محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره۷۴، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰
صفحات ۳۱۷ تا ۳۳۰

بررسی اثر پارامترهای فیزیکی آب دریا بر سلامت مرجان‌های توده‌ای خلیج چابهار مبتنی بر پارامترهای اقلیمی

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

۱- دانشجوی دکتری تغییرات اقلیم، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۲- دانشیار گروه اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

۳- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(تاریخ دریافت ۹۹/۱۱/۲۹-تاریخ پذیرش ۰۰/۰۷/۱۰)

چکیده:

امروزه مرجان‌های دریایی تحت تأثیر تغییر اقلیم و افزایش دمای آب، در معرض پدیدهٔ سفیدشدگی‌اند. از طرفی پارامترهای فیزیکی آب دریا از نوسان‌های آب‌وهوایی متأثرند. در این پژوهش اثر پارامترهای فیزیکی آب همچون دمای آب، شوری، اسیدیته، هدایت الکتریکی و پارامترهای اقلیمی مانند دمای هوا و سرعت بیشینهٔ باد بر سلامت مرجان‌های توده‌ای خلیج چابهار بررسی شد. بدین منظور از داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه میدانی آب‌نگاری خلیج چابهار، پایگاه دادهٔ مرکز ECMWF و ایستگاه هواشناسی چابهار استفاده شد. داده‌های ده‌سالهٔ درجهٔ رنگی جلبک‌های همزیست با مرجان‌های توده‌ای نیز به‌عنوان شاخص سلامت مرجان‌ها، به‌صورت ماهانه در طی عملیات غواصی با روش Coral Watch استخراج شد. ارتباط بین متغیرها به‌کمک آزمون همبستگی پیرسون، رگرسیون خطی چندجانبه و تحلیل روند من کندال با استفاده از قابلیت نرم‌افزارهای SPSS و Minitab بررسی شد. برپایهٔ نتایج، شوری و هدایت الکتریکی آب روند کاهشی معنی‌دار، اسیدیتهٔ آب روند افزایشی معنی‌دار و دمای آب و سرعت بیشینهٔ باد به‌ترتیب روند افزایشی و کاهشی غیرمعنی‌دار نشان دادند؛ اما دمای هوای منطقه، روند افزایشی معنی‌داری را نشان داد. وضعیت سلامت مرجان‌های توده‌ای روند کاهشی معنی‌دار داشت و در پایان سال ۲۰۱۹ (با درجهٔ رنگی ۳/۵۴ از ۶) در طبقه‌بندی «متوسط» قرار گرفت. سلامت مرجان‌های توده‌ای با شوری و EC دارای بیشترین ضریب همبستگی مثبت و با سرعت بیشینهٔ باد دارای همبستگی منفی در سطح ۰/۰۱ بود. همبستگی معنی‌داری بین سلامت مرجان‌های توده‌ای و دمای آب وجود نداشت.

کلید واژگان: پارامترهای فیزیکی آب دریا، خلیج چابهار، مرجان‌های توده‌ای

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۹۱۲۳۲۱۷۱۰۲ ایمیل: m.baaghideh@hsu.ac.ir

۱. مقدمه

آبسنگ‌های مرجانی اهمیت زیادی در اشتغال و حیات جوامع محلی دارند. در بیش از هشتاد کشور در حال توسعهٔ جهان، جوامع محلی بی‌شماری به لحاظ تأمین مواد غذایی و کسب درآمد به اکوسیستم‌های مرجانی وابسته‌اند؛ تا حدی که حدود ۲۰ درصد جمعیت جهان، بیشتر غذای خود را از آنها تأمین می‌کنند. پدیدهٔ گرمایش زمین، حیات مرجان‌های دریایی را به خطر انداخته است. ادامهٔ این روند منفیِ افزایش دما، در کنار دیگر عوامل انسان‌ساخت، موجب جدا شدن جلبک‌ها از بافت مرجان خواهد شد و پدیدهٔ سفیدشدگی را در پی خواهد داشت. بیشتر پژوهش‌های منتشرشده دربارهٔ مرجان‌های ایران، به مرجان‌های خلیج فارس اختصاص دارد و محققان به مرجان‌های دریای عمان به‌خصوص مرجان‌های خلیج چابهار کمتر توجه داشته‌اند. تحقیقات صورت‌گرفته در محدودهٔ دریای عمان اغلب شامل شناسایی و معرفی گونه‌های مرجانی یا سطح پراکنش آنها بوده است. برای مثال پژوهشی دربارهٔ مرجان‌های جزیرهٔ کیش نشان داد که بیشتر مرجان‌های جزیرهٔ کیش دارای کلاد D هستند و اگر استرس‌های انسانی از محیط حذف شود، آبسنگ‌های مرجانی این ناحیه می‌توانند در آینده در مقابل تغییرات محیطی، به‌ویژه درجهٔ حرارت‌های زیاد مقاومت کنند و به حیات خود ادامه دهند (Ghavam Mostafavi, 2006). برخی از محققان ایران به بررسی عوامل تأثیرگذار انسانی بر مرجان‌ها پرداخته‌اند برای مثال در تحقیقی دربارهٔ وضعیت مرجان‌های دریای عمان مشخص شد که یکی از عوامل منفی تأثیرگذار بر سلامت مرجان‌ها و رشد آنها، عوامل انسان‌ساخت هستند (Aminirad & Sanjani, 2010). در پژوهشی در خصوص اثرهای فصل مونسون بر مرجان‌های چابهار مشخص شد که یکی از دلایل مرگ‌ومیر مرجان‌ها در یک دامنهٔ زمانی شش‌ماهه، حجم زیاد رسوبات بستر دریا و کدورت آب در دورهٔ مونسون است (Tehranifard *et al.*, 2012). تحقیق دیگری در خصوص جنبه‌های اکوتوریسمی مرجان‌ها صورت گرفت، به‌طوری که به‌منظور توسعهٔ گردشگری دریایی حد فاصل اسکله‌های کلانتری و تیس چابهار براساس کارکردهای موجود و شاخص مرکزیت وزنی به‌عنوان بهترین نقطه خلیج چابهار برای توسعهٔ زیستگاه‌های مرجانی تعیین شد (Alimoradi *et al.*, 2014). در پژوهش دیگری روی مرجان‌های آب‌های ساحلی بوشهر، نتیجه گرفته شد که وضعیت پوشش مرجانی جزیرهٔ خارگ (۶۴ تا ۷۷ درصد) مناسب‌تر از جزیرهٔ خارگو (۴۸ تا ۶۲ درصد) است و شاخص سلامت مرجان‌ها در جزیرهٔ خارگ وضعیت بهتری از جزیرهٔ خارگو دارد (Bolouki *et al.*, 2018).

نمونهٔ شاخص پژوهش دربارهٔ مقایسهٔ تیپ‌های مختلف مرجان با همدیگر در مواجهه با استرس محیطی، مربوط به مرجان‌های جزیرهٔ هندورابی در خلیج فارس است که در آن گفته شده مرجان‌های توده‌ای از نظر وضعیت سلامت با روند کاهشی مواجه‌اند، اما در برابر استرس‌های دمای محیطی تحمل بیشتری دارند، درحالی که مرجان‌های دیگر کاملاً سفید شده‌اند (Behzadi *et al.*, 2020). پژوهشی در زمینهٔ تأثیر میدان‌های الکتریکی و هدایت الکتریکی آب دریا بر رشد و توسعهٔ زیست‌سازه‌های الکتریکی مرجانی (بیوراک) در خلیج چابهار، نشان‌دهندهٔ وجود اختلاف معنی‌دار بین میزان رشد قلمه‌های مرجانی *P.damicornis* در

سازهٔ بیوراک تحریک‌شده با میدان الکتریکی و سازهٔ غیر بیوراک است. قلمه‌های مرجانی در سازهٔ بیوراک نسبت به سازهٔ شاهد، افزایش رشد حدود دوبرابری و نرخ زنده ماندن بیشتری داشتند. این نتایج اهمیت هدایت الکتریکی آب را به‌عنوان محرک افزایش رشد و بقای مرجان‌ها در طرح‌های حفاظت و بازسازی مرجان‌ها تبیین می‌کند (Sinaei,& Bolouki, 2020). با توجه به تأثیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب بر سلامت مرجان‌ها، بررسی وضعیت و روند این پارامترها در زیستگاه‌های مرجانی ضروری است. هدایت الکتریکی آب دریا با شوری، دما و فشار تغییر می‌کند که در شرایط طبیعی، در آب دریا بین ۲۰cm/mS تا ۵۵cm/mS محدود است. تغییر دمای ۰/۰۱ درجهٔ سانتی‌گراد یا شوری به اندازهٔ psu ۰/۰۱ یا فشار به اندازهٔ ۲۰dbar موجب تغییر هدایت الکتریکی به میزان cm/mS ۰/۰۱ می‌شود. آب دریا کمی قلیایی است و تغییرات PH آن به‌طور معمول بین ۷/۸ تا ۸/۴ محدود است. متوسط PH آب دریا ۸ است. دما و شوری (جز در مصب رودخانه‌ها)، اثر ناچیزی بر PH دارند. تغییرات چشمگیر PH اساساً وابسته به فتوسنتز گیاهی، تنفس جانوران دریایی و نیز اکسیداسیون مواد آلی است (Mo'meni, 1996). برخی گونه‌های مرجانی قدرت تحمل دما در حدود ۴۰-۳۶ درجهٔ سانتی‌گراد را دارند، مثل آبسنگ‌های مرجانی جنوب خلیج فارس (بحرین و عربستان) (Hubbard, 1997). دمای اپتیمم برای گسترش، رشد و بقای مرجان‌ها حدود ۲۸-۲۲ و در برخی منابع ۲۹-۲۳ درجهٔ سانتی‌گراد بیان شده است (سایت NOAA). درصورتی که میانگین دمای آب بیش از ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد باشد مرجان‌های گرمسیری می‌توانند رشد و تولید مثل کنند. آب‌های بسیار گرم نیز برای مرجان‌ها نامناسب‌اند. در دمای زیاد، محدودیت متفاوت است، اما دمای زیاد محدودکننده به‌طور معمول حدود ۳۰ تا ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد است (Castro & Huber, 2003). بنابر پژوهش صورت‌گرفته دربارهٔ اثر تنش محیطی شوری آب بر سلامت مرجان‌ها، مشخص شده که زوگزانتلا[1] و میزبان آن به نوسان‌های شوری آب حساس‌اند (Reimer, 1971) و مرجان‌های آبسنگ‌ساز در شوری ۳۵-۳۲ رشد مناسبی دارند، اگرچه در مناطقی با شوری زیاد مثل خلیج فارس (۴۲) هم وجود دارند (Castro& Huber, 2003). تحقیقاتی نیز در زمینهٔ اثر دما بر سفیدشدگی مرجان‌ها صورت گرفته و اعلام شده است که درجهٔ حرارت‌های بیش از حد نرمال، عمل فتوسنتز را در *Symbiodinium* متوقف می‌کنند و سبب پدیدهٔ سفیدشدگی مرجان می‌شوند (Jones *et al.*, 1998). برخی نتایج حاکی از آن است که عواملی مانند دما، رطوبت هوای محیط، نور و فعالیت‌های انسانی بیشترین تأثیر را بر زیستگاه ساحلی دارند (Claereboudt, 2006). براساس تحقیقات دربارهٔ پارامترهای فیزیکوشیمیایی خلیج چابهار، 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 بارندگی پس از توفان‌های دریایی است. از طرفی نتیجه گرفتند که شوری آب خلیج چابهار از سطح به عمق بستر خلیج نیز کاهشی است. این کاهش شوری با عمق، به‌دلیل جریان داشتن آب‌های زیرسطحی و کم‌شور دریای عمان (عمق متوسط بین ۲۵ تا ۱۵۰ متر و شوری

[1]Zooxanthellae

کمتر از psu ۵/۳۶) در اعماق خلیج است. با توجه به وزش باد غربی، از پدیده‌های مؤثر در رویداد یادشده، پدیدهٔ فراجوشی (Upwelling) از بستر تا عمق ۱۰-۹ متری خلیج بیان شده است (Komijani, 2011). تأثیر برخی پارامترهای محیطی بر بیوماس مرجان‌ها در زیستگاه‌های مصنوعی منطقهٔ بحرکان بررسی شد و نتایج نشان داد که از میان فاکتورهای فیزیکوشیمیاییِ دما، شوری، کدورت، مقدار اکسیژن محلول و PH، تنها شوری آب و مقدار بیوماس ترِ مرجان‌ها همبستگی معنی‌داری دارند (R2=۰/۸۲). در بین آنها PH کمترین همبستگی (R2=۰/۲۱) را با مقدار بیوماس مرجان‌ها داراست (Heidari *et al.*, 2013). بررسی تأثیر پارامترهای فیزیکوشیمیایی آب بر پراکنش مرجان‌های کیش نیز نشان داد که پارامترهای شیب بستر، شدت جریان، شوری، عمق، دمای آب و کدورت، به‌ترتیبِ اهمیت، بیشترین تأثیر را در ناهمسان بودن ایستگاه‌های مرجانی و فاقد مرجان دارند (Mousavi *et al.*, 2013). براساس تحقیقات دربارهٔ اثر هدایت الکتریکی آب بر توسعهٔ مرجان‌ها و افزایش تراکم جلبک‌های همزیست مرجانی، افزایش هدایت الکتریکی آب موجب ترکیب یون‌های کلسیم و کربنات موجود در آب دریا و انباشته شدن این ترکیب به‌صورت لایهٔ آهکی روی اسکلت مرجانی می‌شود و با کاهش هدایت الکتریکی، رشد و توسعهٔ کلنی‌های مرجانی و تراکم جلبک‌های همزیست نیز کاهش می‌یابد (Goreau, 2014). تفاوت پژوهش پیش رو با پژوهش‌های قبلی دربارهٔ مرجان‌ها در این است که براساس بررسی‌ها تا کنون تحقیق مناسبی دربارهٔ مرجان‌های خلیج چابهار در زمینهٔ اثر پارامترهای فیزیکی آب دریا در دورهٔ بلندمدت و همبستگی بین آنها صورت نگرفته است و باید مشخص شود که هر یک از عوامل محیطی مورد بحث، چه روندی در گذشته داشته‌اند و در بلندمدت تا چه حد در سلامت مرجان‌ها دخیل بوده‌اند. از طرفی ضمن اطلاع از آخرین وضعیت سلامت مرجان‌های توده‌ای خلیج چابهار باید مشخص شود که آیا گرمایش زمین و نوسان دمای آب مثل برخی نقاط جهان، تأثیر منفی بر سلامت مرجان‌های این منطقه هم داشته یا خیر. از طرفی این تحقیق را می‌توان پایهٔ علمی و بانک داده برای پژوهش‌های آتی در زمینهٔ این اکوسیستم مرجانی محسوب و نتایج پژوهش‌های بعدی را با آن مقایسه کرد.

۲. مواد و روش ها

منطقهٔ تحقیق، سایت مرجانی شرق خلیج چابهار در عمق کمتر از ۵ متر واقع در شمال اسکلهٔ شهید کلانتری با مختصات جغرافیایی ’۳۷ °۶۰ طول شرقی و ’۱۹ °۲۵ عرض شمالی است. شایان ذکر است که به‌علت وجود مرجان‌های طبیعی نوع توده‌ای در این محدوده، در سال ۲۰۱۱ حدود ۱۸ هزار کلنی مرجانی و بیشتر از نوع مرجان شاخه‌ای نیز از محدودهٔ طرح توسعهٔ اسکلهٔ شهید بهشتی به این منطقه انتقال داده شد (Ajdari, 2018). با توجه به اینکه از سال ۲۰۱۰ تا سال ۲۰۱۸ سلامت مرجان‌های این منطقه به‌صورت ماهانه توسط محیط زیست دریایی استان سیستان و بلوچستان با روش Coral Watch بررسی شده بود، به‌منظور یکنواخت بودن روش کار در این پژوهش نیز توسط گروه پژوهشی در طی سال ۲۰۱۹، سلامت مرجان‌های توده‌ای با همان روش با دو مرحله عملیات غواصی در هر ماه (با فاصلهٔ زمانی دست‌کم دو هفته) و استفاده از چهار ترانسکت دایره‌ای تصادفی با شعاع ده متر در

جدول ۱- پارامترهای کیفی و مقادیر شاخص تغییرات (CCI) و کیفیت (CQI) به‌منظور پایش اکوسیستم مرجانی

پارامتر کیفیت	CCI درصد	CCI مقیاس	CQI درجهٔ 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)

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 پراکندهٔ مرجان‌های توده‌ای در داخل این ترانسکت‌های دایره‌ای بررسی شد. در روش Coral Watch سلامت مرجان‌های دریایی براساس شاخص نشان‌دهندهٔ غلظت و تراکم جلبک‌های تک‌سلولی 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 یا یک ترانسکت مطالعاتی خاص است که به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

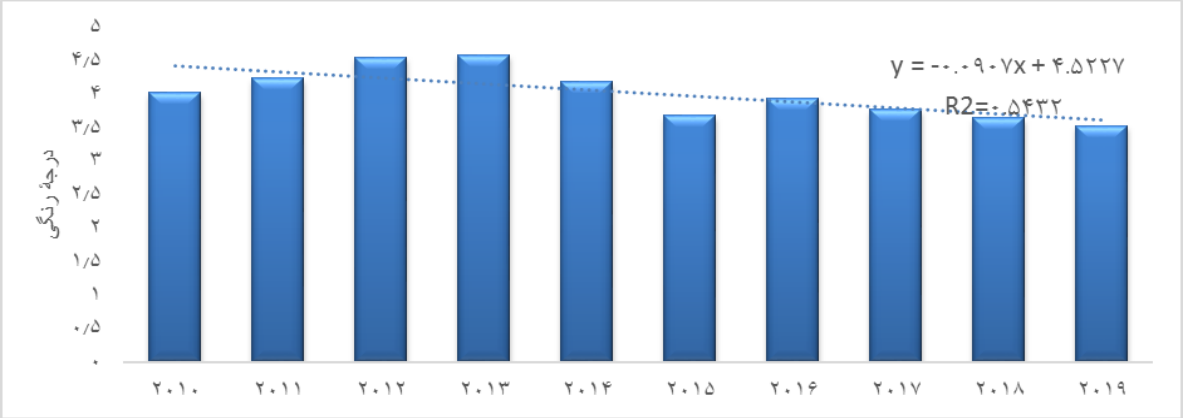
$$\mathbf{QI} = \mathbf{log_{10}}[(\bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L}_1 + \bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L}_2 + \bar{\mathbf{x}}\,\mathbf{L}_3)/\mathbf{n}]$$

(رابطهٔ ۱)

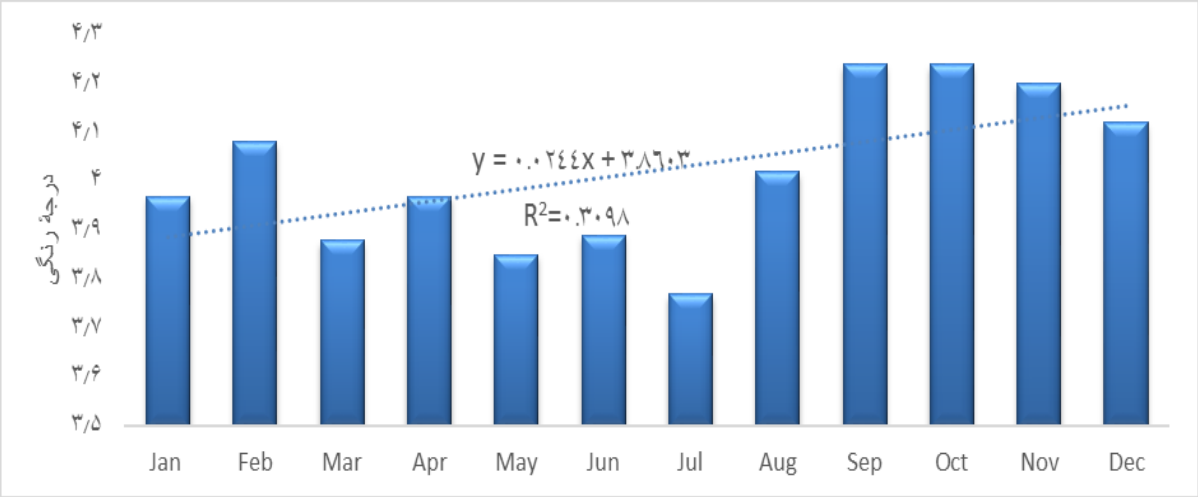
$\bar{x}\,L$: میانگین نمرهٔ رنگی در هر یک از لایه‌های ترانسکت دایره‌ای و n: تعداد لایه‌های هر ترانسکت دایره‌ای است. از طرفی به‌جای سه لایه می‌توان تنها از ترانسکت با شعاع ۱۰ متر استفاده کرد و فرمول قابل اصلاح است (Aminirad, 2012). برای تعیین غلظت رنگ در یک کلنی، از چارت رنگی تعیین غلظت رنگ معرفی‌شده در سایت Coral Watch[۲] استفاده شد. تراکم زوگزانتلا با مطابقت دادن جدول رنگی با کلنی‌های مرجانی به‌دست می‌آید. کدهای مشخص‌شده با عدد ۶ بیانگر تیره‌ترین قسمت یا بیشترین حد همزیستی بین زوگزانتلا و پولیپ‌های مرجانی، و کدهای مشخص‌شده با عدد ۱ بیانگر کمرنگ‌ترین قسمت یا کمترین حد همزیستی بین زوگزانتلا و پولیپ‌های مرجانی‌اند. از این‌رو پس از تعیین میانگین نمرهٔ رنگی در هر کلنی، میانگین نمرهٔ رنگی کلنی‌ها در هر لایه از ترانسکت دایره‌ای به‌دست آمد. با توجه به فرمول شاخص کیفیت داده‌گذاری و سپس میانگین لگاریتمی کل لایه‌ها به‌عنوان نمرهٔ رنگی نهایی در ترانسکت طبق جدول استاندارد ۱ به‌دست می‌آید (Hill and Wilkinson, 2004). شاخص وضعیت (CI) برای رتبه‌بندی اجتماع مرجانی و تنش‌های منطقهٔ مرجانی و شاخص گسترش (DI) جهت توسعهٔ آن محاسبه می‌شود (Idris *et al.*, 2006).

داده‌های روزانهٔ پارامترهای فیزیکی آب دریا شامل

[2] www.coralwatch.org



شکل ۱- نمودار وضعیت درجهٔ رنگی شاخص سلامت مرجان‌های توده‌ای خلیج چابهار از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹



شکل ۲- نمودار وضعیت درجهٔ رنگی شاخص سلامت مرجان‌های توده‌ای خلیج چابهار در ماه‌های مختلف دورهٔ آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹

اسیدیته، دمای آب، هدایت الکتریکی و شوری آب که در پژوهش حاضر استفاده شده از میکرودیتالاگرهای نصب‌شده در بستر مرجانی و ایستگاه میدانی آب‌نگاری واقع در غرب اسکلهٔ شهید کلانتری با فاصلهٔ ۱۲۰۰ متری سایت مرجانی در مختصات جغرافیایی ۰۷" ۱۹' ۲۵° عرض شمالی و ۱۳" ۳۶' ۶۰° طول شرقی استخراج و میانگین‌گیری شده است. برای افزایش دقت کار، داده‌های دمای آب استفاده‌شده در این پژوهش، حاصل میانگین‌گیری از داده‌های دمای آب ثبت‌شده در ایستگاه میدانی آب‌نگاری، داده‌های دمای ثبت‌شده توسط دیتالاگرهای بستر مرجانی و داده‌های ماهواره‌ای بازتحلیل‌شدهٔ SST مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF[3]) در محدودهٔ سایت مرجانی است. نکتهٔ شایان توجه دربارهٔ دمای آب خلیج چابهار این است که به‌علت عمق متوسط ۶ متر خلیج، دمای سطح آب تفاوت چندانی با دمای بستر یعنی محل رشد مرجان‌ها ندارد. با توجه به نمودارهای عمقی درجهٔ حرارت در برش‌های عمود بر خط ساحلی، در ایستگاه‌های نزدیک ساحل به‌علت شکست امواج، عمق کم و نفوذ سریع انرژی گرمایی به لایه‌های زیرین، لایه‌های سطحی و عمقی همگن‌شده و لایه‌بندی حرارتی در این مناطق مشاهده نشد و تفاوت دمای سطح آب با عمق ۵

[3]European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

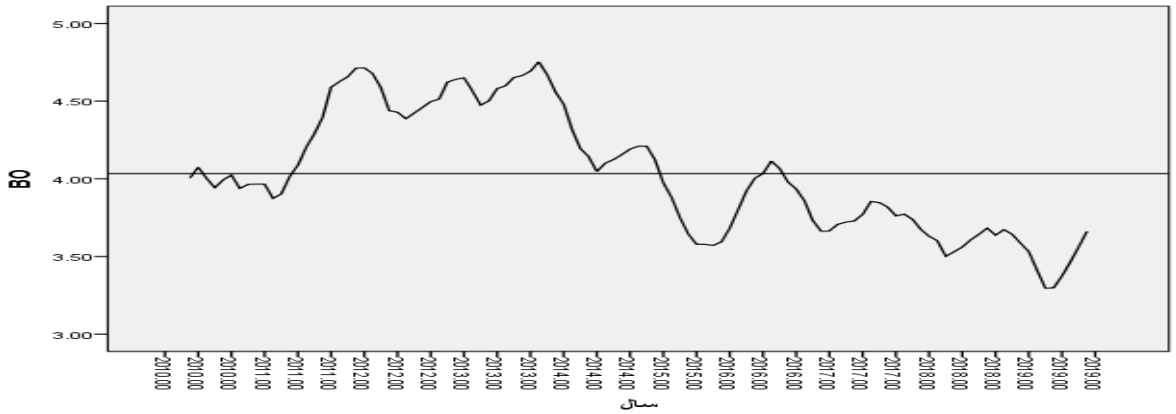
جدول ۲- روند تغییر درجهٔ رنگی سلامت مرجان‌های توده‌ای، پارامترهای آب دریا، سرعت بیشینهٔ باد و دمای هوای چابهار

روند تغییرات	نرخ تغییر در هر ده سال	معادلهٔ متناظر	p-value α= ۰/۰۵	Z	نوع پارامتر
کاهشی معنی‌دار	کاهش ۰/۹۱ درجه	Y=۱۸۶/۷۴ – ۰/۰۹۱X	۰/۰۰۰۰۰	-۵/۶۶۶۵۳	درجهٔ رنگی مرجان‌ها
کاهشی معنی‌دار	کاهش ۰/۰۴	Y=۳۶/۹۴۱ - ۰/۰۰۴۶ X	۰/۰۰۰۰۰	-۶/۴۹۲۱۳	شوری
افزایشی غیر معنی‌دار	افزایش ۰/۰۲ درجه	Y =۲۶/۹۴ + ۰/۰۰۲۳ X	۰/۴۴۰۴۹۵	۰/۱۴۹۷۱۳	دمای آب
کاهشی معنی‌دار	کاهش ۰/۰۶	Y=۵۵/۵۶۵ - ۰/۰۰۶۶ X	۰/۰۰۰۰۰	-۷/۵۵۷۵۱	هدایت الکتریکی
افزایشی معنی‌دار	افزایش ۰/۰۰۶	Y =۸/۰۹۱ + ۰/۰۰۰۶ X	۰/۰۰۵۷۵۸۴	۲/۵۲۶۶۱	اسیدیته
افزایشی معنی‌دار	افزایش ۰/۵۱ درجه	Y= -۷۷/۶۳+۰/۰۵۱x	۰/۰۰۰۰۰۰۲	۵/۱۱۳۸۴	دمای میانگین هوا
کاهشی غیرمعنی‌دار	کاهش ۰/۰۳ درجه	Y =۲۷/۰۵ - ۰/۰۰۳ X	۰/۴۷۹۹۴۷	-۰/۰۵۰۲۹	سرعت بیشینهٔ باد

متری آب (بستر مرجانی) حدود ۰/۵ درجهٔ سانتی‌گراد است (Komijani *et al.*, 2011). از این‌رو در تحلیل‌های صورت گرفته در این پژوهش، این تفاوت ۰/۵ درجهٔ سطح با بستر مرجانی لحاظ شده است. یکی دیگر از پارامترهای فیزیکی آب که سلامت مرجان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، کدورت آب است. متأسفانه در محدودهٔ سایت مرجانی چابهار، اطلاعات کامل و درازمدتی دربارهٔ کدورت وجود نداشت، از این‌رو به‌جای آن در تجزیه‌وتحلیل از داده‌های بلندمدت سرعت بیشینهٔ باد به‌عنوان عامل اصلی اقلیمی افزایش کدورت استفاده شد. دلیل انتخاب سرعت بیشینهٔ باد، تأثیر این عامل در مواج کردن دریا، تلاطم آب و افزایش کدورت در لایه‌های آب به‌ویژه در فصل مونسون است (Tehranifard *et al.*, 2012). از طرفی با توجه به وجود چند موج‌شکن و اسکلهٔ بزرگ همچون شهید بهشتی، هفت تیر، شهید کلانتری و تیس در شرق خلیج چابهار، در آب‌های ساحلی زیر ۵ متر بستر مرجانی خلیج چابهار، مسیر جریان‌های دریایی سیکلونی در حاشیهٔ شرقی خلیج چابهار تا حدودی دچار اختلال می‌شود و جریان‌های شایان توجهی مشاهده نمی‌شود، تا حدی که مرجان‌ها اغلب در پناه موج‌شکن‌های مذکور رشد و نمو کرده‌اند (Aminirad & Sanjani, 2010). در این پژوهش، ارتباط بین متغیرها از طریق آزمون همبستگی پیرسون، رگرسیون خطی چندجانبه و تحلیل روند من کندال با استفاده از قابلیت نرم‌افزارهای SPSS و Minitab بررسی شد.

۳. نتایج

۳-۱. بررسی درجهٔ رنگی شاخص سلامت



شکل ۳- روند وضعیت سلامت مرجان‌های توده‌ای خلیج چابهار از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹

جلبک‌های زوگزانتلای همزیست مرجان‌های توده‌ای

داده‌های درجهٔ رنگی مربوط به جلبک‌های تک‌سلولی زوگزانتلای همزیست کلنی‌های مرجانی در طول یک دهه پایش سلامت مرجان‌ها تجزیه‌وتحلیل شد. نتایج هم براساس سال و هم براساس ماه‌های مختلف سال در درازمدت در شکل‌های ۳ و ۴ مشاهده می‌شود.

۳-۲. بررسی روند سلامت مرجان‌های توده‌ای، پارامترهای فیزیکی آب، سرعت بیشینهٔ باد و دمای هوا

با استفاده از روش تعیین روند من کندال، روند سلامت مرجان‌های توده‌ای، پارامترهای فیزیکی آب دریا، سرعت بیشینهٔ باد و دمای هوا بررسی شد (جدول ۲) (شکل‌های ۳ تا ۹).

۳-۳. بررسی همبستگی سلامت مرجان‌های توده‌ای با پارامترهای فیزیکی آب و پارامترهای اقلیمی

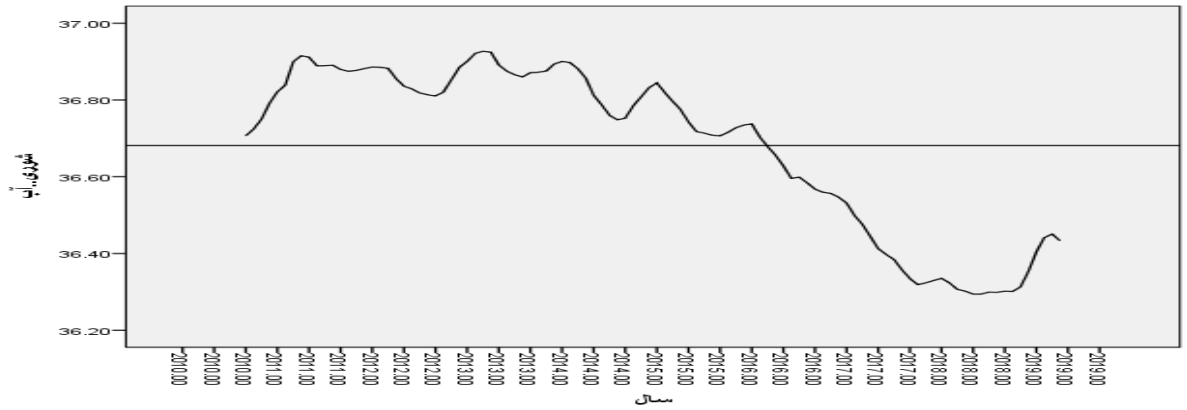
از طریق آزمون همبستگی پیرسون، همبستگی بین داده‌های پارامترهای فیزیکی آب دریا، پارامترهای اقلیمی و درجهٔ رنگی شاخص سلامت مرجان‌ها بررسی شد. ازآنجا که مرجان‌های دریایی همچون دیگر موجودات زنده به‌علت خصوصیات بیولوژیکی، با یک گام تأخیر زمانی به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهند، اعتبارسنجی همبستگی پیرسون نیز با یک گام تأخیر زمانی تحلیل و نتیجه با داده‌های همزمان مقایسه شد (جدول ۳).

۳-۴. پیش‌بینی سلامت مرجان‌های توده‌ای چابهار در آینده با دستیابی به معادلات رگرسیونی چندگانه

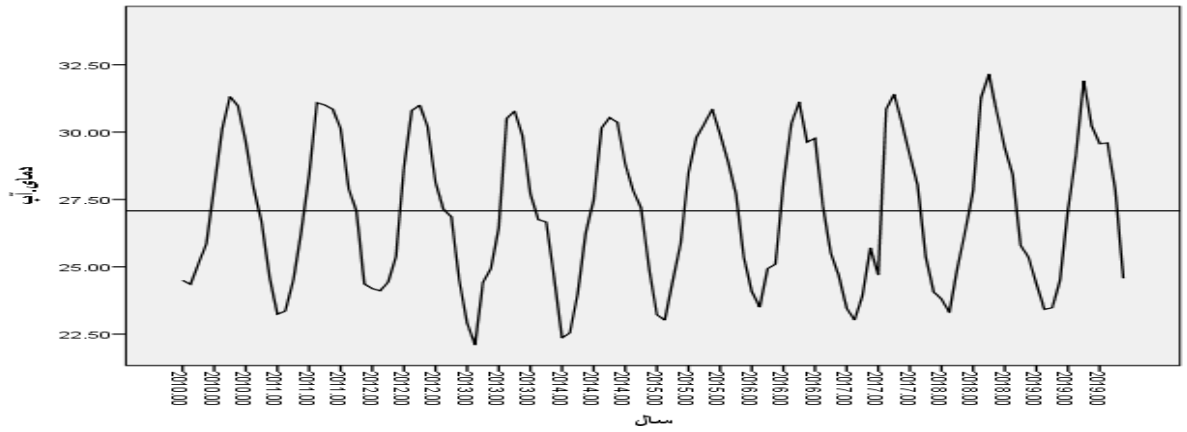
برای یافتن معادلات متناظر به‌منظور پیش‌بینی سلامت مرجان‌ها در آینده با در دست داشتن پارامترهای آب دریا، هر چهار مدل رگرسیون Enter، Backward، Stepwise و Forward اجرا شد و با توجه به اعتبارسنجی انجام‌گرفته، بهترین پیش‌بینی‌ها توسط مدل گام‌به‌گام (Stepwise) با تعداد متغیر پیش‌بین کمتر صورت گرفت (جدول‌های ۴ و ۵).

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش وضعیت سلامت مرجان‌های توده‌ای خلیج چابهار در طول یک دهه بررسی شد. نتایج نشان داد که روند سلامت این نوع مرجان‌ها از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹ کاهشی بوده است (جدول ۲ و شکل ۳). این روند کاهشی سلامت مرجان‌ها با تحقیقات



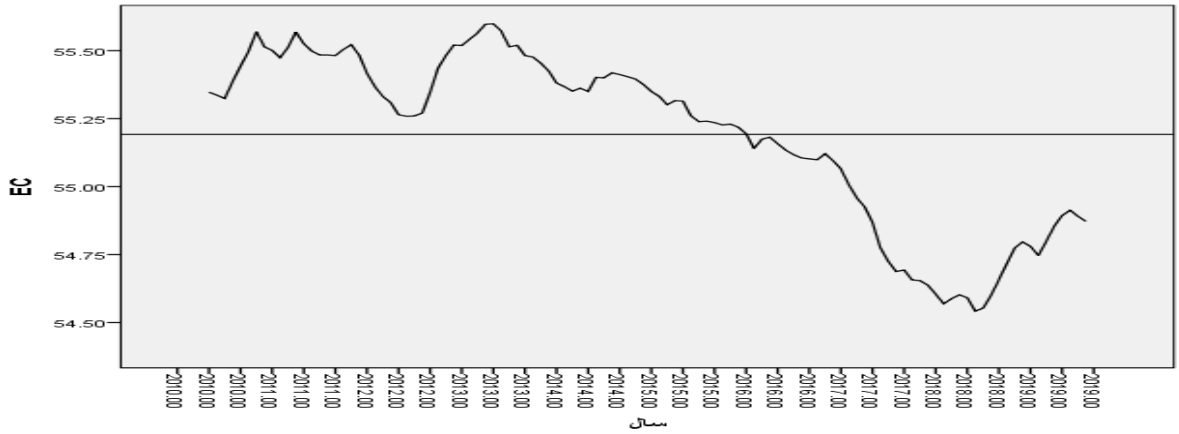
شکل ۴- روند شوری آب خلیج چابهار از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹



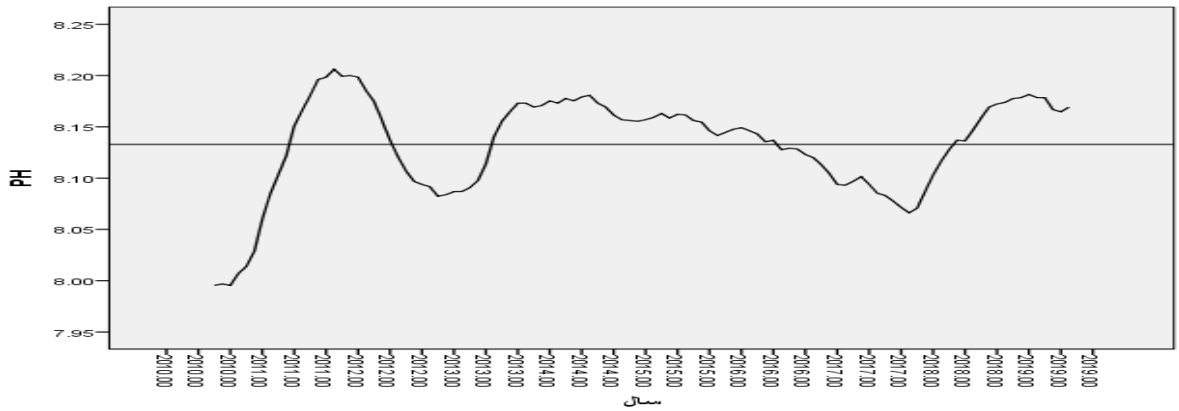
شکل ۵- روند دمای سطح آب خلیج چابهار از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹

(Behzadi *et al.*, 2020) دربارهٔ وضعیت سلامت مرجان‌های توده‌ای جزیرهٔ هندورابی و تحقیقات (Bolouki *et al.*, 2018) در خصوص سلامت مرجان‌های جزیرهٔ خارگو در مقایسه با جزیرهٔ خارگ همخوانی دارد. براساس مقدار عددی میانگین سالانهٔ درجهٔ رنگی شاخص سلامت مرجان در پایان سال ۲۰۱۹ (درجهٔ رنگی ۳/۵۴ از ۶)، وضعیت سلامت آنها در کمترین حد و در رده‌بندی «متوسط» قرار گرفته است. بیشترین مقدار آن (۴/۶ و (۴/۵۶) به‌ترتیب متعلق به سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۲ است (شکل ۱). نمودار وضعیت سلامت براساس ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد که در اواخر فصل بهار و در طول فصل تابستان، به‌طور تقریبی در ماه‌های می تا آگوست شاخص درجهٔ رنگی کاهشی است و پس از آن روند افزایشی به خود می‌گیرد. کمترین درجهٔ رنگی شاخص سلامت مرجان‌های توده‌ای (۳/۷۷) مربوط به ماه جولای است که مقارن با فصل مانسون تابستانه است (شکل ۲). نتایج کسب‌شده با یافته‌های Tehranifard و همکاران (۲۰۰۶) در خصوص تأثیرات فصل مونسون تابستانه بر مرجان‌های خلیج چابهار هم‌پوشانی دارد. براساس نتایج آزمون تعیین روند من کندال مشخص شد که در طول دورهٔ آماری این تحقیق (۲۰۱۱ تا ۲۰۱۹)، شوری و هدایت الکتریکی آب در سطح ۰/۰۵ روند کاهشی معنی‌دار داشت، درحالی که اسیدیته دارای روند افزایشی معنی‌دار بود.

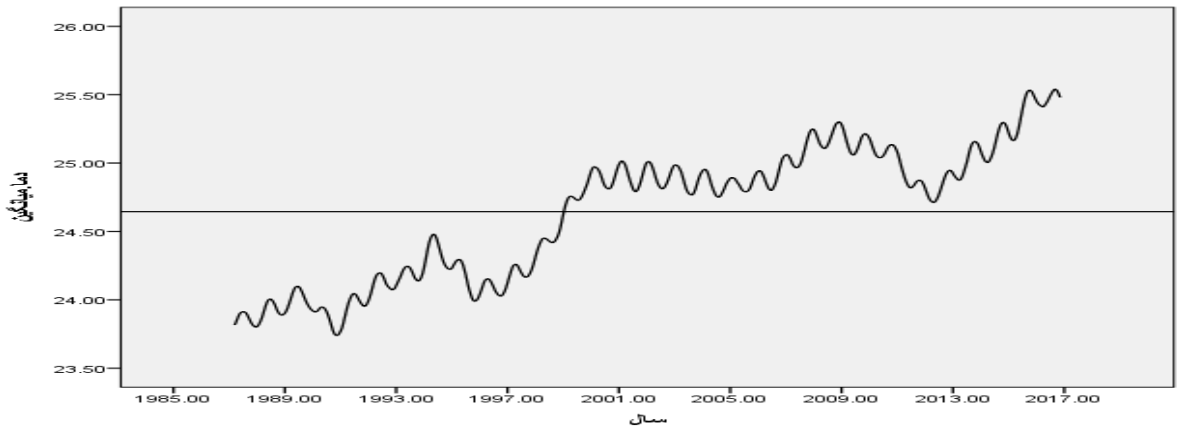
نتیجهٔ تحقیقات Kelble و همکاران در سال ۲۰۰۷ دربارهٔ پارامترهای فیزیکوشیمیایی خلیج فلوریدا،



شکل ۶- روند هدایت الکتریکی آب خلیج چابهار از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹

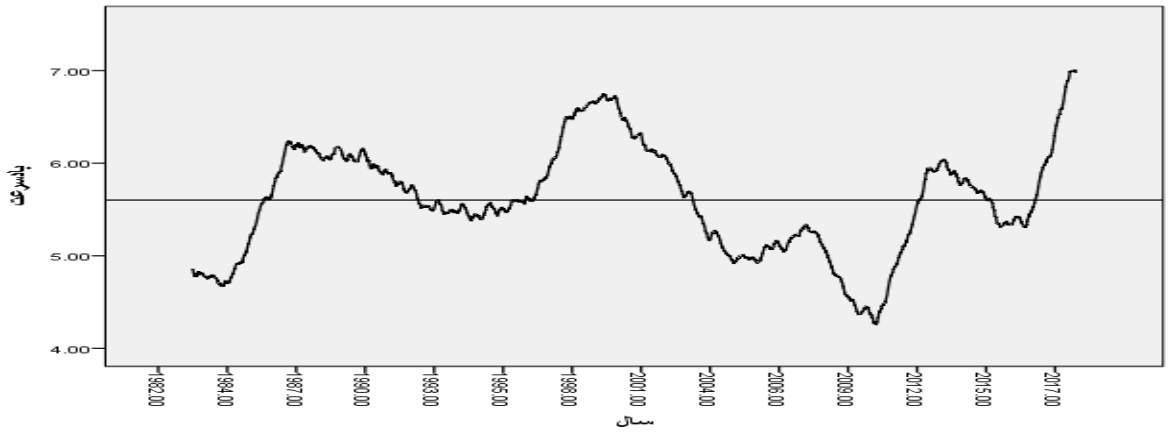


شکل ۷- روند اسیدیتهٔ آب دریا از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹



شکل ۸- نمودار روند دمای میانگین هوای ایستگاه چابهار ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۹

تحقیقات Komijani و همکاران در سال ۲۰۱۱ دربارهٔ پارامترهای فیزیکوشیمیایی خلیج چابهار، تحقیقات Mo'meni در سال ۱۹۹۶ و همچنین پژوهش‌های (Sorokin, 1993) و (Birkeland, 1997)، تأییدکنندهٔ نتایج منفی کاهش شوری و هدایت الکتریکی و افزایش اسیدیتهٔ آب دریا بر سلامت مرجان‌هاست. از طرفی با اینکه دمای هوای چابهار روند افزایشی معنی‌دار داشت، روند افزایشی



شکل ۹- نمودار روند سرعت بیشینهٔ باد ایستگاه چابهار ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۹

جدول ۳- ضریب همبستگی بین سلامت مرجان‌های توده‌ای، پارامترهای فیزیکی آب و پارامترهای اقلیمی

پارامتر	دمای آب	شوری	هدایت الکتریکی	اسیدیته	دمای میانگین هوا	سرعت بیشینهٔ باد
درجهٔ رنگی همزمان با پارامترها	-۰/۰۶۱	۰/۴۴۱**	۰/۴۸۰**	۰/۱۳۷	-۰/۱۳۸	-۰/۲۸۰**
درجهٔ رنگی با تأخیر زمانی یک‌ماهه	-۰/۱۶۹	۰/۳۶۴**	۰/۴۷۳**	۰/۰۸۰	-۰/۲۱۷*	-۰/۲۸۰**
دمای آب	۱	۰/۲۹۲**	-۰/۱۹۶*	-۰/۰۸۵	۰/۸۵۷**	-۰/۰۵۸
شوری	۰/۲۹۲**	۱	۰/۸۴۵**	۰/۱۰۶	۰/۱۶۶ *	-۰/۳۴۹**
هدایت الکتریکی	-۰/۱۹۶*	۰/۸۴۵**	۱	۰/۱۲۶	-۰/۲۶۳**	-۰/۳۷۹**
اسیدیته	-۰/۰۸۵	۰/۱۰۶	۰/۱۲۶	۱	۰/۳۲۸**	۰/۳۲۸**
دمای میانگین هوا	۰/۸۵۷**	۰/۱۶۶ *	-۰/۲۶۳**	-۰/۲۱۲**	۱	۰/۰۲۴
سرعت بیشینهٔ باد	-۰/۰۵۸	-۰/۳۴۹**	-۰/۳۷۹**	۰/۳۲۸**	۰/۰۲۴	۱

**** معنی‌داری همبستگی در سطح ۰/۰۱ * معنی‌داری همبستگی در سطح ۰/۰۵**

دمای آب و سرعت بیشینهٔ باد در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نبود (جدول ۲). علت معنی‌دار نبودن روند افزایشی دمای آب خلیج چابهار برخلاف دمای هوای منطقه (شکل ۵)، تبادل آب دریای عمان با خلیج چابهار در چرخش سیکلونی پادساعتگرد، بیشتر بودن ظرفیت گرمایی ویژهٔ آب نسبت به هوا و تبادل مولکولی و سینوسی حرارت با لایه‌های زیرین آب در منطقهٔ کم‌عمق ساحلی خلیج چابهار است، به‌طوری که اختلاف دمایی چندانی از سطح آب تا بستر مرجانی مشاهده نمی‌شود (Komijani *et al.*, 2011). در بررسی میزان همبستگی پارامترهای یادشده با سلامت مرجان‌ها، نتایج آزمون همبستگی نشان داد که در هر دو حالت گام زمانی همزمان با پارامترهای محیطی و گام زمانی تأخیر یک‌ماهه، سلامت مرجان‌های توده‌ای با پارامتر شوری (با ضریب همبستگی ۰/۴۴۱ و ۰/۳۴۴) و هدایت الکتریکی آب

جدول ۴- اعتبارسنجی و انتخاب مدل مناسب رگرسیون چندگانه بین سلامت مرجان‌های توده‌ای و پارامترهای فیزیکی آب خلیج چابهار

مدل منتخب	نمودار توزیع خطاها	ضریب دوربین واتسون	(معنی‌داری) Anova
روش گام‌به‌گام	نرمال	۱/۸۷۰	۰/۰۰۰[a]

جدول ۵- ضرایب تحلیل رگرسیون چندمتغیره برای پیش‌بینی سلامت مرجان‌های توده‌ای چابهار براساس پارامترهای آب دریا با یک ماه تأخیر داده‌های سلامت مرجان‌ها

خودهمبستگی داده‌ها		$ADJ\ R^2$	R^2	R	Sig.	t	ضرایب استانداردشده	ضرایب استانداردنشده		مدل
تورم واریانس	دامنه تغییرات						Beta	Std. Error	B	
۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۲۲۴	۰/۲۳	۰/۴۸۰[a]	۰/۰۰	-۵/۲۳۱		۵/۷۰۳	-۲۹/۸۳۵	(ثابت) ۱
					۰/۰۰	۵/۹۳۷	۰/۴۸۰	۰/۱۰۳	۰/۶۱۴	EC

a. متغیر وابسته: مرجان‌های توده‌ای

رابطهٔ (۲)

$$Y_{\text{Massive Coral score}} = EC \times (۰/۶۱۴) - ۲۹/۸۳۵$$

(با ضریب همبستگی ۰/۴۸۰ و ۰/۴۷۳) در سطح ۰/۰۱ همبستگی مثبت معنی‌دار و با سرعت بیشینهٔ باد (با ضریب همبستگی ۰/۲۸۰-) همبستگی منفی در سطح ۰/۰۱ دارد. ضمن اینکه سلامت مرجان‌های توده‌ای با دمای آب و اسیدیته آب همبستگی معنی‌دار ندارد؛ اما با یک گام تأخیر زمانی با دمای هوا (با ضریب همبستگی ۰/۲۱۷ -) همبستگی منفی ضعیفی در سطح ۰/۰۵ دارد (جدول ۳). برخی یافته‌ها، همبستگی مثبت مرجان‌ها با شوری و هدایت الکتریکی در این پژوهش را تأیید می‌کند (Castro & Huber, 2003; Reimer, 1971; Mousavi *et al*., 2013; Heidari *et al*., 2013). با توجه به اینکه نوسان دمای آب خلیج چابهار در طول دورهٔ آماری این پژوهش روند افزایشی معنی‌دار نداشت و در محدودهٔ مناسب رشد مرجان‌ها قرار داشت (شکل ۵)، تا حدی که در گرم‌ترین ماه سال از ۳۱ درجهٔ سانتی‌گراد فراتر نرفت، دمای آب عامل محدودکنندهٔ وضعیت سلامت مرجان‌ها نیست و تحقیقات (Castro & Huber, 2003; Hubbard, 1997) نیز تأییدکنندهٔ این مطلب است. در ضمن مرجان‌های توده‌ای خلیج فارس و دریای عمان به‌علت ویژگی‌های ژنتیکی (Ghavam Mostafavi, 2006; Castro & Huber, 2003; Hubbard, 1997)، دماهای بیشتری را نیز تحمل می‌کنند. براساس نتایج مدل گام‌به‌گام رگرسیون چندجانبه، از بین همهٔ پارامترهای محیطی مورد بحث، بیشترین همبستگی و تأثیرگذارترین متغیر مستقل در رگرسیون چندجانبه بین سلامت مرجان‌ها و پارامترهای آب دریا مربوط به هدایت الکتریکی آب دریا (EC) است (جدول ۵). از این‌رو با در دست داشتن مقادیر EC به‌راحتی و بدون عملیات غواصی می‌توان به‌کمک معادلهٔ متناظر (۱) وضعیت سلامت مرجان‌های توده‌ای چابهار را تخمین زد. نتایج تحقیقات (Sinaei,& Bolouki, 2020) و (Goreau, 2014)

در زمینهٔ تأثیر هدایت الکتریکی آب دریا در توسعهٔ زیست‌سازه‌های الکتریکی (بیوراک) و افزایش سرعت رشد و توسعهٔ مرجان‌ها و تراکم جلبک‌های همزیست تأییدکنندهٔ نتایج این پژوهش است.

References

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

Alimoradi, M., Gholamreza, M., Anvari, M.., 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).

Alimoradi, M., Gholamreza, M., Anvari, M., 2014, The role of Chabahar Bay coral ecosystem in the development of ecotourism in the region using SWOT model, the first national congress on land management in the third millennium with emphasis on southeastern Iran, Islamic Azad University of Zahedan (in Persian).

Aminirad. 2012, Health Status of Coral Reefs in Chabahar Bay, Iran, International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics 2(1).

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

Behzadi, S., Ramshi, H., Salarpour, A., Darvishi, M., Pour Mozaffar, 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., 1997a. Life and Death of Coral Reefs. Chapman and Hall, New York, pp. 536.

Bolouki Korandeh, M., Baqer, S.M, Nabavi, S., Ghanemi, K., 2018. Quarterly Journal of Oceanography, Ninth Year No. 34 (45 consecutive, summer 2018) (In Persian).

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

Castro, P., Michael, E., Huber, H., 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 http://www.coralwatch.org

Ghavam Mostafavi, P., 2006. Ph.D. Thesis in Marine Biology, Molecular Investigation and Identification of Zogsantle symbiotic algae with predominant water-producing corals on Kish Island, Islamic Azad University, Science and Research Branch (In Persian).

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). Marine Biology 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). Journal of Marine Biology 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, 1-117.

Hubbard, J.A., Pocock Y., 1997. Sediment rejection by re- cent scleractinian corals: a key to paleoenvironment- al reconstruction. Geologische Rundschau 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 & Environment 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 7 (1-2), 318-334.

Komijani, F., Vahid, Ch., 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 37(4), 195-216 (In Persian).

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

Mostafavi, P.G., Fatemi, M.R., Shahhosseiny, M.H., Hoegh_Guldberg, O., Kok Weng Loh, W., 2006. Predominance of Clade D Symbiodinium in shallowwater Reef- Building Corals off Kish and Larak Islands (Persian Gulf, Iran) Marine Biology.

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 2(6).

Reimer, A.A., 1971. Observations on the relationship between several species of tropical zoanthids (Zoanthidae, Coelenterata) and their zooxanthellae. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 7, 207-217.

Sinaei, M., Bolouki, M., 2020. Increasing Coral Biomass Using Biorock Method in Chabahar Bay. Journal of Marine Science and Technology 1(2), 52-56. (In Persian).

Sorokin, Y.I., 1993. Coral Reef Ecology, Ecological Studies. Springer Verlag Pub., Berlin.

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.