



ORIGINAL RESEARCH PAPER (Marine Science)

Simulating Pattern of Transported Pollutant from Gorsuzan Estuary to the Coastal Waters of Bandar Abbas

Seyed Shakib Asiaee Sahneh¹, Akbar Rashidi Ebrahim Hesari², Maryam Rahbani^{1,*}, Alireza Mavary³

¹ Department of Marine Science and Technology, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran

² Department of Marine Science, Tarbiat Modares University, Nour, Iran

³ Hormozgan General Department of Environmental Protection, Bandar Abbas, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2020/08/13

Revised: 2020/09/12

Accepted: 2020/10/1

Keywords:

Numerical Modelling

Pollutant Emission

Gorsuzan Estuary

Coastal Hydrodynamic

*Corresponding author:

maryamrahbani@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Theoretical Foundations: To study the emission of environmental pollutants, including urban and industrial wastewater of Bandar Abbas, through Gorsuzan estuary to the coastal waters of Bandar Abbas, located in the northeastern part of the Persian Gulf, a three-dimensional hydrodynamic numerical model was developed.

Methodology: This is to predict the pattern of chemical pollutant emission. The governing equations of this model are rewritten in the spherical coordinate earth system with a vertical sigma array. In order to validate the model, nitrate and nitrite measurements were performed spectrophotometrically at six stations on the coastal water of Bandar Abbas for a period of one year.

Findings: The simulations showed that these pollutants are mostly spread in the areas of fishery pier and between Haqqani pier and fishing pier. Nitrite and nitrate concentrations up to 6 km east and 5 km west of the Gorsuzan estuaries' joint to the Persian Gulf is more than 60%. These results are consistent with the concentrations measurements carried out for these two pollutants in the mentioned areas.

Conclusion: The average values of nitrate concentration in the four measurement seasons in Khorgorsuzan, Fishery wharf, and Haqqani wharf are 18.9 mg/l, 14.95 mg/L and 9.32 mg/L respectively. Besides the amount of nitrite in the above-mentioned stations are 4.7, 4.45 and 1.87 mg/l respectively.



NUMBER OF TABLES

3



NUMBER OF FIGURES

10



NUMBER OF REFERENCES

44

شبیه‌سازی الگوی توزیع آلاینده‌های زیست محیطی وارد شده از خور گورسوزان به آبهای ساحلی بندرعباس

سید شکیب آسیایی صحنه^۱، اکبر رشیدی ابراهیم‌حصاری^۲، مریم راهبانی^{۱*}، علیرضا مهوری^۳

^۱ دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ استادیار، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نوره، ایران

^۳ اداره کل حفاظت محیط زیست هرمزگان، بندرعباس، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۲۳/۵/۱۳۹۹
تاریخ بازمینی: ۲۲/۶/۱۳۹۹
تاریخ پذیرش: ۱۰/۷/۱۳۹۹

چکیده

پیشینه و مبانی نظری پژوهش: برای مطالعه الگوی توزیع آلاینده‌های زیست محیطی شامل فاضلاب شهری و فاضلاب تصفیه‌خانه بندرعباس از طریق خور گورسوزان به آبهای ساحلی بندرعباس، واقع در بخش شمال شرقی خلیج فارس، یک مدل عددی هیدرودینامیکی سه بعدی با قابلیت پیش‌بینی توزیع آلاینده‌های شیمیایی محلول در آب طراحی گردید.

روش‌شناسی: معادلات حاکم این مدل در دستگاه مختصات کروی زمین با آرایه قائم سیگما بازنویسی شدند. به منظور صحت‌سنجی مدل از اندازه‌گیری تراز آب و شدت جریان استفاده گردید. اندازه‌گیری نیترات و نیتريت به روش اسپکتروفتومتری در شش ایستگاه در نوار ساحلی بندرعباس و برای مدت یکسال بصورت فصلی انجام گرفت.

یافته‌ها: مقدار متوسط غلظت نیترات در چهار فصل اندازه‌گیری، در مقابل خورگورسوزان ۱۸/۹ میلی‌گرم بر لیتر، اسکله شیلات ۱۴/۹۵ میلی‌گرم بر لیتر و اسکله حقانی ۹/۳۲ میلی‌گرم بر لیتر مشاهده گردید و همچنین مقادیر میانگین سالیانه غلظت نیتريت در مقابل خورگورسوزان ۴/۷، اسکله شیلات ۴/۴۵ و اسکله حقانی ۱/۸۷ میلی‌گرم بر لیتر اندازه‌گیری گردید.

نتیجه‌گیری: شبیه‌سازی‌ها نشان داد که این آلاینده‌ها بیشتر در نواحی اسکله شیلات و مابین اسکله حقانی و اسکله صیادی منتشر می‌گردند و غلظت نیتريت و نیترات تا فاصله ۶ کیلومتری شرق و ۵ کیلومتری غرب از محل اتصال خور گورسوزان به خلیج فارس بیش از ۶۰ درصد می‌باشد. این نتایج با اندازه‌گیری‌های انجام شده برای غلظت این دو آلاینده در مناطق نامبرده مطابقت دارد.

واژگان کلیدی:

مدلسازی عددی
انتشار آلودگی
خور گورسوزان
هیدرودینامیک ساحلی

*نویسنده مسئول

(maryamrahbani@yahoo.com)

مقدمه

محدودیت‌های منابع طبیعی در برخی مناطق اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد.

زمانی این تصور وجود داشت که پهنه وسیع دریا و اقیانوس پذیرنده هر نوع آلاینده‌ای هستند و نگرانی برای آلودگی آن وجود ندارد، اما با گسترش صنایع و افزایش جمعیت و همچنین بالا رفتن شناخت از دریاها و اقیانوس‌ها، کم‌کم تبعات ورود آلاینده‌ها مشاهده گردید و نگرانی برای از بین رفتن گونه‌های جانوری دریایی و تغییر در فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی درون دریا افزایش یافت. خطرات احتمالی برای گونه‌های جانوری و انسان‌ها و تأثیر متقابل جو و دریا، موجب شد که بسیاری از کشورها، مناطق ساحلی خود را در مورد ورود آلاینده‌ها به صورت دوره‌ای رصد کنند [۳]. مواد آلی و معدنی با منشأ

سواحل همواره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده‌اند و علاوه بر اهمیت سکونتگاهی، برای بهره‌برداری از منابع زنده و فسیلی، استقرار صنعت، حمل و نقل کالا، گردشگری، کشاورزی و آبی‌پروری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. سواحل و مصبها کلید اکولوژیکی و تنظیم‌کننده ارتباط بین مناطق خشکی و دریاها می‌باشند [۲]. این مناطق معمولاً بطور قابل توجهی نیز دستخوش تغییرات بوده‌اند، و این در حالیست که تغییر در منابع طبیعی به راحتی قابل بازگشت نیست و گاهی این تغییرات به حیات جانوران و حتی انسان نیز صدمه می‌زند و ممکن است این صدمات جبران‌ناپذیر باشند. گرچه وقوع برخی تغییرات در ساختار محیط زیست، به دلیل نیازمندی‌ها، فعالیت‌های صنعتی و

تغییرات غلظت نیترات در طول سواحل اورگان بصورت تابعی از عوامل هیدرودینامیکی مانند کشند و باد مورد بررسی قرار گرفت و رابطه‌ای بسیار نزدیک بین این عوامل و نرخ تغییرات نیترات بدست آمد [۱۶]. اندازه‌گیری غلظت نیتريت و نیترات در سواحل جنوبی چین در مصب رودخانه جیولانگ^۲ با روش پمپ اتوماتیک نمونه‌گیر، انجام گرفت و مقادیر غلظت از مرتبه یک تا ۱۰ میلی‌گرم در لیتر ثبت گردید [۱۷]. اثر تنشهای برشی ناشی از جریانهای تلاطمی بر روی انتشار نیترات و میزان نشست آن بر رسوبات بستر در مصب و دلتای دریاچه وکس^۳ بررسی شد و اثر عوامل هیدرودینامیکی بعنوان یکی از عوامل اصلی در انتشار و رسوبگذاری نیترات بخوبی در نتایج مشاهده گردید [۱۸]. طبق مشاهدات انجام شده در سواحل و تالاب‌های گرمسیری با تغییرات دما و غلظت نیترات، اسفنج‌های دریایی^۴ عکس‌العمل نشان داده و این امر بر اکوسیستمهای این تالابها بسیار مؤثر می‌باشد [۱۹]. در مطالعه بر روی کشند سبز^۵ (هجوم اولوا^۶، نوعی جلبک دریایی) در سواحل جیانگسو^۷ غلظت بالای نیترات و دیگر نوترینت‌ها با منبع خشکی، بعنوان یکی از عوامل اصلی کشند سبز شناخته شد [۲۰]. منبع نوترینت‌ها و نیترات می‌تواند از اتمسفر، بخشهای عمیق دور از ساحل، آب‌های زیرزمینی و سرزمینهای نزدیک ساحل باشد. نتایج تحقیق در آبهای ساحلی و مصب زینگلین^۸ در شهر زیایمن^۹ چین نشان داده است، که بیش از ۷۰ درصد نیترات موجود، از خشکی و آبهای دفعی شهر بوجود می‌آید [۲۱].

بندرعباس دارای هفت خور تحت عناوین گورسوزان، شیلات، سنگ‌کن، گلزار شهدا، حسین آباد، دوهزار و کپشکن می‌باشد. پساب تصفیه‌خانه و فاضلاب شهری بندرعباس به این خورها راه یافته و به ویژه از طریق خور گورسوزان به خلیج فارس وارد می‌گردند [۲۲]. شایان ذکر است که در مناطق جزر و مدی ساحلی مانند مصب‌ها، کانال‌ها و تنگه‌ها، جریان‌های ساحلی ایجاد شده به وسیله جزر و مد بر موج غالب می‌باشند. جریان‌ها هم موجب به حرکت در آمدن و هم موجب انتقال آلودگی‌ها می‌شوند. بنابراین در این شرایط حرکت آلاینده‌ها عمدتاً در جهت جریان صورت می‌گیرد [۲۳].

غلظت نوترینت‌ها در فصل‌های زمستان و بهار در آب‌های ساحلی بندرعباس مهمترین نقش را در تراکم فیتوپلانکتون‌ها دارند [۲۴]. نتایج مطالعات آشکار ساخته که دمای آب، شوری، نیترات، فسفات و کلروفیل a مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر بر توزیع فیتوپلانکتون‌ها در آب‌های ساحلی خلیج فارس و دریای عمان است [۲۵]. در سال ۱۳۹۵ سواحل استان هرمزگان از نظر میزان آلودگی با روشهای آماری چند متغییره مورد بررسی قرار گرفت، نتایج بخش ساحلی، شهر بندرعباس در محدوده متوسط رو به بالای آلودگی استان قرار می‌گیرد و طبق اندازه‌گیری‌ها آلوده‌ترین نقاط استان هرمزگان در مناطق بین اسکله حقانی تا اسکله شیلات گزارش شد [۲۶]. از نظر کیفیت آب، در بسیاری از ماه‌های مورد بررسی، آب‌های ساحلی بندر عباس، در رتبه ضعیف (آلودگی بالا) تا متوسط و سایر مناطق در رتبه خوب بوده است. کاهش

خشکی که به آبهای ساحلی وارد شده‌اند، علاوه بر گسترش در بخش ساحلی قادرند تا مناطقی از فلات قاره و بعد از آن نیز انتشار پیدا کنند و موجبات آلودگی‌های وسیع‌تری را فراهم آورند [۴]. بطوریکه در مطالعات اخیر که بر روی میزان آلودگی در رسوبات سواحل شمالی خلیج فارس انجام شد نتایج حاکی از افزایش آلودگی نسبت به مقادیر ثبت شده توسط گشت راپمی (ROPME، ۲۰۱۳) [۵] بودند. این امر نشان‌دهنده اثر فعالیتهای انسانی بر محیط آبی منطقه در سالهای اخیر می‌باشد [۶].

مصیبه‌ها و مناطق ساحلی اثرات مشترک محلی و دور از ساحل را تجربه می‌کنند و این امر باعث بوجود آمدن تنوع عوامل بیولوژیکی، ژئوشیمیایی و هیدروفیزیکی و پیچیدگی‌های پاسخ اکوسیستم به این عوامل می‌باشد (Ge و همکاران، ۲۰۲۰). از طرفی گسترش آلودگی در آب دریا، به عوامل گوناگونی از جمله شرایط آب و هوایی مانند باد، دما و بارش، شرایط اقیانوسی کشند، جریان‌ها و همچنین پارامترهای فیزیکی مواد تشکیل دهنده آلودگی، بستگی دارد. وقتی آلودگی از یک منبع نقطه‌ای به محیطی تخلیه می‌شود، در ابتدا بر حسب خصوصیت آن آلاینده، دمای محیط، غلظت سایر مواد درون آب و وزش باد و دیگر عوامل محیطی، در محیط شروع به پخش شدگی در راستای افقی و عمودی می‌کند، که این پدیده را در اصطلاح، انتشار می‌نامند که در آن پخش شدگی ذرات یا لکه آلودگی در اثر ترکیبی از اثرات برشی و اختلاف پتانسیل است. همزمان با این پدیده، جریان محیط نیز آلودگی وارد شده را با خود حمل کرده و در جهت حرکت آب جلو می‌برد، این پدیده که فقط تحت تأثیر جریان محیط صورت می‌گیرد را فرارفت (انتقال) می‌نامند. از آنجا که معادلات حاکم بر حرکت سیال بصورت دستگاه معادلات غیر خطی می‌باشد، حل تحلیلی آنها جز در حالت‌های بسیار ساده، ممکن نیست و بنابراین باید این معادلات را بصورت عددی حل نمود [۷]. میزان حجم پساب تخلیه شده، محل تخلیه، چگالی و غلظت پساب‌ها، شرایط محیطی دریا مانند شدت جریان‌های منطقه و میزان آمیختگی پساب با آب دریا بر روی مقدار و نحوه پخش یا تجمع پساب‌ها اثر گذار می‌باشد [۸].

تحقیقات اخیر در سطح جهانی نشان می‌دهد که تغییر در نرخ افزایش و کاهش مواد آلی و رسوبی وارده به دریاها منجمله نیترات و نیتريت، به شدت بر روی اکوسیستمهای زئوپلانکتونها و جمعیت ماهیها در رودخانه‌ها، سواحل، مصب‌ها و دریاها اثر می‌گذارد [۹-۱۳]. ورودی فاضلابها و استفاده از انواع مواد شیمیایی و کودها در زمانهای مشخص سال می‌توانند بر میزان نیترات و نیتريت موجود در رودخانه، مصیبه‌ها و سواحل تأثیرگذار باشند [۱۴]. در نتایج مطالعاتی که از خلیج چابهار تا سواحل استان هرمزگان انجام شد، تأثیر متقابل بین عوامل فیزیکی شیمیایی از جمله فسفات، نیترات، اکسیژن محلول، کدورت، دما و شوری با مشخصه‌های بیولوژیکی مانند کلروفیل مشاهده گردید [۱۵]. تحقیقات قابل توجهی در سالهای اخیر در مورد آلودگیهای خانواده نیترات و نیتريت در مناطق ساحلی کشورهای مختلف انجام شده است.

⁵ Green tide

⁶ *Ulva prolifera*

⁷ Jiangsu coast

⁸ Xinglin

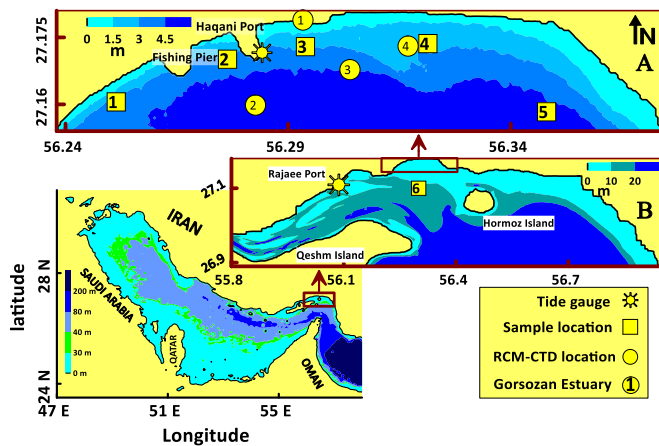
⁹ Xiamen

¹ Regional Organization for the Protection of the Marine Environment

² Jiulong

³ Wax Lake Delta

⁴ Spongiaria



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه، A محدوده مدل محلی (ریز مقیاس) و B مدل منطقه‌ای (با مقیاس متوسط)، محل خور گورسوزان، موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری و نمونه برداری

۲-۲- ساختار مدل سه بعدی و معادلات حاکم

قوانین فیزیکی حاکم بر پدیده‌های دریایی عبارتند از: قانون اندازه حرکت؛ قوانین پایستگی جرم. این قوانین در قالب معادلات زیر بیان می‌گردند (Aple، ۱۹۹۰). همچنین لازم به ذکر است که پارامترهای بکار برده شده در معادلات در جدول (۱) معرفی شده‌اند. معادلات تکانه:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{u}{r \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} - \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \varphi} - w \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{uv \tan \varphi}{r} - \frac{uv}{r} + 2\Omega \sin \varphi v - 2\Omega \cos \varphi w$$

$$-\frac{g}{r \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} - \frac{\alpha}{r \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + \frac{K_h}{r^2 \cos^2 \varphi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\rho \frac{\partial u}{\partial \lambda} \right) + \frac{K_h}{r^2 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi \rho \frac{\partial u}{\partial \varphi}) + \frac{K_v}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \rho \frac{\partial u}{\partial r} \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = -\frac{u}{r \cos \varphi} \frac{\partial v}{\partial \lambda} - \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} - w \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{u^2 \tan \varphi}{r} - \frac{vw}{r} - u 2\Omega \sin \varphi - \Omega^2 r \cos \varphi \sin \varphi$$

$$-\frac{g}{r \cos \varphi} \frac{\partial \eta}{\partial \lambda} - \frac{\alpha}{r \cos \varphi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + \frac{K_h}{r^2 \cos^2 \varphi} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\rho \frac{\partial v}{\partial \lambda} \right) + \frac{K_h}{r^2 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\cos \varphi \rho \frac{\partial v}{\partial \varphi}) + \frac{K_v}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \rho \frac{\partial v}{\partial r} \right)$$

معادله پیوستگی:

$$\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{u}{r \cos \varphi} \frac{\partial \rho}{\partial \lambda} + \frac{v}{r} \frac{\partial \rho}{\partial \varphi} + w \frac{\partial \rho}{\partial r} \right) + \frac{1}{r \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{\partial w}{\partial r} = 0$$

این معادلات در دستگاه کروی زمین با آرایه قائم سیگما بازنویسی شدند. آرایه قائم سیگما که برای بازنویسی این معادلات در دستگاه کروی زمین مورد استفاده قرار گرفته‌است، چنین می‌باشد:

$$\sigma = \frac{p - p_a}{p_b - p_a} \quad (4)$$

سیگما یک آرایه بدون بعد است که بین صفر و یک تغییر می‌کند و صفر برای سطح دریا و یک برای کف دریا در نظر گرفته می‌شود [۲۸]. همچنین برای اعمال اصطکاک کف، [۲۹] تنش بستر را به عنوان تابعی از میانگین جریان افقی با معرفی ضرایب پسای تجربی در نظر می‌گیرد و رابطه خطی برای تنش در لایه مرزی بستر تعریف می‌کند. در این پژوهش روش نیهول استفاده شد و مدل با ضرایب پسای آن واسنجی گردید.

ماتریس K_N ضرایب پخش را نشان می‌دهد که برای هر نوع از آلودگی مقادیر مختلفی را داراست و متأثر از دما، شوری، فشار و برخی ویژگی‌های مرتبط با ماهیت زیستی، شیمیایی و فیزیکی آلودگی و

کیفیت آب در آبهای نزدیک ساحلی بندرعباس به دلیل تاثیرات بالقوه ورود مواد مغذی ناشی از ورود فاضلاب‌های خانگی و شهری، به آبهای ساحلی بوده است [۲۶].

در مطالعه فراسنج‌های فیزیکوشیمیایی آب‌های ساحلی بندر بوشهر، نتایج نشان داد که نیترات، نیتريت، آمونیوم، سیلیکات، دما، هدایت الکتریکی، شوری، اکسیژن محلول و کلروفیل a دارای اختلاف معنی‌داری بین دو فصل می‌باشند. مقایسه فصل‌های سرد و گرم نشان دهنده درصد بالای غلظت نیترات و سیلیکات در منطقه مورد مطالعه است. همچنین در اکثر ایستگاههای نزدیک به ساحل غلظت نیترات بالاتری مشاهده گردید [۲۷].

امروزه بازگشت و تجمع مجدد آلودگی‌ها در برخی مناطق ساحلی بندرعباس و بروز آثار نامطلوب آن و ظهور مناطق پریسک در سواحل شهر بندرعباس، از مهمترین مسائل زیست محیطی این منطقه قلمداد می‌گردد. در این خصوص سوالاتی بدین شکل قابل طرح می‌باشد که الگوی ورود آلاینده‌ها از خور گورسوزان به دریا چگونه است؟ تا کجا انتقال می‌یابد و در کدام مناطق تجمع آلودگی اتفاق می‌افتد؟ توزیع آلودگی در نواحی حساس ساحلی شهر چگونه است؟ غلظت در این نواحی چقدر است؟ لزوم پاسخ صحیح به این سوالات پایه اصلی انجام تحقیق حاضر است تا بتوان با طراحی یک مدل عددی کارآمد الگو و میزان انتشار آلاینده‌های پایه‌ای این مناطق شامل نیترات و نیتريت را در آبهای ساحلی بدست آورد.

۲- مواد و روش‌ها: (۱)

۲-۱- محدوده مدل منطقه‌ای و محلی

اطلاعات عمق سنجی از منبع GEBCO^{۱۰} استخراج گردید. و در این مطالعات حوزه شبیه‌سازی مدل منطقه‌ای (شکل ۱، B) شامل سواحل بندرعباس از تیاب تا بندر خمیر، کانال قشم بندر خمیر، جزیره هرمز و مرز جنوبی در اواسط جزیره هرمز و لارک انتخاب شده است. دلیل اصلی انتخاب این محدوده وسیع به عنوان محدوده مدل‌سازی جریانات جزر و مدی لزوم وجود فاصله مکانی کافی مرز مدل از محدوده مورد نظر و نیز وجود اطلاعات قابل اطمینان در محل مرزهای مدل می‌باشد. محدوده مدل محلی نیز بگونه‌ای انتخاب شده‌است که محل بندر عباس به حد کافی از مرزهای جانبی و منطقه دور از ساحل دور بوده و همچنین موقعیت خط ساحل با دقت بالا در طرفین آن در نظر گرفته شده باشد. محدوده در نظر گرفته شده برای مدل‌سازی در شکل (۱) نشان داده شده‌است.

¹⁰ The General Bathymetric Chart of the Oceans

زمانی با توجه به شرط کورانته در حالت سه‌بعدی، ۵ ثانیه محاسبه گردید. پس از مرحله گسسته سازی معادلات برای حل عددی این معادلات برای جریانات و آلودگی، برنامه رایانه‌ای به زبان ++C تهیه شد.

۴-۲- تر و خشک شدن سلول‌ها محاسباتی

با توجه به تر و خشک شدن متناوب مرز خشکی مدل، این نقاط همواره در معرض تغییر قرار دارند. از سویی سرعت‌های جزر و مدی قابل ملاحظه و دخالت صریح این مناطق در فرایند گسترش آلودگی ساحلی، خطای چشم پوشی از اثرات آنها را بسیار بزرگ می‌نماید [۳۲]. مدل در هر گام زمانی در طول اجراء، نرخ تغییرات سطح آب را محاسبه نموده و با توجه به این نرخ، دو حالت مجزا را در نظر می‌گیرد. اگر این نرخ مثبت باشد، این شرایط را خیس شدن و در غیر این صورت، این شرایط را خشک شدن در نظر می‌گیرند. حال با تعیین عمق حداقلی برای دو حالت، شبکه گره‌های محاسباتی را تا رسیدن به عمق مورد نظر گسترش داده و اعماق کمتر از آن را در محاسبات وارد نمی‌نماید [۳۳]. بکارگیری این راهکار، بجز در مواردی که تغییرات و پستی و بلندی‌های بسیار در منطقه وجود داشته باشد، رهگشا خواهد بود [۳۴]. همچنین برای عمق حداقلی مدل، پس از اجرای برنامه با چندین عمق متفاوت و مقایسه با واقعیت، اعماق یک متر برای مدل منطقه‌ای و ۲۰ سانتی متر برای مدل محلی تعیین گردید. الگوریتم مورد استفاده برای تر و خشک شدن سلولهای محاسباتی از تحقیق Dietrich برگرفته شده است [۳۵].

۴-۵- شرایط اولیه و شرایط مرزی

با توجه به اینکه اجرای مدل از حالت سکون اولیه، شروع می‌گردد، لازم است تا زمان Warm up مدل مشخص شده و نتایج مدل پس از این زمان مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به تحقیق سلامی ایبانه و رشیدی [۳۶] در سال ۱۳۹۸، در صورتی که در مدل از روش عددی Runge-Kutta استفاده شود، در هر گام زمانی در مدل حاضر نیز مشاهده شد. همچنین برای مدل‌های کوچک مقیاس به کمتر از ۵ چرخه کشندی هم رسید. مرزهای بسته در این مطالعه مرز سخت و غیر لغزنده در نظر گرفته می‌شوند بنابراین مؤلفه‌های مماسی و عمودی سرعت بر روی مرزها برابر با صفر می‌باشند. در مورد مرزهای باز نیز شرط مرزی پویایی در نظر گرفته شده است، به صورتی که سرعتها در مرز باز مدل با توجه به مقادیر محاسبه شده طوری تعیین می‌گردند که گرادینان‌های سرعت در مرز باز مدل صفر باشد.

۴-۶- اطلاعات باد ایستگاه‌های سینوپتیک و اطلاعات جزر و مد

نزدیک‌ترین پایگاه ثبت اطلاعات باد به محدوده مورد مطالعه، ایستگاه‌های سینوپتیک بندر عباس و فرودگاه قشم می‌باشد؛ اطلاعات ایستگاه بندر عباس از سال ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۸ و اطلاعات باد ایستگاه فرودگاه قشم در سال ۲۰۱۰ گردآوری شد. بر اساس گلباد ۲۲ ساله ایستگاه سینوپتیک بندرعباس جهت غالب باد از جنوب و جنوب غربی است [۳۷]. از این اطلاعات برای اعمال نیروی باد به مدل برای شبیه‌سازی جریانات ناشی از باد در منطقه طرح بهره جویی شد. برای مدل‌سازی نوسانات سطح آب جهت شبیه سازی جریانه‌های جزر و مدی

محیط می‌باشد. در این پژوهش برای ضرایب انتشار نیترات و نیتریت از نتایج مدل Boudreau (۱۹۹۷) [۳۰] استفاده شده‌است.

جدول ۱. نمادها و واحدهای مورد استفاده در روابط ریاضی

توضیحات	واحد	نماد
طول و عرض جغرافیایی	درجه	λ, φ
فاصله شعاعی از مرکز زمین	متر	r
آرایه قائم سیگما	بدون واحد	σ
انحراف از ترازمندی ایستا	متر	η
مؤلفه‌های سرعت شرق، سو، شمال سو و سروسو	متر بر ثانیه	u, v, w
چگالی آب دریا	کیلوگرم بر متر مکعب	ρ
ویسکوزیته دینامیکی گردابی	کیلوگرم بر متر بر ثانیه	K_h, K_v
گرانش زمین	متر بر مجذور ثانیه	g
حجم ویژه	مترمکعب بر کیلوگرم	α
سرعت زاویه‌ای زمین	رادیان بر ثانیه	Ω
آلودگی (نیترات یا نیتریت یا ...)	کیلوگرم بر متر مکعب	N
ضرایب پخش آلودگی مربوطه	کیلوگرم بر متر بر ثانیه	$K_{N\lambda}, K_{N\varphi}, K_{Nr}$

معادله انتشار آلودگی:

$$\left[\begin{aligned} & \left(\frac{\alpha K_{N\lambda}}{r^2 \cos^2 \varphi} \frac{\partial^2 (\rho N)}{\partial \lambda^2} + \frac{\alpha K_{N\varphi}}{r^2 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\cos \varphi \frac{\partial (\rho N)}{\partial \varphi} \right) \right) \\ & + \frac{\alpha K_{Nr}}{r^2 \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \cos \varphi \frac{\partial (\rho N)}{\partial r} \right) \end{aligned} \right] \quad (5)$$

$$\kappa_N = \begin{bmatrix} K_{N\lambda} & \cdot & \cdot \\ \cdot & K_{N\varphi} & \cdot \\ \cdot & \cdot & K_{Nr} \end{bmatrix} \quad (6)$$

۳-۲- شبکه و روش عددی

در این پژوهش، شبکه آراکاوای C تعدیل یافته استفاده گردیده است. در این نوع شبکه سرعت شرق سو در دیواره شرقی هر سلول، سرعت شمال سو در دیواره شمالی سلول‌ها و بقیه کمیت‌ها مانند دما، شوری، تراز آب و ژئوپتانسیل در مرکز سلولهای محاسباتی قرار دارند [۳۱]. گام مکانی شبکه ۰/۰۰۵ درجه جغرافیایی برای مدل محلی (شکل ۱، A) و ۰/۰۲۵ برای مدل منطقه‌ای (شکل ۱، B) و آرایه قائم ۰/۱ در نظر گرفته شد. برای حل عددی معادلات و گسسته‌سازی آنها از روش عددی تفاضل متناهی استفاده شد. برای جملات فرارفتی از طرح واره لکس- وندروف دوگامی و برای جملات انتشاری از طرح واره دوفورت-فرانکل استفاده گردید. طرح‌واره دوفورت-فرانکل یک طرح‌واره صریح می‌باشد و همیشه پایدار است ولی شرط پایداری طرح‌واره دوگامی لکس- وندروف، شرط پایداری کورانته می‌باشد [۳۱]. در نهایت گام

طول موج ۲۲۰ نانو متر می‌باشد انجام شد. همچنین نیتريت نمونه‌ها بر اساس واکنش با یک آمین آروماتیک (سوفانیل آمید) و تشکیل یک ترکیب دی‌آزو اندازه‌گیری و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۴۳ نانومتر برآورد شد [۳۸].

۸-۲- واسنجی و صحت‌سنجی مدل

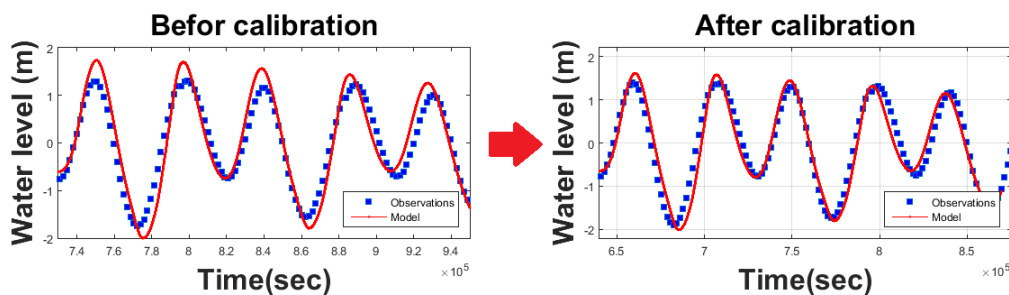
به منظور کالیبره کردن مدل اجزای متعددی با تغییر در پارامترهای تجربی صورت گرفت. گاه ناهماهنگی بین نتایج مدل و داده‌های میدانی ناشی از فرضیات و روشهای مورد استفاده در مدل سازی است [۳۹] که این موارد هم تا حد ممکن شناسایی و مرتفع گردید.

واسنجی مدل در دو مرحله و دو منطقه اجرا گردید. مرحله نخست با استفاده از نیمی از داده‌های تراز آب بندر شهید رجایی و مرحله دوم با کمک بخشی از اندازه‌گیریهای میدانی جریان و تراز آب در محدوده ساحلی بندرعباس انجام شد. واسنجی مدل با تغییر در ضریب اصطکاک بستر (ضرایب معادلات نیهول) در محدوده ضرایب توصیه شده و اجرای مدل برای یک محدوده زمانی معین (ماه دسامبر سال ۲۰۱۴ و ماه‌های دسامبر ۲۰۱۸ و ژانویه ۲۰۱۹) مطابق با شکل (۲) و مقایسه نتایج مدل به ازای ضرایب اصطکاک مختلف با نتایج اندازه‌گیری تراز آب در بندر شهید رجایی در همان بازه زمانی انجام گرفت. با توجه به میزان انطباق نتایج مدل با اندازه‌گیری‌های انجام شده به ازای مقادیر مختلف ضریب اصطکاک بستر، مقدار 0.0035 برای این ضریب انتخاب شده و مدل عددی طراحی شده با این مقدار اجرا شد. نتایج کالیبراسیون مدل بصورت مقایسه جریان و تراز آب جزر و مدی ناشی از پیش‌بینی‌های مدل با مقادیر مشابه حاصل از اندازه‌گیری‌های بعمل آمده در اشکال (۲) و (۳) ارائه گردیده است. در شکل (۲) به مقایسه تراز آب حاصل از مدلسازی و اندازه‌گیری در ایستگاه بندر شهید رجایی پرداخته شده، مقایسه بین تراز آب که در دسامبر ۲۰۱۴ توسط تایدگیج بندر شهید رجایی ثبت شده است و نتایج مدلسازی برای همان زمان، انجام گرفته است. مقایسه در دو حالت قبل و بعد از واسنجی انجام شده است همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد بعد از واسنجی نتایج بسیار به داده‌های اندازه‌گیری نزدیکتر شده‌اند و طبق خطاهای محاسبه شده جدول (۲)، خروجی‌های مدل با دقت مناسبی در محدوده قابل قبول هستند. در شکل (۳) نتایج مدلسازی سرعت و جهت جریان در ایستگاه شماره ۲ در تاریخ دسامبر ۲۰۱۹ در کنار داده‌های اندازه‌گیری جریان در همان زمان و مکان ترسیم شده است که گویای تطابق قابل توجه و مناسب نتایج حاصل از مدل با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد.

در مرز جنوبی مدل منطقه‌ای از ثابت‌های هارمونیک مولفه‌های جزر و مد در این منطقه می‌باشند (شریعتمداری و همکاران، ۱۳۹۸) استفاده گردید. برای استخراج ثوابت هارمونیک مدل TMD¹¹ بکار گرفته شد. پس از اجرای مدل منطقه‌ای (شکل ۱، B) تمام داده‌های لازم برای اجرای مدل محلی (شکل ۱، A) در محل مرز باز استخراج و ثبت گردید و مدل کوچک مقیاس محلی با این داده‌ها به اجرا درآمد.

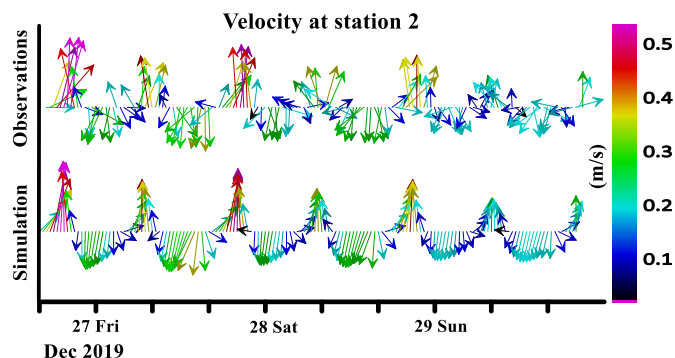
۷-۲- داده‌های میدانی اندازه‌گیری شده

به منظور جمع‌آوری داده‌های میدانی از دستگاهی با نام تجاری SEAGUARD RCM متعلق به اداره کل محیط زیست هرمزگان استفاده گردید. این دستگاه دما، فشار، شفافیت، هدایت الکتریکی، جهت و سرعت جریان، شوری، عمق و سرعت صوت در آب را اندازه می‌گیرد. اندازه‌گیری در اوایل زمستان سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام گرفت. برای اندازه‌گیری کمیتهای فیزیکی ۴ ایستگاه اصلی با فاصله‌های حدود ۵۰۰ متر در محدوده خور گورسوزان، اسکله شیلات و اسکله حقانی و برای نیتريت و نیتريت ۶ ایستگاه با فواصل حدود ۲۵۰۰ متر در امتداد خط ساحلی از غرب تا شرق سواحل شهری بندرعباس به صورتی که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، مشخص گردید. برنامه اندازه‌گیری کمیتهای فیزیکی شامل دو بخش است که در بخش اول اندازه‌گیری در چند ایستگاه در عمق‌های مختلف و در زمانهای کوتاه و بخش دوم اندازه‌گیری طولانی مدت در ایستگاه شماره ۲ برای مدت ۳ روز و ایستگاه ۱ برای مدت ۲۴ ساعت و در عمقی مشخص انجام شده است. در بخش اول اندازه‌گیری، در تاریخ ۴ دی ۱۳۹۷، در ایستگاه‌های ۱ تا ۴ دوسری اندازه‌گیری با فاصله زمانی کم انجام گرفت. در هر ایستگاه دستگاه به پایین‌ترین عمق ممکن فرستاده شد و اندازه‌گیری تا سطح انجام می‌گرفت و سپس دستگاه به سطح آورده شده و در یک دقیقه پایانی اطلاعات سطح نیز برداشته می‌شود. در بخش دوم با نصب دستگاه در ایستگاه ۲ در تاریخ ۲۳ آذر ۱۳۹۸ برای سه روز اندازه‌گیریها ثبت گردید و با نصب دستگاه در عمق پایین در تاریخ دوم دیماه ۱۳۹۸ برای مدت ۲۴ ساعت داده‌های مورد نیاز ایستگاه یک، اندازه‌گیری نیتريت و نیتريت بصورت نمونه برداری در چهار فصل از پاییز ۹۷ تا پاییز ۹۸ انجام شد. اندازه‌گیری نیتريت و نیتريت به روش اسپکتروفتومتری انجام گرفت. میزان نیتريت نمونه‌ها بر اساس روش احیاء کادمیوم که شامل احیای نیتريت به نیتريت توسط کادمیوم و سپس تشکیل دی‌آزو و سنجش آن در



شکل ۲. نمودار تراز آب ثبت شده در بندر شهید رجایی و مقایسه خروجی مدل با آن، قبل و بعد از واسنجی در دسامبر ۲۰۱۴

¹¹ Tide Model Driver



شکل ۳. صحت سنجی نتایج محاسبه جریان در مقایسه با اندازه گیری میدانی در ایستگاه ۲، دسامبر ۲۰۱۹

جدول (۲) مشاهده می‌گردد، تاکید بر دقت مناسب و تطابق بسیار خوب نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده با مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. با توجه به محدودیت در اندازه‌گیری‌های میدانی نیتريت و نیترات، و نیز ماهیت بسیار پیچیده مواد معلق در آب از انجام واسنجی و صحت سنجی برای این پارامترها در این مقطع صرف‌نظر گردید. با این حال مقادیر اندازه‌گیری با متوسط نتایج شبیه‌سازی متأثر از چهار جهت باد مقایسه و مقدار خطا محاسبه گردید. خطای شبیه‌سازی با کمترین مقدار ۱۲ و ۱۶ درصد برای نیترات و نیتريت در خور گورسوزان و با بیشترین مقدار ۴۰ و ۴۳ درصد برای نیترات و نیتريت در سورو مشاهده گردید. با دور شدن از خور گورسوزان به دلیل وجود منابع دیگر آلودگی خصوصاً فاضلابهای منطقه سورو و خور هدیش انتظار افزایش خطا وجود داشت این امر بخوبی در نتایج دیده شد و در جدول (۳) آورده شد.

بخشی از داده‌های اندازه‌گیری شده برای واسنجی مورد استفاده قرار گرفت و بخش دیگر داده‌ها برای صحت سنجی و بررسی درستی عملکرد مدل بکار گرفته شد. ابتدا در موقعیتهایی که داده‌ها اندازه‌گیری شده بود، خروجی‌های مدل مورد نظر در موقعیت و عمق تعیین شده از مدل استخراج گردید. سپس مقایسه کمی اطلاعات با یکدیگر انجام گردید. برای محاسبه خطا سه پارامتر آماری، اعوجاج، خطای جزر میانگین مربعی (RMSE)^۱ و ضریب همبستگی استفاده شد. نتایج اولیه مدل‌سازی جریان با اندازه‌گیری‌های میدانی ایستگاه شماره ۲ و نتایج مدل‌سازی تراز آب با اندازه‌گیری میدانی و داده‌های تایید گیج بندر شهید رجایی مقایسه گردید. برخی از مراحل برای واسنجی مدل متأثر از ضریب اصطکاک بستر همراه با محاسبه خطاها در جدول (۲) آورده شده است. با توجه با مطالعات اخیر در مورد ضریب اصطکاک بستر در خلیج فارس که مقادیری بین ۰/۰۰۰۲ تا ۰/۰۰۰۶ توسط رشیدی و همکاران، (۱۳۹۹) [۳۶] پیشنهاد شده بود، در نهایت ضریب ۰/۰۰۰۳۵ برای این ضریب انتخاب گردید و مدل نهایی با آن اجرا گردید. نتایج صحت سنجی همان‌طور که در

جدول ۲- مقایسه عملکرد مدل برای مقادیر مختلف ضرایب اصطکاک بستر و صحت سنجی نهایی مدل بر مبنای مقدار منتخب (*): ضریب همبستگی

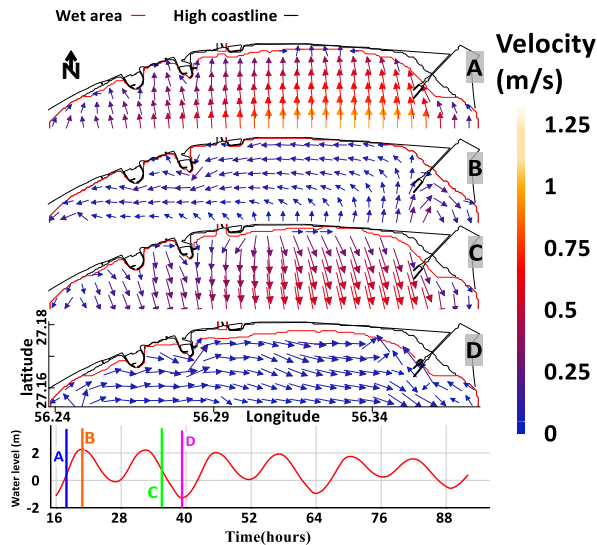
مقایسه انجام شده	ضریب اصطکاک بستر	اعوجاج	RMSE	ضریب همبستگی
تراز آب با داده‌های تایید گیج بندر رجایی	$M = 0.01$	۰/۷۷۴	۰/۲۰۱۵	۰/۷۹۳۵
تراز آب با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲		۰/۷۰۲۴	۰/۲۱۹۴	۰/۷۷۲۴
جریان با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲		۰/۶۰۲	۰/۲۵۴۸	۰/۶۹۵
تراز آب با داده‌های تایید گیج بندر رجایی	$M = 0.0035$	۰/۸۵۸۴	۰/۱۳۸۴	۰/۸۴۹۳
تراز آب با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲		۰/۸۰۱۱	۰/۱۸۹۷	۰/۸۱۷
جریان با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲		۰/۶۳۲۷	۰/۲۳۷	۰/۷۴۸۵
تراز آب با داده‌های تایید گیج بندر رجایی*	$M = 0.00035$	۰/۹۱۳۵	۰/۱۱۵۹	۰/۹۱۱۲
تراز آب با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲*		۰/۸۳۲۲	۰/۱۵۷۳	۰/۸۹۵۱
جریان با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲*		۰/۶۹۸۵	۰/۱۹۰۸	۰/۸۲۳۷
تراز آب با داده‌های تایید گیج بندر رجایی	$M = 0.000035$	۰/۸۳۹۶	۰/۱۵۱۱	۰/۸۴۱۰
تراز آب با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲		۰/۷۵۲۸	۰/۱۷۱۸	۰/۸۱۵۳
جریان با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲		۰/۶۴۵۷	۰/۲۲۱۸	۰/۷۵۰۹
تراز آب با داده‌های تایید گیج بندر رجایی	$M = 0.000001$	۰/۷۸۴۵	۰/۱۸۶۲	۰/۶۸۵۸
تراز آب با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲		۰/۷۰۱۸	۰/۲۱۶۱	۰/۷۵۴۱
جریان با داده‌های اندازه‌گیری ایستگاه ۲		۰/۵۸۲۰	۰/۲۴۴۶	۰/۶۷۲۱

جدول ۳- درصد خطای نسبی شبیه‌سازی‌های انجام شده

نوع آلودگی	۵- مقابل فرودگاه	۴- اسکله شیلات	۳- خور گورسوزان	۲- اسکله حقانی	۱- ساحل سورو
نیترات (درصد)	۳۷/۴	۱۹/۲	۱۲/۵	۲۷/۶	۴۰
نیتريت (درصد)	۴۱/۲	۲۳/۵	۱۶/۷	۲۸/۴	۴۳/۶

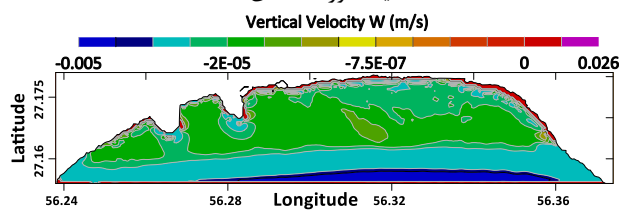
۳- نتایج و بحث

¹ Root Mean Square Error



شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی‌های جریان‌های ساحلی منطقه مورد مطالعه در

یک دوره کشندی

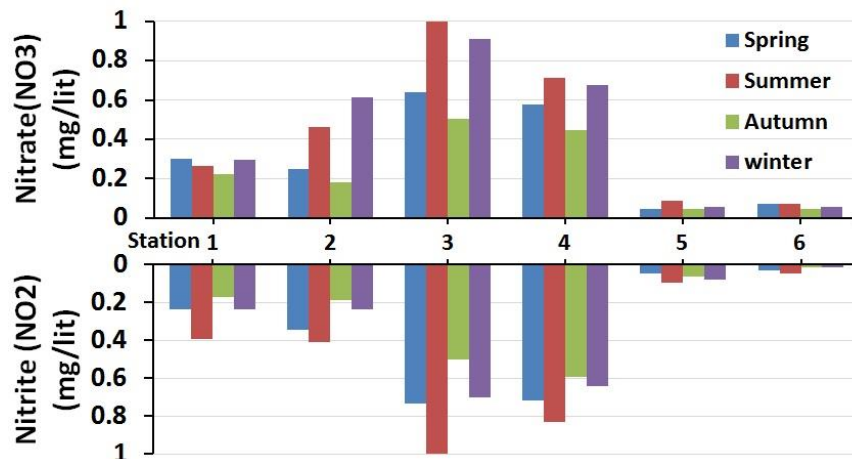


شکل ۵- نتایج شبیه‌سازی‌های جریان‌های قائم در منطقه مورد مطالعه در

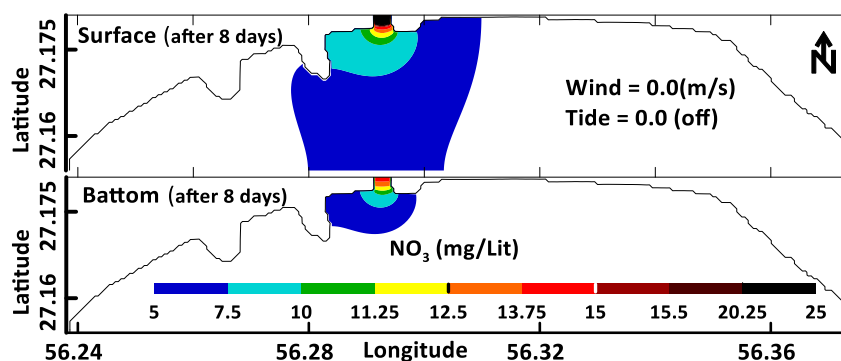
شروع سیکل کشندی

شکل (۴) چهار مرحله اصلی یک جریان کشندی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. شکل (A-۴) حیظه بیشینه سرعت مدی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود جریان عمدتاً به سمت شمال است و اندازه سرعت‌ها به حدود 70 cm/s می‌رسند که بعد از آن روند کاهشی جریان شروع می‌گردد. همچنین دیده می‌شود هرچه به خط ساحلی نزدیک‌تر شویم، چرخشی به سمت غرب مشاهده می‌گردد. شکل (B-۴) مرحله سکون مد را نشان می‌دهد. در این مرحله جریان‌ها عمدتاً حدود 10 تا 20 سانتی‌متر بر ثانیه و حتی ضعیفتر هستند و جهت آن‌ها عمدتاً به سمت غرب می‌باشد. در بخش‌هایی که توسط دیواره‌های مرزی محدود می‌شوند احتمال بوجود آمدن چرخه‌هایی هست که شباهتی با جریانهای اینرسی دارند با این تفاوت که ابعاد آن‌ها کوچک‌تر بوده و نیز از لحاظ ساختاری نیز ضعیفتر هستند. این مرحله که بعنوان آرامش مد کامل شناخته می‌شود معمولاً مجالی برای فرایندهای ضعیفتر همچون جریان‌های قائم و انتشار است. شکل (C-۴) حیظه بیشینه سرعت جزری را نشان می‌دهد. در این مرحله سرعت به حدود 65 cm/s می‌رسد و بعد از آن روند کاهشی سرعت جریان شروع می‌گردد. هرچه به خط ساحلی نزدیک‌تر شویم چرخشی به سمت شرق مشاهده می‌گردد. اگرچه ممکن است انتظار رود که چرخه‌های کوچک مقیاس در گذار از جزر به مد نیز مشاهده گردد ولی این پدیده رخ نمی‌دهد. شکل (D-۴) در نهایت بخش آخر منطقه جزر را نشان می‌دهد. در این مرحله اگرچه مانند مرحله دوم چرخه‌ها مشاهده نمی‌گردد جریان‌هایی گرانشی و شبه‌گرانشی دیده می‌شود.

یکی دیگر از نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده جریانهای قائم منطقه می‌باشند و عمدتاً متأثر از توپوگرافی منطقه و سیکل جزرومدی است. طبق نتایج بدست آمده که در نمودار شکل (۵) ترسیم شده است، مقادیری از مرتبه یک هزارم تا یک صدهزارم متر بر ثانیه دارند این مقادیر با توجه به عمق کم منطقه دور از انتظار نیستند.



شکل ۶- نتایج اندازه‌گیری نیتريت و نیترات از پاییز ۱۳۹۷ تا پاییز ۱۳۹۸، نیترات با بیشینه $24/8$ و نیتريت با بیشینه $6/4$ استاندارد شده است



شکل ۷- شبیه سازی گسترش آلودگی در اثر انتشار خالص بعد از ۸ روز در لایه سطح و بستر

۲- اثر کشند: در تجربه دوم به همان شرایط شبیه سازی قبل نیروهای کشندی نیز اضافه گردید. نتایج نشان داد که اثر نیروی کشندی بسیار قابل توجه است. فرارفت (انتقال) ناشی از کشند، تا ۲ کیلومتر با غلظت بیش از ۱۲/۵ میلی گرم در لیتر (۵۰ درصد منبع آلودگی) در شکل (۸-B) مشاهده می گردد اگرچه برای غلظتهای کمتر از آن، تا ۰/۰۵ درجه جغرافیایی (۵ کیلومتر) در غرب و ۰/۰۲ درجه (۲ کیلومتر) در شرق آلودگی دیده می شود. همچنین با مقایسه بین نمودار شکل (۷) و نمودار شکل (۸-B) می توان مقایسه کرد که از نظر زمانی میزان گسترش آلودگی متأثر از کشند در مدت دو روز، بیشتر از گسترش آلودگی بدون اثر کشند در مدت ۸ روز می باشد. تمایل حرکت آلودگی در شبیه سازیهای انجام شده بیشتر به سمت غرب دیده می شود که با مشاهدات منطقه کاملاً در توافق است و مقادیر حاصل از اندازه گیری میدانی نیترات در شکل (۸) و برای نیتريت در شکل (۹) با پس زمینه بنفش نمایش داده شده اند.

۳- اثر توام باد و کشند: در شبیه سازیهای بعدی علاوه بر شرایط گفته شده بادهای غالب منطقه نیز اضافه شد. با توجه به داده های باد منطقه مقدار متوسط ۵ متر بر ثانیه برای انجام شبیه سازیها انتخاب گردید همچنین برای مشخص شدن اثر جهت باد، شبیه سازیها برای هر جهت بطور مجزا انجام گردید. همانطور که از نمودارهای پخش نیترات متأثر از باد که در شکل های (۸) ترسیم گردیده است، می توان فهمید که محدوده پخش نیترات تا غلظت ۵۰ درصد (۱۲/۵ میلی گرم در لیتر، خط چین سیاه رنگ) تحت اثر باد غربی کاملاً تغییر موضع داده و در شرق دهانه خور تا ۰/۱ درجه جغرافیایی (فاصله حدود ۱۰ کیلومتر) قرار گرفته است و برای غلظتهای بیش از ۶۰ درصد (۱۵ میلی گرم در لیتر، خط چین سفید رنگ) تا ۰/۰۶ درجه (فواصل ۶ کیلومتر) در شرق دهانه خور گسترش یافته است. همچنین در بررسی اثر باد شرقی مشاهده گردید که محدوده پخش نیترات تا غلظت ۵۰ درصد (۱۲/۵ میلی گرم در لیتر، خط چین سیاه رنگ) تحت اثر باد شرقی کاملاً در غرب دهانه خور تا ۰/۰۸ درجه (فاصله ۸ کیلومتر) قرار گرفته است و برای غلظتهای بیش از ۶۰ درصد (۱۵ میلی گرم در لیتر، خط چین سفید رنگ) تا ۰/۰۵ درجه (فواصل ۵ کیلومتر) در غرب دهانه خور گسترش پیدا کرده است. مقادیر ذکر شده که حاصل شبیه سازیهای انجام شده هستند با مقادیر اندازه گیری شده میدانی که بر روی شکل (۸) با پس زمینه بنفش مشخص گردیده اند در تطابق هستند.

برای شبیه سازی انتشار نیتريت مطابق با آنچه برای نیترات توضیح داده شد اقدام گردید و تمام شبیه سازیها در حالت های انتشار خالص، انتشار و جزرومد، و اثر انتشار و جزرومد و بادهای مختلف اجرا شدند ولی با توجه به شباهت زیاد بین نتایج انتشار نیترات و نیتريت، همچنین توجه به این موضوع که

۳-۱- تحلیل داده های میدانی ثبت شده از نیتريت و نیترات

موقعیت مکان های نمونه برداری شده مطابق شکل (۱) می باشد و اندازه گیری بصورت فصلی در طول مدت یک سال از پاییز ۱۳۹۷ تا پاییز ۱۳۹۸ انجام گرفت. بیشترین مقدار غلظت نیترات و نیتريت در ایستگاه خور گورسوزان و در فصل تابستان مشاهده گردید. بعد از خور، ایستگاه شیلات بیشترین مقادیر نیتريت و نیترات را دارد و بعد از آن از نظر ترتیب بیشترین غلظت برای این دو آلاینده در بعضی فصول اسکله حقانی و در برخی دیگر ایستگاه سورو است. مطابق با نمودارهای ترسیم شده در شکل (۶) نتایج اندازه گیریها نشان می دهد که هر چه از خور دور می شویم غلظت ها کم می شوند تا جایی که در ایستگاه شماره (۵) که دورتر از خط ساحلی قرار دارد مقادیر به غلظت های ایستگاه دور از ساحل شبیه می باشد.

در بین ایستگاه ها و فصول مختلف بیشترین نیترات ۲۴/۸ میلی گرم در لیتر در فصل تابستان در خور گورسوزان و کمینه آن در ۴/۵ میلی گرم در لیتر در ایستگاه حقانی در پاییز بدست آمد. بیشترین مقدار نیتريت نیز در فصل تابستان در خور گورسوزان با مقدار ۶/۴ میلی گرم در لیتر و کمینه ۱/۱ میلی گرم در لیتر در پاییز ایستگاه سورو مشاهده گردید

۳-۲- الگوی گسترش آلودگی در آب های ساحلی بندرعباس

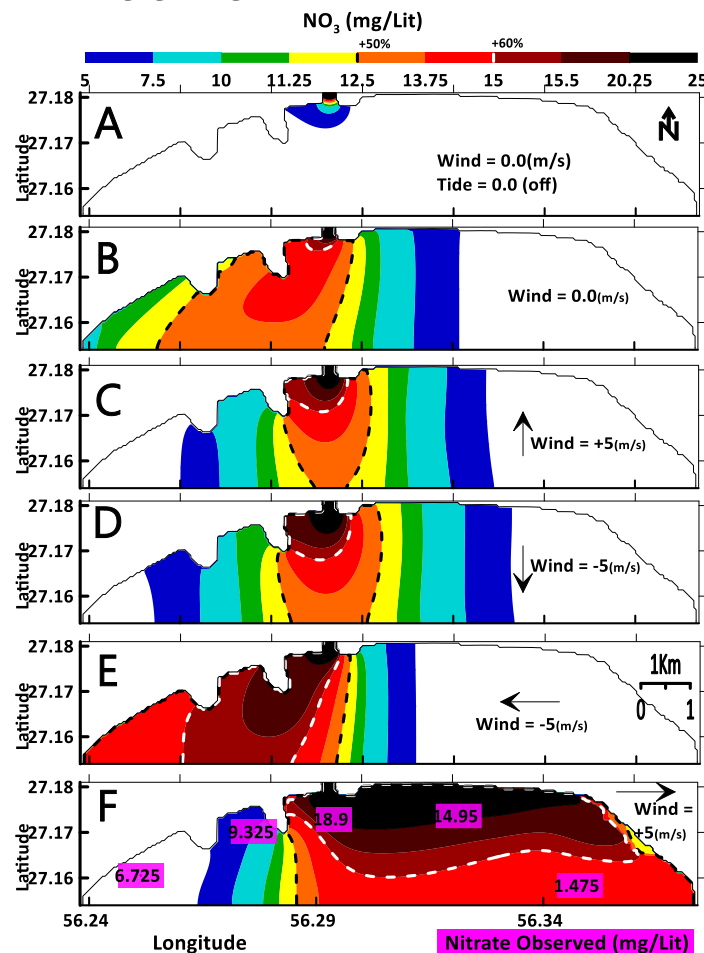
برای بررسی گسترش آلودگی، شبیه سازی پخش نیترات و نیتريت در چند سناریو انجام گردید.

۱- انتشار خالص: در تجربه اول تنها اثرات انتشار را در نظر گرفته و از اثرات جزرومد و باد صرف نظر شد. منبع آلودگی نیترات با توجه به متوسط سالیانه و بیشترین اندازه گیری شده، 25 mg/Lit در محل دهانه خور قرار داده شد.

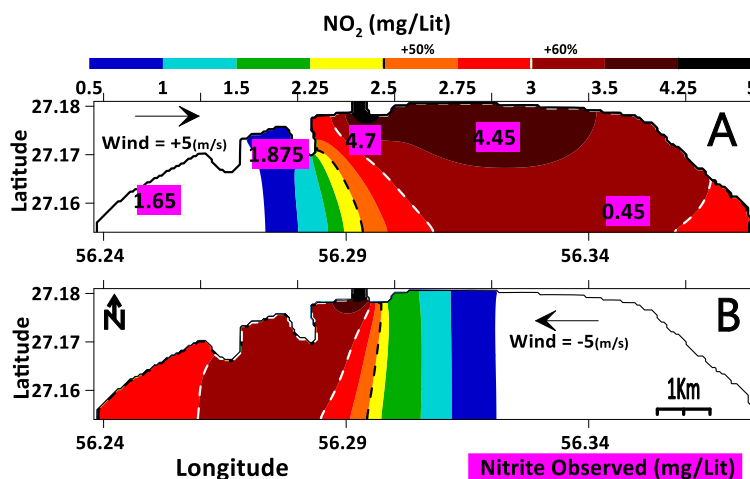
همانطور که در شکل (۷) مشاهده می گردد انتشار بعد از ۸ روز برای غلظتهای کمتر از ۷/۵ میلی گرم بر لیتر (۲۰ درصد منبع آلودگی) تا ۰/۰۱ درجه به سمت شرق و غرب (حدود ۱۰۰۰ متر در شرق و غرب) و تا ۰/۰۰۵ درجه عرض جغرافیایی به سمت جنوب (حدود ۵۰۰ متر به سمت دریا) گسترش دارد و برای غلظتهای بیش از ۱۲/۵ میلی گرم بر لیتر (۵۰ درصد منبع آلودگی) هنوز از محدوده ۰/۰۰۱ درجه (حدود نهایتاً ۱۰۰ متر) دهانه خور فراتر نرفته است. همچنین نتایج این شبیه سازی برای لایه بستر در شکل (۷) ترسیم گردید. انتشار در لایه زیرین کندتر از لایه سطحی انجام می گردد بطوریکه بعد از ۸ روز برای غلظتهای کمتر از ۷/۵ میلی گرم بر لیتر (۲۰ درصد منبع آلودگی) تا ۰/۰۵ درجه (حدود ۵۰۰ متر) به هر طرف گسترش دارد و برای غلظتهای بیش از ۱۲/۵ میلی گرم بر لیتر (۵۰ درصد منبع آلودگی) هنوز از محدوده دهانه خور فراتر نرفته است.

انجام شده هستند با مقادیر اندازه‌گیری شده میدانی که بر روی شکل (۹) با پس زمینه بفش رنگ مشخص گردیده‌اند در هماهنگی کامل قرار دارند. شکل (۱۰) نتایج شبیه‌سازی انتشار نیترات در حضور کشند را در یک دوره کشندی تصویر نموده است. این نمودارها نمایی از برش عرضی در مسیر برش NS که در شکل (۱-۱۰) ترسیم شده است را نمایان می‌کنند. تجمع آلودگی در بخش ساحلی که به دیواری تشبیه شد که موقع مد آلودگی را به تله می‌اندازد در نمودارهای A و B مشخص می‌باشد و با نماد B1 نشان داده شده‌است، حرکت سریع آلودگی در هنگام جزر که به جریان گرانشی یا شبیه گرانشی نسبت داده شد در نمودار C و D نمایان است این پدیده با محاسبه و مقایسه میزان پیشروی آلودگی بین مراحل BC (یعنی از B به C) و CD که به ترتیب ۵۰ متر و ۵۰۰ متر در فواصل زمانی یکسان می‌باشد کاملاً قابل تشخیص است و اثر خشک شدن بخش ساحلی و باقی ماندن غلظت بالای آلودگی در قسمتهای ساحلی نیز در نمودار F و G ترسیم شده‌است چرا که همانطور که در نمودار F مشاهده می‌کنیم غلظت‌های زیاد آلودگی (رنگ‌های قرمز و نارنجی) برای غلظت بیش از ۱۲/۵ میلی‌گرم بر لیتر) با پایین رفتن آب و حرکت آب به سمت دریا آلودگی غلیظ با آن حرکت نمی‌کند و در بخش ساحلی F1 باقی می‌ماند.

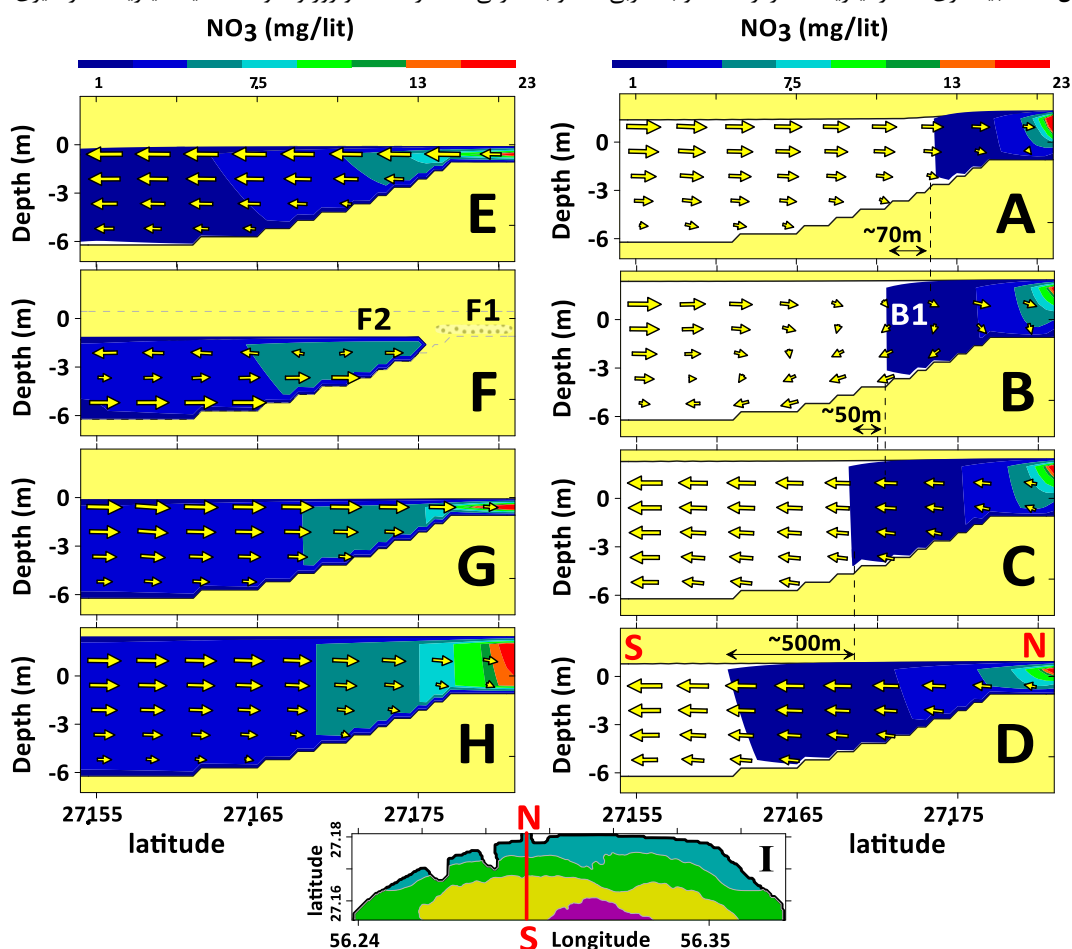
مهمترین عامل در تعیین جهت‌گیری انتشار آلودگی باد شرقی و غربی بودند، در نتیجه از آوردن همه نتایج برای نیتريت خودداری شد و تنها شبیه‌سازی‌هایی با نتایج بارزتر برای مقایسه آورده شد. انتشار نیتريت با توجه به اینکه میانگین سالیانه مقدار آن در ایستگاه خور گورسوزان ۴/۷ میلی‌گرم در لیتر با بیشینه ۶/۴ میلی‌گرم در لیتر ثبت شد، با قرار دادن منبع ۵ میلی‌گرم در لیتر برای محل خور شبیه‌سازی گردید. الگوی انتشار نیتريت مطابق با شبیه‌سازی‌های انجام شده و ترسیم شده در شکل‌های (۹) با انتشار نیتريت مطابقت دارد و تا غلظت ۵۰ درصد (۲/۵ میلی‌گرم در لیتر، خط چین سیاه رنگ) تحت اثر باد غربی در شرق دهانه خور تا ۰/۱ درجه جغرافیایی (فاصله حدود ۱۰ کیلومتر) قرار گرفته‌است و برای غلظت‌های بیش از ۶۰ درصد (۳ میلی‌گرم در لیتر، خط چین سفید رنگ) تا ۰/۷ درجه (فاصله حدود ۷ کیلومتر) در شرق دهانه خور گسترش یافته‌است. همچنین تحت تأثیر باد شرقی محدوده پخش نیتريت تا غلظت ۵۰ درصد (۲/۵ میلی‌گرم در لیتر، خط چین سیاه رنگ) تحت اثر باد شرقی کاملاً در غرب دهانه خور تا ۰/۰۸ درجه (فاصله حدود ۸ کیلومتر) قرار گرفته‌است و برای غلظت‌های بیش از ۶۰ درصد (۳ میلی‌گرم در لیتر، خط چین سفید رنگ) تا ۰/۰۵ درجه (فاصله حدود ۵ کیلومتر) در غرب دهانه خور گسترش پیدا کرده‌است. مقادیر ذکر شده که حاصل شبیه‌سازی‌های



شکل ۸- نتایج شبیه‌سازی انتشار آلودگی نیترات و مقادیر متوسط سالیانه اندازه‌گیری شده



شکل ۹- شبیه‌سازی انتشار نیتريت متأثر از کشند و باد غربی (A) و باد شرقی (B) در مدت دو روز و متوسط سالیانه نیتريت اندازه‌گیری شده



شکل ۱۰- برش قائم از نتایج شبیه‌سازی انتشار نیتريت در یک دوره کشندی

۴- نتیجه‌گیری

مدل با معادلات مقدم در دستگاه کروی زمین با آرایه قائم سیگما بطور سه‌بعدی طراحی و تولید گردید. برای ورودیهای مدل، باد از ایستگاه سینوپتیک بندرعباس و قشم، کشند از مدل TMD با ۸ مؤلفه کشندی، داده‌های عمق سنجی از منبع GEBCO استخراج و استفاده شد. برای واسنجی و صحت‌سنجی از داده‌های بندر شهید رجایی و اندازه‌گیری داده‌ها در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. بیشترین مقدار خطای اعوجاج برای شبیه

سازی تراز آب ۰/۸۳۲۲ و برای سرعت جریان ۰/۹۱۳۵، مقدار بیشترین خطای جذر مربعی میانگین برای تراز آب ۰/۱۵۷۳ و برای سرعت جریان ۰/۱۹۰۸ و مقدار ضریب همبستگی بین شبیه‌سازی تراز آب و مقادیر اندازه‌گیری شده ۰/۹۱۱۲ و برای سرعت جریان ۰/۸۲۳۷ محاسبه گردید، که نشان می‌دهد مدل عملکرد مناسب و مطابق با اندازه‌گیریهای میدانی دارد. بر طبق نتایج بدست آمده از مدل‌سازی بنظر می‌رسد که مد نقش سدی را در مقابل آلودگی‌ها دارد و در مدت رخداد این فاز آلودگی‌ها در نوار ساحلی تجمع می‌یابند و عملاً مسیر آنها به سمت دریا بسته می‌گردد و در مدت چند

اندازه‌گیری شد. متوسط نیترات در ایستگاه شیلات بیشتر از ۶۰ درصد میانگین سالیانه نیترات در ایستگاه خور گورسوزان یعنی ۱۸/۹ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد، همچنین نیتريت در نواحی اسکله شیلات بسیار نزدیک به مقدار آن در خور گورسوزان یعنی ۴/۷ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شد، که با نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده در توافق کامل قرار دارد. نتایج غالب اندازه‌گیری‌های نیتريت و نیترات در سایر ایستگاه‌ها نشان داد که هر چه از خور گورسوزان دور شویم غلظت این آلاینده‌ها کاهش یافته و با توجه به اثر جهت باد در ۷۵ درصد از مواقع آلودگی در منطقه‌ای به وسعت ۶ کیلومتر در شرق خور گسترش می‌یابد و در سایر مواقع در منطقه تا ۵ کیلومتری در غرب خور منتشر می‌گردد. [۴۰-۴۴]

References

1. Yamani M, Mohammadnejad. Coastal Geomorphology, University of Tehran Publishing Institute. 2013:33-39.
2. Hoguane AM, Gammelsrød T, Mazzilli S, Antonio MH, da Silva NBF. The hydrodynamics of the Bons Sinais Estuary: The value of simple hydrodynamic tidal models in understanding circulation in estuaries of central Mozambique. *Region Stud Marine Sci.* 2020;**37**:101352. doi: 10.1016/j.rsma.2020.101352
3. Clark EB, Branch A, Chien S, Mirza F, Farrara JD, Chao Y, et al. Station-Keeping Underwater Gliders Using a Predictive Ocean Circulation Model and Applications to SWOT Calibration and Validation. *IEEE J Oceanic Engineer.* 2019. doi: 10.1109/JOE.2018.2886092
4. Milliman JD, Farnsworth KL. River discharge to the coastal ocean: a global synthesis. Cambridge University Press. 2013.
5. ROPME. State of the Marine Environment Report-2013 ROPME/GC-16 /1-ii. Regional organization for protection of the marine environment, Kuwait 2013.
6. Bateni F, Mehdinia E, Seyed Hashtroudi M. Polycyclic aromatic hydrocarbons of offshore surface sediments in the north of the Persian Gulf, Bushehr province. *J Oceanograph.* 1398;**10**(37):65-73.
7. Cheshmsiahi V, Rashidi Ebrahim Hesari A. Reproducing trajectory of oil spilled from Turkmenistan oil fields in autumn and summer. *J Marine Engineer.* 2019;**14**(28):91-99.
8. Yari S, Hosseini S, Farjami H. Field measurements of flow and physical parameters of seawater and numerical modeling of desalination desalination effluent on the southeast coast of Kish Island. *J Oceanograph.* 1399;**11**(41):11-24.
9. El Foutayeni Y, Bentounsi M, Agmour I, Achtaich N. Bioeconomic model of zooplankton-phytoplankton in the central area of Morocco. *Model Earth Sys Environ.* 2020;**6**(1):461-469. doi: 10.1007/s40808-019-00693-w
10. Megrey BA, Rose KA, Klumb RA, Hay DE, Werner FE, Eslinger DL, et al. A bioenergetics-based population dynamics model of Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*) coupled to a lower trophic level nutrient-phytoplankton-zooplankton model: description, calibration, and sensitivity analysis. *Ecol Model.* 2007;**202**(1-2):144-164. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2006.08.020
11. Schindler EU, Shafii B, Anders PJ, Price WJ, Holderman C, Ashley KI, et al. Characterizing the phytoplankton and zooplankton communities in Kootenay Lake: a time series analysis of 24 years of nutrient addition. *Canadia J Fisher Aquatic Sci.* 2020;**77**(5):904-916. doi: 10.1139/cjfas-2018-0429
12. Song J, Hou C, Liu Q, Wu X, Wang Y, Yi Y. Spatial and temporal variations in the plankton community because of water and sediment regulation in the lower reaches of Yellow River. *J Cleaner Product.* 2020:120972. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120972
13. Zhao Q, Liu S, Niu X. Stationary distribution and extinction of a stochastic nutrient-phytoplankton-zooplankton model with cell size. *Mathematic Method Appl Sci.* 2020;**43**(7):3886-3902. doi: 10.1002/mma.6114
14. Abedi AG, Gh. Seasonal measurement of nutrient concentrations in Bardestan estuary and their load analysis on the Persian Gulf. *J Oceanograph.* 2016;**7**(25):33-40.
15. Ker K, Judge A, Ershadifar H, Small breed A, Baskeleh Gh. Investigation of changes in physicochemical, nutrient and chlorophyll a parameters in Makran coastal waters. *J Oceanograph.* 1398;**10**(39):113-124. doi: 10.29252/joc.10.39.113
16. Sigleo AC, Mordy CW, Stabeno P, Frick WE. Nitrate variability along the Oregon coast: Estuarine-coastal exchange. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 2005;**64**(2-3):211-222. doi: 10.1016/j.ecss.2005.02.018
17. Fang T, Li P, Lin K, Chen N, Jiang Y, Chen J, et al. Simultaneous underway analysis of nitrate and nitrite in estuarine and coastal waters using an automated integrated syringe-pump-based environmental-water analyzer. *Anal Chim Acta.* 2019;**1076**:100-109. doi: 10.1016/j.aca.2019.05.036 pmid: 31203953
18. Hurst NR, White JR, Xu K, Ren M. Nitrate reduction rates in sediments experiencing turbulent flow conditions. *Ecol Engineer.* 2019;**128**:33-38. doi: 10.1016/j.ecoleng.2018.12.027
19. Beepat SS, Davy SK, Woods L, Bell JJ. Short-term responses of tropical lagoon sponges to elevated temperature and nitrate. *Mar Environ Res.*

- 2020;**157**:104922. **doi:** [10.1016/j.marenvres.2020.104922](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104922) **pmid:** 32275505
20. Chen Y, Song D, Li K, Gu L, Wei A, Wang X. Hydro-biogeochemical modeling of the early-stage outbreak of green tide (*Ulva prolifera*) driven by land-based nutrient loads in the Jiangsu coast. *Mar Pollut Bull.* 2020;**153**:111028. **doi:** [10.1016/j.marpolbul.2020.111028](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111028) **pmid:** 32275571
21. Guo Z, Yan C, Wang Z, Xu F, Yang F. Quantitative identification of nitrate sources in a coastal peri-urban watershed using hydrogeochemical indicators and dual isotopes together with the statistical approaches. *Chemosphere.* 2020;**243**:125364. **doi:** [10.1016/j.chemosphere.2019.125364](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125364) **pmid:** 31760285
22. Iran A, Rouhanian A. Preliminary study of fodder in Hormozgan province, General Department of Fisheries of Hormozgan province. 1981.
23. Mehrfar H, Azad MT, Lari K, Bidokhti AAAA. A numerical simulation case study of the coastal currents and upwelling in the western Persian Gulf. *J Ocean Engineer Sci.* 2020. **doi:** [10.1016/j.joes.2019.12.005](https://doi.org/10.1016/j.joes.2019.12.005)
24. Sadeghi Mazidi S, Ahmadi M, Taherizadeh M. Investigation of seasonal changes in phytoplankton populations and environmental factors in winter and spring in the coastal waters of Bandar Abbas. *J Aquacult Fisher.* 2011;**5**:13-21.
25. Gholami Z, Mortazavi M, Karbasi A. Investigation of seasonal changes in phytoplankton populations in relation to environmental factors in the coastal waters of the Persian Gulf and the Sea of Oman (Hormozgan province). *J Aquatic Ecol.* 1398;**9**(3):38-58.
26. Akbarzadeh Gh, Deghani R, Mohebbi Nozar L, Seraji F. Study of coastal water quality in Hormozgan province using multivariate statistical methods. *J Oceanograph.* 2016;**7**(28):57-65.
27. Manbouhi A, Gholamipour S. Study of spatial and temporal distribution of nutrients, chlorophyll-A and physicochemical parameters in the coastal waters of Bushehr port. *J Natur Environ.* 1399;**1**:143-154.
28. Rashidi A, Zamanian M. Simulation of tidal currents and density differences in a hypothetical bilayer basin. Tarbiat Modares University, Faculty of Marine Sciences 2006.
29. Nihoul JC. Three-dimensional model of tides and storm surges in a shallow well-mixed continental sea. *Dynamic Atmospheres Ocean.* 1977;**2**:29-47. **doi:** [10.1016/0377-0265\(77\)90014-8](https://doi.org/10.1016/0377-0265(77)90014-8)
30. Boudreau BP. Diagenetic models and their implementation. Springer, Berlin. 1997.
31. Haltiner GJW, Williams R. Numerical prediction and dynamic meteorology, 2nd Edition, Wiley, New York 1980.
32. Lin HCJ, Cheng HPP, Edris EV, Yeh GTG. Modeling surface and subsurface hydrologic interactions in a south Florida watershed near the Biscayne Bay. In Developments in Water Science. Elsevier 2004.
33. D'alpaos L, Defina A. Mathematical modeling of tidal hydrodynamics in shallow lagoons: A review of open issues and applications to the Venice lagoon. *Comput Geosci.* 2007;**33**(4):476-496. **doi:** [10.1016/j.cageo.2006.07.009](https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.07.009)
34. Falconer RA, Chen Y. Improved representation of flooding and drying and wind stress effects in a two-dimensional tidal numerical model. *PROC INST CIV ENG PART 2 RES THEORY.* 1991;**91**:659-678. **doi:** [10.1680/jicep.1991.17484](https://doi.org/10.1680/jicep.1991.17484)
35. Dietrich JC, Kolar RL, Westerink JJ. Refinements in continuous Galerkin wetting and drying algorithms. *Estuarine Coastal Model.* 2006:637-656. **doi:** [10.1061/40876\(209\)37](https://doi.org/10.1061/40876(209)37)
36. Rashidi Ibrahim Hessari A, Salami Abyaneh R. Calculation of spatial variations of the coefficient of friction hospitalized in the Persian Gulf. *J Oceanograph.* 1399;**11**(41):63-72.
37. Olad A, Khaghani Zevareh H, Iran race P, Ghaffarian P. Long-term analysis of sea level wind field on the Persian Gulf, using re-analysis data, satellite and station observations over a period of 23 years. *J Oceanograph.* 1398;**10**(40):65-74.
38. Moopam E. Manual of oceanographic observation on pollutant analysis methods. Ropme, Kuwait. 1989.
39. Jahandideh-Tehrani M, Helfer F, Zhang H, Jenkins G, Yu Y. Hydrodynamic modelling of a flood-prone tidal river using the 1D model MIKE HYDRO River: calibration and sensitivity analysis. *Environ Monit Assess.* 2020;**192**(2):97. **doi:** [10.1007/s10661-019-8049-0](https://doi.org/10.1007/s10661-019-8049-0) **pmid:** 31912301
40. Akbarzadeh Gh, Sadeghi M, Mohebbi Nozar L, Ejlali K, Mortazavi M. Investigation of the nutritional status of coastal waters of Hormozgan province using principal components (PCA). *Iran Fisher Sci.* 1396;**26**(4):107-117.
41. Salami Abyaneh R, Rashidi Ebrahim Hessari A. The effect of spatial changes of seabed unevenness on tidal dynamics in the Persian Gulf. *Environ Sci Stud.* 1399;**10**(39):113-124.
42. Shariatmadari D, Siadatmousavi S, Ershadi S. Improving tidal estimation in the Persian Gulf using data assimilation. *J Oceanograph.* 1398;**10**(40):85-95.
43. Aple JR. Principles of ocean physics. London Academic press 1990.
44. Ge J, Shi S, Liu J, Xu Y, Chen C, Bellerby R, et al. Interannual variabilities of nutrients and phytoplankton off the Changjiang Estuary in response to changing river inputs. *J Geophysic Res Ocean.* 2020;**125**(3):0. **doi:** [10.1029/2019JC015595](https://doi.org/10.1029/2019JC015595)

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Seyed Shakib Asiaee Sahneh, Department of Marin Science and Technology, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran.
(javadsalehi@pnu.ac.ir)

Akbar Rashidi Ebrahim Hesari, Department of Marin Science, Tarbiat Modares University, Nour, Iran
akbarrashidi@gmail.com

Maryam Rahbani, Department of Marin Science and Technology, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran
maryamrahbani@yahoo.com

Alireza Mavary, Hormozgan General Department of Environmental Protection, Bandar Abbas, Iran
mahvary@yahoo.com



HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) Asiaee Sahneh SS, Rashidi Ebrahim Hesari A, Rahbani M, Mavary A. Simulating Pattern of Transported Pollutant from Gorsuzan Estuary to the Coastal Waters of Bandar Abbas. *J Oceanography*.2021; 11 (44):19-28.

 <http://doi.org/10.52547/joc.11.44.28>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1558-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>



COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.