Archive of SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز تحقیقات و اطلاعات علمی ایران

www.SID.ir

مدل‌سازی عددی الگوی جریانات و امواج در منطقه بندر شهیدرجایی

هومن علوی نائینی[1*]، عبدالرضا کرباسی[2]

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۱ *نویسنده مسئول تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۱۴

© نشریه صنعت حمل و نقل دریایی ۱۳۹۵، تمامی حقوق این اثر متعلق به نشریه صنعت حمل و نقل دریایی است.

چکیده

الگوی جریانات و امواج در بنادر از نظر پیش‌بینی جریانات دریایی و طراحی سازه‌های دریایی در منطقه حائز اهمیت بسیاری است. در مطالعه حاضر با استفاده از مدل‌سازی عددی، الگوی امواج و جریانات دریایی در منطقه بندر شهیدرجایی مورد بررسی قرار گرفته است، این بندر به‌عنوان مهم‌ترین بندر تجاری ایران در مجاورت شهر بندرعباس واقع شده است. مدل‌سازی با استفاده از مدل نسل سوم Mike 21 انجام پذیرفته است. Mike 21، یک مدل معتبر باقابلیت مدل‌سازی هیدرودینامیکی امواج و جریانات و نحوه تغییرات در اثر احداث سازه‌ها است. در مدل‌سازی، منطقه موردمطالعه به ۷۰۴۷ المان و ۳۷۳۷ گره تقسیم شد. مدل‌سازی امواج تحت اثر باد و با اعمال داده‌های موج واقعی برداشت‌شده در مرزهای غربی، جنوبی و شرقی، انجام شد. نتایج نشان‌دهنده این است که احداث سازه دایک حفاظتی در مجاورت موج‌شکن غربی به‌طور میانگین ۱۲٪ بر ارتفاع مشخصه امواج در این نقطه و ۷٪ بر تراز سطح آب می‌افزاید.

واژه‌های کلیدی: الگوی امواج، بندر شهیدرجایی، مدل‌سازی عددی، دایک حفاظتی، Mike 21

۱. هومن علوی نائینی، کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست-سواحل، دانشگاه تهران، Hoomanalavi@Alumni.Ut.Ac.Ir
۲. عبدالرضا کرباسی، استاد گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران، Akarbasi@Ut.Ac.Ir

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

امروزه مشخصات دریایی بنادر شامل پارامترهایی از قبیل امواج، جریان‌های دریایی و خصوصیات رسوبات منطقه به‌وسیله مدل‌های عددی به‌صورت گسترده‌ای توسط محققین مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند. در این راستا شناخت الگوی امواج یک حوزه آبی به‌عنوان گام اول در مطالعات هیدرودینامیک بسیار اهمیت دارد. به همین دلیل در این مقاله سعی در بررسی الگوی امواج و جریانات دریایی در منطقه بندر شهیدرجایی شده است. موقعیت تجاری بندر شهیدرجایی سبب شده تا مطالعات اقلیم امواج و جریانات دریایی در آن از اهمیت بالایی برخوردار باشد. برای این منظور مشخصات موج و جریان در سه ماه سپتامبر، اکتبر و نوامبر سال ۲۰۰۹ که در محدوده بندر شهیدرجایی توسط سازمان بنادر و دریانوردی اندازه‌گیری شده است با خروجی‌های مدل عددی مقایسه شد و نتایج قابل‌قبولی را به همراه داشت.

اهداف اصلی این مطالعه در وهله اول دستیابی به درک کلی از امواج و جریان‌های نزدیک ساحل در بندر شهیدرجایی است و در ادامه مقایسه شرایط هیدرودینامیکی قبل و بعد از احداث سازه‌های دریایی در این منطقه نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد که ازلحاظ اهمیت موضوع به این جهت که تاکنون در حوزه مقایسه شرایط هیدرودینامیکی قبل و بعد از تکمیل فازهای توسعه بندر شهیدرجایی مدل‌سازی عددی صورت نگرفته است امری بدیع و تازه است که کاربرد بسیاری در ارزیابی‌های زیست‌محیطی منطقه و نیز چگونگی تأثیر احداث سازه‌های دریایی بر هیدرودینامیک امواج و جریانات دریایی به جهت تغییر در الگوی امواج و جریانات دارد.

۱-۱- پیشینه تحقیقات

پیشینه مطالعات در حوزه مدل‌سازی عددی هیدرودینامیک امواج و جریانات دریایی بسیار حائز اهمیت است چراکه برای حل یک مسئله واقعی تحلیل هیدرودینامیکی امواج و جریانات دریایی، یک مدل عددی نیاز است که قابلیت حل مسائل آشفتگی را داشته باشد. یک روش حل معادلات ناویر استوکس با فرض فشار هیدرواستاتیک است که به‌عنوان روشی شبه سه‌بعدی شناخته می‌شود و می‌تواند الگوی جریان سه‌بعدی را با هزینه معقول محاسباتی تأمین کند. جفرسون[1] و جان[2] (۱۹۵۲) پایه‌گذاران این روش بودند هرچند این کار را به‌صورت دوبعدی ارائه دادند. چنگ[3] و کاسولی[4] (۱۹۷۰) یک مدل سه‌بعدی مشابه ارائه دادند که از آن برای شبیه‌سازی امواج جزرومدی و نیز جریان‌های آشفته کانال استفاده می‌شد. چون این مدل بر پایه فشار هیدرو استاتیک مفروض است، از آن در مواردی که تئوری امواج کم‌عمق حاکم باشد استفاده می‌شود. در ۱۹۷۶ توماس[5] یک مدل بر اساس تکنیک حجم کنترل برای بررسی دوبعدی سیال غیرلزج ابداع نمود که بعداً توسط شی[6] و همکاران برای بررسی جریان در یک کانال توسعه یافت. در ۱۹۹۶ کاسولی یک مدل کاملاً سه‌بعدی ابداع نمود که قابلیت شبیه‌سازی عبور قطار موج از موج‌شکن مستغرق را داشت و از دقت بالایی نیز برخوردار بود.

1. Jefferson
2. John
3. Cheng
4. Casulli
5. Thomas
6. Shi

۱-۲- منطقه موردمطالعه

بندر شهیدرجایی واقع در شمال تنگه هرمز و در فاصله ۲۰ کیلومتری از شهر بندرعباس واقع‌شده است. کل مساحت خشکی بندر شهید رجایی در حال حاضر ۲۵ کیلومترمربع (۲۵۰۰ هکتار) است که حدود ۶۰ ٪ آن مورد بهره‌برداری قرارگرفته است. مجتمع مذکور در ۵۶ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی و ۲۷ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۳ تا ۵ متر می‌باشد دمای هوا بین ۲۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد متغیر است. بندر شهید رجایی دروازه اصلی ورودی و خروجی کالاهای تجاری و بازرگانی کشور است که به‌عنوان بزرگ‌ترین بندر تجاری کشور و یکی از بنادر مهم تجاری در حوزه خلیج‌فارس و دریای عمان از نظر حجم مبادلات بازرگانی مطرح است. این بندر با اکثر بنادر مهم جهان ارتباط دریایی دارد و در حال حاضر حدود ۴۵ ٪ حجم مبادلات تجاری دریایی کشور از طریق این بندر انجام می‌شود.

طول موج‌شکن‌ها درمجموع ۵۰۹۵ متر است که ۲۵۱۵ متر در قسمت غرب و ۲۵۷۰ متر در قسمت شرقی موجود است که این موج‌شکن‌ها با ارتفاع ۵ متر از سطح دریا احداث شده‌اند. طول موج‌شکن اسکله ترافیک ساحلی معادل ۱۷۳۳ متر می‌باشد که شامل یک موج‌شکن اصلی و دو موج‌شکن فرعی است. اسکله‌های فعلی بندر رجایی شامل ۲۸ پست اسکله به طول ۴۷۵۵ متر است. علاوه بر این اسکله خدمات نیز جهت شناورهای خدماتی در کنار اسکله‌ای به طول ۳۱۰ متر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در طرح توسعه تکمیلی بندر شهید رجایی که در فاز ۲ و فاز ۳ مورد تکمیل قرار گرفت برای احداث حوضچه شماره ۳، در فاز ۳ توسعه بندر رجایی در سمت غربی بندر و در مجاورت موج‌شکن غربی و اسکله مثلثی، دایک حفاظتی با ۵ قطعه دیوار حفاظتی به‌هم‌پیوسته به‌منظور استحصال زمین از دریا در این منطقه و برای تخلیه مواد حاصل از لایروبی حوضچه شماره ۳ اجرا شده است.

شکل (۱): عکس هوایی از بندر شهیدرجایی

شکل (۲): عکس هوایی از دایک‌های حفاظتی احداث‌شده در فاز توسعه بندر شهیدرجایی

www.SID.ir

۲- روش تحقیق

۲-۱- مواد و روش‌ها

برای مدل‌سازی جریانات دریایی در منطقه بندر شهیدرجایی از مدول شبیه‌سازی جریانات[1] بسته نرم‌افزاری Mike 21 استفاده شد. مدل جریانات در نرم‌افزار Mike 21 یک سیستم مدل‌سازی است که بر مبنای روش مش‌بندی انعطاف‌پذیر است. این مدول برای مدل‌سازی جریانات دریاها، اقیانوس‌ها، سواحل و خورها به‌کار می‌رود. کاربرد آن معمولاً در مواردی است که پدیده انتقال و جریان حائز اهمیت است. در ضمن این مدل برای به‌کارگیری در محیط‌های دریایی و ساحلی که قابلیت مش‌بندی نامنظم وجود دارد، مناسب‌تر است. همچنین اثرات کوریولیس در محدوده‌های وسیع، نیروی باد، مقاومت بستر و ادی ویسکوزیته می‌تواند در محاسبات استفاده شوند. برای مدل‌سازی امواج از مدول امواج طیفی[2] که یک مدل طیفی از امواج ایجادشده توسط باد است استفاده شد.

این مدول بر اساس شبکه‌های مش غیرساختاریافته توسعه داده شده است که رشد، افت و تغییرات ناشی از امواج ایجادشده توسط باد و همین‌طور امواج دوراً در ساحل و نواحی دور از ساحل را می‌تواند مدل‌سازی کند. مدول امواج طیفی Mike 21 دارای دو فرمول‌بندی متفاوت است: فرمولاسیون کاملاً طیفی، فرمولاسیون پارامتری تفکیک‌شده جهت‌دار (کرمی خانیکی و همکاران، ۱۳۸۴). این مدل پدیده‌های فیزیکی زیر را در محاسبات خود در نظر می‌گیرد: رشد موج در اثر فعالیت باد، برهم‌کنش غیرخطی امواج، افت انرژی ناشی از اصطکاک بستر، افت انرژی ناشی از موج سپیدراس، افت انرژی ناشی از شکست امواج در آب کم‌عمق، انکسار و کم‌عمق شدگی ناشی از تغییر عمق و برهم‌کنش جریان و موج. تأثیرات ناشی از تغییر تراز سطح آب با زمان تر و خشک شدن سلول‌های محاسباتی گسسته‌سازی معادله مربوطه در فضای طیفی و مکانی با استفاده از شیوه حجم محدود انجام می‌شود.

۲-۲- حالت عمومی معادلات

دینامیک امواج گرانشی توسط معادله انتقال موج برای تراکم کنش موج بیان می‌شود. برای کاربردهایی با مقیاس کوچک معادله انتقال در مختصات دکارتی نوشته می‌شود و برای مقیاس‌های بزرگ‌تر از مختصات قطبی استفاده می‌شود. طیف تراکم کنش موج با زمان و مکان تغییر می‌کند و تابعی از دو پارامتر مربوط به فاز موج است. این دو پارامتر هم می‌تواند عدد بردار موج k و راستای θ باشد وهم می‌تواند راستای موج با زاویهθو فرکانس زاویه‌ای نسبی σ=2πf باشد. دراین مدل فرمول با راستای موج θ و فرکانس زاویه‌ای نسبی σ انتخاب‌شده است. تراکم کنش موج مطابق رابطه زیر با تراکم انرژی رابطه مستقیم دارد.

$$N = \frac{E}{\sigma} \qquad (۱)$$

انتشار موج برای محدوده‌ای که جریان و عمق آب به‌آرامی تغییر می‌کند عبارت است از رابطه میان فرکانس زاویه‌ای نسبی با فرکانس زاویه‌ای مطلق که به‌صورت زیر بیان می‌شود.

رابطه (۲)
$$\sigma = \sqrt{gk\tanh(kd)} = \omega - \vec{k}.\vec{u}$$

که در آن g شتاب جاذبه، d عمق آب و u بردار سرعت جریان است. بزرگی سرعت گروهی موج Cg به‌صورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

رابطه (۳)
$$Cg = \frac{d\sigma}{dk} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right)\frac{\sigma}{k}$$

سرعت فاز موج نیز توسط رابطه زیر بیان می‌شود:

رابطه (۴)
$$C = \frac{\sigma}{K}$$

طیف فرکانس بین دو مقدار حداکثر و حداقل محدود شده است. این طیف به دو بخش تقسیم می‌شود: بخش شاخص جبری[3] برای فرکانس‌های پایین و بخش شاخص تحلیلی[4] برای فرکانس‌های بالا در نظر گرفته می‌شود. بخش قطعی طیف با حل معادله انتقال برای تراکم کنش موج و با استفاده از روش‌های عددی تعیین می‌گردد. برای محدوده پیش‌بینی فرکانس‌های بالاتر از یک دنباله پارامتری به شکل زیر استفاده می‌شود. در این فرمول مقدار m ثابت و برابر با ۵ است.

رابطه (۵)
$$E(\sigma,\theta) = E(\sigma_{\max},\theta)\left(\frac{\sigma}{\sigma_{\min}}\right)^{-m}$$

۲-۳- معادله پایستگی کنش موج

این معادله درواقع معادله توازن کنش موج است که هم در مختصات کروی و هم کارترین قابل‌طرح فرمول‌بندی است که در مختصات دکارتی معادله پایستگی کنش موج در مختصات دکارتی به‌صورت رابطه (۶) نوشته می‌شود:

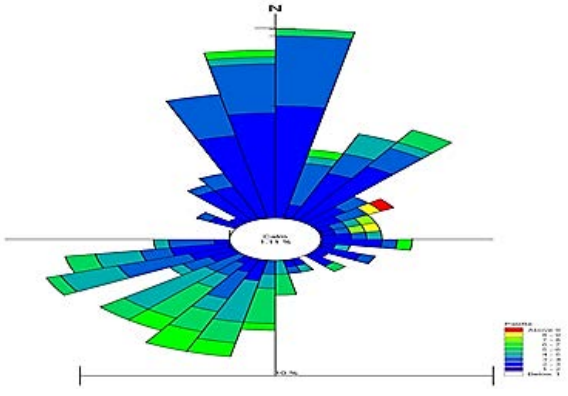
رابطه (۶)
$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla.(\vec{v}N) = \frac{s}{\sigma}$$

۳- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

برای مدل‌سازی و شبکه‌بندی منطقه موردنظر در این مطالعه از نقشه هیدروگرافی با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰ که توسط سازمان بنادر و دریانوردی ایران در سال ۲۰۰۹ میلادی از منطقه بندر شهید رجایی تهیه شده است، استفاده شد. برای داده‌های باد در منطقه نیز که برای اجرای مدل‌های امواج و جریانات در Mike 21 به‌عنوان ورودی مدل در نظر گرفته می‌شود از برداشت‌های ایستگاه سینوپتیک بندرعباس در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر سال ۲۰۰۹ که توسط سازمان هواشناسی کشور انجام‌شده است، استفاده شد. گلباد رسم شده در این سه ماه موردبررسی به‌صورت نمودار شکل (۳) می‌باشد.

1. Flow Model FM
2. Spectral Waves SW
3. Deterministic Diagnostic
4. Analytical Diagnostic

Archive of SID
www.SID.ir



شکل (۳): گل باد ۳ ماه سپتامبر، اکتبر و نوامبر سال ۲۰۰۹ در منطقه موردنظر

به‌منظور مدل‌سازی امواج و جریانات با استفاده از Mike 21 برای داده‌های موج ورودی به مدل در مرزهای شرقی، غربی و جنوبی از داده‌های هایند کست[1] که توسط سازمان بنادر و دریانوردی از تاریخ ۲۰۰۹/۱۱/۹ تا تاریخ ۲۰۰۹/۱۱/۱۲ به‌دست‌آمده است، استفاده شد که در شکل (۴)، سه‌نقطه مرزی موردنظر با رنگ مشکی ملاحظه می‌شود مختصات این نقاط نیز بر اساس واحد UTM[2] در جدول (۱) آورده شده است. همچنین برای صحت‌سنجی مدل از داده‌های موج و جریان اندازه‌گیری شده در محل که توسط سازمان بنادر و دریانوردی در بندر شهیدرجایی در سال ۲۰۰۹ برداشت شده است، استفاده شد.

نقطه برداشت و اندازه‌گیری داده‌ها در شکل (۴) بارنگ آبی پررنگ مشخص است و مختصات این نقطه نیز در جدول (۱) ملاحظه می‌شود.

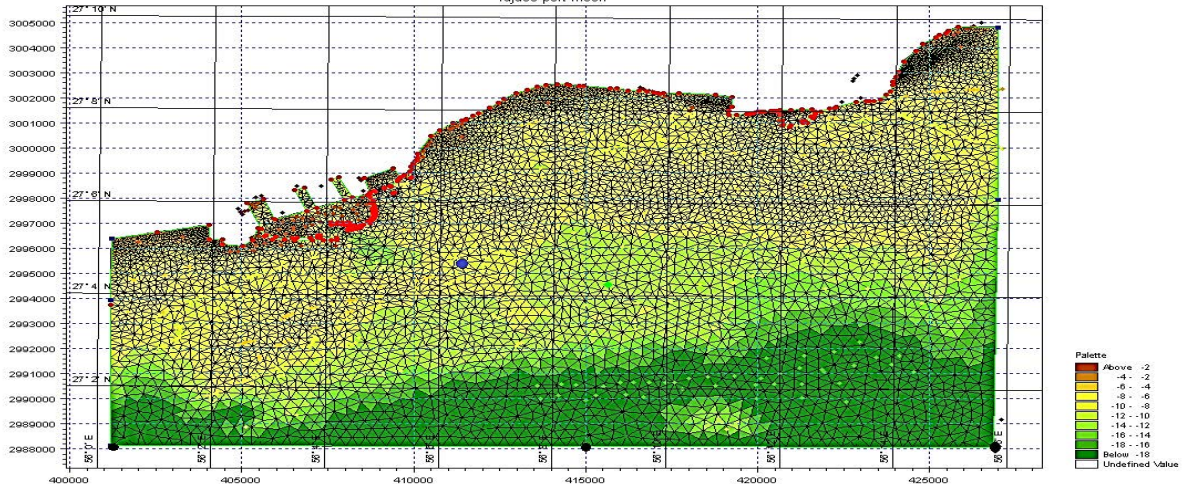
جدول (۱): مختصات نقاط مرزی به‌دست‌آمده از هایندکست و نقطه اندازه‌گیری و برداشت داده‌ها در منطقه بندرشهیدرجایی

عنوان	مختصات طولی در واحد(utm)	مختصات عرضی در واحد(utm)
نقطه برداشتی مرز غربی	۴۰۲۰۰۰	۲۹۸۸۰۰۰
نقطه برداشتی مرز جنوبی	۴۱۵۰۰۰	۲۹۸۸۰۰۰
نقطه برداشتی مرز شرقی	۴۲۸۴۰۰	۲۹۸۸۰۰۰
نقطه اندازه‌گیری داده‌های موج و جریان در بندرشهیدرجایی	۴۱۱۲۳۲	۲۹۹۵۴۵۰

سرعت جریانات دریایی، جهت جریانات جزرومدی، عمق آب در منطقه مدل‌سازی و تراز سطح آب از خروجی مدول جریانات Mike 21[3] به دست می‌آید که به‌عنوان ورودی مدل امواج[4] در نظر گرفته می‌شود. ۵ نقطه بررسی‌شده در این مطالعه عبارت‌اند از: نقطه ۱ در کنار دایک‌های حفاظتی احداث‌شده در فاز ۳ توسعه بندر، نقطه ۲ واقع در کانال ورودی به بندر شهید رجایی، نقطه ۳ در داخل بندر نقطه ۴ در نزدیکی بندر خلیج‌فارس و نقطه ۵ در محل ایستگاه برداشت داده‌ها که مختصات این نقاط در جدول (۲) ملاحظه می‌شود.

جدول (۲): مختصات نقاط موردنظر در مدل‌سازی

شماره نقاط	مختصات طولی در واحد(utm)	مختصات عرضی در واحد(utm)
نقطه شماره ۱	۴۰۵۰۰۰	۲۹۹۶۳۶۹
نقطه شماره ۲	۴۰۸۲۰۰	۲۹۹۶۰۰۰
نقطه شماره ۳	۴۰۶۲۰۰	۲۹۹۶۹۰۰
نقطه شماره ۴	۴۰۹۵۰۰	۲۹۹۸۰۰۰
نقطه برداشت داده‌ها و نقطه شماره ۵	۴۱۱۲۳۲	۲۹۹۵۴۵۰



شکل (۴): نقاط مرزی و نقطه اندازه‌گیری داده‌های موج و جریان در منطقه بندر شهیدرجایی

1. Hind Cast
2. Universal Transverse Mercator
3. Flow Model, FM
4. Spectral Waves, SW

Archive of SID
www.SID.ir

شکل (۵): جانمایی نقاط موردنظر در مدل‌سازی

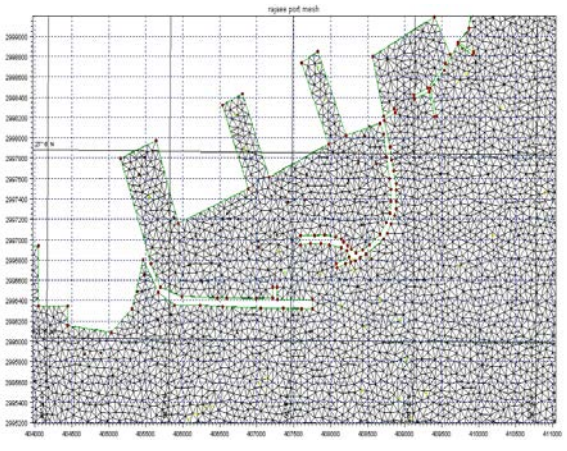
مؤلفه‌های اصلی جزرومدی در بندر شهیدرجایی با استفاده از نرم‌افزار متلب، تی‌تاید[1] مورد تحلیل هماهنگ قرار گرفته و کمیت‌های ۵ مؤلفه اصلی جزرومدی M2، N2،K1،O1 و S2 به دست آمد (حاجی‌زاده ذاکر، ۱۳۸۵).

جدول (۳): مؤلفه‌های اصلی جزرومدی در بندرشهیدرجایی

مؤلفه	دوره تناوب	دامنه (متر)	فاز (درجه)
M_2	۱۲/۴۲	۱/۰۹	۳۰۰/۷۷
N_2	۱۲/۶۶	۰/۲۸	۲۸۳/۸۵
K_1	۲۳/۹۳	۰/۳۶	۷۶/۷۴
O_1	۲۵/۸۲	۰/۲۳	۵۷/۶۵
S_2	۱۲/۰۰	۰/۴۳	۳۴۳/۶۹

۳-۱-شبکه‌بندی مدل

برای مش‌بندی دامنه اصلی مدل‌سازی در نرم‌افزار Mike 21 از بسته مایک زیرو[2] و زیربرنامه ساخت مش[3] استفاده شد. مرزهای منطقه مدل‌سازی، خط ساحلی، نقشه هیدروگرافی منطقه با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰، نقشه سازه‌های موجود در منطقه بندر شهید رجایی شامل دو موج‌شکن اصلی و بازوهای فرعی، ۴ حوضچه شامل حوضچه اصلی و حوضچه‌های ۱،۲ و ۳، اسکله‌های اصلی، دایک‌های حفاظتی ساخته‌شده در قسمت غربی بندر و موج‌شکن‌های بندر خلیج‌فارس در شرق بندر شهید رجایی در دامنه مدل‌سازی قرار می‌گیرند. مساحت المان‌های دورتر از خط ساحلی ۱۵۰۰۰ مترمربع و مساحت المان‌های نزدیک به خط ساحلی برای بالا بردن دقت مدل و کم کردن میزان خطا ۵۰۰۰ مترمربع در نظر گرفته شد بر این اساس تعداد ۷۰۴۷ المان و ۳۷۳۷ گره با استفاده از مش‌بندی مثلثی به دست آمد.



شکل (۶): مش بندی منطقه مدل‌سازی

۳-۲- مدل‌سازی امواج:

برای مدل‌سازی امواج در محدوده موردنظر در مدول امواج با توجه به اینکه این مدول تولید و رشد امواج بر اساس میدان‌های باد را در نظر می‌گیرد با استفاده از داده‌های ۳ ساعته باد (سینوپتیک) از تاریخ ۲۰۰۹/۱۱/ ۹ تا تاریخ ۲۰۰۹/۱۱/۱۲ تعداد ۴۸۹ بازه ۳ ساعته در نظر گرفته شد. پارامترهای ورودی به مدل شبیه‌سازی امواج به شرح جدول (۴) می‌باشند:

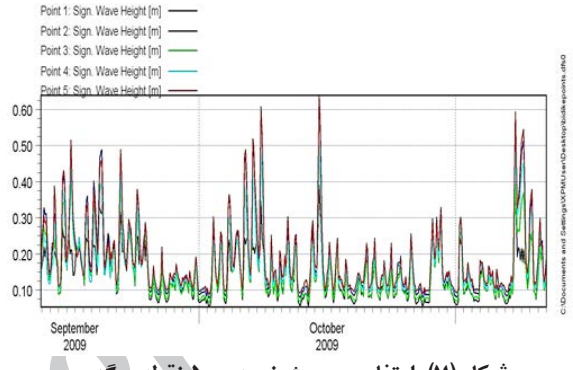
جدول (۴): پارامترهای ورودی به مدول SW

پارامتر	شرح
معادلات پایه	Spectral formulation: Directionally Decoupled Parametric formulation
پارامترهای زمان	Quasi stationary formulation
تکنیک حل	Newton-Raphson iteration, Maximum number of iteration:500,Relaxation Factor:0.1
موقعیت سطح آب	Simulated from Flow Model FM:witoutport. dfs0,withouthport.dfsu Withport.dfs0,withport.dfsu
موقعیت جریان	Simulated from Flow Model FM:witoutport. dfs0,withouthport.dfsuWithport.dfs0,withport. dfsu
فرمول رشد و توسعه میدان باد	Wind generation formula:SPM84
شکست موج	Gamma data:0.8, Alpha:1
اصطکاک کف	Nikuradse Roughness,Kn:0.07
شرایط مرزی	Boundary Condition
مرز شمالی (خط ساحلی)	Land Boundary
مرز شرقی اصلی	Wave parameters Version2
مرز جنوبی	Wave parameters Version1
مرز غربی اصلی	Wave parameters Version2
مرز شرقی فرعی (east2)	Lateral Boundary
مرز غربی فرعی (west2)	Lateral Boundary

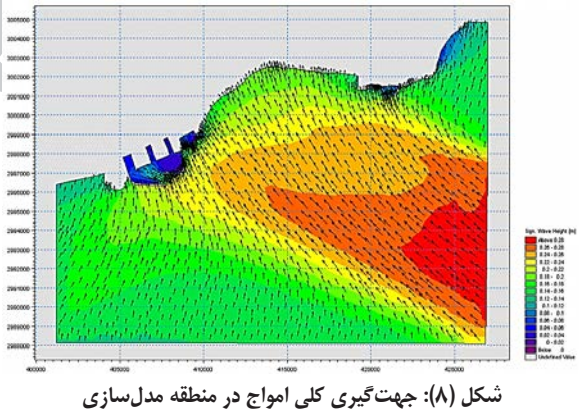
1. Matlab t-tide
2. Mike Zero
3. Mesh Generator

Archive of SID
www.SID.ir

لازم به ذکر است اعداد به‌کاررفته در جدول بالا پس از سعی و خطا و اجرای چندباره مدل به‌دست آمده‌اند. بدین‌صورت که به‌عنوان‌مثال پیش‌فرض مدول Mike 21 برای اصطکاک کف عدد ۰/۰۴ است، با اجرای مرتبه اول با این عدد و سایر پیش‌فرض‌ها نتیجه حاصل دور از مقادیر برداشت شده در ایستگاه برداشت داده‌ها بود، بنابراین با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها و تغییر در پارامتر موردنظر در هر مرحله و نیز مطالعه مدل‌سازی‌های معتبر مشابه در تنگه هرمز و تنگه خوران و بر اساس نزدیک شدن خروجی‌های مدل به داده‌های برداشتی، اعداد پارامترهای مورد اشاره در جدول به‌دست آمده‌اند و کالیبراسیون مدل بدین‌صورت انجام پذیرفت و اعداد ذکرشده در جدول اعداد مورداستفاده در اجرای نهایی مدل می‌باشند.

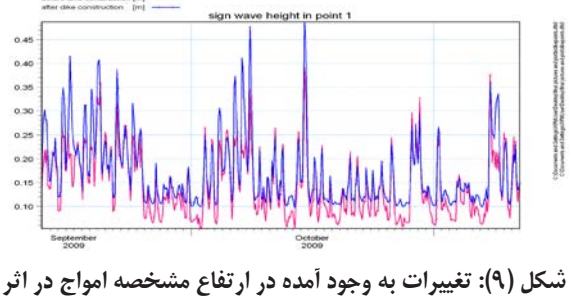


شکل (۷): ارتفاع موج مشخصه در ۵ نقطه برگزیده

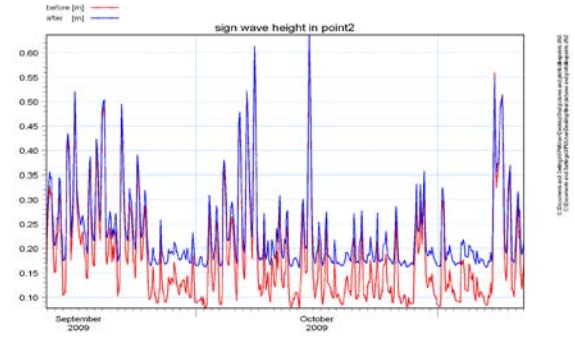


شکل (۸): جهت‌گیری کلی امواج در منطقه مدل‌سازی

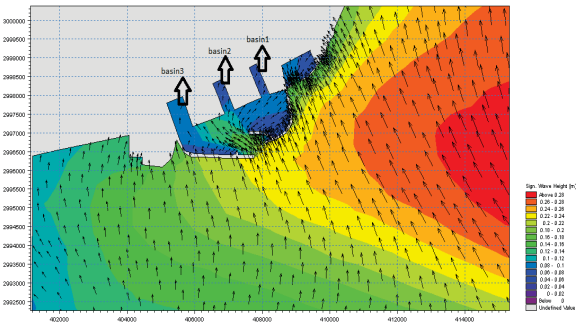
نتایج حاصل از دو حالت مدل‌سازی در بازه‌های زمانی یکسان و نقاط برگزیده یکسان با شرایط باد برابر و سایر پارامترهای ورودی مدل در دو حالت قبل و بعد از احداث سازه‌ها به‌صورت زیر است.



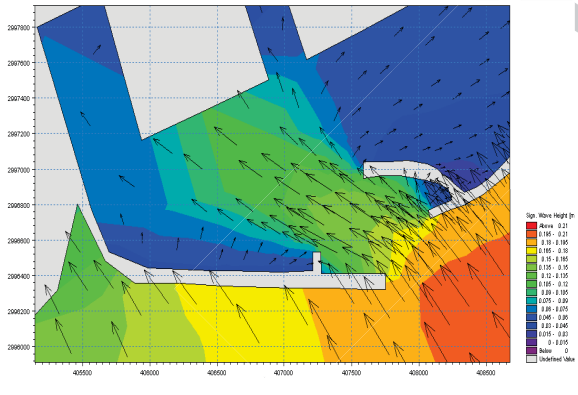
شکل (۹): تغییرات به وجود آمده در ارتفاع مشخصه امواج در اثر احداث دایک‌های حفاظتی در بندر شهیدرجایی



شکل (۱۰): تغییرات به وجود آمده در ارتفاع مشخصه امواج با در نظر گرفتن موج‌شکن‌های بندر شهیدرجایی و در کانال ورودی به بندر



شکل (۱۱): جانمایی حوضچه‌ها و اثرات انکسار و تفرق امواج در بندر شهیدرجایی



شکل (۱۲): اثرات تفرق و انکسار امواج به دلیل برخورد با موج‌شکن‌ها و کم‌عمق شدگی و چگونگی نفوذ امواج به داخل بندر شهیدرجایی

۳-۳- مدل‌سازی جریانات

برای مدل‌سازی جریانات در محدوده موردنظر از مدول هیدرودینامیک جریان[1] در بسته نرم‌افزاری Mike 21 استفاده شد. این مدول قابلیت مدل‌سازی جریانات جزرومدی و جریانات ناشی از تنش امواج را داراست، از داده‌های ۳ ساعته باد (سینوپتیک)، داده‌های ۱ ساعته جزرومد در منطقه بندرشهیدرجایی، داده‌های ۱۰ دقیقه‌ای سطح تراز آب و داده‌های ۱۰ دقیقه‌ای جریانات در مرزها از ۲۰۰۹/۱۱/ ۹ تا تاریخ ۲۰۰۹/۱۱/۱۲

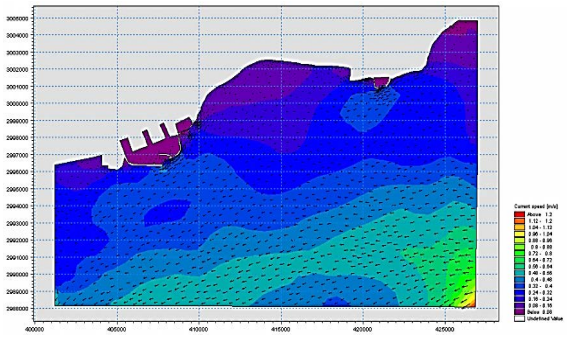
1. Flow Model (FM)

www.SID.ir

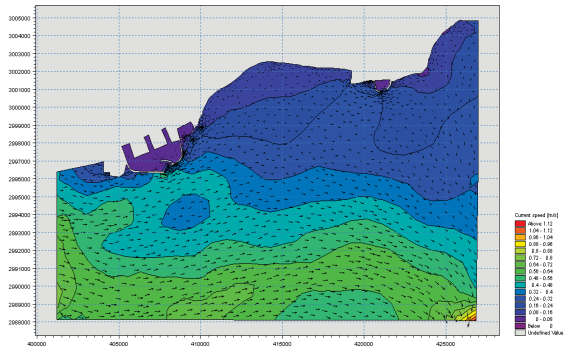
استفاده شد. گام زمانی برای این مدل‌سازی با توجه به پارامتر محدودکننده عدد کورانت و مدت‌زمان کلی مدل‌سازی، ۳۰ ثانیه در نظر گرفته شد.

جدول (۵): پارامترهای ورودی به مدول FM

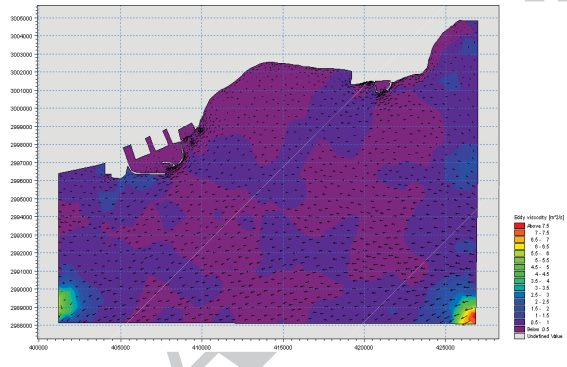
پارامتر	توضیح
انتخاب ماژول	**ماژول هیدرودینامیک**
تکنیک حل	Time integration: low order fast algorithm Space discretization: low order fast algorithm
گام زمانی	Minimum time step:1s Maximum time step:30s
عدد کورانت بحرانی (برای پایداری حل)	Critical cfl number:1
مناطق خشک و تر	Include flood and dry
چگالی	Density type: barotropic
ادی ویسکوزیته	Smagorinsky formulation: Value:0.1
مقاومت بستر	Manning number: Value:20
نیروی کوریولیس	Varying in domain
سری زمانی	Rajaee wind.dfs0
پوشش یخ	No Ice coverage
جزر و مد	Include tidal potential
تعداد مؤلفه‌ها	Number of constituent:5
مؤلفه‌های اصلی جزرومدی	M2,O1,S2,K1,N2
تبخیر	Specified evaporation
تنش تشعشعی	Specified wave radiation
فرمت تنش تشعشعی	Format: varying in time and domain
ورودی تنش تشعشعی	Simulated from SW module Dikeareas.dfsu,Sxx-,Sxy,Syy
نوع خروجی‌ها	Points, area
خروجی‌های مدل	Surface elevation, still water depth, total water depth, u velocity, v velocity Current speed, Current direction Cfl number, drag coefficient Eddy viscosity



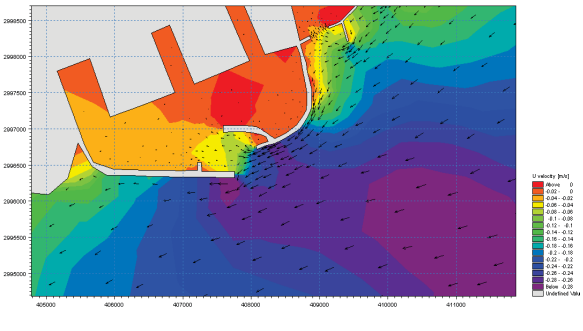
شکل (۱۳): سرعت و جهت جریانات جزری در کل محدوده مدل‌سازی



شکل (۱۴): سرعت و جهت جریانات مدی در کل محدوده مدل‌سازی

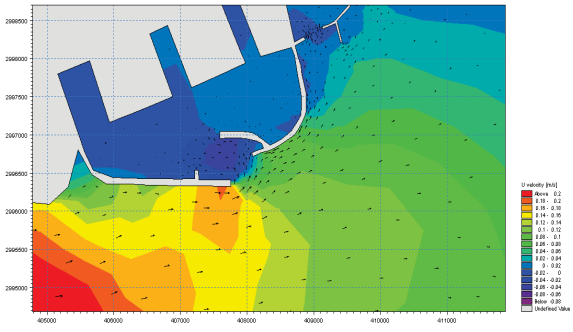


شکل (۱۵): تغییرات ادی ویسکوزیته جریان در کل محدوده مدل‌سازی

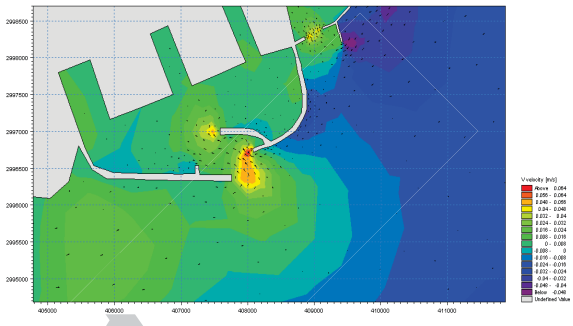


شکل (۱۶): سرعت جریان در جهت x در هنگام جریان مدی در منطقه بندر شهیدرجایی

www.SID.ir



شکل (۱۷): سرعت جریان در جهت x در هنگام جریان جزری در منطقه بندر شهیدرجایی



شکل (۱۸): سرعت جریان در جهت y در منطقه بندر شهیدرجایی

۳-۴-تغییرات کمی به وجود آمده پس از احداث سازه‌ها در منطقه بندر شهید رجایی

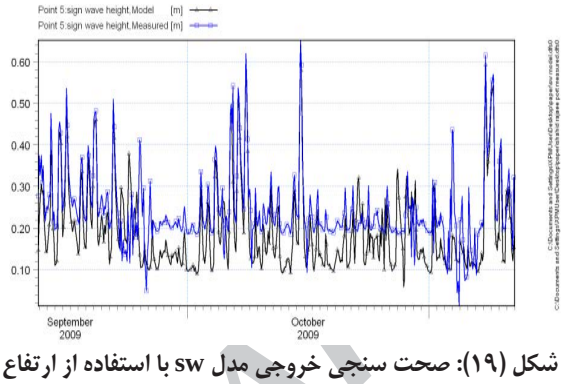
تغییرات اساسی ایجادشده در اثر احداث سازه‌های دریایی در منطقه بندر شهید رجایی را در ۵ نقطه منتخب موردنظر می‌توان با لحاظ کردن میانگین تغییرات قبل و بعد از احداث سازه‌ها در بازه زمانی موردبررسی به دست آورد که خلاصه این نتایج در جدول (۶) آورده شده است.

جدول (۶): خلاصه نتایج حاصل از خروجی مدل جریانات و امواج در منطقه مدل‌سازی

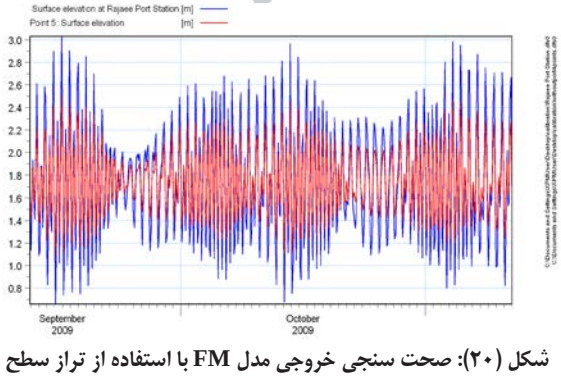
نقاط موردنظر در مدل‌سازی	میانگین درصد تغییرات ارتفاع مشخصه امواج بعد از احداث سازه‌ها	میانگین درصد تغییرات سرعت جریانات بعد از احداث سازه‌ها	میانگین درصد تغییرات تراز سطح آب بعد از احداث سازه‌ها
۱	٪۱۲ افزایش	٪۷ افزایش	٪۱۳ افزایش
۲	٪۲۴ افزایش	٪۱۹ افزایش	٪۱۶ افزایش
۳	٪۳۱ کاهش	٪۲۷ کاهش	٪۴ کاهش
۴	٪۷ کاهش	٪۱۴ افزایش	٪۱۷ افزایش
۵	٪۲۲ افزایش	٪۲۵ افزایش	٪۱۵ افزایش

۳-۵-کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل

کالیبراسیون مدل امواج و جریانات در ۴ مرحله انجام شد در هر بار اجرای مدل یکی از عوامل کالیبراسیون شامل (ضرایب مقاومت بستر، ضرایب انتقال مومنتوم، ضریب اصطکاک کف و ضریب ادی ویسکوزیته) تغییر و عوامل دیگر ثابت فرض شد. ضریب مقاومت بستر که با عدد مانینگ تعریف می‌شود ابتدا با پیش‌فرض نرم‌افزار عدد ۳۲ اجرا شد که نتایج با داده‌های برداشتی از ایستگاه بندر شهیدرجایی فاصله داشت. در چند مرحله، با کمتر کردن این عدد به اعداد ۲۸ و ۲۴ و ۲۰ در هر بار اجرای مدل خروجی‌ها به مقادیر واقعی نزدیک‌تر شد و ضریب زبری بستر جهت واسنجی مدل به‌کار گرفته شد پس از سعی و خطای فراوان و اجرای چندباره مدل و مقایسه نتایج آن با داده‌های ایستگاه شهید رجایی ضریب مانین‌گ برابر $m = ۲۰$ به دست آمد. با انتخاب عدد ۲۰ به‌عنوان ضریب مانینگ خروجی‌های منطقی‌تر به دست آمد. در مرحله بعد عدد ادی ویسکوزیته مورد تغییر واقع و پارامترهای دیگر مدل ثابت نگه‌داشته شد. پیش‌فرض نرم‌افزار برای این عدد مقدار ۰/۲۸ است که با تغییرات چندمرحله‌ای عدد مناسب ۰/۱ به دست آمد. ضرایب انتقال مومنتم نیز به محیط هیدرودینامیک انتقال یافت و نتایج حاصل از خروجی‌ها انطباق نسبتاً مناسبی را با داده‌های برداشتی نشان داد. ضریب اصطکاک کف در مدول امواج با استفاده از شاخص نیکورادزه[1] تعیین می‌گردد که این عدد در پیش‌فرض نرم‌افزار ۰/۰۴ در نظر گرفته‌شده اما با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها و تغییر در این ضریب خروجی‌های مدل امواج تطابق بیشتری با داده‌های برداشت‌شده در منطقه نشان دادند که درنهایت عدد ۰/۰۷ برای کالیبراسیون مدل امواج انتخاب و اعمال شد. که در نمودارهای شکل‌های (۱۹)، (۲۰) و (۲۱) صحت‌سنجی مدل امواج و نیز صحت‌سنجی خروجی مدل جریانات با داده‌های برداشت‌شده از ایستگاه بندر شهیدرجایی نمایش داده‌شده است.



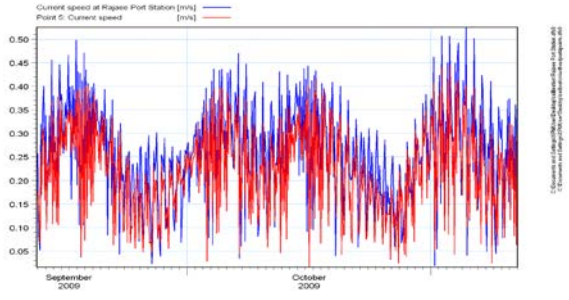
شکل (۱۹): صحت سنجی خروجی مدل sw با استفاده از ارتفاع مشخصه امواج در ایستگاه برداشت داده‌ها



شکل (۲۰): صحت سنجی خروجی مدل FM با استفاده از تراز سطح آب در ایستگاه برداشت داده‌ها

1. Nikuradse

www.SID.ir



شکل (۲۱): صحت سنجی سرعت جریانات در مدول FM با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده

۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در مدل‌سازی امواج به‌وسیله مدول امواج بسته نرم‌افزاری Mike 21 با احداث سازه دایک حفاظتی در غرب بندر شهیدرجایی ارتفاع امواج مشخصه با روش میانگین‌گیری از اختلاف ارتفاع بین دو حالت بعد و قبل از احداث سازه ۱۲٪ افزایش را نشان می‌دهد. می‌توان علت این موضوع را در تغییرات در هیدروگرافی منطقه و عمق آب در نزدیکی خط ساحلی به دلیل انباشت رسوبات در پشت دیوارهای حفاظتی دانست چراکه با بالاتر آمدن بستر دریا خیزاب ناشی از کم‌عمق‌شدگی افزایش می‌یابد. جهت‌یابی امواج نیز در نقطه شماره ۱ به‌طور میانگین به سمت شمال غربی گرایش بیشتری پیدا می‌کند. در نقطه ۲ دهانه ورودی به بندر شهیدرجایی و در مجاورت دو موج‌شکن اصلی بندر نیز ارتفاع امواج به‌طور میانگین ۲۴٪ افزایش می‌یابد. علت این امر را نیز می‌توان تغییرات بسیار زیاد توپوگرافی بستر به خاطر انباشت رسوبات در طی سال‌ها در پشت موج‌شکن‌ها و افزایش ارتفاع بستر دریا در این محدوده دانست. جهت امواج نیز در این نقطه به‌طور میانگین تغییرات ۱۰ درجه‌ای به سمت شمال را نشان می‌دهد. خروجی‌های امواج حاوی این نکته است که منطقه موردنظر به‌طورکلی ازلحاظ امواج منطقه نسبتاً آرامی محسوب می‌شود دلیل این امر را می‌توان بادهای با شدت نسبتاً متوسط و حضور یک موج‌شکن طبیعی به نام جزیره قشم در جنوب محدوده مدل‌سازی عنوان کرد.

خروجی‌های مدول جریانات نشان‌دهنده این مطلب است که ازلحاظ جریانات به لحاظ وجود جزرومدهای شدید در منطقه و باریک شدن بخش غربی با نزدیک شدن به تنگه خوران جریان‌های دریایی شدیدی در منطقه حکم‌فرماست که ازنظر زیست‌محیطی و دامنه انتقال آلودگی‌ها بسیار حائز اهمیت است. میانگین سرعت جریانات مدی که از مرز غربی وارد محدوده موردمطالعه می‌شوند در سه‌ماهه موردبررسی ۰/۴ متر بر ثانیه از خروجی مدل جریانات به دست آمد که با توجه به عبورومرور زیاد کشتی‌های نفت‌کش به‌منظور پهلوگیری در بندر شهیدرجایی در صورت ایجاد انواع آلودگی‌های نفتی و سایر آلودگی‌های دریایی در منطقه انتقال سریع این آلودگی‌ها به‌وسیله جریانات شدید حاکم بر منطقه صورت می‌گیرد که ازلحاظ زیست‌محیطی در منطقه بندر شهیدرجایی بسیار حائز اهمیت است. افزایش ۷٪ سرعت جریانات به علت احداث دایک‌های حفاظتی در غرب بندر شهیدرجایی که از نتایج مدول جریانات به دست آمد نیز بر میزان انتقال آلودگی‌ها تأثیرگذار است.

افزایش ۱۲٪ ارتفاع امواج پس از احداث سازه‌ها نیز عامل دیگری در افزایش انتقال آلودگی‌ها و انباشت بیشتر رسوبات در پشت دایک‌های حفاظتی و موج‌شکن‌های غربی و شرقی است چراکه با افزایش ارتفاع مشخصه امواج انرژی موج در هنگام شکست افزایش می‌یابد که تسریع انتقال آلودگی‌ها به نزدیکی خط ساحلی را در پی دارد. پیشنهادهایی که برای افزایش دقت مدل‌سازی و نیز بهبود کاربرد این مطالعه در حوزه مدل‌سازی هیدرودینامیک منطقه بندر شهیدرجایی ارائه می‌گردد به‌صورت زیر می‌باشند:

(۱) استفاده از نقشه‌های هیدروگرافی با مقیاس و یا برای بالاتر بردن دقت مدل‌سازی و کوچک کردن مساحت هر یک از مش‌ها به جهت شامل شدن کلیه جزئیات بندر شامل موج‌شکن‌ها و دایک‌های حفاظتی، (۲) تعیین میزان تغییرات بعد از احداث سازه‌های موردنظر برای متوسط امواج و جریانات به‌وسیله اندازه‌گیری‌های میدانی، (۳) به دست آوردن مقادیر و بزرگی امواج دریایی در آب‌های کم‌عمق به‌وسیله دستگاه جریان‌سنج[1] به‌منظور استفاده در کالیبراسیون مدل‌سازی، (۳) تعیین میزان لایروبی از بستر دریا در هنگام احداث حوضچه‌ها، (۴) تعیین پارامترهای مهم مدل‌سازی از طریق کار میدانی و آزمایشگاهی، (۵) تعیین میزان لایروبی در اثر طرح توسعه بندر شهید رجایی در فازهای ۲ و ۳، (۶) مدل‌سازی کیفیت آب منطقه با استفاده از مدل کالیبره شده انجام‌شده در این مطالعه، (۷) مدل‌سازی امواج و جریانات در منطقه با استفاده از سایر مدل‌های عددی موجود و مقایسه نتایج با نتایج حاصل از این تحقیق و (۸) مطالعه نحوه توزیع پخش آلودگی از انواع گوناگون منابع پخش آلودگی با استفاده از مدل کالیبره شده انجام‌شده در این مطالعه.

مراجع

۱. حاجی‌زاده ذاکر،ناصر، مدل‌سازی تنگه خوران، موسسه ملی اقیانوس‌شناسی، ۱۳۸۵.

۲. کرمی خانیکی،ع، دهقانی،م، غریب رضا،م.ر، بررسی کارایی نرم‌افزار Mike 21 در مدل‌سازی جریان‌های جزرومدی مصب رودخانه (مطالعه موردی مصب رودخانه زهره)، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳۸۴.

۳. ورستیگ هنک،کارل، ترجمه شجاعی فرد،م.ح. نورپور هشترودی ع،مقدمه ای بر دینامیک سیالات،انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۹.

4. Zaker, N.H,Ghaffari,P.,Jamshidi, S. and Nuranian.M, Dynamics of Strait of khuran in the Persian Gulf. Published in IJER, 2009.

5. Sorensen, R.M.,Basic Wave Mechanics for Coastal and Ocean Engineers, John Wiley, New York, 1993.

6. Inman, D.L. Ancient and Modern Harbors, 14th conference on coastal Engineering, American Society of Civil engineers, Copenhagen, 1974,pp2049-2067.

7. DHI Software Mike 2007 and 2011 Manual.

8. 8-Sorensen, R.M. Basic Wave Mechanics for Coastal and Ocean Engineers, John Wiley, New York, 1993.

9. U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Shore Protection Manual, U.S. Government Printing Office, Washington, DC,1984.

1. current meter

Archive of SID
www.SID.ir