مقاله علمی – پژوهشی:

اثرات جریان خروجی از خلیج فارس بر اکسیژن محلول دریای عمان

شیرین فرخانی[۱]، ناصر حاجی زاده ذاکر*[۱]

*nhzaker@ut.ac.ir

۱-گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: تیر ۱٤۰۳ تاریخ پذیرش: مهر ۱٤۰۳

چکیده

در این پژوهش با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری جهانی موجود به بررسی اثرات جریان چگال خروجی از خلیج فارس که از طریق تنگه هرمز به اعماق ۳۰۰-۱۵۰ متر دریای عمان نفوذ می‌نماید، بر اکسیژن محلول دریای عمان و تغیرات مکانی این اثرات پرداخته شده است. همچنین روند تغییرات اکسیژن محلول در خلیج فارس در دهه‌های اخیر و اثرگذاری آن بر کاهش اکسیژن محلول دریای عمان مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور داده‌های پروفیل‌های اکسیژن محلول در ۲۵ نقطه در دریای عمان در سال ۲۰۱۰ و کلیه پروفیل‌های اکسیژن محلول موجود درخلیج فارس طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ از وب‌سایت World Ocean Database دانلود و مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج نشان دادند، جریان چگال و بسیار شور خروجی از خلیج فارس که اکسیژن بالاتری نسبت به آبهای کم‌اکسیژن دریای عمان دارد، موجب افزایش اکسیژن محلول در محدوده اعماق ۳۰۰-۱۵۰ متری این دریا به میزان ۴-۱ میلی‌گرم در لیتر می‌گردد. این اثرات در امتداد ساحل جنوبی دریای عمان بیشینه بوده است و با حرکت به سمت سواحل ایرانی، از شدت آنها کاسته می‌شود. همچنین در امتداد سواحل جنوبی دریای عمان، با حرکت از سمت تنگه هرمز به سمت دریای عرب، اثر جریانات خلیج فارس بر اکسیژن محلول دریای عمان کاهش می‌یابد. بررسی داده‌های غلظت اکسیژن محلول خلیج فارس طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ نشان داد که در آبهای عمیق خلیج فارس اکسیژن‌زدایی با نرخ ۰/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر در دهه رخ داده و متناسب با آن، اثر هوادهی و اکسیژن‌رسانی جریانات خروجی از آن بر افزایش اکسیژن محلول محدوده تحت تأثیر در دریای عمان کاهش یافته است.

لغات کلیدی: اکسیژن محلول، اکسیژن‌زدایی، دریای عمان، خلیج فارس

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

مقدمه

اکسیژن محلول یکی از مهم‌ترین شاخص‌های کیفیت آب در محیط‌های دریایی و عنصر اصلی حیات و بقاء آبزیان به‌شمار می‌رود (Breitburg *et al.*, 2018a). نحوه توزیع اکسیژن محلول در ستون آب محیط‌های دریایی بر اساس فرآیندهای گوناگونی که موجب تولید یا مصرف اکسیژن در این محیط‌ها می‌گردند، تعیین می‌شود (Große *et al.*, 2017). معمولاً لایه سطحی محیط‌های دریایی به دلیل تبادلات با اتمسفر و وجود فرآیند فتوسنتز، در شرایط اشباع و غنی از اکسیژن بوده و غلظت اکسیژن در آن بیشینه است. در لایه‌های زیر لایه مخلوط سطحی، به دلیل وجود ترموکلاین که موجب عدم ارتباط این لایه‌ها با اتمسفر و لایه‌های سطحی غنی از اکسیژن می‌شود، فقدان فتوسنتز و مصرف اکسیژن طی فرآیندهای تنفس آبزیان، تجزیه مواد آلی و واکنش‌های هوازی، غلظت اکسیژن محلول با افزایش عمق روندی کاهشی را طی می‌کند (Webb, 2021). در محیط‌های دریایی عمیق، غلظت اکسیژن در اعماقی از دریا (بین چند صد متر اولیه تا ۱۰۰۰ متر) به کمتر از ۲ میلی‌گرم بر لیتر (افت اکسیژن)[1] کاهش می‌یابد و حتی در برخی نقاط به صفر (تخلیه کامل اکسیژن)[2] می‌رسد. در نتیجه شرایط برای حیات آبزیان فراهم نیست و آثار زیست محیطی جبران‌ناپذیری بر اکوسیستم دریایی وارد می‌شود. این نواحی تحت عنوان "مناطق با حداقل اکسیژن" شناخته می‌شوند(Rixen *et al.*, 2020). در زیر لایه اکسیژن حداقل، غلظت اکسیژن محلول به علت دمای کمتر و فشار بالای آب و وجود جریان آبهای سرد و غنی از اکسیژن با منشأ قطبی در بستر اقیانوس‌ها، افزایش می‌یابد (Webb, 2021).

همزمان با بروز آثار تغییرات اقلیم و گرمایش جهانی، کاهش میزان اکسیژن محلول در دریاها و اقیانوس‌های مختلف جهان طی چند دهه اخیر مشاهده و ثبت گردیده است (Diaz and Rosenberg, 2008; Breitburg *et al.*, 2018b; Kralj *et al.*, 2019). کمبود اکسیژن در محیط‌های دریایی می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری نظیر تغییر در واکنش‌های بیوژئوشیمیایی آب، آسیب به عملکرد اکوسیستم‌ها، حذف آبزیان و کاهش تنوع زیستی داشته باشد (Lehmann *et al.*, 2016; Saleh *et al.*, 2018; Carstensen and Conley, 2019; Zhai *et al.*, 2019). در نتیجه، موضوع اکسیژن‌زدایی محیط‌های دریایی به معضل زیست‌محیطی جهانی بدل گشته است (Diaz and Rosenberg, 2008).

دریای عمان دارای یکی از شدیدترین و ضخیم‌ترین محدوده‌های با اکسیژن حداقل در سراسر جهان است (Piontkovski and Queste, 2016; Queste *et al.*, 2018) و در بخش‌های میانی این دریا (اعماق حدود ۱۲۰۰-۱۰۰ متر)، کمبود اکسیژن شدید وجود دارد (Codispoti *et al.*, 2001; Bange *et al.*, 2005; Banse *et al.*, 2014; Farkhani and Hadjizadeh Zaker, 2024). دریای عمان نیز مشابه بسیاری از محیط‌های دریایی، در طول دهه‌های اخیر دچار افت اکسیژن و گسترش مناطق کم اکسیژن با غلظت اکسیژن کمتر از ۲ میلی‌گرم بر لیتر گشته است (Queste *et al.*, 2018; Lachkar *et al.*, 2021). بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در دهه ۱۹۶۰، در اعماق حدود ۱۰۰۰-۱۵۰ متر دریای عمان شرایط کم اکسیژن و بی‌هوازی دائمی برقرار بوده است (Paulmier and Ruiz-Pino, 2009; Stramma *et al.*, 2010; Bopp *et al.*, 2013; Long *et al.*, 2016) درحالی‌که بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در تابستان سال ۲۰۱۸، در سراسر دریای عمان در اعماق بیش از ۵۰ متر شرایط فقر اکسیژن حاکم بوده است (Saleh *et al.*, 2021).

دریای عمان دارای تبادلاتی با اقیانوس هند و خلیج فارس است که عبارتند از: ۱) آب سطحی اقیانوس هند با شوری کمتر که در امتداد سواحل شمالی وارد دریای عمان می‌شود و به سمت خلیج فارس جریان می‌یابد (Swift and Bower, 2003)، ۲) جریان خروجی سطحی از خلیج فارس که در امتداد سواحل جنوبی دریای عمان جریان می‌یابد (Johns *et al.*, 2003; Pous *et al.*, 2004; Kämpf and Sadrinasab, 2006; Piontkovski and Chiffings, 2014; l'Hégaret *et al.*, 2021) و ۳) جریان خروجی از خلیج فارس به صورت توده آب چگال با شوری بالاست که از

[1] Hypoxia
[2] Anoxia

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

بستر تنگه هرمز خارج و در دریای عمان در عمق حدود ۱۵۰-۳۰۰ متر جریان می‌یابد (Reynolds, 1993; Garcia-Soto *et al.*, 2021; Ramak *et al.*, 2023). این جریان به عنوان مهم‌ترین و موثرترین جریان ورودی به دریای عمان شناخته شده است (Piontkovski and Chiffings, 2014).

آبهای خلیج فارس به دلیل عمق کم این خلیج (متوسط عمق حدود ۳۶ متر) و حذف لایه‌بندی در فصل زمستان، معمولاً به‌خوبی اکسیژن‌دهی می‌شوند (Grasshoff, 1975; Brewer and Dyrssen, 1985; Alosairi *et al.*, 2011). بنابراین، جریان خروجی از خلیج فارس، به عنوان یک منبع مهم برای اکسیژن‌رسانی به بخش فوقانی منطقه با حداقل اکسیژن دریای عمان به‌شمار می‌رود (Bower *et al.*, 2000; Prasad *et al.*, 2001; McCreary Jr *et al.*, 2013).

تا کنون مطالعات گوناگونی در زمینه اثرات جریان خروجی از خلیج فارس بر اکسیژن محلول دریای عمان صورت گرفته است. مطابق نتایج پژوهش Banse (۱۹۹۷) جریان خروجی از سوی خلیج فارس با افزودن اکسیژن به آبهای دریای عمان، از شدت نیتروژن‌زدایی در اثر کمبود اکسیژن در این دریا می‌کاهد. بر اساس مطالعه Swift و Bower (۲۰۰۳) آب خروجی از خلیج فارس با داشتن غلظت اکسیژن بالاتری نسبت به آب دریای عمان به‌ویژه در فصل زمستان، بر اکسیژن محلول محدوده ورودی خود در دریای عمان تأثیر می‌گذارد. نتایج مطالعات Queste و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که جریان چگال خروجی از خلیج فارس، بر عمق "لایه شیب اکسیژنی"[1] و شرایط حیات آبزیان در دریای عمان مؤثر است.

بر اساس مقادیر اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در خلیج فارس در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، آب این خلیج در بازه زمانی مذکور از شرایط اکسیژنی مناسبی برخوردار بوده است (Grasshoff, 1976; Brewer and Dyrssen, 1985)

درحالی‌که مشاهدات مربوط به دهه ۱۹۸۰ به بعد حاکی از کاهش غلظت اکسیژن محلول در لایه‌های تحتانی خلیج فارس بوده است. بر اساس مقادیر اکسیژن محلول اندازه‌گیری شده در خلیج فارس به‌وسیله شناور Umitaka-Maru طی سال‌های ۹۴-۱۳۹۳، غلظت اکسیژن محلول در لایه سطحی و ۵۰ متر فوقانی این خلیج نزدیک به غلظت اشباع بوده درحالی‌که در نزدیکی بستر (در عمق ۷۰ متر)، شرایط کم اکسیژن با میانگین غلظت اکسیژن ۱/۵ میلی‌گرم بر لیتر در مرکز خلیج گزارش شده است (Hashimoto *et al.*, 1998). بر اساس گشت‌های دریایی صورت گرفته "کاوشگر خلیج فارس" در سواحل ایرانی خلیج فارس طی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۱۸، میانگین غلظت اکسیژن محلول در فصول تابستان، پاییز و بهار در اعماق ۱۲۰-۵۰ متر خلیج فارس به‌ترتیب ۲/۵۶، ۳/۱۵ و ۵/۳۷ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است و در فصل تابستان و پاییز در بخش‌هایی از خلیج در اعماق بیش از ۵۰ متر شرایط کم‌اکسیژن وجود داشته است (Saleh *et al.*, 2021).

در مقاله حاضر، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری جهانی موجود، به بررسی اثرات جریان چگال خروجی از خلیج فارس بر اکسیژن محلول دریای عمان و محدوده اثر این جریان در دریای عمان پرداخته شده است. همچنین روند تغییرات اکسیژن محلول در خلیج فارس در دهه‌های اخیر و اثرگذاری آن بر کاهش اکسیژن محلول دریای عمان مورد بررسی قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

دریای عمان، واقع در محدوده عرض جغرافیایی ۲۶N-۲۲°N و طول جغرافیایی ۵۶E-۶۰°E، گستره غربی اقیانوس هند و دریای عرب است (Pous *et al.*, 2004) (شکل ۱). این دریا با طول حدود ۵۵۰ کیلومتر و بیشینه عرض ۳۴۰ کیلومتر، مساحتی حدود ۱۸۱۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد. بیشینه عمق این دریا در حدود ۳۴۰۰ متر است (Reynolds, 1993; Saket and Etemad-Shahidi, 2012). از سمت شمال، غرب و جنوب به‌ترتیب توسط ایران، امارات متحده عربی و کشور عمان این دریا را به‌ترتیب از سمت شمال، غرب و جنوب احاطه کرده‌اند.

[1] Oxycline

(به لایه‌ای از آب که در آن میزان تغییرات اکسیژن بسیار زیاد است به‌طوری‌که مقدار اکسیژن محلول در آب با افزایش عمق به‌سرعت افت می‌کند.)

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی خلیج فارس و دریای عمان

Figure 1: The geographical location of the Persian Gulf and the Oman Sea

دریای عمان به‌شدت تحت تأثیر بادهای Monsoon[1] اقیانوس هند است (Reynolds, 1993). Monsoon تابستانی موجب وزش بادهای شدید با جهت غالب جنوب غربی و Monsoon زمستانی سبب وزش بادهای با جهت غالب شمال شرقی در منطقه می‌گردد (Yao *et al.*, 2013). این دریا دارای الگوی جریان چرخابی دوبل شامل یک چرخاب ساعت‌گرد در بخش غربی و یک چرخاب پاد ساعت‌گرد در بخش شرقی خود است (Reynolds, 1993; Pous *et al.*, 2004).

دریای عمان به‌واسطه تنگه هرمز، از سمت شمال غرب به خلیج فارس متصل شده شده است. خلیج فارس واقع در محدوده °۳۰-۲۴N عرض جغرافیایی و °۵۷-۴۸E طول جغرافیایی، دریای حاشیه‌ای نیمه بسته و کم عمقی با طول حدود ۱۰۰۰ کیلومتر، حداکثر عرض ۳۵۰ کیلومتر و عمق متوسط ۳۶ متر است که مساحتی در حدود ۲۳۹۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش می‌دهد (شکل ۱) (Pous *et al.*, 2015; Xue and Eltahir, 2015). این خلیج از شمال با مناطق کوهستانی در امتداد سواحل ایران و از غرب و جنوب با کویر وسیعی در امتداد سواحل عربستان محاصره شده است. جریانات و گردش آب در خلیج فارس ناشی از گرادیان چگالی، تنش باد و جزر و مد است (Reynolds, 1993; Pous *et al.*, 2015). خلیج فارس در منطقه‌ای با اقلیم بسیار گرم و خشک واقع شده است. بارش بسیار کم، تبخیر سالانه بالا و نیمه بسته بودن این خلیج منجر به تشکیل توده آبهای بسیار شور و چگال (با شوری حدود PSU ۴۱) در این منطقه می‌شود (Sheppard *et al.*, 2010). توده آب چگال و شور خلیج فارس از بستر و کناره جنوبی تنگه هرمز به دریای عمان وارد می‌گردد (Reynolds, 1993; Yao and Johns, 2010; Kämpf and Sadrinasab, 2006). در مقابل آبهای سطحی اقیانوس هند با شوری کمتر از طریق دریای عمان و در امتداد سواحل ایران به درون خلیج فارس جریان می‌یابد و موجب تعدیل شوری آن می‌شود (Piontkovski and Chiffings, 2014). باد غالب در خلیج فارس، باد با جهت غالب شمالی غربی، موسوم به Shamal است.

مواد و روش کار

به منظور بررسی محدوده تأثیر جریانات شور و چگال خروجی از خلیج فارس بر اکسیژن محلول دریای عمان، روند تغییرات درازمدت اکسیژن محلول در خلیج فارس و اثر آن

[1] رویدادی فصلی با بادهای معکوس در طول تابستان و زمستان

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

بر کاهش اکسیژن محلول دریای عمان، از داده‌های اندازه‌گیری‌های جهانی اکسیژن محلول در این دو بدنه آبی استفاده شده است. داده‌های پروفیل اکسیژن محلول دریای عمان (سال ۲۰۱۰)، از پایگاه داده‌های اقیانوس جهانی (WOD)[1] در نقاط نمایش داده شده در شکل ۲ دانلود شدند (https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database). این پایگاه اطلاعاتی شامل پروفیل‌های عمودی فراسنجه‌های کیفیت آب در نقاط گوناگون اقیانوس‌های جهانی است که بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در پروژه‌ها و گشت‌های دریایی مختلف از سال ۱۷۷۲ تا کنون گردآوری شده و پس از کنترل کیفیت به صورت یکپارچه در اختیار کاربران قرار گرفته‌اند (Boyer *et al.*, 2013). نقاط مورد مطالعه در این پژوهش به‌نحوی انتخاب شدند که علاوه بر پوشش‌دهی مناسب محدوده دریای عمان، دارای پروفیل عمودی اکسیژن محلول در عمده ماه‌های سال ۲۰۱۰ بوده و میانگین پروفیل‌ها در هر نقطه را بتوان به عنوان میانگین پروفیل اکسیژن محلول در سال ۲۰۱۰ در نظر گرفت تا اثر دینامیک جریانات منطقه طی سال در نتایج لحاظ شوند (Ezam *et al.*, 2010) (جدول ۱). در مرحله نخست در هر یک از نقاط، میان داده‌های پروفیل‌های عمودی اکسیژن محلول موجود در هر عمق میانگین‌گیری شده و یک پروفیل به صورت میانگین گیری شده بین تمام ماه‌های سال برای هر نقطه به‌دست آمد. سپس پروفیل‌های به‌دست آمده در ۲۵ نقطه مطالعاتی با استفاده از نرم افزار Ocean Data View به صورت ۴ مقطع عرضی AB، CD، EF و GH (شکل ۲) برای ارزیابی منطقه تحت تأثیر اکسیژن محلول جریان خروجی خلیج فارس، مورد بررسی قرار گرفتند.

به منظور بررسی روند تغییرات درازمدت اکسیژن محلول خلیج فارس، از داده‌های اندازه‌گیری اکسیژن محلول خلیج فارس موجود در پایگاه داده‌های اقیانوس جهانی طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ استفاده شده است. در این رابطه کلیه پروفیل‌های اکسیژن محلول موجود در هر سال از دوره زمانی مذکور دانلود و داده‌ها به صورت سری زمانی میانگین سالانه مورد مطالعه قرار گرفتند.

نتایج

در شکل ۳، مقاطع عمودی میانگین سالانه اکسیژن محلول در دریای عمان در سال ۲۰۱۰ در ۴ مقطع AB، CD، EF و GH (شکل ۲) نشان داده شده‌اند. در مقطع طولی AB، در لایه مخلوط سطحی غلظت اکسیژن محلول بیشینه و به میزان ۷/۳ میلی‌گرم بر لیتر بوده است. با افزایش عمق از غلظت اکسیژن محلول کاسته شده تا در عمق حدود ۸۰ متر به ۲ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. در عمق‌های ۱۰۰۰-۸۰ متر شرایط کمبود اکسیژن در این دریا برقرار بوده است. روند کاهش غلظت اکسیژن محلول از زیر لایه مخلوط سطحی تا عمق حدود ۱۵۰ متر ادامه یافته و تا مقادیر نزدیک به صفر رسیده است. در محدوده عمق‌های ۳۰۰-۱۵۰ متر یک افزایش در غلظت اکسیژن محلول دریای عمان رخ داده و غلظت اکسیژن به ۱ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. با توجه به این‌که محدوده عمق‌های مذکور محدوده نفوذ جریان خروجی خلیج فارس در دریای عمان است (Pous *et al.*, 2004; L'Hégaret *et al.*, 2015; Ghazi *et al.*, 2021; Lashkari *et al.*, 2023; Farkhani and Hadjizadeh Zaker, 2024)، این افزایش در غلظت اکسیژن محلول را می‌توان به اثر این جریان نسبت داد و این اثر در طول دریای عمان تا فاصله حدود ۴۳۰ کیلومتر از تنگه هرمز مشاهده می‌گردد.

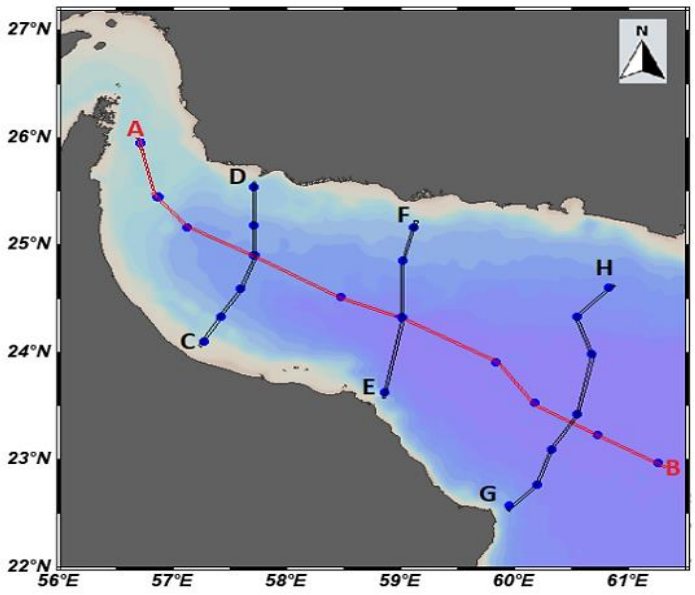
[1] World Ocean Database (WOD)

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

جدول ۱: تعداد پروفیل‌های عمودی اکسیژن محلول در سال ۲۰۱۰ در مقاطع عرضی مورد مطالعه

Table 1. Number of vertical DO profiles in 2010 in the studied cross sections

Cross section	Number of stations	Total number of vertical DO profiles in each cross section											
		Jan.	Feb.	March	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
AB	10	15	13	21	16	12	15	19	23	17	11	12	18
CD	6	11	8	12	9	8	8	9	14	8	6	7	6
EF	4	6	7	4	5	10	6	6	4	5	5	8	5
GH	7	11	15	8	7	12	8	11	12	9	9	9	7

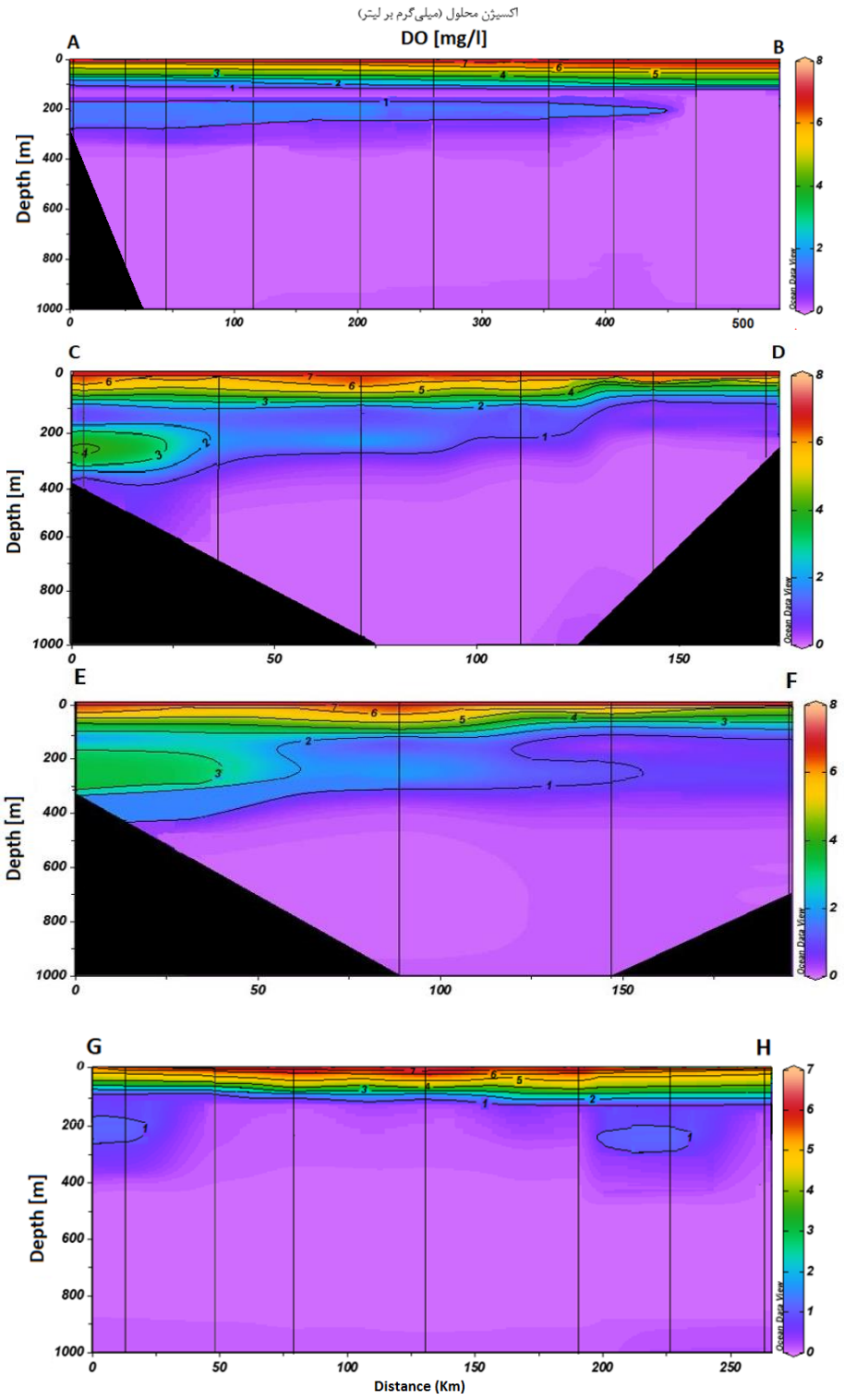


شکل ۲: موقعیت مقاطع عرضی AB، CD، EF و GH در دریای عمان. مقاطع نامبرده به ترتیب شامل ۱۰، ۶، ۴ و ۷ ایستگاه هستند. مقاطع CD، EF و GH به ترتیب در فواصل ۲۲۰، ۳۲۰ و ۵۵۰ کیلومتری از تنگه هرمز قرار دارند.

Figure 2: Location of cross sections AB, CD, EF and GH in the Oman Sea. The mentioned sections include 10, 6, 4 and 7 stations, respectively. Cross sections CD, EF and GH are located at distances of 220, 320 and 550 km from the Strait of Hormuz, respectively

توزیع اکسیژن محلول در مقطع عرضی CD به فاصله حدود ۲۲۰ کیلومتر از تنگه هرمز نیز نشانگر روند کاهش غلظت اکسیژن محلول از لایه مخلوط سطحی تا عمق حدود ۱۵۰ متر در دریای عمان است. بر اساس توزیع ارائه شده در این شکل، بین اعماق حدود ۳۵۰-۱۵۰ متر در نزدیکی ساحل کشور عمان، افزایش ناگهانی در غلظت اکسیژن محلول روی داده که بیشینه افزایش مربوط به عمق حدود ۲۵۰ متر بوده که در آن غلظت اکسیژن به ۴ میلی‌گرم بر لیتر رسیده است. با حرکت به سمت سواحل ایرانی، از این غلظت به‌تدریج کاسته شده و نهایتاً این افزایش اکسیژن در فاصله ۱۲۵ کیلومتر از ساحل جنوبی دریای عمان ناپدید می‌گردد. در مقطع عرضی EF به فاصله حدود ۳۲۰ کیلومتر از تنگه هرمز، روند تغییرات اکسیژن محلول مشابه با مقطع CD مشاهده می‌گردد.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]



شکل ۳: توزیع عمودی میانگین سالانه غلظت اکسیژن محلول دریای عمان در مقاطع AB، CD، EF و GH در سال ۲۰۱۰

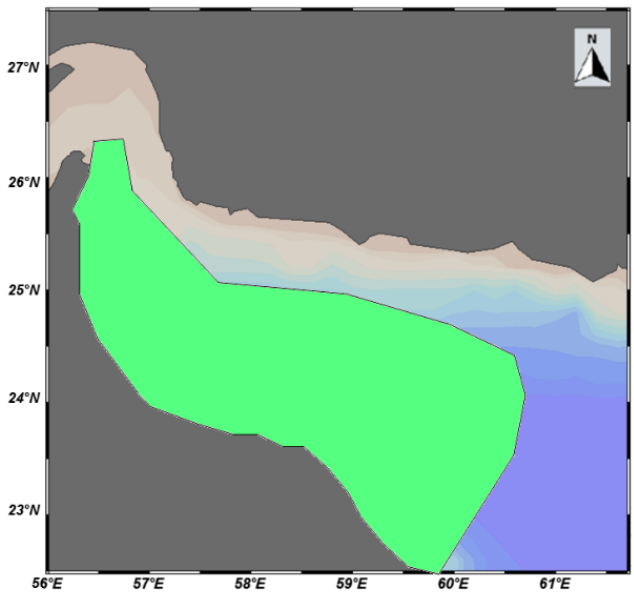
Figure 3: Vertical distribution of mean annual dissolved oxygen concentration of the Oman Sea in cross-sections AB, CD, EF and GH in 2010

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

با این تفاوت که بیشینه غلظت اکسیژن محلول در محدوده تحت تأثیر جریانات خلیج فارس در نزدیکی ساحل کشور عمان در حدود ۳ میلی‌گرم بر لیتر بوده است که در حدود ۱ میلی‌گرم بر لیتر کمتر از بیشینه غلظت مشاهده شده در مقطع CD است. این مسئله بیانگر کاهش اثر جریانات خلیج فارس بر اکسیژن محلول دریای عمان با دور شدن از تنگه هرمز است. در مقطع EF نیز با حرکت از سمت ساحل کشور عمان به سمت سواحل ایران، محدوده عمقی تحت تأثیر جریانات خلیج فارس به‌تدریج کاهش یافته و در فاصله حدود ۱۶۰ کیلومتری پایان می‌یابد.

در مقطع عرضی GH، به فاصله ۵۵۰ کیلومتر از تنگه هرمز، اثرات جریان خلیج فارس تنها به صورت افزایش ناگهانی و موضعی اکسیژن محلول در یک ناحیه محدود در نزدیکی ساحل جنوبی دریای عمان (مجاورت کشور عمان) و یک ناحیه محدود در فاصله حدود ۲۲۰ کیلومتر از ساحل کشور عمان در اعماق ۲۸۰-۱۵۰ متر مشاهده می‌گردد.

بر اساس نتایج به‌دست آمده و با معیار قرار دادن حداقل ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر افزایش موضعی غلظت اکسیژن محلول دریای عمان در محدوده عمقی ۳۵۰-۱۵۰ متر، حدود ۷۶۰۰۰ کیلومتر مربع از دریای عمان تحت تأثیر جریانات چگال خروجی از خلیج فارس است (شکل ۴).



شکل ۴: محدوده‌ای از دریای عمان (رنگ سبز) که اکسیژن محلول تحت تأثیر جریانات خروجی از خلیج فارس است.
Figure 4: The area of the Oman Sea (green color) that DO is affected by the outflow from the Persian Gulf

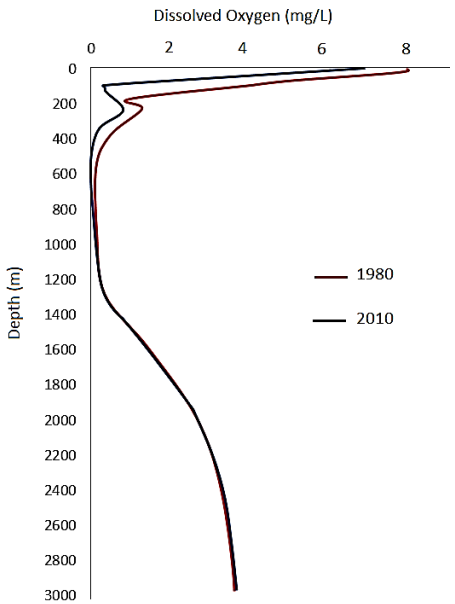
با توجه به این‌که جریان آبهای خروجی از خلیج فارس بر اکسیژن محلول اعماق ۳۰۰-۱۵۰ متر دریای عمان اثرگذار بوده، بدیهی است که تغییرات در اکسیژن محلول خلیج فارس می‌تواند بر میزان اکسیژن محلول دریای عمان در اعماق مذکور اثرگذار باشد. در شکل ۵ روند تغییرات غلظت اکسیژن محلول در بخش‌های عمیق خلیج فارس (اعماق بیش از ۴۰ متر)، در فاصله زمانی سال‌های ۱۹۸۰ و ۲۰۱۰ و در شکل ۶ پروفیل میانگین سالانه غلظت اکسیژن محلول، میانگین گیری شده در کل دریای عمان، در دو سال مذکور نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، غلظت اکسیژن محلول در بخش‌های عمیق خلیج فارس روند کاهشی با نرخ ۰/۱۳- میلی‌گرم بر لیتر در یک دهه داشته و از حدود ۴/۵ میلی‌گرم بر لیتر در سال ۱۹۸۰ به ۴/۱ میلی‌گرم بر لیتر در سال ۲۰۱۰ کاهش یافته است. همچنین با توجه به شکل ۶، اثر افزایشی اکسیژن محلول در محدوده تحت تأثیر جریانات خروجی از خلیج فارس در دریای عمان از متوسط ۱/۲ میلی گرم بر لیتر به متوسط ۰/۷ میلی‌گرم بر لیتر کاهش یافته است.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]



شکل ۵: سری زمانی آنومالی غلظت اکسیژن محلول در بخش عمیق خلیج فارس (اعماق بیش از ۴۰ متر) در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۰

Figure 5: Time series of dissolved oxygen concentration anomaly in the deep part of the Persian Gulf (more than 40 meters deep) in the period of 1980-2010



شکل ۶: مقایسه پروفیل میانگین سالانه اکسیژن محلول دریای عمان در سال‌های ۱۹۸۰ و ۲۰۱۰

Figure 6: Comparison between the mean annual profiles of dissolved oxygen concentration in the Oman Sea in 1980 and 2010

بحث

در این تحقیق با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری جهانی موجود، به بررسی اثرات جریان چگال خروجی از خلیج فارس بر اکسیژن محلول دریای عمان و تغیرات مکانی این اثرات پرداخته شده است. همچنین روند تغییرات اکسیژن محلول در خلیج فارس در دهه‌های اخیر و اثرگذاری آن بر کاهش اکسیژن محلول دریای عمان مورد مطالعه قرار گرفته است.

نتایج مطالعه نشان دادند، در محدوده اعماق ۳۰۰-۱۵۰ متر دریای عمان، یک افزایش نسبی در غلظت اکسیژن محلول به میزان ۴-۱ میلی‌گرم وجود دارد. با توجه به این‌که محدوده عمق‌های مذکور محدوده نفوذ جریان خروجی خلیج فارس در دریای عمان است (L'Hégaret *et al.*, 2015; Pous *et al.*, 2015; Ghazi *et al.*, 2021)، این افزایش در غلظت اکسیژن محلول را می‌توان به اثر این جریان نسبت داد.

در مطالعات Shenoi و همکاران (۱۹۹۳)، Prasad و همکاران (۲۰۰۱)، Acharya و Panigrahi (۲۰۱۶) و Queste و همکاران (۲۰۱۸) نیز نفوذ جریان چگال خلیج فارس به دریاهای عمان و عرب، در زیر ترموکلاین این دریاها و اثرگذاری بر دما و شوری آب این دریاها نشان داده شد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اثر جریانات خروجی از خلیج فارس بر افزایش اکسیژن محلول دریای عمان شامل محدوده وسیعی از این دریا تا فاصله بیش از ۱۶۰ کیلومتر از سواحل جنوبی و تا فاصله ۵۵۰ کیلومتر از تنگه هرمز می‌گردد. این اثرات در امتداد ساحل جنوبی این دریا بیشینه بوده است و با حرکت به سمت سواحل ایرانی، از این اثر کاسته می‌شود و در نزدیکی سواحل ایران این اثر به صفر می‌رسد. Lashkari و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه تغییرات فصلی توده آب خروجی از خلیج فارس در دریای عمان با استفاده از مجموعه داده‌های دما و شوری اطلس اقیانوس جهانی WOA2018 نشان دادند که جریان خلیج فارس در

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

دریای عمان از ساحل جنوبی به سمت سواحل شمالی گسترش می‌یابد که این نتایج هم‌سو با نتایج تحقیق حاضر است.

همچنین در امتداد سواحل جنوبی دریای عمان، با حرکت از سمت تنگه هرمز به سمت دریای عرب، اثر جریانات خلیج فارس بر اکسیژن محلول دریای عمان کاهش می‌یابد. بر اساس مطالعات Lashkari و همکاران (۲۰۲۳) نیز عمق نفوذ و میزان گسترش جریان خروجی از خلیج فارس در دریای عمان دارای تغییرات مکانی بوده است و با پیشروی به سمت دریای عرب، محدوده تحت تأثیر آن به علت اختلاط با آبهای اطراف کاهش می‌یابد.

بررسی داده‌های غلظت اکسیژن محلول خلیج فارس طی سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۸۰ نشان داد که اکسیژن محلول در آبهای عمیق این خلیج با نرخ ۰/۱۳ میلی‌گرم بر لیتر در یک دهه کاهش یافته و در نتیجه اثر هوادهی و اکسیژن‌رسانی جریانات خروجی از آن بر افزایش اکسیژن محلول محدوده تحت تأثیر در دریای عمان کاهش یافته است.

محدودیت داده‌های اندازه‌گیری موجود در منطقه و خطای ناشی از درون‌یابی ریاضی، از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر بود.

منابع

Acharya, S.S. and Panigrahi, M.K., 2016. Eastward shift and maintenance of Arabian Sea oxygen minimum zone: Understanding the paradox. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 115**:**240-252. DOI:10.1016/j.dsr.2016.07.004

Alosairi, Y., Imberger, J. and Falconer, R.A., 2011. Mixing and flushing in the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116. DOI:10.1029/2010JC006769

Bange, H.W., Naqvi, S.W.A. and Codispoti, L., 2005. The nitrogen cycle in the Arabian Sea. *Progress in Oceanography*, 65**:**145-158. DOI:10.1016/j.pocean.2005.03.002

Banse, K., 1997. Irregular flow of Persian Gulf water to the Arabian sea. *Journal of Marine Research*, 55**:**1049-1067

Banse, K., Naqvi, S., Narvekar, P., Postel, J. and Jayakumar, D., 2014. Oxygen minimum zone of the open Arabian Sea: variability of oxygen and nitrite from daily to decadal timescales. *Biogeosciences*, 11**:**2237-2261. DOI:10.5194/bg-11-2237-2014

Bopp, L., Resplandy, L., Orr, J.C., Doney, S.C., Dunne, J.P., Gehlen, M., Halloran, P., Heinze, C., Ilyina, T. and Seferian, R., 2013. Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*, 10**:**6225-6245. DOI:10.5194/bg-10-6225-2013

Bower, A.S., Hunt, H.D. and Price, J.F., 2000. Character and dynamics of the Red Sea and Persian Gulf outflows. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 105**:**6387-6414. DOI:10.1029/1999JC900297

Boyer, T.P., Antonov, J.I., Baranova, O.K., Garcia, H.E., Johnson, D.R., Mishonov, A.V., O'brien, T.D ,Seidov, D., Smolyar, I. and Zweng, M.M., 2013. World ocean database 2013. Avaiable at: https://repository.oceanbestpractices.org/handle/11329/357 (Accessed: 10 May 2018)

Breitburg, D., Grégoire, M. and Isensee, K., 2018a. Global Ocean Oxygen Network 2018. The ocean is losing its breath: Declining oxygen in the world's ocean and coastal waters. *IOC-UNESCO, IOC Technical Series*, 137.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

Breitburg, D., Levin, L.A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F.P., Conley, D.J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D. and Isensee, K., 2018b. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359. DOI:10.1126/science.aam7240

Brewer, P.G. and Dyrssen, D., 1985. Chemical oceanography of the Persian Gulf. *Progress in Oceanography*, 14**:**41-55. DOI:10.1016/0079-6611(85)90004-7

Carstensen, J. and Conley, D.J., 2019. Baltic Sea hypoxia takes many shapes and sizes. *Limnology and Oceanography Bulletin*, 28**:**125-129. DOI:10.1002/lob.10350

Codispoti, L.A., Brandes, J., Christensen, J.P., Devol, A.H., Naqvi, S.W.A., Paerl, H. and Yoshinari, T., 2001. The oceanic fixed nitrogen and nitrous oxide budgets: Moving targets as we enter the anthropocene? *Scientia Marina*, 65**:**85-105. DOI:10.3989/scimar.2001.65s285

Diaz, R.J. and Rosenberg, R., 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*, 321**:**926-929. DOI:10.1126/science.1156401

Ezam ,M., Bidokhti, A. and Javid, A., 2010. Numerical simulations of spreading of the Persian Gulf outflow into the Oman Sea. *Ocean Science*, 6**:**887-900. DOI:10.5194/os-6-887-2010

Farkhani, S. and Hadjizadeh Zaker, N., 2024. Investigating the reasons for the reduction in dissolved oxygen concentration in the Oman Sea. *Journal of Environmental Studies*, 50:113-130. DOI:10.22059/JES.2024.370380.1008465

Garcia-Soto, C., Cheng, L., Caesar, L., Schmidtko, S., Jewett, E.B., Cheripka, A., Rigor, I., Caballero, A., Chiba, S. and Báez, J.C., 2021. An overview of ocean climate change indicators: Sea surface temperature, ocean heat content, ocean pH, dissolved oxygen concentration, arctic sea ice extent, thickness and volume, sea level and strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). *Frontiers in Marine Science*, 8**:**642372. DOI:10.3389/fmars.2021.642372

Ghazi, E., Bidokhti, A., Ezam, M. and Zoljoodi, M., 2021. Study of Temperature and Salinity Inversions in the Oman Sea. *JOC*, 12**:**17-27. DOI:10.52547/joc.12.45.16 (In Persian)

Grasshoff, G., 1975. The hydrochemistry of land locked basins. *Fjords Chemical Oceanography*, 2**:**568-574.

Grasshoff, K., 1976. Review of hydrographic and productivity conditions in the Gulf region. *UNESCO Technical Paper in Marine Science.*, 26**:**39-62.

Große, F., Kreus, M., Lenhart, H.-J., Pätsch, J. and Pohlmann, T., 2017. A novel modeling approach to quantify the influence of nitrogen inputs on the oxygen dynamics of the North Sea. *Frontiers in Marine Science*, 4**:**383. DOI:10.3389/fmars.2017.00383

Hashimoto, S., Tsujimoto, R., Maeda, M., Ishimaru, T., Yoshida, J., Takasu, Y., Koike, Y., Mine, Y., Kamatani, A. and Otsuki, A., 1998. Distribution of nutrient, nitrous oxide and chlorophyll a of RSA: extremely high ratios of nitrite to nitrate in

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

whole water column. Offshore Environment of the ROPME Sea Area after the War-Related Oil Spill—Results of the 1993–94 Umitaka-Maru Cruises**,** pp 99-124.

Johns, W., Yao, F., Olson, D., Josey, S., Grist, J. and Smeed, D., 2003. Observations of seasonal exchange through the Straits of Hormuz and the inferred heat and freshwater budgets of the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans,* 108. DOI:10.1029/2003JC001881

Kämpf, J. and Sadrinasab, M., 2006. The circulation of the Persian Gulf: a numerical study. *Ocean Science,* 2**:**27-41. DOI:10.5194/osd-2-129-2005

Kralj, M., Lipizer, M., Čermelj, B., Celio, M., Fabbro, C., Brunetti, F., Francé, J., Mozetič ,P. and Giani, M., 2019. Hypoxia and dissolved oxygen trends in the northeastern Adriatic Sea (Gulf of Trieste). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography,* 164**:**74-88. DOI:10.1016/j.dsr2.2019.06.002

Lachkar, Z., Mehari, M., Al Azhar, M., Lévy, M. and Smith, S., 2021. Fast local warming is the main driver of recent deoxygenation in the northern Arabian Sea. *Biogeosciences,* 18**:**5831-5849. DOI:10.5194/bg-18-5831-2021

Lashkari, S., Soyuf Jahromi, M. and Hamzei, S., 2023. Seasonal changes of the Persian Gulf water mass in the Gulf of Oman. *Journal of Oceanography,* 14**:**103-122. DOI:10.52547/joc.14.53.9 (In Persian)

Lehmann, M., Schleder, D., Guertler, C., Perazzolo, L. and Vinatea, L., 2016. Hypoxia increases susceptibility of Pacific white shrimp to whitespot syndrome virus (WSSV). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia,* 68**:**397-403. DOI:10.1590/1678-4162-7942

L'hégaret, P., Duarte, R., Carton, X ,.Vic, C., Ciani, D., Baraille, R. and Corréard, S., 2015. Mesoscale variability in the Arabian Sea from HYCOM model results and observations: impact on the Persian Gulf Water path. *Ocean Science,* 11**:**667-693. DOI:10.5194/os-11-667-2015

L'hégaret, P., Marez, C.D., Morvan, M., Meunier, T. and Carton, X., 2021. Spreading and vertical structure of the Persian Gulf and Red Sea outflows in the northwestern Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans,* 126**:**e2019JC015983. DOI:10.1029/2019JC015983

Long, M.C., Deutsch, C. and Ito, T., 2016. Finding forced trends in oceanic oxygen. *Global Biogeochemical Cycles,* 30**:**381-397. DOI:10.1002/2015GB005310

Mccreary Jr, J.P., Yu, Z., Hood, R.R., Vinaychandran, P., Furue, R., Ishida, A. and Richards, K.J., 2013. Dynamics of the Indian-Ocean oxygen minimum zones. *Progress in Oceanography,* 112**:**15-37. DOI:10.1016/j.pocean.2013.03.002.

Paulmier, A. and Ruiz-Pino, D., 2009. Oxygen minimum zones (OMZs) in the modern ocean. *Progress in Oceanography*, 80**:**113-128. http:/doi.org/10.1016/j.pocean.2008.08.001

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

Piontkovski, S. and Chiffings, T., 2014. Long-term changes of temperature in the Sea of Oman and the western Arabian Sea . *International Journal of Oceans and Oceanography*, 8**:**53-72.

Piontkovski, S.A. and Queste, B.Y., 2016. Decadal changes of the Western Arabian sea ecosystem. *International Aquatic Research*, 8**:**49-64. DOI:10.1007/s40071-016-0124-3

Pous, S., Carton, X. and Lazure, P., 2004. Hydrology and circulation in the Strait of Hormuz and the Gulf of Oman—Results from the GOGP99 Experiment: 1. Strait of Hormuz. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109.

Pous, S., Lazure, P. and Carton, X., 2015. A model of the general circulation in the Persian Gulf and in the Strait of Hormuz: Intraseasonal to interannual variability. *Continental Shelf Research*, 94**:**55-70. DOI:10.1016/j.csr.2014.12.008

Prasad, T., Ikeda, M. and Kumar, S.P., 2001. Seasonal spreading of the Persian Gulf water mass in the Arabian Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106**:**17059-17071. DOI:10.1029/2000JC000480

Queste, B.Y., Vic, C., Heywood, K.J. and Piontkovski, S.A., 2018. Physical controls on oxygen distribution and denitrification potential in the north west Arabian Sea. *Geophysical Research Letters*, 45**:**4143-4152. DOI:10.1029/2017GL076666

Ramak, H., Soyufjahromi, M. and Akbari, P., 2023. Investigation of salinity and temperature of Persian Gulf water by FVCOM Model. *Journal of Oceanography*, 13**:**106-120. DOI:10.52547/joc.13.52.8.

Reynolds, R.M., 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Marine Pollution Bulletin*, 27**:**35-59. DOI:10.1016/0025-326X(93)90007-7

Rixen, T., Cowie, G., Gaye, B., Goes, J., Do Rosário Gomes, H., Hood, R.R., Lachkar, Z., Schmidt, H., Segschneider, J. and Singh, A., 2020. Reviews and syntheses: Present, past, and future of the oxygen minimum zone in the northern Indian Ocean. *Biogeosciences*, 17**:**6051-6080. DOI:10.5194/bg-17-6051-2020

Saket, A. and Etemad-Shahidi, A., 2012. Wave energy potential along the northern coasts of the Gulf of Oman, Iran. *Renewable Energy*, 40**:**90-97. DOI:10.1016/j.renene.2011.09.024

Saleh, A., Hamzehpour, A., Mehdinia, A., Bastami, K.D. and Mazaheri, S., 2018. Hydrochemistry and nutrient distribution in southern deep-water basin of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 127**:**406-411. DOI:10.1016/j.marpolbul.2017.12.013

Saleh, A., Abtahi, B., Mirzaei, N., Chen, C.T.A., Ershadifar, H., Ghaemi, M., Hamzehpour, A. and Abedi, E., 2021. Hypoxia in the Persian Gulf and the Strait of Hormuz. *Marine Pollution Bulletin*, 167**:**112354. DOI:10.1016/j.marpolbul.2021.112354

Shenoi, S., Shetye, S., Gouveia, A. and Michael, G. 1993. Salinity extrema in the

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

Arabian Sea. University of Hamburg , Germany. 14P.

Sheppard, C., Al-Husiani, M., Al-Jamali, F., Al-Yamani, F., Baldwin, R., Bishop, J., Benzoni, F., Dutrieux, E., Dulvy, N.K. and Durvasula, S.R.V., 2010. The Gulf: a young sea in decline. *Marine Pollution Bulletin,* 60**:**13-38. DOI:10.1016/j.marpolbul.2009.10.017

Stramma, L., Schmidtko, S., Levin, L.A. and Johnson, G.C., 2010. Ocean oxygen minima expansions and their biological impacts. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers,* 57**:**587-595. DOI:10.1016/j.dsr.2010.01.005

Swift, S.A .and Bower, A.S., 2003. Formation and circulation of dense water in the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans,* 108**:**4-1-4-21. DOI:10.1029/2002JC001360

Webb, P. 2021. Introduction to oceanography. Roger Williams University, Bristol, United States. 393 P.

Xue, P. and Eltahir, E.A., 2015. Estimation of the heat and water budgets of the Persian Gulf using a regional climate model. *Journal of Climate,* 28**:**5041-5062. DOI:10.1175/JCLI-D-14-00189.1

Yao, F. and Johns, W.E., 2010. A HYCOM modeling study of the Persian Gulf: 1. Model configurations and surface circulation. *Journal of Geophysical Research: Oceans,* 115. DOI:10.1029/2009JC005781

Yao, S., Huang, Q., Zhang, Y. and Zhou, X., 2013. The simulation of water vapor transport in East Asia using a regional air–sea coupled model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres,* 118**:**1585-1600. DOI:10.1002/jgrd.50089

Zhai, W.D., Zhao, H.D., Su, J.L., Liu, P.F., Li, Y.W. and Zheng, N., 2019. Emergence of summertime hypoxia and concurrent carbonate mineral suppression in the central Bohai Sea, China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences,* 124**:**2768-2785. DOI:10.1029/2019JG005120.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

Effects of outflow from the Persian Gulf on dissolved oxygen in the Oman Sea

Farkhani S.[1]; Hadjizadeh Zaker N.[1*]

[*]nhzaker@ut.ac.ir

1-Graduate Faculty of Environment, University of Tehran, Tehran, Iran

Introduction

Dissolved oxygen is one of the most important indicators of water quality in marine environments and a critical element for the survival of various aquatic species (Breitburg *et al*., 2018). Lack of oxygen in marine environments can have irreparable environmental consequences, such as changes in biogeochemical cycles, damage to ecosystem functioning, disruptions in the trophic network, and reductions in biodiversity. With the emergence of climate change effects and global warming in recent decades, the Oman Sea, similar to many marine environments, has experienced deoxygenation and the expansion of hypoxic (dissolved oxygen less than 2 mg/L) areas (Queste *et al*., 2018; Lachkar *et al*., 2021). Based on measurements made in the 1960s, permanent hypoxic and anoxic conditions existed in the Oman Sea at depths ranging from about 150 to 1000 m (Bopp *et al*., 2013; Long *et al*., 2016; Stramma *et al*., 2010; Paulmier and Ruiz-Pino, 2009). However, the hypoxic conditions prevailed at depths greater than 50 m based on measurements taken in the summer of 2018 (Saleh *et al*., 2021). Therefore, studying the effective factors influencing changes in dissolved oxygen in this sea is crucial to protect and manage aquatic resources. Since the Oman Sea has water exchanges with the Persian Gulf (Garcia-Soto *et al*., 2021; Reynolds, 1993), this research investigated how dense outflow from the Persian Gulf (penetrating to a depth range of 150–300 m in the Oman Sea through the Strait of Hormuz) affected dissolved oxygen levels in this sea and their spatial variations, using available global measurement data. Furthermore, this study examined the trends of dissolved oxygen changes in the Persian Gulf over recent decades and their effects on decreasing dissolved oxygen levels in the Oman Sea.

Methodology

To investigate the influence of high salinity and dense outflow from the Persian Gulf on dissolved oxygen levels in the Oman Sea, we utilized available global measurements of dissolved oxygen in both water bodies. We specifically analyzed long-term trends in dissolved oxygen in the Persian Gulf and their impact on the reduction of dissolved oxygen levels in the Oman Sea. Data on dissolved oxygen profiles at 25 points in the Oman Sea in 2010 and all available dissolved oxygen profiles in the Persian Gulf from 1980 to 2010 were downloaded from the World Ocean Database. At each study point in the Oman Sea, vertical profiles of dissolved oxygen at each depth were averaged, and this result was used as the annual mean profile for each point. The profiles obtained from the 25 study points were then analyzed using Ocean Data View software as four cross-sections to evaluate areas influenced by dissolved oxygen from the

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]

Persian Gulf outflow. To evaluate long-term trends in dissolved oxygen in the Persian Gulf, measurement data from 1980 to 2010 were studied as an annual average time series.

Results

The results showed that, in general, the surface mixed layer of the Oman Sea has the maximum dissolved oxygen concentration. With increasing depth, this concentration decreases until it reaches 2 mg/L at a depth of about 80 m. In the layer between depths of 80 and 1000 m, hypoxic and anoxic conditions prevail in the sea. Between depths of 150 and 300 m, a relative increase occurs in dissolved oxygen concentration. The results demonstrated that the dense and salty outflow from the Persian Gulf, which has higher oxygen levels than the low-oxygen waters of the Oman Sea, increases dissolved oxygen levels by 1–4 mg/L in the depth range of 150–300 m in this sea. These effects are greatest along the southern coast; moving toward the Iranian coast, this influence diminishes. Additionally, along the southern coast of the Oman Sea, moving from the Strait of Hormuz to the Arabian Sea, these effects decrease. Considering these analysis results, a criterion of at least a 0.5 mg/L local increase in dissolved oxygen concentration at depths ranging from 150 to 350 m indicated that approximately 76,000 km^2 of the Oman Sea is affected by the dense currents coming from the Persian Gulf. Examining dissolved oxygen concentration data from the Persian Gulf during 1980–2010 revealed that deoxygenation occurred in its deep waters at a rate of 0.13 mg/L per decade, with concentrations decreasing from about 4.5 mg/L in 1980 to 4.1 mg/L in 2010. Correspondingly, the influence of the Persian Gulf outflow on dissolved oxygen levels in the Oman Sea has decreased from an average of 1.2 mg/L to 0.7 mg/L.

Discussion and conclusion

This study assessed the effects of outflow from the Persian Gulf on dissolved oxygen in the Oman Sea. The results indicated a relative increment in dissolved oxygen concentration between 150 and 300 m in the Oman Sea. Considering that this zone is affected by the Persian Gulf outflow (Ghazi *et al*., 2021; Pous *et al*., 2015), this increase in oxygen levels can be attributed to these currents. Shenoi *et al*. (1993), Prasad *et al*. (2001), Acharya and Panigrahi (2016), and Queste *et al*. (2018) also demonstrated the penetration of dense Persian Gulf outflow below the thermocline of both the Oman and Arabian Seas, along with its effects on their temperature and salinity. The results showed that outflows from the Persian Gulf increase dissolved oxygen levels over a wide area of the Oman Sea, extending more than 160 km from the southern coast and up to 550 km from the Strait of Hormuz. These effects are greatest along the southern coast; moving toward the Iranian coast, these effects decrease and reach zero near the shores. The results also demonstrated that along the southern coast of the Oman Sea, moving from the Strait of Hormuz to the Arabian Sea, these effects on dissolved oxygen levels of the Oman Sea decrease. Examining dissolved oxygen concentration data from the Persian Gulf during 1980-2010 showed that dissolved oxygen in its deep waters decreased at a rate of 0.13 mg/L per decade; as a result, the ventilation effect of its outflows in the affected area of the Oman Sea has diminished.

Conflict of interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-11-28]