

Research Paper

Numerical Modeling of the Thermodynamic Effects of Sea Waters on the Corrosion in Coastal and Offshore Structures in the South of Iran

Saber. Piroti^{1*},Kamal.Rahmani²,Saeed. Mollaesmaeilpour³¹Department of Civil Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.²Department of Civil Engineering, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.³Ph.D., Department of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnique), Tehran, Iran.

10.22125/IWE.2023.405562.1732

Received:
June 21, 2023
Accepted:
October 10, 2023
Available online
**December 30,
2023**

Keywords:
Sea surface
temperature
(SST), Sea
surface salinity
(SSS),
Thermodynamic
properties of sea
water, Marine
structures

Abstract

There are numerous petroleum reservoirs around of Iran's seas. Marine structures are exposed to corrosion and destruction due to being in the marine environment due to their being concrete or metal. Therefore, in the construction of a marine structure, it is necessary to study the different conditions of the sea as well as the different depths of the water at the construction site of the structure. However, several factors affect the corrosion of a marine structure. Investigating each of the factors involved in the corrosion of a structure in the environmental conditions of sea water is very difficult and complex, and each of the researches that have been carried out on the corrosion of these structures, often on one type of corrosion and also on one or more metals and or alloy is done. In this research, the monthly changes of sea surface temperature and sea surface, as two important properties of sea water, have been studied using the MITgcm model, which is a three-dimensional and non-linear model, with the most accurate bathymetric data and with a spatial accuracy of 2 minutes. For this purpose, the data of temperature, salinity, evaporation rate minus precipitation, wind, net heat flux with a time accuracy of one month and a spatial accuracy of one degree were introduced to the model as initial data. The results of the last year of modeling show that the highest values of sea surface salinity (SSS) at the value of 37.3 PSU and sea surface temperature (SST) at the value of 32.2 degrees Celsius occur in the summer season near the southern coast of Iran. On the other hand, the intensity of winds in the Arabian Sea is higher in the summer season than in other seasons of the year, and the intensity of the surface currents is also higher.

1. Introduction

The presence of abundant sources of oil and gas and protein substances in the waters around the country on the one hand and the presence of hundreds of kilometers of water borders in the north and south on the other hand make it necessary to build various marine structures. In the meantime, knowledge of the prevailing environmental conditions is essential. The waters of the seas around the world have

* **Corresponding Author:** S. Piroti

Address: Department of Civil Engineering,
Mahabad Branch, Islamic Azad University,
Mahabad, Iran

Email: s.piroti@iau-mahabad.ac.ir
Tel: +989143422979

similarities and differences, which should be clearly studied before the construction of any structure designed for hundreds of years.

Corrosion of steel in concrete is one of the major problems in different countries of the world. Even in developed countries such as U.S., Canada, Japan and some European countries, this issue has resulted in high costs for their repair. Studies show that today the corrosion of rebars in concrete, in the southern regions of Iran, is one of the most common failures of reinforced concrete structures in coastal and marine areas. Also, this is one of the most important problems that civil engineers face today in the maintenance of reinforced concrete structures.

2. Materials and Methods

First, the studied area was extracted from the geographical longitude of 56 to 74 degrees east and from the geographical latitude of 18 to 25 degrees north from the GEBCO database with an accuracy of 30 seconds. Then the area under study was converted to an accuracy of 2 minutes. This area is discretized by means of a quadrilateral computational grid consisting of 510*210 cells. In other words, the length of the studied area is 1889 kilometers along the geographical longitude and 778 kilometers along the geographical latitude (Figure 1).

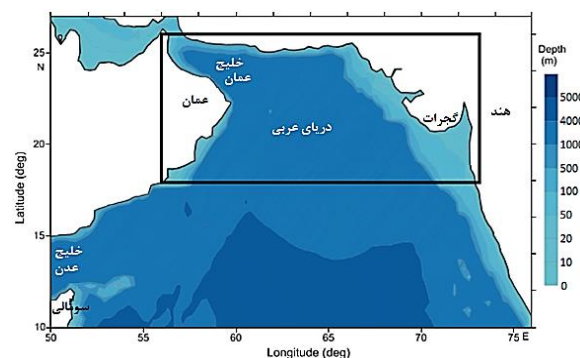


Fig. 1. Bathymetry of the modeled area in the North Arabian Sea, which is marked with a black rectangle in the figure.

Also, the ocean is divided into 20 layers in the vertical direction (z-axis) and the deepest point of the ocean in the studied area is about 3800 meters.

3. Results

In this research, sea surface thermodynamic variables such as sea surface temperature (SST) and sea surface salinity (SSS) in the North Arabian Sea have been simulated using the MITgcm model with high resolution and with an accuracy of 2 minutes.

The results show that in almost all months of the year in the northern and northwestern areas of the Arabian Sea, especially in the southern coasts of Iran and Pakistan, as well as near the Strait of Hormuz, the salinity of the water surface has maximum values compared to other areas.

In Figure (2), the direction of the wind speed vectors at a height of 10 meters above the sea level in the Arabian Sea for 2016 is drawn. Based on this figure and in the studied area, the average wind speed in spring is about 1 meter per second, in summer 6 meters per second, in autumn 2 meters per second and in winter 3 meters per second.

While the monsoon winds are stronger in the summer, the surface currents in the summer season are stronger than in other seasons due to the monsoon winds.

It should be noted that 2016 was chosen as a typical year, because according to the report of the World Meteorological Organization and the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOA), 2016 was the year since the beginning of modern records in 1880. Therefore, in this part, the variables of sea surface temperature (SST) and sea surface salinity (SSS) are investigated in the conditions of climate change in all months of the year.

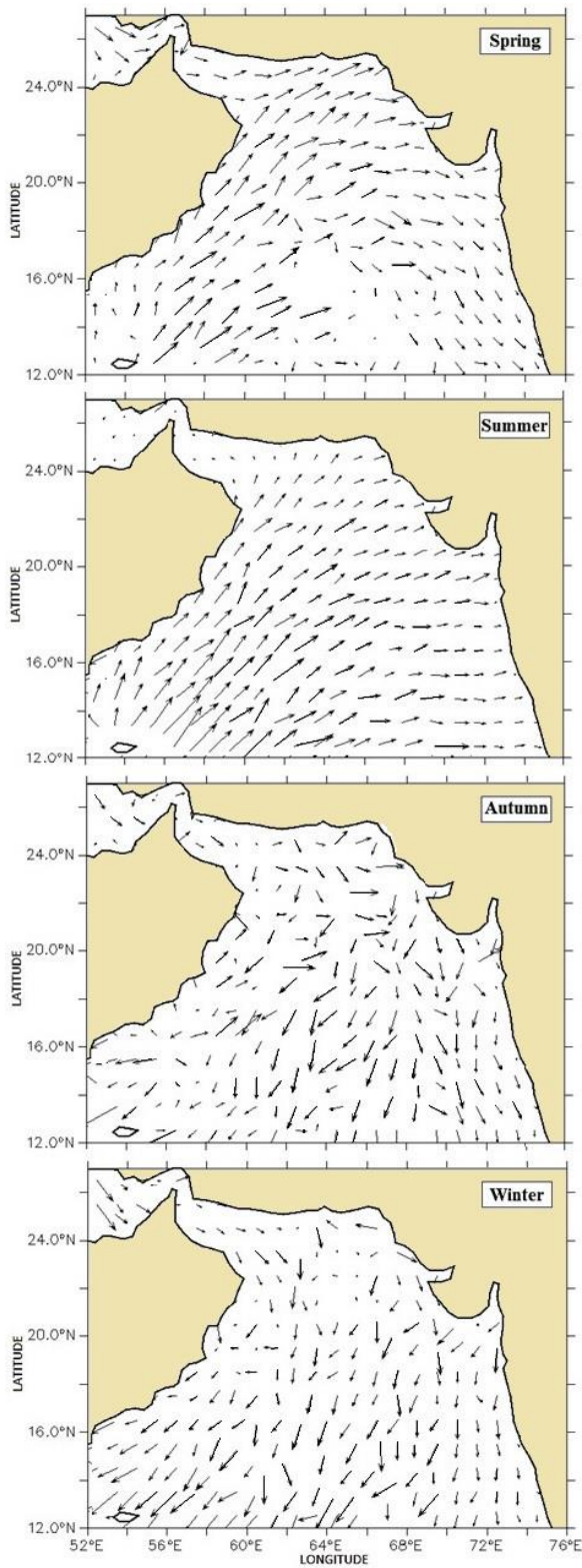


Fig. 2. Average wind speed at sea level (m/s) in Arabian Sea in 2016 based on NOAA database

4. Discussion and Conclusion

The results of the model and the analysis of the physical properties of water show that the reinforced concrete structures built on the southern coast of Iran, besides being affected by the factors of high temperature changes and the northwest winds of the Persian Gulf. On the other hand, they are also sensitive to the salinity factor and the ion content, so the necessary arrangements for each situation, whether temperature or salinity, should be considered in these structures.

The accuracy of the salinity charts and the results of the model show that the closer we get from the north of the Persian Gulf to the south of the coasts of Arab countries, the waters become saltier, which is due to the decrease in water depth and the presence of salt domes.

5. Six important references

- 1) Mollaesmaeilpour, S. and Khalilabadi, R. 2022. Physics and dynamics of Indian Ocean waters, Imam Khomeini Naval University of Noshahr Press, Noshahr, Iran (In Persian).
- 2) Marshall, J., Hill, C., Perelman, L. and Adcroft, A. 1997. Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling, *Journal Geophysical Res.*, 102(3), pp. 5733-5752.
- 3) Nozari, H., Armaghani, A., Rahmani, K. and Piroti, S. 2023. Investigation of the corrosion of particular bars in reinforced concrete structures, *Sharif Journal of Science and technology*, (Articles in Press). (In Persian).
- 4) Piroti, S., Najarchi, M., Hezavehi, E., Najafizadeh, M.M. and Mirhosseini, S.M. 2020. The experimental assessment of the effect of polypropylene fibers on improvement of Nano-silica concrete behavior, *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 27(2), pp. 682-692.
- 5) Rahmani, K., Ghaemian, M. and Hosseini, S.A. 2019. Experimental study of the effect of water to cement ratio on mechanical properties and durability of Nano-silica concretes with polypropylene fibers, *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 26(5), pp. 2712-2722.
- 6) Schott, F.A. and McCreary J.R., J.P. 2001. The monsoon circulation of the Indian Ocean, *Progress in Oceanography*, 51(1), pp. 1-123.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



مدل سازی عددی اثرات ترمودینامیکی آب دریا بر خوردگی سازه های ساحلی و فراساحلی جنوب ایران

صابر پیروتی^۱، کمال رحمانی^۲، سعید ملاسماعیل پور^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۸

مقاله پژوهشی

چکیده

در این پژوهش تغییرات ماهانه دما و شوری سطح دریا به عنوان دو خاصیت مهم آب دریا، با استفاده از مدل MITgcm که یک مدل سه بعدی و غیرخطی است، با دقیق ترین اطلاعات عمق سنجی و با دقت مکانی ۲ دقیقه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. به این منظور داده های دما، شوری، نرخ تبخیر منهای بارندگی، باد، شار گرمای خالص با دقت زمانی یک ماهه و دقت مکانی یک درجه به عنوان داده های اولیه به مدل معرفی گردید. نتایج سال آخر مدل سازی نشان می دهند که بیشترین مقادیر شوری سطح دریا به مقدار ۳۷/۳ PSU و نیز دمای سطح دریا به مقدار ۳۲/۲ درجه سانتی گراد در فصل تابستان و در نزدیکی سواحل جنوبی ایران رخ می دهد. از طرفی شدت بادها در دریای عربی در فصل تابستان نسبت به فصول دیگر سال بیشتر بوده و شدت جریانات سطحی نیز بیشتر است.

واژه های کلیدی: دمای سطح دریا، شوری سطح دریا، خواص ترمودینامیکی آب دریا، سازه های دریایی

^۱ گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران، s.piroti@iau-mahabad.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۲ گروه مهندسی عمران، واحد مهاباد، دانشگاه آزاد اسلامی، مهاباد، ایران، k.rahmani@iau-mahabad.ac.ir

^۳ گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران، ایران، saeidesmaeilpour@gmail.com

مقدمه

ساحل برسند و آن را فرسایش دهند و در نتیجه خطوط ساحلی در معرض غرق شدن قرار گرفته و در نهایت سازه ساحلی ساخته شده در نواحی مربوطه را در معرض آسیب قرار می‌دهد. در مناطقی که بالا آمدن سطح آب دریا هم‌زمان با تغییرات اقلیمی روی داده است، مقدار فرسایش ساحلی نیز افزایش یافته است (Bird, 2016). خوردگی فولاد در بتن در محیط‌های خشن بخصوص در محیط‌های ساحلی و گرمسیری با افزایش دما و نمک بالا سرعت تخریب سازه‌ها را افزایش می‌دهد. محققان زیادی با بررسی‌های دراز مدت بر روی دوام سازه‌های بتنی در محیط دریایی دریافته‌اند که در آب و هوای گرم، خوردگی الکتروشیمیایی میلگردهای فولادی در بتن به‌طور جدی اتفاق می‌افتد. در مناطق گرم و خشک، سازه‌های دریایی به‌طور مستقیم در معرض آب دریا قرار دارند و به‌طور مرتب تر و خشک می‌شوند که این منجر به ترک خوردن بتن و اقدام هم‌زمان چندین فرآیند فیزیکی و شیمیایی می‌شود (شکل ۱).



شکل (۱): خرابی یک سازه بتنی تحت تأثیر عوامل فیزیکی و شیمیایی

زمانی که در طول ساحل یک سازه دریایی ساخته می‌شود، باید اثرات دینامیکی امواج و محیط ساحلی در طراحی آن پیش‌بینی شود. بنابراین یکی از موارد مهمی که در آنالیز و تحلیل هر سازه دریایی باید مورد توجه و بررسی قرار می‌گیرد، در نظر گرفتن شرایط محیطی دریا نظیر امواج، جریان‌های دریایی، باد و سایر نیروهای اعمالی وارد بر آن است و این عوامل نیز متأثر از تغییرات و شرایط آب و هوایی

وجود منابع سرشار نفت و گاز و مواد پروتئینی در آب‌های اطراف کشور از یک طرف و وجود صدها کیلومتر مرز آبی در شمال و جنوب از طرف دیگر لزوم احداث سازه‌های مختلف دریایی را ضروری می‌سازد که در این میان اطلاع و آگاهی از شرایط محیطی حاکم بر آن آب‌ها امری ضروری است. آب دریاها سراسر جهان شباهت‌ها و تفاوت‌هایی با هم دارند که باید قبل از ساخت هر سازه طراحی شده برای صدها سال، به وضوح مطالعه و بررسی شده باشد. دمای سطحی آب دریا (SST)^۱ از کم‌ترین مقدار ۲- درجه سانتی‌گراد (نقطه یخ‌زدگی آب دریا) در مناطق سرد تا بالاترین مقدار حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد در مناطق گرمسیر تغییر می‌کند (Mollaesmaeilpour et al. 2019). علاوه بر تأثیر بر روی رشد مواد آلی دریایی، دمای آب دریا تعیین‌کننده میزان سرعت واکنش‌های شیمیایی و الکتروشیمیایی در بتن می‌باشد. قانون عمومی حاکم بر رابطه متقابل گرما و میزان واکنش‌های شیمیایی بیان می‌دارد که به ازای افزایش دما به مقدار ۱۰ درجه سانتی‌گراد میزان واکنش‌های شیمیایی دو برابر می‌گردد. فشارهای هیدروستاتیکی و تغییرات بالای دما که اغلب در نواحی ساحلی و محلی سازه‌های دریایی وجود دارند، قادر به سرعت بخشیدن به تخریب مصالح سازه‌ای می‌باشند. سطح آب دریا در ارتباط با دما، فشار و رژیم باد به‌طور فصلی تغییر می‌کند. حتی در غیاب باد سطح اقیانوس یکی دو درجه گرم‌تر از هوای بالای آن است (Knauss and Garfield, 2016). افزایش دمای هوا موجب گرم شدن و انبساط اقیانوس‌ها شده، در نتیجه آن سطح دریا بالا می‌آید. در حالی که اگر اقیانوس سرد شود، منقبض شده و سطح دریا پایین می‌رود. همچنین با افزایش شوری، حجم آب کاهش می‌یابد و برعکس. از طرف دیگر، تغییر چگالی آب در نتیجه شوری، دما و فشار هوا موجب تغییر حجم آن می‌شود. این فرآیندها به تغییرات استریکی^۲ مشهورند. اگر متوسط دمای آب اقیانوس یک درجه سانتی‌گراد افزایش یابد، حجم آن به اندازه‌ای زیاد می‌شود که می‌تواند سطح آب را تا ۲ متر بالا ببرد. بالا آمدن سطح آب دریا سبب عمیق‌تر شدن آب‌های کرانه نزدیک شده و موجب می‌شود تا امواج بزرگ‌تری به

² Steric

¹ Sea Surface Salinity



هستند که معمولاً برای بالا بردن اطمینان برای طراحی‌ها مقدار ضریب دراگ ۱/۵ فرض می‌شود (Seif, 1997).

اندازه گیری دمای سطح آب دریا (SST)

یک روش ویژه جهت اندازه گیری دمای سطح آب دریا، استفاده از قانون استفان است که بر این اساس، میزان تابش گرما از سطح دریا یا هر جسم دیگر، متناسب با توان چهارم دمای مطلق جسم است که به صورت $\delta = K.T^4$ بیان می‌گردد که در اینجا K ثابت استفان بوده و برابر مقدار ثابت $1.38 \times 10^{-23} \text{ j}/^\circ\text{K}$ است. تابش برگشتی از سطح آب دریا (SST) توسط یک تشعشع سنج اندازه‌گیری می‌شود که در آن از یک ترمیستور استفاده شده است. مقاومت الکتریکی ترمیستور، براساس میزان حرارتی که از سطح دریا به آن می‌تابد کار می‌کند، سپس با محاسبه تابش بازگشتی از سطح دریا، براساس قانون استفان، دمای سطح آب دریا برحسب درجهٔ کلوین محاسبه می‌گردد. با وجود این، امروزه ماهواره‌های پیشرفته و خاص این کار، دمای سطح آب دریا (SST) را با دقت زیادی اندازه گیری می‌کنند.

اندازه گیری شوری سطح آب دریا (SSS)

شوری آب دریا عبارتست از، مقدار کل مواد جامد بر حسب گرم در یک کیلوگرم از آب دریا که تمامی کربنات‌های موجود در آن به اکسید مبدل گشته و برم و ید توسط کلر جایگزین شده و همهٔ مواد آلی مورد اکسید شدن قرار گرفته باشند. مهم‌ترین آنیون تشکیل دهندهٔ آب دریا، آنیون کلر است که ۵۵/۲٪ نمک آب دریا را تشکیل می‌دهد. واحدهای شوری آب دریا، گرم بر کیلوگرم، جزء در هزار (۰/۰۰) و یا واحد عملی شوری (PSU) است.

لازم به ذکر است که داده‌های دما و شوری سطح دریا در اینجا از مرکز نوا (NOAA) استخراج شده‌اند و سپس به دقت ۲ دقیقه تبدیل شده و به مدل اعمال شده‌اند (Hu et al, 2022). البته باید اذعان داشت، علاوه بر اینکه داده‌های ماهواره‌ای مکمل خوبی برای اندازه‌گیری‌ها در سطح منطقه می‌باشند. اما ضرورت اندازه‌گیری‌های بیشتر و نیز تحقیقات

ناحیهٔ مورد مطالعه می‌باشند. از طرفی، شوری آب باعث خوردگی سازه‌های ساحلی و فراساحلی می‌گردد. به عبارتی، در نواحی که شوری سطح آب دریا (SSS) بالاست، سازه‌های دریایی بیشتر در معرض خوردگی قرار می‌گیرد.

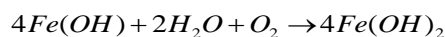
از مشخصات اصلی دریای عربی شمالی که در جنوب ایران واقع است، وجود بادهای مونسون شمال‌شرقی در زمستان و بادهای مونسون جنوب‌غربی در تابستان می‌باشد (Mollaesmaeilpour et al. 2019). جهت این بادهای دو بار در سال وارون می‌گردد. اگرچه در سایر اقیانوس‌های جهانی بادهای مونسون می‌وزند، اما هیچ کدام از آنها، مشخصات بادهای مونسون دریای عربی را ندارند. توفان‌ها و بادهای شدید ساحلی می‌توانند امواج بزرگی را ایجاد کرده و سازه‌های بسیار محکم را دچار شکست می‌کنند. قطع نظر از اینکه امواج تولید شده در اثر باد در چه عمقی از آب به‌وجود آمده باشند، بزرگ‌ترین موجی که می‌تواند به سازه برسد، اصولاً به عمق آب جلوی سازه بستگی دارد. بنابراین، هرچه سازه‌ها بیشتر به طرف داخل دریا گسترش یابند، بیشتر در معرض امواج بزرگ‌تر و مخرب‌تر قرار خواهند گرفت (Sorensen, 2006). اگر بادهای ساحلی به مدت چند ساعت یا چند روز در ساحل حاکمیت داشته باشند، موجب تقویت آب‌های ساحلی شده و سطح آن را بالا می‌آورند. اگر این فرآیند هم‌زمان با وقوع بالاترین جزر و مد مطلق باشند، اثر آن بسیار قابل توجه خواهد بود (Mollaesmaeilpour et al. 2019). به‌طور تقریبی ۱۵ درصد نیروهای وارد بر یک سازهٔ دریایی بر اثر باد است. اهمیت این نیرو در آب‌های عمیق به‌خاطر به‌وجود آوردن ممان برگردانندهٔ بسیار بزرگ بیشتر خواهد بود. نیروی باد در قسمت فوقانی سازه‌ها تأثیر می‌کند. معادلهٔ کلی برای محاسبهٔ نیروی باد بر روی یک المان به صورت زیر است:

$$F = \frac{1}{2} \rho_a U_n^2 S C_D \quad (1)$$

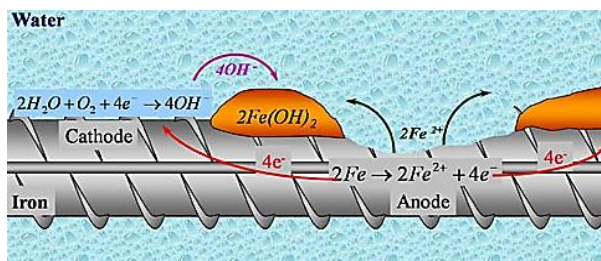
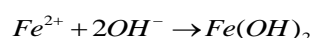
که در اینجا U_n سرعت جریان باد، $\rho_a \approx 1.22 \text{ kg.m}^{-3}$ جرم حجمی هوا، S مساحت عمود بر جهت جریان و C_D ضریب دراگ محاسبه شده از آزمایش‌ها

¹ Sea Surface Salinity

میان الکترولیت عبور کرده و با یون‌های فرو ترکیب می‌شوند و هیدروکسید آهن را به وجود می‌آورند که با اکسیداسیون بعدی به زنگ آهن تبدیل می‌شود (شکل ۲) (Khalid et al. 2014). واکنش‌های آندی:



واکنش‌های کاتدی:



شکل (۲): مکانیزم شیمیایی خوردگی میلگرد

ادامه خوردگی، باعث کاهش تدریجی سطح میلگرد می‌گردد و در صورتی که تعمیرات انجام نشود، تخریب و شکستگی ممکن است، به‌طور کامل روی دهد که در این حالت عمر مفید سازه به اتمام رسیده است. خوردگی باعث کاهش سطح مقطع میلگرد، کاهش ظرفیت بارگیری میلگرد و افزایش حجم خوردگی باعث انبساط، ترک خوردگی و پوسته شدن می‌شود. به‌طور کلی، هر سازه دریایی را می‌توان از نقطه نظر خوردگی به سه ناحیه تقسیم‌بندی نمود. ناحیه اتمسفری، ناحیه جزر و مدی (ناحیه پاشش آب) و ناحیه داخل آب. به‌طور نمونه، این سه ناحیه در شکل (۳) برای یک شمع دریایی نشان داده شده است.

فراوان و جامع‌تر با استفاده از وسایل و تجهیزات پیشرفته در این منطقه احساس می‌گردد.

شوری آب خلیج فارس

آب خلیج فارس از آب‌های دیگر جهان شورتر است، زیرا از یک طرف آب رودهایی که به آن می‌ریزند حاوی املاح هستند و از طرف دیگر مقدار آبی که از سطح این خلیج تبخیر می‌شود، بیشتر از مقدار آبی است که به آن وارد می‌گردد. شوری آب خلیج فارس به‌طور متوسط بین ۳۰ تا ۴۷ گرم بر کیلوگرم است. بنابراین، شرایط اقلیمی خلیج فارس شرایطی خاص است، شرایط آب و هوایی در این منطقه به‌قدری بحرانی است که حتی املاحی که توسط باد به نواحی مجاور خلیج فارس منتقل می‌شوند، می‌توانند سبب آلوده شدن بتن و مصالح آن شوند. لذا تصمیم‌گیری و ارائه یک راه‌کار ثابت، به منظور یکسان‌سازی پروژه‌ها امکان‌پذیر نیست. مقابله با این تهاجم و حفاظت از مصالح به‌کار رفته در منطقه در مقابل عوامل مخرب از دیرباز مورد توجه محققان بوده و کشورهای پیشرفته دنیا تحقیقات گسترده‌ای را در این ارتباط انجام داده و تکنولوژی‌های مناسبی را توسعه داده‌اند. با این وجود در ایران متأسفانه کمتر به‌صورت علمی به این مسئله پرداخته شده است.

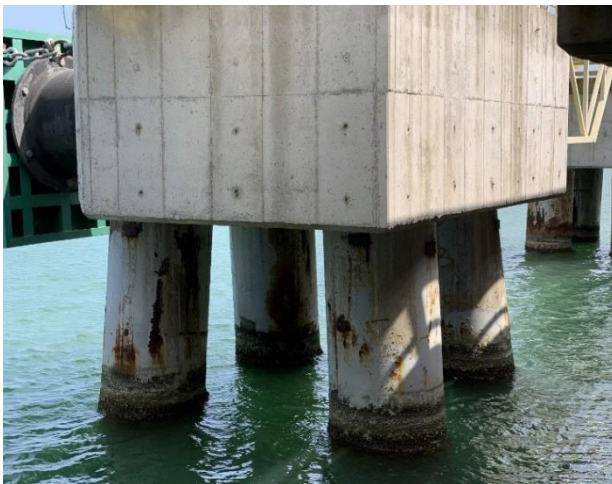
خوردگی، هزینه‌ها و مضرات آن

خوردگی در واقع واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی بین یک ماده، معمولاً یک فلز و محیط اطراف آن است که به تغییر خواص ماده منجر شده و این فرآیندی زیان‌آور است. توصیف مختصری از پدیده خوردگی به شرح زیر است. وقتی که اختلاف پتانسیل الکتریکی در امتداد طول میلگرد فولادی در بتن به وجود می‌آید، یک پیل الکتروشیمیایی به‌وجود می‌آید و مناطق آندی و کاتدی به‌وجود می‌آیند که با الکترولیت (آب منفذی در خمیر سفت شده سیمان) با یکدیگر مرتبط می‌شوند. یون فرو با شار مثبت Fe^{2+} در آند وارد محلول می‌شود در حالی که الکترون‌های آزاد با شار منفی از میان فولاد عبور کرده و به کاتد می‌روند و در آنجا وارد الکترولیت شده و با آب و اکسیژن ترکیب شده و یون‌های هیدروکسید (OH^-) را به‌وجود می‌آورند. این یون‌ها از

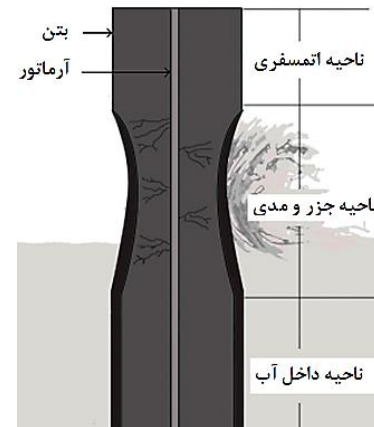


خواهد داد. به علاوه فولادی که در داخل بتن زنگ می‌زند، بر بتن اطراف خود فشار آورده و باعث خرد شدن آن و ریختن پوسته بتن می‌گردد (شکل ۴). به‌طور کلی، دو تا از شایع‌ترین دلایل خوردگی بتن، کربناسیون و کلرید (حمله نمک) می‌باشد. در محیط‌های دریایی، نفوذ یون کلرید به داخل بتن و خرابی ناشی از خوردگی آرماتورها، به‌عنوان مهم‌ترین عامل مخرب در سازه‌های بتن مسلح شناخته می‌شود. در اثر حملات شیمیایی یون‌های کلرید، لایه محافظ آرماتورها از بین رفته و در نتیجه خوردگی آرماتورها شروع می‌شود.

زنگ آهن تولید شده از خوردگی منبسط شده و سبب ایجاد تنش کششی داخلی در بتن می‌شود و در نتیجه پوشش بتنی روی آرماتورها تخریب می‌شود. این فرآیند اگر با سایر عوامل، نظیر دما و نیز عواملی که باعث کاهش قلیائیت بتن و یا افزایش نفوذپذیری آن می‌شوند، همراه شود، آثار مخرب آن در زمان کوتاه‌تری نمایان خواهد شد. در شکل (۵) فرآیند ورود یون‌های کلرید به داخل بتن نشان داده شده است.

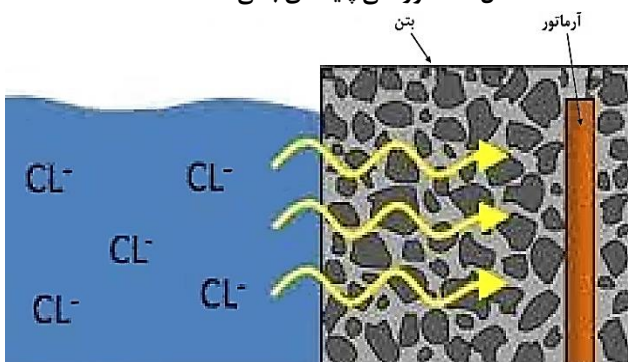


شکل (۴): خوردگی پایه‌های بتنی اسکله



شکل (۳): نواحی خوردگی در یک شمع دریایی

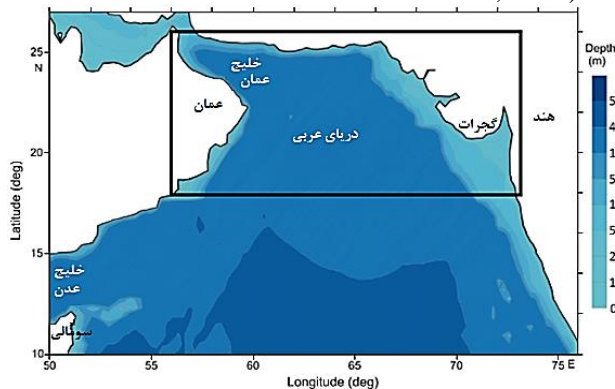
ناحیه اتمسفری ناحیه‌ای است که در آن قسمتی از سازه به‌طور کامل در معرض هوا قرار دارد. ناحیه جزر و مدی ناحیه فعالیت جزر و مدی است که به ناحیه پاشش آب نیز معروف است. سطح سازه در این ناحیه دائماً در معرض سیکل‌های گرم و سرد شدن، یخ زدن و آب شدن و همچنین تر و خشک شدن‌های متناوب ناشی از فعالیت امواج است و این عمل باعث می‌شود که این ناحیه آسیب‌پذیرترین ناحیه به‌لحاظ خوردگی سازه باشد. گسترش این ناحیه بستگی به ارتفاع موج و تغییرات جزر و مدی دارد. در مصب‌های قیفی شکل و خلیج‌ها این میزان اختلاف بسیار بالاست. دامنه جزر و مد در اقیانوس‌های عمیق نسبتاً کوچک بوده و معمولاً کمتر از یک متر است، اما در نزدیکی ساحل این میزان می‌تواند تا ۴ تا ۵ متر افزایش یابد. آخرین ناحیه، ناحیه داخل آب است، در این ناحیه قسمتی از سازه همیشه در معرض آب دریا قرار دارد. هوای محلول در آب دریا باعث می‌شود که سطوح نزدیک به سطح دریا خیلی شدیدتر از سطوحی که در اعماق آب قرار دارند، خورده شوند. بنابراین ناحیه جزر و مدی (ناحیه پاشش آب) بحرانی‌ترین قسمت یک سازه از لحاظ خوردگی است (Mollaesmaeilpour, 2021). عوامل محیطی که موجبات خرابی زودرس سازه‌های بتنی می‌گردند؛ می‌توان به خوردگی آرماتور، واکنش قلیایی سنگ‌دانه‌ها، یخ‌زدگی و حمله سولفات‌ها اشاره نمود. تاکنون بسیاری از سازه‌های بتن‌آرمه در اثر تماس و مجاورت با سولفات‌ها، کلرورها و سایر عوامل خورنده دچار آسیب جدی گردیده‌اند. یک سازه بتن‌آرمه معمولی که به میلگردهای فولادی مسلح است، چنانچه در زمان طولانی در مجاورت عوامل خورنده نظیر نمک‌ها، اسیدها و کلرورها قرار می‌گیرد، قسمتی از مقاومت خود را از دست



شکل (۵): هجوم یون کلرید به داخل بتن



به دست آمده است. شار خالص آب شیرین نیز با تفریق نرخ تبخیر (E) منهای بارندگی (P) و محاسبه شده و به مدل اعمال شده است. این داده‌ها نیز از پایگاه ECMWF^۳ دریافت شده‌اند (Persson and Grazzini, 2007).



شکل (۶): عمق‌سنجی منطقه مدل‌سازی شده در دریای عربی شمالی که در شکل با مستطیل سیاه مشخص شده است.

به دنبال تحول عظیم در قابلیت‌های کامپیوترها، به‌طور هم‌زمان تحولاتی نیز در نوع و پیچیدگی مدل‌های عددی برای تحلیل پدیده‌های دریایی به‌وجود آمده است. در بسیاری از زمینه‌ها و البته نه در تمام آنها، مدل‌های عددی مکمل و جایگزین مدل‌های فیزیکی شده‌اند. بعضی زمینه‌ها، نظیر پیش‌بینی توفان‌های دریایی می‌تولند به‌طور مؤثر فقط به‌وسیله مدل عددی انجام شود. در این میان مدل‌های عددی گردش اقیانوسی دارای مزیت‌های متمایزی برای تولید سری‌های زمانی بلند مدت دما و شوری با وضوح مکانی و زمانی بالا می‌باشند که می‌توانند به شناخت فرآیندهای مسئول تغییرات آنها کمک کنند. بنابراین در این مطالعه از یک مدل گردش عمومی اقیانوسی با وضوح بالا، مدل عددی MITgcm استفاده شده است. این مدل قادر است، تغییرات فصلی دما و شوری و متغیرهای اقیانوسی دیگر را با دقت بالا به‌دست آورد. در مدل شرایط اولیه دما و شوری از پایگاه مجموعه داده‌های اطلس جهانی اقیانوسی WOA^۴ استخراج شده است (Boyer, 2018). این داده‌ها ابتدا برای انطباق با تعداد سلول‌های شبکه محاسباتی

مسأله خوردگی فولاد در بتن، از معضلات عمده کشورهای مختلف جهان است. این مسأله حتی در کشورهای پیشرفته‌ای همچون آمریکا، کانادا، ژاپن و بعضی کشورهای اروپایی هزینه‌های زیادی را برای تعمیر آنها به دنبال داشته است. مطالعات نشان می‌دهد که امروزه خوردگی میلگردها در بتن، در نواحی جنوبی ایران، از جمله رایج‌ترین خرابی‌های سازه‌های بتن مسلح در نواحی ساحلی و دریایی و یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که امروزه مهندسان عمران در نگهداری سازه‌های بتن مسلح با آن مواجه می‌باشند.

مواد و روش کار

ابتدا منطقه مورد مطالعه از طول جغرافیایی ۵۶ تا ۷۴ درجه شرقی و از عرض جغرافیایی ۱۸ تا ۲۵ درجه شمالی از پایگاه داده‌های GEBCO^۱ با دقت ۳۰ ثانیه استخراج شده و سپس ناحیه مورد مطالعه به دقت ۲ دقیقه تبدیل گردید. این منطقه به‌وسیله یک شبکه محاسباتی چهار گوشه مشتمل بر ۲۱۰*۵۱۰ سلول گسسته‌سازی شده است. به عبارتی طول منطقه مورد مطالعه در راستای طول جغرافیایی ۱۸۸۹ کیلومتر و در راستای عرض جغرافیایی ۷۷۸ کیلومتر است (شکل ۶). همچنین اقیانوس در راستای قائم (محور Z) به ۲۰ لایه تقسیم شده است و عمیق‌ترین نقطه اقیانوس در منطقه مورد مطالعه در حدود ۳۸۰۰ متر است.

در مرحله بعد داده‌های اولیه لازم برای سال ۲۰۰۱ استخراج شده و برای سازگاری مدل و عمق‌سنجی منطقه به دقت منطقه مورد مطالعه درون‌یابی کرده و سپس به مدل اعمال گردیده است. این داده‌ها شامل داده‌های متوسط ماهانه SST و SSS با دقت یک درجه، داده‌های شار گرمایی، نرخ تبخیر منهای بارندگی، مؤلفه‌های سرعت باد (در تراز ۱۰ متری از سطح دریا) از سایت NOAA^۲ و مؤلفه‌های سرعت جریان می‌باشند. شار گرمای خالص (Q_{net}) نیز با توجه به مؤلفه‌های شار گرمایی حاصل از مجموع شار تابش موج کوتاه ورودی خورشید (Q_I)، شار بازتابش موج بلند (Q_B)، شار گرمای محسوس (Q_H) و شار گرمای نهان

³ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

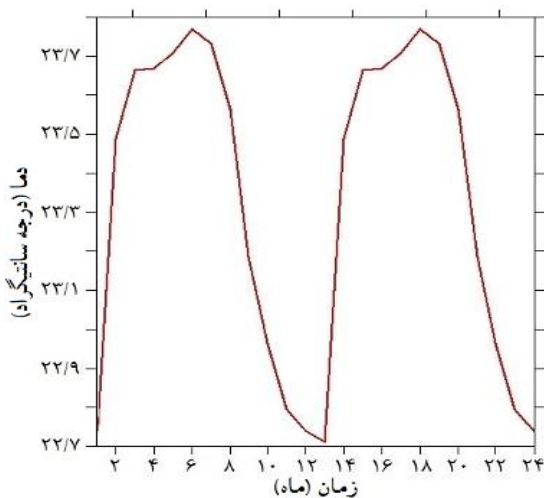
⁴ World Ocean Atlas

¹ General Bathymetric Chart of the Oceans

² National Oceanic and Atmosphere Administration



این طرح واژه برای عدد کورانت ($C = \frac{\Delta t u}{\Delta x}$) در محدوده ۱ $\geq |C| \geq 0$ پایدار است. در اینجا Δx برابر ۳۷۰۴ متر است که دقت مدل‌سازی در راستای مداری و نصف النهاری است و همچنین u بیشینه سرعت جریان افقی می‌باشد که برای منطقه مورد مطالعه ۲ متر بر ثانیه انتخاب شده است. مدل مذکور برای ۲۰ سال اجرا شده تا طی آن خواص توده آب به یک چرخه پایدار برسند. برای اطمینان از پایداری و صحت کار مدل در شکل (۷) سری زمانی تغییرات دمای لایه سطحی برای دو سال آخر مدل‌سازی در نقطه‌ای به مختصات تقریبی ۶۳/۵ درجه شرقی و ۲۰/۲ درجه شمالی در منطقه مورد مطالعه رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که دما به یک چرخه پایدار رسیده است که نشان دهنده پایداری مدل و اطمینان به نتایج مدل می‌باشد. همچنین سری زمانی تغییرات شوری در لایه سطحی برای دو سال آخر مدل‌سازی در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۷): سری زمانی تغییرات دما در لایه سطحی برای دو سال آخر مدل‌سازی

درون‌یابی شده و بعد از باینری^۱ کردن آن به مدل اعمال شده است. به لحاظ شرایط مرزی، مدل شامل دو مرز باز شمالی و جنوبی است. مرزهای شرقی و غربی مدل به خشکی محدود می‌گردند. مرز باز شمالی سمت جنوب ایران و جنوب پاکستان را شامل می‌گردد. این مرز از طریق تنگه هرمز با خلیج فارس تبادل جریان دارد. مرز باز جنوبی نیز جنوب دریای عربی را شامل می‌گردد که با آب‌های آزاد اقیانوس هند جنوبی تبادل جریان دارد. مدل MITgcm در راستای قائم از مختصات Z (شبکه کارتزین Z) و در راستای افقی از شبکه آراکاوای C استفاده می‌کند. در شبکه آراکاوای C ردیاب‌ها نظیر دما و شوری در مرکز هر سلول شبکه قرار می‌گیرند. بردار سرعت $\vec{u} = (u, v, w)$ به مؤلفه‌های آن تقسیم می‌شود که در آن u برای جهت شرق/غرب هر سلول، v برای جهت شمال/جنوب و w به سمت بالا/پایین تعیین می‌گردد. η ارتفاع از سطح دریا در بالا و مرکز سلول بالایی در هر یک از ستون‌های سلول قرار می‌گیرد. مدل MITgcm شارهای هوا-دریا را با استفاده از فرمول بالک^۲ محاسبه می‌کند و معادله‌های ناویر-استوکس را در حالت غیر خطی، تراکم‌ناپذیر و غیرهیدروستاتیکی با در نظر گرفتن تقریب بوسینسک^۳ برای یک سیال تراکم‌ناپذیر و با گسسته‌سازی حجم محدود مکانی بر روی شبکه محاسباتی مکعبی حل می‌کند. به‌طور کلی، فرمول‌بندی مدل و جزئیات آن به‌طور کامل توسط مارشال^۴ و همکاران (۱۹۹۷) بیان شده است (Marshall et al. 1997). مدل MITgcm با زبان برنامه‌نویسی فرترن نوشته شده است و بر روی سیستم عامل لینوکس اجرا می‌شود. در این سیستم با توجه به تعداد سلول‌های شبکه، مدل قابلیت اجرا با یک یا چند پردازنده را دارد. موازی‌سازی با تقسیم مساوی سلول‌های افقی حوضه به دو یا چند زیرحوضه انجام می‌شود. هر زیرحوضه به وسیله یک پردازنده پردازش می‌شود و هر زیرحوضه دارای یک کپی از سلول‌های مرزی زیرحوضه مجاور خود است. با این روش هر پردازنده خاص می‌تواند به‌طور مجزا کار کند و پس از هر گام زمانی با تبادل شرایط مرزی به‌روز شود. در این مدل و برای مطالعه حاضر از یک طرح واژه محدود شار مرتبه سوم زمانی - مکانی و غیر خطی استفاده شده است.

³ Boussinesq Approximation

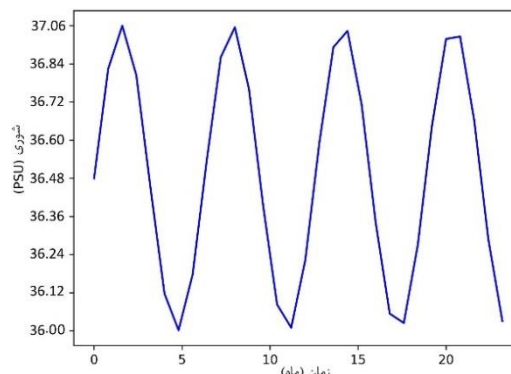
⁴ Marshal

¹ binary

² bulk formula



براساس گزارش سازمان هواشناسی جهانی و مؤسسه ملی اقیانوسی و جوی (نوا) سال ۲۰۱۶ از زمان شروع ثبت اسناد مدرن در سال ۱۸۸۰ بوده است (NASA, NOAA and NOAA Data, 2016) از این رو، در این قسمت ابتدا متغیرهای دمای سطح دریا (SST) و شوری سطحی دریا (SSS) در شرایط تغییر آب و هوا، در همه ماه‌های سال بررسی می‌شود. براساس نتایج مدل، مقادیر دمای سطح دریا (شکل ۱۰) در فصل تابستان (در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست) در نواحی شمال و شمال غربی و به خصوص در سواحل جنوبی ایران و پاکستان و همچنین در جنب تنگه هرمز نسبت به نواحی دیگر و نیز ماه‌های دیگر دارای مقادیر حداکثر است. از طرفی در این نواحی تقریباً در تمام ایام سال شوری سطح دریا دارای بیشترین مقدار است (شکل ۱۱). مقدار بیشینه دمای سطحی در این ناحیه در فصل تابستان $32/2^{\circ}\text{C}$ و مقدار شوری سطحی نیز $37/20\text{ psu}$ است. در ناحیه مذکور کمترین مقادیر دما و شوری سطحی در زمستان و ماه فوریه رخ می‌دهد. دمای سطح آب در این ماه در حدود $27/5^{\circ}\text{C}$ و شوری سطح آب نیز در حدود $36/8\text{ psu}$ است. این میزان اختلاف بین مقادیر حداکثر و حداقل در طول سال و در این نواحی قابل توجه است. به‌طور کلی، میزان تبخیر در زمستان به دلیل بادهای تجاری خشک شمال شرقی بر روی دریای عربی باعث افزایش شوری و در نتیجه سرمایش سطحی می‌شود. این تبخیر در تابستان به دلیل شدت بادهای مونسون جنوب غربی به حداکثر مقدار خود می‌رسد.



شکل (۸): سری زمانی تغییرات شوری در لایه سطحی برای دو سال آخر مدل سازی

نتایج و بحث

در این پژوهش متغیرهای ترمودینامیکی سطح دریا نظیر دمای سطح دریا (SST) و شوری سطح دریا (SSS) در دریای عربی شمالی، با استفاده از مدل MITgcm با تفکیک بالا و با دقت ۲ دقیقه شبیه سازی شده است. نتایج نشان می‌دهند که تقریباً در همه ماه‌های سال در نواحی شمال و شمال غربی دریای عربی و به خصوص در سواحل جنوبی ایران و پاکستان و همچنین جنب تنگه هرمز مقدار شوری سطح آب نسبت به نواحی دیگر دارای مقادیر حداکثر می‌باشد. تغییرات شوری سطح آب دریا در این نواحی از $36/70\text{ psu}$ در زمستان تا $36/70\text{ psu}$ در تابستان تغییر می‌کند و این اختلاف در حدود $0/1\text{ psu}$ بوده که برای شوری سطح دریا قابل توجه است. در شکل (۹)، جهت بردارهای سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح دریا در دریای عربی برای سال ۲۰۱۶ رسم شده است. براساس این شکل و در ناحیه مورد مطالعه مقدار متوسط سرعت باد در فصل بهار در حدود ۱ متر بر ثانیه، در تابستان ۶ متر بر ثانیه، در پاییز ۲ متر بر ثانیه و در فصل زمستان ۳ متر بر ثانیه است. در حالی که در تابستان بادهای مونسون شدیدترند، جریان‌های سطحی در فصل تابستان نیز به تبعیت از بادهای مونسون قوی‌تر از فصول دیگر سال هستند. در واقع براساس نتایج حاصل از اسکات و مکری (۲۰۰۱) در تابستان جریان‌ها دارای بیشترین انرژی هستند (Schott and McCreary, 2001). لازم به ذکر است که سال ۲۰۱۶ به عنوان یک سال نوعی انتخاب شده است، چون

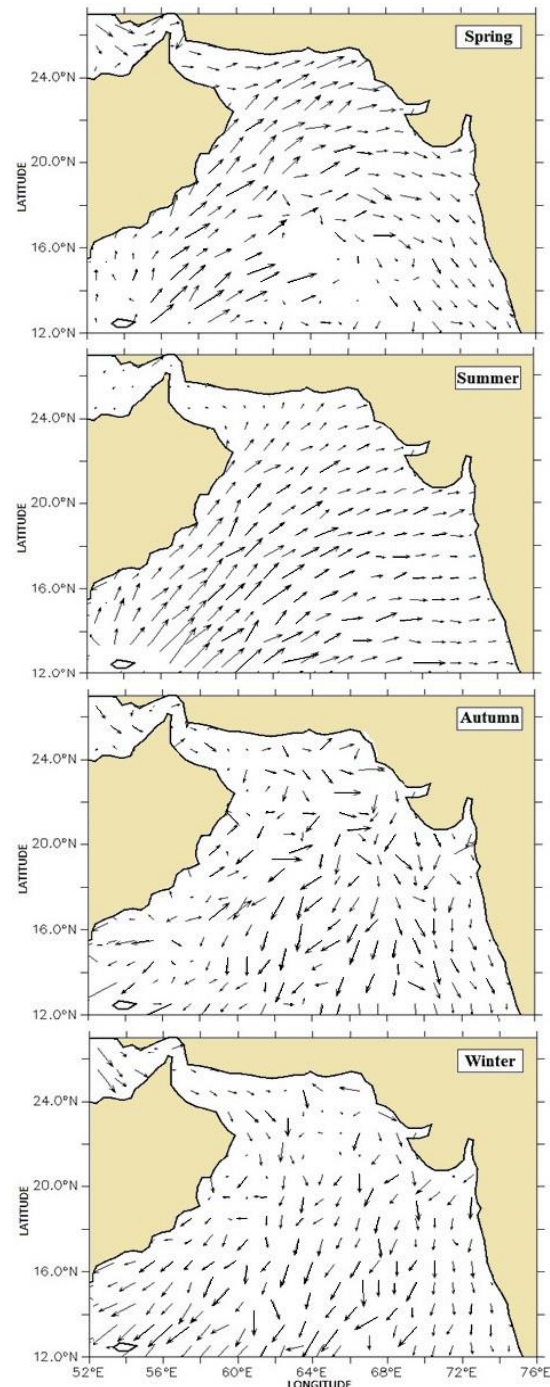
¹ Schott and McCreary



ساخته می‌شوند، لازم است در برابر خوردگی آب دریا ناشی از شوری بالای آب در این نواحی محافظت لازم را داشته باشند. نواحی دیگر دریای عربی شمالی دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند. به طور نمونه در ناحیه جنوب شرقی دریای عربی که به خلیج بنگال نزدیک است و همچنین در سواحل شرقی هند، مقدار شوری سطحی نسبت به نواحی دیگر کمتر بوده اما مقدار دمای سطحی آب بیشتر است. علت این امر به واسطه شارش آب‌های نسبتاً شیرین تر خلیج بنگال به داخل دریای عربی و همچنین بالا بودن بارندگی‌ها در این ناحیه نسبت به نواحی دیگر است

(Mollaesmaeilpour and Khalilabadi, 2022, Nozari et al. 2023) قابل ذکر است که شالینگ چن^۱ و همکاران (۲۰۲۲) نیز به نتایج مشابهی در این رابطه رسیدند. آنها ابراز داشتند که کمینه شوری سطحی در این ناحیه ناشی از انتقال جریان آب نسبتاً شیرین تر خلیج بنگال به این ناحیه است (Chen et al. 2022, Piroti et al. 2020).

مطابق شکل (۱۰) متوسط مقدار دمای سطحی در ناحیه جنوب شرقی در تابستان 29°C و در زمستان $27/5^{\circ}\text{C}$ است که در این حالت اختلاف دمای سطحی بین دو مونسون در حدود $1/5^{\circ}\text{C}$ است. همچنین مطابق شکل (۱۱) نیز متوسط شوری سطحی در این ناحیه در فصل تابستان $35/80\text{ psu}$ و در زمستان در حدود $35/70\text{ psu}$ است و اختلاف شوری سطحی نیز در این حالت در حدود $0/1\text{ psu}$ است. همچنین در این ناحیه، جریان جنوب شرقی (در نزدیکی خلیج بنگال) در زمستان در راستای ساحل شرقی هند به سمت شمال حرکت کرده و وارد دریای عربی می‌گردد، اما در ناحیه جنوب غربی و در نزدیکی سواحل عمان تغییرات دما و شوری سطحی نسبت به نواحی دیگر دریای عربی بسیار متفاوت است. در این ناحیه، دمای سطح آب در تابستان نسبت به زمستان کمتر است و این موضوعی است که محققان از آن به عنوان سرمایه‌ش تابستانی دریای عربی نام می‌برند. علت این امر وقوع پدیده فراجوشی^۲ در نواحی نزدیک سومالی و در نتیجه بالا آمدن آب‌های سرد زیرین به سطح می‌باشد در واقع گسترش آب‌های فراجوش یافته سرد نزدیک سومالی از عوامل مهم کاهش دمای سطح آب در نزدیکی سواحل عمان است. به طور کلی مقدار دما در طول تابستان در این ناحیه



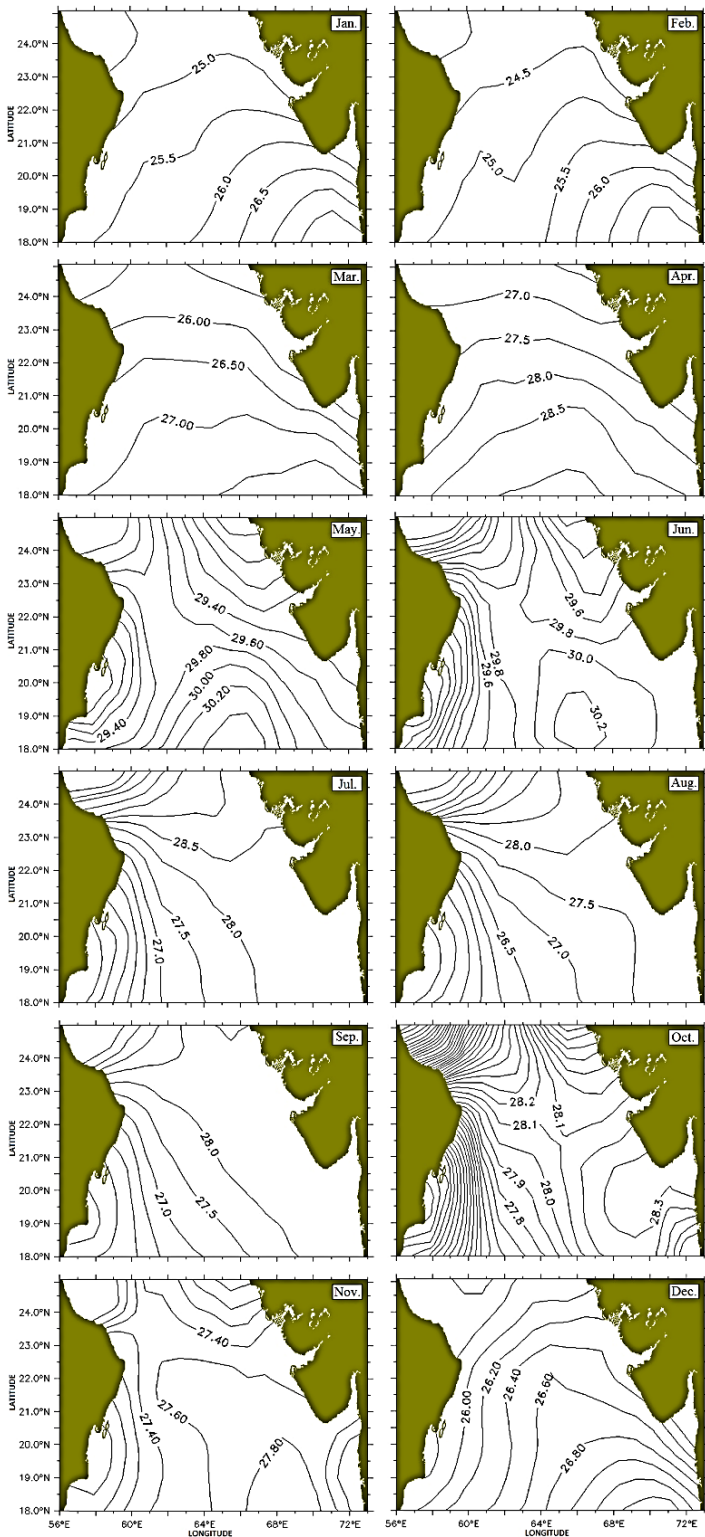
شکل (۹): متوسط سرعت باد در سطح دریا (m/s) در دریای

عربی در سال ۲۰۱۶ براساس پایگاه داده‌های NOAA

مطابق شکل (۱۱) در ماه‌های آوریل و مه، نواحی شمال شرقی دریای عربی و سواحل غربی هند و پاکستان، شوری سطح آب دریا نسبت به نواحی دیگر دریای عربی شمالی بیشتر است. بنابراین سازه‌هایی که در این نواحی

² upwelling

¹ Shuling chen



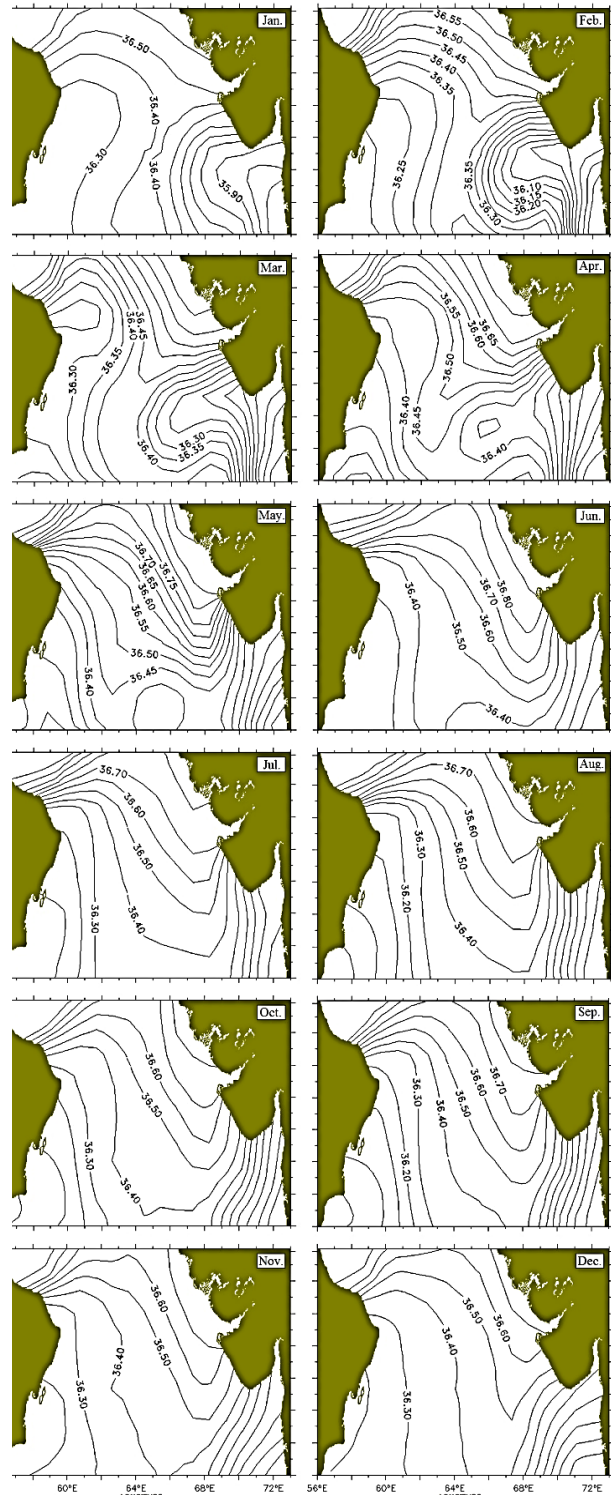
شکل (۱۰): دمای سطح آب دریا (SST) در دریای عربی در سال
آخر خروجی مدل MITgcm

در حدود $24/5^{\circ}\text{C}$ و در زمستان $25/5^{\circ}\text{C}$ است که این اختلاف در حدود 1°C است. شوری سطحی نیز در تابستان در حدود $36/20$ psu و در زمستان 36 psu است که این اختلاف نیز در حدود $0/2$ psu است (Mollaesmaeilpour et al. 2018, Rahmati et al. 2020).

جدول (۱) مقادیر متوسط متغیرهای دما، شوی سطح دریا در ناحیه مورد مطالعه در دریای عربی در سال آخر مدل سازی نشان می دهد. مطابق این جدول، متوسط شوری سطح دریا نیز در ماه ژوئن با مقدار $36/51$ psu بیشترین مقدار و در ماه ژانویه با مقدار $36/28$ psu کمترین مقدار بوده است.



جنوبی ایران، علاوه بر اینکه تحت تأثیر عوامل تغییرات زیاد دما و نیز بادهای شمال غربی خلیج فارس می‌باشند، از طرفی، به عامل شوری و حملۀ یونها نیز حساس می‌باشند، لذا تمهیدات لازم برای هر حالت، چه دما و چه شوری در این سازه‌ها باید مد نظر قرار گیرد. دقت در نمودارهای شوری و نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که هر چقدر از شمال خلیج فارس به سمت جنوب سواحل کشورهای عربی نزدیک شویم، آب‌ها شورتر می‌گردند که علت آن کمتر شدن عمق آب و نیز وجود گنبد های نمکی می‌باشد. بنابراین، سازه‌های دریایی که در این نواحی ساخته می‌شوند، در معرض شدید خوردگی ناشی از شوری بالای آب قرار می‌گیرند، در نتیجه باید تمهیدات لازم به لحاظ مقابله با خوردگی این سازه‌ها در نظر گرفته شود. از طرفی، نتایج نشان می‌دهند که در فصل تابستان شدت بادهای در دریای عربی شمالی نسبت به فصول دیگر سال بیشتر است و بر این اساس جریانات سطحی آب نیز دارای شدت و انرژی بیشتری هستند. در فصل زمستان بادهای تجاری خشک شمال شرقی باعث افزایش تبخیر می‌گردند و افزایش تبخیر باعث افزایش شوری سطحی آب دریا می‌گردد و در فصل تابستان بادهای مونسون جنوب غربی این شوری را در نواحی شمال غربی و نزدیکی سواحل جنوبی ایران شدت می‌بخشند. در نواحی جنوب ایران تغییرات ترمودینامیکی سطح دریا به شدت تحت تأثیر جریانات مونسون و آن هم متأثر از بادهای مونسون است. آب دریا شامل بسیاری از یون‌های مخرب با درصد های نسبتاً زیاد برای بتن است. زیاد بودن غلظت کلراید و سایر نمک‌ها در این آب‌ها، زمینه خوردگی فولاد در سازه‌های دریایی و ساحلی نواحی جنوبی را فراهم می‌سازد. زیرا در بیشتر محیط‌های دریایی، شرایط حرارتی- رطوبتی برای ایجاد بسیاری از واکنش‌های مخرب در بتن مناسب می‌باشد. بنابراین، خرابی‌های سازه‌های بتنی مخصوصاً در این نواحی، باعث خسارات جبران‌ناپذیر گشته است و از طرفی، تعمیرات چنین سازه‌هایی بسیار پرحرج بوده و در صورتی که با مواد مناسب و با استفاده از روش‌های صحیح انجام نشود، این خرابی‌ها مجدداً در زمان‌های کوتاهی ظاهر می‌شوند. از میان انواع مصالح سازه‌ای مورد استفاده در سازه‌های دریایی، بتن مسلح برای مقاومت در برابر شرایط آب و هوایی سختی که در محیط دریایی وجود دارد، رایج‌ترین مصالح مورد استفاده



شکل (۱۱): شوری سطح آب دریا (SSS) در دریای عربی در سال

آخر خروجی مدل MITgcm

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتایج حاصل از مدل و تحلیل خواص فیزیکی آب نشان می‌دهد که سازه‌های بتنی مسلح ساخته شده در سواحل



۲- بهتر است، اندودکاری در شرایط آب و هوایی مطلوب انجام شود و اندودها را اصولاً نباید در دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد و یا بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد به کار برد (Rahmani et al. 2019).

۳- بهتر است، برای ساخت سازه از بتن با مقاومت بالا، دارای فولادهای تقویتی و یا پیش‌تنیدگی ساخته شوند. همچنین، استفاده از پوزولان‌ها در بتن‌های مورد استفاده در سازه‌های محیطی و اقلیمی خلیج فارس، باعث دستیابی به خواص بهبود یافته در بتن شده و لذا استفاده از آنها توصیه می‌شود.

۴- استفاده از مصالح جدید نظیر کامپوزیت‌های FRP (پلاستیک‌های مسلح به الیاف) به عنوان جانشینی مناسب برای فولاد در بتن‌آرمه، به دلیل مقاومت بسیار خوب آنها در مقابل خوردگی، مقاومت کششی بسیار زیاد (تا ۷ برابر فولاد)، مدول الاستیسیته قابل قبول، وزن کم، مقاومت خوب در مقابل خستگی و خزش، عایق بودن در مقابل امواج مغناطیسی و چسبندگی خوب با بتن به‌خصوص در سازه‌های ساحلی و دریایی که امروزه در دنیا موضوع تحقیقات گسترده‌ای شده‌اند، پیشنهاد می‌گردد.

در سازه‌های دریایی است و عملکرد رضایت‌بخشی را در آب دریا از خود نشان می‌دهد هر چند، فولاد مورد استفاده در بتن بایستی قدرت مقاومت در برابر خوردگی شدید حاصل از آب دریا را داشته باشد، اما با این حال، بتن در مقابل آب دریا به‌عنوان یکی از خورنده‌ترین محیط‌های طبیعی در جهان از لحاظ دوام در معرض مشکلات جدی قرار دارد.

به‌طور کلی، شرایط ویژه محیطی از نظر بارگذاری و خوردگی آب دریا، دست‌اندرکاران و طراحان سازه‌های دریایی را ملزم به اصلاح روش‌های طراحی و نیز استفاده از تکنیک‌های پیشرفته بتن‌های مقاوم در محیط خورنده دریا و سایر موارد مربوطه کرده است. در این میان، با توجه به شرایط محیطی و وجود آب و هوای گرم و دمای بالای سطح آب دریا در نواحی جنوبی کشور ما، چند پیشنهاد برای ساخت، محافظت و یا تقویت سازه‌های ساحلی و فراساحلی ارائه می‌گردد:

۱- لازم است، در فصل تابستان مصالح سنگی برای ساخت بتن را قبل از مصرف در بتن خنک کرد و همچنین آب اختلاط را سرد کرد.

جدول (۱): مقادیر متوسط متغیرهای دما، شوی سطح دریا در ناحیه مورد مطالعه در دریای عربی در سال آخر مدل سازی

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
متوسط دمای سطح دریا (°C)	۲۵/۶۵	۲۵/۱۷	۲۶/۶۳	۲۷/۹۶	۲۹/۶	۲۹/۷۶	۲۷/۸۹	۲۷/۲۷	۲۷/۷	۲۷/۹۶	۲۷/۴۸	۲۶/۴۱
متوسط شوری سطح دریا (PSU)	۳۶/۲۸	۳۶/۲۹	۳۶/۳۵	۳۶/۴۴	۳۶/۵۰	۳۶/۵۱	۳۶/۴۱	۳۶/۳۶	۳۶/۳۷	۳۶/۳۹	۳۶/۴۰	۳۶/۳۷

منابع

- Bird, E.C., 2016. Coastal geomorphology: an introduction, John Wiley & Sons. Boyer, Tim P., "World ocean atlas", 2018.
- Chen, S., Cha, J., Qiu, F., Jing, C., Qiu, Y. and Xu, J. 2022. Sea Surface Salinity Anomaly in the Bay of Bengal during the 2010 Extremely Negative IOD Event, Remote Sensing, 14(24), p. 6242.
- Hu Z.Z, Xue Y, Huang B, Kumar A, Wen C, Xie P, Zhu J, Pegion P.J, Ren L, Wang W. 2022, Global Ocean Monitoring and Prediction at NOAA Climate Prediction Center: 15 Years of Operations. Bulletin of the American Meteorological Society. Dec; 103(12): E2701-18.
- Khalid Heiza A.N, Meleka N, Tayel M. State-of-the art review: Strengthening of reinforced concrete structures—different strengthening techniques. In Sixth International Conference on Nano-Technology in Construction 2014 Mar Vol. 6, pp. 22-24.
- Knauss, J.A. and Garfield, N. 2016. Introduction to physical oceanography. Waveland Press.



- Mollaesmaeilpour, S., Mahdizadeh, M.M., Hassanzadeh, E. and Khalilabadi, M.R., 2019. Investigation of sea surface temperature (SST) and sea surface salinity (SSS) variations in the Arabian Sea from 2010 to 2017, *Marine Technology*, 6(3), pp. 88-101, (In Persian).
- Mollaesmaeilpour, S., Mahdizadeh, M.M., Hassanzadeh, E. and Khalilabadi, M.R. 2019 .3D modeling of wind-driven circulation in the Northern Indian Ocean during monsoon”, *Journal of oceanography*, 38 (10), (In Persian).
- Marshall, J., Hill, C., Perelman, L. and Adcroft, A. 1997. Hydrostatic, quasi-hydrostatic, and nonhydrostatic ocean modeling, *Journal Geophysical Res.*, 102(3), pp. 5733-5752.
- Mollaesmaeilpour, S. and Khalilabadi, R. 2022. Physics and dynamics of Indian Ocean waters, Imam Khomeini Naval University of Noshahr Press, Noshahr, Iran (In Persian).
- Mollaesmaeilpour, S., 2021. Corrosion Control for marine structures in the South of Iran, Educational-authored institute by Arshadhan, Tehran, (In Persian).
- Mollaesmaeilpour, S., Mahdizadeh, M.M, Hassanzadeh, E., Khalilabadi, M.R. 2018. Seasonal variations of mixed layer depth in the Arabian Sea, the 20th Marine Industry Conference, Tehran, Iran (In Persian).
- Nozari, H., Armaghani, A., Rahmani, K. and Piroti, S. 2023. Investigation of the corrosion of particular bars in reinforced concrete structures, *Sharif Journal of Science and technology*, (Articles in Press). (In Persian).
- NASA, NOAA, and NOAA Data Show. 2016, "Warmest Year on Record Globally".
- Piroti, S., Najarchi, M., Hezavehi, E., Najafizadeh, M.M. and Mirhosseini, S.M. 2020. The experimental assessment of the effect of polypropylene fibers on improvement of Nano-silica concrete behavior, *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 27(2), pp. 682-692.
- Persson A, Grazzini F. User guide to ECMWF forecast products. *Meteorological Bulletin*. 2007; 3(2).
- Rahmati, A., Rahmani, K. and Piroti, S. 2020. Experimental study of the effect of polymer fiber based on epoxy resin on compressive and exural strength parameters, *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 27(4), pp. 1803-1813. 2015.
- Rahmani, K., Ghaemian, M. and Hosseini, S.A. 2019. Experimental study of the effect of water to cement ratio on mechanical properties and durability of Nano-silica concretes with polypropylene fibers, *Scientia Iranica, Transactions A: Civil Engineering*, 26(5), pp. 2712-2722.
- Sorensen, R.M. 2006. *Basic Coastal Engineering 3rd edition*".
- Seif, M.S. 1997. *Marine Structures*, Hormozgan University, Press, First edition.
- Schott, F.A. and McCreary J.R, J.P. 2001. The monsoon circulation of the Indian Ocean, *Progress in Oceanography*, 51(1), pp. 1-123.