



The use of radar sensors to track marine pollution, the studied area: Iran's

Hosseinihamid, M.¹  | Farzingohar, M.²  | Sadrinassab, M.³  | Layeghi, B.⁴ 

1. PhD student University of Hormozgan, Department of Non-Living Atmospheric and Marine Science, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: majidfizik@gmail.com

2. **Corresponding Author**, Assistant Professor University of Hormozgan, Department of Non-Living Atmospheric and Marine Science, Faculty of Marine Science and Technology, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. E-mail: farzingohar@hormozgan.ac.ir

3. Associate Professor University of Tehran, Department of Environmental Engineering, Faculty of Environment University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: masoud.sadri@ut.ac.ir

4. I.R. of Iran Meteorological Organization (IRIMO), Tehran, Iran. E-mail: layeghi2001@yahoo.com

(Received: 7 Nov 2023, Revised: 14 Dec 2023, Accepted: 30 Dec 2023, Published online: 30 Dec 2023)

Abstract

Based on theory, this research investigated the relationship between the penetration depth of electromagnetic waves and the conductivity of sea water based on daily parameters of temperature and salinity in Caspian Sea with low salinity and Oman Sea with high salinity. The data was received from the oceanographic center over a period of one year and the values are calculated daily and the results show that the wave range is more sensitive to salinity. The range decreases with the increase of the frequency, so that at the frequency of 1000 khz, the range for the Caspian Sea and Oman reached about 2 and 5 cm, respectively. The range in the low frequency of 100 Hz has increased significantly and its value for the Caspian Sea is 1.51 m in March (T=11.76 C0, P=7.59psu) and for the Oman Sea it is 16.22 m in January (T=22 C0, P=36.5 psu) was obtained. Also, the sensitivity of wave range with temperature in the Caspian Sea is more than that of the Oman Sea. This amount of range was seen at minimum and maximum temperatures of 9.74 and 24.30 degrees Celsius for the Caspian Sea, respectively 34 and 45.2 meters, and for the Oman Sea at temperatures of 22 and 32.2 degrees Celsius equal to 19.57 and 22 meters. The penetration depth of radar waves in the Caspian Sea can be three times higher than in the Oman Sea due to its low salinity. Since the range decreases with the increase in salinity, therefore, taking into account the salinity of the effluent of desalination facilities in the range of 74.8psu, the range of waves with a frequency of 100Hz has decreased sharply from 19.7m to 4m, which can be the cause of its tracking in the sea.

Keywords: satellite sensor, Caspian Sea and Oman, waves, temperature and salinity, tracking pollution.

Cite this article: Hosseinihamid, M., farzingohar, M., sadri nasab, M., & layeghi, B. (2023). The use of radar sensors to track marine pollution, the studied area: Iran's marine area. Journal of the Nivar, 47(122-123), 159-178. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.424170.1271>



کاربرد سنجنده های راداری بر ردیابی آلودگی های دریایی، محدوده مورد مطالعه: دریای عمان و دریاچه خزر

مجید حسینی حمید^۱ | مهران فرزینگر^۲ | مسعود صدری نسب^۳ | بهزاد لایقی^۴

۱. دانشجوی دکتری فیزیک دریا، گروه علوم غیر زیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه:

majidfizik@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، استادیار دانشگاه هرمزگان، گروه علوم غیر زیستی جوی و اقیانوسی، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

رایانامه: farzangozar@hormozgan.ac.ir

۳. دانشیار دانشگاه تهران، گروه محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: masoud.sadri@ut.ac.ir

۴. سازمان هواشناسی کشور، تهران، ایران. رایانامه: layeghi2001@yahoo.com

(دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۶، بازنگری: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳، پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹، انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹)

چکیده

این تحقیق بر مبنای تئوری، به بررسی ارتباط بین عمق نفوذ امواج الکترومغناطیسی با میزان رسانندگی آب دریا بر اساس پارامترهای روزانه دما و شوری در دریاچه خزر با شوری کم و دریای عمان با شوری بالا پرداخته شد. داده‌ها در گستره یک ساله از مرکز اقیانوس شناسی دریافت و مقادیر بطور روزانه محاسبه و نتایج نشان دهنده حساسیت بیشتر برد امواج نسبت به شوری دارد. برد با افزایش میزان بسامد، کاهش می‌یابد بطوریکه در بسامد ۱۰۰۰ kHz میزان برد برای دریای کاسپین و عمان بترتیب به حدود ۲ و ۵ سانتی متر رسید. میزان برد در بسامد پایین ۱۰۰ Hz افزایش محسوسی داشته و مقدار آن برای دریای کاسپین ۵۱/۱ متر ماه اسفند در دریای کاسپین بیشتر از دریای عمان می‌باشد. این میزان برد در کمینه و بیشینه دمایی ۹/۷۴ و ۲۴/۳۰ درجه سانتی گراد برای دریای کاسپین بترتیب ۳۴ و ۴۵/۲ متر و برای دریای عمان در دماهای ۲۲ و ۳۲/۲ درجه سانتی گراد برابر با ۱۹/۵۷ و ۲۲ متر دیده شد. عمق نفوذ امواج رادار در دریای کاسپین به دلیل شوری اندک می‌تواند تا سه برابر بیشتر از دریای عمان باشد. از آنجا که با افزایش شوری میزان برد کاهش می‌یابد لذا با در نظر گرفتن شوری پساب خروجی تاسیسات آبشیرین کن در محدوده ی ۷۴/۸ psu برد امواج با بسامد ۱۰۰ Hz از ۱۹/۷ m به ۴ m کاهش شدید داشته که می‌تواند عامل ردگیری آن در دریا شود.

کلمات کلیدی: سنجنده، دریای کاسپین، دریای عمان، امواج، دما و شوری، ردگیری آلودگی.

۱. مقدمه

خانگی و صنعتی به دریا اشاره کرد علاوه بر این با رشد صنعت شیرین سازی آب دریا به دلایل خشکسالی های گسترده و همچنین توسعه شهرها در سواحل که این تاسیسات بنا می‌گردند مشکل دفع پساب آنها به درون دریا وجود دارد. پسابی با غلظت بالای نمک که معمولا همراه با سایر مواد زاید شیمیایی

کنترل فعالیتهای زیر آبی و آشکارسازی اجسام موجود در لایه- های زیرین آب دریاها همواره مورد توجه محققین علوم اقیانوسی می‌باشد. در سالهای اخیر ورود روزافزون آلودگی به دریا یک تهدید جدی برای محیط زیست دریا بشمار می‌رود. از مهمترین این آلودگی‌ها می‌توان به ورود فاضلاب‌های

استناد: حسینی حمید، مجید؛ فرزین گهر، مهران؛ صدری نسب، مسعود و لایقی، بهزاد. (۱۴۰۲). کاربرد سنجنده های راداری بر ردیابی آلودگی های دریایی، محدوده مورد مطالعه:

گستره دریایی ایران، مجله نیوار، ۴۷ (۱۲۲-۱۲۳)، ۱۵۹-۱۷۸. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2023.424170.1271>

نهایت، او به معرفی ماموریت های ماهواره ای آتی که مورد علاقه دانشمندان دریایی است، می پردازد که برای درک پویایی محیط های دریایی و ساحلی به یک رویکرد چند رشته ای نیاز است و سنجش از راه دور به عنوان بخشی از پازل شناسایی می شود که مدیران اقیانوسی نباید از استفاده آن در اقدامات خود تردید کنند (Ouellette & Getinet., 2016).

دلیل کاجل رایز (۲۰۱۴) در یک تحقیق برای بررسی مداوم محیط های محافظت شده جانداران دریایی، داشتن داده های لحظه ای و قابل اعتماد را امری مهم دانست و برای دستیابی به این داده ها استفاده از سنجنده های الکترومغناطیسی را پیشنهاد داد. پارامترهای اکولوژیکی و اقیانوس شناسی که نشان دهنده تنوع زیست دریایی می باشند را می توان توسط سنجنده و با استفاده از امواج الکترومغناطیس مشخص و بصورت پایش زیستگاه های دریایی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و در انتها نتیجه گرفت که استفاده از داده های سنجنده در کنار داده های میدانی کمک شایانی به محیط زیست دریا می کند (Kachelriess et al., 2014).

بطور کلی پرتوها به دو گروه مکانیکی و مغناطیسی تقسیم می شوند. در استفاده از امواج مکانیکی و الکترومغناطیسی همواره محدودیت هایی از قبیل برد نفوذ امواج، سرعت، میزان پراکندگی آن، اثرات محیطی و غیره وجود دارد. امواج الکترومغناطیس بدلیل برد بلند، سرعت زیاد و داشتن طیف وسیعی از فرکانس (شکل ۱) دارای کاربردهای بیشتری نسبت به امواج مکانیکی در شناسایی اجسام می باشند (شادرویو و همکاران (۲۰۰۷)، گستره کاربرد وسیع آنها در رادارها، لیدار و سنجش از دور به اثبات رسیده است. امروزه می توان به کمک امواج الکترومغناطیسی در سطح و عمق زمین اجسام را از

وارد خطوط ساحلی آن ناحیه می شود که در صورت عدم برنامه ریزی دقیق می تواند باعث برهم زدن اکویست خط ساحلی شود لذا محققین در تلاش هستند تا بتوانند مسیر و نحوه حرکت این آلودگی ها را همواره تحت نظارت خود داشته باشند. یکی از روشهای موثر برای شناسایی و ردگیری اجسام در زیر آب، استفاده از انواع امواج می باشد. فینگاس (۲۰۱۹) در کتاب دنیای دریاها بیان می کند که سنجش از دور به ابزاری مهم برای مدیریت محیط زیست دریایی تبدیل شده است. در حال حاضر، محققان قادرند چندین جنبه مهم از محیط دریایی را از فضا ترسیم کنند. این شامل کلروفیل-a، شوری اقیانوس و دمای سطح دریا است. علاوه بر این، محققان می توانند از داده های ماهواره ای دریایی، مرجان ها، حرا، تالاب ها و حتی محیط های کم عمق اعماق دریا استفاده کنند. داده های ماهواره ای در حال حاضر محققین را قادر می سازد تا ارتفاع موج و جریان های اقیانوسی را تعیین کند. آنها برای ردیابی موجودات زنده از ماهی ها، نهنگ ها، لاک پشت ها و حتی پرندگان بزرگ استفاده می شوند همچنین او بیان کرد که سنجش از راه دور نشئت نفت به سرعت در حال توسعه است (Fingas., 2019).

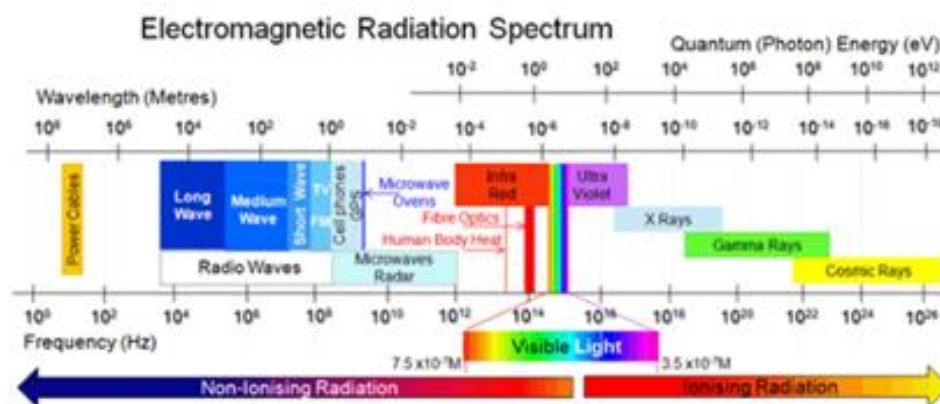
ویلیام اوپلت (۲۰۱۶) به استفاده های گذشته و فعلی فناوری های سنجش از دور می پردازد که از برنامه ریزی فضایی دریایی^۱ (MSP) و مدیریت یکپارچه منطقه ساحلی^۲ (ICAM) پشتیبانی می کنند. ماهواره و سنجش از دور نقش کلیدی در مطالعه محیط دریایی و ساحلی دارند. این مقاله ویژگی های سیستم های سنجش از دور برای مطالعه اقیانوس ها و به بررسی مناسب ترین فن آوری های حسگر پیشرفته برای مطالعه آلودگی های دریایی و سایر مخاطرات آن را مطرح می کند. در

² Integrated Coastal Area Management (ICAM)

¹ Maritime Spatial Planning (MSP)

آشکارسازی این امواج توسط سنجنده‌های گوناگونی از جمله ماهواره‌ها و پرنده‌های کنترل از راه دور محلی و در ارتفاعات مختلف انجام می‌گیرد. انواع ماهواره‌های بین‌المللی حامل سنجنده‌هایی مانند انواع سری لندست^۱ و یا مادیس^۲ می‌باشند که با چرخش به دور زمین عناصر سطح زمین را بر حسب فرکانس گسیلی (یا طول موج) جسم جاروب و مورد شناسایی قرار می‌دهند. علاوه بر سنسجش از دور می‌توان از ابزارهای میدانی و مدلسازی نیز برای سنسجش دریا استفاده نمود.

فواصل خیلی دور شناسایی و ردگیری نمود (Shadrivov et al., 2007). محققین به کمک این امواج می‌توانند سطح زمین را روزانه جاروب و علاوه بر شناسایی عناصر و تغییرات ژئوفیزیکی به شناسایی و ردگیری انواع آلودگی‌های دریایی مانند ردگیری و کنترل پساب کارخانه‌های صنعتی قیشت و همکاران (۲۰۱۳) و لکه نفتی المالک و همکاران (۲۰۰۵)، تشخیص نوع آلودگی نفتی توسط یانگ و همکاران (۲۰۲۰) و یا رصد رشد بی‌رویه جلبک کشند قرمز توسط کاردر و همکاران (۱۹۸۵) و ژائو و همکاران (۲۰۲۲) بپردازند.



شکل ۱. محدوده فرکانسی امواج الکترومغناطیس را نشان می‌دهد. محور بالا تقسیم بندی این امواج را بر حسب طول موج و محور پایین بر حسب بسامد نشان می‌دهد.

عکس، تحت نظارت) مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که بیشتر مطالعات، اطلاعات ماهواره‌ای را برای آشکارسازی زباله‌های دریایی با استفاده از حسگرهای نوری چند طیفی به کار می‌برند. تجزیه و تحلیل مکاتبات بر روی متغیرها نشان داد که سنجنده در ارتفاع پایین با وضوح فضایی بیشتر از ۳ متر با حسگرهای نوری با طول موجی در گستره (۴۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) بهترین ترکیب برای هدف قرار دادن زباله‌های دریایی

سالگادو و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی بر تکنیک‌های مورد استفاده برای تشخیص زباله‌های دریایی با استفاده از سنسجش از دور ارائه کردند. این مطالعات هم از نظر سکون^۳ (ماهواره، هواپیما، هواپیماهای بدون سرنشین)، حسگرها (غیرفعال یا فعال)، طیفی (مرئی، مادون قرمز، امواج میکروویو)، وضوح فضایی (> ۱ تا ۳۰ متر)، نوع و اندازه (ماکروپلاستیک، میکروپلاستیک) و هم انواع روش طبقه بندی (مشاهده، تفسیر

³ platform

¹ landsat

² modis

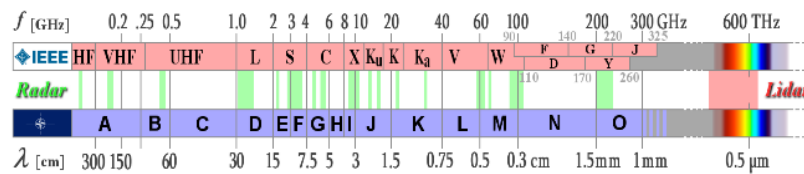
حرارتی (باند ۱۰، بهره بالا و باند ۱۱، بهره کم) با وضوح ۳۰ متر است که پراکندگی تابش مادون قرمز از سطح دریا را ثبت می کند. باند طیفی ۱۰ به دلیل ویژگی های بهره بالا انتخاب شد که وضوح رادیومتری مناسب تری (حساسیت) ارائه می دهد. در نهایت، ترکیب تصاویر حرارتی با نقشه های زمین شناسی، نقشه های دمای سطح دریا (SST) ایجاد شد (Athanasidou et al., 2020).

سایتو و همکاران (۲۰۱۱) یک مقاله مروری بر کاربردهای عملیاتی سنجنش از دور ماهواره ای (SRS) در شیلات ارائه کرد، که در آن دو مطالعه موردی انجام شده است. اولین مورد استفاده از سیستم های نظارت بر شناوری مبتنی بر ماهواره در ماهی گیری برای تعیین فعالیت ماهیگیری از روی سرعت کشتی توصیف می کند و مطالعه موردی دوم کاربرد اطلاعات سنجنش از دور را در تعیین تأثیر تغییرات آب و هوا بر مناسب بودن مکان برای پرورش ماهی را نشان می دهد (Saitoh et al., 2014).

تقسیم بندی امواج الکترومغناطیس بسته به مقدار انرژی و نوع کاربردشان متفاوت می باشد به طوریکه محدوده امواج رادیویی تا نور مرئی را امواج رادار و محدوده بعد از آن را لیدار می نامند. در طبقه بندی فرکانسی امواج الکترومغناطیس رادارها دارای فرکانس پایین و طول موج بلند می باشند که در شناسایی اجسام، بسیار پر کاربرد بوده و از آنها در بخش های مختلفی همچون تصویر برداری و شناسایی اجسام در صنعت، کاربردهای نظامی، فرودگاه ها، کشتیرانی، تصویر برداری در سطح دریا و همچنین هواشناسی استفاده فراوان می شود. در شکل (۲) محدوده امواج رادار بر اساس بسامد و طول موج به تفکیک نشان داده شد.

باشند، در حالی که ماهواره های حامل رادار حسگرها در گستره (۳/۱ تا ۵/۶ سانتی متر) ممکن است بتواند لکه های دریایی حاوی غلظت بالایی از میکروپلاستیک ها را شناسایی کنند (Salgado et al., 2021).

مین و همکارانش (۲۰۲۱) برای تشخیص کشتند قرمز که یکی از رایج ترین مخاطرات ساحلی است که باعث آسیب جدی به محیط زیست می شود از روشهای سنجنش از دور محلی استفاده کردند. بسیاری از سنسورهای ماهواره ای می توانند شکوفه های کشتند قرمز را تشخیص دهند، اما در تشخیص دقیق منطقه و فراوانی بیولوژیکی از نظر تفکیک فضایی و طیفی محدود هستند. وضوح فضایی و طیفی بالای داده های سنجنش از راه دور هوابرد ابرطیفی ممکن است به غلبه بر این محدودیت ها برای تجزیه و تحلیل موثرتر شکوفه های کشتند قرمز کمک کند. برای شناسایی کاربردهای بالقوه داده های هوابرد ابرطیفی در تشخیص کشتند قرمز، یک کارزار میدانی در سواحل کره جنوبی انجام شد. یک حسگر محلی بر روی یک هواپیما نصب و برای به دست آوردن تصاویر فراطیفی از یک منطقه ساحلی ۱۸ کیلومتری \times ۱۸ کیلومتری آزمایش شد. تجزیه و تحلیل داده ها به طور موثر توانست مناطق با کشتند قرمز را شناسایی کند (Min et al., 2021). آدنا سیاتو و همکارانش (۲۰۲۰) توانستند توسط سنجنش از دور حرارتی به ردیابی جریان های آب شیرین که به صورت زیر سطحی وارد دریا می شود را شناسایی و ردگیری کنند. هدف این کار این بود که جریان های آب شیرین را از طریق سنجنش از دور و با استفاده از ۸ تصویر حرارتی لندست مکان یابی کند. لندست ۸ شامل دو باند



شکل ۲. محدوده فرکانسی امواج رادار

که این میزان برد به پارامترهای فیزیکی محیط انتشار وابسته است. علاوه بر آن امواج در این مسیر دچار پراکندگی نیز می شوند و در نهایت در بیشینه‌ی برد خود جذب محیط می شوند اما عمق نفوذ امواج رادار در اجسام نارسانا زیاد می باشد به- طوریکه آب فاقد املاح به عنوان یک محیط نارسانا شناخته شده و برد امواج الکترومغناطیس در آن زیاد می باشد (Apel.,1987).

آبی که دارای املاح می باشد به معنی آب با کدورت بالا می- باشد و علاوه بر اینکه میزان املاح تعیین کننده خاصیت رسانندگی هستند بلکه در جذب و پراکندگی امواج نیز تاثیرگذار خواهند بود. وجود این املاح و نمک در آب دریا باعث می شود که محیط دریا خاصیت رسانایی پیدا کند، هرچه میزان املاح و نمک دریا بیشتر باشد خاصیت رسانندگی در آن دریا نیز بیشتر می گردد و عبور امواج الکترومغناطیسی به داخل آن نیز به همان نسبت کاهش یافته و نفوذ امواج به داخل آن کمتر می گردد. در سال های اخیر تحقیقات فراوانی در ارتباط بین کدورت و میزان رسانایی آب انجام شده است. در تحقیقی بونین و همکارانش (۲۰۱۱) نشان دادند که وجود مواد و املاح که باعث شوری و کدورت آب دریا می شود در دریافت تصاویر ماهواره تاثیرگذار بوده و تصاویر دریافتی از آب دریا همواره بدلائیل فیزیکی مانند پدیده های جذب و انعکاس و پراکندگی دارای عدم وضوح کافی می باشند. از طرفی از آنجا میزان املاح دریاها با یکدیگر تفاوت دارد لذا میزان نفوذ امواج

برد و نفوذ امواج الکترومغناطیس بر اساس میزان رسانندگی اجسام متفاوت می باشد بطوریکه در اجسام نارسانا میزان برد بینهایت و در اجسام رسانای خوب مانند فلزات در حد میکرون و کمتر از آن می باشد و موج پس از برخورد با جسم رسانا منعکس می شود. در حقیقت با افزایش خاصیت رسانندگی مواد، ضریب شکست (نفوذ) موج کاهش و ضریب انعکاس پرتو افزایش می یابد. این ضریب در مورد اجسام رسانا تقریباً صد در صد است (Apel.,1987). ریتز و میلفورد (۲۰۰۸) نیز بیان کرد که امواج الکترومغناطیس بسته به فرکانس شان دارای برد مخصوص به خود می باشند و در مواد نارسانا بخوبی نفوذ می کنند ولی این امواج قادر به نفوذ در اجسام رسانا نمی باشند و هر چه رسانایی جسم بیشتر باشد نفوذ آنها کمتر می شود بطوریکه با برخورد به اجسام با رسانایی بالا همانند نقره کاملاً انعکاس پیدا کرده و توانایی نفوذ به داخل جسم را ندارند (Reitz et al.,2008).

امواج الکترومغناطیس گسیلی از اجسام موجود در سطح زمین با کمترین تغییر در میزان انرژی شان به آشکارساز می رساند لذا تصاویر دریافتی از این سنجنده ها دارای کیفیت قابل قبولی خواهند بود ولی مشکل این امواج از آنجا آغاز می گردد که موج به هنگام ورود به محیطی شفاف دچار تضعیف یا انعکاس می شود. اگر محیط شفاف آب باشد در نفوذ این امواج به داخل آب بخشی از موج در فصل مشترک هوا و آب دچار انعکاس شده و بخش دیگری شکسته و تا عمق مشخصی نفوذ می کند

دارد (Bhargava & Mariam., 1992).
 خوستیانو و همکاران (۲۰۱۹) برای نفوذ امواج در دریاهایی با شوری بیشتر می توان از امواجی با فرکانس کوتاه تر استفاده کرد و یا اگر میزان شوری آب دریا کم باشد امکان نفوذ امواج با فرکانس بالاتر نیز وجود دارد (Kostianoy et al., 2019).
 در اولی بدلیل پایین بودن انرژی این امواج باید از سنجنده هایی در فواصل نزدیک به دریا استفاده شود همانند استفاده از پرند های محلی که برای رصد دریای عمان و خلیج فارس قابلیت بکار گیری دارند و در دومی می توان از امواج الکترومغناطیس با بسامد بالا برای نفوذ در دریاهایی با شوری کمتر استفاده کرد که در این روش استفاده از سنجنده های موجود در جو زمین پیشنهاد می شود، از این روش می توان برای رصد دریاهای کم نمک مانند دریای کاسپین یا رودخانه های آب شیرین استفاده کرد. از این نوع سنجنده ها می توان به رصد هر محیط کم نمک مانند یخچالها و دریاهای مجاور قطبها بدلیل آب شدن یخ و کاهش شوری نیز استفاده کرد. اگر یخچال های قطبی را جزئی از دریا بحساب آوریم نفوذ به درون یخچال ها بدلیل نداشتن املاح امری شدنی و روشی ایده ال برای سنجش آنها می باشد. در تحقیقی بوسان و همکارانش به بررسی نفوذ موج رادار در یخ پرداختند، نتایج نشان داد که موج رادار می تواند در یخ های قطبی بیش از ۶ متر نفوذ کند، در نتیجه می توان از روش های رادار برای شناسایی و طبقه بندی انواع یخ نیز استفاده کرد (Sun et al., 2003). عوامل فیزیکی تاثیر گذار در رسانندگی دریاهای توسط پارامتر ضریب رسانندگی تعریف می شود که با عمق آب مقدار آن تغییر می کند و معمولا دریا را لایه بندی کرده و مقدار متوسط آن را برای هر لایه در نظر می گیرند. این ضریب بدلیل تغییر در میزان املاح آب و سایر پارامترهای فیزیکی در نظر گرفته می شود. درحقیقت املاح علاوه بر آنکه می تواند باعث جذب و همچنین پراکندگی امواج

نیز می تواند نسبت به یکدیگر متفاوت شود (Bonin et al., 2011).
 رایموندو و همکارش (۲۰۱۰) در یک تحقیق بر روی آب دریاها ثابت کردند که هرچه رسانندگی حاصل از شوری بدلیل وجود یون کلر در نمک دریا کمتر باشد عمق نفوذ امواج الکترومغناطیس در آن بیشتر می گردد ولی حتی در این آبهای کم نمک نیز بدلیل رسانندگی جزئی با ورود امواج به داخل آب در اثر جذب انرژی و پراکندگی بوجود آمده در اثر برخورد با املاح عمق نفوذ کوتاه می باشند (Raimondo & Corchs., 2010). هرمود و همکارش (۱۹۹۲) به بررسی چگالی جریان و اثرات عامل یونیزاسیون مواد موجود در آب دریا پرداخت و نشان داد که میزان نمک در ایجاد مقادیر یون موثر و عامل افزایش رسانندگی می شود. وجود نمک و یونیزاسیون آن در دریا باعث تشدید رسانندگی آب می شود که مانع از نفوذ امواج به داخل آن خواهد شد. در بررسی محاسبه میزان نفوذ امواج الکترومغناطیس دو چالش مهم یکی شوری آب دریاها که نسبت به املاح درون آن تعیین می گردد و دیگری میزان نفوذ پرتوها که بیانگر انرژی آنها می باشد، پرداخته و محاسبات لازم انجام می گیرد (Harmuth & Hussain., 1992).
 خررم (۱۹۸۵) توسط سنجنده MSS برای پارامترهای شوری، تیرگی و مواد معلق در خلیج سان فرانسیسکو مدل ارزیابی ارائه نمودند و بیان کردند که یک همبستگی قوی بین شوری و تیرگی آب وجود دارد به طوری که هرچه آب شورتر باشد تیرگی آن نیز بیشتر است، همخوانی دارد (KHORRAM., 1985). علاوه بر آن برگاوا و مریم (۱۹۹۲) تاثیر توام شوری و رسوبات را بر انعکاس طیفی آب در آزمایشگاه مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که میزان بازتاب با غلظت رسوبات نسبت مستقیم و با شوری نسبت عکس

برابر تغییر دما مورد مطالعه قرار داد. این بررسی بر اساس اطلاعات جمع آوری شده در گشت دریایی ROPME در سال ۲۰۰۱ میلادی، انجام شد و بررسی‌ها نشان دادند که در برخی از ایستگاه‌ها، اغتشاشات شدیدی در مقادیر ثابت دی الکتریک وجود دارد که حاکی از وجود یک توده آبی با ویژگی‌های متفاوتی نسبت به توده اصلی است، همچنین در برخی از ایستگاه‌های ساحلی نیز رفتار متضادی برای این کمیته‌ها مشاهده شده است (Mohseni & Lari., 2008).

با آنکه میزان تغییرات ضریب رسانندگی به میزان شوری و دمای آب دریا وابسته است ولی این میزان تا یک عمق خاصی ثابت می‌باشد بطوریکه با حرکت در عمق اگر تغییر در این پارامتر اندک باشد می‌توان رسانندگی را برای آن لایه ثابت در نظر گرفت و متوسط رسانندگی در عمق‌های مختلف را جایگزین آن کرد. در تحقیقی که نوروزی و آراسته بر روی خلیج فارس انجام دادند با در نظر گرفتن خواص الکتریکی و مغناطیسی آب خلیج فارس به این نتیجه رسیدند که آب تا عمق ۷۰ متری از سطح، دریا دارای شوری یکنواخت و ثابتی بوده که در نتیجه ضرایب رسانندگی برای این لایه یکسان است. همچنین آنها نشان دادند که تنگه هرمز نسبت به قسمتهای دیگر دریای عمان دارای شوری کمتری بوده و مناسب برای استفاده از امواج الکترومغناطیس می‌باشد (Norozi & Mohseni., 2008). در تحقیق‌های انجام شده اکثراً مقادیر محاسبه شده به دلیل در نظر نگرفتن مقادیر واقعی و استفاده از میانگین گیری ضرایب به محاسبه عمق پرداختند ولی در این تحقیق برای بدست آوردن مقدار دقیق عمق نفوذ امواج الکترومغناطیس در آب دریا علاوه بر بررسی امواج کوتاه و بلند از میزان متوسط ضرایب رسانندگی همانند تحقیق قریشی و همکارانش (۲۰۱۶) و یا متوسط گیری شوری دریا مانند تحقیق آراسته (۱۳۸۶) استفاده نشده و به تعیین دقیق میزان رسانندگی در نقاط مختلف دریا بر

الکترومغناطیسی شوند می‌توانند با تغییر ضریب دی الکتریک در دریاها (نسبت به عمق آن) از کیفیت امواج گسیلی و انعکاسی بکاهند و در نتیجه موج برگشتی به آشکارساز از وضوح خوبی برخوردار نباشد. سوماراجو و ترامپ (۲۰۰۶) با ارایه یک مدل فیزیکی، شبیه به آنچه که در فیزیک پلاسما استفاده می‌شود، برای تغییر مقدار ثابت دی الکتریک آب با فرکانس و شوری-های مختلف مدلی در توافق با مقادیر تجربی موجود برای محدوده فرکانسی بین ۱ تا ۲۵۶ گیگاهرتز طراحی کردند و از آن برای مطالعه انتشار امواج الکترومغناطیسی در آب دریا استفاده شد (Somaraju & Trumpf., 2006). قریشی و همکارانش (۲۰۱۶) در یک تحقیق برای دستیابی به عمق نفوذ امواج رادار به داخل آب و ارتباط آن با میزان رسانندگی در بررسی‌های خود از مقادیر متوسط رسانندگی استفاده کرده اند و مقدار نفوذ امواج را در یک محیط آزمایشگاهی با افزودن ناخالصی به آب تعیین کردند. مقادیر رسانندگی برای آب‌های مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است (Qureshi et al., 2016).

جدول ۱. مقادیر متوسط رسانندگی دریاها بر حسب (1/s)

نوع آب	مقادیر رسانندگی متوسط δ
آب شرب	$0 \leq \delta < 1$
آب رودخانه	$1 \leq \delta < 2$
آب دریا	$\delta \geq 2$

یکی دیگر از عوامل تاثیر گذار بر ضریب رسانندگی و ثابت دی الکتریک دمای آب دریا می‌باشد، در یک تحقیق توسط آراسته (۱۳۸۶)، نحوه تغییرات ثابت دی الکتریک آب‌های مناطق مختلف خلیج فارس نسبت به دما مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. برای این منظور، شوری آب خلیج فارس را با مقدار میانگین ppt ۳۶ در نظر گرفته و رفتار ثابت دی الکتریک را در

جدول ۲. اطلاعات بکار گرفته شده در رابطه های ۱، ۲ و ۳

$\sigma(25, s)$	محاسبه رسانندگی در دمای مرجع و شوری متفاوت
$\beta = \beta(\Delta, S)$	محاسبه شوری در دماهای متفاوت و شوری مرجع
Δ	تصحیح دمایی نسبت به دمای مرجع
$\sigma_s(T, s)$	محاسبه رسانندگی در دما و شوری مختلف
$T(C^0)$	دمای لایه دریا
$S(psu)$	شوری لایه دریا

دریاچه خزر در شمال ایران واقع شده است و توسط چند رود تغذیه می شود (شکل ۴). این دریا که گاهی بزرگ ترین دریاچه جهان و گاهی کوچک ترین دریای خودکفای کره زمین طبقه بندی می شود، بزرگ ترین پهنه آبی محصور در خشکی است. طول آن حدود ۱۰۳۰ تا ۱۲۰۰ کیلومتر و عرض آن بین ۱۹۶ تا ۴۳۵ کیلومتر است. سطح دریای خزر در حدود ۲۸ متر پائین تر از سطح دریاهای آزاد است. وجود تنوع دمایی در سطح دریای کاسپین می تواند بر برد امواج تاثیر گذار باشد (افضلی ۱۳۸۴). منصوری و همکارانش (۱۳۹۴) میزان شوری و تغییرات دمایی سطح دریای خزر را در بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۷ بررسی کرده و گستره تغییرات شوری آنرا بین ۱۲/۵ psu تا ۱۳/۲ psu (شکل ۴) و تغییرات دمایی بین ۱°C تا ۲۹°C (شکل ۵) بدست آوردند (Mansoury et al., 2015) همچنین تحلیل تغییرات دمایی این دریا توسط وثوقی و همکاران (۱۴۰۱) نیز به بررسی تغییرات دمایی سطح دریای خزر پرداختند و نشان دادند که تغییرات دمایی در یک بررسی ده ساله در حوضه شمالی ناچیز و در حوضه میانی نسبتاً محسوس و در حوضه جنوبی معنی دار است (Vosoughi et al., 2022).

حسب تغییرات دما و شوری محیط پرداخته شد. این روش توانایی محاسبه میزان عمق برای هر بسامد تا مقدار کوچکتر از میلیمتر را دارد. با این کار می توان به بررسی و ردگیری آلودگی در سطح و زیر سطح دریا بر اساس میزان نفوذ آلودگی در آب پرداخت.

۲. روش تحقیق

رسانندگی در دریا خود نیز به دو عامل دما و شوری محیط دریا بستگی دارد که این وابستگی از نوع خطی نبوده و روابط آن به صورت زیر قابل بیان است (Apel., 1987).

$$\sigma(25, s) = s[0.182521 - 1.46192 \times 10^{-3}s + 2.09324 \times 10^{-5}s^2 - 1.28205 \times 10^{-7}s^3] \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \beta = \beta(\Delta, S) &= 2.033 \times 10^{-2} + 1.266 \times 10^{-4}\Delta + 2.464 \times 10^{-6}\Delta^2 - \\ &S(1.849 \times 10^{-5} - 2.551 \times 10^{-7} + 2.551 \times 10^{-7}\Delta + 2.551 \times 10^{-8}\Delta^2) \end{aligned} \quad (2)$$

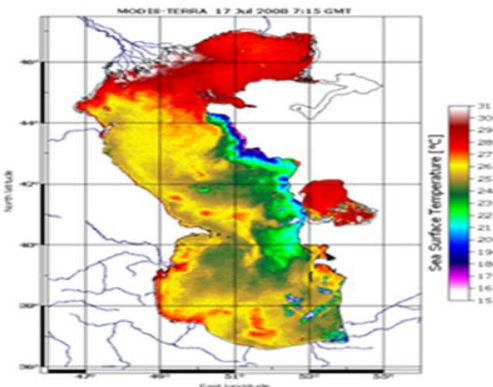
$$\sigma_s(T, s) = \sigma(25, s)e^{-\beta\Delta} \quad (3)$$

$$\Delta = 25 - T$$

در رابطه (۱) میزان رسانندگی ($\sigma(25, s)$) در یک دمای مرجع (در اینجا ۲۵ درجه سانتیگراد) و بر حسب مقادیر شوری محاسبه شده و در رابطه (۲) این مقادیر برای دماهای مختلف اصلاح می گردد (β) و در نهایت توسط رابطه (۳) میزان رسانندگی ($\sigma_s(T, s)$) محاسبه می شود. اطلاعات مربوط به این روابط در جدول ۱ آمده است.

بیشترین تاثیرپذیری دریای کاسپین از آب شیرین رودخانه ولگا در قسمت شمالی آن می‌باشد. در بخش جنوبی آن نیز وجود چندین رودخانه مانند سفیدرود و بهمن رود باعث ایجاد تغییرات شوری و دمایی در آن محدوده می‌شوند همچنین وجود آب و هوای سرد سبیری در قسمت شمالی باعث بوجود آمدن تنوع دمایی در همه قسمتهای آن می‌شود.

برای یافتن میزان رسانندگی، بر اساس روابط (۱) تا (۳) به پارامترهای دما و شوری سطحی نیاز است، برای یافتن داده‌های دمای سطحی (SST^1) و شوری سطحی (SSS^2) دریا می‌توان از روشهای مختلفی مبتنی بر استخراج داده‌های ماهواره‌ها و یا داده برداری میدانی توسط تجهیزات دریایی استفاده نمود (Jamshidi & Abu Bakar., 2010). شکل (۳) دمای سطحی دریای کاسپین را برای روز هفدهم ماه جولای که توسط سنجنده مادیس در سال ۲۰۰۸ گرفته شده نشان می‌دهد. در این تصویر مکان رودخانه‌های متصل به دریا و تنوع پوشش دمای سطحی در نقاط مختلف با تغییرات دمایی ۱۶ درجه‌ای در سطح دریاچه قابل مشاهده می‌باشد. این مقادیر در ماه‌های مختلف نیز تغییر می‌کنند (caspinfo.net).



شکل ۴. دمای سطحی دریای خزر و رودخانه‌های متصل به آن حاصل از سنجنده مادیس در روز هفدهم ماه جولای (NOAA, 2008)

دریای عمان با شکل مثلثی بین کشورهای ایران، عمان و پاکستان قرار دارد، بخش کوچکی از کشور امارات نیز به این دریا راه پیدا می‌کند. حداکثر طول آن از شمال غرب تا جنوب شرق ۹۵۰ کیلومتر و حداکثر پهنای آن از شمال شرق تا جنوب غرب حدود ۳۴۰ کیلومتر است (رضایی آسیابر، ۱۳۹۴). حداکثر دمای سطح آب در مردادماه به ۳۲ درجه و حداقل دمای آن در دیماه به ۱۹/۸ درجه سلسیوس می‌رسد (صفرقلی و همکاران، ۱۳۹۴). تبادل آب در این دریا عموماً از سه طریق صورت می‌پذیرد، بدین صورت که آبهای سطحی و با شوری کمتر اقیانوس هند از قسمتهای شمالی دریای عمان به آن راه می‌یابند، از طرفی آبهای با شوری و چگالی بالای خلیج فارس از بستر تنگه هرمز وارد قسمت جنوبی این دریا می‌شوند، آبهای با شوری ملایمتر خلیج فارس نیز در قسمتهای سطحی جنوب دریای عمان جریان می‌یابند (Johns et al., 1999).



شکل ۳. تصویر مثلثی شکل دریای عمان که از یک طرف به خلیج فارس و از طرف دیگر به دریای عرب متصل می‌باشد.

دریای عمان دارای دما و شوری بیشتری نسبت به دریای کاسپین می‌باشد. میزان شوری و دمای آب دریای کاسپین به دلیل سرریز شدن آب رودخانه‌ها (شکل ۴) به داخل آن در مناطق مختلف و همچنین در فصول مختلف دچار تغییر می‌شود.

² Sea surface Salinity

¹ Sea surface temperature

دمای سطحی دریای عمان در ماه های خرداد تا شهریور اندکی بیشتر از سایر ماه ها می باشد ولی تغییرات شوری آن نظم مشخصی نداشته بطوریکه بیشینه شوری متعلق به خرداد ماه و کمینه آن مربوط به ماه فروردین است. از آنجا که دریای عمان تحت تاثیر دریای عرب و خلیج فارس می باشد لذا جدای از تغییرات دمایی ناشی از تغییر فصول (Rao & Sivakumar.,2000) تحت تاثیر دریا های مجاور خود نیز خواهد بود از جمله موارد تاثیر گذار بر دما و شوری دریای عمان جابجایی توده آب در تنگه هرمز با خلیج فارس (Prasad et al.,2001) و حضور دو مانسون فصلی تابستانه و زمستانه از دریای عرب (Khan et al.,2021) و پدیده فراجوشی در سواحل شمالی دریای عمان (Izumo et al.,2008; Trott et al.,2017) می باشد.

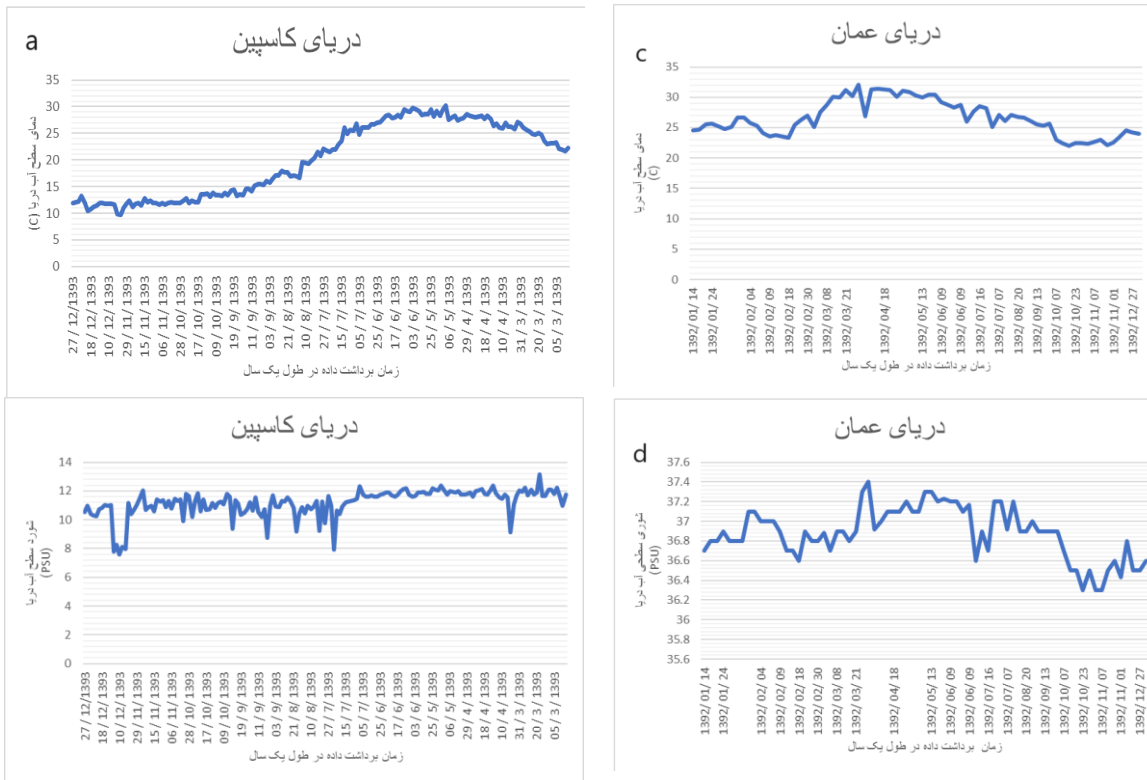
۳. اندازه گیری، مشاهده و محاسبه

محاسبه دقیق برد امواج رادار نیازمند داشتن میزان رسانندگی در نقاط مختلف دریا می باشد، در روابط (۳ تا ۱) میزان رسانندگی بر اساس تغییرات دما و شوری آب دریا بدست آمده و در انتها با جایگذاری آن در رابطه (۴) می توان میزان عمق نفوذ امواج را محاسبه کرد (Apel.,1987).

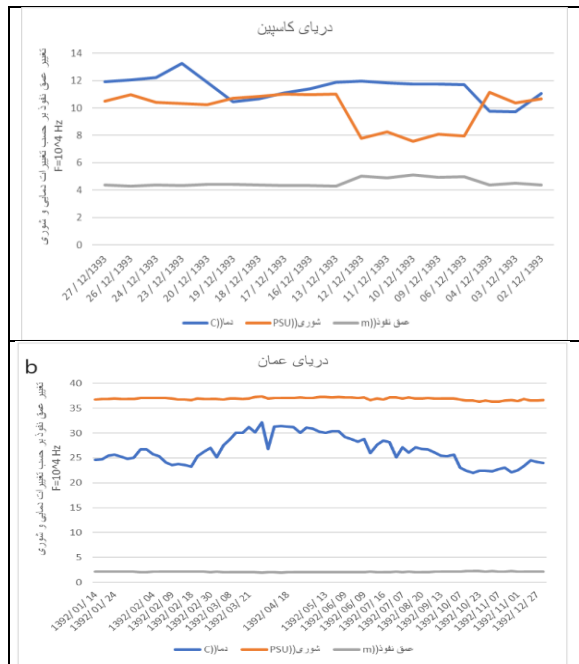
$$\delta = \sqrt{(2/\mu \times \sigma \times \omega)} \quad (4)$$

که در این رابطه δ عمق نفوذ بر حسب متر، μ ثابت تراوایی مغناطیسی، σ رسانندگی دریا و ω بسامد زاویه ای موج می باشد.

داده های میدانی از دقت بیشتری نسبت به تصاویر ماهواره ای برخوردار می باشند. در این تحقیق از داده های میدانی موجود برای ایستگاه های نوشهر و چابهار استفاده شده است. این داده ها مربوط به سالهای ۹۲ و ۹۳ و در موقعیت جغرافیایی نوشهر (36°, 38', 22.28'' N و 51°, 32', 50.96'' E) و چابهار (25°, 16', 43.9'' N و 60°, 39', 5.8'' E) بطور روزانه جمع آوری شده است. از آنجا که دریا های ایران در شمال و جنوب دارای تغییرات دمایی در سطح و شوری متفاوت می باشد لذا باید میزان نفوذ امواج رادار در آنها نیز متفاوت باشد (Norozzi & Mohseni.,2008). بر اساس داده های روزانه مرکز ملی اقیانوس شناسی در سال ۱۳۹۳ در نوشهر دمای سطحی دریاچه خزر در محدوده (۷/۴۸ تا ۳۰/۲۴) سانتی گراد و شوری آن psu (۷/۹ تا ۱۲/۲۲) می باشد همچنین بر اساس داده های سال ۱۳۹۲ این مرکز دریای عمان در ایستگاه چابهار به ترتیب دارای دما و شوری (۳۴ تا ۲۱) سانتی گراد و (۳۶/۳ تا ۳۷/۴) psu است. در این تحقیق با بررسی پارامترهای مورد نیاز رابطه ی ۳ به محاسبه دقیق میزان برد امواج الکترومغناطیس در دریاچه خزر و عمان پرداخته و نتایج با یکدیگر مقایسه گردید. پس از استخراج داده های یکساله نمودارهای تغییرات دما و شوری سطحی دریای عمان و دریاچه خزر رسم گردید (شکل ۵). این نمودارها حاوی فراز و فرود فراوان بوده که نشان از تغییرات شوری و دمایی در بازه زمانی یکساله می باشند و بر این اساس دمای سطحی دریای کاسپین از خرداد تا مرداد روندی افزایشی داشته و سپس با یک شیب ملایم از مقدار آن کاسته می گردد بطوریکه کمینه دمای ثبت شده مربوط به ماه اسفند است. شوری سطحی این دریا به جز در روزهای خاص که نشان از یک رخداد لحظه ای است، دارای تغییرات اندکی می باشد بطوریکه در طی حرکت از خرداد تا اسفند کمی کاهش می باشد.



شکل ۵. نمودار تغییرات سالانه دما و شوری سطحی دریای خزر (سال ۱۳۹۳) و دریای عمان (سال ۱۳۹۲)



شکل ۶. گستره تغییرات دما و شوری نسبت به عمق نفوذ امواج الکترومغناطیس در

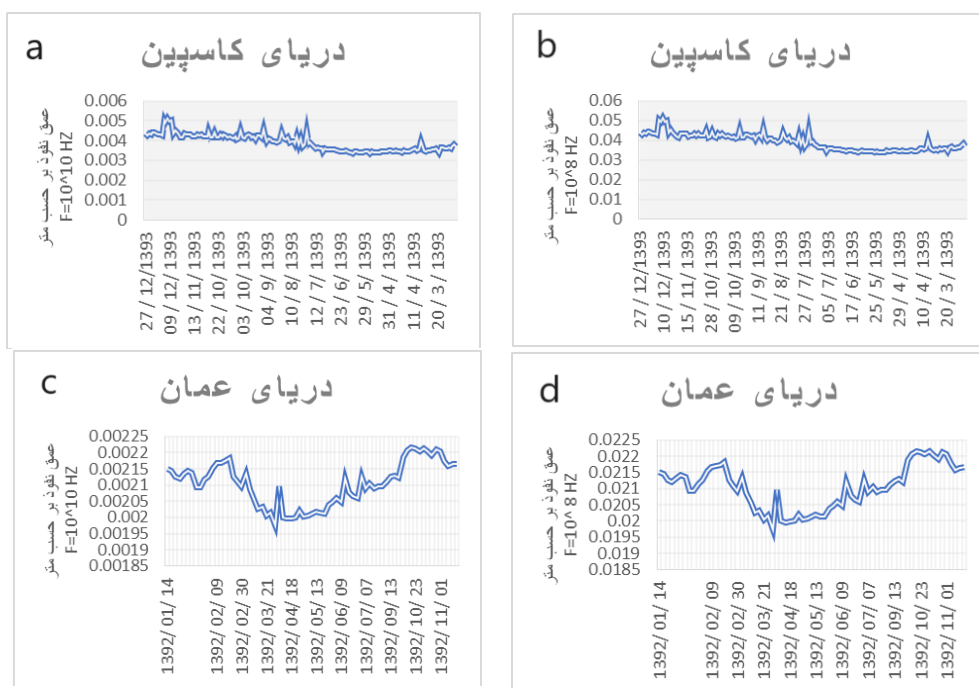
فرکانس ۱۰.۴ هرتز

با توجه به نمودارهای شکل (۶) تغییرات شوری سالانه دریا در بندر چابهار در سال ۱۳۹۲ بسیار جزئی و در محدوده ۳۶ psu ولی در بندر نوشهر دریای کاسپین بسیار متغیر و در محدوده ۶/۸ تا حدود ۱۲ psu در فصول مختلف تغییر داشته است. همچنین تغییرات دمایی در هر دو دریا دارای نوسان بوده بطوریکه بیشینه آن به ترتیب برای بندر چابهار در دریای عمان [۳۲، ۲۲/۱] و در بندر نوشهر [۱۳/۲۷، ۱۰/۳۲] درجه سانتی گراد می باشد. وقتی پرتو الکترومغناطیس با بسامد 10^4 Hz انتخاب گردید محاسبات برد در دریای عمان در طول یک سال مقدار ثابت ۲ متری و برای بندر نوشهر ۴/۲ تا ۵ متر نشان داد. در بندر نوشهر در زمانهایی که شوری دریا کاهش پیدا کرد میزان برد افزایش نشان داد.

تا سه برابر دریای عمان می باشد ولی این نسبت در فرکانسهای پایین کمتر می شود.

در شکل ۷ بیشینه عمق نفوذ برای فرکانسهای بالا در بندر نوشهر دریای کاسپین در دمای $11/76^{\circ}C$ و شوری $7/59$ psu مربوط به ماه اسفند و کمینه آن با دمای $29.42^{\circ}C$ و شوری psu $12/19$ مربوط به ماه شهریور است. همچنین بیشینه عمق نفوذ امواج درون بندر چابهار دریای عمان مربوط به ماه دی با دمای $22^{\circ}C$ و شوری $36/5$ psu و کمینه آن مربوط به ماه خرداد با دمای $32/1^{\circ}C$ و شوری $37/4$ psu می باشد.

محدوده امواج رادار و فروسرخ از مرتبه 10^4 Hz تا 10^{14} Hz می باشد (شکل ۳ و ۲) که از امواج رادیوی بلند شروع شده و در انتها به امواج مرئی متصل می شوند (شکل ۲). با دانستن مقادیر بسامد و محاسبه رسانندگی (رابطه ۳) می توان توسط رابطه (۴) به عمق نفوذ این امواج با دقت بالایی دست یافت. مقادیر محاسبه شده در محدوده فرکانس های انتخابی و با در نظر گرفتن گستره تغییرات دمایی و شوری در نمودارهای شکل (۷) نشان داده شد. در حالت کلی برد نفوذ امواج رادار درون دریای کاسپین به دلیل تغییرات شوری و دمایی در فرکانس های بالا دو



شکل ۷. میزان عمق نفوذ امواج رادار در فرکانسهای 10^{10} Hz و 10^8 Hz در یک دوره یک ساله نشان می دهد.

عمق نفوذ چند متری در دریای عمان و دریاچه خزر می باشند و می توان از آنها برای شناسایی اجسام در این عمق استفاده کرد. جدول ۳ میزان نفوذ امواج رادار با فرکانس 10^4 Hz و جدول ۴ برای فرکانس 10^2 Hz را نشان می دهد. در این شرایط برد

۴. بحث

استفاده از امواج رادار با فرکانس بالا برای دریای عمان و خزر بدلیل میزان نفوذ بسیار اندک و کمتر از یک سانتی متر مناسب نمی باشد، در مقابل امواج رادار با گستره فرکانسی پایین دارای

امواج در هر دو دریا از مرتبه چند متر تا چند ده متر افزایش می یابد.

جدول ۳. برد امواج رادار بر حسب متر با فرکانس رادیویی کمینه در ماه های اسفند و شهریور در چهار روز اول داده برداری

f=10 ⁴ Hz			
اسفند		شهریور	
دریای کاسپین	دریای عمان	دریای کاسپین	دریای عمان
۴/۳۸	۲/۱۷	۳/۵۵	۲/۰۴
۴/۳۴	۲/۱۶	۳/۵۴	۲/۰۵
۴/۴۳	۲/۱۶	۳/۵۴	۲/۰۶
۴/۴۱	۲/۱۷	۳/۵۱	۲/۰۵

رسیدن به بردی در محدوده چند ده متر برای محققین دریایی بسیار سودمند است. بطوریکه از آنها می توان در سنجنده های محلی همانند پهپادها به بررسی و شناسایی اجسام زیر آب پرداخت. بررسی لایه سطحی آب دریا همراه رصد بخش اعظم لایه آمیخته آنهم به صورت لحظه ای برای ردگیری انواع آلودگی های زیستی و غیرزیستی همانند آلودگی های نفتی و پساب تاسیسات آب شیرین کن که آب نمک غلیظ شده آنها می تواند لایه های سطحی و پایینی دریا را درگیر کند بسیار حائز اهمیت می باشد. از آنجا که امروزه استفاده از آب شیرین کن - های دریایی یک روش برون رفت از مشکل کم آبی در مقیاس های بزرگ می باشد و کشورهای زیادی به واسطه این تکنولوژی بخش زیادی از آب شرب خود را تامین می کنند. یکی از قسمتهایی که تاسیسات آب شیرین کن بسیاری دارد کشورهای حوزه خلیج فارس و دریای عمان می باشند (Falkenberg & Styan.,2015). امروزه بیشترین تعداد آب شیرین کن های دریایی در محدوده دریای عمان و خلیج فارس ساخته شده است و دولتها سعی در افزایش تعداد آنها دارند و این درحالی است که صدمات حاصل از تاسیس و همچنین

خروجی پساب این تاسیسات می تواند به محیط زیست منطقه آسیب های جدی وارد کند از جمله مهمترین این آسیبها می توان از اثر حرارت و شوری بسیار بالای پساب خروجی در تکنیک های مختلف شیرین سازی نام برد این پساب ها معمولا علاوه بر شوری دارای آلاینده های صنعتی ناشی از خود تاسیسات نیز می باشند که در بلند مدت به زیست بوم دریا آسیب وارد می کنند این پساب ها علاوه بر سطح می تواند در لایه های زیرین آب نفوذ کرده و بستر دریا را آلوده سازند هرچند در زمان تاسیس نحوه پخش و اثر گذاری پساب مشخص می شود ولیکن این وظیفه نهادهای حفاظتی محیط زیست می باشد که در راستای صحت سنجی و همچنین احتمال تغییرات روند پخش در بلند مدت همواره برای محافظت زیست بوم منطقه به رصد و پایش روزانه الگوی خروج پساب های صنعتی در دریا و پایش لحظه ای روند پخش شان بپردازد این امر می تواند ضامن سلامت دریا و سواحل آن باشد (اردشیری ۱۳۹۵؛ آنگک و همکاران ۲۰۱۵). برای این کار علاوه بر داده برداری میدانی که معمولا محدود به یک وسعت محلی از سطح و عمق دریا می باشد می توان با استفاده از امواج رادار بصورت روزانه تا عمق حدودا ۱۹ متری دریای عمان را در وسعت پایش نمود. با تغییر میزان دما و شوری عمق نفوذ پرتو الکترومغناطیس دچار تغییر می شود بطوریکه با افزایش شوری حاصل از پساب این میزان نفوذ کاهش چشمگیر پیدا کرده که بر این اساس قابل طبقه بندی و شناسایی می باشند.

بر اساس جدول ۴ بیشینه برد امواج الکترومغناطیسی برای دریای کاسپین در اسفند ماه و برابر با ۵۱ متر و برای دریای عمان این بیشینه برابر با ۲۲/۱ متر برای فرکانس ۱۰۰ هرتز بدست آمد همچنین ارتباط معنی داری بین افزایش هر دو عامل دما و شوری با افزایش برد در این فرکانس دیده می شود. با استفاده از این

رخ دهد. از مهمترین فناوری شیرین سازی می توان به روش اسمز معکوس^۱ اشاره کرد (تارناکی ۲۰۱۲). بیشترین گرایش در سالهای اخیر استفاده از روش اسمز معکوس می باشد که با آنکه بازده بالایی دارد ولی پساب خروجی آن شوری بیشتری نسبت به سایر روش ها دارد. میزان افزایش نمک در دهانه خروجی پساب به داخل دریا در استفاده از فناوری اسمز معکوس به ۲ تا سه برابر غلظت نمک آب دریا می رسد که می تواند برای محیط زیست منطقه خطر آفرین باشد (اینیو، ۲۰۰۳). از آنجا که درحال حاضر روش اسمز معکوس نسبت به سایر روش ها پیشرو می باشد با فرض احداث یک آب شیرین کن از نوع اسمز معکوس در ساحل چابهار با خروجی پساب با غلظت نمک دو برابری (فرضی) آب دریای عمان که بیشترین شوری ثبت شده دریا در سال ۱۳۹۲ (شکل ۵.d) برابر با ۳۷/۴ و ۳۶/۳ psu می باشد به بررسی میزان نفوذ پرتو با فرکانس ۱۰۰ Hz در شرایط شوری دریا و شوری پساب محاسبه و در جدول ۵ ثبت گردید.

جدول ۵. مقایسه برد امواج الکترومغناطیس در پساب خروجی آب شیرین کن و آب دریا

برد امواج (m)	فرکانس اموج (Hz)	دما (C ⁰)	شوری (psu)
۱۹/۷۵	۱۰ ^۲	۳۲/۱	۳۷/۴
۴/۰۸	۱۰ ^۲	۳۲/۱	۷۴/۸
۲۲/۱۴	۱۰ ^۲	۲۲/۳	۳۶/۳
۴/۵۳	۱۰ ^۲	۲۲/۳	۷۲/۶

شوری های ۷۴/۸ و ۷۲/۶ بر اساس فرض شوری دو برابری پساب خروجی کارخانه فرضی محاسبه گردید. همانطور که در جدول ۵ دیده می شود اختلاف فاحش و قابل قبولی بین برد

فرکانس در دریای عمان می توان هر نوع آلودگی دریایی تا عمق حدودا بیست متر را مورد رصد و پایش قرار داد. برای اینکار می توان از سنجنده های محلی همانند پهبادها استفاده کرد که از جنبه محیط زیستی بسیار حائز اهمیت می باشند.

جدول ۴. بررسی ارتباط بین بیشینه دما و فشار روزانه با میزان برد امواج با فرکانس صد هرتز

f=۱۰ ^۲ Hz					
	Max	T(C)	P(psu)	δ (m)	Data
دریای کاسپین	بیشینه برد	۱۱/۷۶	۷/۵۹	۵۱/۰۹	۱۳۹۳/۱۲/۱۰
	بیشینه دما	۳۰/۲۴	۱۱/۷۶	۲۳	۱۳۹۳/۰۵/۱۸
نوشهر	بیشینه فشار	۲۹/۴۵	۱۲/۱۱	۳۳/۸۰	۱۳۹۳/۰۵/۱۹
	بیشینه برد	۲۲/۳	۳۶/۳	۲۲/۱۴	۱۳۹۲/۱۱/۰۱
عمان خیلیج	بیشینه دما	۳۲/۱	۳۷/۴	۱۹/۷۵	۱۳۹۲/۰۳/۲۸
	بیشینه شوری	۳۲/۱	۳۷/۴	۱۹/۷۵	۱۳۹۲/۰۳/۲۸

در کشور ایران نیز استفاده از تاسیسات آب شیرین کن در دستور کار قرار گرفته و در مرحله اول، فاز یک و دو آب شیرین کن بندرعباس افتتاح و مطالعات اولیه برای احداث کارخانه جدید در نوار ساحلی مکران نیز انجام شده است لذا می بایست آلودگی های حاصل از تاسیس و بهره برداری آنها و چگونگی تاثیراتشان بر اقلیم های دریایی منطقه مورد بررسی جدی قرار گیرد. آب شیرین کن ها در انواع و با تکنولوژی های مختلفی ساخته می شوند که بر اساس فناوری بکار گرفته شده و همچنین تجهیزات بکاررفته و فاکتورهای آب دریا بستگی دارد. نحوه پخش پساب بسته به این فاکتورها می تواند در سطح یا زیر سطح

¹ Osmosis Reverse

شوری رنگ آب به سمت تیره گی می رود. این نتایج با مطالعات انجام شده توسط خررم (۱۹۸۵) و برگاوا و مریم (۱۹۹۲) که بررسی توام بین شوری و تیرگی تصویر دارند همخوانی دارد (KHORRAM.,1985; Bhargava & Mariam.,1992). این تصویر بر اساس تداخل آب شیرین رودخانه و آب شور دریا بدست آمد و بخوبی نشان داد که تغییرات شوری در آب را می توان توسط امواج رادار حاصل از سنجنده ها مشخص نمود در نتیجه از این امکان می توان برای ردگیری آلودگی های دریایی از جمله پساب خروجی از آب شیرین کن های دریایی با داشتن شوری چند برابری آب دریا نیز استفاده و مسیر حرکت آنها را در هر لحظه پایش کرد. این رصد روزانه بر اساس بسامد های پایین و در سنجنده های محلی می تواند نحوه حرکت توده پساب را علاوه بر سطح در عمق دریا نیز آشکار کند.

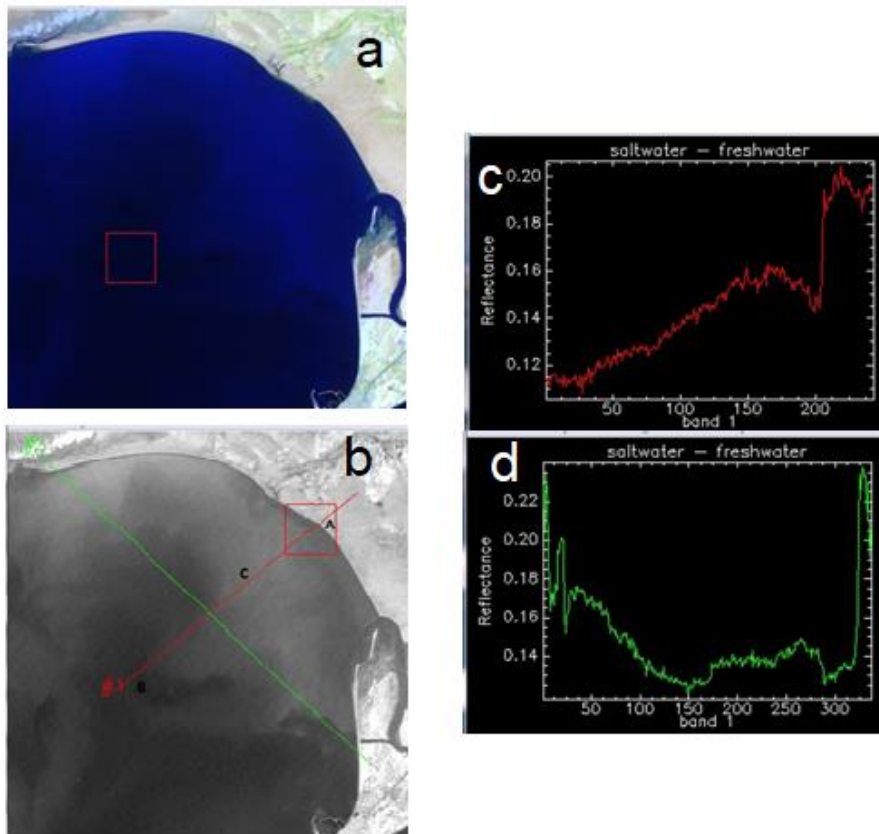
در شکل ۸.b در حرکت بر روی مسیر خط قرمز (c) میزان بازتاب دریافتی در سنجنده در حال تغییر می باشد، این تغییرات در نمودار شکل ۸.c نشان داده شد که علت آن تداخل آب شیرین حاصل از رودخانه با آب دریا می باشد و برای هر میزان از شوری بر اساس میزان بازتاب انرژی، یک طول موج معین ثبت می گردد که باعث تفکیک اجزا در تصویر رنگی شده است بنابراین سنجنده ها توانایی شناسایی و تفکیک آب با شوری های مختلف را دارند. نقطه A روی این خط مرز بین ساحل و دریا می باشد که با یک جهش بازتابی در نمودار ۸.c بوضوح قابل تشخیص می باشد. خط سبز رنگ شکل b منطقه ای بین دو طرف بندر و دریا را پوشش می دهد که در نمودار بازتابی آن در شکل ۸.d علاوه بر تشخیص تغییر شوری دریا می توان بین ساحل و دریا نیز تفکیک قائل شد. در نمودارهای c و d کمترین میزان بازتاب معرف شورترین نقاط آب دریا

امواج پساب خروجی آب شیرین کن فرضی و آب دریا وجود دارد. میزان تغییرات در شوری آب دریا یکی از پارامترهای مهم و پایه ای در تحلیل و ردیابی عناصر آلودگی در دریا می باشد که در نتیجه تغییرات شوری بر برد و انعکاس امواج در مناطق مختلف بدست می آید. این تغییرات باعث ایجاد اختلاف طول موج دریافتی توسط سنجنده می شود که بر اساس همین مشخصه می توان آنها را از یکدیگر شناسایی نمود. اساس کار سنجنده بدین گونه می باشد که پدیده های موجود در دریا توسط مقدار انرژی بازتاب شده^۱ از سطح آن جسم با یکدیگر تفاوت دارند و بر اساس آن یک تصویر رنگی رقومی برای پردازش آن تولید می شود. انرژی بازتابی از نقاط مختلف دریا به هنگام رسیدن به سنجنده، طول موج های متفاوت دارند که باعث شناسایی و ردگیری آنها می شود. درحقیقت بهترین شناسایی وقتی رخ می دهد که پدیده ها در یک محدوده طول موجی علاوه بر مقدار انرژی بازتابی مناسب دارای بیشترین فراز و فرود با یکدیگر باشند (الشما و همکاران، ۲۰۰۴).

با استفاده از این روش می توان هر منطقه از دریا را از لحاظ تغییرات شوری مورد بررسی قرار داد بطور مثال در شکل ۸ نمودار بازتابی از سطح دریای عمان در یک محدوده ترکیبی آب رودخانه فصلی ورودی به دریا در گستره ی خطهای ۱ و ۲ در محدوده بندر جاسک واقع در سواحل مکران نشان داده شده است. علت انتخاب این نقطه وجود نقاط با شوری متفاوت در اثر تداخل با آب شیرین رودخانه می باشد. این تصاویر پس از پردازش داده های رقومی دریافتی از سنجنده لندست ۵ توسط نرم افزار ENVI بدست آمده است. در تصویر تغییرات درصد بازتاب در نقاط مختلف گویای تغییر در میزان شوری بدلیل تداخل آب رودخانه و دریا می باشد به طوری که با افزایش

¹ reflectance

می باشد.



شکل ۸. تصویر پردازش شده از سطح دریای عمان در بندر جاسک توسط سنجنده لندست ۵. تصویر a یک تصویر رنگی RGB از بندر و خروجی تصویر b بر اساس میزان بازتاب طول موج ها که در تصاویر c و d آمده است، حاصل گردید. آب شور و شیرین بدلیل داشتن میزان جذب متفاوت توسط این تصاویر قابل تفکیک از هم می باشند.

صنعتی است. از آنجا که خروجی پساب آب شیرین کن های دریایی چندین برابر آب دریا است در نتیجه توسط این امواج با یک تغییر برد ایجاد شده قابل ردگیری می باشند. خوبی بسامد پایین علاوه بر فرمان پذیر بودن سنجنده، رصد عمق آب نیز می باشد بطوریکه در دریاچه خزر تا عمق حدود پنجاه متر و در دریای عمان تا عمق بیست متر قابلیت جاروب را دارند. رصد انواع آلودگی در اعماق دریا تا محدوده چندین متر و بصورت روزانه به محققین این اجازه را می دهد تا با اتخاذ تصمیمات درست به رفع آن آلودگی پردازند. دقت بالا و هزینه بسیار پایین این روش و قابلیت اجرایی شدن آن را در مقابل استفاده از داده

۵. نتیجه گیری

استفاده از سنجنده های محلی و ماهواره ای برای پایش محیط زیست دریا بسیار مقرون بصره می باشند علاوه بر آن در دسترس بودن منابع آن و به روز بودنشان کمک شایانی برای پایش لحظه ای در سطح و عمق دریا خواهد بود. غلظت متفاوت شوری در دریاها می تواند بر جذب و انعکاس امواج، تاثیر گذار باشد بطوریکه این اختلاف بسته به فرکانس انتخابی تا چند ده متر نیز می رسد. پایش لحظه ای بخش زیادی از وسعت دریاها چه در دریای خزر و چه دریای عمان دارای منافع زیادی برای کشور ایران می باشد. یکی از این منافع ردگیری پساب های

8. Apel JR. Principle of Ocean Physics Academic. Orlando, Fla. 1987. chapter 8, 414-430.
9. Athanasiadou, L., Psomiadis, E., Stamatis, G., 2020. Thermal remote sensing for water outflows detection and determination of the role of lineaments in underground hydrodynamics of Evia Island, Central Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, 56(1), 100-132.
10. Bhargava, D. S., Mariam, D. W., 1992. Cumulative effects of salinity and sediment concentration on reflectance measurements. International journal of remote sensing, 13(11), 2151-2159.
11. Bonin, F., Burguera, A., Oliver, G., 2011. Imaging systems for advanced underwater vehicles. Journal of Maritime Research, 8(1), 65-86.
12. Carder, K. L., Steward, R. G., 1985. A remote-sensing reflectance model of a red-tide dinoflagellate off west Florida 1. Limnology and oceanography, 30(2), 286-298.
13. Einav, R., Lokiec, F., 2003. Environmental aspects of a desalination plant in Ashkelon. Desalination, 156(1-3), 79-85.
14. Falkenberg, L. J., Styan, C. A., 2015. The use of simulated whole effluents in toxicity assessments: A review of case studies from reverse osmosis desalination plants. Desalination, 368, 3-9.
15. Fingas, M., 2019. Remote sensing for marine management. In World seas: An environmental evaluation (pp. 103-119). Academic Press
16. Jamshidi, S., Abu Bakar, M. N., 2010. Temperature, salinity and density measurements in the coastal waters of the Rudsar, South Caspian Sea. نشریه علمی پژوهشی خلیج فارس 1(1), 27-36.
17. Johns, W. E., Jacobs, G. A., Kindle, J. C., Murray, S. P., Carron, M., 1999. Arabian marginal seas and gulfs. NAVAL RESEARCH LAB STENNIS SPACE CENTER MS OCEANOGRAPHY DIV.

برداری میدانی و یا شبیه سازی های عددی از جمله مزیت های آن می باشد.

۶. منابع

۱. اردشیری، س.، رنجبروکیل آبادید.، ابراهیم زاده، ف، ۱۳۹۵، مساله زیست محیطی آب شیرین کن ها و بهینه سازی کارخانه های آب شیرین کن با حداقل اثرات بر محیط زیست. کنفرانس دوسالانه نفت، گاز و پتروشیمی خلیج فارس انرژی و محیط زیست. SID. <https://sid.ir/paper/835979/fa>
۲. افضلی، ر، ۱۳۸۴، همگرایی و واگرایی سیاسی در حوزه کاسپین و حوزه های پیرامونی آن. ژئوپولیتیک ۱: ۱۲۱-۱۳۴. بایگانی شده از اصلی در ۲۸ ژانویه ۲۰۱۳.
۳. رضایی آسیابر، ب.، تاجگله، س.، صادقی، م، ۱۳۹۴، صنایع و فناوریهای دریایی، چاپ اول، ستاد توسعه فناوری و صنایع دانش بنیان دریایی، تهران.
۴. صفرقلی، الف.، محمدی، الف.، نجارتباربیشه، م، ۱۳۹۴، آمارنامه ی دریایی ایران در سال ۱۳۹۴، چاپ دوم، ستاد توسعه فناوری و صنایع دانش بنیان دریایی، تهران.
5. Al Malek, S. A., Mohamed, A. M. O., 2005. Environmental impact assessment of off shore oil spill on desalination plant. Desalination, 185(1-3), 9-30.
6. Al-Shamma'a, A. I., Shaw, A., Saman, S., 2004. Propagation of electromagnetic waves at MHz frequencies through seawater. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 52(11), 2843-2849.
7. Ang, W. L., Mohammad, A. W., Hilal, N., Leo, C. P., 2015. A review on the applicability of integrated/hybrid membrane processes in water treatment and desalination plants. Desalination, 363, 2-18.

- Gulf waters, The 4th National Conference on Science and Technology Under the Sea, Isfahan - Shahin Shahr, Malik Ashtar University of Technology, <https://civilica.com/doc/19896/>
27. NOAA., 2008, www.caspio.net > Caspian Sea data, www.ospo.noaa.gov
 28. Norozi, L., Mohseni Arasteh, A., 2008. How electromagnetic waves are propagated in the sea, the 5th National Conference of Marine Industries of Iran, Kish Island, Marine Engineering Association of Iran. <https://civilica.com/doc/6999>
 29. Ouellette, W., & Getinet, W., 2016. Remote sensing for marine spatial planning and integrated coastal areas management: Achievements, challenges, opportunities and future prospects. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 4, 138-157.
 30. Prasad, T. G., Ikeda, M., Kumar, S. P., 2001. Seasonal spreading of the Persian Gulf Water mass in the Arabian Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C8), 17059-17071.
 31. Qtaishat, M. R., Banat, F., 2013. Desalination by solar powered membrane distillation systems. *Desalination*, 308, 186-197.
 32. Schettini, R., Corchs, S., 2010. Underwater image processing: state of the art of restoration and image enhancement methods. *EURASIP journal on advances in signal processing*, 2010, 1-14.
 33. Rao, R. R., & Sivakumar, R., 2000. Seasonal variability of near-surface thermal structure and heat budget of the mixed layer of the tropical Indian Ocean from a new global ocean temperature climatology. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 105(C1), 995-1015.
 34. Reitz, J. R., Milford, F. J., Christy, R. W., 2008. *Foundations of electromagnetic theory*. Addison-Wesley Publishing Company.
 35. Saitoh, S. I., Mugo, R., Radiarta, I. N., Asaga, S., Takahashi, F., Hirawake, T., Shima, S., 2011. Some operational uses of satellite
 18. Harmuth, H. F., & Hussain, M. G., 1992. Response to a letter by JR Wait about electromagnetic waves in seawater. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 34(4), 491-492
 19. Izumo, T., Montégut, C. B., Luo, J. J., Behera, S. K., Masson, S., and Yamagata, T., 2008. The role of the western Arabian Sea upwelling in Indian monsoon rainfall variability. *Journal of Climate*, 21(21), 5603-5623.
 20. Kachelriess, D., Wegmann, M., Gollock, M., & Pettorelli, N., 2014. The application of remote sensing for marine protected area management. *Ecological Indicators*, 36, 169-177.
 21. Khan, S., Piao, S., Khan, I. U., Xu, B., Khan, S., Ismail, M. A., Song, Y., 2021. Variability of SST and ILD in the Arabian Sea and Sea of Oman in Association with the Monsoon Cycle. *Mathematical problems in Engineering*, 2021, 1-15.
 22. KHORRAM, S., 1985. Remote sensing of water quality in the Neuse river estuary. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51, 329-341.
 23. Kostianoy, A. G., Ginzburg, A. I., Lavrova, O. Y., Lebedev, S. A., Mityagina, M. I., Sheremet, N. A., Soloviev, D. M., 2019. Comprehensive satellite monitoring of Caspian Sea conditions. *Remote sensing of the Asian Seas*, 505-521.
 24. Mansoury, D., Sadrasab, M. S., and Akbarinasab, M., 2015. Modeling of Temperature and Salinity Fields in the Caspian Sea Using POM Model. *Hydrophysics*, 1(1), 1-13.
 25. Min, J. E., Lee, S. K., Ryu, J. H., 2021. Advanced Surface-Reflected Radiance Correction for Airborne Hyperspectral Imagery in Coastal Red Tide Detection. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 3, 73-80.
 26. Mohseni Arasteh, A., Lari, K., 2008. Calculation of dielectric constant of Persian

44. Yang, J., Wan, J., Ma, Y., Zhang, J., Hu, Y., 2020. Characterization analysis and identification of common marine oil spill types using hyperspectral remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 41(18), 7163-7185.
45. Zhao, X., Liu, R., Ma, Y., Xiao, Y., Ding, J., Liu, J., Wang, Q., 2021. Red Tide Detection Method for HY-1D Coastal Zone Imager Based on U-Net Convolutional Neural Network. *Remote Sensing*, 14(1), 88.
- remote sensing and marine GIS for sustainable fisheries and aquaculture. *ICES Journal of Marine Science*, 68(4), 687-695.
36. Salgado-Hernanz, P. M., Bauzà, J., Alomar, C., Compa, M., Romero, L., & Deudero, S., 2021. Assessment of marine litter through remote sensing: recent approaches and future goals. *Marine Pollution Bulletin*, 168, 112347.
37. Shadrivov, I. V., Powell, D. A., Morrison, S. K., Kivshar, Y. S., & Milford, G. N., 2007. Scattering of electromagnetic waves in metamaterial superlattices. *Applied Physics Letters*, 90(20).
38. Somaraju, R., Trumpf, J., 2006. Frequency, temperature and salinity variation of the permittivity of seawater. *IEEE transactions on Antennas and Propagation*, 54(11), 3441-3448.
39. Sun, B., Wen, J., He, M., Kang, J., Luo, Y., & Yuansheng, L., 2003. Sea ice thickness measurement and its underside morphology analysis using radar penetration in the Arctic Ocean. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 46(11), 1151-1160.
40. Tarnacki, K., Meneses, M., Melin, T., Van Medevoort, J., and Jansen, A., 2012. Environmental assessment of desalination processes: Reverse osmosis and Memstill®. *Desalination*, 296, 69-80.
41. Trott, C. B., Subrahmanyam, B., Murty, V. S. N., 2017. Variability of the Somali Current and eddies during the southwest monsoon regimes. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 79, 43-55.
42. Qureshi, U. M., Shaikh, F. K., Aziz, Z., Shah, S. M. Z. S., Sheikh, A. A., Felemban, E., Qaisar, S. B., 2016. RF path and absorption loss estimation for underwater wireless sensor networks in different water environments. *Sensors*, 16(6), 890.
43. Vosoughi, M., Mansoury, D., and Aliakbari Bidokhti, A., 2022. The impact of the latest reanalysis data of the ECMWF model on the surface temperature changes of the Caspian Sea. *Hydrophysics*, 7(2), 67-78.