایه پنج شاخص متفاوت آماری در جدول ۲ آورده شده است. نتایج اعتبارسنجی مدل برای دمای حداقل و حداکثر نشان از همبستگی بالا بین داده‌های کوچک مقیاس شده پایه و مشاهداتی دارد. بدلیل عدم قطعیت بیش‌تر داده‌های بارش نسبت به دما ضرایب پنج شاخص اعتبارسنجی مقادیر کم‌تری را نشان دادند.

CanESM2 متفاوت از مدل‌های ارایه شده ۲۰۰۷ مانند مدل HadCM3 می‌باشد که برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی از پیش بینی کننده‌های (NCEP) با دوره زمانی ۴۱ سال از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۱ استفاده می‌شد. میزان قابلیت اعتماد و اعتبار داده‌های اقلیمی کوچک مقیاس توسط پنج شاخص متفاوت آماری سنجیده می‌شود. این شاخص‌ها شامل MAE^1 ، $R2^2$ ، RMS^{E2} ، NSE^4 و $PBIAS^5$ می‌باشد.

تحلیل عدم قطعیت: جهت انجام دو آنالیز، افزایش دقت در ارزیابی داده‌های مشاهداتی و محاسبه حد بالا و حد پایین در سطح اطمینان ۹۵٪ داده‌ها از نرم افزار SPLUS2000 و آزمون Bootstrap استفاده خواهد شد. در آزمون Bootstrap ابتدا داده‌های مشاهداتی و کوچک مقیاس شده در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) را بر اساس ماه‌های میلادی جدا می‌کنیم (۷).

-
- 1- Mean Absolutely Error
 - 2- R Squared
 - 3- Root Mean Square Error
 - 4- Nash-Sutcliffe Coefficient
 - 5- Percent Bias



شکل ۱- جانمایی جنگل های مانگرو نایبند (بیدخون و بساتین) و جنگل های مانگرو منطقه حفاظت شده مند در استان

بوشهر

Figure 1. The location of mangroves in Mond protected area and Nayband national park (Bidkhood and Basatin)

جدول ۲- نتایج اعتبارسنجی مدل SDSM برای داده های دما و بارش ماهیانه

Table 2. SDSM model validation for monthly temperature and precipitation

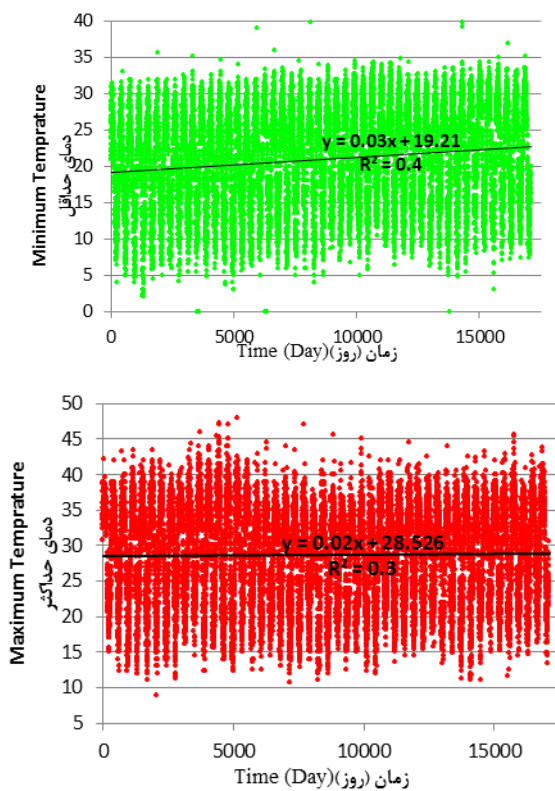
شاخص های آماری	دمای حداقل		دمای حداقل		بارش	
	CanESM2	HadCM3	CanESM2	HadCM3	CanESM2	HadCM3
PBIAS	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳	۰/۰۶۷	۰/۰۶۸	-۵/۱۱۲	-۳/۳۵۲
MAE	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۱۴	-۰/۰۱۷	۰/۷۶۳	۰/۷۲۲
RMSE	۰/۱۷۲	۰/۱۶۵	۰/۱۷۸	۰/۱۸۹	۲/۸۲۵	۲/۲۲۷
NSE	۰/۹۷۸	۰/۹۵۶	۰/۹۸۲	۰/۹۸۰	۰/۹۶۵	۰/۹۵۳
RSQ	۰/۹۸۹	۰/۹۷۸	۰/۹۶۹	۰/۹۶۲	۰/۹۱۱	۰/۷۸۹

ایستگاه سینوپتیک بوشهر بدست آمد که نتایج به ترتیب در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل میزان افزایش دمای حداقل و حداکثر به درجه سانتی-گراد بر سال به ترتیب ۰/۰۷۵ و ۰/۰۱۱ می باشد همچنین مطابق نتایج در طی ۴۷ سال میزان افزایش دمای کمینه ۳/۵۳+ درجه سانتی-گراد که با توجه به مقیاس اقلیمی افزایش این میزان درجه حرارت در

بررسی دمای حداقل و حداکثر و بارش در دوره های گذشته

نرخ تغییرات دمایی (حداقل و حداکثر درجه حرارت) با استفاده از تطابق مدل رگرسیونی بر روند تغییرات روزانه دمای حداقل و حداکثر روزانه در دوره ۴۷ ساله (۲۰۱۶-۱۹۶۹) داده‌های

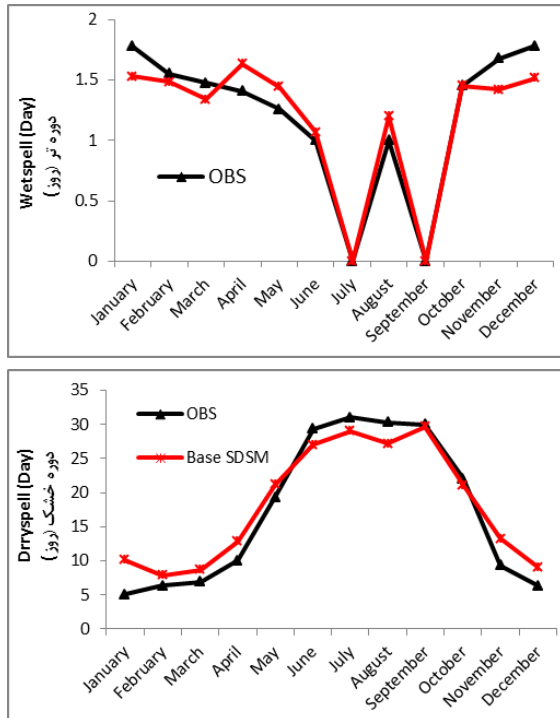
تست مشخص شد متغیرهای بارندگی شامل نسبت روزهای بارانی بیش‌تر مساوی ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ روز قبل و بعد از سال ۲۰۰۳ و مجموع ماهیانه بارندگی قبل و بعد از سال ۲۰۰۳ به طور معنی‌داری در قبل و بعد از ۲۰۰۳ متفاوت می‌باشند شکل ۵ طول دوره خشک و تر در ماه‌های مختلف ایستگاه سینوپتیک بوشهر را نشان می‌دهد. بیش‌ترین دوره خشک مربوط به ماه‌های گرم و طولانی‌ترین دوره خشک در تابستان اتفاق می‌افتد. بیش‌ترین دوره تر مربوط به ماه ژانویه به مدت کم‌تر از ۲ روز می‌باشد. طول دوره مرطوب مدل SDSM مشخص شده در شکل ۵ نشان می‌دهد به جز ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و آوریل به خوبی با داده‌های مشاهداتی هم‌خوانی دارد که نشان دهنده این است در بیش‌تر ماه‌ها مدل به خوبی توانسته است مقادیر بارش فصلی را پیش‌بینی کند.



شکل ۲- رگرسیون خطی دمای حداقل و حداکثر ایستگاه بوشهر

Figure 2. Linear regression on minimum and maximum temperature in Bushehr station

طول ۴۷ سال به طور قابل توجهی زیاد می‌باشد. از طرفی میزان افزایش دمای بیشینه در طول ۴۲ سال مطالعاتی $+0.51$ می‌باشد. دمای میانگین فصل‌های زمستان و تابستان در دوره ۴۷ ساله (۲۰۱۶-۱۹۶۹) داده‌های ایستگاه سینوپتیک بوشهر بدست آمد که نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل میزان افزایش دمای میانگین فصل‌های زمستان و تابستان در طول دوره ۴۷ ساله به ترتیب $1/8$ و $1/7$ درجه سانتی‌گراد بوده است. بدین معنی که در طول چند دهه گذشته دما در فصل زمستان و تابستان استان بوشهر به یک میزان افزایش یافته است. و شاهد تابستان‌ها و زمستان‌های گرم‌تری بوده ایم. رگرسیون خطی داده‌های دمای حداقل مشاهداتی یک افزایش $3/53^{\circ}\text{C}$ در طول ۴۷ سال گذشته را نشان داد. که این میزان بسیار بیش‌تر از مقادیر جهانی افزایش دما در طول نیم قرن گذشته بوده است. مطابق IPCC ۲۰۰۷ روند خطی افزایشی دما در طول ۵۰ سال گذشته (0.16°C - 0.10°C) $+0.13^{\circ}\text{C}$ بوده است. که این میزان تقریباً دو برابر میزان ۱۰۰ سال پیش بوده است. بر اساس پیش‌بینی وضعیت‌های اقلیمی آینده، اقلیمی گرم‌تر را خواهیم داشت و با ادامه روند گرم‌تر شدن اقلیمی منطقه، افزایش خشک‌سالی را در این منطقه خواهیم داشت. مجموع مقادیر بارش سالیانه به میلی‌متر در طول سال‌های ۱۹۶۹ تا ۲۰۱۵ در ایستگاه سینوپتیک بوشهر را در شکل ۴ (الف) می‌بینید. مطابق داده‌ها و میانگین متحرک رسم شده بر مجموع بارش سالیانه پربارش‌ترین سال ۱۹۹۷ و کم‌بارش‌ترین سال ۲۰۱۰ با میزان $20/3$ میلی‌متر بودند. میانگین بارش سالیانه طولانی مدت برابر $246/5$ میلی‌متر در سال بود. با این تفاسیر شاهد یک دوره خشک‌سالی بین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۴ و همچنین ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۳ نیز شاهد دوره خشکی مجدد در این ایستگاه می‌باشیم. جهت تعیین نقطه تغییر الگوی بارندگی از روش غیرپارامتریک من ویتنی^۱ دو نمونه ای توصیف شده توسط Pettitt در سال ۱۹۷۹ استفاده شد (۸) که نتایج تست در شکل ۴ (ب) آورده شده است. طبق این نتایج سال ۲۰۰۳ به عنوان نقطه تغییر شناخته شد. همچنین با آنالیز آماری تی-



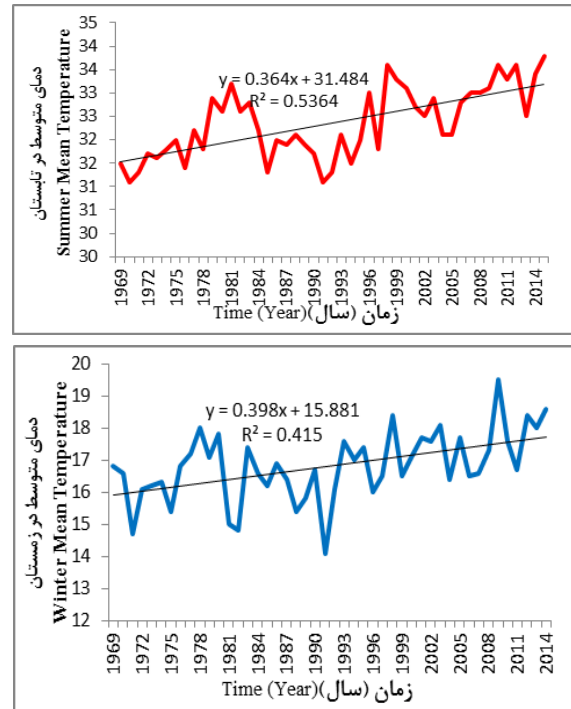
شکل ۵- مقایسه میانگین بوت استرپی ماهیانه دوره خشک و تر برای داده های ریزمقیاس شده با استفاده از SDSM در ایستگاه بوشهر

Figure 5. Monthly Bootstrap Mean of wet and dry spell for out-put data of SDSM in Bushehr station

بررسی دمای حداقل و حداکثر در دوره های آینده: ۱-

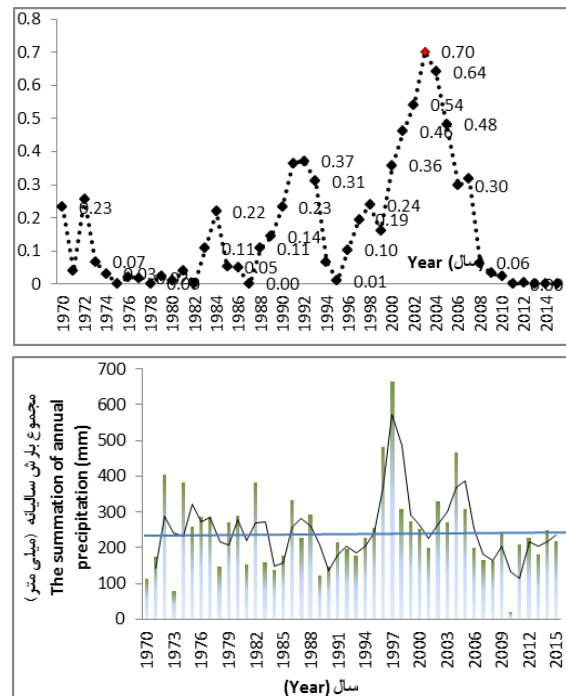
مدل CanESM2

میانگین ماهیانه دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی و مدل شده (پایه مدل، CanESM2 در سه سناریو RCP4.5, RCP2.6, RCP8.5 و برای ۲۰۰۶-۲۱۰۰ در شکل ۶ نشان داده شده است. پیش بینی آینده اقلیمی مدل های CanESM2 نشان می دهد که دمای بیشینه و کمینه در ماه های سرد سال در دوره مطالعاتی آتی به صورت فزاینده ای تا حدود ۳-۷ درجه سانتی-گراد افزایش خواهد داشت. در حالی که در ماه های گرم دمای پیش بینی شده از دمای کنونی کم تر خواهد شد. سه سناریو بکارگرفته شده در پیش بینی دمای حداکثر آتی مشابه یکدیگر نتیجه دادند. همچنین میانگین بلندمدت سالیانه دمای بیشینه حدود ۳ درجه سانتی-گراد افزایش سه سناریو تحت مطالعه مدل CanESM2 نشان دادند. بر پایه مدل CanESM2 حداقل دوره آتی در ماه های نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه،



شکل ۳- رگرسیون خطی دمای میانگین فصل تابستان و زمستان در ایستگاه بوشهر

Figure 3. Linear regression on summer and winter mean temperature in Bushehr station



شکل ۴: الف) مجموع بارش سالیانه - ب) نتایج تست

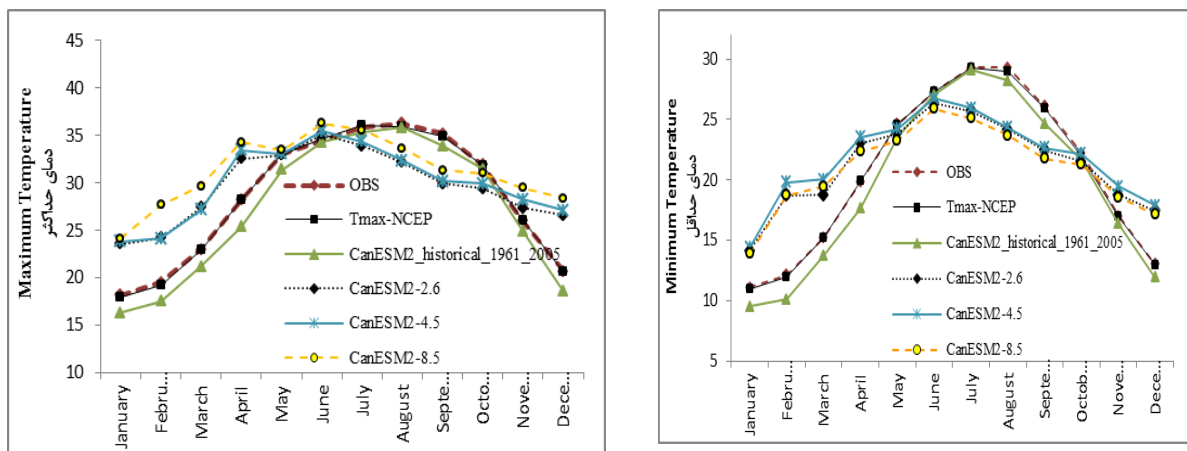
پتیت من ویتنی

Figure 4. A) Sum annual precipitation B) Result of Pettit Mann Whitney test

مارس و آپریل افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان دادند. در حالی که در ماه های گرم دمای حداقل پیش‌بینی شده از دمای کنونی حدود ۵ درجه سانتی‌گراد کم‌تر خواهد شد. مطابق شکل ۷ پیش‌بینی آینده اقلیمی مدل CanESM2 در پارامتر میانگین بارش نشان از کاهش بارش تنها در دو سناریو ۲/۶ و ۴/۵ در زمستان و افزایش میانگین بارش در فصل های بهار، تابستان و پاییز دارد. همچنین در پارامتر مجموع بارش در همه سناریوها در کل فصل ها شاهد افزایش بارش خواهیم بود. نتایج سه سناریو تست شده مشابه بود و تغییرات زیادی نشان ندادند. در تست مدل SDSM به دلیل پراکنش نامنظم بارندگی در طول سال و این‌که اکثریت روزهای سال بارندگی مساوی صفر می باشد

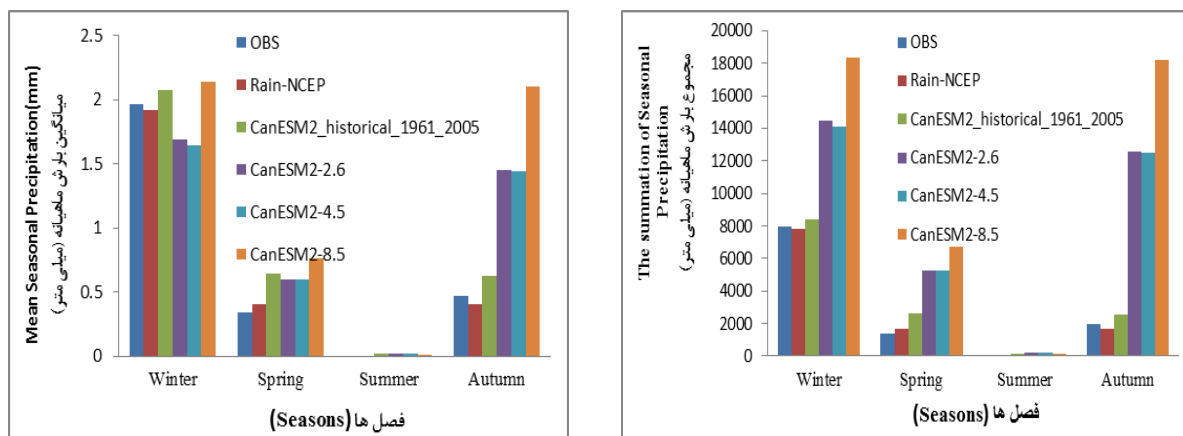
۲- مدل HadCM3

میانگین ماهیانه دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی (OBS) و مدل‌شده HadCM3 در سه دوره زمانی ۲۰۱۰-۲۰۳۹،



شکل ۶- تغییرات میانگین ماهیانه دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی (OBS) و پایه NCEP، مدل شده CanESM2 برای ۲۱۰۰-۲۰۰۶ در ایستگاه بوشهر

Figure 6. Mean monthly maximum and minimum temperature changes (Observed(OBS), NCEP, CanESM2) for 2006-2100 period in Bushehr station



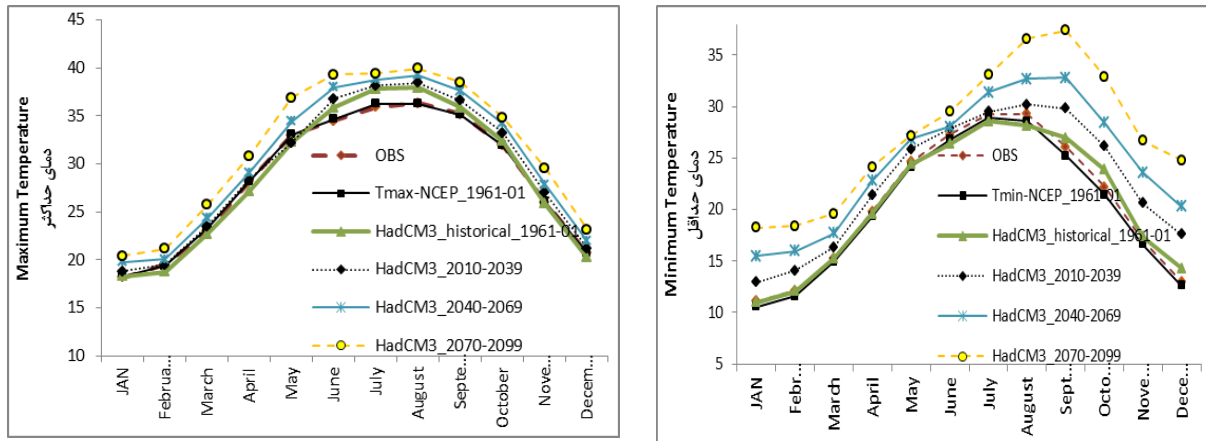
شکل ۷- میانگین و مجموع بارش ماهیانه (مشاهداتی (OBS) ، NCEP ، مدل شده CanESM2) برای دوره آبی و ۲۱۰۰-

۲۰۰۶ در ایستگاه بوشهر

Figure 7. Mean and sum monthly precipitation (Observed(OBS), NCEP, CanESM2) for 2006-2100 period in Bushehr station

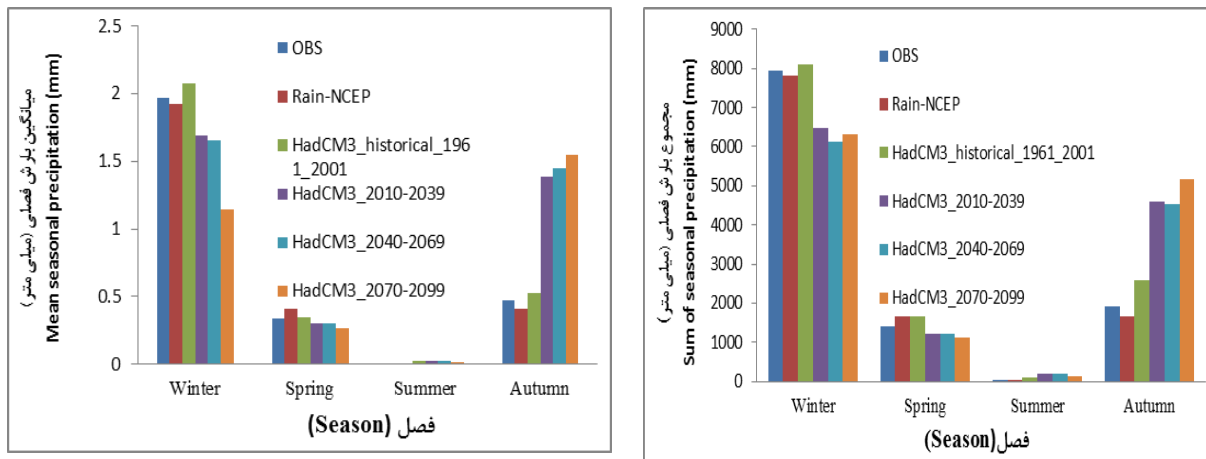
دمای بیش از ۳۸ درجه نداشتند. در مطالعه ای که لیلیولد و همکاران (۲۰۱۲) در منطقه خاورمیانه انجام دادند میزان افزایش دمای ماکزیمم ۳/۵ درجه سانتی‌گراد و دمای شب را ۳/۵ تا ۷ درجه سانتی‌گراد برای جنوب ایران تا ۲۱۰۰ پیش بینی کردند (۹). طبق نتایج این تحقیق به احتمال بسیار زیاد دمای شب ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بیش‌تر از دمای روز در دوره های زمانی آینده خواهد بود و بارش به طور معنی‌داری در قسمت جنوب شرقی خاورمیانه افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت که این افزایش را مربوط به گسترش توده هوای مرطوب از حاره به سمت شمال عنوان کردند.

مطابق شکل ۹ پیش‌بینی آینده اقلیمی مدل HadCM3 در پارامتر بارش نشان از کاهش بارش در زمستان و بهار و افزایش میانگین بارش در فصل‌های تابستان و پاییز دارد. همچنین بیش‌ترین کاهش در پارامتر مجموع بارش طی دوره ۲۰۴۰ تا ۲۰۷۰ در فصل زمستان و تا حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر رخ خواهد داد. پیش‌بینی متغییر اقلیمی بارش در مدل HadCM3 افزایش بارش را در فصل تابستان و پاییز و مدل CanESM2 افزایش بارش را در همه فصول سال نشان دادند. ولی داده‌های دمایی حداکثر آینده، شبیه‌سازی شده توسط مدل-CanESM2 در سناریو ۸/۵ بیش‌ترین دمای حداکثر مربوط به ماه جون و ۳۶ درجه سانتی‌گراد بود و سایر ماه‌های گرم



شکل ۸- تغییرات میانگین ماهیانه دمای حداکثر و حداقل مشاهداتی (OBS) و پایه NCEP، مدل شده HadCM3 برای ۲۱۰۰-۲۰۰۶ در ایستگاه بوشهر

Figure 8. Mean monthly maximum and minimum temperature changes (Observed, NCEP, HadCM3) for 2006-2100 period in Bushehr station



شکل ۹- میانگین و مجموع بارش ماهیانه (مشاهداتی (OBS)، NCEP، مدل شده HadCM3) برای دوره آبی و ۲۱۰۰-۲۰۰۶ در ایستگاه بوشهر

Figure 9. Mean and sum monthly precipitation (Observed(OBS), NCEP, HadCM3) for 2006-2100 period in Bushehr station

بسیار حساس ترند. چون نرخ افزایش دما در این منطقه نسبت به حالت جهانی بسیار زیاد است بنابراین اکوسیستم مانگروهای ایران به طور بالقوه در معرض یک خطر اصلی به دلیل افزایش دما آبی قرار خواهند داشت. استرس دمایی یک عملکرد پیچیده از شدت (درجه حرارت) طول و نرخ افزایش دما است. شدت استرس دمایی به سرعت با افزایش دما بالای سطح آستانه افزایش می یابد و بسته به دمای افزایش یافته و دیگر فاکتورهای محیطی می تواند اثرات تجمعی داشته باشد. نتایج

آلپرت و همکاران (۲۰۰۸) نیز افزایش بارش را برای دوره های آبی جنوب خاورمیانه پیش بینی کردند (۱۰). باین حال با توجه به تغییرات زمانی و مکانی زیاد پارامتر بارش و محدودیت های ذاتی مدل های بزرگ مقیاس اقلیمی افزایش بارش برای منطقه مطالعاتی بوشهر باید با احتیاط گزارش شود و مسلماً نیاز به تست مدل های به روز بیش تری می باشد. مطالعات پیشین ارزیابی اثرات دما بر اکوسیستم های ساحلی مانگروها (۱۱) نشان دادند اکوسیستم ها به تغییرات دمایی نسبت به تغییرات بارش

3. Webb, E.L., Friess, D.A., Krauss, K.W., Cahoon, D.R., Guntenspergen, G.R., Phelps, J. 2013. A global standard for monitoring coastal wetland vulnerability to accelerated sea-level rise. *Nature Climate Change*, Vol. 4, pp. 238-252.
4. IPCC, 2007. In: Solomon, S.D., 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, pp. 1056-1078.
5. Bushehr Environment Administration, 2017. *Statistics and Information annual reports*. pp. 100-119. (In Persian)
6. Etemadi, H. Samadi, S. Sharifikia, M. 2013. Uncertainty analysis of statistical downscaling models using general circulation model over an international wetland. *Climate Dynamic*, doi:10.1007/s00382-013-1855-0.
7. Khan, M.S. Coulibaly, P., Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *Journal of Hydrology*, Vol. 319, pp. 357-382.
8. Pettitt, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, Vol. 28, pp. 126-135.
9. Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., Maayar, M., Iannakopoulos, C., Xoplaki, E. (2012). Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climate Change*. 114, 667-687. doi:10.1007/s10584-012-0418-4.

داده‌ها نشان می‌دهد که دمای حداکثر در برخی از سناریوهای بدبینانه به بیش از 38°C در طول فصل گرما (ماه‌های جون، جولای، آگوست) خواهد رسید که می‌تواند منجر به توقف فتوسنتز در طول روز و افزایش سرتاسری تنفس گیاه در طول شبانه روز می‌گردد. این درهم‌گسیختگی بین فتوسنتز و تنفس منجر به اثرات نامطلوب بروی تنوع، تولید و پایداری مانگروها خواهد شد. در گونه *Avicennia* به عنوان مقاوم‌ترین گونه مانگرو با افزایش دمای بالای 38°C فتوسنتز به شدت کاهش یافته و متوقف خواهد شد. چون آنزیم‌های فعال در واکنش‌های شیمیایی فتوسنتز به دما حساس می‌باشند زمان جوانه زنی تا گل‌دهی در جنگل‌های مانگرو این منطقه از ژوئن تا انتهای آگوست می‌باشد اما به دلیل افزایش طولانی شدن فصل گرم بر طبق نتایج مدل CanESM2 ممکن است زمان جوانه زنی و گل‌دهی (جون تا سپتامبر) این جنگل‌ها از سه ماه به شش ماه تغییر یابد. و یا طبق نتایج مدل HadCM3 این زمان به ماه‌های آوریل و می شیفیت یابد. اگر چه مطابق نتایج پیش‌بینی شده بارش در آینده ما شاهد افزایش بارش بویژه در فصل پاییز (چون هر دو مدل افزایش بارش را در پاییز پیش‌بینی کردند) هستیم در صورتی که این بارش‌ها به صورت بارش‌های حدی نباشند می‌توانند همراه با افزایش دما باعث رشد و توسعه بیش‌تر مانگروها شوند.

Reference

1. IPCC, 2013. *Climate Change 2013. The physical Science Basis. Summary for policymakers. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, pp. 18-100.
2. Church, J., White, N., Coleman, R., Lambeck, K., and Mitrovica, J. 2004. Estimates of the regional distribution of sea level rise over the 1950 to 2000 period. *Journal of Climate*, Vol. 17, pp. 2609-2625.

11. Withey, P., vanKooten, G.C. 2011. The effect of climate change on optimal wetlands and waterfowl management in Western Canada. *Ecology and Economics*, Vol .70, pp. 798–805.
10. Alpert, P., Krichak, S.O., Shafir, H., Haim, D., Osetinsky, I., 2008. Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over the Mediterranean. *Global Planet Change*, Vol .63, pp. 163–170.