**Journal of Environmental Research**
Vol. 13, No. 25, Spring &Summer 2022

**Journal Homepage: www.iraneiap.ir**
**Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590**

# Investigation of the Effect of Air Temperature on the Health of Branching Corals in Chabahar Bay and Prediction of Their Health Under Climatic Scenarios

**Document Type**
Research Paper

**Received**
2021/08/09

**Accepted**
2022/07/11

**Mohammadreza Alimoradi[1], Mohammad Baaghideh[2]*, Alireza Entezari[2], Mohsen Hamidianpour[3]**

1 PHD of Climatology, Climate Change, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran
2 Associate Professor, Department of Climatology, Faculty of Geography and Environmental Sciences, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran.
3 Assistant Professor, Department of Physical Geography, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

**DOI:** 10.22034/eiap.2022.158588

**Abstract**
Global warming has intensified the corals bleaching in some areas. In this study, the effect of climatic parameters on the health of branching corals in Chabahar Bay was investigated. For this purpose, climatic data of ECMWF center and Chabahar meteorological station were used. Coral health data were obtained from the Coral watch site and also by diving operations by the author. Statistical analyzes were performed using Pearson correlation, multiple regression, Mann-Kendall trend and analysis of variance. To estimate the temperature and health level of the coral ecosystem in the coming decades, the combined data of GCM models of CORDEX database were used under two scenarios of radiation induction RCP8.5 and RCP4.5. The results showed that despite the significant increase in air temperature and a significant decrease in coral health index in the past, the health status of branching corals at the end of 2019 is classified as "good". According to forecasts, although there are differences in the level of branching coral health index between the observation period and the coming decades, these differences are only statistically significant for the distant future and only under the pessimistic scenario of RCP8.5. In other words, under the conditions of climate change from the perspective of both scenarios, the health index of branching corals for the coming decades in the "good" classification with an average annual color grade of about 4 out of 6 Score for the RCP8.5 scenario and 4.3 for the scenario RCP4.5 will be maintained.

**Keywords:** Branching Corals, Coral Watch, Air Temperature, Chabahar Bay**,** Climatic Scenarios

* Corresponding author Email m.baaghideh@hsu.ac.ir

## Extended abstract

### Introduction

Recently, we have witnessed the phenomenon of bleaching in the coastal corals of coastal waters in some parts of the world. One of the influential factors is climate change and global warming (Mileli, 2011; Spalding et al., 2000; Abkenar et al., 2021). Almost all the research published by researchers on Iranian corals is related to Persian Gulf corals and Oman Sea corals have not been considered as they should be. Some coral species can withstand temperatures in the range of 36-40 degrees Celsius, such as the coral reefs south of the Persian Gulf (Bahrain and Saudi Arabia) (Hubbard & Pocock, 1997). The optimum temperature for the development, growth and survival of corals is about 22-28 degrees and in some sources 23-29 degrees Celsius (NOAA). If the average water temperature is above 18 degrees Celsius, tropical corals can grow and reproduce. Very hot water is also unsuitable for corals. At high temperatures the limit is different, but the high limiting temperature is usually around 30 to 35 degrees Celsius (Castro & Huber, 2003). Numerous studies have been conducted on the effect of temperature on coral bleaching and it has been reported that temperatures above normal can stop photosynthesis in *Symbiodinium* and lead to coral bleaching (Jones et al., 1998). Some results suggest that factors such as temperature, ambient humidity, light and human activities have the greatest impact on coastal habitat (Claereboudt, 2006). The difference between the current research and previous research on corals is that according to the studies done so far, no significant research has been done on the corals of Chabahar Bay in relation to the effect of climatic parameters, especially air temperature in a long period and the correlation between them. It is necessary to determine what the maximum, minimum and average temperature parameters of the air have been in the past and to what extent they have been involved in the health of corals in the long run. On the other hand, while being informed about the latest health status of corals in Chabahar Bay, it should be determined whether global warming and water temperature fluctuations, like some parts of the world, have a negative impact on coral health in this region or not. How will 2100 be?

### Materials and Methods

The study area in this research is the coral site east of Chabahar Bay at a depth of 5 meters located north of Shahid Kalantari wharf with geographical coordinates of 37 ° 60' east longitude and 19 ° 25' north latitude. Considering that, the health of corals in this region was examined monthly by the marine environment department of Sistan and Baluchestan province from 2010 to 2018 with the coral watch method, so in order for the work method in this study to be uniform by the research team, during 2019, the health of branching corals in the same way with two stages of diving operations per month (with an interval of at least two weeks) and the use of four random circular transects with a radius of ten meters in each diving operation and recording the health status of scattered coral colonies in The inside of these circular transects was examined by direct observation. In the global standard Coral Watch method, the health of marine corals is measured by an indicator of the concentration and density of single-celled algae coexisting with the coral colony (Hill and Wilkinson, 2004). In this method, the Coral Quality Index (CQI), which is abbreviated as CQI, indicates the amount of changes in the concentration of color in the outer tissue of the coral at a specific site or transect of studies, which is calculated as follows:

1) $$\mathbf{QI} = \mathbf{log_{10}}[(\bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L}_1 + \bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L}_2 + \bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L}_3)/\mathbf{n}]$$

The density of zooxanthellae coexisting with coral colonies is obtained by matching the color table with coral colonies. The range of code changes is set from 1 to 6. Data from ECMWF center and Chabahar meteorological station were used to analyze daily data on climate parameters. Obtaining information related to the health of coral colonies was possible from the data recorded by the department of marine environment of Sistan and Baluchestan province and the coral watch site, while performing diving operations by the author during a full year (the last year of the statistical period) while providing the possibility of direct observations from coral colonies completed this statistical range. In the course of performing statistical analyzes by various methods, including; Pearson correlation, simple and multiple linear regression, Mann-Kendall trend method and analysis of variance were used.

### Results and Discussion

**Correlation of health c of Chabahar Bay corals with climatic parameters**

Since living organisms such as aquatic coral species due to biological characteristics may respond to environmental changes with a time delay step, so Pearson correlation is performed in addition to a simultaneous state with a time delay of one month and to compare the two states in The table was presented. According to the results of Pearson correlation, it was found that the health index of corals with a step of one month delay with the maximum, minimum and average temperature parameters at the level of 0.01 has a direct negative correlation, It means with increasing temperature and relative humidity, the health of branching corals decreases. Estimation of coral health index based on climatic parameters: Since one of the main objectives of this study is to predict the health conditions of corals in the Chabahar Bay area for the next decades is affected by weather conditions. Therefore, in this part of the study, based on the relationship between climate elements and coral health, regression equations Provide a way to provide an estimate of the coral health index by having climatic data for the coming decades, using the capabilities of the proposed models. Therefore, the results of implementing different regression models in the form of the following prediction equations for branching corals are presented. The coefficients of the model were significant at the level of 0.05.

2) $Y_{\text{Branching Coral score}}$=Air RH min × (-0.012) + 4.944
3) $Y_{\text{Branching Coral score}}$=Air RH min × (-0.014) + Wind Speed × (0.152) + 4.695
4) $Y_{\text{Branching Coral score}}$= Air Temp min × (-0.035) + 5.066

**Investigation of coral health index conditions under future climate conditions and RCP4.5 and RCP8.5 scenarios:**

After combining the minimum temperature data of GCM models and simulating temperature parameters for the coming decades, in this part of the study, using regression equation, an attempt was made to evaluate the health conditions of branching corals under climate change conditions for the coming decades. Figures (1 and 2) show the average of the branching coral health index for the selected decades (2030-2049) and (2080-2099) compared to the base period under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.

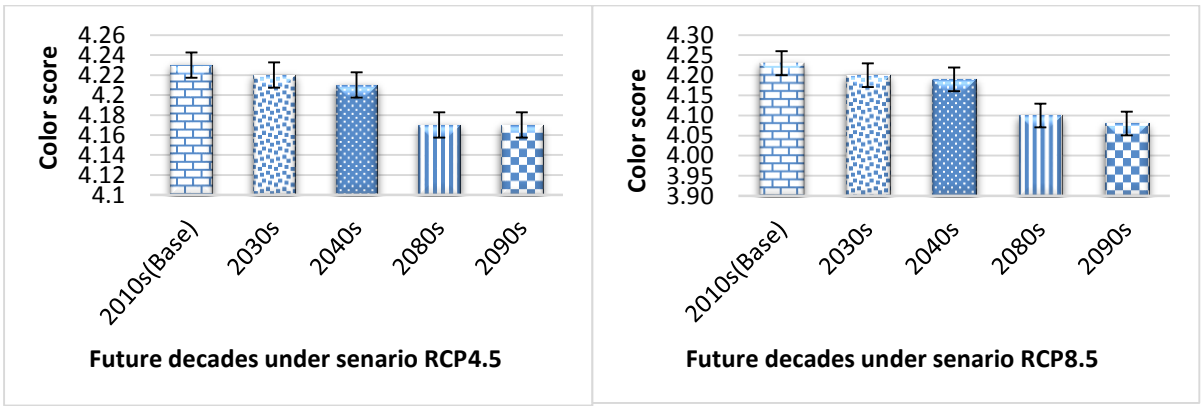



**Figure (1 and 2): Mean Health Index of Branching Corals for the Next Decades - RCP4.5 and RCP8.5 Scenarios**

**Conclusion**

The results of correlation of coral health with climate parameters indicate a significant negative correlation at the level of 0.01 between coral health (with a time delay step) and the parameters of average relative humidity, maximum temperature, minimum temperature and average temperature of the region. According to the results of this study, the increase in minimum temperature compared to the base period in the two periods 2049-2030 and 2099-2080 under the emission scenarios RCP4.5 and RCP8.5 is between 1.42 to 2.58 and 1.82 to 5.88 degrees Celsius Respectively. Although there are differences in the level of branching coral health index between observation period and future decades, but the study of the significance of these differences through analysis of variance showed that these differences are statistically significant only for the distant future and only under the pessimistic scenario of RCP8.5. In other words, under the conditions of climate change from the perspective of both scenarios, the health index of branching corals up to 2100 in the "good" classification

with an average annual color grade of about 4 out of 6 points for the RCP8.5 scenario and 4.3 for the scenario RCP4.5 will be maintained. Estimates of branching coral health status based on the average months of the coming decades under both RCP4.5 and RCP8.5 scenarios show that in comparison from February to July (before summer monsoon) the color scores of the branching coral health index in the coming decades will be higher than the base period (2010) but in the colder months of the year such as August to January (post-monsoon) the numerical value of the color index of the health index in the coming decades will be lower than the base period, indicating the negative effects of increased summer monsoon stress.

**References:**


- Abkenar, A. M; Aminirad, T & Mirshakar, D. 2021. Investigation of the causes of bleaching and displacement of corals in Chabahar Bay, Iranian Journal of Natural Resources, University of Tehran, Fisheries, Volume 74, Number 2, Summer 2021, pp. 208-195 (in Persian).
- Castro, P.; Huber, M. 2003. Marine Biology, Mcgraw-Hill Science/Engineering/Math.
- Claereboudt, M.R. 2006. Reef Coral and Coral Reefs of the Gulf of Oman. Pub.The Historical Association of Oman. ISBN 9948-03- 241-1.
- Hill. J. & Wilkinson, C. R. 2004. "Method for ecological monitoring of Coral Reefs," Asturalian Institute of Marine Science, Townsvill Australia; 2004. 1–117Google Scholar
- Hubbard, J.A. & Pocock, Y. 1997. Sediment rejection by re- cent scleractinian corals: a key to paleoenvironment- al reconstruction. Geol Rundsch 61:598-626
- Jones, R. J.; Hoegh-Guldberg, O.; Larkum, A.W.D. & Schreiber, U. 1998 .Temperature- induced bleaching of corals begins with impairment of the CO2 fixation mechanism in zooxanthellae. Plant Cell Environ. 21:1219-1230.
- Mileli, J. 2011. Effects of Nitrate/Nitrites on coral bleaching: Coral Reef health around the Hawaiian Islands. University of Washington School of Oceanography, pp. 10-11.
- NOAA/NESDIS , 2021. Online website. Monthly climatology. http://oceaniservice.noaa.gov/facts/ coral waters.html.
- Spalding, M. D.; Ravilious, C. & Green, E.P. 2000. World Atlas of Coral Reefs University of California Press. Berkeley Los Angeles, 98 P.

پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۱۳، شماره ۲۵، بهار و تابستان ۱۴۰۱، از صفحه ۲۱۵ تا ۱۸

# واکاوی اثر دمای هوا بر سلامت مرجان‌های شاخه‌ای خلیج چابهار و پیش‌بینی سلامت آن‌ها تحت سناریوهای اقلیمی

**محمدرضا علیمرادی[۱]، محمد باعقیده*[۲]، علیرضا انتظاری[۲]، محسن حمیدیان پور[۳]**

۱ دکتری آب و هواشناسی - تغییرات آب و هوایی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۲ دانشیار، گروه آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۳ استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

**چکیده**

گرمایش زمین سبب تشدید سفیدشدگی مرجان‌های دریایی در برخی مناطق شده است. در این پژوهش اثر پارامترهای آب و هوایی بر سلامت مرجان‌های شاخه‌ای خلیج چابهار بررسی شد. بدین منظور از داده‌های اقلیمی مرکز ECMWF و ایستگاه هواشناسی چابهار استفاده شد. داده‌های سلامت مرجان‌ها از سایت Coral watch و همچنین با عملیات غواصی توسط نگارنده تهیه شد. تحلیل‌های آماری پژوهش با روش‌های همبستگی پیرسون، رگرسیون چندگانه، تعیین روند من کندال و آنالیز واریانس انجام شد. جهت برآورد دما و سطح سلامت اکوسیستم مرجانی در دهه‌های آینده، از داده‌های ترکیبی مدل‌های GCM پایگاه داده Cordex تحت دو سناریوی واداشت تابشی RCP8.5 و RCP4.5 استفاده شد. نتایج نشان داد که با وجود روند افزایشی معنی‌دار دمای هوا و روند کاهشی معنی‌دار شاخص سلامت مرجان‌ها در گذشته، وضعیت سلامت مرجان‌های شاخه‌ای در پایان سال ۲۰۱۹ در طبقه‌بندی «خوب» قرار گرفته است. طبق پیش‌بینی‌ها اگر چه تفاوت‌هایی در سطح شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای بین دوره مشاهده و دهه‌های آینده وجود دارد اما این تفاوت‌ها فقط برای آینده دور و آن هم تنها تحت سناریوی بدبینانه RCP8.5 از لحاظ آماری معنی‌دار است. به عبارت دیگر تحت شرایط تغییر اقلیم از منظر هر دو سناریوی مورد بحث، وضعیت شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای برای دهه‌های آتی در رده‌بندی «خوب» با متوسط سالانه درجه رنگی حدود ۴ از ۶ نمره برای سناریوی RCP8.5 و ۴/۳ برای سناریوی RCP4.5، حفظ خواهد شد.

**کلید واژه‌ها:** مرجان‌های شاخه‌ای، Coral Watch، دمای هوا، خلیج چابهار، سناریوهای اقلیمی

* نویسندهٔ مسئول: Email: m.baaghideh@hsu.ac.ir
DOI: 10.22034/eiap.2022.158588
DOR: 20.1001.1.20089597.1401.13.25.13.4

## سرآغاز

اخیرا شاهد بروز پدیده سفیدشدگی در مرجان‌های دریایی آب‌های ساحلی برخی نقاط دنیا هستیم. یکی از عوامل تاثیرگذار تغییر اقلیم و گرمایش زمین می‌باشد (Mileli, 2011; Spalding et al., 2000; Abkenar et al., 2021). تقریباً بیشتر پژوهش‌های منتشر شده توسط محققین در مورد مرجان‌های ایران، مربوط به مرجان‌های خلیج‌فارس بوده و مرجان‌های دریای عمان آنچنان که باید و شاید مورد توجه قرار نگرفته‌اند. در ابتدا لازم است تا به مهمترین مطالعاتی که در مورد مرجان‌های چابهار صورت گرفته، اشاره شود سپس پیشینه مطالعات صورت گرفته بر روی سایر مرجان‌های ایران و در نهایت برخی از پژوهش‌های خارجی مرتبط با مباحث اقلیمی مطرح شود. به عنوان مثال طی مطالعه‌ای که در خلیج چابهار با استفاده از روش راکد کورال واچ [1] جهت بررسی سلامت مرجان‌ها و عوامل تاثیرگذار بر رشد مرجان‌های دریایی صورت گرفت. نتایج تحقیقات نشان داد که لایروبی اسکله‌ها، ساخت و سازهای بندری، ماهیگیری، لنگراندازی و فعالیت‌های غواصی مهمترین عوامل تخریب اکوسیستم‌های مرجانی خلیج چابهار است (Aminirad & Sanjani, 2010). طی این مطالعه ۲۱ گونه مرجان سخت و ۱۰ گونه مرجان نرم نیز شناسایی شد. بر اساس تحقیقات دیگری که بر روی پارامترهای فیزیکوشیمیایی خلیج چابهار انجام شد، علت کاهش شوری، چگالی و هدایت الکتریکی آب خلیج چابهار ورود رواناب‌های شهری، جریان آب‌های کم‌شور از دریای عمان به سمت ساحل خلیج، انتقال اکمن و افزایش میزان بارندگی پس از طوفان‌های دریایی عنوان شد از طرفی نتیجه گرفته شد که شوری آب خلیج چابهار از سطح به عمق بستر خلیج نیز کاهشی است این کاهش شوری با عمق، به حضور آب‌های زیرسطحی و کم‌شور دریای عمان (عمق متوسط بین ۲۵ تا ۱۵۰ متر و شوری کمتر از psu ۵/۳۶) در اعماق خلیج مربوط بوده که با توجه به وزش باد غربی، یکی از پدیده‌های موثر در رویداد فوق، پدیده فراجوشی (Upwelling) از بستر تا عمق ۱۰-۹ متری خلیج عنوان شده است (Komijani et al., 2011). طی چندین تحقیق جداگانه که به مطالعه نقش اکوسیستم‌های مرجانی ژئومورفوسایت خلیج چابهار در توسعه گردشگری منطقه پرداخته شد با استفاده از روش پرالونگ قابلیت‌های اکوتوریسمی خلیج چابهار به عنوان یک اکوسیستم ساحلی- دریایی مورد سنجش قرار گرفت. همچنین با کاربرد مدل برنامه‌ریزی استراتژیک SWOT راهبرد تهاجمی برای اکوسیستم مرجانی چابهار پیشنهاد شد. در همین راستا نقش صنایع دستی دریایی ساخته شده از اجزای مرجان‌ها در اقتصاد ساحل نشینان و توسعه گردشگری منطقه بررسی و در پایان به منظور توسعه گردشگری دریایی با استفاده از شاخص مرکزیت وزنی، حد فاصل اسکله های کلانتری و تیس چابهار بر اساس کارکردهای موجود در بین مناطق پیشنهادی به عنوان بهترین نقطه خلیج چابهار جهت توسعه زیستگاه‌های مرجانی تعیین شد (Alimoradi et al., 2014). در مطالعه دیگری که وضعیت سلامت مرجان‌های خلیج چابهار مورد بررسی قرار گرفت و بر روی۳ سایت به مدت۶ ماه طول کشید نتیجه گرفته شد که یکی از دلایل مرگ و میر مرجان‌ها، حجم بالای رسوبات بستر دریا و کدورت آب حین دوره مونسون می‌باشد (Tehranifard et al., 2012). بر اساس پژوهشی که به منظور معرفی روش مناسب انتقال مرجان‌های خلیج چابهار و بررسی میزان موفقیت پروژه انتقال مرجان‌ها، انجام شد، نشان‌دهنده حیات و سلامت معنی‌دار مرجان‌ها در سطح ۰/۰۵ بود. در این پژوهش دو روش انتقال مرجان با هم مقایسه و اعلام شد که در روش Carrier basket حدود ۲۶٪ مرجان‌ها و در روش New coral carrier حدود ۹۲ ٪ از مرجان‌های حمل شده بقای خود را در پایان سال اول حفظ نموده‌اند (Ajdari, 2018). مطالعه‌ای در خصوص اثر افزایش دما، عوامل محیط‌زیستی و فعالیت‌های انسانی بر روی وضعیت کلنی‌های مرجانی در جنوب‌شرقی خلیج چابهار محدوده اسکله شهید بهشتی انجام شد و نتیجه گرفته شد روند رسوب‌گذاری از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶ در اطراف اسکله افزایشی بوده و اثرات شمع کوبی اسکله سبب جدا شدن مرجان‌ها از بستر دریا شده است (Abkenar et al., 2021). طبق تحقیقات صورت گرفته در رابطه با اثرات پارامترهای فیزیکو شیمیایی آب بر روی پراکنش مرجان‌های کیش نتیجه گرفته شد که بیشترین سهم در ایجاد عدم شباهت بین ایستگاه‌های مرجانی و فاقد مرجان به ترتیب اهمیت آنها، مربوط به پارامترهای شیب بستر، شدت جریان، شوری، عمق، دمای آب و کدورت است (Mousavi, et al., 2013). در تحقیقی که بر روی مرجان‌های هندورابی انجام شد نشان داد که کلنی مرجان‌های شاخه‌ای، کاملا سفیدشده اند، اما مرجان‌های توده‌ای توانسته‌اند در برابر استرس‌های دمای محیطی تحمل بیاورند (Behzadi, et al., 2020). مطالعه‌ای هم بر روی آبسنگ‌های مرجانی جزیره کیش

انجام شد، پارامترهایی مانند دمای آب، عمق آب، شوری، کدورت، اکسیژن محلول و کلروفیل a، به عنوان مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب معرفی شد (Rezaei, et al., 2010). مطالعه‌ای نیز با روش Line Intercept Transect (LIT) به منظور وضعیت پوشش و سلامت مرجان‌های جزایر خارگ و خارگو صورت گرفت و نشان داد که وضعیت پوشش مرجانی جزیره خارگ (۶۴٪ تا ۷۷٪) مناسب‌تر از جزیره خارگو (۴۸٪ تا ۶۲٪) است و شاخص سلامت مرجان‌ها در جزیره خارگ در وضعیت بهتری نسبت به جزیره خارگو است (Bolouki Kourandeh et al., 2018). بررسی پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم بر ساختار زیستگاهی و تنوع گونه‌ای ماهیان آبسنگ‌های مرجانی در بوم سازگان‌های جزیره‌ای خلیج‌فارس و تنگه هرمز، افزایش دمای سطحی آب خلیج‌فارس را طی سه دهه ۰/۲درجه سانتی‌گراد نشان داد (Owfi, et al., 2018). در خصوص اثر پارامترهای محیطی از جمله دما بر روی مرجان‌های ایران تحقیقات مختلفی دیگری نیز انجام شده از جمله این که عمده مرجان‌های جزیرهٔ کیش دارای کلاد D می‌باشند. بنابراین، اگر استرس‌های انسانی از محیط حذف شود آبسنگ‌های مرجانی این ناحیه می‌توانند در آینده در مقابل تغییرات محیطی، به خصوص درجه حرارت‌های بالا مقاومت کرده و به حیات خود ادامه دهند (Ghavam Mostafavi, et al., 2007). افزایش دما تا سطح ۳۴ درجه سانتی‌گراد در محدوده بردباری مرجان‌های خلیج فارس است و مشکلی را ایجاد نمی‌کند (Valavi, 2009). بررسی تاثیر برخی پارامترهای محیطی بر بیوماس مرجان‌ها در زیستگاه‌های مصنوعی منطقه بحرکان نشان داد که از میان فاکتورهای فیزیکوشیمیایی دما، شوری، کدورت، میزان اکسیژن محلول و PH، تنها بین شوری آب و میزان بیوماس تر مرجان‌ها همبستگی معنی‌داری وجود دارد ($R^2$=۰/۸۲) و در بین آنها PH کمترین میزان همبستگی ($R^2$=۰/۲۱) را با میزان بیوماس مرجان‌ها دارا است (Heidari et al., 2012).

برخی از گونه‌های مرجانی قدرت تحمل دما درحدود ۴۰-۳۶ درجه سانتی‌گراد را دارند مثل آبسنگ‌های مرجانی جنوب خلیج‌فارس (بحرین و عربستان) (Hubbard & Pocock, 1997). دمای اپتیمم برای گسترش، رشد و بقای مرجان‌ها حدود ۲۸-۲۲ درجه و در برخی منابع ۲۹-۲۳ درجه سانتی‌گراد عنوان شده است (NOAA). در صورتی که میانگین دمای آب بالاتر از ۱۸ درجه سانتی‌گراد باشد مرجان‌های گرمسیری می‌توانند رشد و تولید مثل نمایند. آب‌های بسیار گرم نیز برای مرجان‌ها نامناسب می‌باشند. در دمای بالا محدودیت متفاوت است، اما دمای بالای محدودکننده معمولا حدود ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Castro & Huber, 2003). تحقیقاتی نیز بر روی اثر دما بر سفیدشدگی مرجان‌ها صورت گرفته و اعلام شده درجه حرارت‌های بالاتر از حد نرمال می‌توانند عمل فتوسنتز را در *Symbiodinium* متوقف کرده و منجر به پدیدهٔ سفیدشدگی مرجان شود (Jones et al., 1998). برخی نتایج حاکی از آن است که عواملی از جمله دما، رطوبت هوای محیط، نور و فعالیت‌های انسانی بیشترین تاثیر را بر زیستگاه ساحلی دارد (Claereboudt, 2006). تفاوت پژوهش پیش رو با پژوهش‌های قبلی در مورد مرجان‌ها، در این است که طبق بررسی‌های به عمل آمده تا کنون تحقیق قابل توجه‌ای بر روی مرجان‌های خلیج چابهار در ارتباط با اثر پارامترهای آب و هوایی خصوصاً دمای هوا در یک دوره بلندمدت و همبستگی بین آنها صورت نگرفته است و لازم است تا مشخص شود پارامترهای دمای بیشینه، کمینه و میانگین هوا، چه روندی در گذشته داشته‌اند و در بلند مدت تا چه میزان بر سلامت مرجان‌ها دخیل بوده‌اند. از طرفی ضمن اطلاع از آخرین وضعیت سلامت مرجان‌های شاخه‌ای خلیج چابهار مشخص شود آیا گرمایش زمین و نوسانات دمای آب مثل برخی نقاط جهان، تاثیر منفی بر روی سلامت مرجان‌های این منطقه هم داشته یا خیر و تحت سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه اقلیمی وضعیت سلامت مرجان‌ها تا سال ۲۱۰۰ چگونه خواهد بود. از طرفی تحقیق پیش رو می‌تواند به عنوان پایه علمی و بانک داده برای پژوهش‌های آتی بر روی این اکوسیستم مرجانی محسوب شود و نتایج پژوهش‌های بعدی با این پژوهش علمی مقایسه شوند.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، سایت مرجانی شرق خلیج چابهار در عمق ۵ متر واقع در شمال اسکله شهید کلانتری با مختصات جغرافیایی ۳۷' ۶۰° طول شرقی و ۱۹' ۲۵° عرض شمالی می‌باشد. با توجه به این‌که از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۸ سلامت مرجان‌های این منطقه به صورت ماهانه توسط اداره محیط‌زیست دریایی استان سیستان و بلوچستان با روش Coral Watch مورد بررسی قرار گرفته بود. بنابراین جهت یکنواخت بودن روش کار در این پژوهش نیز توسط تیم پژوهشی، طی سال ۲۰۱۹، سلامت

مرجان‌های شاخه‌ای با همان روش با دو مرحله عملیات غواصی در هر ماه (با فاصله زمانی حداقل دو هفته) و استفاده از چهار ترانسکت دایره‌ای تصادفی با شعاع ده متر در هر عملیات غواصی (با مختصات جغرافیایی: "۲۶ ’۱۹ °۲۵ و "۵۶ ’۳۶ °۶۰ :ایستگاه یک، "۱۹ ’۱۹ °۲۵ و "۴۶ ’۳۶ °۶۰: ایستگاه دو، "۱۰ ’۱۹ °۲۵ و "۰۸ ’۳۷ °۶۰ :ایستگاه سه و "۰۶ ’۱۹ °۳۵ و "۵۰ ’۳۶ °۶۰ :ایستگاه چهار) و ثبت وضعیت سلامت کلنی‌های پراکنده مرجان‌های شاخه‌ای در داخل این ترانسکت‌های دایره‌ای، با مشاهده مستقیم مورد بررسی قرار گرفت. در روش استاندارد جهانی Coral Watch سلامت مرجان‌های دریایی به وسیله شاخص نشان‌دهنده میزان غلظت و تراکم جلبک‌های تک سلولی همزیست با کلنی مرجانی سنجیده می‌شود (Hill and Wilkinson, 2004). در این روش شاخص سلامت/کیفیت (Coral Quality Index) که به اختصار CQI نام‌گذاری شده، بیانگر میزان تغییرات در غلظت رنگ در بافت خارجی مرجان در یک سایت و یا یک ترانسکت مطالعاتی خاص می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۱)

$$\mathbf{QI} = \mathbf{log_{10}}[(\bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L_1} + \bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L_2} + \bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L_3})/\mathbf{n}]$$

$\bar{x}\,L$ = میانگین نمره رنگی در هر یک از لایه‌های ترانسکت دایره‌ای و $n =$ تعداد لایه‌های هر ترانسکت دایره‌ای به جای سه لایه می‌توان تنها از ترانسکت با شعاع ۱۰ متر استفاده کرد و فرمول قابل اصلاح است (Aminirad & Azini, 2013).

در این پژوهش نیز برای تعیین میزان غلظت رنگ و تراکم زوگزانتلای همزیست با کلنی‌های مرجانی، برای یکنواختی داده‌های تولیدی نمره رنگی با داده‌های قبلی موجود، از چارت یا جدول رنگی معرفی شده در سایت Coral Watch[۲] استفاده شد. میزان تراکم زوگزانتلای همزیست با کلنی مرجانی، با مطابقت دادن جدول رنگی با کلنی‌های مرجانی به دست می‌آید. دامنه تغییرات کدها از ۱ تا ۶ تعیین شده‌اند. بالاترین کدها که با عدد ۶ مشخص شده‌اند بیانگر تیره‌ترین قسمت و یا بیشترین حد همزیستی بین زوگزانتلا و پولیپ‌های مرجانی و کدهای پایین‌تر (۵، ۴، ۳، ۲و ۱) بیانگر رنگ‌های روشن‌تر می‌باشد کمترین کد که با عدد ۱ مشخص شده است بیانگرکم رنگ‌ترین قسمت و یا کمترین حد میزان همزیستی بین زوگزانتلا و پولیپ‌های مرجانی (سفیدشدگی کامل) می‌باشند. طبیعی است که عامل شکست و نفوذ نور و تشخیص رنگ با عمق آب طی عملیات غواصی هم بر روی جدول رنگی و هم کلنی مرجانی در همان عمق هنگام مشاهدات عینی یکسان است چرا که مطابقت رنگ جدول رنگی با کلنی مرجانی در همان زیر آب انجام و ثبت می‌شود. بنابراین، پس از تعیین میانگین نمره رنگی در هر کلنی، میانگین نمره رنگی کلیه کلنی‌ها در هر لایه از ترانسکت‌های دایره‌ای، به دست آمده و با توجه به فرمول شاخص کیفیت داده‌گذاری و سپس میانگین لگاریتمی کل لایه‌ها به‌عنوان نمره رنگی نهایی در ترانسکت طبق جدول استاندارد (۱) به دست می‌آید (Hill and Wilkinson, 2004). با توجه به کمی بودن داده‌های نمره رنگی شاخص سلامت، جهت درک بهتر وضعیت سلامتی کل اکوسیستم مرجانی می‌توان در نهایت آنها را به داده کیفی در یک طبقه‌بندی ۶ گروهی قرار داد جدول (۱). شاخص وضعیت (CI) جهت رتبه‌بندی اجتماع مرجانی و تنش‌های منطقه مرجانی و شاخص گسترش (DI) جهت توسعه آن محاسبه می‌شود (Idris et al., 2006).

**جدول (۱): پارامترهای کیفی و مقادیر شاخص تغییرات(CCI) و کیفیت (CQI) به منظور پایش اکوسیستم مرجانی**

| پارامتر کیفیت | CCI درصد | CCI مقیاس | CQI درجه رنگی | CQI مقیاس |
|---|---|---|---|---|
| خیلی ضعیف | < ۲۰ | < ۰/۲۵ | ۱/۱ – ۲ | < ۰/۳۰۱ |
| ضعیف | ۲۱ – ۴۰ | ۰/۲۶۵ – ۰/۶۶۶ | ۲/۱ – ۳ | ۰/۳۲۲ – ۰/۴۷۷ |
| متوسط | ۴۱ – ۶۰ | ۰/۶۹۴ – ۱/۵ | ۳/۱ – ۴ | ۰/۴۹۱ – ۰/۶۰۲ |
| خوب | ۶۱ – ۸۰ | ۱/۵۶۴ – ۴ | ۴/۱ – ۵ | ۰/۶۱۲ – ۰/۶۹۸ |
| خیلی خوب | > ۸۱ | > ۴/۲۶۳ | ۵/۱ – ۶ | > ۰/۷۰۷ |

منبع: Idris et al., 2006

برای تحلیل داده‌های روزانه پارامترهای آب و هوایی از داده‌های مرکز ECMWF و ایستگاه هواشناسی چابهار استفاده شد. دریافت اطلاعات مرتبط با سلامت کلنی‌های مرجانی از محل داده‌های ثبت شده توسط اداره محیط‌زیست دریایی استان سیستان و

بلوچستان و سایت Coral watch میسر شد ضمن این که با انجام عملیات غواصی توسط نگارنده در طول یک سال کامل (سال آخر از دوره آماری) ضمن فراهم آوردن امکان مشاهدات مستقیم از کلنی‌های مرجانی، این بازه آماری را کامل‌تر نمود. در مسیر انجام تحلیل‌های آماری از روش‌های مختلف از جمله؛ همبستگی پیرسون، رگرسیون خطی ساده و چندگانه، روش بررسی روند من کندال و آنالیز واریانس استفاده شد.

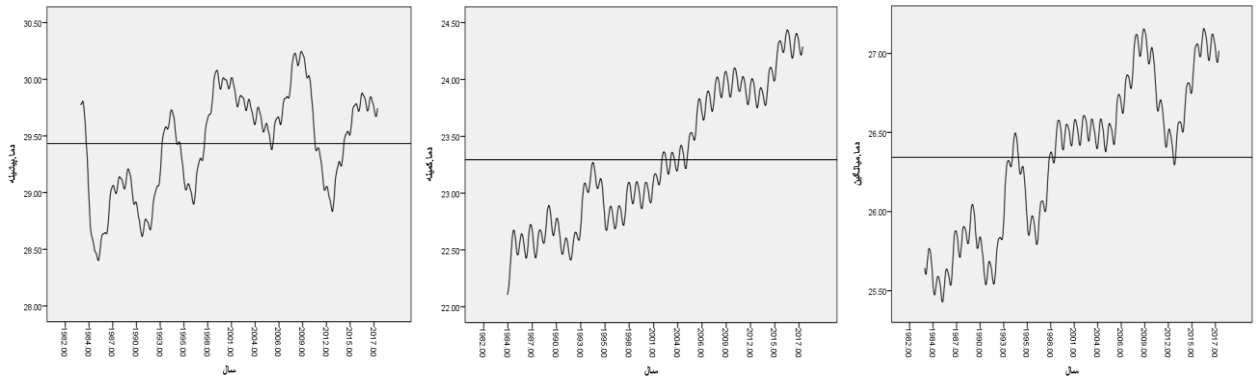
## نتایج یا یافته‌ها

با استفاده از داده‌های ثبت شده در ایستگاه هواشناسی چابهار و آزمون تعیین روند من کندال، کلیه پارامترهای آب و هوایی دخیل در سلامت مرجان‌ها، به لحاظ اطلاع از روند افزایشی یا کاهشی معنی‌داری در سنوات گذشته از ابتدای تاسیس ایستگاه هواشناسی چابهار (۱۹۸۳) تا سال ۲۰۱۹ مورد بررسی قرار گرفت. جدول (۲).

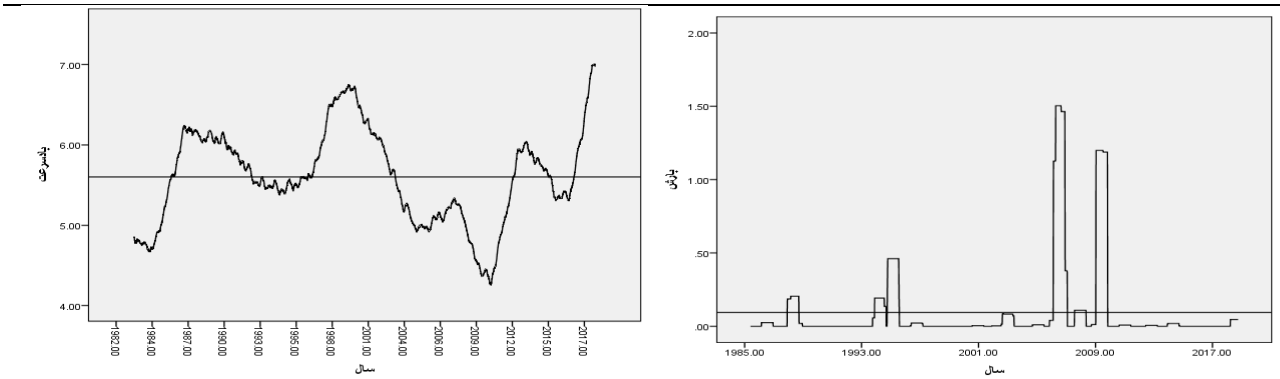
**جدول (۲): روند پارامترهای آب و هوایی طبق داده‌های ایستگاه هواشناسی چابهار**

| روند | p-value | Z | نوع پارامتر آب و هوایی |
|---|---|---|---|
| افزایشی معنی‌دار | ۰/۰۰۰۰۰۰۲ | ۵/۱۱۳۸۴ | دمای میانگین |
| افزایشی معنی‌دار | ۰/۰۰۳۶۶۸۳ | ۲/۶۸۱۱۷ | دمای بیشینه |
| افزایشی معنی‌دار | ۰/۰۰۰۰۰۰۰ | ۶/۲۳۸۶۳ | دمای کمینه |
| کاهشی غیر معنی‌دار | ۰/۴۷۹۹۴۷ | -۰/۰۵۰۲۹ | سرعت باد بیشینه |
| کاهشی غیر معنی‌دار | ۰/۲۴۰۷۰۸ | -۰/۷۰۴۰۳ | بارش |
| کاهشی معنی‌دار | ۰/۰۰۰۰۳۵۵ | -۳/۹۷۲۷۲ | میانگین رطوبت نسبی |
| کاهشی معنی‌دار | ۰/۰۴۲۵۷۰۹ | −۱/۷۲۱۶۰ | نمره رنگی مرجان‌های شاخه‌ای |

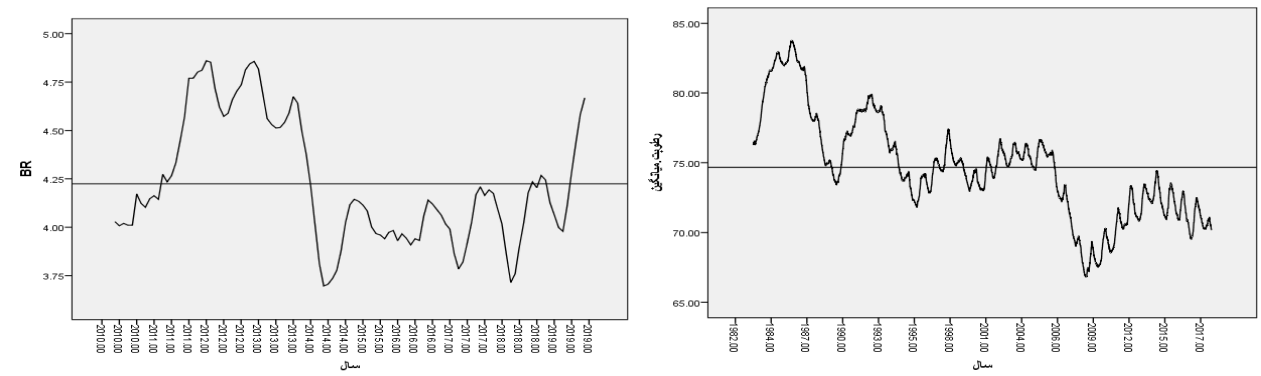
همان‌گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود دمای میانگین، دمای بیشینه، دمای کمینه افزایش معنی‌دار، میانگین رطوبت نسبی و نمره رنگی شاخص سلامت مرجان‌ها روند کاهشی معنی‌دار، سرعت بیشینه باد و بارش فقدان روند معنی‌داری در سنوات قبل را تجربه نموده‌اند. شکل‌های (۱ تا ۷) میزان این روندهای افزایشی و کاهشی را به وضوح نشان می‌دهند:



**شکل‌های (۱ و ۲ و ۳): نمودارهای روند افزایشی دمای بیشینه (راست)، میانگین (چپ) و کمینه(وسط) ایستگاه چابهار (۲۰۱۹-۱۹۸۳)**

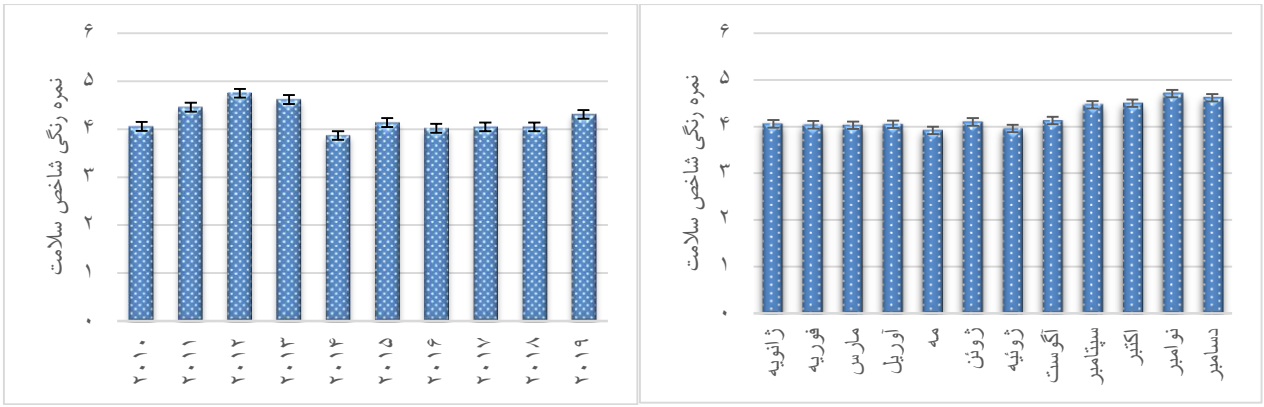



**شکل‌های (۴ و ۵): نمودارهای روند کاهشی غیر معنی‌دار بارش (چپ) و سرعت بیشینه باد (راست)چابهار (۲۰۱۹-۱۹۸۳)**




**شکل‌های (۶ و ۷): نمودارهای روند کاهشی شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای (۲۰۱۹-۲۰۱۰) (راست) و میانگین رطوبت نسبی چابهار (۲۰۱۹-۱۹۸۳)(چپ)**

با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده نمره رنگی جلبک‌های همزیست مرجانی با روش Coral watch میانگین سالانه و ماهانه شاخص سلامت مرجان‌ها محاسبه شد و نتایج به شرح شکل‌های (۸ و ۹) ارایه شد.




**شکل‌های (۸ و ۹): میانگین سالانه و ماهانه شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای خلیج چابهار (۲۰۱۹-۲۰۱۰)**

طبق نمودارهای فوق، سلامت مرجان‌های شاخه‌ای بر اساس شاخص نمره رنگی در پایان آخرین سال آماری در وضعیت خوب بوده، پایین‌ترین شاخص نمره رنگی (۳/۸۷) مربوط به سال ۲۰۱۴ و بالاترین مقدار آن (۴/۷۵) متعلق به سال ۲۰۱۲ است. نتایج نشان می‌دهد که از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ روند سلامت مرجان‌های شاخه‌ای رو به بهبودی بوده است. میانگین ماهانه شاخص سلامتی

نیز بیانگر این است که در ماه‌های مه و ژوئن و دسامبر شاخص درجه رنگی مقداری کاهشی بوده و سایر ماه‌ها روند افزایشی خود را ادامه داده است.

## بررسی همبستگی سلامت مرجان‌های شاخه‌ای خلیج چابهار با پارامترهای آب و هوایی

از آن‌جایی که موجودات زنده از جمله گونه آبزی مرجان‌های دریایی با توجه به خصوصیات بیولوژیکی امکان دارد با یک گام تاخیر زمانی به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهند. بنابراین، همبستگی پیرسون علاوه بر حالت همزمان با یک گام تاخیر زمانی یک ماهه نیز اجرا و جهت مقایسه دو حالت در جدول (۳) ارایه شد. طبق نتایج جدول (۳) همبستگی پیرسون مشخص شد که شاخص سلامت مرجان‌ها با یک گام تاخیر زمانی یک ماهه با پارامتر بیشینه، کمینه و میانگین دما در سطح ۰/۰۱ همبستگی مستقیم منفی دارد یعنی با افزایش دما و رطوبت نسبی هوا سلامتی مرجان‌های شاخه‌ای کاهش می‌یابد.

**جدول (۳): همبستگی سلامت مرجان‌های شاخه‌ای با پارامترهای آب و هوایی**

| نوع پارامتر | درجه رنگی مرجان‌های شاخه‌ای | درجه رنگی مرجان‌های شاخه‌ای با یک گام تاخیر زمانی یک ماهه |
|---|---|---|
| درجه رنگی مرجان‌های شاخه‌ای | ۱ | ۰/۶۷۹** |
| درجه رنگی مرجان‌های شاخه‌ای با یک گام تاخیر زمانی یک ماهه | ۰/۶۷۹** | ۱ |
| دمای بیشینه هوا | -۰/۹۸ | -۰/۳۲۰** |
| دمای کمینه هوا | -۰/۱۱۵ | -۰/۳۲۴** |
| دمای میانگین هوا | -۰/۱۰۱ | -۰/۳۲۱** |
| میانگین رطوبت نسبی هوا | -۰/۱۸۱* | -۰/۳۶۳** |
| مجموع بارش | ۰/۱۷۳ | ۰/۱۳۳ |
| سرعت باد بیشینه | -۰/۰۶۸ | -۰/۰۳۹ |

## برآورد شاخص سلامت مرجان‌ها مبتنی بر پارامترهای آب و هوایی

از آنجا که یکی از اهداف اصلی این پژوهش پیش‌نگری شرایط سلامت مرجان‌ها در محدوده خلیج چابهار برای دهه‌های آینده متاثر از شرایط آب و هوایی است. بنابراین، در این بخش از پژوهش تلاش شد بر اساس ارتباط بین عناصر آب و هوایی و سلامت مرجان‌ها معادلات رگرسیونی به گونه‌ای ارایه شود که با در اختیار داشتن داده‌های عناصر آب و هوایی برای دهه‌های آینده با استمداد از قابلیت‌های مدل‌های ارایه شده بتوان برآوردی از شاخص سلامت مرجان‌ها به دست آورد. بنابراین، نتیجه اجرای مدل‌های مختلف رگرسیون در قالب معادلات پیش بین ذیل برای مرجان‌های شاخه‌ای ارایه شده است. ضرایب مدل در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بوده است.

رابطه (۲) $Y_{Branching\ Coral\ score}=Air\ RH\ min \times (-۰/۰۱۲) + ۴/۹۴۴$

رابطه (۳) $Y_{Branching\ Coral\ score}=Air\ RH\ min \times (-۰/۰۱۴) + Wind\ Speed \times (۰/۱۵۲) + ۴/۶۹۵$

رابطه (۴) $Y_{Branching\ Coral\ score}= Air\ Temp\ min \times (-۰/۰۳۵) + ۵/۰۶۶$

## ارزیابی مدل‌های انتخابی GCM در دوره تاریخی

به منظور پیش‌بینی دمای کمینه در آینده، ۵ مدل منتخب از مجموعه مدل‌های GCM پایگاه CORDEX پس از اعمال موثرترین ترکیب جهت برآورد دمای کمینه دهه‌های آینده تحت دوسناریوی منتخب (Rcp4.5 و Rcp8.5) مورد استفاده قرار گرفتند. سپس دمای کمینه تولید شده توسط این مدل‌ها با متغیرهای مشاهداتی در ایستگاه چابهار در دوره پایه مقایسه شدند. برای این منظور از شاخص‌های اعتبارسنجی MAD، R2، RMSE استفاده شد. نتایج این ارزیابی در جدول (۴) آمده است.

**جدول (۴): ارزیابی کارایی ترکیب مدل‌های (GCM) در مقایسه با مقادیر مشاهداتی دمای کمینه**

| پارامتر | RMSE | $R^2$ | MAD |
|---|---|---|---|
| دمای کمینه هوا | ۰/۴۰۸۰۵۷ | ۰/۹۸ | ۰/۳۳۶۱۹۱ |

## بررسی خروجی‌های مدل‌های GCM

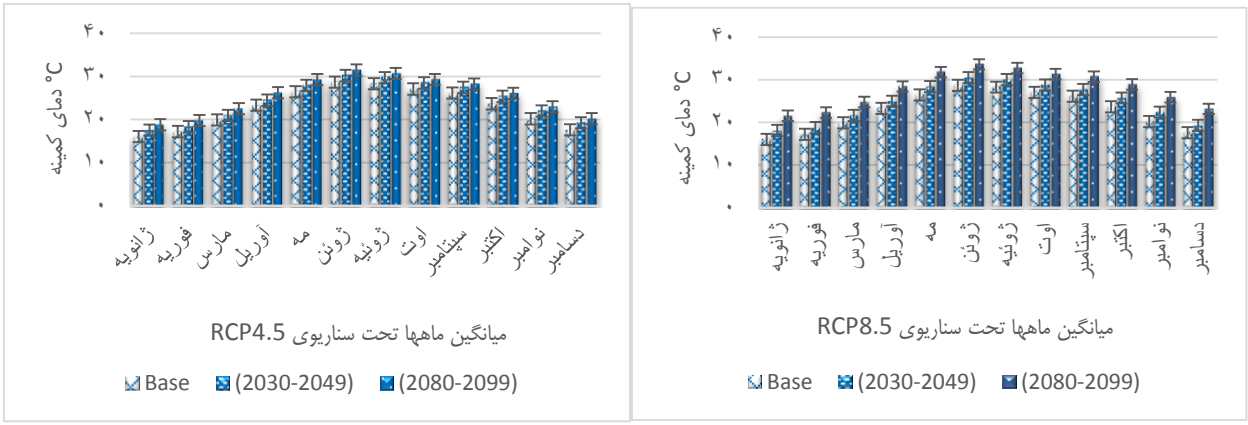
خروجی مدل‌های گردش عمومی انتخابی پایگاه CORDEX در منطقه چابهار برای هر دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 نشان دهنده افزایش دمای کمینه در همه ماه‌های سال است جدول (۵) هر چند مقادیر این تغییرات در ماه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت می‌باشد. تغییرات افزایشی دما در دوره ۲۰۹۹ – ۲۰۸۰ نسبت به دوره دیگر در سناریو انتشار RCP8.5 نمود بیشتری داشته است. افزایش دمای کمینه نسبت به دورهٔ پایه در دو دوره ۲۰۴۹ –۲۰۳۰ و ۲۰۹۹ – ۲۰۸۰ تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب بین ۱/۴۲ تا ۲/۵۸ و ۱/۸۲ تا ۵/۸۸ درجه سلسیوس می‌باشد.

**جدول (۵): مقایسه میانگین ماهانه دمای حداقل مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سناریوRCP4.5 و RCP8.5**

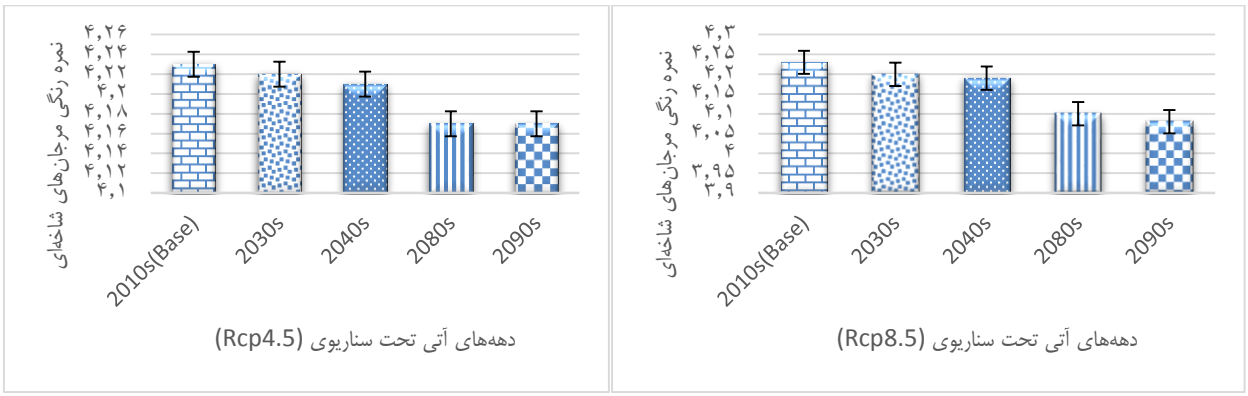
| ماه‌ها | پایه | RCP4.5 | | RCP8.5 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | (۲۰۴۹-۲۰۳۰) | (۲۰۹۹-۲۰۸۰) | (۲۰۴۹-۲۰۳۰) | (۲۰۹۹-۲۰۸۰) |
| ژانویه | ۱۶/۰۴ | ۱۷/۵۳ | ۱۸/۸۲ | ۱۸/۱۱ | ۲۱/۵۵ |
| فوریه | ۱۷/۲۲ | ۱۸/۳۲ | ۱۹/۷۹ | ۱۸/۷۸ | ۲۲/۳۳ |
| مارس | ۱۹/۹۰ | ۲۰/۹۴ | ۲۲/۵۲ | ۲۱/۶۵ | ۲۴/۷۹ |
| آوریل | ۲۳/۳۲ | ۲۴/۴۷ | ۲۶/۲۱ | ۲۴/۹۸ | ۲۸/۴۴ |
| مه | ۲۶/۴۵ | ۲۷/۹۲ | ۲۹/۲۵ | ۲۸/۴۱ | ۳۱/۸۰ |
| ژوئن | ۲۸/۶۸ | ۳۰/۱۸ | ۳۱/۴۸ | ۳۰/۵۰ | ۳۳/۶۲ |
| ژوئیه | ۲۸/۲۹ | ۲۹/۷۲ | ۳۰/۶۶ | ۳۰/۰۴ | ۳۲/۷۵ |
| اوت | ۲۷/۰۶ | ۲۸/۴۹ | ۲۹/۳۰ | ۲۸/۷۹ | ۳۱/۳۳ |
| سپتامبر | ۲۶/۱۴ | ۲۷/۴۴ | ۲۸/۲۳ | ۲۷/۷۴ | ۳۰/۷۵ |
| اکتبر | ۲۳/۶۵ | ۲۵/۳۷ | ۲۶/۱۰ | ۲۵/۷۳ | ۲۸/۹۱ |
| نوامبر | ۲۰/۱۹ | ۲۲/۰۰ | ۲۲/۹۶ | ۲۲/۴۳ | ۲۵/۹۰ |
| دسامبر | ۱۷/۶۱ | ۱۹/۲۶ | ۲۰/۱۹ | ۱۹/۳۱ | ۲۳/۱۸ |
| میانگین | ۲۲/۸۸ | ۲۴/۳۰ | ۲۵/۴۶ | ۲۴/۷۰ | ۲۷/۹۵ |
| افزایش دما | – | ۱/۴۲ | ۲/۵۸ | ۱/۸۲ | ۵/۸۸ |

## بررسی شرایط شاخص سلامت مرجان‌ها تحت شرایط اقلیم آینده و سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5

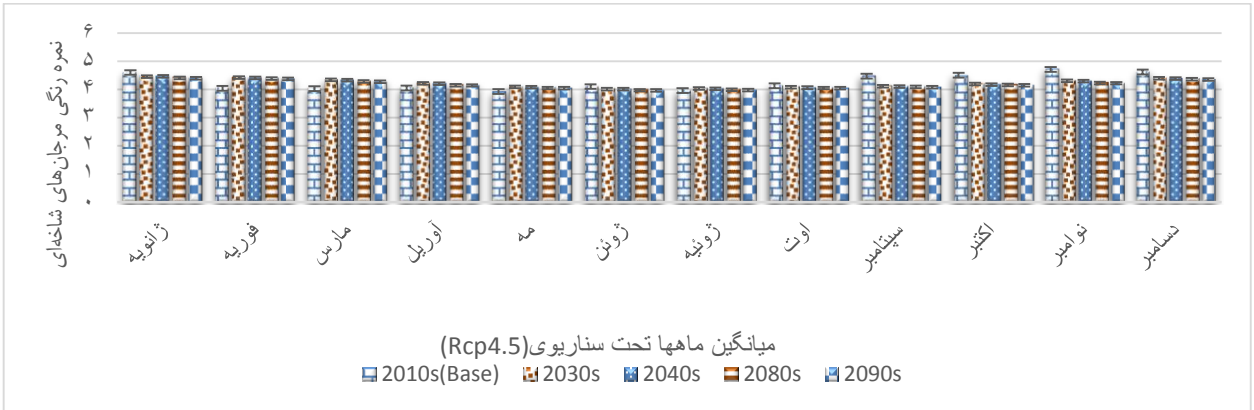
پس از ترکیب داده‌های دمای کمینه هوای مدل‌های GCM و شبیه‌سازی پارامترهای دمایی برای دهه‌های آینده در این بخش از پژوهش با استفاده از معادله رگرسیونی تلاش شد تا شرایط سلامت مرجان‌های شاخه‌ای تحت شرایط تغییر اقلیم برای دهه‌های آتی مورد ارزیابی قرار گیرند. شکل‌های (۱۲ و ۱۳) میانگینی از شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای برای دهه‌های منتخب آینده (۲۰۴۹– ۲۰۳۰) و (۲۰۹۹–۲۰۸۰) را در مقایسه با دوره پایه تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهند. مقادیر شاخص سلامت مرجانی در مقیاس زمانی ماهانه نیز مبتنی بر معادله مربوطه برای دهه‌های آتی محاسبه و در شکل‌های (۱۴ و ۱۵) برای سناریوهای منتخب آمده است.



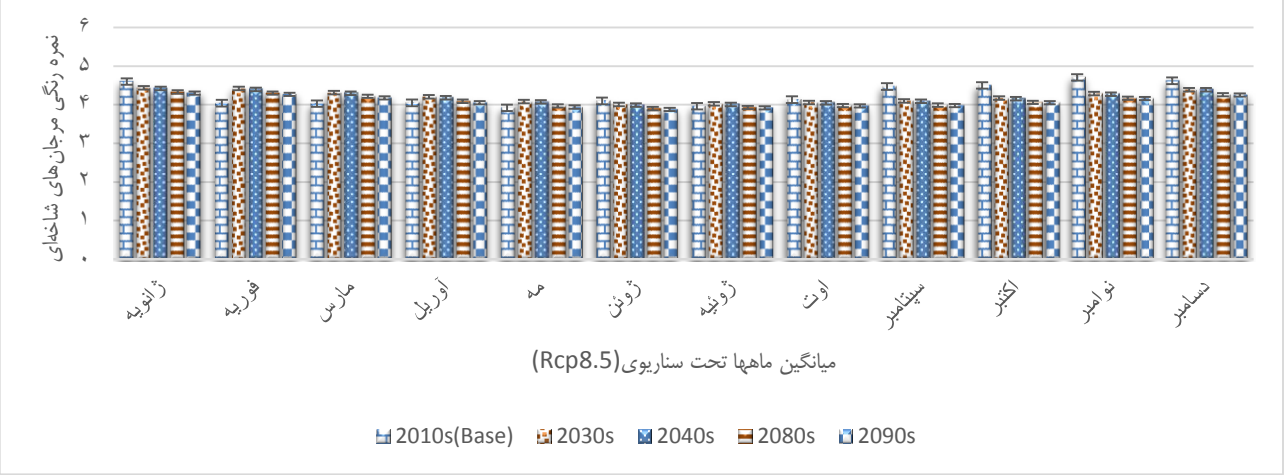

**شکل‌های (۱۰ و ۱۱): تغییرات ماهانه دمای کمینه در آینده تحت سناریوهای Rcp4.5 و Rcp8.5**




**شکل (۱۲ و ۱۳): میانگین شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای برای دهه‌های آینده- سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5**




**شکل (۱۴): میانگین ماهانه شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای برای دهه‌های آینده- RCP4.5**




**شکل (۱۵): میانگین ماهانه شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای برای دهه‌های آینده– RCP8.5**

**جدول (۶): بررسی تفاوت در میانگین شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای –دوره مشاهده و دهه‌های آینده**

| شاخص سلامت | دوره(I) | دوره (J) | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| Tukey HSD | مشاهداتی | RCP۴ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | ۰/۰۱۹۰۰ | ۰/۰۳۶۸۷ | ۰/۹۸۶ | -۰/۰۸۳۸ | ۰/۱۲۱۸ |
| | | RCP۸ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | ۰/۰۳۲۵۰ | ۰/۰۳۶۸۷ | ۰/۹۰۳ | -۰/۰۷۰۳ | ۰/۱۳۵۳ |
| | | RCP۴ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | ۰/۰۵۸۰۰ | ۰/۰۳۶۸۷ | ۰/۵۱۹ | –۰/۰۴۴۸ | ۰/۱۶۰۸ |
| | | RCP۸ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | *۰/۱۴۵۵۰ | ۰/۰۳۶۸۷ | ۰/۰۰۱ | –۰/۰۴۲۷ | ۰/۲۴۸۳ |
| RCP۴ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | مشاهداتی | | -۰/۰۱۹۰۰ | ۰/۰۳۶۸۷ | ۰/۹۸۶ | -۰/۱۲۱۸ | ۰/۰۸۳۸ |
| | RCP۸ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | | ۰/۰۱۳۵۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۹۹۱ | -۰/۰۷۰۴ | ۰/۰۹۷۴ |
| | RCP۴ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | | ۰/۰۳۹۰۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۶۹۵ | -۰/۰۴۴۹ | ۰/۱۲۲۹ |
| | RCP۸ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | | *۰/۱۲۶۵۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۴۲۶ | ۰/۲۱۰۴ |
| RCP۸ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | مشاهداتی | | -۰/۰۳۲۵۰ | ۰/۰۳۶۸۷ | ۰/۹۰۳ | -۰/۱۳۵۳ | ۰/۰۷۰۳ |
| | RCP۴ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | | -۰/۰۱۳۵۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۹۹۱ | -۰/۰۹۷۴ | ۰/۰۷۰۴ |
| | RCP۴ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | | ۰/۰۲۵۵۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۹۱۵ | -۰/۰۵۸۴ | ۰/۱۰۹۴ |
| | RCP۸ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | | *۰/۱۱۳۰۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۲۹۱ | ۰/۱۹۶۹ |
| RCP۴ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | مشاهداتی | | -۰/۰۵۸۰۰ | ۰/۰۳۶۸۷ | ۰/۵۱۹ | -۰/۱۶۰۸ | ۰/۰۴۴۸ |
| | RCP۴ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | | -۰/۰۳۹۰۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۶۹۵ | -۰/۱۲۲۹ | ۰/۰۴۴۹ |
| | RCP۸ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | | -۰/۰۲۵۵۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۹۱۵ | -۰/۱۰۹۴ | ۰/۰۵۸۴ |
| | RCP۸ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | | *۰/۰۸۷۵۰ | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۰۳۶ | ۰/۱۷۱۴ |
| RCP۸.۵ -۲۰۸۰-۹۹ | مشاهداتی | | -۰/۱۴۵۵۰* | ۰/۰۳۶۸۷ | ۰/۰۰۱ | -۰/۲۴۸۳ | ۰/۰۴۲۷ |
| | RCP۴ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | | -۰/۱۲۶۵۰* | ۰۳۰۱۰ | ۰/۰۰۱ | -۰/۲۱۰۴ | -۰/۰۴۲۶ |
| | RCP۸ .۵ -۲۰۳۰-۴۹ | | -۰/۱۱۳۰۰* | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۰۰۳ | -۰/۱۹۶۹ | -۰/۰۲۹۱ |
| | RCP۴ .۵ -۲۰۸۰-۹۹ | | -۰/۰۸۷۵۰* | ۰/۰۳۰۱۰ | ۰/۰۳۷ | -۰/۱۷۱۴ | -۰/۰۰۳۶ |

*معنی‌داری تفاوت میانگین در سطح ۰/۰۵

## بحث و نتیجه‌گیری

برای مشخص نمودن میزان اثرپذیری سلامت مرجان‌های شاخه‌ای خلیج چابهار از نوسانات دمای محیط لازم بود تا ابتدا فرضیه گرمایش جهانی و اثر آن بر سلامت مرجان‌های این منطقه مورد تحلیل قرار گیرد. به همین منظور ابتدا روند پارامترهای آب و هوایی شامل دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای میانگین، میانگین رطوبت نسبی، بارش و سرعت بیشینه باد بررسی شد. نتایج آزمون تعیین روند نشان داد که هر سه پارامتر دمای هوای چابهار، روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵را تجربه نموده‌اند. بنابراین، فرضیه افزایش دما در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای در این منطقه نیز همچون سایر نقاط کره زمین تایید می‌شود. این در حالی است که میانگین رطوبت نسبی روند کاهشی معنی‌دار داشته و بارش و سرعت بیشینه باد دارای روند کاهشی معنی‌دار بوده‌اند. نتایج مطالعات (Owfi, et al., 2018) نیز افزایش دما طی یک دوره سی ساله در خلیج فارس را تایید نموده است. در مرحله بعد همبستگی سلامت مرجان‌ها با پارامترهای آب و هوایی بررسی شد که نتایج حکایت از وجود همبستگی منفی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ بین سلامت مرجان‌ها (با یک گام تاخیر زمانی) و پارامترهای میانگین رطوبت نسبی هوا، دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای هوای میانگین منطقه دارد. نتایج مطالعات (Hubbard & Pocock 1997; Castro & Huber, 2003) و همچنین (Ghavam Mostafavi, et al., 2007; Valavi, 2009) به نوعی در تایید نتایج این پژوهش مبنی بر روند افزایشی دما و وجود همبستگی بین سلامت مرجان‌ها و دمای محیطی دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، افزایش دمای کمینه نسبت به دورهٔ پایه در دو دوره ۲۰۴۹ –۲۰۳۰ و ۲۰۹۹– ۲۰۸۰ تحت سناریوهای انتشار RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب بین ۱/۴۲ تا ۲/۵۸ و ۱/۸۲ تا ۵/۸۸ درجه سلسیوس می‌باشد. اختلاف بین سناریوهای واداشت تابشی در پیش‌بینی افزایش دما کمینه به ویژه در آینده دور، به علت تفاوت در معرفی مسیر انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوها می‌باشد. نتایج این پژوهش مبنی بر افزایش بیشتر دما تحت سناریوی RCP8.5 نسبت به سناریوی RCP4.5 تا پایان قرن با تحقیقات (Naderi et al., 2017; Azari et al., 2013; Tavakoli et al., 2018) همسویی دارند. طبق نتایج شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای در طول دوره آماری (۲۰۱۹–۲۰۱۰) روند کاهشی معنی‌داری را نشان می‌دهد. نتایج تحقیقات (Aminirad & Sanjani, 2010; Abkenar et al., 2021) در مورد وجود روند کاهشی سلامت مرجان‌های خلیج چابهار و همچنین مطالعات (Bolouki et al., 2018) در مورد کاهش سلامت مرجان‌های جزیره خارگو نسبت به جزیره خارگ در تایید نتایج این پژوهش مبنی بر وجود روند کاهشی سلامت مرجان‌ها می‌باشد. اگر چه تفاوت‌هایی در سطح شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای بین دوره مشاهده و دهه‌های آینده وجود دارد اما بررسی معنی‌داری این تفاوت‌ها از طریق آزمون آنالیز واریانس نشان داد این تفاوت‌ها فقط برای آینده دور و آن هم تنها تحت سناریوی بدبینانه RCP8.5 از لحاظ آماری معنی‌دار است. به عبارت دیگر تحت شرایط تغییر اقلیم از منظر هر دو سناریوی مورد بحث، وضعیت شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای تا سال ۲۱۰۰ در رده بندی «خوب» با متوسط سالانه درجه رنگی حدود ۴ از ۶ نمره برای سناریوی RCP8.5 و ۴/۳ برای سناریوی RCP4.5، حفظ خواهد شد. برآوردها از وضعیت سلامت مرجان‌های شاخه‌ای بر اساس میانگین ماه‌های دهه‌های آتی تحت هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نشان می‌دهد که در مقام مقایسه از ماه فوریه تا ژوئیه (قبل از مونسون تابستانه) مقادیر نمره رنگی شاخص سلامت مرجان‌های شاخه‌ای در دهه‌های آتی بیشتر از دوره پایه (۲۰۱۰) خواهد بود اما در ماه‌های سرد سال همچون آگوست تا ژانویه (پسا مونسون) مقدار عددی نمره رنگی شاخص سلامت در دهه‌های آتی در مقایسه با دوره پایه کمتر خواهد بود که بیانگر تاثیرات منفی ناشی از افزایش استرس‌های فصل مونسون تابستانه بر سلامت مرجان‌هاست. نتایج این بخش با نتایج مطالعات (Tehranifard et al., 2012) بر روی مرجان‌های خلیج چابهار در خصوص بررسی اثرات فصل مونسون تابستانه بر کاهش سلامت مرجان‌ها هم‌خوانی دارد. البته در چهار دهه آتی مورد بحث، میانگین نمره رنگی ماهیانه شاخص سلامت مرجان برای دهه ۲۰۹۰ کمتر از دهه‌های ۲۰۸۰، ۲۰۵۰، ۲۰۴۰ و ۲۰۳۰ تحت هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه پیش‌بینی شده است.

## تقدیر و تشکر

با تشکر از آقای دکتر تیمور امینی‌راد بیولوژیست دریا و متخصص مرکز تحقیقات شیلاتی آب‌های دور چابهار که در کلیه مراحل تحقیق با تیم پژوهشی همکاری صمیمانه داشتند.

## یادداشت‌ها

1. Coral Watch Racket
2. www.coralwatch.org

## فهرست منابع

Abkenar, A. M.; Aminirad, T. & Mirshakar, D. 2021. Investigation of the causes of bleaching and displacement of corals in Chabahar Bay, Iranian Journal of Natural Resources, University of Tehran, Fisheries, Volume 74, Number 2, Summer 2021, pp. 208-195 (in Persian).

Ajdari, D. 2018. Introducing the new coral carrier transfer device and comparing it with the device (Carrier basket) Iranian Scientific Journal of Fisheries. 2018; 27 (4): 57-66, (DOI): 10.22092 / ISFJ. 2018.117724 (in Persian).

Alimoradi, M.R.; Miri, Gh.R. & Anvari, M.R. 2014. The Role of Coral Reefs to develop Ecotourism using SWOT (Case Study of New Marine Coral Site of Chabahar Bay), International journal of current research and academic review- ISSN: 2347-3215 Volume 3 Number 1 (January-2015) pp. 74-84.

Alimoradi, M. R.; Miri, Gh. R. & Anvari, M. R. 2014. Assessing the ecotourism potential of the east coast of Chabahar Bay (using Paralong model), the first national congress on land use planning in the third millennium with emphasis on southeastern Iran, Islamic Azad University of Zahedan (in Persian).

Aminirad, T. & Sanjani, M.S. 2010. Status of Coral reef species at Chabahar bay, Sistan & Baluchestan, Iran, Pakistan journal of Biological Sciences, ISSN 1028-8880,

Aminirad, T. & Azini, M. R. 2013. New and Previous Records of Scleractinian Corals from Chabahar Bay, Sistan & Baluchistan, Iran, Ecopersia, 1 (4), 407-418

Azari, M.; Moradi, H. R.; Saghafian, B. & Faramarzi, M. 2013, Hydrological assessment of climate change in Gorganrood catchment, soil and water of agricultural sciences and industries, No. 3 (27), 745-735 (in Persian).

Behzadi S.; Ramshi, H.; Salarpour, A.; Darvishi, M.; PourMozaffar, S.; Seidmoradi, S. 2020. Short scientific findings: Investigation of the causes of bleaching of Branching Corals (Acropora spp.) On Hindurabi Island. Iranian Journal of Fisheries. 29(3): 191-196 (in Persian).

Birkeland, C.1997. Life and Death of Coral Reefs. Chapman and Hall, New York, pp. 536.

Bolouki Kourandeh, M.; Nabavi, S.M.B.; Shokri, M.R. & Ghanemi, K. 2018. Assessing the health status of coral reefs in Kharg and Khargo islands, Quarterly Journal of Oceanography, Ninth Year No. 34 (45 consecutive, summer (in Persian).

Bolouki Korandeh, M. 2020. Annual Report on Chabahar Coral Health, Marine and Wetlands Deputy of the Environment Organization (in Persian).

Castro, P. & Huber, M. 2003. Marine Biology, Mcgraw-Hill Science/Engineering/Math.

Claereboudt, M.R. 2006. Reef Coral and Coral Reefs of the Gulf of Oman. Pub. The Historical Association of Oman. ISBN 9948-03- 241-1.

CoralWatch, 2008. Online website and database of bleaching observations

Fitt, W.K.; McFarland, F.K.; Warner; M.E. & Chilcoat, G.C. 2000. Seasonal patterns of tissue biomass and densities of symbiotic dinoflagellates in reef corals and relation to coral bleaching. Limnol Oceanogr 45:677-685.

Fitt. W. K.; Braly, R. D.; Lucas, J. S. & Yellowlees, D. 1993. Nitrogen Flux of Giant clam-Saiz Dependency and relationship to zooxantellae Density and Clam Biomass in Uptake of dissolved Inorganic Nitrogen, Marine Biology, vol. 117: 381-386

Ghavam Mostafavi, P.; Fatemi, S.M.R.; Shahhosseiny, M.H.; Hoegh-Guldberg, O. & Weng Loh, W.K. 2007. Predominance of clade D Symbiodinium in shallow-water reef-building corals of Kish and Larak Islands (Persian Gulf, Iran). Mar. Biol. 153: 25-34.

Goreau, T.J. 2014. Electrical Stimulation Greatly Increases Settlement, Growth, Survival, and Stress Resistance of Marine Organisms. Natural Resources. 5: 527-537.

Heidari, F.; Savari, A.; Dehghan Madiseh, S. & Nabavi, S.M.B. 2012. Study on effects of environmental factors on biomass of Cnidarians in artificial habitats of Bahrekan (Northwest of Persian Gulf). 3. 2012; 3 (4): 23-30 (in Persian).

Hill. J. & Wilkinson, C. R. 2004. Method for ecological monitoring of Coral Reefs, Asturalian Institute of Marine Science, Townsvill Australia; 2004. 1–117Google Scholar

Hoegh-Guldberg, O. & Smith, J. 1989. The effect of sudden changes in temperature, light and salinity on the population density and export of zooxanthellae from the reef corals Stylophora pistillata Esper and Seriatopora hystrix Dana. J .Exp. Mar. Biol. Ecol. 129:279-303

Hubbard, J.A. & Pocock, Y. 1997. Sediment rejection by re- cent scleractinian corals: a key to paleoenvironment- al reconstruction. Geol Rundsch 61:598-626

Idris, M.H.; Muta Harah, Z. & Arshad, A. 2006. Status of coral reefs species at Patricia Shoals, Bintulu, Sarawak, Malaysia. Journal of Applied Sciences Research, 2(10): 816-820.

Jones, R. J.; Hoegh-Guldberg, O.; Larkum, A.W.D. & Schreiber, U. 1998 .Temperature- induced bleaching of corals begins with impairment of the CO2 fixation mechanism in zooxanthellae. Plant Cell Environ. 21:1219-1230.

Kelble, C.R.; Johns, E.M.; Nuttle. W.K.; Lee. T.N.; Smith, P.B. & Ortner, P.B. 2007. Salinity Patterns of Florida Bay. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol 7 (1-2), 318-334

Kendall, M. G. 1975, Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London Mann H. B. 1945. Nonparametric Tests against Trend. Econometrica, 13: 245-259

Komijani, F.; Chegini, V.; Banazade Mahani, M.R. & Sanjani, M.S. 2011. Study of changes physical parameters in Chahbahar Bay water in winter monsoon (2006-2007), Journal of the Earth and Space Physics, Volume 37, Number 4 - Serial Number 771747, Winter 2011, Page 195-216 (in Persian).

Loya, Y. 1972. Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. Mar. Biol. 13: 100-123. DOI: 10.1007/BF00366561.

Mileli, J. 2011. Effects of Nitrate/Nitrites on coral bleaching: Coral Reef health around the Hawaiian Islands. University of Washington School of Oceanography, pp. 10-11.

Mo'meni, A. 1996. Principles of Oceanography. Collections of chemical and chemical oceanography. First volume. Shahid Beheshti University Press, 436 pages (in Persian).

Mousavi, S.H.; Shokri, M.R. & Danehkar, A. 2013. Investigation of the effect of physical and chemical parameters of water on the distribution of coral reefs in Kish Island, Applied Ecology / Second Year / Number 6 / Winter

Naderi, S.; Goodarzi, M. & Ghadami Dehnoo, M. 2017. Effect of Climate Change on Climatic Parameters in Seymareh Basin, Iranian Watershed Management Science and Engineering, 11 (39), 76-69 (in Persian).

NOAA/NESDIS, 2021. Online website. Monthly climatology. http://oceaniservice.noaa.gov/facts/coral waters. html.

Owfi, F.; Rabbani, M.; Behzadi, S. & Mehrdoust, M. 2018. Implications of Climate Change on Habitat Structure and Species Diversity of Coral Reef Fish in the Ecological Ecosystems of the Persian Gulf, First National Development Conference Persian Gulf Sustainable (Sensitive Ecosystems), Bushehr (in Persian).

Reimer, A.A. 1971. Observations on the relationship between several species of tropical zoanthids (Zoanthidae, Coelenterata) and their zooxanthellae. J. Exp. Mar Biol. Ecol. 7:207-217.

Rezaei, H.; Samimi, K.; Kabiri, P.; Jalili, M.; Ghafari, M.; Hashtroudi, P.; Ghavam mostafavi, P. & Ghavasi, M. 2010. Biological study of the coasts of Kish Island using Geographic Information System (GIS). Report of the National Institute of Oceanography, Tehran (in Persian).

Sinaei, M. & Bolouki, M. 2020. Increasing Coral Biomass Using Biorock Method in Chabahar Bay, Journal of Marine Science and Technology, Volume 19, Number 2 - Consecutive Issue 2 Summer 1399, pp. 52-6 10.22113/JMST.2018.110731.2093 (in Persian).

Spalding, M. D.; Ravilious, C. & Green, E.P. 2000. World Atlas of Coral Reefs University of California Press. Berkeley Los Angeles, 98 P.

Tavakoli, M.; Karimi, H. & Noorollahi, H. 2018. Evaluation of the effects of climate change on water resources of Ilam dam watershed, Scientific-Research Journal of Engineering and Watershed Management, 10 (2), 170-1157 (in Persian).

Tehranifard, A.; Farhadi,M. & Aminirad, T. 2012. Health Status of Coral Reefs in Chabahar Bay, Iran, International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics, Vol. 2, No. 1, January .

Valavi, H. 2009. Determining the potential and efficiency of biomarkers in coral reefs in the northern Persian Gulf, PhD thesis in Marine Biology, Marine Animals (in Persian).