



ORIGINAL RESEARCH PAPER

Sea surface temperature reconstruction and determining the carbon element in coral ecosystems using stable isotopes of oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) as geochemical tracersSeyed Hassan Mousavi¹, Mehdi Gholamalifard², Seyed Mahmoud Ghasempouri^{*2}¹ PhD graduate, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.² Associate Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2025/10/1

Revised: 2026/04/23

Accepted: 2026/04/23

Keywords:

Sea surface temperature
Stable oxygen isotope
Stable carbon isotope
Coral reef
Nayband Marine National Park

*Corresponding author:

ghasempm@modares.ac.ir

Doi: 10.52547/joc.16.64.1

ORID: 0000-0001-9172-9507

ABSTRACT

Background and Objectives: Nayband Marine National Park (NMNP) as Iran's first and largest marine national park, is located on the coasts of Bushehr and Hormozgan provinces and features diverse terrestrial, coastal, and marine habitats and species including scleractinian corals, seagrass, seabirds, sea turtles and mangroves. Today, like other global ecosystems, this one is impacted by climate change, especially rising sea surface temperatures (SST) and terrestrial pollutant sources. Recent efforts by various researchers have focused on identifying robust tracers that reveal past environmental conditions in aquatic ecosystems, particularly coral reefs. Today, coral skeletal oxygen isotopes ($\delta^{18}\text{O}$) are crucial tracer for reconstructing SST, while carbon isotopes ($\delta^{13}\text{C}$) record photosynthetic rates of coral symbiotic algae and terrestrial carbon delivery to coastal waters. The NMNP, despite exposure to climate change and pollution, lacks continuous historical climate records. Hence this study aims to reconstruct SST variability using $\delta^{18}\text{O}$, and identify coral skeletal carbon sources using $\delta^{13}\text{C}$, in Faviidae corals.

Methods: The upcoming research can be divided into four stages. Step (I); coral samples were collected in March 2023 from three sites: South Pars (Site I), Nayband Bay (Site II), and Bonood Beach (Site III). After transfer to the laboratory, coral samples were washed with distilled water, sun-dried, and sliced into 1-cm slabs parallel to the axis of maximum growth using a slicer. Step (II); coral slabs were X-rayed to reveal annual growth bands, using low-density bands (light bands) and high-density bands (dark bands) retrospectively from 2018 to 2023. Then powder was prepared from each coral annual growth bands. The powder was ground using a ceramic mortar and homogenized with a 63 μm sieve. Finally 50 mg of homogenized powder in to sterilized plastic vials was transported to Arak University's Stable Isotopes Research Laboratory for oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) stable isotope measurement. In this laboratory, isotopic ratios ($\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$) were measured using an Isotope Ratio Mass Spectrometer (IRMS) device in the Vienna Pee Dee belemnite (VPDB) and per thousand (‰) scale. To normalize the $\delta^{18}\text{O}$ isotope values, NBS-19 and IAEA-603 standards were used as Isotopic Reference Materials (IRM), and internal analytical precision for both $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ was 0.02‰. Step (III); to reconstruct the SST, the coral carbonate skeleton's $\delta^{18}\text{O}$ value was converted from the VPDB scale to the Vienna Standard Mean Ocean Water (VSMOW) scale, following International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) standards. Then, the SST was obtained using the equation ($\text{SST} (^{\circ}\text{C}) = -4.35 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} + 8.00$). Finally to validate the estimated SST, water temperature from the European Space Agency (ESA) satellite and CTD device readings from 2022-2023 at sampling stations were utilized. Finally, ESA satellite and CTD water temperature records from sampling stations were used to validate the estimated SST. Step (VI); the carbon element type (organic or inorganic) in coral skeletal tissue was determined using $\delta^{13}\text{C}$ (Huant classification method) to assess the impact of human-induced pollution on the coral ecosystem.

Findings: The results showed that; across the study area, $\delta^{18}\text{O}$ values ranged from -3.94‰ to -5.39‰, with an average of -4.95‰. Specifically, Site I exhibited values from -4.94‰ to -4.84‰ (average = -4.41‰), Site II from -4.98‰ to -5.39‰ (average = -5.21‰), and Site III from -5.11‰ to -5.35‰ (average = -5.24‰). According to these results, the $\delta^{18}\text{O}$ values are ordered as follows: Site I > Site II > Site III. Also the average SST ranged from 25.13 - 31.45 $^{\circ}\text{C}$ with an average of 29.55 $^{\circ}\text{C}$ in the study area. Site I had an estimated temperature range of 25.13–29.03 $^{\circ}\text{C}$, with an average of 27.19 $^{\circ}\text{C}$. Site II ranged from 29.66–31.45 $^{\circ}\text{C}$, averaging 30.66 $^{\circ}\text{C}$. Site III had a range of 30.24–31.27 $^{\circ}\text{C}$, with an average of 30.80 $^{\circ}\text{C}$. These results showed that SST values were increasing from site I to site II and site III. Site I recorded the lowest SST at 25.13 $^{\circ}\text{C}$ in 2018, while Site II registered the highest at 31.45 $^{\circ}\text{C}$ in 2019. The results showed that Site I had a higher $\delta^{18}\text{O}$ value than the other two sites. This is due to differences in coral species type, deeper species establishment, and higher turbidity.

Also the result show that $\delta^{13}\text{C}$ values ranged from -3.14 to +1.52 ‰ with an average of -1.05 ‰ in the study area. The average $\delta^{13}\text{C}$ values for sites I, II, and III are -2.4‰, -0.85‰, and 0.097‰, respectively. Coral $\delta^{13}\text{C}$ is influenced by water quality, temperature, and depth; lower quality and higher temperatures result in lower $\delta^{13}\text{C}$. It is worth noting that from 2017 to 2022, a decline in $\delta^{13}\text{C}$ values indicates increased marine pollution and rising SST over the last decade. Also the Hunt's partitioning method revealed that the carbon in corals' skeletons is inorganic and originates from the ocean.

Conclusion: In general this study demonstrated high agreement between $\delta^{18}\text{O}$ -derived SST variations in NMNP Faviidae corals and SST recorded by ESA satellite and CTD, demonstrating effectiveness and accuracy of using the $\delta^{18}\text{O}$ variation for precise estimations of SST. This research indicated that the *Favia pallida* and *Favia speciose* could be used to develop proxies of long-term $\delta^{18}\text{O}$ -derived SST variability in the Persian Gulf and other aquatic ecosystems. Due to the relatively short, 6-year time series, the relevance of these findings for reconstructing SST in NMNP and the Persian Gulf region is limited. Therefore, future researches requires longer coral time series and in situ SST measurements.



NUMBER OF TABLES

1



NUMBER OF FIGURES

5



NUMBER OF REFERENCES

28

مقاله پژوهشی

بازسازی دمای سطح دریا و تعیین عنصر کربن در اکوسیستم‌های مرجانی با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) و کربن ($\delta^{13}\text{C}$) به عنوان ردیاب‌های ژئوشیمیاییسید حسن موسوی^۱، مهدی غلامعلی فرد^۲، سید محمود قاسمیپوری^{*۲}^۱ دانش آموخته دکتری، گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.^۲ عضو هیأت علمی گروه علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۹

تاریخ بازبینی: ۱۴۰۵/۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۳

چکیده

پیشینه و اهداف: پارک ملی دریایی نایبند در شمال خلیج فارس، بعنوان اولین و بزرگترین پارک ملی دریایی ایران به شمار می‌رود که طیف گسترده‌ای از زیستگاهها و گونه‌های خشکی، ساحلی و دریایی از قبیل آبسنگ‌های مرجانی، علف‌های دریایی، پرندگان ساحلی - دریایی، لاکپشت‌های دریایی و جنگل‌های مانگرو را در خود جای داده است. امروزه این اکوسیستم نیز همچون سایر اکوسیستم‌های کره زمین تحت تاثیر تغییر اقلیم به ویژه افزایش دمای آب سطحی (SST) و نفوذ منابع آلاینده خشکی قرار دارد. تلاش‌های اخیر محققان بر شناسایی ردیاب‌های قوی متمرکز شده است که شرایط محیطی گذشته را در اکوسیستم‌های آبی به ویژه اکوسیستم مرجانی آشکار می‌کنند. امروزه ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) برای بازسازی دمای سطح دریا و ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}\text{C}$) برای ثبت نرخ فتوسنتز جلبک‌های همزیست مرجانی و انتقال کربن خشکی به آب‌های ساحلی از مهمترین این ردیاب‌ها به شمار می‌روند. علیرغم مواجهه با تغییرات اقلیمی و منابع آلاینده، پارک ملی دریایی نایبند فاقد سوابق اقلیمی تاریخی پیوسته است. از این رو هدف از این مطالعه بررسی تغییرات دمای آب سطحی دریا طی سالیان گذشته و تعیین نوع عنصر کربن موجود در اسکلت کربناتی به ترتیب با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{13}\text{C}$ در مرجان‌های خانواده Faviidae است.

روش‌ها: مراحل کلی تحقیق پیش رو را می‌توان به چهار مرحله تقسیم‌بندی کرد. در مرحله نخست: نمونه‌های مرجانی از سه پهنه مرجانی پارس جنوبی (سایت ۱)، خلیج نایبند (سایت ۲) و ساحل بنود (سایت ۳) در اسفند ماه ۱۴۰۱ برداشت شدند. نمونه‌های مرجانی پس از انتقال به آزمایشگاه با آب مقطر شسته شده، در آفتاب خشک شده و در نهایت با استفاده از دستگاه برش به موازات محور حداکثر رشد به قطعات ۱ سانتی‌متری برش داده شدند. در مرحله دوم، از برش‌های مرجانی با استفاده از اشعه ایکس تصویر رادیولوژی تهیه شد تا نوارهای رشد سالانه مرجانها با استفاده از نوارهای کم چگالی (نوارهای روشن) و نوارهای پر چگالی (نوارهای تیره) به صورت گذشتنگار از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ آشکار شوند. سپس از هر باند رشد سالانه مرجان نمونه پودر تهیه شد. پودر تهیه شده با استفاده از یک هاون سرامیکی آسیاب شده و با الک ۶۳ میکرومتر همگن شد. در انتها مقدار ۵۰ میلی‌گرم از پودر مرجان همگن شده توسط ویال‌های پلاستیکی تمیز و استریل شده جهت سنجش ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) و کربن ($\delta^{13}\text{C}$) به آزمایشگاه تحقیقاتی ایزوتوپ‌های پایدار دانشگاه اراک منتقل شد. در این آزمایشگاه مقدار $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{13}\text{C}$ بر حسب مقیاس وین پی دی بلنیت (VPDB)، بر حسب در هزار (‰) با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی جرمی نسبت ایزوتوپی (IRMS) تعیین گردید. کالیبراسیون مقیاس VPDB با استفاده از استانداردهای IAEA-603 و NBS-19 انجام پذیرفت. همچنین دقت تحلیل داخلی برای $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{13}\text{C}$ نیز برابر $\pm 0.2\%$ بود. در مرحله سوم: به منظور بازسازی دمای آب سطحی دریا در ابتدا مقدار $\delta^{18}\text{O}$ موجود در اسکلت کربناتی آبسنگ‌های مرجانی از مقیاس VPDB به مقیاس میانگین استاندارد آب اقیانوس وین (VSMOW) طبق استاندارد IUPAC تبدیل شد. سپس دمای آب سطحی دریا با استفاده از معادله $(\text{SST } (^{\circ}\text{C}) = -4.35 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} + 8.00)$ بدست آمد. در نهایت از دمای آب ثبت شده توسط ماهواره آرئیس فضایی اروپا (ESA) و دستگاه CTD در ایستگاه‌های نمونه‌برداری به منظور اعتبارسنجی دمای آب سطحی برآورد شده استفاده گردید. در مرحله چهارم: نوع عنصر کربن موجود در بافت اسکلتی نمونه‌های مرجانی از نظر اینکه از نوع آلی یا غیرآلی است با استفاده از $\delta^{13}\text{C}$ طبق روش طبقه‌بندی Huan تعیین گردید تا تاثیر آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسان بر اکوسیستم مرجانی ارزیابی شود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که برای کل محدوده مطالعاتی مقدار $\delta^{18}\text{O}$ در دامنه $\% -3.94$ الی $\% -4.84$ با میانگین $\% -4.1$ برای جنوب خلیج نایبند (سایت ۲) در دامنه $\% -4.98$ الی $\% -4.95$ است. این مقدار برای منطقه پارس جنوبی (سایت ۱) در دامنه $\% -3.94$ الی $\% -4.84$ با میانگین $\% -4.1$ برای جنوب خلیج نایبند (سایت ۲) در دامنه $\% -4.98$ الی $\% -4.95$ با میانگین $\% -4.1$ برای ساحل بنود (سایت ۳) در دامنه $\% -5.11$ الی $\% -5.25$ با میانگین $\% -5.24$ ثبت گردید. مطابق این نتایج مقدار $\delta^{18}\text{O}$ در پارس جنوبی < خلیج نایبند < ساحل بنود است. همچنین نتایج نشان داد که میانگین دمای آب سطحی دریا در کل محدوده مطالعاتی در دامنه $^{\circ}\text{C } 25.13 - 31.45$ با میانگین $^{\circ}\text{C } 29.55$ برآورد گردید که این دما در منطقه پارس جنوبی (سایت ۱) در گستره $^{\circ}\text{C } 29.03 - 25.13$ با میانگین $^{\circ}\text{C } 27.19$ در جنوب خلیج نایبند (سایت ۲) در گستره $^{\circ}\text{C } 31.45 - 29.66$ با میانگین $^{\circ}\text{C } 30.66$ در ساحل بنود (سایت ۳) در گستره $^{\circ}\text{C } 31.27 - 30.24$ با میانگین $^{\circ}\text{C } 30.80$ برآورد گردید. این نتایج نشان داد که مقادیر SST از سایت ۱ به سایت ۲ و سایت ۳ در حال افزایش است. این در حالی است که ایستگاه پارس جنوبی کمترین مقدار دمای آب را با $^{\circ}\text{C } 25.13$ در سال ۱۳۹۷ ثبت کرد، در حالی که ایستگاه خلیج نایبند بالاترین دمای آب را با $^{\circ}\text{C } 31.45$ در سال ۱۳۹۹ به ثبت رساند. نتایج نشان داد ایستگاه پارس جنوبی از مقدار $\delta^{18}\text{O}$ بالاتر و دمای آب کمتری نسبت به دو ایستگاه دیگر برخوردار است که دلیل آن را می‌توان ناشی از تفاوت در نوع گونه مرجانی، عمق بیشتر استقرار گونه و کدورت بالاتر آب دانست.

همچنین نتایج نشان داد که مقدار $\delta^{13}\text{C}$ در محدوده مطالعاتی در دامنه $\% -3.14$ الی $\% +1.52$ با میانگین $\% -1.05$ قرار دارد. میانگین مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ در آبسنگ‌های مرجانی ایستگاه پارس جنوبی، خلیج نایبند و ساحل بنود به ترتیب برابر $\% -2.4$ ، $\% -1.85$ و $\% -0.97$ است. مقدار $\delta^{13}\text{C}$ در آبسنگ‌های مرجانی تحت تاثیر کیفیت آب، دمای آب و عمق آب قرار دارد. هر چقدر آب از کیفیت پائینتر و دمای بالاتری برخوردار باشد مقدار $\delta^{13}\text{C}$ نیز کمتر می‌شود. نکته قابل تامل این است که با گذر زمان از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ مقدار $\delta^{13}\text{C}$ در حال کاهش است که این امر خود دلیلی بر روند افزایشی ورود آلاینده‌ها به محیط دریا و همچنین افزایش دمای آب طی یک دهه گذشته است. همچنین روش تقسیم‌بندی Huan نشان داد که کربن موجود در اسکلت کربناتی مرجانها از نوع غیرآلی و دارای منشأ اقیانوسی است.

نتیجه‌گیری: در کل این پژوهش نشان دهنده مطابقت زیاد بین دمای آب برآورد شده از ایزوتوپ $\delta^{18}\text{O}$ مرجانهای خانواده Faviidae در پارک ملی دریایی نایبند و دمای آب ثبت شده توسط ماهواره ESA و دستگاه CTD بود که بیانگر صحت و دقت بالای استفاده از ایزوتوپ $\delta^{18}\text{O}$ در بازسازی دمای آب دریا است. این مطالعه نشان داد از گونه‌های *Favia pallida* و *Favia speciosa* می‌توان بعنوان یک شاخص در سنجش تغییرات بلند مدت دمای آب ناشی از ایزوتوپ $\delta^{18}\text{O}$ در خلیج فارس و یا سایر پهنه‌های آبی استفاده نمود. با این حال، توجه به این نکته ضروری است که به دلیل طول نسبتاً کوتاه سری زمانی به‌دست‌آمده (دوره زمانی ۶ ساله)، ارتباط یافته‌های ما برای بازسازی SST در پارک ملی دریایی نایبند و حتی در منطقه خلیج فارس محدود است. بنابراین، مطالعات آتی نیازمند سری‌های زمانی طولانی‌تر از مرجانها و اندازه‌گیری‌های SST از اکوسیستم آبی است.

واژگان کلیدی:

دمای آب سطحی

ایزوتوپ پایدار اکسیژن

ایزوتوپ پایدار کربن

آبسنگ مرجانی

پارک ملی دریایی نایبند

*نویسنده مسئول

ghasempm@modares.ac.ir

Doi: 10.52547/joc.16.64.1

ORID: 0000-0001-9172-9507

مقدمه

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در دهه‌های اخیر تغییرات شگرفی بر اکوسیستم‌های کره زمین به ویژه اکوسیستم اقیانوس‌ها و دریاها داشته است که از مهمترین این تغییرات می‌توان به افزایش دمای آب دریا، اسیدی شدن آب دریا، ذوب یخ‌های قطبی و بالا آمدن سطح آب دریاها اشاره کرد [۱]. امروزه شاخص‌ها و ردیاب‌های مختلفی برای پایش پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم در اکوسیستم‌های آبی استفاده می‌شود که از مهمترین این ردیاب‌ها می‌توان به ایزوتوپ‌های پایدار اشاره کرد که به دلایل دقت بالا، عدم دخالت در زیست‌بوم و توان تکرارپذیری نتایج، ابزارهایی کارآمد برای پایش تغییرات اقلیمی و شرایط کیفی اکوسیستم‌های آبی به شمار می‌روند [۲-۳-۴]. از این میان ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}O$) در اسکلت کربناتی موجودات دریایی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای شناسایی روند تغییرات درازمدت دمای آب سطح دریا (SST) [۵]، شوری آب دریا [۲]، تغییرات سطح آب دریا [۳]، تعیین الگوهای بارش روی دریا [۶] به شمار می‌رود. عنصر اکسیژن در مواد طبیعی زمینی دارای سه ایزوتوپ پایدار ^{16}O ، ^{17}O ، ^{18}O است که به ترتیب از فراوانی ایزوتوپی ۹۹/۷۶۳، ۰/۰۳۸، ۰/۱۹۹ درصد از کل ایزوتوپ‌های اکسیژن برخوردار می‌باشند. از این میان نسبت R ($^{18}O/^{16}O$) رایجترین نسبت ایزوتوپی اندازه‌گیری شده است [۷]. همچنین از نسبت ایزوتوپ‌های پایدار کربن ($\delta^{13}C$) می‌توان اطلاعاتی در مورد منابع زمینی یا اقیانوسی عنصر کربن مورد استفاده در فتوسنتز توسط جلبک‌های همزیست مرجانها، چگونگی تأثیر چرخه کربن بر آبسنگ‌های مرجانی و تعیین قرار گرفتن این گونه‌ها در معرض آلاینده‌های انسان منشاء مانند پساب‌های صنعتی، خانگی و کشاورزی بهره گرفت [۳-۴].

بسیاری از جانداران دریایی، پوسته یا اسکلت خود را از ترکیبات شیمیایی موجود در آب دریا ایجاد می‌کنند و از این رو ایزوتوپ‌های پایدار و مواد آلاینده محلول در آب را در پوسته کربناتی خود ذخیره می‌کنند و از این رو بعنوان آرشیو مهم داده‌های آب و هوایی دیرینه و ردیاب‌های ژئوشیمیایی در محیط دریا به شمار می‌روند [۴-۸]. از جمله مهمترین این موجودات دریایی، آبسنگ‌های مرجانی می‌باشند که به دلیل سرعت رشد آهسته، ایجاد نوارهای رشد سالانه [۸] و همچنین دارا بودن فرایندی که به آن زیست‌کانی‌سازی (ایجاد اسکلت‌های کربناتی با ته‌نشین کردن کربنات کلسیم موجود در آب دریا) گفته می‌شود، اثر شیمیایی آب دریا را در زمان تشکیل اسکلت کربناتی ثبت می‌کنند [۶].

خلیج فارس یک پهنه آبی نیمه بسته‌ای است که به دلیل کاهش ورود آب شیرین از بخش خشکی و همچنین واقع شدن در عرض‌های جغرافیایی پائین، موجودات آبی و آبسنگ‌های مرجانی آن همواره در معرض دمای

آب سطحی و شوری بالاتری در مقایسه با سایر دریاهای آزاد قرار دارند [۹-۱۰]. این پهنه آبی با وجود داشتن زیستگاه‌های متنوع ساحلی و دریایی فاقد سوابق آب و هوایی دراز مدت است. تا به امروز مطالعات در زمینه بازسازی دمای آب دریا در دوره‌های زمانی گذشته با استفاده از سنجش ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}O$) در خلیج فارس بسیار محدود بوده است و تنها می‌توان به مطالعه فروزان و همکاران در سال ۲۰۱۴ بر روی آبسنگ مرجانی *Platygyra sinensis* در جزیره لارک اشاره کرد که تغییرات دمای آب سطحی دریا را با استفاده از داده‌های ۷ ساله ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}O$) و نسبت Sr/Ca مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که تغییرات ایزوتوپ $\delta^{18}O$ و نسبت Sr/Ca به خوبی می‌توانند تغییرات دمای آب پیرامون آبسنگ‌های مرجانی را نشان دهند. پارک ملی دریایی نایبند در شرقی‌ترین نقطه استان بوشهر از جمله با ارزش‌ترین و غنی‌ترین اکوسیستم‌های ساحلی-دریایی خلیج فارس به شمار می‌رود که زیستگاه‌ها و تنوع گونه‌ای فراوانی را در خود جای داده است. یکی از این زیستگاه‌های با ارزش اکولوژیک، زیستگاه آبسنگ‌های مرجانی است که بصورت نواری موازی با خط ساحلی از بخش مرکزی پارک ملی نایبند و ساحل بنود تا بخش جنوبی و شمالی خلیج نایبند و روبروی شهر نخل تقی گسترده شده است [۱۰]. آبهای ساحلی پارک ملی دریایی نایبند طی دو دهه گذشته به شدت تحت تأثیر فعالیت‌های ناشی از توسعه صنایع نفت و گاز در منطقه انرژی پارس جنوبی قرار گرفته و کیفیت آنها همواره رو به کاهش بوده است و زیستگاه‌ها و گونه‌های آبی این محدوده را تحت تأثیر سوء خود قرار داده است [۱۰]. با این وجود فقدان داده‌های اقلیمی پیوسته از کیفیت آب این محدوده احساس می‌گردد و داده‌های گزارش شده از پارامترهای کیفی آب توسط محققان مختلف در منطقه مطالعاتی محدود به بازه‌های زمانی کوتاه مدت و ناپیوسته است [۱۱-۱۲-۱۳]. لذا در این مطالعه سعی شده است تا با استفاده از شاخص‌های ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}O$) و ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}C$) در اسکلت کربناتی مرجان‌های خانواده Faviidae در آبهای ساحلی پارک ملی نایبند به ترتیب روند تغییرات دمای آب سطحی طی سالیان گذشته و همچنین تعیین نوع عناصر کربن (آلی یا غیرآلی) موجود در بافت اسکلتی مرجانهای محدوده مطالعاتی تعیین گردد.

روش پژوهش

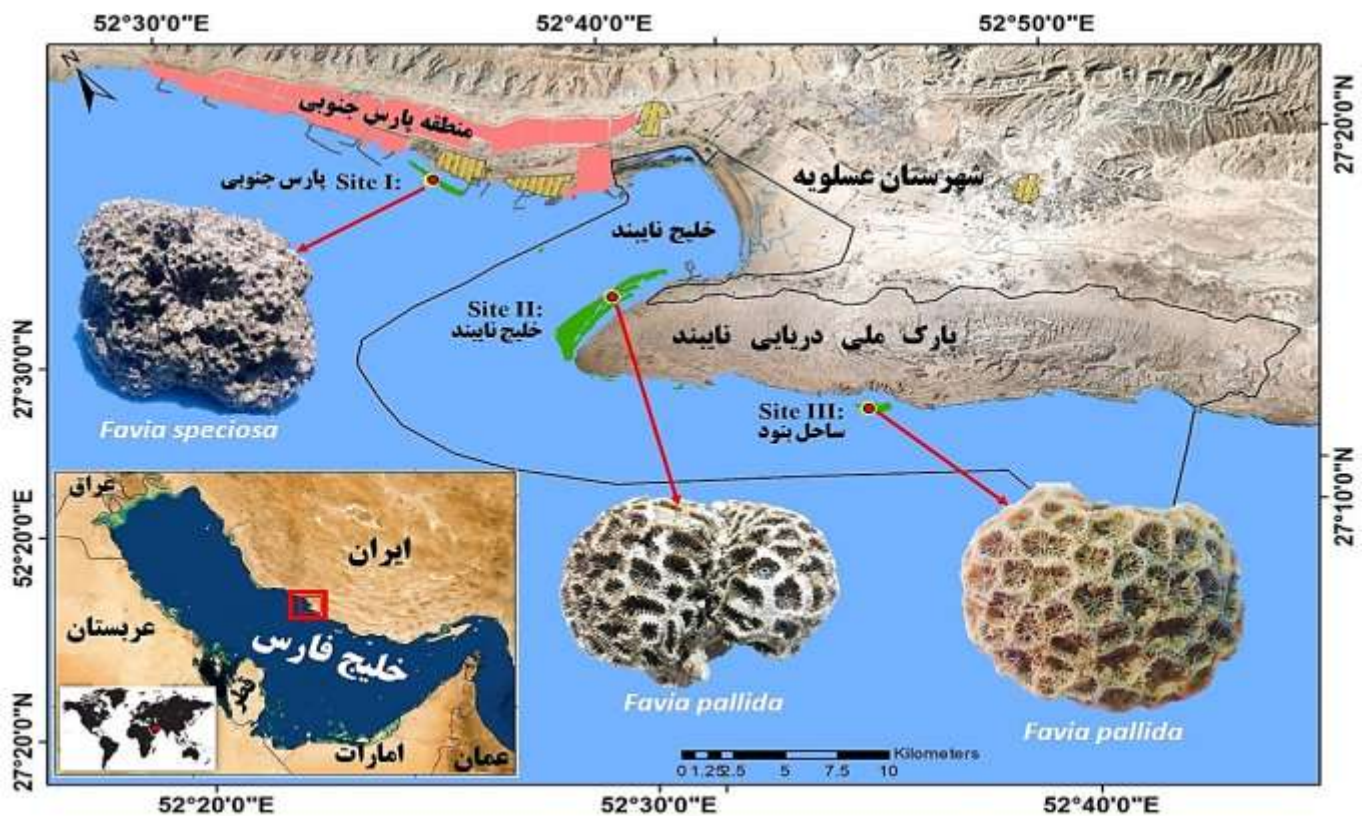
۱. معرفی محدوده مطالعاتی

محدوده مطالعاتی این تحقیق با تمرکز بر مرزهای پارک ملی دریایی نایبند و منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس جنوبی (پارس ۱) در مختصات جغرافیایی جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۲۷ درجه و ۳۱ دقیقه عرض

گذشته با تخریب شدید مواجه بوده است بطوری که امروزه تنها تعداد کمی از گونه‌های مرجانی از خانواده‌های Faviidae و Merulinidae به صورت پراکنده در این منطقه دیده می‌شوند. پهنه مرجانی جنوب خلیج نایبند از عمق متوسط ۲/۵ متر برخوردار است و نسبت به پهنه مرجانی پارس جنوبی از تنوع و وسعت بالاتری برخوردار است. در این پهنه مرجانی‌های خانواده Faviidae و Merulinidae غالب هستند که همواره با تهدیدهایی از نشت سوخت و روغن قایق‌های ماهیگیری، رواناب رودخانه گاوبندی، غواصی تفریحی و فعالیت ماهیگیری مواجه هستند. پهنه مرجانی بنود با عمق متوسط ۴/۵ متر از تنوع و تراکم بالاتری نسبت به دو پهنه دیگر برخوردار است و در بخش شرقی محدوده مطالعاتی در مجاورت ساحل بنود و در فاصله تقریبی ۲۷ کیلومتری از مناطق صنعتی و مسکونی واقع شده است. در این پهنه خانواده‌های Faviidae، Poritidae و Merulinidae بعنوان مرجانهای غالب در معرض تهدیدهایی همچون ماهیگیری و غواصی تفریحی قرار دارند.

شمالی و ۵۲ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی در شهرستان عسلویه، استان بوشهر قرار گرفته است. محدوده مطالعاتی انواع مختلفی از زیستگاه‌های با ارزش اکولوژیکی بالا همچون خور و جنگل حرا عسلویه (بیدخون)، خور و جنگل حرا هاله و خور- مصب و جنگل حرا بساتین و سواحل تخم‌گذاری لاکپشت دریایی پوزه عقابی را در بخش ساحلی و بستر علف‌های دریایی، زیستگاه آبنگ‌های مرجانی و زیستگاه تغذیه‌ای لاکپشت‌های دریایی را در بخش دریایی شامل می‌شود. محدوده مطالعاتی دارای سه پهنه مرجانی شاخص با عنوان (۱) پهنه مرجانی شمال خلیج نایبند یا پهنه پارس جنوبی، (۲) پهنه مرجانی جنوب خلیج نایبند و (۳) پهنه مرجانی منطقه بنود می‌باشد که در هر یک از این پهنه‌ها یک نمونه مرجانی برداشت شد (شکل ۱).

پهنه مرجانی پارس جنوبی از عمق متوسط ۱۰ متر برخوردار است و به واسطه همجواری با تاسیسات پتروشیمی، پالایشگاه‌ها، سکوها و بارگیری میعانات گازی و اسکله‌های ماهیگیری عسلویه و نخل تقی طی سالیان



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مطالعاتی و برداشت نمونه‌های مرجانی

روش کار:

این تحقیق طی چهار مرحله مختلف انجام پذیرفته است.

❖ مرحله نخست: نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های مرجانی

در این تحقیق به منظور سنجش ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) و کربن ($\delta^{13}\text{C}$) در گام نخست نمونه‌های آبنگ مرجانی از خانواده Faviidae به کمک غواص در زمستان سال ۱۴۰۱ از هر یک از پهنه‌های مرجانی محدوده مطالعاتی برداشت شد. در شکل ۲ وضعیت پوشش بسترهای مرجانی محدوده مطالعاتی در هنگام برداشت نمونه نشان داده شده است. نمونه‌ها پس از انتقال به شناور در درون یخدان و در محیطی خنک و به دور از نور خورشید نگهداری و سپس به آزمایشگاه زیست‌شناسی دریا دانشکده علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شدند. در گام دوم در محیط آزمایشگاه به منظور از بین بردن آلودگی‌های سطحی از قبیل مواد آلی و ذرات شن و ماسه، نمونه‌های مرجانی با استفاده از آب مقطر دیونیزه (DDW) شسته شده و سپس زیر آفتاب خشک شدند. در ادامه با استفاده از دستگاه برش مرجان برش‌هایی به ضخامت ۱ سانتی‌متر به موازات محور حداکثر رشد مرجان از نمونه‌ها تهیه گردید [۲-۱۴-۱۶]. در ادامه به منظور آشکارسازی نوارهای رشد سالانه مرجانها (Annual Growth Band)، تصویر رادیولوژی با استفاده از دستگاه تصویربرداری رادیولوژی با پرتو ایکس (X-

ray) تهیه شد [۲-۱۵]. سپس از هر نوار رشد سالانه مرجان نمونه پودر تهیه شد. پودر جمع‌آوری‌شده با استفاده از یک هاون سرامیکی آسیاب شده و با الک ۶۳ میکرومتر همگن شد. در انتها مقدار ۵۰ میلی‌گرم از پودر مرجان همگن شده به درون ویال‌های پلاستیکی تمیز و استریل شده جهت انتقال به آزمایشگاه تخصصی منتقل گردید [۱۶].

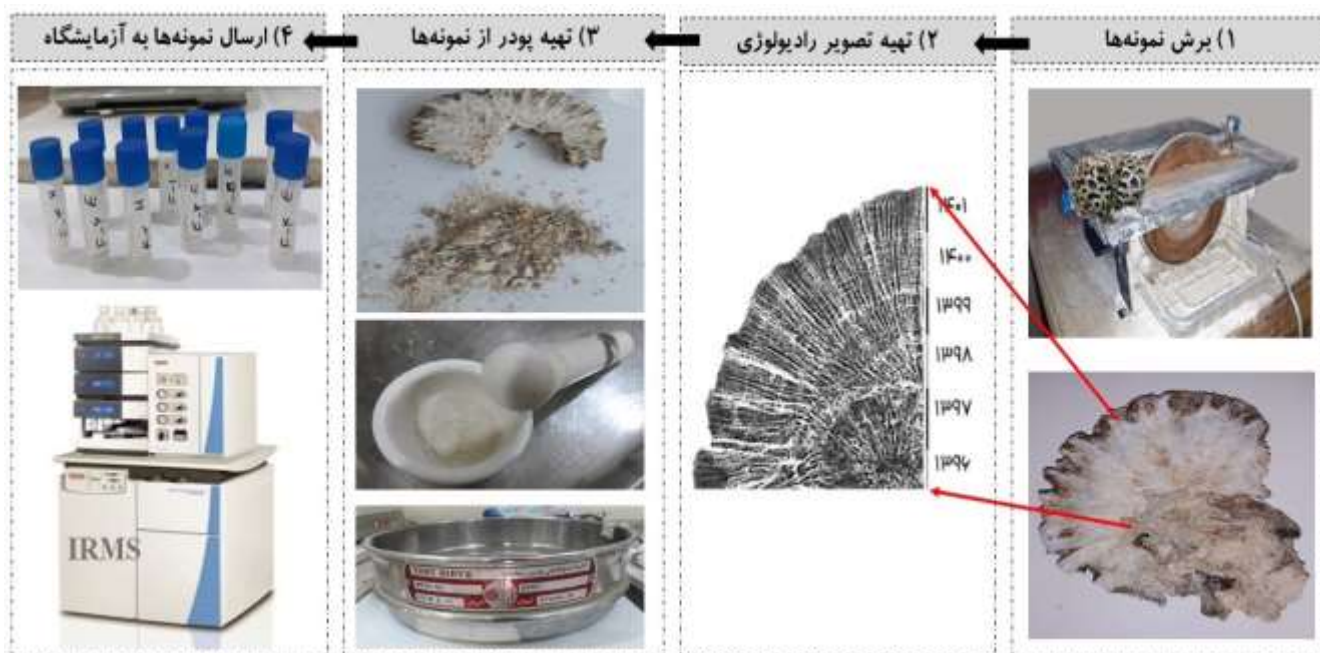
❖ مرحله دوم: سنجش ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) و کربن ($\delta^{13}\text{C}$) در آبنگ‌های مرجانی

در این مرحله جهت سنجش ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) و کربن ($\delta^{13}\text{C}$) از دستگاه طیف‌سنجی جرمی نسبت ایزوتوپی (IRMS) مدل ISOPRIME 100 در آزمایشگاه تحقیقاتی ایزوتوپ‌های پایدار دانشگاه اراک (<http://sir-lab.com>) استفاده شد. در این آزمایشگاه با استفاده از Blank و پس از کالیبره کردن دستگاه IRMS، نمونه پودر مرجان در اسید فسفریک (H_3PO_4) حل شد. سپس گاز CO_2 تولید شده پس از خالص‌سازی و رطوبت‌گیری از طریق دستگاه ورودی دوگانه (Dual-Inlet) به دستگاه IRMS تزریق شده و از طریق تعیین نسبت جرم‌های $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ و $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ مقدار $\delta^{18}\text{O}$ و $\delta^{13}\text{C}$ در مقیاس وین پی دی بلمنیت (VPDB) بر حسب در هزار (per mil, ‰) و با نماد دلتا (‰) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (شکل ۳).



الف) منطقه پارس جنوبی (Site I): بستر دارای پوشش مرجانی ضعیف و پراکنده
ب) خلیج نایبند (Site II): بستر دارای پوشش مرجانی متوسط و پراکنده
ج) ساحل بنود (Site III): بستر دارای پوشش مرجانی خوب و متراکم

شکل ۲: وضعیت ظاهری و سطح پوشش آبنگ‌های مرجانی در بسترهای مرجانی محدوده مطالعاتی (برگرفته از مطالعات میدانی نگارندگان [۱۷]).
Figure 2: Appearance and coverage of coral reefs in the coral beds of the study area (taken from the authors' field studies)



شکل ۳: مراحل سنجش ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) و کربن ($\delta^{13}\text{C}$) در اسکلت کربناتی یک نمونه از آبنگ‌های مرجانی محدوده مطالعاتی. [۱۷]

Figure 3: Steps for measuring stable isotopes of oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) in the skeleton of coral reef sample from the study area.

در این مرحله برای برآورد دمای آب سطحی دریا، مقدار ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) موجود در اسکلت کربناتی آبنگ‌های مرجانی از واحد VPDB به مقدار ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) موجود در آب دریا تبدیل گردید. در حال حاضر میانگین استاندارد آب اقیانوس وین (VSMOW) بعنوان استاندارد برای محتوای ایزوتوپی آب توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی اعلام شده است. برای تبدیل ایزوتوپ پایدار اکسیژن از واحد VPDB به واحد VSMOW از معادله ۲ ارائه شده در استاندارد IUPAC استفاده گردید [۲۰]. در ادامه برای برآورد دمای آب سطحی (SST) از معادله ۳ ارائه شده توسط [۲۱] و [۲۲] استفاده گردیده است. سپس از داده‌های دمای آب سطحی ماهواره آژانس فضایی اروپا (ESA) و همچنین نتایج ثبت شده توسط دستگاه CTD در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در ایستگاه‌های نمونه‌برداری به منظور اعتبارسنجی دمای آب سطحی برآورد شده، استفاده گردید.

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = 1.03092 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} + 30.92\text{‰} \quad \text{معادله ۲:}$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} = 1.03092 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}} + 0.03092$$

$$\text{SST (}^\circ\text{C)} = -4.35 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}} + 8.00 \quad \text{معادله ۳:}$$

دلته (δ ‰) در واقع اختلاف بین نسبت ایزوتوپی نمونه (R_{Sample}) در مقایسه با نسبت ایزوتوپی استاندارد (R_{Standard}) است که مطابق معادله ۱ محاسبه گردید [۱۸]. همچنین برای نرمال‌سازی مقادیر ایزوتوپ $\delta^{13}\text{C}$ و $\delta^{18}\text{O}$ از استانداردهای NBS-19 ($\delta^{18}\text{O} = -2.20\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C} = -1.95\text{‰}$) و IAEA-603 ($\delta^{18}\text{O} = -2.73\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C} = 2.46\text{‰}$) بعنوان مواد مرجع ایزوتوپی (IRM) استفاده گردید. برای ترکیب ایزوتوپی کربن ($\delta^{13}\text{C}$) و اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) دقت تحلیل داخلی (IAP) مطابق استاندارد NBS-19 در طیف‌سنج جرمی به ترتیب برابر 0.1% و 0.5% بود [۱۹].

$$\delta (\text{‰}) = \left[\frac{R_{\text{Sample}}}{R_{\text{Standard}}} / R_{\text{Standard}} \right] \times 1000 \quad \text{معادله ۱:}$$

در این معادله R_{Standard} و R_{Sample} نسبت ایزوتوپ‌های اکسیژن سنگین (^{18}O) و سبک (^{16}O) به ترتیب برای نمونه مورد مطالعه و نمونه استاندارد است و δ نیز ترکیب ایزوتوپ مورد نظر در نمونه را نسبت به نمونه استاندارد نشان می‌دهد. مقادیر مثبت δ روند افزایشی (غنی شدن) و مقادیر منفی روند کاهش (تهدی شدن) ایزوتوپ سبک‌تر (^{16}O , ^{12}C) را در نمونه نسبت به استاندارد نشان می‌دهد [۱۹].

❖ مرحله سوم: بازسازی تغییرات دمای آب سطحی دریا با استفاده از ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$)

❖ مرحله چهارم: تعیین نوع عنصر کربن موجود در بافت اسکلتی مرجانها با استفاده از ایزوتوپ پایدار ($\delta^{13}C$)

مقدار ایزوتوپ پایدار $\delta^{13}C$ مطابق معادله ۴ از نسبت ایزوتوپی $^{13}C / ^{12}C$ به دست می‌آید [۲۰]. فراوانی ایزوتوپ ^{13}C و ^{12}C در طبیعت به ترتیب برابر $1/11$ و $98/9$ است [۲۳]. اما این فراوانی طبق استاندارد NBS-19 برای ایزوتوپ ^{13}C و ^{12}C در آب دریا به ترتیب برابر $0/011078$ و $0/988922$ است. در نتیجه نسبت ایزوتوپی $^{13}C / ^{12}C$ برابر $0/01120$ است [۲۴]. همچنین طبق استاندارد آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) نسبت ایزوتوپی $^{13}C/^{12}C$ در آب دریا برابر $0/01123$ می‌باشد. کربنی که برای تشکیل اسکلت کربناتی آبنسنگ‌های مرجانی استفاده می‌شود، در ابتدا از کربن معدنی محلول موجود در آب دریا گرفته می‌شود که مقدار دلتای آن برابر 0 ‰ است.

سپس در ادامه نوع عنصر کربن موجود در بافت اسکلتی نمونه‌های مرجانی از نظر اینکه از نوع آلی یا غیرآلی است با استفاده از ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}C$) طبق روش طبقه‌بندی Huant [۲۵] تعیین گردید تا تأثیر آلودگی ناشی از فعالیت‌های انسان بر اکوسیستم مرجانی ارزیابی شود.

$$\delta^{13}C = \left\{ \left(\frac{^{13}C}{^{12}C} \right) / R_{std} \right\} - 1 \quad \text{معادله ۴:}$$

در این معادله $R_{std} = 0.0112372$ می‌باشد.

نتایج و بحث

۱. سنجش مقدار ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن ($\delta^{18}O$) و کربن ($\delta^{13}C$)

مقدار ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}O$) و کربن ($\delta^{13}C$) در آبنسنگ‌های مرجانی سه پهنه پارس جنوبی، خلیج نایبند و ساحل بنود (در پارک ملی نایبند) و همچنین مقدار برآورد شده دمای آب سطحی دریا در این سه پهنه مرجانی و مقایسه آنها با مقادیر دمای آب سطحی ثبت شده توسط ماهواره آژانس فضایی اروپا (ESA) در جدول ۱ ارائه شده است.

مطابق جدول ۱ مقدار $\delta^{18}O$ بر حسب واحد استاندارد میانگین آب اقیانوسها (VSMOW) برای منطقه پارس جنوبی در دامنه $3/94$ ‰ الی $4/84$ ‰ به ترتیب برای سال ۱۳۹۷ (۲۰۱۸ میلادی) و سال ۱۴۰۱ (۲۰۲۲ میلادی) با میانگین $4/41$ ‰ ثبت گردید. همچنین این مقدار برای منطقه جنوب خلیج نایبند برابر $4/98$ ‰ الی $5/39$ ‰ به ترتیب در سال ۱۴۰۱ (۲۰۲۲ میلادی) و ۱۳۹۹ (۲۰۲۰ میلادی) با میانگین $4/98$ ‰

$5/21$ ‰ و برای ساحل بنود برابر $5/11$ ‰ الی $5/35$ ‰ به ترتیب در سال ۱۳۹۹ (۲۰۲۰ میلادی) و ۱۴۰۰ (۲۰۲۱ میلادی) با میانگین $5/24$ ‰ ثبت شد. مطابق این نتایج مقدار $\delta^{18}O$ در پارس جنوبی < خلیج نایبند < ساحل بنود است. دلیل بیشتر بودن مقدار $\delta^{18}O$ در منطقه پارس جنوبی نسبت به دو منطقه دیگر را می‌توان تفاوت در نوع گونه مرجانی مورد بررسی، بیشتر بودن عمق حضور گونه (عمق ۱۰ متر)، کدورت بیشتر آب و در نتیجه پائین تر بودن دمای آب در نزدیکی بستر ذکر نمود. این در حالی است که گونه‌های مرجانی خلیج نایبند و ساحل بنود به ترتیب در عمق کمتر از ۱ متر و عمق $4/5$ متری و در محیطی با کدورت کمتر نسبت به منطقه پارس جنوبی حضور دارند و دمای آب در نزدیکی بستر این پهنه‌ها در مقایسه با پهنه مرجانی پارس جنوبی بالاتر است. از معهود مطالعات انجام پذیرفته در این زمینه می‌توان به مطالعه فروزان و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۲] بر روی آبنسنگ‌های مرجانی گونه *Platygyra sinensis* در جزیره لارک اشاره کرد که مقدار $\delta^{18}O$ کمتری ($3/02$ ‰) را در مقایسه با مطالعه پیش رو نشان داد. دلیل این تفاوت را علاوه بر نوع گونه می‌توان در دما و کیفیت آب دو محدوده مطالعاتی دانست. هرچقدر آب از دمای کمتر و کیفیت بالاتری برخوردار باشد، مقدار $\delta^{18}O$ در آن نیز بیشتر خواهد بود. پائینتر بودن میانگین دمای آب سطحی در محدوده جزیره لارک ($24/7$ °C) در مقایسه با میانگین دمای آب سطحی پهنه‌های مرجانی پارس جنوبی ($29/9$ °C)، خلیج نایبند ($30/2$ °C) و ساحل بنود ($29/7$ °C) و همچنین کیفیت بالاتر آب در جزیره لارک به دلیل مجاورت با تنگه هرمز و جریان‌های دریایی اقیانوس هند و دریای عمان (در مقایسه با خلیج نایبند و منطقه پارس جنوبی) تأییدی بر یافته‌های این پژوهش است.

۲. برآورد دمای آب سطحی دریا

در این مرحله میانگین دمای آب سطحی در منطقه پارس جنوبی در گستره $29/03$ °C – $25/13$ °C با میانگین $27/19$ °C در جنوب خلیج نایبند در گستره $31/45$ °C – $29/66$ °C با میانگین $30/66$ °C در ساحل بنود در گستره $31/27$ °C – $30/24$ °C با میانگین $30/80$ °C برآورد گردید. در این مطالعه پائینترین دمای آب در منطقه پارس جنوبی و در سال ۱۳۹۷ برابر $25/13$ °C و بالاترین دمای آب در جنوب خلیج نایبند و در سال ۱۳۹۹ برابر $31/45$ °C برآورد گردید. در شکل ۴ مقدار برآورد شده دمای آب سطحی در پهنه‌های مرجانی و مقایسه آن با مقادیر ثبت شده توسط ماهواره ESA نشان داده شده است.

جدول ۱: مقادیر ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}\text{O}$) و کربن ($\delta^{13}\text{C}$) ثبت شده در بافت اسکلتی آبنسنگ‌های مرجانی محدوده مطالعاتی و محاسبه دمای آب سطحی دریا بر مبنای آن

$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ VPDB	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$					سال	گونه	ایستگاه		
	SST °C (ثبت ماهواره ESA)	نتایج CTD ^۱		SST °C برآورد شده	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ VSMOW					
		SBT °C ^۲	SST °C ^۲							
-۱/۰۳	۲۸/۷۲			۲۵/۷۱	-۴/۰۷	۱۳۹۶	<i>Favia speciosa</i>	پارس جنوبی (روبروی شهر نخل تنگی)		
-۲/۱۵	۲۸/۶۵			۲۵/۱۳	-۳/۹۴	۱۳۹۷				
-۲/۸	۲۸/۷۷			۲۷/۲۴	-۴/۴۲	۱۳۹۸				
-۲/۵۵	۲۸/۸۷			۲۷/۸۲	-۴/۵۶	۱۳۹۹				
-۲/۷۷	۲۹/۲۷			۲۸/۱۸	-۴/۶۴	۱۴۰۰				
-۳/۱۴	۲۹/۱۷			۲۹/۰۳	-۴/۸۴	۱۴۰۱				
-۲/۴۰	۲۸/۹۱			۲۷/۱۹	-۴/۴۱	میانگین				
-	-	۲۹/۵	۳۰/۴	-	-	۱۴۰۱ - ۲				
-۰/۷۳	۲۸/۴۹			۳۰/۶۵	-۵/۲۱	۱۳۹۷	<i>Favia pallida</i>	فانوس دریایی (جنوب خلیج نابیند روبروی)		
-۰/۷۷	۲۸/۴۳			۳۰/۴۲	-۵/۱۵	۱۳۹۸				
-۰/۵۶	۲۸/۶۱			۳۱/۴۵	-۵/۳۹	۱۳۹۹				
-۱/۰۴	۲۸/۷۳			۳۱/۱۰	-۵/۳۱	۱۴۰۰				
-۱/۱۶	۲۸/۴۳			۲۹/۶۶	-۴/۹۸	۱۴۰۱				
-۰/۸۵	۲۸/۵۴			۳۰/۶۶	-۵/۲۱	میانگین				
-	-	۳۰/۱	۳۰/۲	-	-	۱۴۰۱ - ۲				
۱/۵۲	۲۸/۴۵			۳۱/۰۱	-۵/۲۹	۱۳۹۸	<i>Favia pallida</i>	ساحل بنود		
۰/۱۱	۲۸/۴۰			۳۰/۲۴	-۵/۱۱	۱۳۹۹				
-۰/۵۲	۲۸/۵۸			۳۱/۲۷	-۵/۳۵	۱۴۰۰				
-۰/۷۲	۲۸/۵۲			۳۰/۶۹	-۵/۲۲	۱۴۰۱				
۰/۰۹۷	۲۸/۴۸			۳۰/۸۰	-۵/۲۴	میانگین				
-	-	۲۹/۷	۲۹/۹	-	-	۱۴۰۱ - ۲				

(۱) نتایج CTD مربوط به میانگین فصل‌های زمستان ۱۴۰۱، بهار، تابستان و پاییز ۱۴۰۲ در ایستگاه‌های برداشت نمونه مرجانی است.

(۲) SST = Sea Surface Temperature (دمای آب لایه سطحی)

(۳) SBT = Sea Bed Temperature (دمای آب بستر)

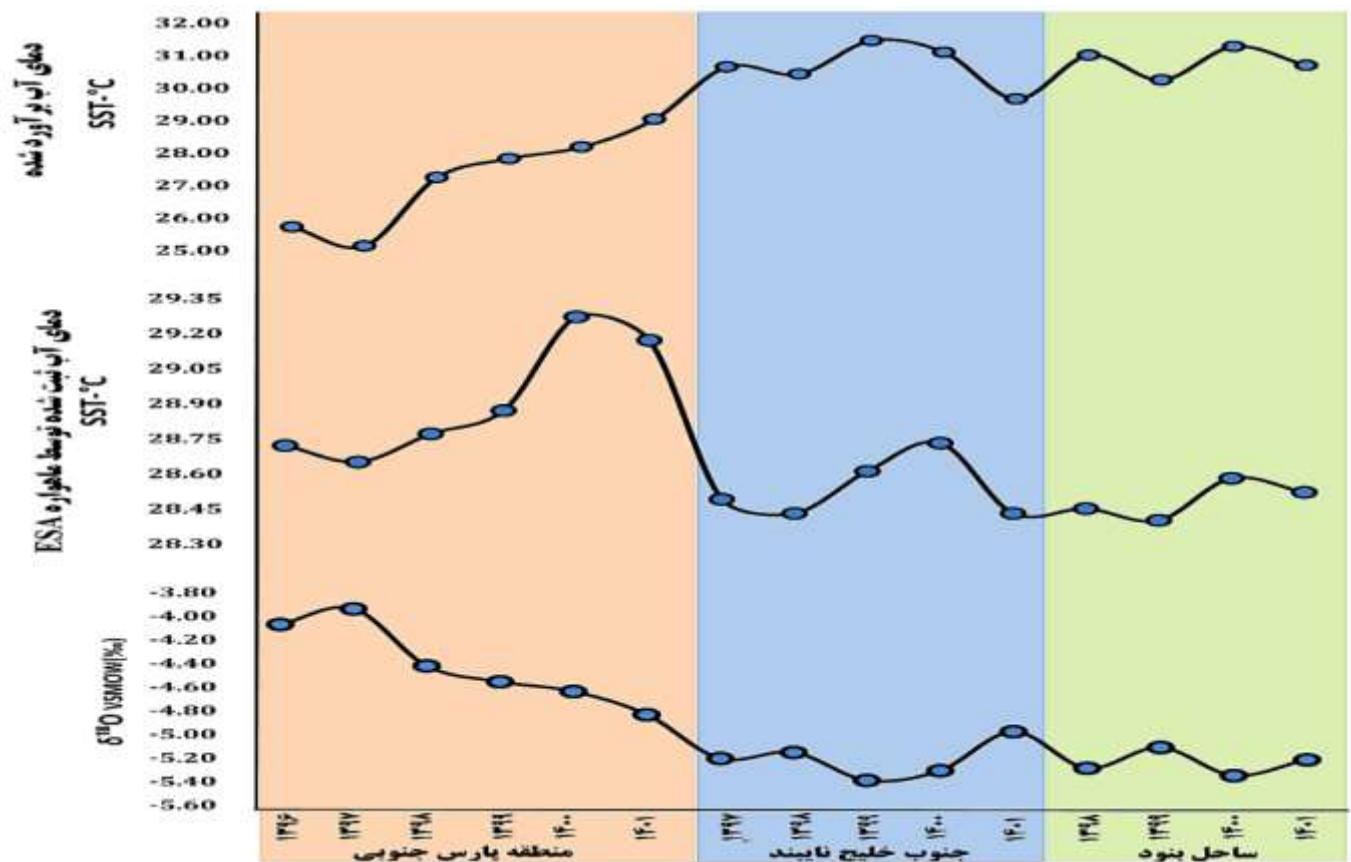
است که طبق نتایج دمای محاسباتی ماهواره ESA و داده‌برداری میدانی با دستگاه CTD (جدول ۱)، آب سطحی در پهنه مرجانی پارس جنوبی نسبت به خلیج نابیند و ساحل بنود از دمای بالاتری برخوردار است و انتظار می‌رفت کمترین مقدار $\delta^{18}\text{O}$ نیز در این پهنه مرجانی مشاهده شود. ولی نتایج نشان داد این محدوده از مقدار $\delta^{18}\text{O}$ بالاتری نسبت به دو منطقه دیگر برخوردار است که دلیل آن را می‌توان ناشی از عمق استقرار گونه مرجانی (بیشتر از ۱۰ متر) و کدورت بیشتر آب دانست چرا که در بستر آبهای عمیق با کدورت بالا، دمای آب نیز نسبت به لایه سطحی کاهش پیدا می‌کند. ضمن این که سنجش فصلی (زمستان ۱۴۰۱ و بهار، تابستان و پاییز ۱۴۰۲) پارامتر دمای آب سطحی و عمقی (نزدیک بستر) در محدوده مطالعاتی با استفاده از CTD نیز بیانگر کاهش دمای آب از لایه سطحی به عمق است. مطابق نتایج دستگاه CTD میانگین سالانه دمای آب لایه

نکته قابل توجه کمتر بودن میانگین دمای آب برآورد شده پهنه مرجانی پارس جنوبی نسبت به پهنه‌های مرجانی خلیج نابیند و ساحل بنود است. این در حالی است که این میانگین برای دمای آب ثبت شده توسط ماهواره ESA نسبت به دو پهنه دیگر بالاتر است. دلیل پائینتر بودن دمای آب برآورد شده در پهنه مرجانی پارس جنوبی نسبت به خلیج نابیند و پارک ملی نابیند را می‌توان ناشی از عمق بیشتر آب در این محدوده دانست. ضمن اینکه در این منطقه لایه سطحی آب که توسط ماهواره ESA جهت برآورد دمای آب رصد می‌شود تحت تاثیر تخلیه پساب صنایع پتروشیمی و پالایشگاهی که عمدتاً از دمای بالاتری نیز برخوردار است، قرار دارد.

نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار $\delta^{18}\text{O}$ در پهنه مرجانی پارس جنوبی < خلیج نابیند > ساحل بنود و میانگین دمای آب برآورد شده پهنه مرجانی ساحل بنود < خلیج نابیند > پارس جنوبی است. این در حالی

برابر 29°C ، جنوب خلیج نایبند برابر $29/6^{\circ}\text{C}$ و ساحل بنود برابر $29/7^{\circ}\text{C}$ برآورد گردید. مقایسه مقادیر دمای آب برآورد شده با میانگین دمای آب نزدیک بستر ثبت شده توسط CTD در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ و همچنین دمای آب ثبت شده توسط ماهواره ESA، اختلاف دمای $0/4-0/5^{\circ}\text{C}$ برای ایستگاه پارس جنوبی، $0/5-1/6^{\circ}\text{C}$ برای ایستگاه خلیج نایبند و $1/0-1/2^{\circ}\text{C}$ برای ایستگاه ساحل بنود را نشان می‌دهد که بیانگر صحت و دقت نتایج برآورد شده است

سطحی پهنه‌های مرجانی پارس جنوبی، خلیج نایبند و ساحل بنود به ترتیب $29/4$ ، $30/2$ ، $29/9$ درجه سانتیگراد و در نزدیک بستر $29/5$ ، $30/1$ ، $29/7$ درجه سانتیگراد ثبت گردید که بیانگر بالاتر بودن دمای آب لایه سطحی در پهنه پارس جنوبی در مقایسه با دو پهنه مرجانی دیگر و همسو با نتایج داده‌های ماهواره ESA است. همچنین در پهنه پارس جنوبی دمای آب نزدیک بستر از دو پهنه دیگر کمتر است که همسو با دمای آب برآورد شده بر مبنای مقادیر $\delta^{18}\text{O}$ است. مطابق جدول ۱ بر مبنای مقدار $\delta^{18}\text{O}$ ، دمای آب برآورد شده برای ایستگاه پارس جنوبی در سال ۱۴۰۱



شکل ۴: مقدار برآورد شده دمای آب سطحی و مقایسه آن با مقادیر ثبت شده توسط ماهواره ESA

برآورد شده و دمای ثبت شده ماهواره‌ای الگو تغییرات یکسان مشاهده شد که نشان دهنده صحت و دقت فرایند برآورد دمای آب با استفاده از ایزوتوپ پایدار اکسیژن است. نقش موثر استفاده از ایزوتوپ پایدار $\delta^{18}\text{O}$ جهت بازسازی دمای آب سطحی دریایا و اقیانوس‌ها توسط محققان مختلف [۸]، [۱۹]، [۲۲] مورد تاکید قرار گرفته است. این محققان رابطه معکوس بین $\delta^{18}\text{O}$ و دمای آب سطحی را گزارش کردند به این صورت که هر چه دمای آب بیشتر باشد مقدار $\delta^{18}\text{O}$ نیز کمتر خواهد شد.

از سوی دیگر نتایج نشان داد که از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ در ایستگاه پارس جنوبی، از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۰ در ایستگاه جنوب خلیج نایبند و همچنین از سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۱ در ایستگاه ساحل بنود روند تغییرات دمای آب از روند افزایشی برخوردار است. تغییرات دمای آب با استفاده از داده‌های ماهواره ESA نیز روند افزایشی دمای آب در محدوده مطالعاتی را طی سال‌های ۱۳۹۶ الی ۱۴۰۱ تائید می‌کند. نتایج محققان مختلف [۱۱]، [۱۲]، [۱۳] نیز افزایش دمای آب سطحی در محدوده مطالعاتی و حتی در مقیاس بزرگتر در خلیج فارس را تائید می‌کند. در این مطالعه بین دمای

نرخ فتوسنتز فیتوپلانکتونها و جلبک‌های همزیست آبسنگ‌های مرجانی، مقدار $\delta^{13}\text{C}$ نیز % ۱/۴- کاهش پیدا می‌کند. مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ در اسکلت آبسنگ‌های مرجانی معمولاً تحت تاثیر منابع کربن (اعم از غیر آلی یا آلی) و فعالیت جلبک‌های همزیست قرار دارد. جلبک‌های همزیست مرجانها در فتوسنتز ترجیح می‌دهند که C^{12} را مصرف کنند، که باعث غنی شدن C^{13} در اسکلت و مقادیر مثبت‌تر $\delta^{13}\text{C}$ می‌شود. اما در شرایطی که مرجان‌ها از کربن تنفسی غنی از C^{12} یا کربن آلی محلول یا $\delta^{13}\text{C}$ پایین‌تر استفاده می‌کنند آنوقت $\delta^{13}\text{C}$ به سمت مقادیر منفی‌تر سوق پیدا می‌کند. در این مطالعه مقدار % $\delta^{13}\text{C}$ در آبسنگ‌های مرجانی پارس جنوبی، خلیج نایبند و ساحل بنود به ترتیب برابر ۲/۴-، ۰/۸۵- و ۰/۰۹۷- ثبت گردید. از این رو دلیل کمتر بودن میزان $\delta^{13}\text{C}$ در ایستگاه مرجانی پارس جنوبی در مقایسه با دو ایستگاه دیگر را می‌توان بالا بودن کدورت و عمق آب و کمتر بودن نرخ فتوسنتز جلبک‌های همزیست ذکر نمود. پهنه‌های مرجانی خلیج نایبند و ساحل بنود از عمق کم و ستون آب شفاف برخوردارند و لذا اختلالی در فتوسنتز فیتوپلانکتونها و جلبک‌های همزیست مرجانها در نزدیک بستر دریا ایجا نمی‌شود. از سوی دیگر وجود آلاینده‌های انسانی عامل موثر دیگر در مقدار $\delta^{13}\text{C}$ موجود در آب و آبیان است. هر چقدر یک پهنه آبی از مراکز آلاینده و مصب رودخانه‌ها دورتر باشد مقدار $\delta^{13}\text{C}$ افزایش پیدا می‌کند [۴]. از این رو می‌توان تفاوت در مقدار $\delta^{13}\text{C}$ ایستگاه‌های مطالعاتی به ویژه ساحل بنود را ناشی از میزان فاصله از مراکز آلاینده دانست. مقدار $\delta^{13}\text{C}$ آبسنگ‌های مرجانی محدوده مطالعاتی با گذر زمان از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ در حال کاهش است که این امر خود دلیلی بر روند افزایشی ورود آلاینده‌ها به محیط دریا و همچنین افزایش دمای آب طی یک دهه گذشته است.

همچنین مقدار $\delta^{13}\text{C}$ در ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی در مقایسه با سایر مطالعات مشابه برای گونه *Platygyra sinensis* در جزیره لارک (۰/۰۹- = % $\delta^{13}\text{C}$) [۲]، برای گونه *Acropora palmate* در دریای کارائیب (۱۷/۱- تا ۱۱/۳- = % $\delta^{13}\text{C}$) [۴]، در مرجانهای غرب اقیانوس آرام (۱۹/۸- تا ۱۶/۹- = % $\delta^{13}\text{C}$) [۲۷] و برای گونه *Oculina spp* (۲۰/۸- تا ۱۲/۸- = % $\delta^{13}\text{C}$) [۲۸] نشان از کمتر بودن این مقادیر دارد که علت آن را می‌توان عمق کم محدوده مطالعاتی و نبود رواناب رودخانه‌ای دانست.

در ارتباط با مقادیر $\delta^{13}\text{C}$ آبسنگ‌های مرجانی محدوده مطالعاتی نکته قابل تامل این است که با گذر زمان از سال ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۱ مقدار $\delta^{13}\text{C}$ در آبسنگ‌های مرجانی در حال کاهش است که این امر خود دلیلی بر روند افزایشی ورود آلاینده‌ها به محیط دریا و همچنین افزایش دمای آب طی یک دهه گذشته است. همچنین از مقدار ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}\text{C}$) موجودات آبی همچون آبسنگ‌های مرجانی می‌توان برای تعیین نوع

نرخ رشد گونه نیز از جمله عواملی است که بر میزان $\delta^{18}\text{O}$ موجود در آبسنگ‌های مرجانی موثر است. نرخ رشد آبسنگ‌های مرجانی به شدت تحت تاثیر عمق و دمای آب قرار دارد. نتایج مطالعه [۲۶] جهت بررسی رشد مرجان‌های جزیره توباگو با ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن، کربن و نیتروژن نشان داد که مرجان‌های مناطق کم عمق (۱۰-۲ متر) از رشد سه برابری نسبت به مرجان‌های عمیق (بیش از ۱۴ متر) برخوردارند. لذا انتظار می‌رود در گونه‌های با نرخ رشد بیشتر، مقدار $\delta^{18}\text{O}$ نیز بیشتر باشد. این در حالی است که گونه‌های مرجانی خلیج نایبند و ساحل بنود در عمق کم (کمتر از ۵ متر) و آب با کدورت کمتر مستقر هستند و از نرخ رشد بیشتری نیز برخوردارند ولی مقدار $\delta^{18}\text{O}$ در آنها از منطقه پارس جنوبی کمتر است. لذا نتایج بیانگر تاثیر به مراتب بیشتر دمای آب نسبت به نرخ رشد در میزان ذخیره $\delta^{18}\text{O}$ در آبسنگ‌های مرجانی محدوده مطالعاتی است.

۳. تعیین منبع انتشار عنصر کربن موجود در اسکلت آبسنگ‌های مرجانی

با استفاده از ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}\text{C}$)

مطابق جدول ۱، میانگین مقادیر ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}\text{C}$) در آبسنگ‌های مرجانی پهنه‌های مرجانی پارس جنوبی، خلیج نایبند و ساحل بنود به ترتیب برابر % ۲/۴-، % ۰/۸۵- و % ۰/۰۹۷- است. مقدار $\delta^{13}\text{C}$ در آبسنگ‌های مرجانی تحت تاثیر کیفیت آب، دمای آب و عمق آب قرار دارد. هر چقدر آب از کیفیت پائینتر و دمای بالاتری برخوردار باشد مقدار ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}\text{C}$) نیز کمتر شده و به سمت مقادیر منفی سوق پیدا می‌کند. ضمن اینکه در آبسنگ‌های مرجانی به ازای هر ۵ متر افزایش عمق آب، ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}\text{C}$) به میزان % ۱/۴- کاهش می‌یابد که این اتفاق به دلیل کاهش نفوذ نور خورشید و کاهش نرخ فتوسنتز جلبک‌های همزیست آبسنگ‌های مرجانی است [۳]. از این رو دلیل کمتر بودن میزان ایزوتوپ پایدار کربن ($\delta^{13}\text{C}$) در منطقه پارس جنوبی در مقایسه با دو منطقه دیگر را می‌توان بالا بودن کدورت و عمق آب دانست. محققان متعددی تغییرات $\delta^{13}\text{C}$ آبسنگ‌های مرجانی را بررسی کردند و معتقد بودند که تغییرات $\delta^{13}\text{C}$ در این گونه آبی تحت تاثیر ورود آبهای اقیانوس‌های آزاد به آبهای ساحلی محلی، کدورت، دما و عمق آب، سرعت رشد گونه، عادت تغذیه‌ای گونه، تغییرات pH آب، میزان تبخیر، جابجائی عمودی توده آب و نرخ فتوسنتز جلبک‌های همزیست مرجانها متغیر است [۳-۲۷]. از سوی دیگر هر چقدر آب از کیفیت پائین‌تر و دمای بالاتری برخوردار باشد مقدار $\delta^{13}\text{C}$ نیز کاهش پیدا می‌کند. نتایج گزارش شده از سوی محققان مختلف [۳-۴] نشان داد که با افزایش هر ۵ متر عمق در آبهای با کدورت متوسط به بالا به دلیل کاهش نفوذ نور خورشید و کاهش

و حتی در منطقه خلیج فارس محدود است. بنابراین، در آینده به سری‌های زمانی طولانی‌تر از مرجان‌ها و اندازه‌گیری‌های SST از اکوسیستم آبی نیاز است.

از سوی دیگر طبق تقسیم‌بندی منابع آلاینده ایزوتوپ کربن توسط هانت (۱۹۹۶)، سطوح پائین $\delta^{13}C$ در اسکلت آبنسنگ‌های مرجانی و سایر آبریان نشان دهنده این است که این گونه‌ها و اکوسیستم دریایی بیشتر در معرض منابع کربن موجود در خشکی قرار گرفته است. مطابق این تقسیم‌بندی (شکل ۵) عنصر کربن موجود در آبنسنگ‌های مرجانی محدوده مطالعاتی منشاء طبیعی و اقیانوسی داشته و پهنه‌های مرجانی محدوده مطالعاتی از نظر عنصر کربن متحمل آلودگی از منابع خشکی نشده‌اند.

مشارکت نویسندگان

کلیه مراحل نگارش مقاله از ابتدا تا پایان توسط نویسندگان صورت گرفته است و در نگارش این مقاله نویسندگان سهم یکسانی داشته‌اند.

تشکر و قدردانی (اختیاری)

نگارش حاضر بخشی از رساله دکتری نویسنده اول و همچنین طرح پژوهشی شماره ۲۳۴/ص/۱۴۰۱ مورخ ۱۴۰۱/۵/۳۰ تحت عنوان «بررسی تغییرات محیطی و ارزیابی ریسک زیستگاهی در محدوده ساحلی - دریایی منطقه پارس جنوبی» می‌باشد که بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی از دفتر حفاظت زیست‌بوم‌ها و سواحل دریایی معاونت محیط‌زیست دریایی و تالابها سازمان حفاظت محیط‌زیست، واحد HSE سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس و همچنین دانشگاه تربیت مدرس بابت حمایت و فراهم نمودن زمینه این پژوهش کاربردی، ابراز می‌گردد. همچنین از آقایان دکتر بنیاد احمدی، مهندس نبی‌الله خیرآبادی، مهندس پوریا سپهوند و آقای مهرداد بهرامپور (کلوپ غواصی اسکوبا) بابت همراهی و مشارکت در کار میدانی و گردآوری داده‌ها و آقایان دکتر مهدی تنه‌زیرتی و دکتر احمد ترسلی بابت تسهیلات و هماهنگی‌های اداری و سازمانی تشکر و قدردانی می‌گردد.

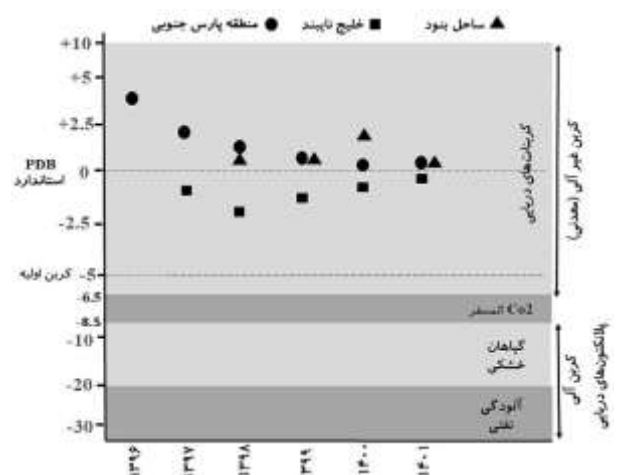
تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

اختصارات (اختیاری)

کلمات اختصاری این مقاله شامل موارد زیر است:

منشاء عنصر کربن ورودی به محیط دریا نیز استفاده نمود. در شکل ۵ با استفاده از پراکنش مقدار $\delta^{13}C$ در اسکلت آبنسنگ‌های مرجانی بر مبنای تقسیم‌بندی Hunt [۲۵]، منشاء عنصر کربن ورودی به آبهای ساحلی محدوده مطالعاتی مشخص شده است. مطابق این شکل عنصر کربن ورودی به آبهای ساحلی و آبنسنگ‌های مرجانی محدوده مطالعاتی عمدتاً از نوع کربن غیر آلی موجود در کربنات‌های دریایی است و از منشاء اقیانوسی برخوردار است. این نتایج بیانگر عدم ورود عنصر کربن از منابع خشکی است.



شکل ۵: تعیین منشاء ورود عنصر کربن به اسکلت آبنسنگ‌های مرجانی محدوده مطالعاتی

[۲۵]

نتیجه‌گیری

آبنسنگ‌های مرجان بایگانی قدرتمندی از شرایط اقلیمی گذشته در اکوسیستم دریایی به شمار می‌روند و اسکلت آنها حاوی مجموعه‌ای از ردیاب‌ها از قبیل ایزوتوپ‌های پایدار $\delta^{18}O$ ، $\delta^{13}C$ ، $\delta^{15}N$ ، Sr/Ca است [۲]. در این مطالعه بازسازی دمای سطح دریا (SST) بعنوان یک پارامتر فیزیکی‌شیمیایی مهم در اکوسیستم ساحلی - دریایی پارک ملی دریایی نایبند با استفاده از مقادیر ایزوتوپ پایدار اکسیژن ($\delta^{18}O$) در اسکلت کربناتی مرجانهای خانواده Faviidae مورد توجه قرار گرفت. نتایج نشان داد مطابقت زیادی بین دمای آب برآورد شده و داده‌های دمای آب ماهواره ESA و نتایج ثبت شده توسط دستگاه CTD در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۲ وجود دارد که این امر نشان دهنده صحت و دقت بالای استفاده از $\delta^{18}O$ در بازسازی دمای آب دریا است. این مطالعه نشان داد از گونه‌های *Favia pallida* و *Favia speciosa* می‌توان بعنوان یک شاخص در سنجش تغییرات بلند مدت دمای آب ناشی از ایزوتوپ $\delta^{18}O$ در خلیج فارس و یا سایر پهنه‌های آبی استفاده نمود. با این حال، توجه به این نکته ضروری است که به دلیل طول نسبتاً کوتاه سری زمانی به‌دست‌آمده (دوره زمانی ۶ ساله)، ارتباط یافته‌های ما برای بازسازی SST در پارک ملی دریایی نایبند

428.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031018205005912?via%3Dihub>.
- [9] Mousavi S H, Shokri M R, Poorbagher H, Danehkar A. The Study of Relationship between Environmental Parameters and Coral Reefs Distribution: A Case Study at Kish Island. *Journal of Oceanography*. 2014; 5 (17): 91-99. <http://joc.inio.ac.ir/article-1-525-fa.html>.
- [10] Bolouki M, Savari A, Nabavi M B, Rounagh M T, Daneshmand A. Comparison of Symbiotic Algae Densities in Coral. *Journal of Oceanography*. 2013; 4 (13) :45-51. URL: <http://joc.inio.ac.ir/article-1-331-fa.html>.
- [11] Gholamalifard M, Ahmadi B, Nouri P, Ranjrouzi F, Mazlomi S, Saber A. [Remote Sensing Monitoring of Sea Surface Temperature and Chlorophyll-a Variability in the Persian Gulf and Oman Sea: Influential Factors on Net Primary Production]. *Journal of Fisheries Science and Technology (JFST)*. 2020; 9(4): 305-333. <https://sid.ir/paper/374959/en> (Persian).
- [12] Rabbaniaha M, Aein Jamshid K, Niamyandi N, [Survey on chlorophyll-a changes in Persian Gulf and the Gulf of Oman]. *Iranian Scientific Fisheries Journal (ISFJ)*. 2022; 31 (2): 13-25. <http://isfj.ir/article-1-2587-fa.html> (Persian).
- [13] Mirghidari Sayedeh T, Raigani B, Badagh Jamali J. [Remote sensing index for coastal water quality assessment using satellite data time series]. *Journal of Applied Research in Geographic Sciences (ARGS)*. 2022; 23 (65): 207-226. https://jgs.khu.ac.ir/browse.php?a_id=3218&sid=1&slc_lang=en (Persian).
- [14] Flannery J.A, Richey J.N, Toth L.T, Kuffner I.B, Poore R.Z. [Quantifying uncertainty in Sr/Ca-based estimates of SST from the coral *Orbicella faveolata*]. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 2018; 33, 958-973. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018PA003389>.
- [15] Barnes D.J, Lough J.M, Tobin B.J. [Density measurements and the interpretation of X-radiographic images of slices of skeleton from the colonial hard coral *Porites*]. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol*, 1989; 131 (1): 45-60. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(89\)90010-5](https://doi.org/10.1016/0022-0981(89)90010-5).
- [16] Mousavi S.H, Gholamalifard M, Ghasempouri S.M. [Biomonitoring potential of trace metal accumulation and bioavailability in coral skeletons and reef sediments of Persian Gulf: A comparative study]. *Ecotoxicol. Environ. Saf*. 2025; 290: 117786. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651325001228>.
- [17] Mousavi S.H, *Spatial modelling of biodiversity, quality and risk assessment of terrestrial and coastal-marine habitats around South Pars Region, Persian Gulf* [dissertation]. Tarbiat Modares University, 2025.
- [18] Faure G. Principles of Isotopic Geology. John Wiley and Sons,

SST	Sea Surface Temperature
CTD	Conductivity, Temperature, and Depth
DDW	Distilled Deionized Water
IRMS	Isotope Ratio Mass Spectrometer
VPDB	Vienna Pee Dee Belemnite
IAEA	International Atomic Energy Agency
IRM	Isotopic Reference Materials
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry
ESA	European Space Agency
IRM	Isotopic Reference Materials
IAP	Internal Analytical Precision

منابع

- [1] Davar L, Danehkar A, Salmanmahini A, Azarnivand H, Naimi B, Griggs G. [Coastal Exposure to Sea-Level Rise under Climate Change Scenarios a Case Study: Southern Coast of Iran along the Sea of Oman]. *Journal of Natural Environment*. 2021; 74 (1): 55-68. https://jne.ut.ac.ir/article_81891.html. (Persian).
- [2] Forouzan F, Ghazban F, Ardestani M. [Sea Surface Temperature and Salinity Reconstruction from Geochemical Tracers of a Massive Coral in the Persian Gulf]. *Int. J. Environ. Res*. 2014; 8(4): 1135-1144. https://ijer.ut.ac.ir/article_807.html.
- [3] Linsley BK, Dunbar RB, Dassié EP. [Coral carbon isotope sensitivity to growth rate and water depth with paleo-sea level implications]. *Nat. Commun*; 2019; 10 (1): 2056. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31253796/>.
- [4] Bayless A.L, Christopher S.J, Day R.D, Ness J.M, Bryan C.E, Toline C.A, Woodley C.M. [Trace element proxies and stable isotopes used to identify water quality threats to Elkhorn coral (*Acropora palmata*) at two national parks in St. Croix, USVI]. *Mar. Pollut. Bull.* 2021; 169, 112575. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34119965/>
- [5] Prada F, Yam R, Levy O, Caroselli E, Falini G, Dubinsky Z, Goffredo ., Shemesh A. [Kinetic and Metabolic Isotope Effects in Zooxanthellate and Non-zooxanthellate Mediterranean Corals A long a Wide Latitudinal Gradient]. *Front. Mar. Sci*, 2019; 6; 1-20. <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2019.00522/full>.
- [6] Kochakzaei A, Yazdan Bakhsh S, Mohammadi M. [Review of sclerochronological studies of seashells to regenerate climatic conditions: Growth pattern and measurement of stable oxygen isotope ratios]. *Quaternary journal of Iran*, 2022; 7(26): 1024-1052. https://www.iranquaternary.ir/article_702443.html (Persian).
- [7] Brand W. A, Coplen T. B, Vogl J, Rosner M, Prohaska T. [Assessment of international reference materials for isotope-ratio analysis (IUPAC Technical Report)]. *Pure Appl. Chem*. 2014; 86(3), 425-467. <https://pubs.usgs.gov/publication/70095725>.
- [8] Corrège T. [Sea surface temperature and salinity reconstruction from coral geochemical tracers]. *Palaeogeography and Paleoclimatology*, 2006; 232(2-4), 408-

- organic carbon-13 isotope data set]. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 2021; 13, 4861–4880. <https://essd.copernicus.org/articles/13/4861/2021/>.
- [24] Juris M, Coplen T.B, Berglund M, Brand W.A, De Bièvre P, Gröning M, Holden N.E. [Isotopic compositions of the elements 2013 (IUPAC Technical Report)]. *Pure Appl. Chem.* 2016; 88 (3): 293–306. <https://pubs.usgs.gov/publication/70178124>.
- [25] Hunt, J. M. *Petroleum Geochemistry and Geology*, 2nd Edition, Freeman, W.H. and Co., New York; 1996. <https://www.semanticscholar.org/paper/J.-M.-Hunt-1995.-Petroleum-Geochemistry-and-Geology-Lonergan/b4a4dc78082de3dfe72d9025f289b28b23a62>.
- [26] Moses C, Swart P.K. Stable isotope and growth records in corals from the island of Tobago: Not simply a record of the Orinoco. Proceedings of 10th International Coral Reef Symposium; 2006 June 28-July 2, Okinawa, Japan. <https://www.researchgate.net/publication/242741860>.
- [27] Williams B, Grottoli A.G. [Stable nitrogen and carbon isotope ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) variability in shallow tropical Pacific soft coral and black coral taxa and implications for paleoceanographic reconstructions]. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 2010; 74(18), 5280-5288. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010GeCoA..74.5280W/astract>.
- [28] Muscatine L, Goiran C, Land L, Jaubert J, Cuif J.P, Allemand D. [Stable isotopes (C^{13} and N^{15}) of organic matrix from coral skeleton]. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2005; 102 (5): 1525-1530. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0408921102>.
- New York; 1986. <https://all4pdfs.com/download/4968440-principles-of-isotope-geology-2nd-edition>.
- [19] Sakata S, Inoue M, Tanaka Y, Nakamura T, Sakai K, Ikehara M, Suzuki A. [Assessment of chemical compositions in coral skeletons (*Acropora digitifera* and *Porites australiensis*) as temperature proxies]. *Front. Mar. Sci.* 2024; 11, 1329924. <https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2024.1329924/full>.
- [20] Kim S.T, Coplen T.B, Horita J. [Normalization of stable isotope data for carbonate minerals: Implementation of IUPAC guidelines]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 2015; 158, 276-289. <https://pubs.usgs.gov/publication/70155846>.
- [21] Boiseau M, Juillet-Leclerc A, Yiou P, Salvat B, Isdale P, Guillaume M. [Atmospheric and oceanic evidences of El Niño-Southern Oscillation events in the south central Pacific Ocean from coral stable isotopic records over the last 137 years]. *Palaeogeography and Paleoclimatology*, 1998; 13 (6): 671-685. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/98PA02502>.
- [22] Rashid R, Eisenhauer A, Liebetrau V, Fietzke J, Böhm F, Wall M, Krause S, Rüggeberg A, Jurikova H, Samankassou E, Lazar B. [Early Diagenetic Imprint on Temperature Proxies in Holocene Corals: A Case Study from French Polynesia]. *Front. Earth Sci. China.* 2020; 8: 301. <https://www.frontiersin.org/journals/earth-science/articles/10.3389/feart.2020.00301/full>.
- [23] Verwega M.T, Somes C.J, Schartau M, Tuerena R.E, Lorrain A, Oschlies A, Slawig T. [Description of a global marine particulate

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Mousavi, S.H., PhD, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

✉ mousaviseyedhassan@modares.ac.ir

 0009-0008-0224-7054

Gholamalifard, M., Associate Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, 46417-76489, Noor, Mazandaran, Iran

✉ m.gholamalifard@modares.ac.ir

 0000-0001-9172-9507

Ghasempouri, S.M., Associate Professor, Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, 46417-76489, Noor, Mazandaran, Iran

✉ ghasempm@modares.ac.ir

 0000-0003-1129-4406

این قسمت توسط نشریه تکمیل می‌گردد.



HOW TO CITE THIS ARTICLE

 <http://doi.org/10.52547/joc.16.64.1>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1883-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0001-9172-9507>



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.