J. Oceanography (JOC). Volume14 (54): 1-12, summer2023

Journal of Oceanography
Homepage: joc.inio.ac.ir

ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

Investigation of the effect of environmental factors on chlorophyll a, c, and total carotenoids in Symbiodinium Sp. symbiosis with sea anemone stichodactyla haddoni

***Sarvenaz Bigham Soostani*[1], *Behrouz Zarei Darki*[2], *Morteza Yousefzadi*[4,3]**

1. PhD, Hormozgan University, Faculty of Marine Science and Technology
2. Associate Professor, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Tarbiat Modares University
3. Department of Biology, Faculty of Science, University of Qom, P.O. Box 37161-46611, Qom, Iran
4. Professor in Department of Biology, Faculty of Science, University of Qom, Qom, Iran

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 2022/02/4
Revised: 2023/10/1
Accepted: 2023/09/6

Pigment
sea Anemone
Dinoflagellate
symbiont
Symbiodinium sp.
coral reef
Persian Gulf
Gulf of Oman

*Corresponding author:
zareidarki@modares.ac.ir

orcid: 0000-0003-4308-8367
doi: 10.52547/joc.14.54.1
dor:20,1001,1,15621057.1402,14,54,1,7

ABSTRACT

Background and Objectives: Coral reefs in environments with unique environmental circumstances show how corals might adapt to future stressors and possible climate change. The Persian Gulf and the Gulf of Oman are environmentally unique places with little information on the inherent diversity of key environmental variables (such as temperature, chlorophyll a, and carotenoids) that affect soft corals, or how this diversity leads to allergies and death due to environmental factors. The research presented here addresses this knowledge gap and examines sea level temperature, pH, DO and salinity factors, chlorophyll a, and carotenoids to reveal differences between the Persian Gulf and the Gulf of Oman.

Methods: Environmental factors were measured by an HQ40D portable multimeter with the ability to record some environmental parameters. A sampling of Stichodactyla haddoni anemone was performed in the two seasons of summer and winter from three stations including Qeshm Island, Dukohak Station, Hormoz Island, Khezr Station, and Chabahar Bay, Tis Station.

Findings: Due to the normal range of pH, DO and salinity factors, they did not show a statistically significant correlation with any of the evaluated parameters ($P < 0.05$). The highest amount of chlorophyll a and total carotenoids was observed in the colored sample of sea anemone (brown) of Chabahar. The lowest amount of chlorophyll a and carotenoids belonged to the summer sample of Qeshm. Chlorophyll c levels in the samples did not differ significantly by station or season. Thermal map of physicochemical relationships with Symbiodinium sp. pigments in summer showed that the highest correlation of pigments related to dissolved oxygen percentage, temperature, and salinity, and in winter thermal map indicated that salinity, dissolved oxygen percentage, and temperature had the greatest effect on pigments, especially it had chlorophyll a and carotenoids.

Conclusion: The results' section of the study of zooxanthella pigments in symbiosis with sea anemones showed an increase in pigments between study stations both in summer and winter. Monsoon winds, which change water temperatures, may be . responsible for the increase of symbiotic dinoflagellate pigment in Chabahar Bay station throughout the summer. The obtained results indicate that chlorophyll c is resistant to environmental and season conditions.

NUMBER OF TABLES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF REFERENCES
2	4	46

مقالهٔ پژوهشی (علوم دریایی)

بررسی تأثیر فاکتورهای محیطی بر میزان کلروفیل a، c و کارتنوئید کل در داینوفلاژلهٔ Symbiodinium sp، همزیست با شقایق دریایی Stichodactyla haddoni

سروناز بی‌غم سوستانی[1]، بهروز زارعی دارکی[2*]، مرتضی یوسف‌زادی[3,4]

۱. دکتری زیست‌شناسی دریا، دانشکدهٔ علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران
۲. دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
۳. استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه قم، قم، ایران
۴. استاد گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکدهٔ علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵
تاریخ بازبینی: ۱۴۰۲/۷/۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۵

واژگان کلیدی

رنگدانه
شقایق دریایی
داینوفلاژله
همزیست
Symbiodinium sp.
صخرهٔ مرجانی
خلیج فارس
خلیج عمان

*نویسندهٔ مسئول
zareidarki@modares.ac.ir

orcid: 0000-0003-4308-8367
doi: 10.52547/joc.14.54.1
dor:20,1001,1,15621057.1402,14,54,1,7

چکیده

پیشینه و اهداف: صخره‌های مرجانی ساکن در زیستگاه‌های دارای شرایط خاص محیطی شواهدی روشن دربارهٔ اینکه چگونه مرجان‌ها با عوامل استرس‌زا و تغییرات آب‌وهوایی احتمالی آینده سازگار می‌شوند ارائه می‌دهند. خلیج‌فارس و خلیج عمان، ازنظرِ محیطی، مکانی منحصربه‌فرد محسوب می‌شوند. دربارهٔ تنوع ذاتی متغیرهای کلیدی محیطی (مانند دما، کلروفیل a و کارتنوئید) که بر مرجان نرم تأثیر می‌گذارند، یا اینکه چگونه این تنوع درنهایت باعث ایجاد حساسیتِ منجر به مرگ‌ومیر ناشی از فاکتورهای محیطی می‌شود اطلاعات کمی در دسترس است. پژوهش حاضر به این شکاف دانش می‌پردازد و دمای سطح دریا، فاکتورهای pH، اکسیژن محلول، شوری و کلروفیل a و کارتنوئید را بررسی می‌کند تا تفاوت‌های ایجادشده در امتداد خلیج‌فارس و خلیج عمان را آشکار کند.

روش‌ها: فاکتورهای محیطی به‌وسیلهٔ مولتی‌متر دستگاه پرتابل HQ40D با قابلیت ثبت برخی پارامترهای محیطی اندازه‌گیری شد. از شقایق Stichodactyla haddoni، در دو فصل تابستان و زمستان، از سه ایستگاه، شامل جزیرهٔ قشم ایستگاه دوکوهک، جزیرهٔ هرمز ایستگاه خضر و خلیج چابهار ایستگاه تیس، نمونه‌برداری شد.

یافته‌ها: به‌دلیل وجود محدودهٔ طبیعی، فاکتورهای pH، اکسیژن محلول و شوری با هیچ‌یک از پارامترهای ارزیابی‌شده همبستگی آماری معنی‌داری نشان ندادند ($P<0.05$). بیشترین مقدار کلروفیل a و کاروتنوئید کل در نمونهٔ رنگی شقایق دریایی (قهوه‌ای) چابهار مشاهده شد و کمترین مقدار کلروفیل a و کاروتنوئید به نمونهٔ جمع‌آوری‌شدهٔ تابستان قشم تعلق داشت. در میان نمونه‌ها، کلروفیل c تفاوت چندانی بین هر ایستگاه و فصل نشان نداد. نقشهٔ حرارتی روابط فیزیکوشیمیایی با رنگدانه‌های *Symbiodinium* sp. در فصل تابستان بیشترین همبستگی رنگدانه‌ها را مربوط به فاکتور درصد اکسیژن محلول، دما و شوری نشان داد و در فصل زمستان نقشهٔ حرارتی نشان داد که شوری، درصد اکسیژن محلول و دما بیشترین تأثیر را بر رنگدانه‌ها، به‌ویژه کلروفیل a و کاروتنوئید، داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعهٔ رنگدانه‌های زوگزانتلای همزیست با شقایق دریایی بین ایستگاه‌های مطالعاتی، هم در فصل تابستان و هم در زمستان، افزایش رنگدانه‌ها را نشان می‌دهد. افزایش رنگدانهٔ داینوفلاژلهٔ همزیست با شقایق دریایی در ایستگاه خلیج چابهار در تابستان ممکن است به‌دلیل وزش بادهای موسمی باشد که بر دمای آب تأثیر می‌گذارد. نتایج بر مقاوم بودن کلروفیل c در برابر شرایط محیطی و فصل دلالت دارد.

مقدمه

جمعیتی بزرگ و متنوع از ارگانیسم‌ها در سواحل دریا، از آب‌های گرمسیری تا سرد و از منطقهٔ جزرومدّی تا آب‌های عمیق، گسترش یافته‌اند[۴۰]. همزیستی میزبان مرجانی و درون‌همزیست داینوفلاژلهٔ متعلق به جنس Symbiodinium موجب موفقیت صخره‌های مرجانی در سطح جهان می‌شود.

جنس Symbiodinium متعلق به ردهٔ Dinophyceae و راستهٔ Suessiales است. گونه‌های این جنس به‌رنگ قهوه‌ای یا زردـقهوه‌ای مشاهده می‌شوند و آنها را زوگزانتلا هم می‌نامند. این جلبک‌ها در لایهٔ گاسترودرم جانوری احاطه شده‌اند که به‌مثابهٔ غشای همزیستی شناخته شده است. رنگ تانتاکول‌های شقایق دریایی نیز تفاوت در جلبک همزیست با آنهاست[۲۶]. تولید اولیه ازطریقِ فتوسنتز و توسط Symbiodinium صورت می‌گیرد که تا ۹۵ درصد از نیاز روزانهٔ انرژی مرجان را تأمین می‌کند که به‌نوبهٔ خود مواد مغذی را از میزبان دریافت می‌کند[۲۶، ۱۴]. شقایق‌های دریایی متعلق به شاخهٔ Cnidarians ردهٔ Anthozoa هستند[۱۰]. S. haddoni با یک دیسک دهانی چین‌خورده مشخص می‌شود که قطر آن بین ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر با ناحیهٔ دهانی بدون شاخک ۱ تا ۲ سانتی‌متر است. شاخک‌ها دارای نوک گرد هستند و انتهای آن سبز، زرد، خاکستری یا به‌ندرت آبی و صورتی است. ستون ساختار خارجی شقایق هنگام بسته بودن حیوان قابل‌مشاهده است[۱۵]. ممکن است S. haddoni روی بسترهایی گِلی و ماسه‌ای در مناطق جذرومدّی یافت شود[۳۷].

سفید شدن مرجان بر اثر اختلال عملکرد در رابطهٔ همزیستی ریزجلبک و مرجان ایجاد می‌شود و این اختلال اغلب در شرایط تنش، مانند افزایش دمای سطح دریا، اسیدی شدن اقیانوس، افزایش اشعهٔ ماوراءبنفش، افزایش مواد مغذی و بیماری، اتفاق می‌افتد که به اخراج *Symbiodinium* sp. از سلول‌های میزبان یا ازدست‌دادن رنگدانه‌های فتوسنتزی ریزجلبک همزیست می‌انجامد و پدیدهٔ سفید شدن اتفاق می‌افتد[۳۵، ۲۳، ۱۹، ۳]. به‌علت پیچیدگی استثنائی و تنوع زیستی صخره‌های مرجانی، این اکوسیستم یکی از پُرتولیدترین اکوسیستم‌های زمین شناخته می‌شود[۲]. چرخهٔ زندگی بسیاری از گونه‌های متنوع جانوری، مانند ماهی‌ها، میگوها و سایر گونه‌های مناطق مرجانی، اغلب به‌صورت منبع غذایی و اقتصادی به مرجان‌ها وابسته است[۲۹]. تراکم داینوفلاژله‌های همزیست در وضعیت معمول محیطی معمولاً پایدار است و امکان دارد به چندین میلیون یا بیشتر در هر سانتی‌متر مکعب از بافت میزبان برسد. با تغییر برخی فاکتورهای محیطی، مانند غذا، دما و تابش فرابنفش، این تراکم تغییر می‌کند[۲۶]. این امر نشان‌دهندهٔ اهمیت تأثیر فاکتورهای اکولوژی بر تراکم همزیست است. امروزه، مشخص شده است که صخره‌های مرجانی جوامع پایداری نیستند که در محیط‌های بدون‌نوسان زندگی کنند و از نوسانات فصلی رها باشند، همان‌طورکه Rowan (۱۹۹۷) و اخیراً Adey (۱۹۹۸) پیشنهاد کرده است. درعوض، آنها اکوسیستم‌هایی هستند که در مقیاس‌های زمانیِ چند دقیقه تا چند سال در معرض نوسانات مکرر هستند[۵]. تغییرات فصل از عواملی است که بر صخره‌های مرجانی تأثیر می‌گذارد[۶] به‌صورتی‌که الگوهای فصلی بر اسکلت‌های مرجانی عظیم سراسر جهان، بر الگوهای تولیدمثلی مرجان‌ها[۴۴]، الگوهای تغذیه[۳۳] و بازسازی مرجان مشهود و اثرگذار است[۴۵]. حلبیان و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات دمای سطح دریا (SST) را در اکوسیستم‌های مرجانی جزیرهٔ کیش مطالعه کردند و نتیجه گرفتند که دمای سطح برابر ۱۷/۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد است که نشان‌دهندهٔ روند افزایشی دما در منطقه است که ممکن است منجر به سفید شدن مرجان‌ها شود[۱۷]. Kor و همکاران (۲۰۱۹) تغییرات فیزیکوشیمیایی، مواد مغذی و کلروفیل a را در آب‌های ساحلی مکران بررسی کردند و نتایج بررسی آنان تأثیر متقابل فاکتورهای فیزیکوشیمیایی را در برابر فاکتورهای بیولوژیکی، ازقبیل کلروفیل a، نشان داد[۲۲].

Fagoonee و همکاران (۱۹۹۹) ادعا کردند که تغییرات فصلی در تراکم zooxanthellae تأثیرگذار است. بر اساس تحقیقاتی که تأثیر دما را بر مرجان‌ها بررسی کرده‌اند، جوامع مرجانی خلیج‌فارس قادر به تحمل دما در بالاترین آستانهٔ دمایی هستند که منجر به سفید شدن مرجان‌ها می‌شود اما، در تابستان‌هایی که دما به‌طور نامعمول گرم است، دما عامل سفید شدن و، در موارد شدید، مرگ‌ومیر مرجان‌ها محسوب می‌شود[۳۳، ۳۱، ۷]. Coles & Jokiel (۱۹۷۸) گزارش کردند که افزایش شوری بین ۳۵ تا ۴۰ به بهبود مقاومت مرجان‌ها در برابر فشار حاصل از تنش کمک کرده است. Raven و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات جوّی را عامل تغییرات دی‌اکسیدکربن و pH آب‌ها دانسته و ادعا کرده‌اند که این افزایش غلظت‌های pH و دی‌اکسیدکربن تغییرات پیش‌بینی‌شدهٔ اکوسیستم‌های اقیانوس باز تا پایان قرن را تغییر می‌دهد و، از طرفی، عامل شکوفایی جلبک‌های مضر، مانند Bacillariophyceae، Prymnesiophyceae، Dinophyceae، Cyanobacteria و Ulvophyceae، است. Venn و همکاران (۲۰۰۶) دما و تابش نور را از عوامل تأثیرگذار بر کاروتنوئیدهای پریدینین، دینوگزانتین، دیا دینوگزانتین، دیاتوگزانتین و β-کاروتن همراه با کلروفیل a و c2 و فائوفیتین در Symbiodinium همزیست با مرجان‌ها گزارش کردند. به‌منظور بررسی تفاوت ایجادشده در Symbiodinium همزیست و رنگدانه‌ها طی دو فصل گرم و سرد امتداد خلیج‌فارس و خلیج عمان، این پژوهش انجام گرفت تا مشخص شود تغییرات فاکتورهای فیزیکوشیمیایی تا چه حد بر ساختار همزیست و رنگدانه‌ها اثر می‌گذارد.

روش پژوهش

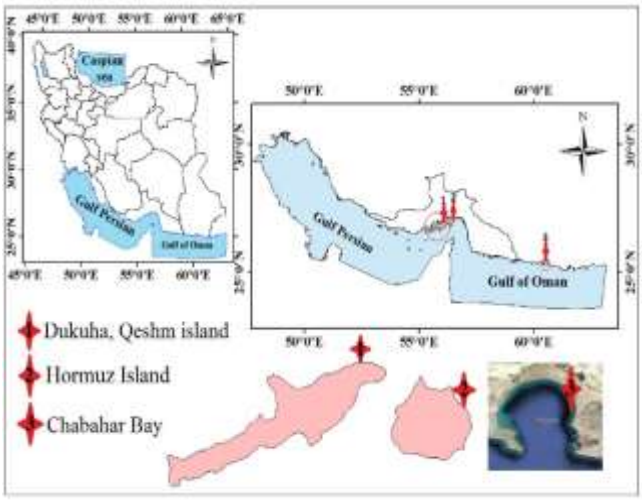
۱. نمونه‌برداری

۱ـ۲ مکان نمونه‌برداری

از شقایق Stichodactyla haddoni (در دو فصل تابستان و زمستان ۱۳۹۸) در سواحل شمالی خلیج‌فارس، در سه منطقه و سه ایستگاه جزیرهٔ قشم ایستگاه دوکوهک (26°59'40.4"N 56°11'39.9"E)، جزیرهٔ هرمز ایستگاه خضر (27°04'50.1"N 56°29'25.9"E) و خلیج چابهار ایستگاه تیس (25°21'49.6"N 60°36'22.1"E) (شکل ۱) نمونه‌برداری شد. هر نمونه، با توجه به ویژگی‌های مورفولوژی و کلید شناسایی در محیط، شناسایی شد.

(https://www.sealifebase.ca/summary/Stichodactyla-haddoni.html)

و نمونه‌ها با تانک ازت به آزمایشگاه دانشگاه تربیت مدرس، به‌منظور آنالیز و خالص‌سازی همزیست شقایق دریایی، انتقال یافتند.



شکل ۱ ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

کلروفیل و کاروتنوئید کل در Symbiodinium sp.، برای ارزیابی غلظت کلروفیل و کاروتنوئید کل در Symbiodinium sp.، اندازه‌گیری و دوتاژکی‌های کشت‌شده به‌کمک پمپ خلا و قیف بوخنر فیلتر شد. کاغذهای صافی درون پتری‌دیش در یخچال نگهداری شدند و، برای استخراج کلروفیل و کاروتنوئید، از متانول خالص استفاده شد. کاغذهای صافی درون هاون با مقداری سیلیس (این عمل برای سهولت حل شدن کاغذ صافی است) به‌همراه ۵ میلی‌لیتر متانول خالص مرک آلمان کوبیده شدند. پس از اطمینان از جدا شدن رنگدانهٔ کلروفیل و کاروتنوئید کل از کاغذ، این عمل تکرار شد. نمونه‌ها از هاون به فالکن تخلیه و بلافاصله به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ (Z 36 HK HERMLE آلمان) شد. فاز رویی جدا و بلافاصله به یخچال ۴°C انتقال داده شد و، مجدداً، برای جداسازی بیشتر و نهایی کلروفیل و کاروتنوئید کل، ۵ میلی‌لیتر متانول خالص به نمونه‌هایی که فاز ته‌نشین داشتند اضافه شد و به‌مدت یک دقیقه روی شیکر قرار گرفت و مجدداً سانتریفیوژ شدند. در ادامه، فاز رویی به درون فالکن حاوی کلروفیل و کاروتنوئید کل اضافه شد. در پایان، نمونه‌ها به‌وسیلهٔ دستگاه اسپکتروفتومتر (Lambda 25 UV/VIS Spectrometer) در طول‌موج‌های ۶۳۲، ۶۵۲، ۶۶۵، ۷۵۰ نانومتر خوانش شد. البته، پیش از خوانش، دستگاه با متانول کالیبره و نمونه‌ها، یکی پس از دیگری، با استفاده از کووت یک‌سانتی‌متری، خوانش شد. کلیهٔ مراحل در نور کم اجرا شد (شکل ۳ـ۱۱) و از رابطهٔ ۱ که مخصوص خوانش با دستگاه اسپکتروفتومتر است برای محاسبهٔ رنگدانه‌ها استفاده شد[۹].

رابطهٔ ۱. ارزیابی رنگدانه‌ها

کاروتنوئید (µgr/ml) $=۴\times(A_{480} - A_{750})$

کلروفیل a (µgr/ml) $=۲/۰۷۸۰\times(A_{632} - A_{750}) - ۶/۵۰۷۹\times(A_{652} - A_{750})$

کلروفیل c (µgr/ml) $=۳۴/۰۱۱۵\times(A_{632} - A_{750}) - ۱۲/۷۸۷۳\times(A_{652} - A_{750}) - ۲/۵۸۱۲\times(A_{665} - A_{750}) - ۱/۴۴۸۹\times(A_{625} - A_{750})$

۲ـ۲ اندازه‌گیری فاکتورهای محیطی

فاکتورهای محیطی به‌وسیلهٔ مولتی‌متر دستگاه پرتابل HQ40D با قابلیت ثبت پارامترهای PH، هدایت الکتریکی (EC)، اکسیژن محلول (DO)، شوری (Salinity)، کل جامدات محلول (TDS)، اکسیژن (O_2)، درصد اکسیژن (0%) اندازه‌گیری شدند.

داده‌های سنجش‌شده در نرم‌افزار Microsoft Office 2019 برنامهٔ Excel ثبت و داده‌ها ازطریقِ آزمون کولموگروف‌ـاسمیرنوف به‌صورت نرمالیته بررسی شدند.

۳ـ۲ کشت Symbiodinium sp.

برای کشت داینوفلاژلهٔ Symbiodinium sp.، از محیط کشت ASP-12 استفاده شد. محیط کشت توسط دستگاه اتوکلاو استریل شد. سپس، ریزجلبک Symbiodinium sp.، به‌منظور انبوه‌سازی، به محیط کشت مایع منتقل شد. نمونه‌ها در محیط کشت مایع در دمای ۱ ±۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد و دورهٔ روشنایی ۱۴ ساعت، برای رسیدن به فاز مورد نظر، نگهداری شدند به‌طوری‌که بعد از ۳۰ روز به فاز رشد مورد نظر رسیدند[۲۷، ۴].

برای مقایسهٔ معنی‌داری آماری بین میانگین‌های مختلف، از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه ANOVA و آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار فیشر

(LSD) و دانکن در نرم‌افزار SPSS(V 20) استفاده شد. سطح معنی‌داری آزمون‌ها ۵ درصد در نظر گرفته شد. تحلیل خوشهٔ سلسله‌مراتبی (HCA) نقشهٔ حرارتی بر اساس همبستگی پیرسون در R رسم شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی منطقهٔ نمونه‌برداری

مشخصات فیزیکوشیمیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصول گوناگون در جدول ۱ ارائه شده است. دمای آب خلیج‌فارس از فصل زمستان به تابستان به‌تدریج افزایش یافت درحالی‌که در خلیج عمان کمترین دما در فصل تابستان ثبت شد. حداکثر دمای بین ایستگاه‌های مورد مطالعهٔ خلیج‌فارس و دریای عمان ۳۴/۹۰±۰/۰۲ درجهٔ سانتی‌گراد در ایستگاه جزیرهٔ هرمز فصل تابستان و کمترین دما ۲۰/۶۰±۰/۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد در ایستگاه جزیرهٔ قشم فصل زمستان ثبت شد. میزان شوری بین ppt ۳۸/۴۰±۰/۱۰ تا ۴۰/۷۱±۰/۰۱ متغیر بود. تغییرات pH بین ۷/۹۶±۰/۰۱ در زمستان هرمز تا ۸/۴۴±۰/۰۱ در فصل تابستان جزیرهٔ هرمز ثبت شد. حداکثر اکسیژن محلول ۱۲/۹۰±۰/۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر مربوط به زمستان چابهار و حداقل اکسیژن محلول ۶/۹۰±۰/۱۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر مربوط به فصل تابستان جزیرهٔ هرمز بود.

جدول ۱ میانگین و انحراف معیار و مقایسهٔ میانگین فاکتورهای فیزیکوشیمیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری خلیج‌فارس و دریای عمان و محیط کشت *Symbiodinium* sp. در وضعیت آزمایشگاهی. حروف متفاوت نشان‌دهندهٔ تفاوت معنی‌دار بین فاکتورها بر اساس آزمون دانکن ۰/۰۵> P است.

فاکتورهای فیزیکوشیمیایی	SH, X±SD	WH, X±SD	SQ, X±SD	WQ, X±SD	SCHC, X±SD	WCHX±SD	Culture
اکسیژن (DO) محلول mg/liter	۶/۹۰±۰/۱۰^{a}	۸/۲۴±۰/۰۱^{c}	۷/۳۹±۰/۰۱^{b}	۹/۹۱±۰/۰۱^{e}	۶/۹۵±۰/۰۱^{a}	۱۲/۹۰±۰/۱۰^{f}	۹/۰۲۳±۰/۰۱۵^{d}
pH	۸/۴۴±۰/۰۱^{d}	۷/۹۶±۰/۰۱^{a}	۸/۳۵±۰/۰۱^{c}	۸/۲۰±۰/۱۰^{b}	۸/۲۵±۰/۰۰۵^{b}	۸/۴۱±۰/۰۱^{cd}	۸/۸۱±۰/۰۱۵^{e}
ppt شوری	۴۰/۷۱±۰/۰۱^{f}	۳۸/۴۰±۰/۱۰^{a}	۳۹/۴۰±۰/۱۰^{d}	۳۹/۶۰±۰/۱۰^{e}	۳۹/۷۰±۰/۱۰^{e}	۳۹/۱۰±۰/۱۰^{e}	۳۸/۶۳±۰/۰۵^{b}
°C دما	۳۴/۹۰±۰/۰۲^{g}	۲۲/۱۰±۰/۱۰^{b}	۳۳/۰۳±۰/۶^{f}	۲۰/۶۰±۰/۱۰^{a}	۲۴/۶۰±۰/۱۰^{c}	۲۵/۵۰±۰/۱۰^{d}	۲۶/۶۶±۰/۰۵۷^{e}
% اکسیژن	۹۳/۰۰±۱/۰۰^{a}	۹۳/۳۳±۰/۵۷^{a}	۱۰۹/۳۰±۰/۱۰^{d}	۱۰۷/۹۰±۰/۱۰^{c}	۱۰۲/۶۰±۰/۱۰^{b}	۱۵۸/۲۰±۰/۱۰^{e}	۱۰۲/۴۳±۰/۰۵^{b}
سرعت باد	۱۰/۸^{a}	۱۴/۴^{b}	۱۴/۴^{b}	۲۸/۸^{d}	۱۸^{c}	۱۰/۸^{a}	–
نمونه	فصل	مناطق، رنگ	اختصار	نمونه	فصل	مناطق، رنگ	اختصار
۱	تابستان	هرمز، بنفش، سبز	SH	۶	زمستان	قشم، بنفش، سبز	WQ
۲	زمستان	هرمز، بنفش، سبز	WH	۷	تابستان	چابهار، قهوه‌ای	SCh colo
۳	تابستان	قشم، بنفش، سبز	SQ	۸	زمستان	چابهار، قهوه‌ای	WCh
۴	عصارهٔ Symbiodinium خالص و کشت‌شده	آزمایشگاه	Culture	۹	تابستان	چابهار، سفید	SCHW

نتایج کلروفیل و کاروتنوئید کل در Symbiodinium sp.

بیشترین مقدار کلروفیل a و کاروتنوئید در نمونهٔ رنگی شقایق دریایی خلیج چابهار مشاهده شد و، به‌ترتیب، با اختلاف ۲۵/۲۸۲ میکروگرم بر میلی‌لیتر و ۲۴/۰۲۴ میکروگرم بر میلی‌لیتر، کمترین مقدار کلروفیل a و کاروتنوئید به نمونهٔ تابستان قشم تعلق گرفت. در میان نمونه‌ها، کلروفیل c تفاوت چندانی بین هر ایستگاه و فصل نداشت. بیشترین و کمترین مقدار کلروفیل c ثبت‌شده، به‌ترتیب، متعلق به فصل زمستان و فصل تابستان ایستگاه دوکوهک جزیرهٔ قشم بود (جدول ۲). جدول ۲ نتایج ارزیابی کلروفیل a، c و کاروتنوئید را در فصل تابستان و زمستان نشان می‌دهد.

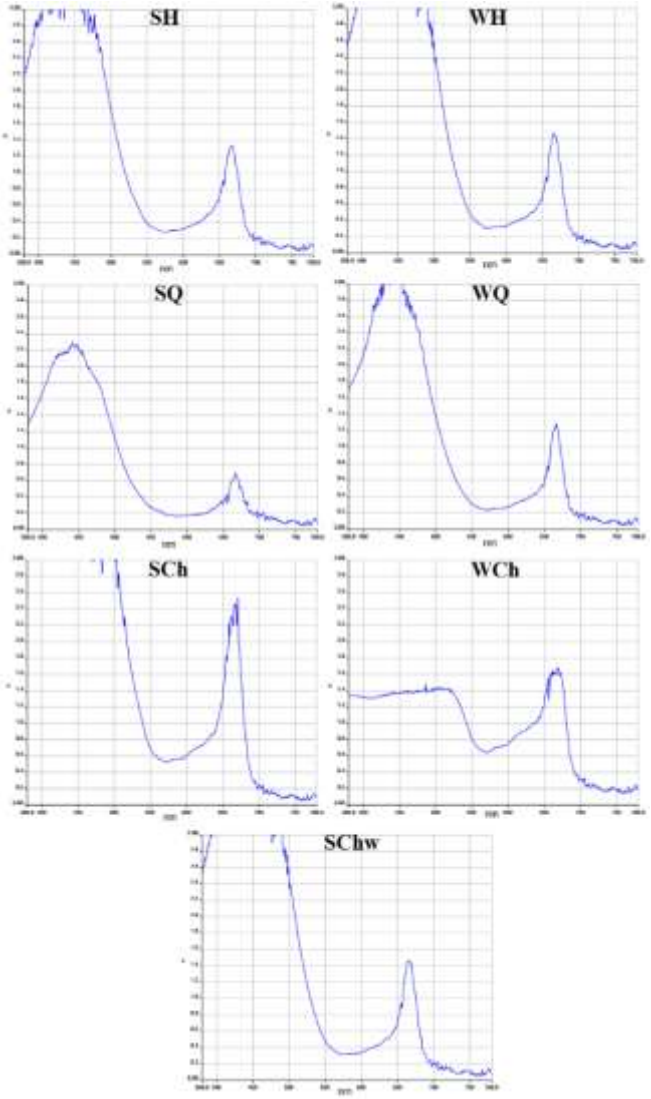
نتایج کلروفیل و کاروتنوئید در فصل تابستان

واحد (µgr/ml)	SH, X±SD	SQ, X±SD	SCHC, X±SD	SCHW, X±SD
کلروفیل a	۴۹/۶۴۱^{d}	۵۰/۳۵۹^{c}	۷۵/۶۴۱^{a}	۵۷/۰۱۵ ^{b}
کلروفیل c	۹/۱۱۸ ^{b}	۸/۱۴۵ ^{d}	۹/۳۵۳^{a}	۸/۶۵۲^{c}
کاروتنوئید	۳۰/۵۹۵^{c}	۱۷/۶۱۲^{d}	۴۱/۶۳۶^{a}	۳۴/۲۳۰^{b}

نتایج کلروفیل و کاروتنوئید در فصل زمستان

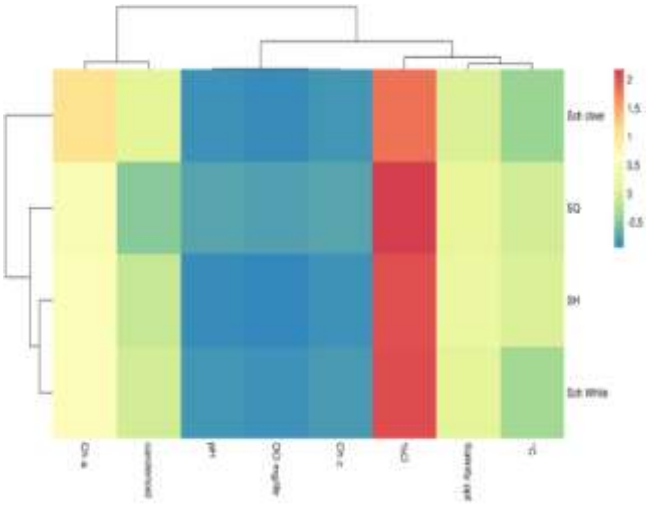
واحد (µgr/ml)	WH, X±SD	WQ, X±SD	WCHX±SD
کلروفیل a	۶۶/۸۷۹^{b}	۵۷/۸۰۱^{c}	۷۳/۷۸۹^{a}
کلروفیل c	۹/۰۱۴^{c}	۱۰/۴۸۶^{a}	۹/۹۵۳^{b}
کاروتنوئید	۳۹/۴۱۷^{b}	۳۴/۶۳۰^{c}	۳۹/۹۰۲^{a}

با توجه به شکل ۲، بیشترین جذب نوری در Symbiodinium sp. در طول‌موج ۶۷۵ nm مشاهده شد و بیشترین پیک ثبت‌شده مربوط به نمونهٔ فصل تابستان چابهار بود.



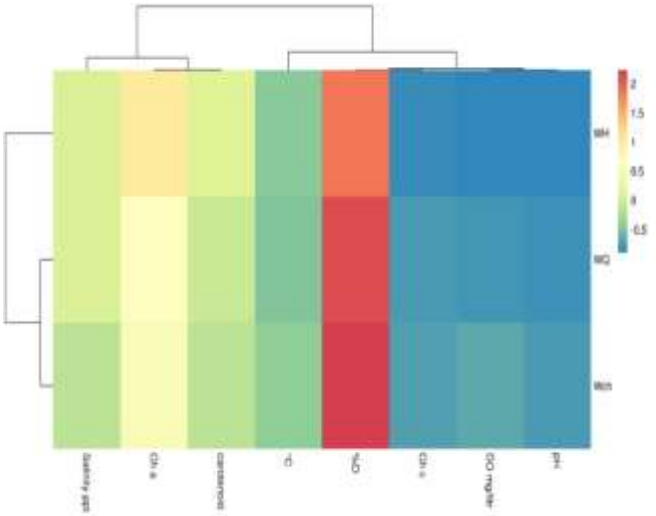
شکل ۲ پیک‌های پیگمنت‌های مشاهده‌شده در دستگاه اسپکتوفتومتر تابستان هرمز SH، **زمستان قشم** WQ، **زمستان هرمز** WH، **تابستان چابهار** SCh colo، **تابستان قشم** SQ، **زمستان چابهار** WCh **و تابستان چابهار نمونهٔ سفید** SCHW.

مطابق شکل ۳، بیشترین تأثیر روی رنگدانه‌ها مربوط به فاکتور درصد اکسیژن محلول، دما و شوری است بدین‌صورت‌که با اکسیژن محلول رابطهٔ مستقیم و با دما و شوری رابطهٔ معکوس نشان دادند. Ph و اکسیژن محلول، همبستگی منفی با رنگدانه‌ها نشان دادند و کلروفیل c، در مقایسه با کلروفیل a و کاروتنوئید، تأثیری از فاکتورهای محیطی نمی‌گیرد.



شکل ۳ نقشهٔ حرارتی روابط فیزیکوشیمیایی با رنگدانه‌های Symbiodinium sp. در فصل تابستان. خوشه‌بندی مقادیر داده‌های چندمتغیره بر اساس همبستگی پیرسون است و هر دو ردیف و ستون با استفاده از فاصلهٔ همبستگی و پیوند متوسط خوشه‌بندی شدند. ۴ ردیف، ۸ ستون.

نتایج شکل ۴ نشان داد که شوری، درصد اکسیژن محلول و دما بیشترین تأثیر را بر رنگدانه‌ها، به‌ویژه کلروفیل a و کاروتنوئید، می‌گذارند. فاکتورهای دیگر، مانند pH و اکسیژن محلول، همبستگی منفی نشان دادند.



شکل ۴ نقشهٔ حرارتی روابط فیزیکوشیمیایی با رنگدانه‌های Symbiodinium sp. در فصل زمستان. خوشه‌بندی مقادیر داده‌های چندمتغیره بر اساس همبستگی پیرسون است و هر دو ردیف و ستون با استفاده از فاصلهٔ همبستگی و پیوند متوسط خوشه‌بندی شدند. ۴ ردیف، ۸ ستون.

تحمل حرارتی مرجان‌های خلیج‌فارس به‌خوبی شناخته شده است به‌طوری‌که هر تابستان در آستانهٔ تحمل حرارتی خود زندگی می‌کنند و قادرند از آستانه‌های دمایی‌ای که منجر به سفید شدن مرجان یا، در شرایط شدید دمایی، موجب مرگ‌ومیر جمعی آنها می‌شود عبور کنند[۲۶، ۷]. Paparella و همکاران (۲۰۱۹) دریافتند که خطر شدید سفید شدن مرجان‌ها پس از ۳ هفته قرار گرفتن در معرض $\geq 35^{\circ}C$ یا ۸ هفته در $\geq 34^{\circ}C$ رخ می‌دهد. همچنین Zhu و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که کاهش اکسیژن محلول منجر به کاهش ریزجلبک همزیست و سفید شدن مرجان‌ها می‌شود درحالی‌که تحقیقات Fagoonee و همکاران در ۱۹۹۹ نشان داد که شاخص میتوزی ریزجلبک همزیست با اکسیژن محلول رابطهٔ منفی دارد. بیشترین میانگین شوری در تابستان جزیرهٔ هرمز و کمترین میزان شوری در زمستان جزیرهٔ هرمز ثبت شد. نوسانات شوری در خلیج‌فارس و دریای عمان مشاهده نشد. همچنین، ازنظرِ آماری، تفاوت معنی‌داری بین ریزجلبک همزیست و شوری وجود نداشت ($p < ۰/۰۵$). تحقیقات قبلی نشان داده است که بیشتر مرجان‌های مقاوم به دما اغلب در شورترین آب‌های جهان زندگی می‌کنند. از طرفی، شوری را عامل مقاومت حرارتی مرجان‌ها گزارش کرده‌اند[۲۰، ۱۸، ۱۱، ۸]. تحقیقات قبلی نشان داد که احتمالاً نسبت منبع غیرآلی دی‌اکسید کربن محلول در آب دریا و محدودهٔ pH (۸/۵ـ۷/۵) اکنون و آینده در اقیانوس‌ها بدون تغییر باقی خواهد ماند[۳۱، ۲۴، ۴۳]. از طرفی، Raven و همکاران (۲۰۲۰) افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن جوّی را علت افزایش غلظت دی‌اکسید کربن محلول در آب‌های طبیعی دانستند و ادعا کردند که با افزایش غلظت یون هیدروژن و بی‌کربنات کاهش غلظت یون هیدروکسیل و کربنات ایجاد می‌شود که نتیجهٔ تغییر اقلیم و تأثیر آن بر چرخهٔ کربن در مناطق ساحلی است که منجر به تغییرات فصلی در غلظت‌های pH و دی‌اکسید کربن می‌شود و قادر است از تغییرات پیش‌بینی‌شده برای اکوسیستم‌های اقیانوس باز تا پایان قرن فراتر رود[۳۲].

بررسی رنگدانه‌های Symbiodinium بیشترین مقدار کلروفیل a و کاروتنوئید کل را در نمونهٔ رنگی شقایق دریایی (قهوه‌ای) نمونهٔ چابهار و کمترین مقدار کلروفیل a و کاروتنوئید را در نمونهٔ تابستان قشم نشان داد. در میان نمونه‌ها، کلروفیل c تفاوت چندانی بین هر ایستگاه و فصل نشان نداد. همچنین بیشترین پیک در طول‌موج nm ۶۷۵ ثبت شد. Scheufen و همکاران (۲۰۱۷) رابطهٔ تراکم و رنگدانه‌های Symbiodinium را بررسی و، طی آن، حداکثر ضریب جذب کلروفیل را در طول‌موج nm ۶۷۵ گزارش کردند. همچنین Kanazawa و همکاران (۲۰۱۴) پیک جذب رنگدانه را در Symbiodinium بین nm ۶۷۵ـ۶۷۲ گزارش کردند. رادیکال‌های آزاد موجب ازبین‌رفتن رنگدانه‌ها می‌شوند که، در نتیجهٔ آن، میزبان

مرجانی رنگ خود را از دست می‌دهد و، در موارد شدید، منجر به مرگ میزبان می‌شود[۴۲، ۱۶]. عوامل محیطی روی رنگدانه‌های فتوسنتزی Symbiodinium اثر می‌گذارند و در شرایط تنش منجر به ازبین‌رفتن کلروفیل موجود در ریزجلبک همزیست و سفید شدن آن می‌شوند[۴۱]. طی بررسی محققان، شدت نور منجر به آسیب اکسیداتیو در مرجان‌ها می‌شود و کاروتنوئیدها، پریدنین، دیادینوگزانتین و گزانتوفیل قادر به محافظت از این آسیب‌ها هستند[۳۶، ۳۷]. Dove و همکاران (۲۰۰۶) دریافتند که مرجان‌های سفیدشده نوساناتی در کلروفیل a، c_2 و کاروتنوئید (دیاتوگزانتین، پریدینین) دارند[۱۲]. Venn و همکاران (۲۰۰۶) اثر افزایش دمای همراه با تابش زیاد نور را بررسی کردند که، در نتیجهٔ آن، جلبک‌های حاوی کلاد C تعداد درخور توجهی از همزیست‌ها را از دست ندادند اما کاهش چشمگیری را در کلروفیل a، پریدینین و کلروفیل c_2، همراه با افزایش پیروفیتین a و محصولات دیگر حاصل از تبدیل کلروفیل a، مانند فئوفیتین a، پیروفایوفیتین a، نشان دادند. همچنین سه گونهٔ مرجانی (Montastrea franksi و Favia fragum دارای ریزجلبک‌های کلاد B و Montastrea cavernosa با ریزجلبک‌های کلاد C) را تحت تنش دما و نور قرار دادند و نتیجه گرفتند که همزیست‌های متعلق به کلاد B ۵۰ تا ۸۰ درصد از همزیست‌های خود را از دست داده‌اند درحالی‌که هیچ کاهش درخور توجهی در سلول‌های ریزجلبک کلاد C مشاهده نکردند. Zamani و همکاران (۲۰۱۹) اثر شدت نور و دما را روی همزیست مرجان Zoanthus sp. بررسی کردند و نتیجه گرفتند که شدت نور و تنش بین رنگدانه‌ها بیشترین تأثیر را بر کلروفیل a و کاروتنوئید می‌گذارد به‌صورتی‌که علت کاهش این رنگدانه‌ها را تخریب کلروفیل توسط ROS بیان کردند و تنها رنگدانه‌ای که تأثیر نپذیرفت کلروفیل c بود. با توجه به نتایج این پژوهش و مقایسهٔ آن با نتایج دیگر محققان، این عامل که شدت نور و دما می‌تواند بر رنگدانه‌ها تأثیرگذار است قابل‌تأیید است چراکه، در این پژوهش، کلروفیل a و کاروتنوئید بین دو فصل و دو ایستگاه واقع در خلیج‌فارس متفاوت بود و در تابستان که شدت نور و دما زیاد است کاهش کلروفیل a و کاروتنوئید مشاهده شد و در زمستان همان ایستگاه‌ها افزایش کلروفیل a و کاروتنوئید مشاهده شد و در ایستگاه چابهار که تفاوت دمای آب بین دو فصل و وزش بادهای موسمی در فصل تابستان مشاهده شد نتایج نشان داد که در زمستان کلروفیل a و کاروتنوئید کمتر از تابستان است. همچنین تفاوت چندانی بین کلروفیل c در ایستگاه‌ها و فصل‌های گوناگون دیده نشد که نشان‌دهندهٔ مقاوم بودن رنگدانه نسبت به سایر کلروفیل a و کاروتنوئیدهاست.

نتیجه‌گیری

مطالعهٔ داینوفلاژلهٔ همزیست با شقایق دریایی گونهٔ S. haddoni و تعیین رنگدانه‌ها در دو فصل و بین ایستگاه دوکوهک جزیرهٔ قشم و ایستگاه هرمز در فصل تابستان، به‌دلیل دمای بالای آب خلیج‌فارس، کاهش نشان داد و در زمستان، به‌دلیل تعدیل دما، افزایش یافت درحالی‌که، در ایستگاه چابهار، کلروفیل a و کاروتنوئید در فصل تابستان، به‌دلیل کاهش دما نسبت به زمستان، افزایش نشان داد که این کاهش دما، به‌دلیل سرعت بادهای موسمی فصلی بود. کلروفیل c بین ایستگاه‌های مطالعاتی، به‌دلیل مقاوم بودن در برابر دما، تفاوتی نشان نداد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش مقالهٔ حاضر، نویسندگان سهمی یکسان داشتند. تمرکز اصلی نویسندهٔ اول (سروناز بی‌غم سوستانی) بر نمونه‌برداری آزمایش‌ها و تمرکز نویسندهٔ دوم (بهروز زارعی دارکی)، نویسندهٔ مسئول مقاله، بر ایدهٔ فناوری و مدیریت پروژه بوده است. نویسندهٔ سوم (مرتضی یوسف‌زادی) نظارت بر انطباق مقاله با فرمت مجله، نگارش و جمع‌آوری مطالب، ترجمه و ویراستاری مقالات و هماهنگی محتوایی مقاله را بر عهده داشته است.

تشکر و قدردانی (اختیاری)

شایسته است مراتب قدردانی خود را از دانشگاه تربیت مدرس که امکانات آزمایشگاهی را در اختیار ما قرار دادند اعلام داریم.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است».

منابع

[1] Adey, W.H., 1998 Jun, “Coral reefs: algal structured and mediated ecosystems in shallow, turbulent, alkaline waters”. *Journal of Phycology*, 34(3): 393-406. https://10.1046/j.1529-8817.1998.340393.x

[2] Adjeroud, M.; Poisson, E.; Peignon, C.; Penin, L. & Kayal, M., 2019 Feb, “Spatial patterns and short-term changes of coral assemblages along a cross-shelf gradient in the Southwestern Lagoon of New Caledonia”, *Diversity*, 11(2): 21. https://doi.org/10.3390/d11020021

adaptation constrains the distribution potential of heat-tolerant Symbiodinium from the Persian/Arabian Gulf". *The ISME journal*; 9(12): 2551-60.https://doi.org/10.1038/ismej.2015.80

[12] Dove, S.; Ortiz, J.C.; Enríquez, S.; Fine, M.; Fisher, P.; Iglesias-Prieto, R.; Thornhill, D. & Hoegh-Guldberg, O., 2006 Mar, "Response of holosymbiont pigments from the scleractinian coral Montipora monasteriata to short-term heat stress". *Limnology and Oceanography*; 51(2): 1149-58. https://doi.org/10.4319/lo.2006.51.2.1149

[13] Fagoonee, I.; Wilson, H.B.; Hassell, M.P. & Turner, J.R., 1999 Feb 5, "The dynamics of zooxanthellae populations: a long-term study in the field". *Science*; 283(5403): 843-5. https://doi.org/10.1126/science.283.5403.843

[14] Falkowski, P.G.; Dubinsky, Z.; Muscatine, L. & McCloskey, L., 1993 Oct 1, "Population control in symbiotic corals". *Bioscience*; 43(9): 606-11. [https://doi.org/10.2307/1312147

[15] Fautin, D.G. & Allen, G.R., 1997, "Anemone fishes and their host sea anemones: a guide for aquarists and divers". *Sea Challengers*60Pp. ISBN-13: 978-0730983927

[16] Franklin, D.J.; Hoegh-Guldberg, O.; Jones, R.J. & Berges, J.A., 2004 May 19, "Cell death and degeneration in the symbiotic dinoflagellates of the coral Stylophora pistillata during bleaching". *Marine Ecology Progress Series*; 272: 117-30. https://doi.org/10.3354/meps272117

[17] Halabian, A.; Kabiri, K.; Safarnejad, M. & Shirani, M., 2022 Jul 15, "Effect of sea surface temperature (SST) changes on coral ecosystems in Kish Island". *Journal of Oceanography*; 13(50): 49-64. (Persian) http://joc.inio.ac.ir/article-1-1622-fa.html

[18] Howells, E.J.; Abrego, D.; Meyer, E.; Kirk, N.L. & Burt, J.A., 2016 Aug, "Host adaptation and unexpected symbiont partners enable reef-building corals to tolerate extreme temperatures". *Global change biology*; 22(8): 2702-14. https://doi.org/10.1111/gcb.13250

[3] Anthony, K.R.; Kline, D.I.; Diaz-Pulido, G.; Dove, S. & Hoegh-Guldberg, O., 2008 Nov , "Ocean acidification causes bleaching and productivity loss in coral reef builders". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(45): 17442-6.https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.06.009

[4] Benstein, R. M.; Çebi, Z.; Podola, B. & Melkonian, M., 2014, "Immobilized growth of the peridinin-producing marine dinoflagellate Symbiodinium in a simple biofilm photobioreactor". *Marine biotechnology*, 16(6), 621-628. https://doi.org/10.1007/s10126-014-9581-0

[5] Berkelmans, R.; Van Oppen, M.J., 2006 Sep 22, "The role of zooxanthellae in the thermal tolerance of corals: a 'nugget of hope'for coral reefs in an era of climate change". *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*; 273(1599): 2305-12. https://doi.org/10.1098/rspb.2006.3567

[6] Buddemeier, R.W.; Kinzie, R.A., 1976, "Coral growth". *Oceanogr Mar Biol Annu Rev*; 14: 183-225

[7] Burt, J.A.; Paparella, F.; Al-Mansoori, N.; Al-Mansoori A.; Al-Jailani, H., 2019 Aug, "Causes and consequences of the 2017 coral bleaching event in the southern Persian/Persian Gulf". *Coral Reefs*; 38(4): 567-89. https://doi.org/10.1007/s00338-019-01767-y

[8] Coles, S.L.; Jokiel, P.L., 1978 Sep, "Synergistic effects of temperature, salinity and light on the hermatypic coral Montipora verrucosa". *Marine Biology*; 49(3): 187-95. https://doi.org/10.1007/BF00391130

[9] Connan, S., *Spectrophotometric assays of major compounds extracted from algae. InNatural Products From Marine Algae 2015* (pp. 75-101). Humana Press, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2684-8_3

[10] Daly, M.; Chaudhuri, A.; Gusmao, L. & Rodriguez, E., 2008, "Phylogenetic relationships among sea anemones (Cnidaria: Anthozoa: Actiniaria)". *Molecular phylogenetics and evolution*, 48(1): 292-301. https://doi.org/10.1016/j.ympev.2008.02.022

[11] D'angelo, C.; Hume, B.C.; Burt, J.; Smith, E.G.; Achterberg, E.P. & Wiedenmann, J., 2015 Dec, "Local

1219-21.https://doi.org/10.1016/S0041-0101(02)00101-0

[26] McLachlan, J., 1973, "Chapter 1-2: Growth media-marine. Handbook of Phycological Methods". *Culture Methods and Growth Measurements, ed*. by J.R. STEIN. 25-5. ISBN-13 : 978-0521297479

[27] Muscatine, L., 1990, "The role of symbiotic algae in carbon and energy flux in reef corals". *Coral reefs*; 25(1.29): 75-87. http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=19736339

[28] Nybakken, J.W., 2001, *Marine biology: an ecological approach*. San Francisco: Benjamin Cummings. ISBN-13: 978-0060448493

[29] Paparella, F.; Xu, C.; Vaughan, G.O. & Burt, J.A., 2019 Apr 24, "Coral bleaching in the Persian/Arabian Gulf is modulated by summer winds". *Frontiers in Marine Science*; 6: 205. https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00205

[30] Raven, J.; Caldeira, K.; Elderfield, H.; Hoegh-Guldberg, O.; Liss, P.; Riebesell, U.; Shepherd, J.; Turley, C. & Watson, A., 2005, "Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide". *The Royal Society*; pp.1-51

[31] Raven, J.A.; Gobler, C.J. & Hansen, P.J., 2020 Jan 1, "Dynamic CO2 and pH levels in coastal, estuarine, and inland waters: Theoretical and observed effects on harmful algal blooms". *Harmful Algae*; 91:101594. https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.012

[32] Riegl, B.M.; Purkis, S.J.; Al-Cibahy, A.S.; Abdel-Moati, M.A. & Hoegh-Guldberg, O., 2011 Sep 20, "Present limits to heat-adaptability in corals and population-level responses to climate extremes". *PloS one*; 6(9): e24802.https://doi.org/10.1371/journal.pone.0024802

[33] Rinkevich, B., 1989 Apr, "The contribution of photosynthetic products to coral reproduction". *Marine Biology*; 101(2): 259-63. https://doi.org/10.1007/BF00391465

[19] Hugues, T.P.; Baird, H.; Bellwood, D.R.; Car, M.; Connolly, S.R.; Folke, C.; Grosberg, R.; Hoegh-Guldberg, O.; Jackson, J.B.; Kleypas &, J.; Lough, J.M., 2003, "Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs". *Science*. https://doi.org/10.1126/science.1085046

[20] Hume, B.C.; D'Angelo, C.; Smith, E.G.; Stevens, J.R.; Burt, J. & Wiedenmann, J., 2015 Feb 27, "Symbiodinium thermophilum sp. nov., a thermotolerant symbiotic alga prevalent in corals of the world's hottest sea, the Persian/Arabian Gulf". *Scientific reports*; 5(1):1-8. https://doi.org/10.1038/srep08562

[21] Kanazawa, A.; Blanchard, G.J.; Szabó, M.; Ralph, P.J. & Kramer, D.M., 2014 Aug 1, "The site of regulation of light capture in Symbiodinium: Does the peridinin–chlorophyll a–protein detach to regulate light capture?". *Biochimica Et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*; 1837(8): 1227-34.https://doi.org/10.1016/j.bbabio.2014.03.019

[22] Kor, K., Ghaziloo, A., Erdeshifar, H., Koochaknejad, A. & Baskeleh, G., 2019, "Changes in physicochemical, nutrient and chlorophyll a metasyms in Makran coastal waters". *Journal of Oceanography* 10(39): 124-113. (Persian) http://joc.inio.ac.ir/article-1–1545-fa.html

[23] Leggat, W.; Seneca, F.; Wasmund, K.; Ukani, L.; Yellowlees, D. & Ainsworth, T.D., 2011 Oct 24, "Differential responses of the coral host and their algal symbiont to thermal stress". *PloS one*; 6(10): e26687. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026687

[24] Marsh, G.E., 2008 Oct 20, "Seawater pH and anthropogenic carbon dioxide". arXiv preprint arXiv:0810.3596

[25] Martínez, D.; Morera, V.; Alvarez, C.; Tejuca, M.; Pazos, F.; García, Y.; Raida, M.; Padrón, G. & Lanio, M.E., 2002 Aug 1, "Identity between cytolysins purified from two morphos of the Caribbean Sea anemone Stichodactyla helianthus". *Toxicon*; 40(8):

[34] Rosenberg ,E. & Ben Haim, Y., 2002 Jun, "Microbial diseases of corals and global warming". *Environmental microbiology*; 4(6): 318-26. https://doi.org/10.1046/j.1462-2920.2002.00302.x

[35] Rowan, R.; Knowlton, N.; Baker, A. & Jara, J., 1997 Jul, "Landscape ecology of algal symbionts creates variation in episodes of coral bleaching". *Nature*; 388(6639): 265-9. https://doi.org/10.1038/40755

[36] Rowan, R., 2004 Aug, "Thermal adaptation in reef coral symbionts". *Nature*; 430(7001): 742. https://doi.org/10.1038/430742a

[37] Scheufen, T.; Iglesias-Prieto, R. & Enríquez, S., 2017 Sep 26, "Changes in the number of symbionts and Symbiodinium cell pigmentation modulate differentially coral light absorption and photosynthetic performance". *Frontiers in Marine Science*; 4:309. https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00309

[38] Sen Gupta, R.; Patel, M.I.; Ramamoorthy, K. & Deshmukhe, G., 2003, "Coral Reefs of the Gulf of Kachchh: A Subtidal Videography". *Vadodara, India: Gujarat Ecological Society*. 82Pp. OCLC Number/ Unique Identifier: 65645148

[39] Smith, J.J. & Blumenthal, K.M., 2007 Feb 1, "Site-3 sea anemone toxins: molecular probes of gating mechanisms in voltage-dependent sodium channels". *Toxicon*; 49(2): 159-70. https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2006.09.020

[40] Szmant, A. & Gassman, N.J., 1990 Apr, "The effects of prolonged "bleaching" on the tissue biomass and reproduction of the reef coral Montastrea annularis". *Coral reefs*; 8(4): 217-24. https://doi.org/10.2144/03342mt01.

[41] Tchernov, D.; Gorbunov, M.Y.; De Vargas, C.; Yadav, S.N.; Milligan, A.J.; Häggblom, M. & Falkowski, P.G., 2004 Sep 14, "Membrane lipids of symbiotic algae are diagnostic of sensitivity to thermal bleaching in corals". *Proceedings of the National Academy of Sciences*; 101(37): 13531-5. https://doi.org/10.1073/pnas.0402907101

[42] Turley, C.M.; Brownlee, C.; Findlay, H.S.; Mangi, S.C.; Ridgwell, A.J.; Schmidt, D.N. & Schroeder, D.C., 2010: Jan-27, "Ocean Acidification in MCCIP Annual Report Card 2010-11". *MCCIP*. http://plymsea.ac.uk/id/eprint/5009

[43] Ulstrup, K.E.; Berkelmans, R.; Ralph, P.J. & Van Oppen, M.J., 2006 May 22, "Variation in bleaching sensitivity of two coral species across a latitudinal gradient on the Great Barrier Reef: the role of zooxanthellae". *Marine Ecology Progress Series*; 314: 135-48. https://doi.org/10.3354/meps314135

[44] Van Veghel, M. U. & Bak, R.P.M., 1944, "Reproductive characteristics of the polymorphic Caribbean reef building coral Adontastrea annulans 3. Reproduction in damaged and regenerating colonies". *Mar Ecol Prog Ser*; 109: 229-233. https://www.jstor.org/stable/24846187

[45] Venn, A.A.; Wilson, M.A.; trapido rosenthal, H.G.; Keely, B.J. & Douglas, A.E., 2006 Dec, "The impact of coral bleaching on the pigment profile of the symbiotic alga, Symbiodinium". *Plant, cell & environment*; 29(12): 2133-42. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.001587.x

[46] Zamani, M.P.; Soedharma, D.; Madduppa, H. & Muhaemin, M., 2019 Sep 1, "The intracellular photopigment and glutathione (GSH) dynamics in symbiodinium natural population during light stress and recovery". *InIOP Conference Series: Earth and Environmental Science*; (Vol. 325, No. 1, p. 012015). IOP Publishing. https://doi.org10.1088/1755-1315/325/1/012015

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Bigham Soostani, *S., Ph.D. Marine biology, Hormozgan University, Faculty of Marine Science and Technology, Hormozgan, IRAN*

✉ bigamsarvenaz@yahoo.com 0000-0001-8355-3257

Zarei Darki,B., *Associate Professor, Department of Marine Biology, Faculty of Marine Science, Tarbiat Modares University, Tehran, IRAN*

✉ zareidarki@modares.ac.ir 0000-0003-4308-8367

Yousefzadi, M.,. *Professor (Associate) of Hormozgan University, Faculty of Marine Science and Technology, Hormozgan University Professor in Department of Biology, Faculty of Science, University of Qom, Hormozgan, IRAN*

✉ morteza110110@gmail.com 0000-0002-2256-8073

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد:

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver)

http://doi.org/10.52547/joc.14.54.1

http://joc.inio.ac.ir/ article-1-1702-fa.html

https://orcid.org/0000-0003-4308-8367

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.