استفاده از مدل هیدرودینامیکی جهت ارزیابی تخلیه پساب های شهری بر آلودگی نواحی ساحلی مطالعه موردی: شهر بندرعباس

امین قصمی*، ناصر مهردادی و محمدجواد امیری

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

تخلیه فاضلابهای شهری و صنعتی پدیده ایست که در شهرها و مناطق ساحلی اتفاق می افتد. در کشور ما، با توجه به داشتن نوار ساحلی طولانی و شهرها و روستاهای متعدد همجوار دریا در شمال و جنوب کشور، تخلیه فاضلاب به دریا از لحاظ زیست محیطی موضوعی است که می بایست مورد بررسی و ارزیابی دقیق قرار گیرد.

در این پژوهش از مدل عددی MIKE 21 FM برای شبیه سازی هیدرودینامیکی و انتقال آلودگی استفاده خواهد شد. این مدل متعلق به موسسه مطالعات هیدرودینامیکی دانمارک(DHI) است و در رشته های مهندسی در شاخه های محیط زیست، آب و سواحل و بنادر کاربرد دارد. محیط گرافیکی و کاربرپسند این مدل و توانایی ها و امکانات گسترده و اطمینان از نتایج و خروجی های این مدل ازجمله ویژگی های گران بهای آن است.

انتشار آلودگی در محیط های آبی یک پدیده رو به افزایش است. نگرانی از عواقب محیطی و اقتصادی ناشی از انتشار آلودگی در محیط های آبی محققین را وادار کرده که در این راستا تحقیقات فراوانی انجام داده و مدل هایی را جهت بررسی این پدیده و پیش بینی اثرات آن ارائه نمایند. یکی از روش های که می تواند در پیش بینی و حرکت آلاینده ها در محیط های آبی کمک شایانی کند، مدلسازی عددی می‌باشد.

این پژوهش شامل چهار بخش اصلی با موضوعات متفاوت بود. موضوع اول بررسی فاضلاب تصفیه شده خروجی از تصفیه خانه بندر عباس که به داخل خور گورسوزان تخلیه می شود بود. اگرچه که با بررسی ویژگی های ظاهری محل تخلیه و بوی بد ناشی از آن، کدورت بالا و ایجاد کف در آب خور این موضوع مشهود است.

موضوع دیگر مدلسازی هیدرودینامیکی و کیفی محیط دریایی است. برای این منظور مدل ماینک دوبعدی انتخاب شده است. ابتدا محدود کل خلیج فارس مدلسازی هیدرودینامیکی شده است. سپس از نتایج حاصل از مدل کالیبره شده خلیج فارس داده‌های تراز سطح آب در مرز محدوده بندرعباس استخراج و مدل هیدرودینامیکی محلی برپا شده است. سرانجام مدل کیفی بر اساس محل تخلیه و داده های کیفی فاضلاب تخلیه شونده به محیط و دیگر داده های موجود از نمونه برداری‌ها و اندازه گیری‌ها برپا و اجرا شده است. بدین ترتیب پخش آلودگی مورد بررسی قرار گرفته است.

نتایج نشان می دهند که تخلیه فاضلاب تصفیه شده به این خور و حتی خارج از خور و در نزدیکی ساحل مشکلات این منطقه را حل نخواهد کرد با توجه به سعی و خطاهای صورت گرفته و بررسی عمق و متوسط سرعت و جهت جریانات در منطقه، تنها راه حل استفاده از آتفال با طول حداقلی ۲۰۰۰ متر و عمق حدود ۷ متری می باشد. در این صورت احتمال ایجاد شرایط یوتروفیک در محیط خور و نواحی ساحالی بندر عباس به واسطه تخلیه فاضلاب تصفیه شده به شدت کاهش خواهد یافت.

* Corresponding Author*: Email Address*. ghasami.amin@gmail.com

واژه‌های کلیدی: مدل سازی، تخلیه فاضلاب های شهری، تغذیه گرایی.

مقدمه

اقیانوس‌ها و دریاها حدود ۷۰ ٪ از سطح کرهٔ زمین را پوشش می‌دهند و اکوسیستم دریایی بزرگ‌ترین اکوسیستم روی زمین است. این اکوسیستم آب‌وهوا را تعدیل می‌کند و موجب جلوگیری از فرسایش می‌شود، انرژی خورشیدی را جمع آوری و توزیع کرده و دی‌اکسیدکربن را جذب می‌کند. دریاها و اقیانوس‌ها هر یک دارای ویژگی‌های منحصر به فردی می‌باشند که به طور مشخص به حجم توده آبی آنها مرتبط می‌باشد زیرا دریاها به علت کاهش حجم توده آبی‌شان نسبت به اقیانوس‌ها از شرایط آب‌وهوای محلی بیشتر تأثیر می‌گیرند.

امروزه دریاها تبدیل به گزینه نهایی برای تخلیه زباله‌ها و فاضلاب‌ها شده‌اند، فاضلاب‌ها توسط رودخانه‌ها و یا مستقیماً به درون دریا سرازیر می‌شوند از دیگر تهدیدها، ورود مواد رادیواکتیو، و همچنین مواد نفتی به همراه گونه‌های ناسازگار ناشی از آب توازن کشتی‌ها به درون دریا است. این فعالیت‌ها موجب تهدید اکوسیستم دریایی به‌ویژه زندگی مانگروها و صخره‌های مرجانی شده و آب‌های ساحلی و آب‌های شیرین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی از محیط‌های دریایی و ساحلی از حساسیت بیشتری در برابر این آلودگی‌ها برخوردارند که از آن میان می‌توان به خورها اشاره کرد.

در زمینه مدل‌سازی رفتار آلودگی ، دو نوع آلودگی یکی آلودگی‌هایی که به‌عنوان ردیاب غیرعامل[†] عمل می‌کنند، مانند رادیواکتیو و... که رفتار نسبتاً ساده‌تری نسبت به دیگر آلاینده‌ها دارند و دیگری آلاینده‌هایی مانند نشت نفت که رفتار پیچیده‌تری دارند، وجود دارند(James, 2016).

به منظور تهیه مدل‌های شبیه‌سازی آلاینده‌های آب‌های سطحی و اقیانوسی معیارهای انتخاب و ارزیابی مدل مناسب در جهت هدف شبیه‌سازی را می توان در دو گام بیان نمود. در گام اول مدل های آب سطحی و اقیانوسی شناسایی و انتخاب شده و در گام بعدی معیارهای محیط مناسب برای مدل تهیه شده(رودخانه، دریاچه، خور، آب‌های ساحلی و تالاب‌ها)، درجه تحلیل مدل(مدل پایش اولیه و پیشرفته)، در دسترس بودن مدل(مدل در دسترس عموم و یا اختصاصی)، تغییرپذیری در زمان(حالت جریان ماندگار یا غیرماندگار/دینامیک)، رزولوشن مکانی(یک، دو و یا سه‌بعدی)، فرایندها(جریان، انتقال و یا ترکیب جریان و انتقال در سیستم یکپارچه)، کیفیت آب(شیمیایی، بیولوژیکی، رادیونوکلوئید و رسوب) و پشتیبانی مؤسسه صاحب اعتبار مدل(پشتیبانی کاربران، دسترسی به آموزش، راهنمای کاربران) را مورد بررسی قرارداد(Bahadur et al., 2018).

کرگتینگ و همکاران(۲۰۱۴) در تحقیقی با استفاده از مدل MIKE 21FM خور استنفورد را از نظر هیدرودینامیکی مدل‌سازی کردند. این خور محیطی پیچیده با سرعت جریان بالا و الگوی جریان پیچیده داشته که با استفاده از داده‌های جزر و مدی و جریان در منطقه شبیه‌سازی‌شده و نتایج کالیبره شده است. در انتها در این تحقیق نتیجه‌گیری شده است که این مدل برای مطالعات هیدرودینامیکی، پخش آلودگی و بررسی انرژی‌های تجدیدپذیر مناسب و دقیق بوده است(Kregting and Elsaber, 2020).

† . Passive tracer

در تحقیقی که در سال ۲۰۱۹ میلادی انجام شده است جریانات سطحی و نزدیک بستر خلیج بوشهر با استفاده از داده‌های جوی و مؤلفه‌های جزر و مدی M2، S2، K1 و O1 و همچنین شرایط مرزی موجود توسط مدل عددی سه‌بعدی کوهیرنس شبیه‌سازی شده است. در نهایت نتیجه گرفته شده است که جریانات این خلیج تحت تأثیر جریانات جزر و مدی است. بنا بر نتایج این تحقیق با استفاده از ردگیری شناورهای سطحی نیز به این نتیجه رسیده شده است که در زمان مد، در محدوده کانال خارجی، جریانات از سمت جنوب و جنوب غرب به سمت شمال و شمال شرق حرکت کرده و بخشی از آن‌ها وارد خور سلطانی شده و بخش دیگر به سمت سواحل شمالی خلیج بوشهر حرکت می‌کنند. در زمان جزر، جریانات از سمت سواحل جزیره شیف به سمت کانال‌ها حرکت کرده و تقریباً موازی با کانال خارجی، از کانال داخلی عبور می‌کنند. در کانال خارجی نیز بخشی از جریانات از خلیج بوشهر خارج شده و بخش دیگر به موازات ساحل غربی بندر بوشهر، به سمت جنوب می‌روند (Sadrinasab and Hosseini, 2019).

لاری و همکاران در سال ۱۳۹۵ تحقیقی را به کمک اندازه‌گیری‌های میدانی ثبت شده مربوط به موج و نقشه‌های هیدروگرافی منطقه به بررسی شیب بستر، نوع و ناحیه شکست، طول و ارتفاع موج و عمق نقطه شکست انجام دادند. نتایج حاکی از آن بوده است که بیشینه ارتفاع شکست ۶۵/۲ متر و بیشینه فروآب ناشی از شکست ۸/۹ سانتی‌متر و کمترین فاصله شکست از خط ساحلی ۴۲ متر و بیشترین شکست‌ها در فاصله ۲۰۰ تا ۶۰۰ متری از خط ساحلی رخ داده است. شکست در این منطقه از نوع آشفته تعیین شده است(لاری و همکاران، ۱۳۹۱).

در تحقیقی دیگر به بررسی رفتار آلودگی ناشی از فاضلاب شهر باری در ایتالیا در آب‌های ساحلی این محدوده پرداخته شده است. با توجه به نتایج اندازه‌گیری شده، بزرگی و جهت جریانات، باد، جزر و مد و لایه‌بندی در این منطقه نقش مهمی در پخش و انتشار ردیاب‌های غیرعامل از جمله شوری و حرارت داشته است. در مرحله بعدی این منطقه با مدل عددی MIKE 3FM شبیه‌سازی شده و پس از کالیبراسیون مشاهده شده که تأثیر باد بیشتر از زبری بستر در این ناحیه بوده است؛ بنابراین نتایج حاصل از مدل‌سازی با اندازه‌گیری‌های میدانی هماهنگی خوبی داشته است (De Serio et al., 2020).

محمودی و همکاران در سال ۱۳۹۸، تحقیقی را در خصوص تهیه مدل هیدرودینامیک سه‌بعدی کوهیرنس برای شبیه‌سازی پخش آلودگی در لایه‌های آب در خلیج فارس (دو لایه سطح و بستر) در یک بازه زمانی ۲۴ ساله انجام دادند. اطلاعات آب و هوایی مورد استفاده در مدل شامل داده‌های بارش، پوشش ابر، رطوبت نسبی، سرعت و جهت باد و دمای هوا بوده و چهار مؤلفه اصلی جزر و مدی M2، S2، O1 و K1 برای شبیه‌سازی جریانات استفاده شده است. در اینجا ۴ نقطه به‌عنوان منبع تخلیه آلودگی مورد استفاده قرار گرفته است که این نقاط در دهانه تنگه هرمز، منطقه نفتی عسلویه، خروجی رودخانه اروند و محلی بین کشورهای قطر و امارات فرض شده‌اند. نتایج حاصله نشان‌دهنده تبعیت پخش آلودگی در سطح و بستر از حرکت جریان و زمان ماندگاری آب بوده و سرعت آن در نواحی مختلف متفاوت است و میزان غلظت مواد آلاینده به مرور کاهش می‌یابد. همچنین نحوه پخش در این مدل در فصول مختلف متفاوت بوده است به‌گونه‌ای که در فصل تابستان پخش آلودگی سرعت بیشتری نسبت به فصل زمستان دارد(محمودی و همکاران، ۱۳۹۸).

در این تحقیق هدف اصلی مدل‌سازی هیدرودینامیک خور گورسوزان و انتخاب مکانی مناسب برای تخلیه فاضلاب خانگی تصفیه‌شده بندرعباس دراین خور بوده است. در این راستا از تفاوت شوری فاضلاب و محیط خورها برای بررسی رفتار این آلاینده استفاده شده است.

نسخه پیش انتشار

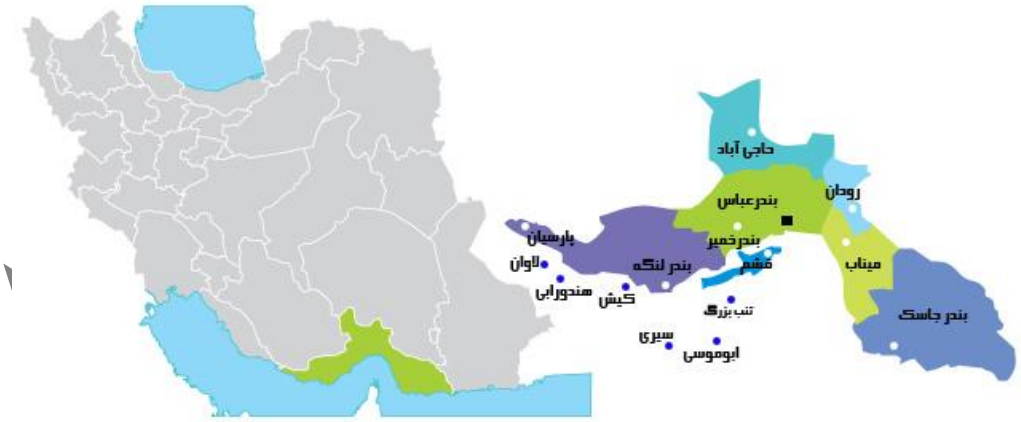
برای انجام این تحقیق مدل‌های مختلفی وجود دارد که با توجه به در دسترس بودن این مدل‌ها و سازگاری با اهداف و وسعت و ویژگی‌های منطقه موردمطالعه این پژوهش به‌وسیله مدل Mike انجام شده است.

۲. محدوده مطالعاتی

استان هرمزگان در حدفاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده‌است. این استان حدود ۶۸هزار کیلومتر مربع مساحت دارد که از این نظر هشتمین استان کشور است.

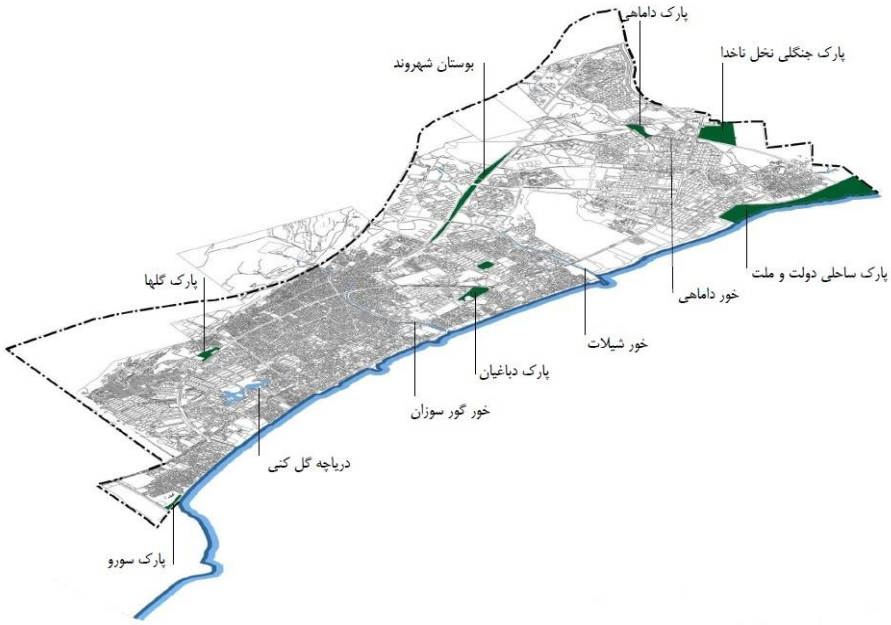
هرمزگان از جهت شمال و شمال شرقی با استان کرمان، غرب و شمال غربی با استان‌های فارس و بوشهر از شرق با سیستان و بلوچستان همسایه بوده و جنوب آن را آب‌های گرم خلیج‌فارس و دریای عمان در نواری به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر دربرگرفته‌است.

شهرستان بندرعباس به مرکزیت شهر بندرعباس دارای ۴ بخش(مرکزی، قلعه قاضی، تخت و فین) و ۱۱ دهستان(گچین، ایسین، تازیان، تخت، شمیل، دهنو، سرخون، قلعه قاضی، فین، سیاهو و گهره) مساحتی بالغ بر ۱۴۰۸۶ کیلومترمربع را در برگرفته است. این شهرستان از شرق به شهرستان میناب و رودان، از غرب به شهرستان بندرلنگه و بستک، از شمال به شهرستان حاجی آباد و استان فارس و از جنوب به تنگه هرمز و خلیج فارس محدود است.
شهر بندرعباس در موقعیت ۲۷ درجه و ۱۰ دقیقه عرض جغرافیایی و ۵۶ دقیقه طول جغرافیایی دارای مساحتی حدود ۵۱۲۰ کیلومتر مربع و در حاشیه خلیج فارس(شمال تنگه هرمز) واقع است. مطالعات طرح تفضیلی شهر بندرعباس در سال ۱۳۶۹ انجام شده که بر اساس آن شهر به ۳۵ محله تقسیم شده است. خورگورسوزان در جنوب این شهر و در راستای غربی- شرقی واقع شده است.
بندرعباس دارای هفت خور تحت عناوین گورسوزان، شیلات، سنگ کن، گلزار شهدا، حسین آباد، دو هزار و کپشکن می باشد. پساب تصفیه خانه فاضلاب شهربندرعباس از طریق خور گورسوزان وارد خلیج فارس می شود.



شکل شماره۱- موقعیت استان هرمزگان و شهرستان های این استان

نمونه ثبت



شکل شماره۲- موقعیت خورگورسوزان در شهر بندرعباس

۳. مواد و روش ها

۳. ۱. برپایی مدل هیدرودینامیکی

برای به‌دست‌آوردن سطوح آب جزرومدی در ناحیه خلیج‌فارس، مدل DHI MIKE 21HD بکار گرفته شده است که بر مبنای حل عددی تقریب رینولدز از معادلات دوبعدی ناویر-استوکس (متوسط گیری شده در عمق) غیر فشرده در آب کم‌عمق استوار است. مدل عددی فوق‌الذکر در شبکه‌ای منعطف و به روش المان محدود حل می‌شوند.

برای مدل‌سازی ریاضی جریان در محدوده پروژه، نرم‌افزار MIKE21-HD-FM بکار رفته که در آن از معادلات دوبعدی افقی جریان آب کم‌عمق که در واقع معادلات جریان متوسط در عمق هستند، استفاده می‌شود. این معادلات شامل یک معادله بقاء جرم و دو معادله بقای اندازه حرکت در افق بوده و به کمک این دستگاه معادلات، سه مجهول عمق آب (h) و دو مؤلفه سرعت که در دستگاه مختصات کارتزین $(\bar{u},\bar{v})$ هستند قابل محاسبه است. دستگاه معادلات مذکور عبارت‌اند از:

معادله بقاء جرم:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}}{\partial y}=hS \qquad (۱)$$

معادله بقاء اندازه حرکت در جهت xو y:

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{u}\,\bar{v}}{\partial y}= f\bar{v}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x}+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0}+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy})+hu_sS \qquad (۲)$$

(۳)

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}\,\bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} = -f\bar{u}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy})$$

که پارامترهای مختلف در این معادلات به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

h=d+h' : که در آن d عمق متوسط آب و 'h تراز سطح آب است.

$\bar{u}, \bar{v}$: مؤلفه‌های سرعت متوسط‌گیری شده در عمق به ترتیب در راستای x و y که از رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$h\bar{u} = \int_{-d}^{h'} u\,dz \quad , \quad h\bar{v} = \int_{-d}^{h'} v\,dz \qquad (۴)$$

g: شـتاب جاذبه، ρ چگالی، ρ0 چگالی مبنا، S مقدار دبی در نقاط منبع، us و vs سـرعت ورود آب در نقطه منبع، f اثر کوریولیس، τbx و τby تنش برشی ناشی از اصطکاک در کف، τsx و τsy مؤلفه‌های تنش برشی ناشی از باد در سطح است که از روابط زیر تعیین می‌شود:

$$\bar{\tau}_s = \rho_a C_d |\bar{u}_{10}|\bar{u}_{10} \qquad (۵)$$

که در آن ρa چگالی هوا وu10 بردار سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح دریا بوده وCd ضریب رانش است.

Tij: تنش برشی افقی ناشی از آشفتگی است که توسط روابط زیر تخمین زده می‌شوند:

$$T_{xx} = 2A\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \quad , \quad T_{xy} = A\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial x}\right) \quad , \quad T_{yy} = 2A\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \qquad (۶)$$

که در آن A ضریب لزجت گردابه‌ای است.

در این نرم‌افزار معادلات فوق به روش حجم محدود صریح و با استفاده از المان‌های سه‌ضلعی نامنظم حل می‌شود.

۳. ۲. زمان اجرای مدل هیدرودینامیکی

این مدل با توجه به همپوشانی زمانی اطلاعات موجود برای ۱۲ ماه سال ۲۰۱۹ میلادی اجرا شده است.

زمان شروع: ۱/۵/۲۰۲۰ ساعت: ۰۰:۰۰:۰۶

فاصله گام‌های زماانی خروجی: ۶۰۰ ثانیه(معادل ۱۰ دقیقه)

تعداد گام‌های زمانی: ۳۱۰۰۰

۳. ۳. صحت سنجی و واسنجی مدل

سطوح آب جزرومدی پیش‌بینی‌شده توسط مدل همان‌طور که در فصول قبلی معرفی شد، با اندازه‌گیری‌های در محل مقایسه شده است. پارامترهای کلیدی واسنجی، شامل زبری کف و لزجت گردابه‌ای می‌باشد. زبری کف بر مبنای عدد مانینگ تعریف می‌شود؛ این پارامتر،

نسخه پیش انتشار

بر سرعت جریان و دامنه‌های جزرومد اثر می‌گذارد. لزجت گردابه‌ای که آشفتگی افقی را کنترل می‌کند، با استفاده از روش Smagorinsky مشخص شده است.

صحت سنجی مدل جزرومدی به کمک انجام تحلیل دقیق آماری با تغییر عدد زبری مانینگ انجام شده است تا مناسب‌ترین عدد زبری بستر برای حصول دقیق‌ترین نتایج مدل‌سازی به دست آید. مشاهده می‌شود که بهترین همبستگی در همه موارد مربوط به مقدار زبری مانینگ ۸۰ می‌باشد که به همه شبیه‌سازی‌های بعدی تعمیم داده شده است. برای لزجت گردابه‌ای، مقدار Smagorinsky ۰/۲۸ به‌عنوان مقدار کالیبره شده در فرایند مدل‌سازی انتخاب شده است.

برای تکنیک حل، یک الگوی سریع حل، برای انتگرال‌گیری زمانی و گسسته‌سازی مکانی انتخاب شده است. برای اطمینان از پایداری مدل، عدد کوارنت - فردریت - لووی (CFL) به مقدار ماکزیمم ۰/۸ محدود شده است. در مورد شرایط مرزی، تغییرات جزرومد در راستای میان سیریک و مسندم که با استفاده از روش OTPS به دست آمد، به‌عنوان مرز باز مدل گنجانده شده است. بقیه مرزهای دامنه موردمطالعه می‌تواند به‌عنوان خشکی تلقی شود.

۳. ۴. برپایی مدل کیفی

با توجه به موضوع تحقیق و همچنین مطالعات انجام شده در گذشته پس از برپایی مدل بر اساس داده های موجود و در دسترس از جمله تصاویر ماهواره ای، داده های هواشناسی و ... نسبت به اضافه کردن مدل کیفی اقدام شده است. در حقیقت ماژول هیدرودینامیکی مبنا و اساس دیگر ماژول‌ها بوده، و ماژول‌های دیگر توانایی اجراشدن مستقل بر پایه خروجی‌های ماژول هیدرودینامیکی ندارند. اساس مدل‌سازی پخش شوری معادلات انتقال شوری و حرارت است. در این پژوهش دمای فاضلاب تخلیه شونده با دمای محیط آبی خور یکسان فرض شده است. بنابراین چگالی فقط تابع شوری در نظر گرفته شده است

بمنظور امکان انجام بررسی های کیفی نسبت به انجام نمونه برداری، انجام آزمایشات کیفی و وارد کردن داده های کیفی به مدل اقدام شده است.

پارامترهای مورد نظر جهت اندازه‌گیری و استفاده در مدل دوبعدی مایک جهت بررسی الگوی رفتار پخش آلودگی ناشی از فاضلاب تصفیه‌شده در سواحل بند عباس و برآورد میزان ظرفیت جذب این آب‌ها با توجه به شاخص‌های تغذیه گرایی به شرح ذیل انتخاب گردیده‌اند:

- عمق ستون آب‡- دما§- pH- شفافیت آب**- کلرفیل-a††- نیتریت‡‡- نیترات§§- آمونیوم***-کلیفرم کل†††- کلیفرم مدفوعی‡‡‡- اکسیژن موردنیاز بیولوژیکی§§§

- اکسیژن محلول****- فسفات††††

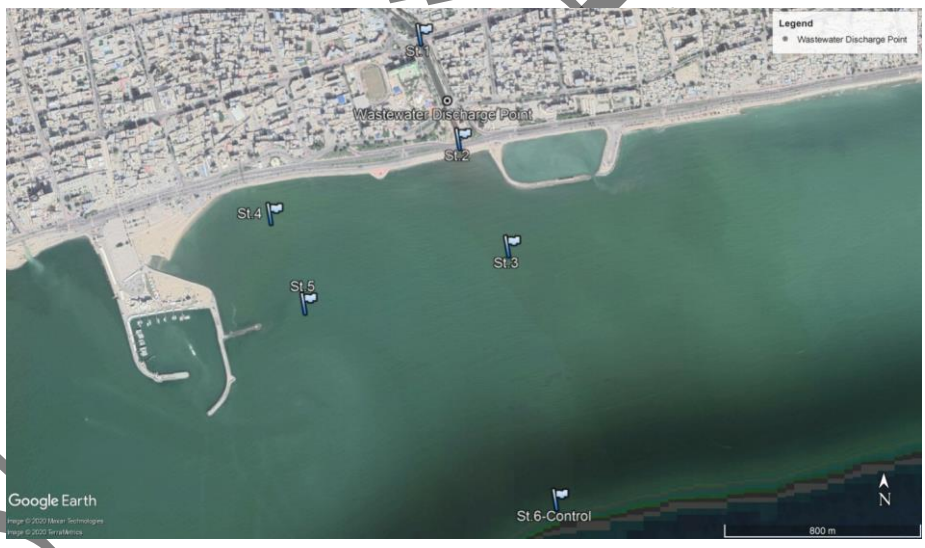
---

‡- Depth
§- Temperature
*** -Transparency*
†† -Chlorophyll-a
‡‡- NO2
§§ -NO3
**** -NH4*
††† -Total Coliform
‡‡‡ -Fecal Coliform
§§§ -Biological Oxygen Demand (BOD)
***** -Dissolved Oxygen*
†††† -PO4

روش تعیین نقاط نیز به صورت مختلط بوده و ترکیبی از روش‌های نقطه‌ای و نیمرخ سطحی و ... است. به این ترتیب با توجه به جزر و مدی بودن منطقه و جریانات رفت و برگشتی در آب‌های ساحلی و خور گورسوزان، در کنار رفتار پلوم آلودگی در اثر این جریانات، بهترین و بهینه‌ترین شبکه نمونه‌برداری از محیط تعیین شده است.

بر اساس جمله نتایج مدلسازی اولیه انجام شده و نیز بازدید میدانی صورت گرفته در خردادماه سال ۱۳۹۹، در نهایت ۶ ایستگاه شامل یک ایستگاه کنترلی و ۵ ایستگاه نمونه برداری جهت انجام مطالعات حاضر در نظر گرفته شده است که در ادامه مشخصات این ایستگاه ها ارائه می گردد.

۲ ایستگاه نمونه‌برداری پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه فاضلاب تصفیه‌شده شهر بندرعباس یکی در دهانه خور گورسوزان (فاصله ۲۰۰ متری) و دیگری در فاصله ۲۰۰ متری از محل تخلیه در داخل خور تعیین شده است. ایستگاه شماره ۳ در راستای دهانه خور و در فاصله حدود ۴۵۰ متری از آن در نظر گرفته شده است. موقعیت ایستگاه ۴ در مجاورت پایانه حقانی تعیین گردیده است و فاصله آن از دهانه خور، ساحل و موج‌شکن شرقی پایانه حقانی به‌ترتیب برابر است با ۸۰۰، ۱۵۰، ۳۵۰ متر. در این محل انباشت و رسوب مواد آلاینده محتمل است. ایستگاه شماره ۵ نیز با فاصله تقریبا ۴۰۰ متری از ایستگاه ۴ قراردارد. علاوه بر ایستگاه‌های شماره ۱ تا ۵، ایستگاه ۶ با فاصله ۱۵۰۰ متر از خط ساحلی و دهانه خور گورسوزان به‌عنوان ایستگاه کنترل جانمایی شده است. در شکل زیر محل ایستگاه‌های نمونه‌برداری نشان داده شده است. در جدول شماره ۱ مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آورده شده است.



شکل ۳- جانمایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب و رسوب در ساحل بندرعباس (شامل ۵ ایستگاه تحت تأثیر آلودگی و ۱ ایستگاه کنترل)

جدول ۱- توصیف ایستگاه‌های نمونه برداری و پارامترهای اندازه‌گیری در هر ایستگاه

ردیف	نام ایستگاه	Longitude	Latitude	محل و فاصله (متر) از دهانه خور	عمق	تکرار	پارامترهای موردانداز‌ه‌گیری

۱	St.1	56.291474°	27.183409°	داخل خور- زیر پل بلوار امام – ۴۵۰متر	سطح و نزدیک بستر	۲ تکرار	در آب: عمق، شفافیت، شوری، دما، **pH ،DO**، **TP ،TN ،BOD5**، نیترات، نیتریت، فسفات، آمونیوم و کلیفرم‌های مدفوعی و کل.
۲	St.2	56.293065°	27.179592°	در دهانه خور – ۲۰۰ متر	سطح و نزدیک بستر	۲ تکرار	
۳	St.3	56.295078°	27.175674°	آب‌های ساحلی در راستای خور – ۴۵۰ متر	سطح و نزدیک بستر	۲ تکرار	
۴	St.4	56.285329°	27.176860°	اسکله حقانی – ۸۰۰ متر	سطح و نزدیک بستر	۲ تکرار	
۵	St.5	56.286726°	27.173583°	دور از ساحل نزدیک موج شکن شرقی اسکله حقانی – ۹۰۰ متر	سطح و نزدیک بستر	۲ تکرار	
۶	St.6-Control	56.297048°	27.166428°	دور از ساحل در راستای خور – ۱۵۰۰ متر	سطح و نزدیک بستر	۲ تکرار	

نسخه پیش انتشار

۴. نتایج

۴. ۱. توسعه تراز بستر و تولید شبکه

شبکه‌بندی علاوه بر گسسته‌سازی مکانی محدوده محاسباتی مدل در میزان دقت و اعتماد به نتایج خروجی مدل نیز تأثیرگذار است. شبکه با سلول‌های ریزتر دقت محاسباتی را افزایش داده ولی در مقابل زمان محاسبه و عملیات اجرای مدل را به نحو چشمگیری افزایش می‌دهد. اگرچه ریزتر کردن شبکه دقت را افزایش می‌دهد، اندازه شبکه با کوچک‌تر شدن از یک اندازه حداقل به‌صرفه نخواهد بود. بنابراین در شبکه‌بندی محدوده مطالعاتی پس از ایجاد شبکه و اجرای مدل

به‌صورت مکرر این اندازه بهینه مشخص شده و در ادامه عملیات مدل‌سازی از آن استفاده شده است. لازم به ذکر است که با توجه به مزایای شبکه‌بندی نامنظم و انعطاف‌پذیر محدوده خورهای سلطانی، لشگری و پودر به‌صورت محلی ریزتر شده‌اند که دلیل آن دقت بالاتر موردنیاز در این منطقه، وسعت و عمق کمتر آن است. ریز شدن این ناحیه در دو مرحله انجام گرفته است؛ به این صورت که ابتدا محدوده‌ای در نزدیکی دهانه این خور ریز شده و سپس شبکه‌بندی در خود خور سلطانی با توجه به دقت موردنیاز ریز شده است. دلیل این کار حفظ یکنواختی نسبی شبکه‌بندی بوده است تا به این‌گونه تا حد امکان زمان حل محاسبات کاهش یابد. همچنین این شبکه‌بندی در نواحی کم‌عمق‌تر نیز ریزتر از نواحی عمیق‌تر است به این دلیل که سلول‌های مناسب در نواحی عمیق در نواحی کم‌عمق وسعت زیاد و عمقی کم خواهند داشت و این باعث عدم دقت در نواحی کم‌عمق می‌شود.

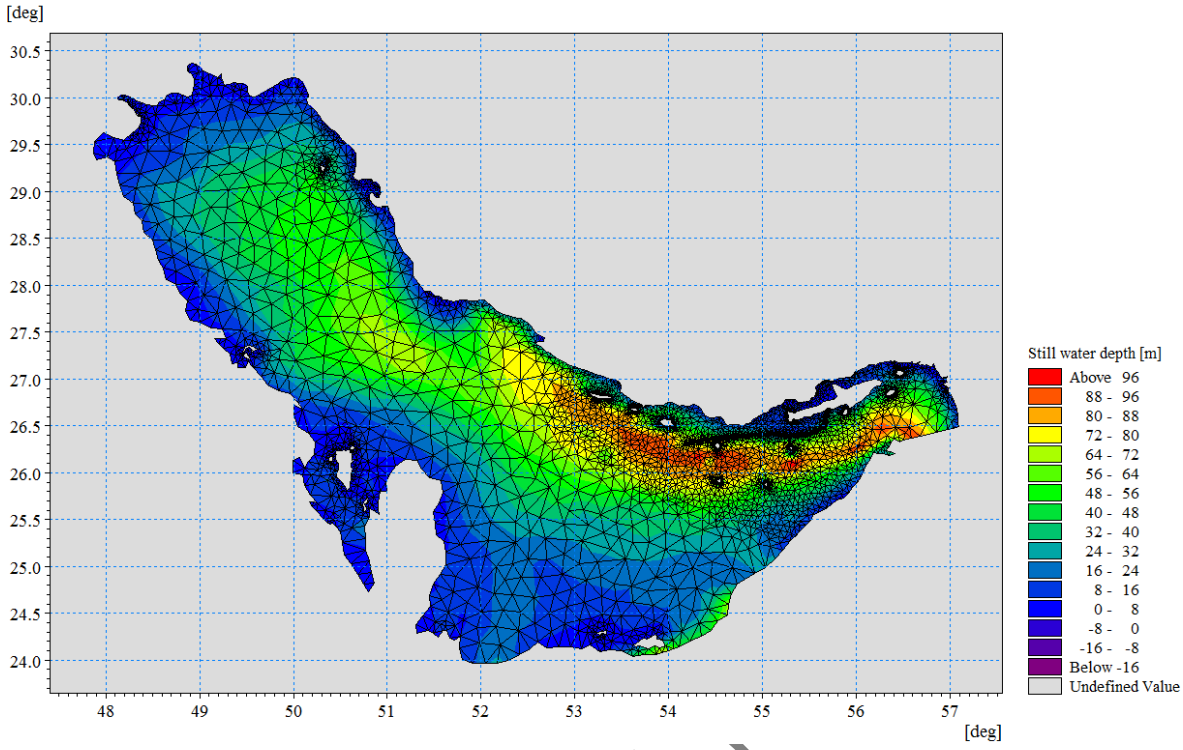
فایل عمق سنجی برای مطالعه حاضر، با استفاده از ESRI Arc GIS 9.2 و سپس با به‌کارگیری ابزار DHI MIKE Zero، تهیه گردید. داده‌های تراز بستر متشکل از داده‌های ETOPO با دقت ۲ دقیقه تهیه شده توسط مرکز ملی داده‌های ژئوفیزیکی امریکا (NGDC)، جداول دریایی NCC در مقیاس‌های k ۱:۱۰۰ و k ۱:۲۵، داده‌های برداری خط ساحلی سواحل ایران از پایگاه داده ICZM ایران، داده‌های برداری خط ساحلی ESRI 2006 برای سایر نواحی ساحل خلیج‌فارس، تصاویر ماهواره‌ای Landsat جهانی و جدول ۲۸۸۸ نقشه‌های نیروی دریایی انگلیس از تنگه هرمز می‌باشند.

خطوط ساحلی جزیره از مجموعه داده‌های جهانی ESRI به دست آمده است و سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و جداول دریایی به‌خوبی واسنجی شده است. بعلاوه ۳۶ جزیره نیز در خلیج‌فارس و تنگه هرمز در تراز بستر مدل ترکیب شدند.

داده‌های NGDC ETOPO2 از وب‌سایت NGDC و با گزینش خاص برای این‌که داده‌ها فقط شامل داده‌های مربوط به خلیج‌فارس باشند، دانلود شد. این داده‌ها در سال ۲۰۰۶ منتشر شدند و شامل داده‌های عمق‌سنجی در بازه‌های دقایق عرضی و طولی جغرافیایی می‌باشند. داده‌ها فقط در نواحی که هیچ پوشش اطلاعاتی از جداول دریایی در دسترس نبود استفاده شده‌اند.

شبکه مدل که داده‌های به دست آمده از تمام منبع‌های عمق‌سنجی یادشده در بالا را در برمی‌گیرد، شامل شبکه‌هایی درشت‌تر در نواحی عمیق و دیگری شبکه‌هایی ریزتر در نواحی نیمه‌عمیق و کم‌عمق می‌باشد که در شکل ۳ نشان داده شده است. المان‌های شبکه انعطاف‌پذیر دارای مساحت‌هایی در بازه ۱۰۸ × ۲.۳۳ مترمربع در میانه خلیج‌فارس تا ۱۳۱.۴ مترمربع در نواحی آب کم‌عمق برای مجموعاً ۲۷۱۳۲ المان است. محدوده محاسباتی، کل خلیج‌فارس را با مرزی باز در سیریک همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در برگرفته است.

نسخه پیش انتشار



شکل ۴- شبکه بندی هیدروگرافی مدل

پیش انتشار

۴. ۲. حساسیت‌سنجی مدل

همان‌طور که در بخش قبل گفته شد، برای انجام مدل‌سازی و کالیبراسیون مدل، نیاز به انجام آزمون حساسیت سنجی است. این آنالیز برای سنجش حساسیت مدل به پارامترهای مورد استفاده آن است که برخی این پارامترها همان پارامترهای مورد استفاده برای کالیبره کردن مدل‌اند که با تغییرات آن‌ها مدل با شرایط موجود تطبیق داده می‌شود. بنابراین شناسایی پارامتر مؤثر امری لازم برای مرحله کالیبراسیون است.

در این تحقیق پارامترهای مورد بررسی در این آنالیز شامل ابعاد شبکه، ضرایب لزجت گردابه‌ی افقی، زبری بستر و گام زمانی حل معادلات هستند. در این مرحله بازه‌ای برای این پارامترها تعیین و میزان تغییر نتایج بررسی‌شده و در نهایت پارامتر مؤثر انتخاب شده است، که در این تحقیق زبری بستر تأثیر بیشتری داشته است، ولی تفاوت آن با تأثیر لزجت گردابه‌ای زیاد نبوده، بنابراین این دو پارامتر در کالیبراسیون مدل متغیر بوده و نقش‌آفرینی کرده‌اند.

۴. ۳. نتایج مدل عددی

پارامتر خروجی اصلی به کار گرفته شده در مطالعه جاری، تراز سطح جزرومدی بوده است که پس از محاسبه با اندازه‌گیری‌های میدانی برای ایستگاه اندازه‌گیری ۱ و ۲ معرفی شده در بخش قبلی، مقایسه شده‌اند. مقایسه میان نتایج مدل MIKE21 HD و اندازه‌گیری ۱ (سرعت و جهت جریان) در شکل ۹ و برای ۲ (تغییرات تراز) انجام شده است تا مدل کالیبره شود.

۴. ۴. تحلیل آماری نتایج شبیه‌سازی

تحلیل آماری میان سطوح جزرومدی پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌ها و اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده است. لازم به ذکر است که دستگاه اندازه‌گیری در ایستگاه ۱ جریان‌سنج بوده و لذا برای این نقطه داده‌های سرعت و جهت جریان در دسترس می‌باشد. همچنین برای ۲ داده‌های دستگاه اندازه‌گیری جزرومد سنج در اختیار بوده است که تغییرات تراز مورد بررسی قرار گرفته است.

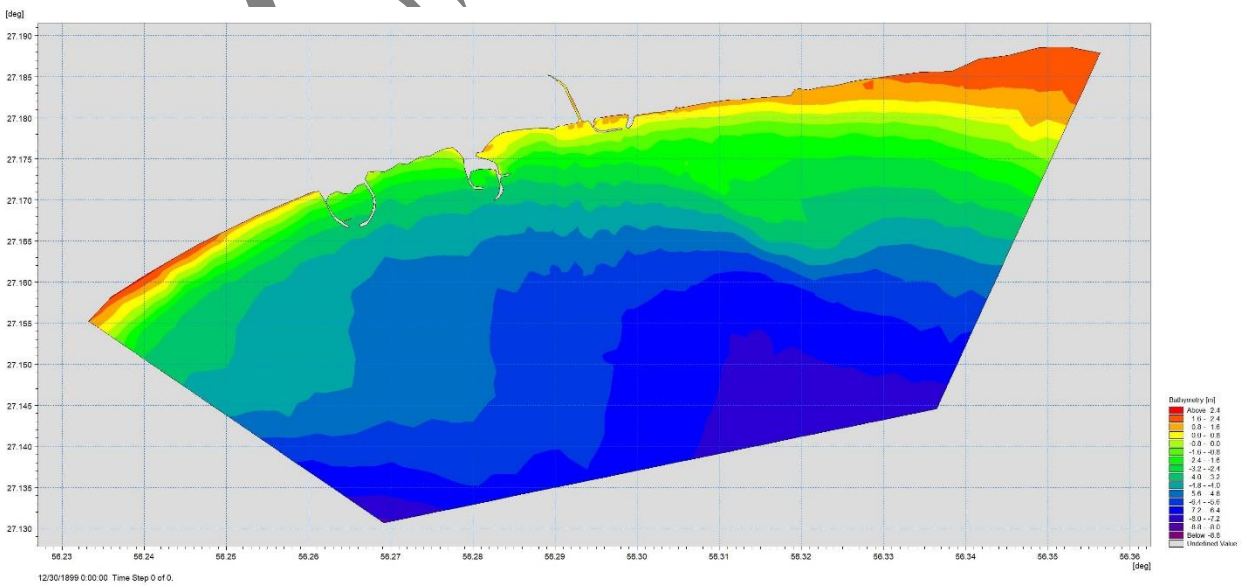
جدول ۲- خلاصه ای از شاخص‌های همبستگی آماری میان نتایج ترازهای جزرومدی و سرعت جریان‌های اندازه‌گیری شده و مدل شده برای ایستگاه اندازه‌گیری ۱ و ۲

Station	Parameter	Number of Evaluated Data	CC	RMSE (m)
1	Current Speed	22694	0.754	858
2	Water Level	12912	0.939	0.1581

۴. ۵. مدل محلی

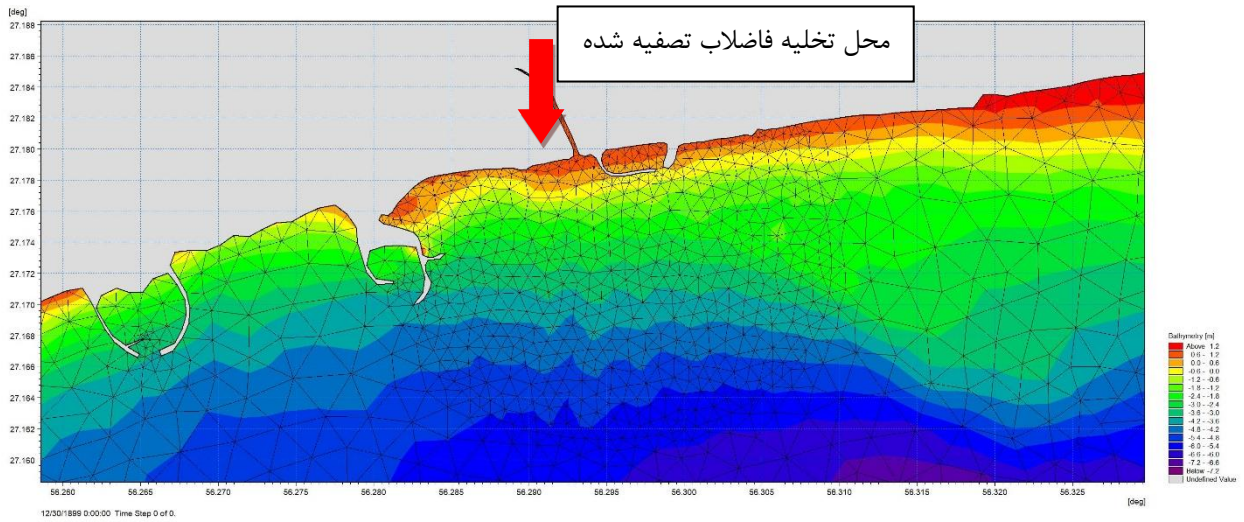
پس از انجام مدل‌سازی خلیج‌فارس، مدل محلی در ساحل بندرعباس تشکیل و اجرا شده است. علت این کار رسیدن به‌دقت قابل‌قبول در مطالعات و بهینه شدن مدت‌زمان اجرای مدل کیفیت آب بوده است؛ لذا تراز سطح آب در سه مرز باز این مدل محلی از نتایج مدل‌سازی کل خلیج‌فارس استخراج شده است و سپس این مدل اجرا گردیده است.

با توجه به مقیاس کوچک‌تر این مدل از داده‌های عمق آب دقیق‌تری استفاده شده است. بستی متری این مدل در شکل زیر ارائه شده است.



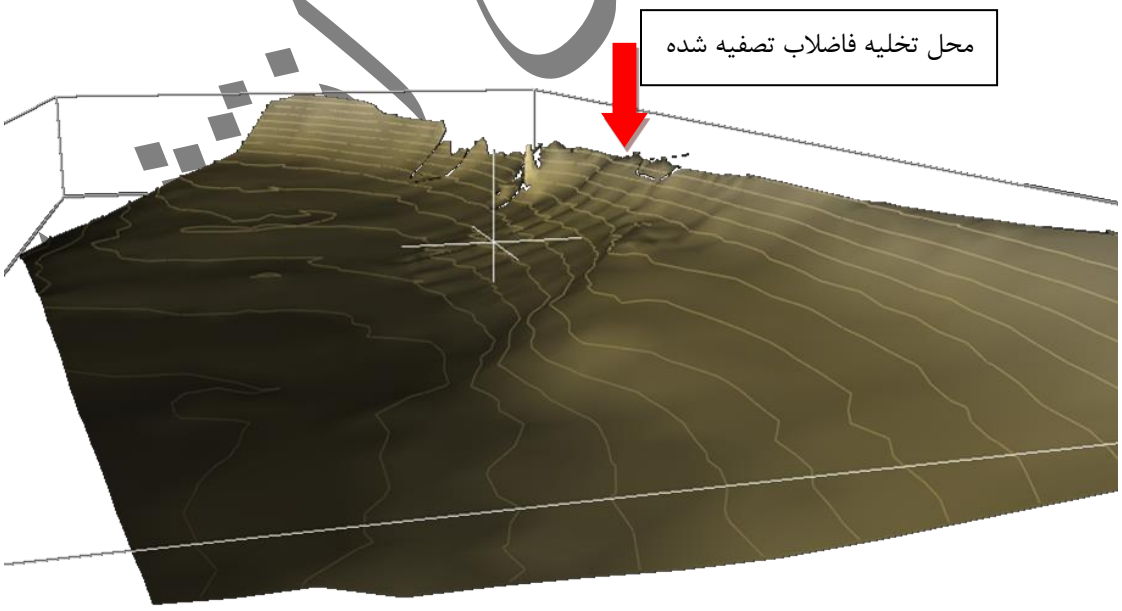
شکل۵- عمق محدوده مدل محلی در ساحل بندرعباس

در شکل زیر نیز المان‌های مش‌بندی نمایش داده شده است. برای دقت بیشتر نواحی نزدیک به محل تخلیه و محل‌های پیش‌بینی‌شده تخلیه آتفال و نواحی کم‌عمق داخل خور گور سوزان دارای مش‌بندی ریزتری هستند. اندازه مش‌بندی بر اساس آنالیز حساسیت به دست آورده شده است.



شکل۶- مش‌بندی در مدل محلی

نمایش سه‌بعدی توپوگرافی بستر مدل محلی با دید از سمت شرق به غرب در شکل زیر ارائه شده است.

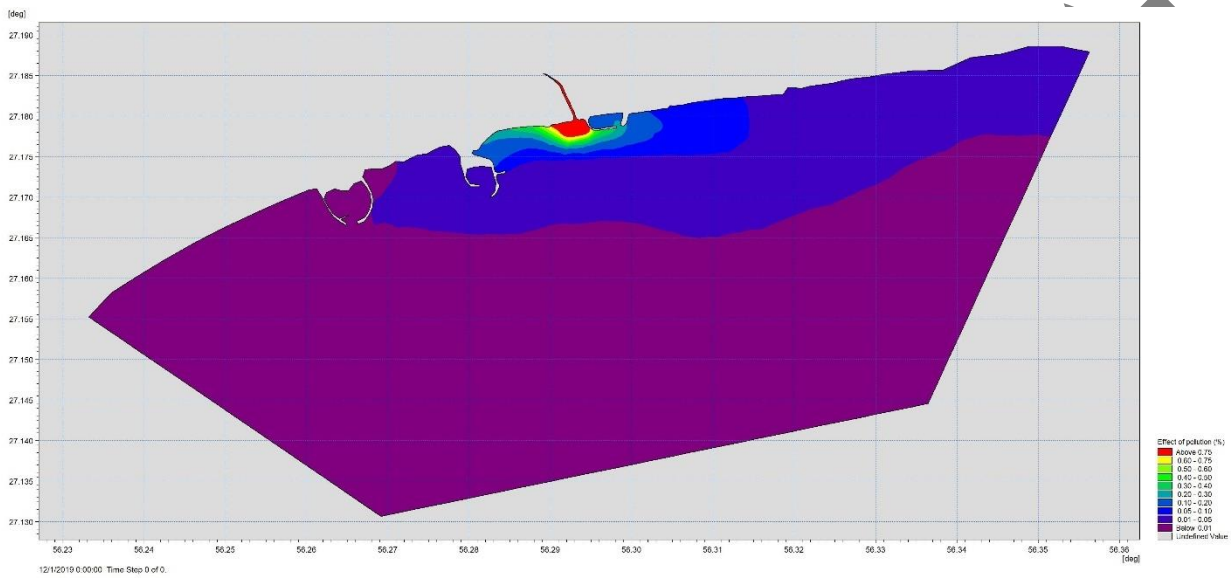


شکل۷- نمای سه‌بعدی از توپوگرافی بستر دریا در سواحل بندرعباس

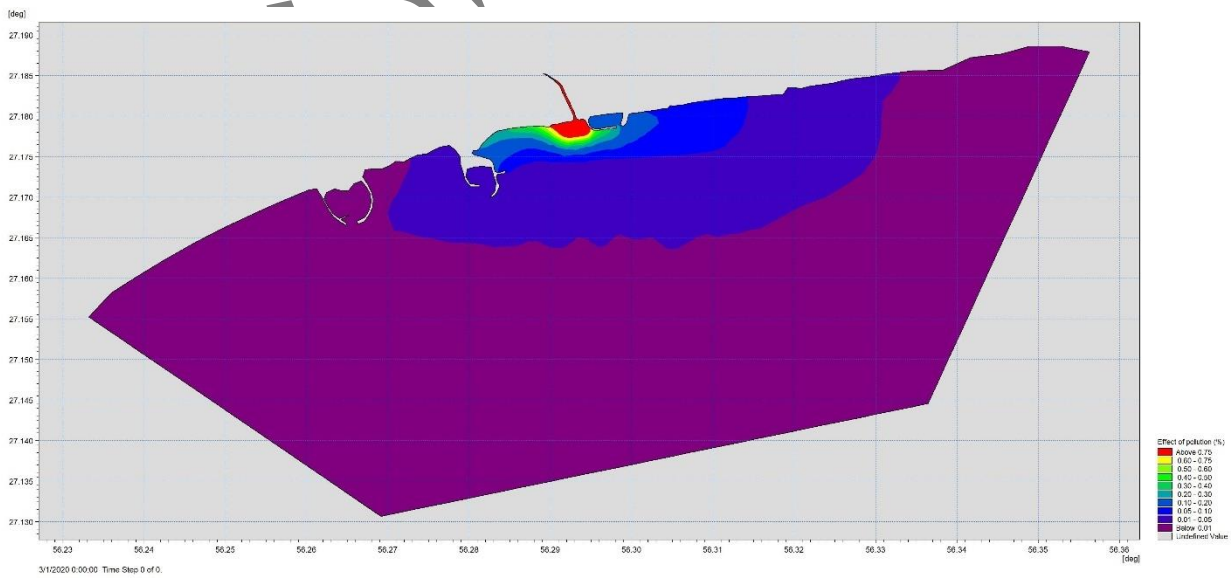
۴. ۶. شناسایی و تعیین محدوده اثر آلودگی تخلیه کننده‌های مرتبط با فاضلاب‌های شهری بندرعباس بر سواحل پذیرنده

بررسی محدوده اثر آلودگی تخلیه کننده‌های مرتبط با فاضلاب‌های شهری بندرعباس بر سواحل پذیرنده با اتخاذ شوری به‌عنوان مسیریاب آلودگی در منطقه انجام شده است. پس از تعریف منبع تخلیه فاضلاب تصفیه شده در خور و مدل‌سازی هیدرودینامیک جریانات جزرومدی منطقه، با بررسی شوری و میزان رقیق شدگی آن در محیط محدوده اثر آلودگی تعیین شده است.

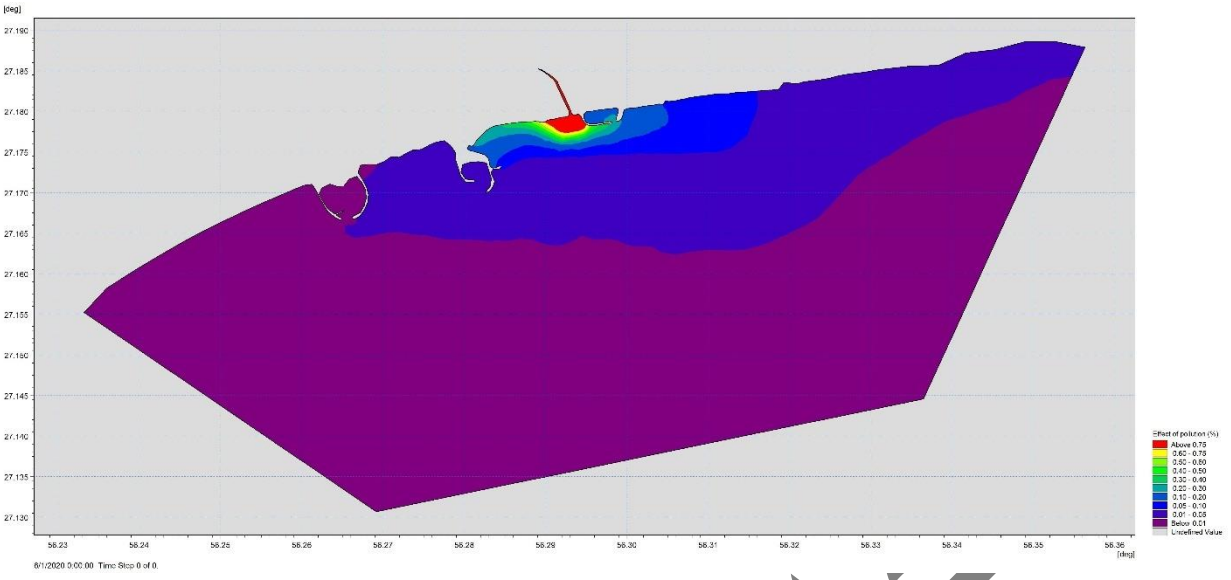
میزان مینیموم شوری در طول مدل‌سازی برای فصول مختلف محاسبه و سپس میزان اثر آن بر محیط برحسب درصد بیان شده است. شوری محیط پذیرنده ۳۲ و شوری فاضلاب تخلیه شونده ۰ در نظر گرفته شده است. در ادامه تصاویر میزان اثرپذیری نواحی مختلف محیط پذیرنده سواحل بندرعباس در فصل‌های مدل‌سازی شده در طول سال ۲۰۲۰ نشان داده شده است.



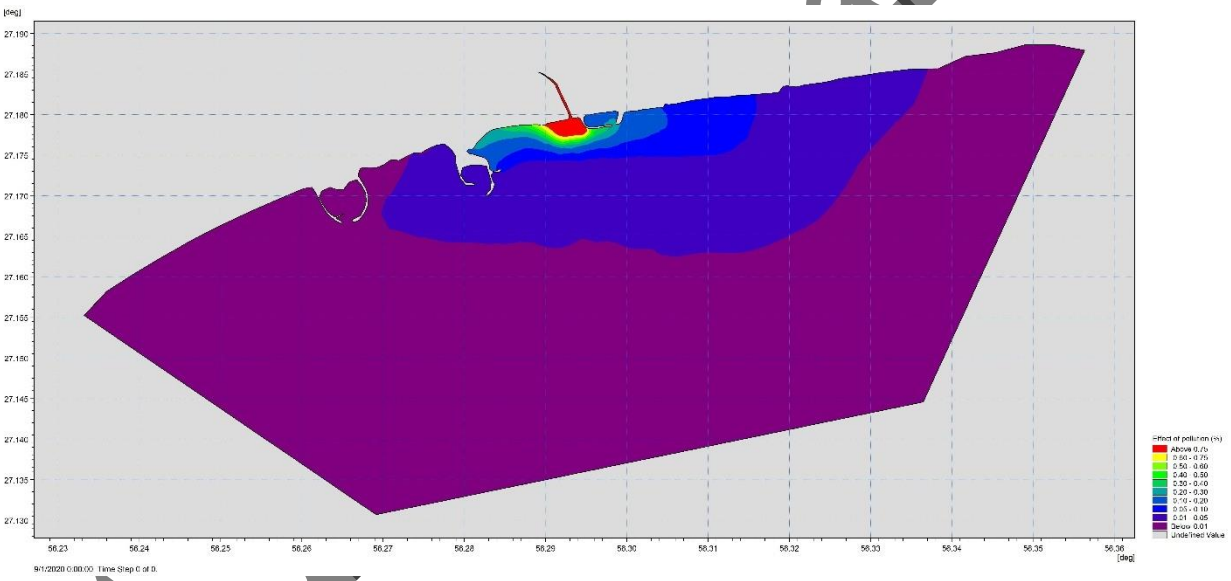
شکل۸- اثرگذاری تخلیه فاضلاب در نواحی مختلف محیط پذیرنده در فصل زمستان



شکل۹- اثرگذاری تخلیه فاضلاب در نواحی مختلف محیط پذیرنده در فصل بهار



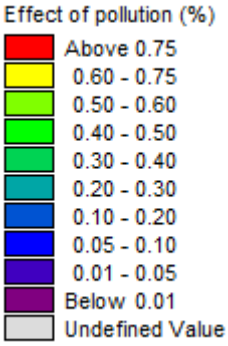
شکل ۱۰- اثرگذاری تخلیه فاضلاب در نواحی مختلف محیط پذیرنده در فصل تابستان



شکل ۱۱- اثرگذاری تخلیه فاضلاب در نواحی مختلف محیط پذیرنده در فصل پاییز

با توجه به جدول راهنمای تصاویر بالا که در شکل زیر آورده شده است، محدوده مدل‌سازی شده در بیشتر نواحی کمتر از ۱ درصد تحت تأثیر قرارگرفته است. در پالت رنگ چهارم این میزان بیشتر از ۱۰ درصد است که محدوده اطراف سازه‌های غربی و شرقی دهانه خور، مسافتی در حدود ۱ کیلومتر را در برگرفته است. این در حالی است که در فاصله ۲۰۰ متری از دهانه خور اثرگذاری آلودگی تخلیه شده برابر است با بیش از ۷۵ درصد و این میزان با داخل خور یکسان است. لازم به ذکر است که این بررسی‌ها بر اساس کمترین میزان رقیق شدگی در طول مدل‌سازی‌ها انجام شده و درآن‌واحد نتایج به‌صورت لحظه‌ای متفاوت است. به عبارتی این نتایج بدترین حالت ممکن در طول زمان مدل‌سازی‌ها را در نظر گرفته است.

محدوده اثرگذاری آلودگی در سواحل پذیرنده مطابق تصاویر فوق است. پخش و گسترش این آلودگی به سمت شرق بیشتر از سمت غرب بوده است. علت این نتیجه وجود سازه‌های دریایی اسکله موجود در غرب دهانه خور است. این اسکله با به دام انداختن مواد مغذی در پشت موج‌شکن شرقی خود سبب ازدیاد غلظت مواد مغذی و در نتیجه عدم گسترش آن می‌شود.



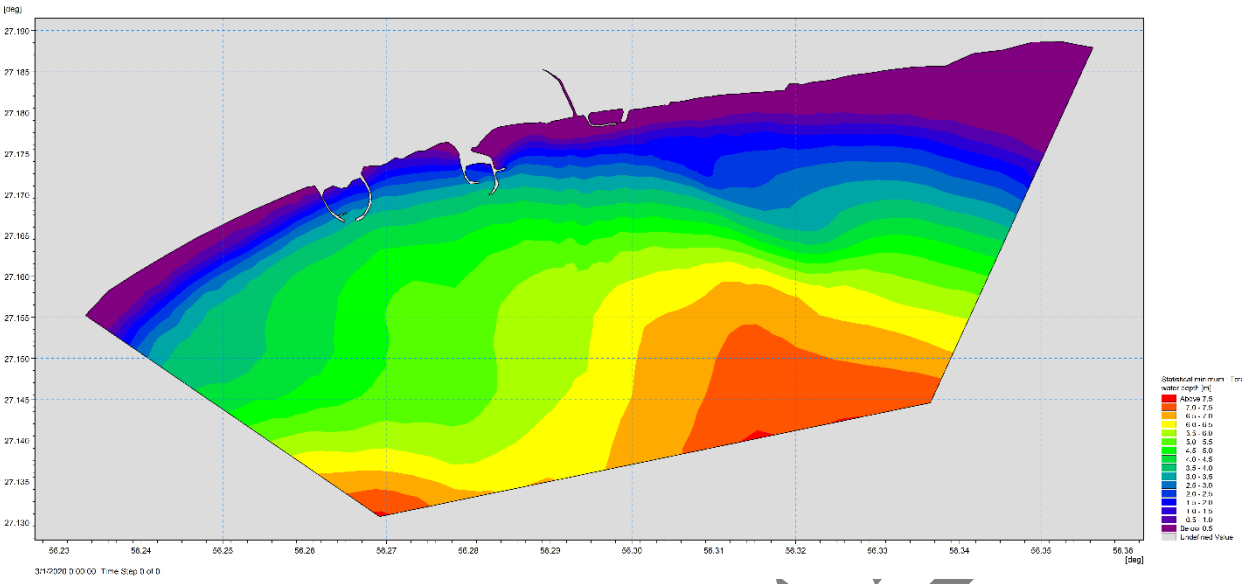
شکل۱۲– جدول راهنمای تصاویر بررسی محدوده تحت تأثیر آلودگی

۴. ۷. تعیین محدوده مناسب تخلیه پساب‌ها با توجه به خصوصیات کمی و کیفی پساب‌ها، محیط‌های پذیرنده و جریان‌های دریایی (جذر و مد)

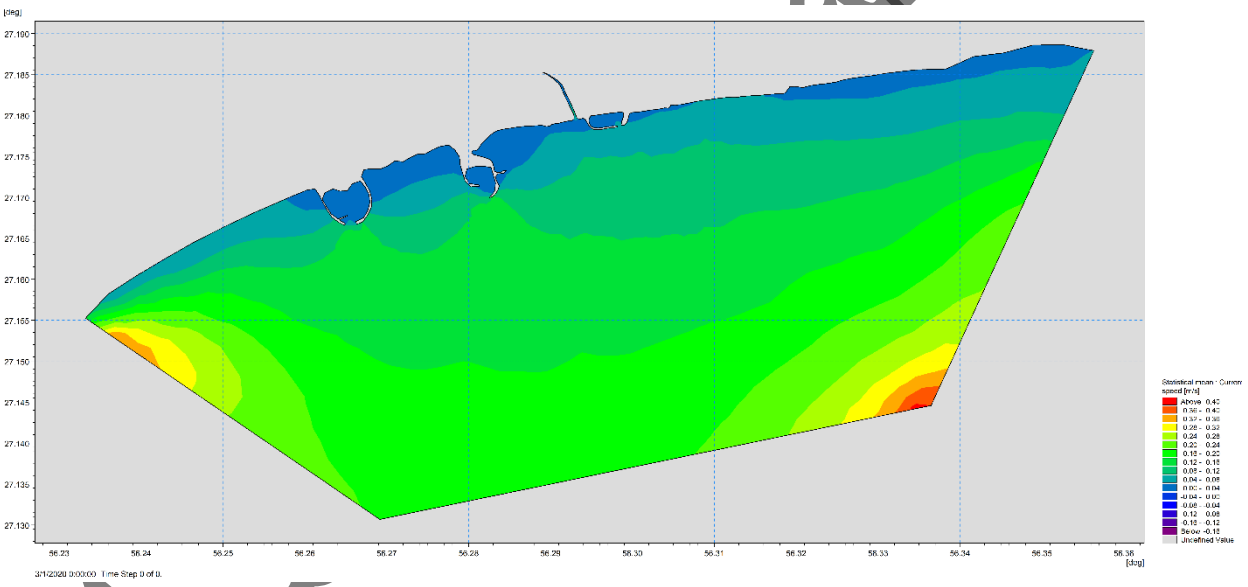
تعیین محدوده مناسب تخلیه بر اساس وضعیت هندسی بستر، داده‌های هیدروگرافی و عمق آب، الگوی جریانات و سرعت آن و همچنین جهت جریان غالب انجام می‌شود. در این مرحله ابتدا محدوده‌های مناسب تعیین و محل دقیق‌تر بر اساس مدل‌سازی و خصوصیات کمی و کیفی پساب تعیین می‌شود. به طور خلاصه، عامل اصلی تعیین محل خروجی آتفال میزان رقیق شدن غلظت آلاینده‌هاست. برای کاهش طول آتفال از ساحل و کاهش هزینه‌ها استفاده از دیفیوزر پیشنهاد می‌گردد. عملکرد کلی دیفیوزر به این صورت است که میزان رقیق شدگی اولیه را افزایش می‌دهد و لذا محیط غلظت کمتری را جهت پالایش دریافت می‌کند. به‌این‌ترتیب محدوده تحت تأثیر کاهش می‌یابد. ولی ناگفته نماند که بهترین روش حذف و یا کاهش آلودگی تخلیه شونده به محیط دریایی است.

در شکل‌های زیر حداقل عمق آب محاسبه شده، میانگین سرعت جریانات و جهت غالب جریان‌های دریایی جهت انتخاب محدوده اولیه خروجی آتفال ارائه شده است. هرچه عمق و سرعت جریان در نقطه انتهایی خط لوله بیشتر باشد رقیق شدگی اولیه بیشتر و در نتیجه اثرات محیط زیستی کاهش میابد. با توجه به شکل جهت جریانات غالب، محدوده‌ای که امکان تخلیه پساب را دارا است عموماً دارای یک‌جهت بوده و تأثیری در انتخاب محل تخلیه ندارد.

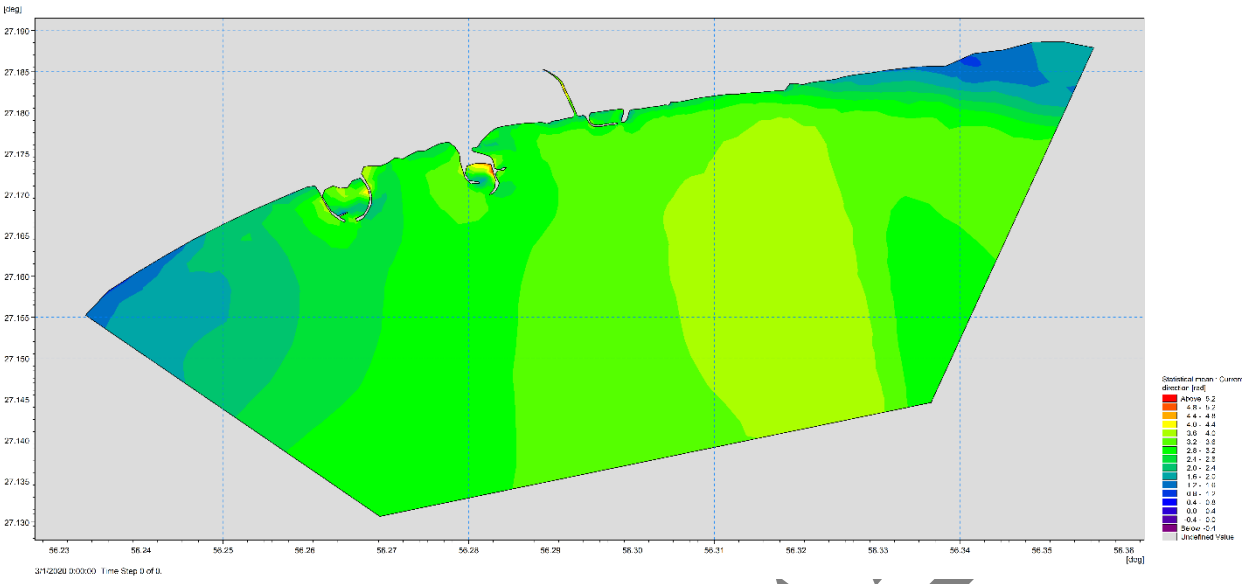
نسخه پیش انتشار



شکل ۱۳- حداقل عمق آب محاسبه شده موردمطالعه



شکل ۱۴- میانگین سرعت جریان‌های جزرومدی منطقه موردمطالعه

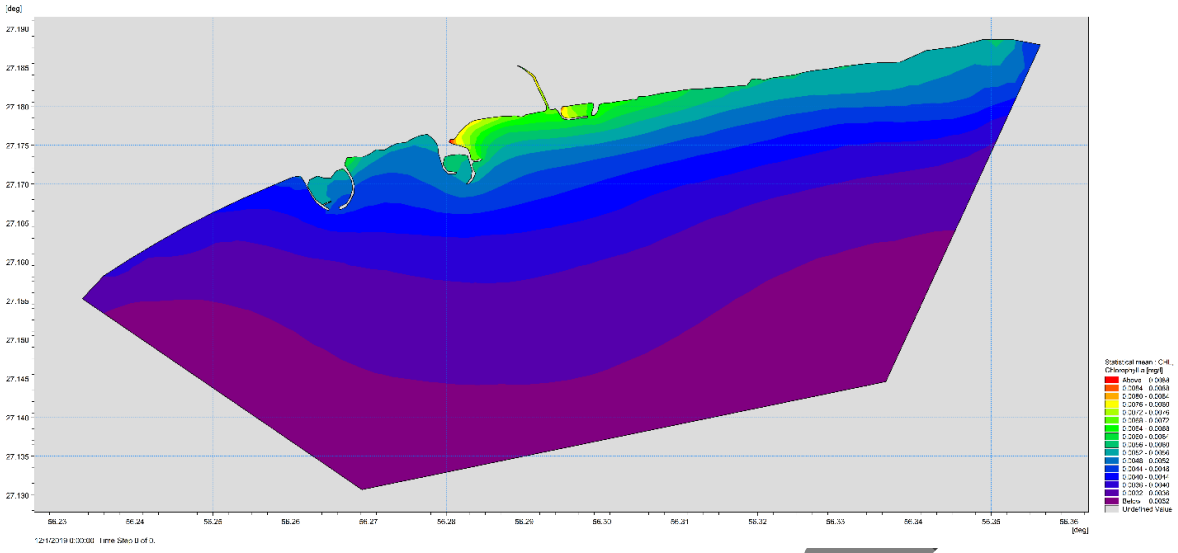


شکل ۱۵- جهت غالب جریانات جزرومدی منطقه موردمطالعه

با توجه به اینکه در نتایج شبیه‌سازی وضع موجود، سازه‌های دریایی موجود سبب در دام افتادن آلودگی و در نتیجه افزایش تمرکز بار آلودگی و غلظت آن شده بودند، پس حداقل فاصله‌ای که باید در نظر گرفته شود برابر با طول موج‌شکن اسکله غربی دهانه خور است. همچنین هر چه فاصله از دهانه خور بیشتر باشد محیط خور که توان خودپالایی کمتری دارد ورود آلودگی کمتری را تحت تأثیر جریانات جزرومدی خواهد داشت.

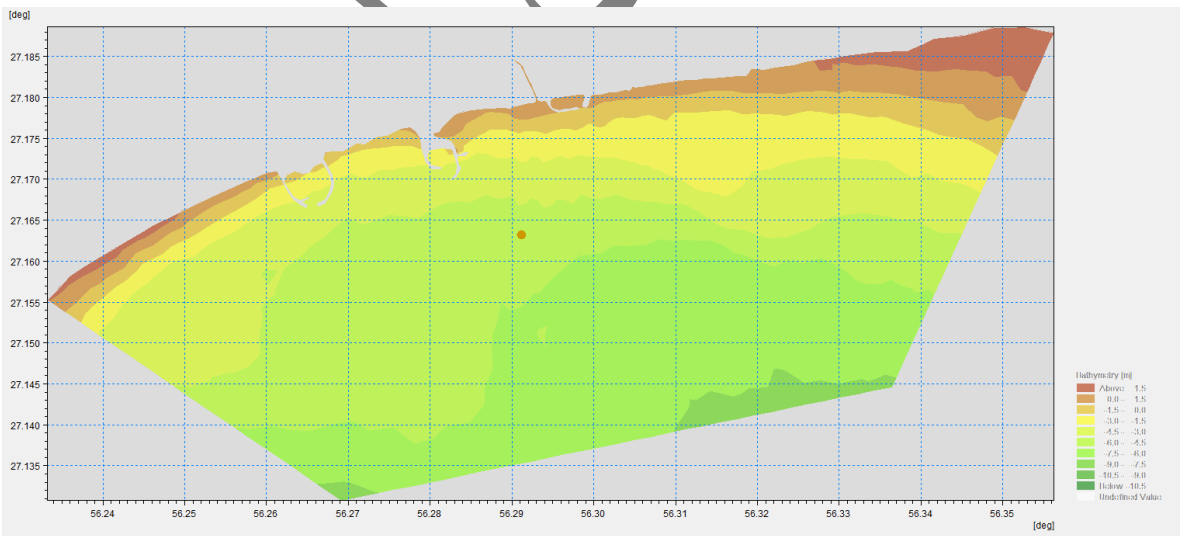
با توجه به تجربیات مدل‌سازی و الگوی جریانات و عمق در نواحی ساحلی محدوده با فاصله ۲۰۰۰ متری از ساحل به‌گونه‌ای که متمایل به سمت غرب باشد منطقه مناسب پیش‌بینی‌شده است. زیرا در این حالت نقطه انتهایی خط لوله تخلیه پساب در نواحی عمیق‌تر، با سرعت جریان بیشتر قرار دارد. همچنین نتایج مدل‌سازی این تخلیه برای داده‌های وضع موجود فاضلاب تخلیه شونده محیط و بررسی احتمال یوتروفیک بودن منطقه بر اساس شاخص OECD با مرز باز نشان می‌دهد که این منطقه مرزی برای تخلیه فاضلاب محسوب می‌شود. شکل زیر میانگین کلروفیل -a در حالت تخلیه فاضلاب با خط لوله ۲۰۰۰ متری را نشان می‌دهد.

پیش انتشار



شکل۱۶- میانگین کلروفیل-a در حالت تخلیه فاضلاب با خط لوله ۲۰۰۰ متری

با توجه به نتایج به دست آمده میانگین کلروفیل -a در منطقه موردنظر در صورت تخلیه فاضلاب با خط لوله به طول ۲۰۰۰ متر در مختصات E ۵۶.۲۹۱۲۰۴ و N۲۷.۱۶۳۲۱۶ در مناطق با بیشترین میزان غلظت برابر با ۰/۰۰۸۸ میلی‌گرم در لیتر است. همان‌طور که در بخش قبل گفته شد مهم‌ترین شاخص به وقوع پیوستن یوتروفیکاسیون غلظت کلروفیل -a می‌باشد، لذا استاندارد کیفیت آب غلظت ۰/۰۰۸۵ میلی‌گرم بر لیتر برای کلروفیل -a می‌باشد.طبق شاخص OECD با مرز باز در غلظت مذکور احتمال یوتروفیک و مزوتروفیک بودن محیط برابر بوده که این مسئله بدین معنی است که هیچ‌گاه حالت یوتروفیک در بدنه آبی غالب نمی‌شود و یوتروفیکاسیون اتفاق نخواهد افتاد. محل تخلیه در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱۷- محل نقطه انتهایی خط لوله تخلیه فاضلاب در مسافت حداقلی ۲۰۰۰ متری از دهانه خور (حداقل عمق آب در محل تخلیه تقریباً برابر است با ۵ متر)

لازم به ذکر است علاوه بر بررسی‌های ابتدایی عوامل مؤثر در محاسبه طول خط لوله، طول‌های متفاوتی از ۷۰۰ متری تا ۲۰۰۰ متری انتخاب و در فرایند شبیه‌سازی در مدل به کار رفته است؛ بنابراین مسافت ۲۰۰ متری حاضر حاصل سعی و خطای مهندسی بوده است.

شایان ذکر است بررسی‌های دقیق‌تر در این مطالعه و انتخاب نقطه مناسب تخلیه و استفاده از گزینه‌هایی همچون دیفیوزر پیشنهاد می‌گردد. در مدل مورداستفاده رقیق شدگی در میدان نزدیک در نظر گرفته نشده است.

۵. جمع بندی

این تحقیق شامل سه بخش اصلی با موضوعات متفاوت بود. موضوع اول بررسی فاضلاب تصفیه شده خروجی از تصفیه خانه بندر عباس که به داخل خور گورسوزان تخلیه می شود بود. اگرچه که با بررسی ویژگی های ظاهری محل تخلیه و بوی بد ناشی از آن، کدورت بالا و ایجاد کف در آب خور این موضوع مشهود است.

موضوع دیگر مدلسازی هیدرودینامیکی و کیفی محیط دریایی است. برای این منظور مدل مایک دوبعدی انتخاب شده است. ابتدا محدود کل خلیج فارس مدلسازی هیدرودینامیکی شده است. سپس از نتایج حاصل از مدل کالیبره شده خلیج فارس داده‌های تراز سطح آب در مرز محدوده بندرعباس استخراج و مدل هیدرودینامیکی محلی برپا شده است. سرانجام مدل کیفی بر اساس محل تخلیه و داده های کیفی فاضلاب تخلیه شونده به محیط و دیگر داده های موجود از نمونه برداری‌ها و اندازه گیری‌ها برپا و اجرا شده است. بدین ترتیب پخش آلودگی مورد بررسی قرار گرفته است.

همانطور که بیان شده است، الگوی کلی پخش و گسترش آلودگی به سمت سواحل شرقی بندرعباس با کاربری گردشگری می‌باشد. البته درصد اثرگذاری همانطور که بررسی شده، بالا نبوده است. این موضوع در بررسی ظرفیت جذب و مقایسه با استاندارد کیفیت آب‌های ایران در انتهای این فصل تایید می شود.

موضوع بعدی بررسی نتایج با استاندارد کیفیت آب دریاهای ایران است. بر اساس این مقایسه منطقه شرقی بندرعباس با توجه به کاربری گردشگری و اختصاص طبقه بندی خاص خود در استاندارد یاد شده وضعیت مطلوبی دارد. ولی منطقه مرکزی که به محل تخلیه نزدیک است و خور گورسوزان که محل تخلیه فاضلاب است مقادیر بدست آمده از حدود استاندارد تجاوز می کنند، لذا شرایط این محدوده ها، مخصوصا خور گورسوزان مطلوب نمی باشد.

با توجه به سه بررسی صورت گرفته در بالا با توجه به اینکه الگوی جریانات در محدوده خورگورسوزان به صورت رفت و برگشتی بوده و شدت جریانات با فاصله گرفتن از دهانه خور کمتر و درنتیجه تبادلات سخت تر صورت می گیرند، زمان ماند در خور بالا است. با توجه به نتایج بررسی ظرفیت جذب این محیط که مقادیر پایینی را نشان می دهد این خور مستعد ایجاد شرایط یوتروفیک است و توانایی تحمل فاضلاب تصفیه شده حتی در صورت تصفیه پیشرفته را نیز نخواهد داشت. از طرفی، خروجی تصفیه فاضلاب در تصفیه خانه مربوطه با توجه به داده های دریافت شده نشان دهنده مقادیر بالای آلاینده ها است. علاوه بر این مقادیر آلاینده ها در این خور از حدود مجاز هم متجاوز است.

با توجه به نتایج به دست آمده نتیجه گیری می شود که تخلیه فاضلاب تصفیه شده به این خور و حتی خارج از خور و در نزدیکی ساحل مشکلات این منطقه را حل نخواهد کرد با توجه به سعی و خطاهای صورت گرفته و بررسی عمق و متوسط سرعت و جهت جریانات در منطقه، تنها راه حل استفاده از آتفال با طول حداقلی ۲۰۰۰ متر و عمق حدود ۷ متری می باشد. در این صورت احتمال ایجاد شرایط یوتروفیک در محیط خور و نواحی ساحالی بندر عباس به واسطه تخلیه فاضلاب تصفیه شده به شدت کاهش خواهد یافت. لازم به ذکر

نسخه پیش انتشار

است محدوده پیشنهاد شده تقریبی است و تعیین محل دقیق نیازمند اندازه‌گیری‌های دریایی جریان سنجی، هیدروگرافی، مطالعات رسوب و مطالعات زیستی و اکولوژیکی از جمله بررسی جوامع کفزی و پوشش بستر در این منطقه است.

در انتها تاکید می‌شود در مرحله اول توقف تخلیه به خورگورسوزان و انتقال محل تخلیه به ناحیه دور از ساحل (فاصله حداقل ۲ کیلومتری از دهانه خور) به صورت آتفال، ضرورت محیط زیستی بالایی دارد و ادامه این شرایط خسارات جبران ناپذیری را به همراه خواهد داشت. در مرحله دوم ارتقا و بهبود فرایند تصفیه در تصفیه خانه فاضلاب بندر عباس بخصوص در نظر گرفتن حذف مواد مغذی اهمیت بالایی دارد. همچنین بررسی دیگر منابع آلاینده این خور در نواحی بالا دست موجب تصمیم‌گیری جامع‌تر و موثرتر در راستای بهبود شرایط این منطقه خواهد بود.

مراجع

[1] Lari, K., Khaniki, K., Torabi Azad, M., Abdolhasani, M. (2016). Investigation and analysis of wave breaking pattern in Bushehr beaches. Environmental science and technology Journal, 14(4): 89-104

[2] Mahmoodi, S. (2019). 3D modeling of pollution spread in the Persian Gulf (MSc. Thesis) Khorramshahr University of Marine Science and Technology

[3] James, I.D. (2016). Modelling pollution dispersion, the ecosystem and water quality in coastal waters: a review, Environmental modelling and software.

[4] Bahadur, R., Amstutz, D.E., Samuels, W.B. (2018). Water Contamination Modeling-A Review of the State of the Science. Journal of Water Resource and Protection.

[5] Kregting, L., Elsaber, B. (2020). Ahydrodynamic modelling framework for strandford Lough part 1: Tidal model. Journal of matine science and engineering.

[6] Sadrinasab, M., Hosseini, S.T. (2019). Numerical modelling of surface and near bottom currents in the Bushehr Bay. Journal of the Persian Gulf.

[7] De Serio, F., Ben Meftah, M., Mossa, M. (2020). Monitoring and modelling of coastal currents and wastewater discharge: A case study. Geo Eco Marina.

نسخه پذیرش منتشر