

معرفی سامانه کنارگذری ماسه‌ای و امکان‌سنجی پیاده‌سازی آن در بنادر سواحل مکران ایران

علی سلطانی^۱، علی‌اصغر گلشنی^{۲*}، محمدحسن رامشت^۳

۱- کارشناس ارشد سازه‌های دریایی و مهندسی سواحل، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز، پست الکترونیکی: alisoltani1693@gmail.com

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز، پست الکترونیکی: ali.golshani@iauctb.ac.ir

۳- استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز، پست الکترونیکی: mhramesht@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۲۳

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۹/۷/۱۵

چکیده

سواحل در سراسر دنیا، تحت تاثیر عوامل اقلیمی همواره با تغییر در چهره و نیمرخ ساحلی روبرو بوده‌اند. اما با این حال پس از گذشت مدت زمانی، تعادل دینامیکی در سواحل حاکم شده و در طول زمان از الگوی فرسایش و رسوب گذاری مشخصی تبعیت می‌نماید. در سالیان گذشته مداخلات انسانی مثل ساخت موجشکن‌ها، الگوی طبیعی چرخه رسوبی سواحل را مختل نموده است. به منظور رفع این اختلال، نزدیک به یک قرن است در کشورهایی نظیر استرالیا و آمریکا استفاده از سامانه کنارگذری ماسه مورد توجه واقع شده است. این مقاله ضمن تبیین ابعاد مختلف سامانه کنارگذری، به مطالعه وضعیت رسوبی بنادر سواحل مکران پرداخته و با مطالعه نمونه‌های موفق در جهان، امکان پیاده‌سازی این سامانه در سواحل مکران ایران را مورد بررسی قرار داده است. در انتها به طور ویژه برای بنادر بريس و رمين از نتایج مدل‌سازی‌های عددی استفاده شده و پیشنهاد سامانه کنارگذری ماسه در آن‌ها با جزییات کامل - تر صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: انتقال رسوب، جریان‌ات ساحلی، سواحل مکران، کنارگذری رسوب، مدل‌سازی عددی.

۱. مقدمه

ریخت‌شناسی^۲ مناطق ساحلی را دچار تغییر نمایند (Motevalli and Sheykipour, 2016; Toluei, 1985). در واقع فعل و انفعالاتی که منجر به تغییر شکل سواحل می‌شود، اکثراً دارای منشا رسوبی بوده و نهایتاً در قالب تغییرات خط ساحلی بروز داده خواهند شد. کمیته بین‌المللی داده‌های جغرافیایی^۳، خط ساحلی را به عنوان یکی از ۲۷ پدیده مهم سطح کره زمین معرفی کرده است (Mahmoodi et al., 2015).

مناطق ساحلی از لحاظ عملکرد متقابل زمین، آب و شرایط جوی نواحی پویا هستند که در عین متأثر از تغییرات دائم طبیعی و مداخله انسانی هستند (Kay and Alder, 1998). عوامل مختلفی نظیر عملکرد زمین‌ساختی^۱ منطقه، فعالیت‌های انسانی، تغییرات اقلیمی، عوامل هیدرودینامیکی شامل امواج و جریان‌های دریایی و تغییرات تراز سطح دریا می‌توانند اشکال زمین-

² Geomorphologic

³ International Geographic Data Committee

¹ Tectonics

از طرفی رسوب‌گذاری در کانال‌های دریانوردی به یک مشکل عمده برای مسئولان بندری تبدیل شده است و این مسئله منجر به تحمیل هزینه‌های سنگین جهت لای‌روبی شده است. در مقابل فرسایش برخی دیگر از نواحی ساحلی که معمولاً در پایین دست سازه‌های عمود بر ساحل مشاهده می‌شود، تهدیدی برای زیرساخت‌ها، منابع و اراضی ساحلی محسوب می‌گردد. هزینه‌های بالای لای‌روبی و حفاظت از ساحل سبب شده است که مطالعات زیادی در این زمینه انجام و روش‌ها و مدل‌های گوناگونی برای مدیریت صحیح در منطقه و کاهش یا جبران بخشی از خسارات وارده پیشنهاد گردد (Chanson, 1999).

در این رابطه اما، از ۲۰ سال گذشته تاکنون، مطالعات مرتبط زیادی صورت گرفته شده است. از جمله اقدامات اولیه و بنیادین در این حوزه می‌توان به مطالعه روزتی و کراوس (Rosati and Kraus, 1999) اشاره نمود که به مطالعه تغییر تدریجی ساحل در اثر موج شکن‌ها، اسکله‌ها و سایر عوارض که در خط ساحل ایجاد شده پرداختند. این پژوهش عدم تقارن در اشکال ساحلی را نتیجه گسترش ساخت و سازه‌ها و احداث سازه‌های ساحلی می‌داند، زیرا این سازه‌ها باعث افزایش رسوب گذاری در بالادست و فرسایش در پایین دست می‌شوند. اگر چه بیشتر از آن مطالعاتی نظیر دگاچی و ساواراگی (Deguchi and Sawaragi, 1989) و بعد از آن نیز مانند نیلسن و همکاران (Nielsen et al., 2001) صورت گرفته که سعی در شفاف‌تر ساختن اثرات هیدرودینامیک مناطق ساحلی بر مساله انتقال رسوب داشته‌اند. رفته رفته با توسعه مدل‌های عددی رایانه‌ای، استفاده از مدل‌های ریاضی جهت شناخت الگوی هیدرودینامیکی خاص هر منطقه و انتقال رسوب ساحلی در آن‌ها مورد توجه پژوهشگران واقع شده که نمونه‌ای از آن‌ها در سال‌های دورتر در مطالعات سیگل و همکاران (Siegle et al., 2002) در خلیج تیگموت^۱ انگلستان، لامبورگ و ویندلین (Lumborg and Windelin, 2003) در منطقه رمو دایب^۲ در دریای وادن^۳ دانمارک، بابو و همکاران (Babu et al., 2005) در خلیج کاج واقع در جنوب غرب هندوستان و لامبورگ و پجراب (Lumborg and Pejrup, 2005) برای منطقه جزر و مدی لیستر دایب^۴ در دریای وادن، و همچنین در سال‌های اخیر در مطالعات عیسایی مقدم و همکاران (Isaie Moghaddam

۲. مبانی نظری

۲-۱ معرفی سامانه کنارگذری ماسه

در بنادر با مقیاس کوچک (با عمق کمتر از ۱۲ متر) رسوب گرفتگی چه از لحاظ فنی و چه از لحاظ اقتصادی از مسایل مهم و تاثیرگذار به شمار می‌رود. سازه‌های حفاظت از ساحل انسان ساخت، مسیر حرکت رسوب را تغییر می‌دهند که علاوه بر فرسایش سواحل پایین دست، مسیر ناوربری نیز ممکن است در اثر این قضیه جابجا شده و کشتی‌ها و شناورها نیز در معرض

¹ Teignmouth

² Rømø Dyb

³ Wadden Sea

⁴ Lister Dyb

⁵ Sand Bypassing System

رسوب استفاده می‌شود، در حقیقت از یک سامانه کنارگذری متحرک مبتنی بر آب استفاده شده است. اگر یک دراگلاین^۱ یا جت پمپاژ جهت لای‌روبی بستر بر روی یک کامیون نصب شده باشد، این سامانه سیار نمونه‌ای از یک سامانه کنارگذری مبتنی بر خشکی خواهد بود. و اما در نهایت سامانه‌های ثابت سامانه‌هایی هستند که در آن کل مجموعه کنارگذری دارای یک محل مشخص است. سامانه‌های لای‌روب به وسیله پمپاژ از بستر^۲ ثابت، نمونه‌ای واضح از سامانه‌های ثابت هستند. چنین سامانه‌ای تا حد بالایی نیازمند پیشبینی الگوی انتقال رسوب منطقه مورد مطالعه خواهد بود (Loza, 2008).

۲-۲-۳ طبقه بندی سامانه از لحاظ حالت عملیاتی

در هنگام طراحی سامانه، دو حالت مختلف عملیاتی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. هنگامیکه رسوبات به طور پیوسته در محل مشخصی حضور داشته باشند، می‌توان از سامانه‌های مداخله‌ای^۳ استفاده نمود. در حالت دوم، یک یا چند فضای ذخیره سازی را می‌توان با هدف نگه داشتن مقدار قابل توجهی از رسوبات طراحی کرد. شکل ۱ یک نمونه از سامانه کنارگذری مداخله‌ای در اطراف رودخانه توید^۴ استرالیا را نشان می‌دهد.



شکل ۱: سامانه کنارگذری با حالت عملیاتی مداخله‌ای واقع در دهانه رودخانه توید استرالیا (Loza, 2008)

اما باید توجه داشت که سامانه‌های مداخله‌ای احتیاج به درجه بالایی از قطعیت در رابطه با نرخ انتقال رسوب و جهت رانه‌های ساحلی خواهند داشت. در نهایت سامانه کنارگذری از لحاظ حالت عملیاتی در دو دسته زیر خلاصه می‌شود.

۱- حالت عملیاتی مداخله‌ای

۲- حالت عملیاتی با فضای ذخیره سازی (Loza, 2008)

خطر قرار بگیرند. این معضلات می‌توانند با نصب دستگاه‌های مکانیکی که قادر به بازیابی چرخه طبیعی انتقال رسوب هستند، قابل حل باشند. بدین ترتیب سامانه کنار گذری ماسه بر مبنای این مساله پایه ریزی شده و بر اساس اصول ساده‌ای عمل می‌کند که شامل لای‌روبی، انتقال و تخلیه رسوبات می‌شود (Loza, 2008).

۲-۲-۲ طبقه بندی سامانه کنارگذری ماسه

به منظور شناخت بهتر سامانه کنارگذری، طبقه بندی آن بر اساس معیارهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. بایستی توجه داشت که طبقه بندی ارائه شده ممکن است دارای همپوشانی باشد، چراکه هر سامانه کنارگذری ممکن است جهت پاسخگویی به شرایط مختلف و متنوعی طراحی شده باشد.

۲-۲-۱ طبقه بندی سامانه از لحاظ هدف

هنگامی که سازه‌ای در امتداد مسیر طبیعی انتقال رسوب مانعی ایجاد نماید، رژیم طبیعی کنارگذری را دچار اختلال می‌کند. این مساله علاوه بر فرسایش سواحل پایین دست، به علت اثر گذاری بر موقعیت مسیرهای ناوبری می‌تواند برای شناورها خطراتی را ایجاد نماید. بر این اساس و به طور خلاصه می‌توان از لحاظ هدف برپایی، سامانه کنارگذری را به صورت زیر طبقه بندی نمود:

۱- کاهش فرسایش در پایین دست و ترسیب در بالادست سازه‌ها.

۲- پایدار نمودن کانال‌های ناوبری (Loza, 2008).

۲-۲-۲ طبقه بندی سامانه از لحاظ قابلیت حرکت

تمام سامانه‌های کنارگذری اجرا شده در سراسر دنیا، در یک یا ترکیبی از دسته‌های زیر جای خواهند گرفت:

۱- سامانه‌های سیار مبتنی بر آب که اغلب شامل لای‌روبی-های دوره‌ای می‌باشد.

۲- سامانه‌های سیار مبتنی بر خشکی.

۳- سامانه‌های ثابت مثل یک موجشکن توده سنگی.

در سامانه‌های سیار معمولاً تجهیزات می‌توانند به مناطق مختلف پروژه انتقال یافته و در مکان دیگر دوباره استقرار پیدا کنند. هنگامیکه از یک شناور لای‌روب برای استخراج و تخلیه

¹ Dragline

² Platform

³ Interception Systems

⁴ Tweed River

۲-۴ طبقه بندی سامانه از لحاظ برنامه زمانی عملیات

۳. مواد و روش‌ها

یک سامانه کنارگذری ممکن است به طور مداوم یا به صورت دوره‌ای عمل نماید. در هنگام طراحی یک سامانه از نوع عملیات مداخله‌ای، استفاده از حالت برنامه زمانی مداوم بایستی تنها زمانی مورد نظر قرار گیرد که نرخ رانه ساحلی تقریباً ثابت باشد. سامانه‌های غیردایمی یا دوره‌ای نیز معمولاً تنها زمانی عمل می‌کنند که کنارگذری ضروری بوده و یا به نقطه بحرانی رسیده باشد.

یک لایروب که رسوبات را به صورت دوره‌ای جاروب نموده و آن‌ها را در یک نقطه در پایین دست تخلیه می‌کند، می‌تواند نمونه‌ای از این نوع باشد. به طور خلاصه دو دسته زیر را در برنامه زمانی می‌توان در نظر داشت.

- ۱- برنامه زمانی دایمی
- ۲- برنامه زمانی دوره‌ای (Loza, 2008)

۲-۵ طبقه بندی سامانه از لحاظ ظرفیت

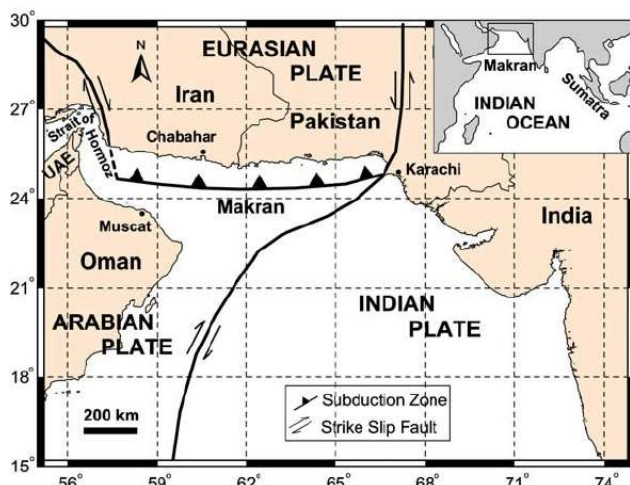
مقدار رسوبات کنارگذری شده یکی از مهمترین معیارها در رابطه با ساخت این سامانه‌ها است. بنابراین تجزیه و تحلیل منابع رسوبی در دسترس و رانه‌های ساحلی بسیار مهم است. همانطور که اشاره شد، انتخاب حالت عملیاتی سامانه و قابلیت حرکت نیز می‌تواند در دستیابی به حداکثر کارایی سامانه بسیار مهم باشد. حجم‌های بالایی از انتقال در سامانه‌های ثابت با عملیات دایمی در استرالیا ثبت گردیده‌اند.

سامانه موجود در ورودی رودخانه نرنگ^۱ از سال ۱۹۸۶ فعالیت کرده و به طور متوسط از حدود ۵۰۰،۰۰۰ مترمکعب تا ۷۵۰،۰۰۰ مترمکعب در سال عمل کنارگذری را انجام می‌دهد (Boswood and Murray, 2001). همچنین، چندین سامانه متحرک نیز موفق به کنارگذری بیشتر از ۲۰۰،۰۰۰ مترمکعب در سال شده که این مقادیر اغلب مربوط به عملیات‌هایی بوده‌اند که کنارگذری برای آن مناطق به حد ضرورت رسیده بوده است (Boswood and Murray, 2001; Clausner, 1999). به طور خلاصه سامانه کنارگذری از لحاظ ظرفیت در دو دسته زیر جای خواهد گرفت.

- ۱- با توجه به مقادیر موجود
- ۲- با توجه به حالت عملیاتی (Loza, 2008)

۳-۱ محدودده مورد مطالعه

مکران، مکران یا مکوران (شکل ۲)، سرزمینی ساحلی در جنوب شرقی ایران و جنوب غربی پاکستان است که در طول خلیج عمان از رأس‌الکوه در غرب جاسک تا السبال در جنوب غربی ایالت بلوچستان پاکستان گسترده است (Amir Ahmadi et al., 2013). از ویژگی‌های مهم ساحل مکران می‌توان به ارتباط مستقیم آن با اقیانوس هند اشاره کرد که باعث می‌شود جریان‌ات و امواج اقیانوسی این سواحل را تحت تاثیر قرار دهد.



شکل ۲: نمایش منطقه مکران در ایران و پاکستان (Heidarzadeh, 2011)

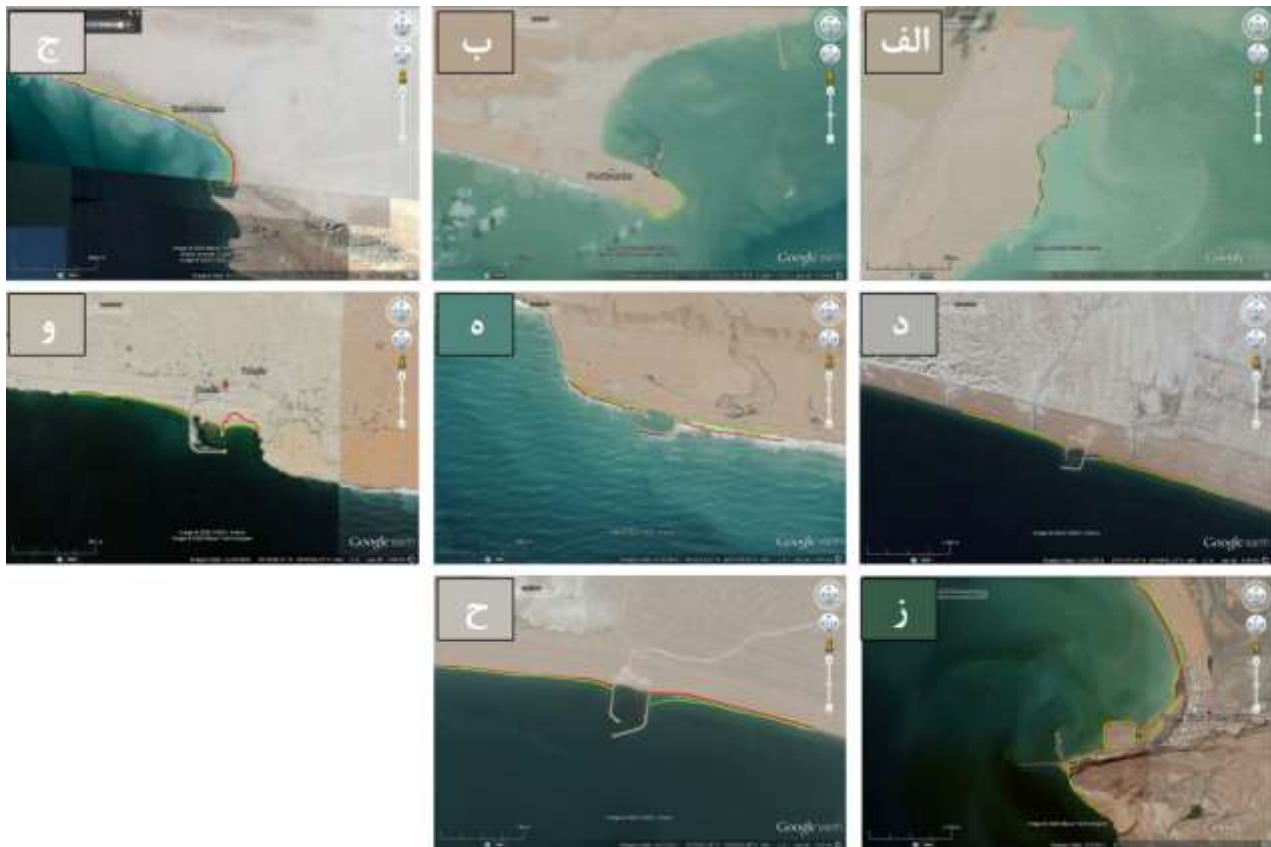
محدوده مطالعه در پژوهش حاضر، از شرق به خلیج گواتر (واقع در مرز ایران و پاکستان) و از غرب به خور رایج (واقع در حد فاصل بین استان سیستان و بلوچستان و استان هرمزگان) محدود می‌شود.

محدوده گفته شده بین عرض‌های ۲۵° تا ۲۵° و ۴۵' شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۵° و ۴۵' تا ۶۱° و ۳۰' واقع شده است. از لحاظ ریخت‌شناختی بایستی اشاره کرد که تغییرات تراز دریا و پیدایش عوارض زمین‌ریخت‌شناختی در گذشته و به جای ماندن خطوط ساحلی دیرینه از خصوصیات کواترنر پسین دریای عمان به شمار رفته که بر اثر آن‌ها، شکل‌گیری خلیج‌ها، خورها و بیابان‌های ساحلی در حاشیه قاره‌ای منطقه ساحلی مکران رخ داده است (Motamed and Gharib Reza, 2008).

¹ Nerang River

خطوط ساحلی بر مبنای بالاترین تراز داغاب در سواحل، به صورت دستی صورت گرفته است. قابل ذکر است که تصاویر ماهواره‌ای نیازمند اعمال تصحیحات رادیومتریک و تصحیحات هندسی و رفع نویز به شیوه‌های مختلف نظیر تحلیل هیستوگرام هستند. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث با پردازشی که قبلاً بر روی تصاویر انجام شده است، کاربر را از انجام این اقدامات بی‌نیاز می‌کند.

با مقایسه خطوط ساحلی برداشت شده از تصاویر ماهواره‌ای، تغییرات خطوط ساحلی در بنادر گواتر، پسابندر، بریس، رودیک، گیشاب، رمین، پزم و بیرداف در شکل ۳ نمایش داده شده است. بدین منظور، از اطلاعات دریافت شده از سنجنده‌ها که شامل تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث هستند، استفاده شده و شناسایی



شکل ۳: تغییرات خطوط ساحلی در اطراف بنادر، (الف): گواتر در بازه ۲۰۰۹ (خط قرمز) تا ۲۰۱۹ میلادی (خط سبز)؛ (ب): پسابندر در بازه ۲۰۰۹ (خط قرمز) تا ۲۰۱۹ میلادی (خط سبز)؛ (ج): بریس در بازه ۲۰۰۴ (خط قرمز) تا ۲۰۱۸ میلادی (خط سبز)؛ (د): رودیک در بازه ۲۰۱۳ (خط قرمز) تا ۲۰۱۵ میلادی (خط سبز)؛ (ه): گیشاب در بازه ۲۰۱۴ (خط قرمز) تا ۲۰۱۸ میلادی (خط سبز)؛ (و): رمین در بازه ۲۰۱۵ (خط قرمز) تا ۲۰۱۸ میلادی (خط سبز)؛ (ز): پزم در بازه ۲۰۱۳ (خط قرمز) تا ۲۰۱۹ میلادی (خط سبز)؛ (ح): بیرداف در بازه ۲۰۱۳ (خط قرمز) تا ۲۰۱۸ میلادی (خط سبز)

بندر گواتر تا حوالی بندر پسابندر، خط ساحلی شامل صخره‌های ساحلی است. با توجه به شکل ۳ (الف)، در این ناحیه مقداری فرسایش مشاهده می‌شود اما در مجاورت بازوی بندر اتفاق خاصی در این بازه ۱۰ ساله دیده نشد.

بندر صبادی پسابندر در قسمت شمالی ورودی خلیج گواتر قرار گرفته است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای از سال ۲۰۰۹ تا سال ۲۰۱۹ (شکل ۳ (ب)) مشخص کننده این موضوع است که در

بندر گواتر که در شکل ۳ (الف) به نمایش در آمده است، در جنوب شرق سواحل کشور و در نزدیکی مرز ایران و پاکستان واقع بوده و مراحل ساخت این بندر در سال ۲۰۱۲ میلادی به اتمام رسیده است. با دقت در این شکل، طی دوره زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ میلادی تغییرات بسیار کمی در خط ساحلی نزدیک به بازوی موجشکن بندر مشاهده می‌شود. با دقت بیشتر در تصاویر ماهواره‌ای ادواری در گوگل ارث و تفسیر آن‌ها، در بخش جنوبی

ماهواره‌ای مربوط به سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۱۳، گواهی می‌دهد که در قسمت جنوبی بندر تغییرات خاصی رخ نداده و در قسمت شمالی فرسایش اتفاق افتاده است.

ساخت بندر بیرداف نیز با توجه به تصاویر ماهواره‌ای مابین سال‌های ۲۰۱۱ تا سال ۲۰۱۳ اتفاق افتاده است. با توجه به شکل ۳ (ح)، در بخش شرقی و غربی بندر بیرداف رسوبگذاری در بازه سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۸ رخ داده است.

۳-۳ تجربیات جهانی استفاده از سامانه کنارگذری

پس از بررسی اجمالی وضعیت رسوبی عمده بنادر سواحل مکران، به طور خلاصه در جدول ۱، تجربیات جهانی در رابطه با استفاده از سامانه کنارگذری ماسه بر حسب ظرفیت انتقال رسوب مرتب و آرایه شده‌اند.

از جمله موارد جدول فوق، با توجه به روند تحقیق تنها موارد شماره ۱۴ و ۱۷ تشریح شده و خوانندگان می‌توانند جهت اطلاع از جزئیات سایر موارد به مرجع آرایه شده رجوع نمایند. در همین راستا، در مجاورت ورودی بخش جنوبی دریاچه ورث^۱ واقع در فلوریدای آمریکا، سامانه کنارگذری از نوع ثابت قرار داشته که از سال ۱۹۳۷ عملیات کنارگذری ماسه را به انجام می‌رساند. در این منطقه که امروزه با نام بویتن^۲ نیز شناخته شده است، اتصال دریاچه به اقیانوس از طریق یک کانال ورودی مصنوعی با دیوار حایل که در سال ۱۹۲۷ ساخته شده است، برقرار شده است. هرچند که ساخت دیوار حایل موجب تثبیت ورودی گردید، اما علاوه بر ایجاد ممانعت در برابر انتقال رسوب و ایجاد فرسایش در پایین دست، کاهش عمق در ورودی کانال را نیز رقم زد. در همین راستا اولین ایستگاه پمپاژ در سال ۱۹۳۷ ساخته شد و در سال ۱۹۴۸، سامانه لای‌روبی این ایستگاه با هدف افزایش ظرفیت سامانه، بر روی یک بوم نیمه متحرک با شعاع حرکت ۱۰ متری نصب گردید.

این ایستگاه در نتیجه استحصال رسوب قادر به حفر ترانشه-ای دایره‌ای شکل با حجم تقریبی ۸۰۰ مترمکعب (۳۰۰ متر مربع سطح در عمق ۲/۵ الی ۳ متر) خواهد بود. خطوط لوله انتقال دهنده رسوبات، به زیر پل بزرگراهی که از روی این کانال عبور می‌کند متصل بوده و رسوبات را در نقطه‌ای به

بخش شرقی بندر یک ماهیچه رسوبی به مساحت ۶،۱۴۴ مترمربع شکل گرفته است (قسمت مشکی رنگ در شکل). در سایر نواحی، خط ساحلی کمتر دستخوش تغییر خاصی شده است.

بندر بریس (شکل ۳ ج)) در سمت شمال صخره‌های بریس، در غرب خطوط ممتد ساحلی به طول تقریبی ۲۵ کیلومتر از بندرپسابندر واقع شده است. با توجه به تصاویر ماهواره‌ای دوره-ای گوگل ارث، شروع ساخت این بندر در دهه ۱۹۹۰ میلادی رخ داده است. بررسی تغییرات خط ساحل بر اساس تصویرهای ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ میلادی مشخص کننده رسوبگذاری در بخش دستک شمالی بندر بریس در حدود ۶۱،۶۱۰ متر مربع است. اما در پایین دست و به فاصله کمی اثر فرسایش به وضوح قابل مشاهده است.

در رابطه با بندر رودیک نیز با بررسی تصاویر ماهواره‌ای ادواری گوگل ارث مشخص گردید که ساخت این بندر در حدود سال ۲۰۱۱ آغاز گردیده است و در سال‌های اخیر نیز اصلاحاتی بر روی بندر انجام گرفته است. بررسی تغییرات خط ساحل در بازه سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ میلادی نشان دهنده رسوبگذاری در بالادست بازوی شرقی به میزان ۸،۴۷۰ مترمربع است. در پایین-دست تغییرات چندانی دیده نمی‌شود (شکل ۳ د)).

بررسی وضعیت تغییرات خط ساحل در محدوده بندر گیشاب نیز در طی دوره زمانی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ در شکل ۳ (ه) نشان داده شده است. احداث بندر گیشاب نیز با توجه به تصاویر ماهواره‌ای به حدود سال ۲۰۱۱ برمی‌گردد. با توجه به شکل ۳ (ه) بخش شرقی و غربی این بندر در این بازه در معرض فرسایش بوده است.

بندر رمین در حدود ۱۴ کیلومتری شرق چابهار واقع است. ساحلی که بندر رمین بر روی آن مستقر گردیده، نسبت به منطقه ساحلی شرقی خود عقب نشینی داشته است. بررسی تغییرات خط ساحل از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ (شکل ۳ و)) نشان دهنده تغییرات خط ساحل در بخش شرقی به صورت رسوبگذاری قابل توجه بوده است. در بخش غربی بندر نیز رسوبگذاری اما با شدت بسیار کمتر قابل مشاهده است. بدین ترتیب با استفاده از ابزار اندازه گیری سطح در گوگل ارث، سطوح رسوبگذاری شده شرقی و غربی به ترتیب ۳،۶۸۵ و ۲،۴۵۴ متر مربع محاسبه گردیدند.

بازوی اصلی بندر پزم (شکل ۳ ز)) بر روی دیواره صخره‌ای که در شرق بندر قرار دارد احداث گردیده است. بررسی تصویر

¹ South Lake Worth Inlet

² Boynton

عملیات دائمی بوده و در طول سال می‌تواند با تعداد تنها ۲ خدمه تحت سرویس باشد. شکل ۴ شمایی از سامانه پیاده شده در این منطقه به همراه تصویری از ایستگاه مذکور را نمایش داده است. در نهایت سامانه‌ای که امروزه مشاهده می‌شود حاصل تغییراتی است که در سال ۱۹۶۷ صورت گرفته و شامل افزایش طول موجشکن‌ها و تغییر موقعیت ایستگاه به منطقه‌ای نزدیکتر به دریا است (Loza, 2008).

فاصله ۳۵۰ متر پایین‌تر از ایستگاه پمپاژ، تخلیه می‌نماید. رسوبات در این ناحیه از نوع درشت‌دانه با قطر میانگین ذرات ۰/۳ میلیمتر (از ۰/۲۹ تا ۰/۳۲ میلیمتر) می‌باشند. ظرفیت اسمی کنارگذری این سامانه ۱۱۰ مترمکعب در ساعت بوده و نرخ متوسط سالیانه کنارگذری در آن ۵۳۵۰۰ مترمکعب گزارش شده است که از لحاظ نرخ کنارگذری در طبقه بندی متوسط جای می‌گیرد. این سامانه از لحاظ برنامه زمانی عملیات در دسته

جدول ۱: تجربیات جهانی پیاده‌سازی سامانه کنارگذری برحسب حجم کنارگذری (Loza, 2008)

شماره	اسم	موقعیت (کشور)	شروع عملیات (سال)	سال‌های در عملیات	نوع سامانه	حجم کنارگذری (مترمکعب/سال)
۱	Tweed River Entrance	استرالیا	۲۰۰۱	۳	ثابت	۷۰۰۰۰
۲	Jupiter Inlet	آمریکا	۱۹۲۹	۷۵	سی‌ار	۶۰۰۰۰
۳	Ventura Marina	آمریکا	۱۹۷۲	۳۲	سی‌ار	۶۰۰۰۰
۴	Ponce de Leon Inlet	آمریکا	۱۹۶۹	۳۵	سی‌ار	۵۳۵۰۰
۵	Nerang River Entrance	استرالیا	۱۹۸۶	۱۸	ثابت	۵۰۰۰۰
۶	Rudee Inlet	آمریکا	۱۹۷۲	۳۲	نی‌هه سی‌ار	۳۰۰۰۰
۷	Santa Barbara	آمریکا	۱۹۲۷	۷۷	سی‌ار	۲۵۰۰۰
۸	Masonboro Inlet	آمریکا	۱۹۵۹	۴۵	سی‌ار	۲۱۵۰۰
۹	Sebastian Inlet	آمریکا	۱۹۶۲	۴۲	سی‌ار	۱۹۰۰۰
۱۰	Carolina Beach Inlet	آمریکا	۱۹۶۵	۳۹	سی‌ار	۱۲۲۰۰
۱۱	Indian River Inlet	آمریکا	۱۹۹۰	۱۴	سی‌ار	۹۱۰۰۰
۱۲	Santa Cruz	آمریکا	۱۹۶۲	۴۲	سی‌ار	۷۰۰۰۰
۱۳	Lake Worth Inlet	آمریکا	۱۹۵۸	۴۶	ثابت	۶۱۰۰۰
۱۴	South Lake Worth Inlet	آمریکا	۱۹۳۷	۶۷	ثابت	۵۳۵۰۰
۱۵	Hillsboro Inlet	آمریکا	۱۹۵۲	۵۲	سی‌ار	۵۰۰۰۰
۱۶	Mexico Beach Inlet	آمریکا	۱۹۷۱-۱۹۷۸	۷	سی‌ار	۳۰۰۰۰
۱۷	Oceanside Harbor	آمریکا	۱۹۸۹-۱۹۹۶	۷	ثابت	۱۴۰۰۰
۱۸	East Pass	آمریکا	۱۹۳۰	۷۴	سی‌ار	اطلاعات ناموجود
۱۹	Little River Inlet	آمریکا	۱۹۸۳	۲۱	سی‌ار	اطلاعات ناموجود
۲۰	Port Sanilac	آمریکا	۱۹۵۸	۴۶	ثابت	اطلاعات ناموجود



شکل ۴: طرح شماتیک (الف) و تصویر (ب) ایستگاه سامانه کنارگذری ورودی کانال دریاچه ورت جنوبی (Loza, 2008)

داده و از سال ۱۹۹۶ به بعد به علت عدم تامین مالی عملیات آن متوقف شده است. این سامانه در فاز اول خود از ژوئن ۱۹۸۹ تا اگوست ۱۹۹۰ توسط یک جت پمپاژ واقع در موج‌شکن شمالی،

سامانه نوع ثابت پیاده شده در بندر اوشن‌ساید^۱ نیز از سال ۱۹۸۹ تا سال ۱۹۹۶ با هدف انتقال رسوبات به پایین دست و بهبود شرایط نوابری در ورودی بندر، عملیات کارگذری را انجام

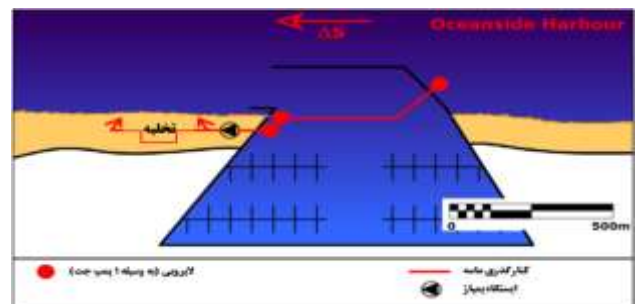
^۱ Oceanside

کنارگذری از لحاظ قابلیت حرکت به دو دسته سامانه‌های سیار و سامانه‌های ثابت تقسیم می‌شوند. بعلاوه، در رابطه با تجهیزات سامانه کنارگذری، عمدتاً سامانه‌های سیار بر پایه لای‌روبی و انتقال رسوبات از طریق لای‌روب‌های مخزن‌دار و بارجها و یا سایر شناورهای متحرک در دریا و یا حتی استفاده از تجهیزات بارگیری و انتقال از طریق خشکی استوار هستند. در مقابل، در سامانه‌های ثابت عملیات انتقال و تخلیه رسوبات عمدتاً از طریق پمپاژ در خطوط لوله صورت گرفته می‌گیرد.

موارد اشاره شده در بخش ۳.۳، در کنار مطالعه دقیق‌تر نمونه‌های طبقه بندی شده در جدول ۱ که به صورت تفصیلی در گزارش پدرو لوزا (Loza, 2008) آمده است، رویکرد واضحی از انتخاب نوع سامانه کنارگذری برای هر منطقه ارائه می‌دهد. بخشی از این رویکرد شامل انتخاب سامانه کنارگذری از نوع ثابت برای بنداری که در بالادست دچار پدیده رسوبگذاری و در پایین دست با مشکل فرسایش مواجه هستند، می‌شود. چرا که به دلیل استفاده از خطوط لوله کوتاه‌تر و متعاقب آن صرف توان کمتر جهت پمپاژ رسوبات، استفاده از این سامانه گزینه مناسب‌تری نسبت به لای‌روبی دوره‌ای است. گزینه دیگر در رابطه با انتخاب نوع سامانه کنارگذری، استفاده از سامانه کنارگذری از نوع سیار بوده که به صورت لای‌روبی دوره‌ای عمل می‌نماید. شیوه‌ای که هم اکنون نیز در بسیاری از بنادر شمالی و جنوبی کشورمان به منظور رفع مشکلات رسوبی بنادر در حال اجرا است.

در همین راستا، بنداری که در بالادست با به دام افتادن رسوبات با حجم قابل توجه روبرو بوده و در فاصله کم در اطراف و خصوصاً در پایین دست مشکل فرسایشی دارند، می‌توانند فراخور شرایط از گزینه‌های استفاده از سامانه کنارگذری نوع ثابت باشند (Loza, 2008). بنابراین با تکیه بر بررسی رسوبی ارائه شده در بخش ۲.۳، بنادر بریس و رمین می‌توانند جهت بهبود عملکرد رسوبی خود، از سامانه کنارگذری نوع ثابت بهره‌مند شوند. وضعیت رسوبی مطرح شده در این دو بندر و همچنین سابقه انجام پروژه‌های تحقیقاتی در گذشته که به سبب آن‌ها داده‌های کافی جهت بررسی دقیق‌تر آن‌ها در دسترس قرار گرفته است، امکان ارائه جزئیات بیشتری در رابطه با پیاده سازی این نوع از سامانه را در آن‌ها فراهم می‌آورد.

یک بوم و یک سیال کننده^۱ میزان ۲۵۰ مترمکعب در ساعت از رسوبات را کنارگذری می‌نمود. در فاز دوم (نوامبر ۱۹۹۱ تا نوامبر ۱۹۹۶)، یک سیال کننده ۵۰ متری دیگر به موازات موجشکن جنوبی به سمت ساحل امتداد یافت. یک شیر نیز در سامانه تعبیه شد تا سیال کننده و جت پمپاژ را به علت آنکه ایستگاه قادر به پشتیبانی همزمان هر دوی آن‌ها نیست، کنترل نماید. این سامانه در فاز اول خود با ظرفیت اسمی ۴۲۵ مترمکعب در ساعت، به طور میانگین ۱۴۰۰۰ مترمکعب در سال عمل کنارگذری را انجام داده که از این حیث در طبقه بندی نرخ کنارگذری کم قرار می‌گیرد. در فاز دوم اما با تغییرات صورت گرفته، با همان ظرفیت اسمی میزان کنارگذری میانگین به ۸۰۰۰۰ مترمکعب در سال افزایش یافت و در طبقه نرخ کنارگذری متوسط قرار گرفت. این سامانه از لحاظ برنامه زمانبندی عملیات دائمی محسوب شده و به نحوی طراحی گردید تا ۵ روز در هفته و در هر روز تا ۱۰ ساعت عملیات انجام دهد. هرچند که کنارگذری دائمی در این ایستگاه تنها به مدت ۱ سال صورت پذیرفت. تعداد خدمه جهت کنترل سامانه ۴ نفر شامل یک اپراتور اصلی سامانه، یک مکانیک، یک اپراتور برای پمپ کمکی ساحل و یک ناظر در محل تخلیه رسوبات بوده است. بعلاوه، هزینه طراحی این سامانه ۵ میلیون یورو و هزینه ساخت آن ۱۵ میلیون یورو بوده است. شکل ۵، شمایی از سامانه پیاده شده در این منطقه را نمایش داده است.



شکل ۵: طرح شماتیک از ایستگاه ثابت سامانه کنارگذری ماسه در ورودی بندر اوشن ساید (Loza, 2008)

۳-۴ بررسی جامع پیاده‌سازی سامانه کنارگذری در بنادر مکران

در قسمت مبانی نظری تحقیق که به طبقه بندی سامانه کنارگذری پرداخته است (بخش ۲.۲)، اشاره شد که سامانه

¹ Fluidiser

۵- بررسی الگوی جریانات و امواج در محدوده بندر بريس

۳- بررسی الگوی جریانات و امواج در محدوده بندر رمين

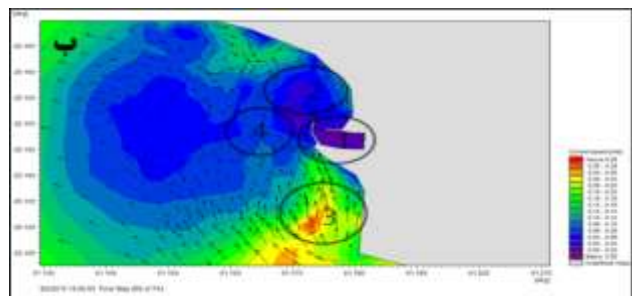
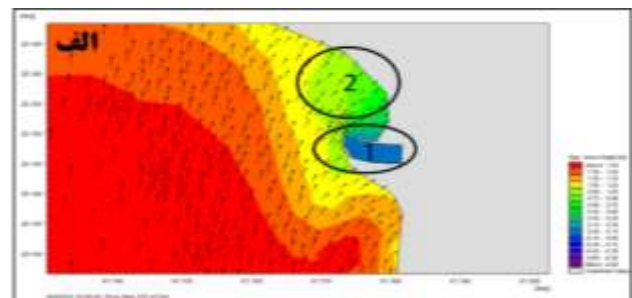
در بندر رمين نیز مطابق با اطلاعات ارایه شده در مقدمه، عيسایی مقدم و همکاران (Isaie Moghaddam et al., 2018) با استفاده از مدل طیفی انتشار امواج MIKE-SW و مدل هیدرودینامیکی MIKE-HD اقدام به مدل‌سازی الگوی جریانات و امواج ناشی از بادهای موسمی و غیر موسمی در محدوده بندر با استفاده از مدل‌سازی در مقیاس منطقه‌ای و محلی نمودند. محدوده مدل در مدل‌سازی با مقیاس محلی، حدود ۴/۲ کیلومتر در طول خط ساحلی و حدود ۲ کیلومتر عمود بر خط ساحل و در راستای دریا در جاییکه عمق آب تقریباً به ۲۵ متری می‌رسد در نظر گرفته شده است.

مش در نظر گرفته شده برای مدل محلی شامل ۸۲۹۶ گره و ۱۷۵۹۰ المان با اضلاع مثلثی به طول ۲۰ تا ۱۰۰ متر بوده است. مش محاسباتی مدل مقیاس منطقه‌ای نیز مش ساختار نیافته شامل ۶۷۶۶ گره و ۱۳۱۹۰ المان با اضلاع مثلثی با طول ۱۰۰۰ متر در مناطق دور از ساحل و ۸۰ متر در مناطق نزدیک به ساحل بوده است. برای داده‌های عمق‌سنجی نیز از یک چارت هیدروگرافی دریایی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ و داده‌های پیمایش میدانی در نزدیکی ساحل با مقیاس ۱:۲۰۰۰ استفاده شده است.

طبق مقاله مذکور، اقلیم موج در مرز جنوبی مدل مقیاس محلی، از مدل‌سازی مقیاس منطقه‌ای که در آن از داده‌های موج دور از ساحل استفاده شده، استخراج گردیده است. داده‌های امواج دور از ساحل نیز از دو منبع پروژه مدل‌سازی امواج دریاهای ایران و پروژه پایش و مدل‌سازی سواحل ایران به دست آمده‌اند.

در رابطه با داده‌های باد، از سه منبع داده‌ای مختلف شامل داده‌های باد اندازه‌گیری شده در ایستگاه سینوپتیک چابهار با گام زمانی سه ساعته (۱۹۸۷ تا ۲۰۱۰)، مدل ECMWF-ERA40 با رزولوشن فضایی و زمانی نیم درجه و ۶ ساعته (۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲) و مدل NCEP (۱۹۸۵ تا ۲۰۰۷) با گام زمانی سه ساعته جهت ارزیابی اقلیم باد منطقه مورد مدل‌سازی استفاده شده است. در نهایت وضعیت موج در سه حالت و در ارتباط با شرایط موج غالب موسمی و غیر موسمی (مطابق جدول ۲) مدل‌سازی گردیده تا شبیه‌سازی جریان نزدیک ساحل بر اساس آن‌ها صورت گیرد.

در رابطه با بندر بريس، همانطور که در بخش پیشینه تحقیق از قسمت مقدمه اشاره شد، سایه‌بانی و قادری (Sayehbani and Ghaderi, 2019) با استفاده از مدل طیفی انتشار امواج MIKE-SW و مدل هیدرودینامیکی MIKE-HD اقدام به مدل‌سازی الگوی جریانات و امواج ناشی از باد در محدوده بندر بريس نمودند. بدین منظور، محیط بندر و محدوده پیرامون آن با استفاده از ۲۰۳۰ گره و ۳۷۸۹ المان با استفاده از مش‌های ساختار نیافته مش‌بندی شدند. در این مدل داده‌های لازم جهت تولید فایل عمق‌سنجی نیز از موسسه USGS EROS به دست آمده است. در مدل هیدرودینامیکی، داده‌های جزر و مدی در قالب تراز سطح آب به عنوان داده مرزی در مرز غربی مدل و برای مرزهای شرقی و جنوبی مقادیر ثابتی در نظر گرفته شده‌اند. همچنین در مدل SW نیز جهت اعمال شرایط جوی در مدل، از داده‌های ERA40 استفاده شده است. بدین ترتیب که داده‌های سرعت و جهت باد از تاریخ ۲۲ جولای ۲۰۱۶ به مدت یک ماه با گام‌های زمانی ۳ ساعته در نظر گرفته شده است. جهت صحت‌سنجی مدل، نتایج مدل‌سازی با مدل‌های موج WW3 و ECMWF در مختصات جغرافیایی ۶۱ درجه شرقی و ۲۵ درجه شمالی مقایسه شده‌اند. در شکل ۶ جهت عمده‌ی امواج و جریانات در محدوده بندر بريس حاصل از این مدل‌سازی ارایه شده است.



شکل ۶: جهت غالب امواج ناشی از باد (الف) و جریانات مدل‌سازی شده (ب) در اطراف بندر بريس (Sayehbani and Ghaderi, 2019)

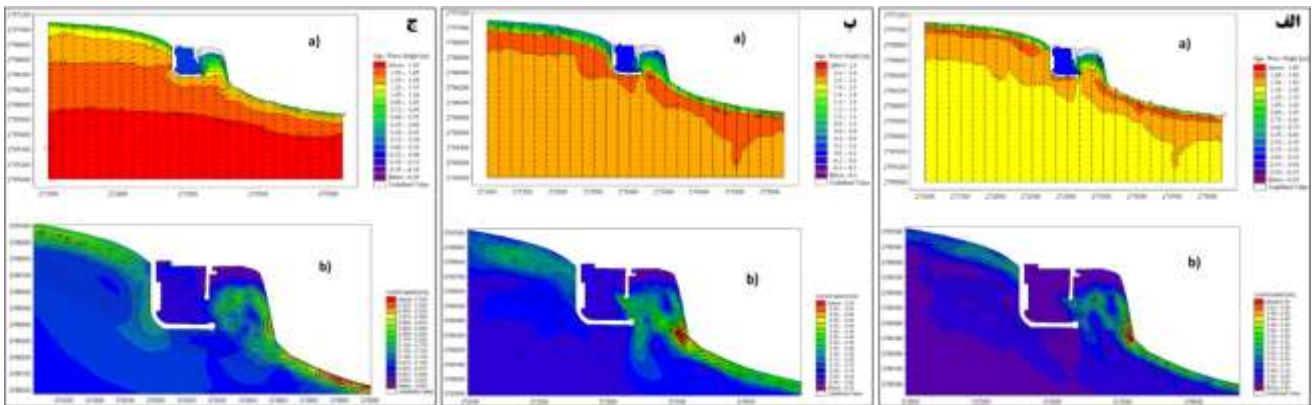
(شکل ۸) نیز به دست آمده که مقادیر مثبت رسوبگذاری و مقادیر منفی فرسایش را نمایش می‌دهند.

جدول ۲: مشخصات موج‌های دور از ساحل انتخابی جهت شبیه‌سازی و ارایه نتایج (Isaie Moghaddam et al., 2018)

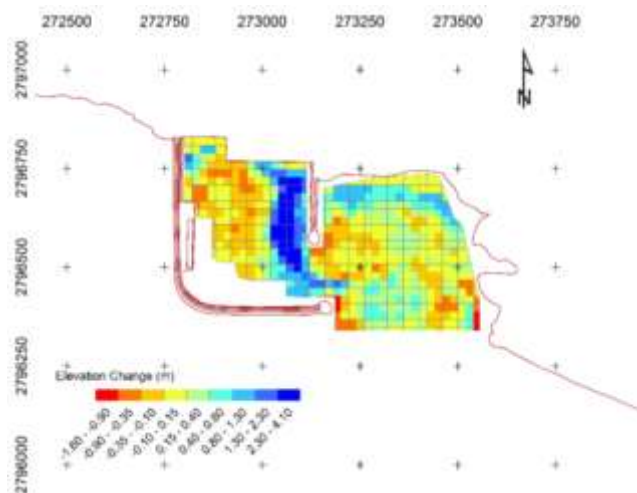
موج	Hm0 (m)	Tp (s)	MWD (deg)	موسمی / غیر موسمی
۱	۱/۵	۱۰	۱۸۲	موسمی
۲	۲/۲	۱۱	۱۸۰	موسمی
۳	۱/۷	۵/۵	۲۳۵	غیر موسمی

در جدول ۲ موج شماره ۳ از راستای جنوب غربی برای زمان‌های قبل و بعد از دوره موسمی در نظر گرفته شده است. الگوی امواج شبیه‌سازی شده در مدل مقیاس محلی برای بندر رمین و نواحی اطراف آن، به همراه نقشه‌های الگوی جریانات حاصله، در شکل ۷ ارائه شده است.

بعلاوه، با مقایسه پیمایش‌های مربوط به عمق بستر مربوط به تاریخ‌های نوامبر ۲۰۰۰ و جولای ۲۰۰۹، نقشه تغییرات بستر



شکل ۷: شبیه‌سازی امواج و جریانات برای موج شماره ۱ (الف)، موج شماره ۲ (ب) و موج شماره ۳ (ج) در اطراف بندر رمین (Isaie Moghaddam et al., 2018)



شکل ۸: تغییرات بستر بندر رمین مابین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ (Isaie Moghaddam et al., 2018)

متر، می‌توان تخمینی از حدود نرخ انتقال رسوب کرانه‌ای در آن منطقه برآورد نمود. بدین ترتیب که حاصلضرب عمق فعال رسوبی در سطح رسوبگذاری شده در طی بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ میلادی حجم رسوبات به دام افتاده در این بازه را مشخص نموده و تقسیم آن بر تعداد سال‌های این بازه تقریبی از نرخ انتقال رسوب در واحد سال را ارایه می‌نماید. نتیجه این اقدام نرخ ۱۸,۰۴۳ متر مکعب در سال را ارایه می‌نماید. بنابراین در

۴. نتایج و بحث

همانگونه که در بخش ۲.۳ بررسی صورت پذیرفت، سطح رسوبگذاری شده در بالادست بندر بریس در حدود ۶۱,۶۱۰ متر مربع بوده و پایین دست بندر دچار فرسایش بوده است. از طرفی با توجه به عمق فعال رسوبی گزارش شده در پروژه پایش و مطالعات شبیه‌سازی سواحل کشور (PMO, 2018) به میزان ۴/۱

موجشکن می‌باشد (منطقه شماره ۳). در این منطقه سرعت جریان دچار افت ناگهانی شده و گردابه‌هایی در پشت و در مجاورت راس موجشکن شکل می‌گیرد. در درون بندر و در حوضچه داخلی به علت وجود بازوهای موجشکن، سرعت جریان بسیار کم است (منطقه ۱). در منطقه ۲ اما جریان عموماً دچار چرخش در جهت عقربه‌های ساعت شده که دلیل آن می‌تواند ساختار ساحل و وجود موجشکن‌های بندر بوده باشد. همچنین جریان‌ها در قسمت‌های بالاتر از منطقه ۲ سرعت بیشتری یافته و در قسمت‌های پایین این منطقه که در مجاورت دهانه بندر است، دارای سرعت کمتری هستند. الگوی جریان‌ها در منطقه ۴ نیز حاکی عبور جریان‌ها با سرعت نسبتاً کم از کنار بندر به سمت پایین دست خواهد بود (Sayehbani and Ghaderi, 2019).

بنابراین با توجه به مطالب ارایه شده، هم در مطالعات رسوبی از طریق تصاویر ماهواره‌ای و هم در مدلسازی‌های عددی انجام شده، رسوبگذاری در منطقه ۲ پدیده دائمی خواهد بود که با توجه به نزدیکی آن به دهانه ورودی بندر می‌تواند تهدیدی در برابر شرایط ناوبری و اختلال‌گر عملکرد بندر باشد. بعلاوه، با استناد بر مطالعات بخش ۲.۳ در قسمت‌های غربی منطقه ۲ فرسایش به وضوح قابل مشاهده است. نکته جالب توجه در این رابطه وجود یک آبراهه در نقطه‌ای است که سواحل رسوبگذاری شده از سواحل فرسایش یافته را جدا می‌کند. در صورتی که این آبراهه آورد رسوبی نیز داشته باشد، به شدت یافتن رسوبگذاری در پشت بازوی موجشکن فرعی بندر منجر خواهد شد. بنابراین در گام اول پیشنهاد می‌گردد که مشابه با ورودی رودخانه نرنگ استرالیا یا ورودی جنوبی دریاچه ورث (به ترتیب موارد شماره ۵ و ۱۴ در جدول ۱)، جهت تثبیت موقعیت ورودی این آبراهه دو دستک یا آبشکن در طرفین آن احداث گردد (مطابق خطوط منقطع در شکل ۹). احداث دستک مذکور، این ناحیه رسوبگذاری شده که از شرق و جنوب نیز محدود به ساحل و موجشکن فرعی بندر است را تبدیل به فضای ذخیره رسوب ساخته و زمینه انجام عملیات کنارگذری از نوع ثابت را فراهم می‌سازد. بنابراین استقرار یک ایستگاه جهت پمپاژ رسوبات این ناحیه به قسمت‌های فرسایش یافته در غرب ورودی آبراهه پیشنهاد می‌گردد. با توجه به وجود فضای ذخیره رسوب، برنامه زمانبندی عملیات می‌تواند به صورت غیر دائمی باشد که در این صورت می‌توان از مشخصات ایستگاه پمپاژ پیاده شده در سامانه کنارگذری ورودی جنوبی دریاچه ورث، در این ناحیه نیز بهره برد. در این صورت

مقام مقایسه با نرخ کنارگذری رسوب در نمونه‌های موفق جهانی از نوع ثابت، می‌توان موارد شماره ۱۴ و ۱۷ از جدول ۱ یعنی دهانه ورودی کانال جنوبی دریاچه ورث واقع در فلوریدا و بندر اوشن‌ساید در ایالت کالیفرنیا آمریکا که در بخش ۳.۳ بررسی شدند را مورد نظر قرار داد.

به طریق مشابه، سطوح رسوبگذاری شده در قسمت‌های شرقی و غربی بندر رمین از قرار ۳,۶۸۵ و ۲,۴۵۴ متر مربع و عمق فعال رسوبی گزارش شده به میزان ۴ متر، نرخ رسوبی تقریبی ۱,۱۳۴ مترمکعب در سال از سمت شرق به غرب و ۷۵۵ مترمکعب در سال از سمت غرب به شرق را در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۸ را ارایه می‌دهد. پایین بودن نرخ رسوب تخمین زده شده در مقایسه با سایر نقاط منطقه مکران جستجوی بیشتری را طلب نمود که مطالعه پروژه پایش و مطالعات شبیه‌سازی سواحل کشور از انجام لای‌روبی‌های چندین باره در این بازه زمانی از قسمت شرقی بندر خیر داده و همین مساله با توجه به ماهیت روش بکار برده شده جهت تخمین نرخ انتقال رسوب، منجر به محاسبه دست پایین نرخ رسوبی شرقی-غربی شده است. با اینحال بعید به نظر می‌رسد که نرخ رسوبات موجود در منطقه بیش از نرخ کنارگذری گزارش شده شماره ۱۷ در جدول ۱ یعنی سامانه واقع شده در مجاورت بندر اوشن‌ساید کالیفرنیا آمریکا باشد.

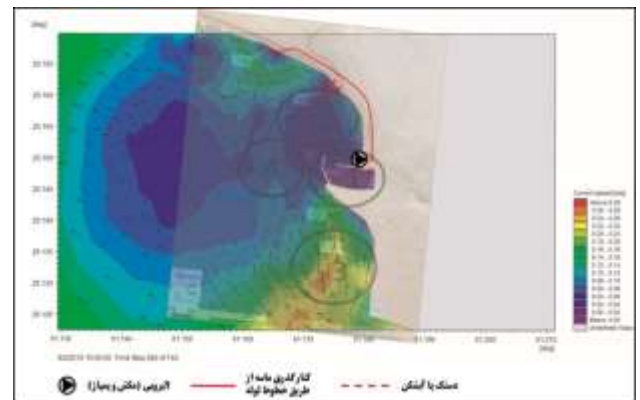
۴-۱ پیشنهاد سامانه کنارگذری در بندر بریس

با استناد بر شکل ۶ در بخش ۵.۳، امواج در محدوده بندر بریس غالباً از سمت جنوب غرب به ساحل نزدیک می‌شوند. همچنین با توجه به قسمت ۱ از شکل ۶ ارتفاع موج در درون بندر به طور قابل ملاحظه‌ای کم است. قسمت قابل توجه دیگر در این شکل قسمت شماره ۲ واقع در شمال بندر است که ارتفاع موج در آنجا کاهش پیدا می‌کند. این کاهش ارتفاع موجب آشفته‌گی آب در آن منطقه شده که می‌تواند شرایط را برای رسوبگذاری در آن منطقه فراهم نماید. همانطور که بررسی تصاویر ماهواره‌ای بخش ۲.۳ نیز نشانگر رسوبگذاری در این ناحیه بود. بعلاوه بر اساس مدلسازی بخش ۵.۳ مشخص گردید که جهت عمومی جریان در محدوده بندر بریس راستای شرقی-غربی دارد. همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، در قسمت جنوبی بندر بریس جهت جریان موازی با ساحل و به سمت

با توجه به مشکلات رسوبی شمرده شده و با تکیه بر تجارب جهانی و همچنین الگوی جریانات مدلسازی شده در اطراف بندر رمین، استفاده از سامانه کنارگذری از نوع ثابت برای این منطقه پیشنهاد می‌گردد. بدین ترتیب که در مرحله اول به منظور کاهش ذخایر رسوبی در بخش شرقی موجشکن فرعی بندر، یک ایستگاه پمپاژ رسوب با مشخصاتی مشابه با ایستگاه پمپاژ مستقر در بندر اوشن‌ساید در نظر گرفته شود. اما با دقت در شکل ۷ مشاهده می‌شود که جریانات شرقی - غربی در ناحیه شرقی بندر رمین به علت تغییر ناگهانی راستای خط ساحل از حالت شرقی - غربی به جنوبی - شمالی، به دو دسته تقسیم شده که بخشی از آن در مجاورت خط ساحلی دچار افت سرعت شده و شرایط مناسبی را برای رسوبگذاری در پشت بازوی موجشکن فرعی بندر را فراهم می‌سازد. اما دسته دوم جریانات تحت اثر امواج موسمی ۱ و ۲ که از مناطق دور از ساحل و از سمت جنوب روانه شده‌اند، با سرعت قابل توجه به سمت دهانه ورودی بندر هدایت شده که موجب انتقال رسوب به درون حوضچه بندر خواهد شد. در رابطه با موج غیر موسمی (شماره ۳) با راستای جنوب غربی نیز مطابق با شکل ۷ (ج) دسته دوم جریانات از طریق گردابه‌های تشکیل دهنده در جلوی دهانه ورودی بندر موجب انتقال رسوب به محوطه ورودی حوضچه خواهد شد (Isaie Moghaddam et al., 2018). با این تفاسیر، ایستگاه پمپاژ تعبیه شده جهت کنارگذری ذخیره‌ی رسوبی پشت موجشکن فرعی به تنهایی پاسخگوی رفع مشکل رسوبگذاری درون حوضچه نخواهد بود. بار دیگر اشاره می‌گردد که رسوبگذاری درون حوضچه بندر در مجاورت و امتداد بازوی موجشکن شرقی صورت گرفته است. فلذا با در نظر گرفتن یک بوم لای‌روبی بر روی ایستگاه پمپاژ بیشتر گفته شده (همانند بوم لای‌روبی تعبیه شده بر روی ایستگاه ورودی جنوبی دریاچه ورث) می‌توان رسوبات لای‌روبی شده درون حوضچه را نیز جهت انتقال به ایستگاه پمپاژ مذکور هدایت نمود.

رسوبات لای‌روبی شده قسمت شرقی بندر و درون حوضچه از طریق خطوط لوله به غرب بندر انتقال خواهند یافت. اما همانطور که در بخش ۲.۲ اشاره شد، انتخاب نقطه تخلیه رسوبات نیز بایستی با توجه به الگوی جریانات در آن منطقه صورت پذیرد. در این راستا مجدداً تصاویر ارائه شده در شکل ۷ بایستی به عنوان ملاک انتخاب نقطه یا نقاط مورد نظر توجه قرار بگیرند. همانگونه که در تصاویر (الف) و (ب) شکل ۷ مشخص

ایستگاه کنارگذری بندر بریس از لحاظ قابلیت حرکت ثابت، از لحاظ حالت عملیاتی با فضای ذخیره‌ای و از لحاظ برنامه زمانبندی عملیات به صورت غیر دائمی خواهد بود. همچنین در صورت استفاده از برنامه عملیات به صورت دائمی و تا سقف کنارگذری به میزان ۱۴۰۰۰ مترمکعب در سال از مشخصات ایستگاه پمپاژ اوشن‌ساید در کالیفرنیا آمریکا نیز می‌توان الگو برداری نمود. این در حالیست که پیشتر حجم رسوبگذاری شده در منطقه مورد نظر ۱۷۰۰۰ تا ۱۸۰۰۰ متر مکعب در سال تخمین زده شده بود. جزییات سامانه پیشنهاد شده در بندر بریس در شکل ۹ ارائه شده است. در این شکل جهت درک بهتر موقعیت آبراهه و تعیین نقطه تخلیه با توجه به الگوی جریانات منطقه، تصویر ماهواره‌ای منطقه بر روی تصویری از الگوی جریانات قرار گرفته است.

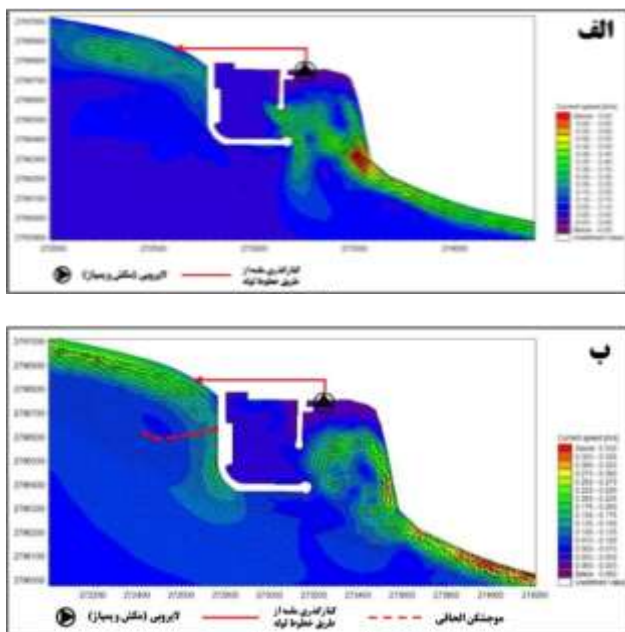


شکل ۹: موقعیت اجزای سامانه کنارگذری پیشنهاد شده در بندر بریس

۴-۲ پیشنهاد سامانه کنارگذری در بندر رمین

با توجه به مطالعات انجام شده بر روی تصاویر ماهواره‌ای بخش ۲.۳، در پشت هر دو بازوی موجشکن غربی و شرقی بندر رمین مساله رسوبگذاری مطرح است. همچنین شکل ۸ که از مقایسه هیدروگرافی سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹ به دست آمده است، ورود رسوب به درون حوضچه بندر و رسوبگذاری درون حوضچه در امتداد بازوی شرقی قابل مشاهده است. تصویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۸ (شکل ۳ (و)) نیز نشان دهنده آن است که رسوبات تجمع یافته در پشت بازوی موجشکن شرقی تا نزدیکی راس این موجشکن پیشروی کرده و در صورتی که لای‌روبی‌های دوره‌ای که پیشتر به آن اشاره شده صورت گرفته نشود، حجم بیشتری از رسوبات وارد حوضچه خواهد شد.

عبور رسوب در ایام وزش بادهای غیر موسمی، از برنامه زمانبندی با عملیات دائمی استفاده نمود. از مزیت‌های این گزینه نسبت به گزینه اول می‌توان به عدم تجمع رسوبات در پشت بازوی موجشکن شرقی اشاره نمود اما بایستی علاوه بر هزینه‌های ساخت دستک الحاقی جدید، به تغییرات شکل گرفته در الگوی جریان‌های اطراف این دستک در اثر برخورد امواج به آن نیز توجه نمود. در نهایت در شکل ۱۰ محل استقرار اجزای سامانه کنارگذری پیشنهاد شده در هر دو گزینه ارایه شده است.



شکل ۱۰: موقعیت اجزای سامانه‌های کنارگذری پیشنهاد شده در بندر رمین. (الف): گزینه پیشنهادی اول، (ب): گزینه پیشنهادی دوم

۵. نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر امکان استفاده از سامانه کنارگذری ماسه جهت رفع مشکلات رسوبی ناشی از تداخلات انسانی در نوار ساحلی منطقه مکران ایران مورد مطالعه قرار گرفت. بدین ترتیب ابتدا مبانی نظری سامانه مذکور جهت شناخت مولفه‌های آن مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وضعیت رسوبی عمده بنادر مکران بررسی شد. سپس تجارب موفق جهانی در زمینه پیاده سازی این سامانه به ترتیب ظرفیت کنارگذری ارائه گردیدند. با تکیه بر این تجارب، بنادری از سواحل مکران که ظرفیت استفاده از سامانه نوع ثابت را دارا بودند مشخص شدند. با دقت و بررسی نمونه‌های موفق سطح

است، در امواج موسمی جهت جریان‌ات در سمت غرب بندر راستای غربی- شرقی داشته و در مجاورت ساحل سرعت جریان‌ات نسبتاً آرام بوده (رنگ آبی در شکل) که شرایط را جهت رسوبگذاری در آن ناحیه فراهم می‌آورد. در صورتی که با فاصله گرفتن از ساحل مذکور به سمت دریا، سرعت جریان‌ات دچار افزایش می‌شود (ناحیه سبز رنگ). اما در شرایط امواج غیر موسمی در تصویر (ج) شکل ۷ مشاهده می‌شود که به علت ورود امواج از راستای جنوب غرب و شکست امواج، مولفه افقی تنش- های تشعشعی جهت جریان را شرقی- غربی نموده که بر خلاف جهت جریان در حالت وقوع امواج موسمی است. رسوبگذاری شکل گرفته در قسمت غربی بندر که از مقایسه تصاویر ماهواره- ای بخش ۲.۳ نیز مشخص است، در نتیجه جریان‌ات ناشی از این امواج اتفاق افتاده است. بنابراین با توجه به مطالب گفته شده، نگرانی اصلی در ارتباط با تخلیه رسوبات پمپاژ شده در ناحیه غرب بندر آن است که، این رسوبات تحت اثر جریان‌ات ناشی از امواج غیر موسمی با توجه به راستای غربی- شرقی آن، بیش از پیش در غرب بندر انباشته شود و پس از چندین سال، عبور رسوبات از پشت بازوی موجشکن اصلی بندر را شاهد باشیم. در نهایت به منظور جلوگیری از این مشکل احتمالی، دو گزینه پیشنهاد می‌گردد.

در گزینه اول می‌توان از سامانه کنارگذری که از لحاظ قابلیت حرکت ثابت (به انضمام یک بوم لای‌روبی نیمه متحرک)، از لحاظ حالت عملیاتی با فضای ذخیره‌ای طبیعی (با توجه به فرم ساحل، ناحیه شرق بندر خود به خود به عنوان فضای ذخیره عمل می‌نماید) و از لحاظ برنامه زمانبندی عملیات به صورت غیر دائمی باشد، استفاده نمود. در این گزینه با استفاده از برنامه زمانی عملیات به صورت غیر دائمی می‌توان عملیات کنارگذری را در ایام وقوع امواج غیر موسمی متوقف نمود. با توجه به مطالعات عیسایی مقدم و همکاران (که به طور مفصل بررسی شد)، ایام وزش بادهای موسمی ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس (معادل اواسط آذر ماه تا اواسط فروردین ماه) و همچنین ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر (اواسط خرداد ماه تا اواسط مهر ماه) بوده که انجام عملیات کنارگذری در این ایام پیشنهاد می‌گردد.

اما تحت عنوان گزینه دوم می‌توان از مشخصات مشابه با سامانه پیشنهاد شده در گزینه اول بهره برد و در صورت الحاق یک دستک عمود بر بازوی موجشکن اصلی جهت جلوگیری از

در ایام وزش بادهای غیر موسمی، از برنامه زمانبندی با عملیات دایمی نیز استفاده نمود.

منابع

- Amir Ahmadi, A.; Zanganeh Asadi, M.A.; Baluchi, N.; Kohistanian, M.; Elahi, S., 2013. Evaluation of geotourism potentials of southern makran (southern baluchestan) slopes. *Journal of Geographical Notion*, 14: 119-136.
- Babu, M.; Vethamony, P.; Desa, E., 2005. Modelling tide-driven currents and residual eddies in the gulf of kachchh and their seasonal variability: A marine environmental planning perspective. *Ecological modelling*, 184: 299-312.
- Boswood, P.; Murray, R., 2001. World-wide sand bypassing systems: Data report. Pp. eds. Queensland Government Environmental Protection Agency.
- Chanson, H., 1999. The hydraulics of open channel flow: An introduction.
- Clausner, J.E., 1999. Sand bypassing cost and performance database. Pp. eds. US Army Engineer Research and Development Center Vicksburg United States.
- Deguchi, I.; Sawaragi, T., 1989. Effects of structure on deposition of discharged sediment around rivermouth. Pp. 1573-1587 in *Coastal engineering 1988*.
- Heidarzadeh, M., 2011. Major tsunami risks from splay faulting. *The Tsunami Threat—Research and Technology*: 67-80.
- Isaie Moghaddam, E.; Allahdadi, M.N.; Hamed, A.; Nasrollahi, A., 2018. Wave-induced currents in the northern gulf of oman: A numerical study for ramin port along the iranian coast. *American Journal of Fluid Dynamics*, 8: 30-39.
- Kay, R.; Alder, J., 1998. Coastal planning and management. CRC Press.

دنيا مشاهده گردید که به طور کلی می‌توان در بنادری که در وهله اول دچار مشکل انباشتگی رسوب در پشت بازوهای خود بوده (به نحوی که بندر را با خطر کاهش عمق در حوضچه و یا کانال ناوبری آن روبرو نماید) و امکان تخلیه رسوبات لای‌روبی شده در ناحیه‌ای در نزدیکی آن وجود داشته باشد، سامانه کنار گذری از نوع ثابت را پیاده نمود. سامانه‌های متحرک نیز هرچند در مواقعی می‌توانند دارای پیچیدگی‌های خاص خود باشند، اما به طور کلی شامل لای‌روبی رسوبات از نواحی ساحلی، انتقال رسوبات به نواحی دچار فرسایش و در نهایت تخلیه آن با توجه به شرایط هیدرودینامیکی منطقه بوده که درسالیان گذشته مکررا در بنادر شمالی و جنوبی کشور مورد توجه قرار گرفته است.

در انتها با هدف پیشنهاد پیاده سازی سامانه کنارگذری از نوع ثابت، با استناد بر بررسی مدل‌سازی‌های عددی صورت گرفته در گذشته که با دقت و جزئیات بالایی شرایط بنادر بریس و رمین را تشریح نموده بودند، این دو بندر مورد مطالعه قرار گرفتند. در همین راستا دو گزینه پیشنهادی جهت رفع مشکلات رسوبی بندر بریس پیشنهاد گردید. در گزینه اول با بهره‌گیری از مشخصات ایستگاه پمپاژ پیاده شده در سامانه کنارگذری ورودی جنوبی دریاچه ورث، ایستگاه کنارگذری بندر بریس از لحاظ قابلیت حرکت ثابت، از لحاظ حالت عملیاتی با فضای ذخیره‌ای و از لحاظ برنامه زمانبندی عملیات به صورت غیر دایمی خواهد بود. اما در گزینه دوم در صورت استفاده مشخصات ایستگاه پمپاژ اوشن‌ساید در ایستگاه پیشنهادی بندر بریس، برنامه زمانبندی عملیات به صورت دایمی خواهد بود. اما شرایط هیدرودینامیکی منطقه رمین به دلیل تغییر الگوی جریان در ایام وزش بادهای موسمی نسبت به بادهای غیر موسمی، وضعیت پیچیده و حساسی را دارا است. در این منطقه نیز با تحلیل‌های صورت گرفته و الگوبرداری از ایستگاه پمپاژ بندر اوشن‌ساید و بوم لای-روبی در ورودی جنوبی دریاچه ورث، جهت رفع مشکلات رسوبی بندر دو گزینه طرح گردید. در گزینه اول می‌توان از سامانه کنارگذری که از لحاظ قابلیت حرکت ثابت و از لحاظ حالت عملیاتی با فضای ذخیره‌ای بوده، در شرایطی که برنامه زمانبندی عملیات به صورت غیر دایمی باشد، استفاده نمود. در این گزینه با استفاده از برنامه زمانی عملیات به صورت غیر دایمی می‌توان عملیات کنارگذری را در ایام وقوع امواج غیر موسمی متوقف نمود. اما در گزینه دوم می‌توان با الحاق یک دستک عمود بر بازوی موجشکن اصلی بندر جهت جلوگیری از عبور رسوب

2001. Infiltration effects on sediment mobility under waves. *Coastal Engineering*, 42: 105-114.
- PMO. 2018. Monitoring and modeling studies of makran coasts. Pp. eds.
- Rezaee, M.; Golshani, A.; Mousavizadegan, H., 2019. A new methodology to analysis and predict shoreline changes due to human interventions (case study: Javad al-aemmeh port, iran). *International Journal of Maritime Technology*, 12: 9-23.
- Rosati, J.D.; Kraus, N.C., 1999. Advances in coastal sediment budget methodology- with emphasis on inlets. *Shore & Beach*, 67: 56-65.
- Sayehbani, M.; Ghaderi, D., 2019. Numerical modeling of wave and current patterns of beris port in east of chabahar-iran. *International Journal of Coastal and Offshore Engineering*, 3: 21-29.
- Siegle, E.; Huntley, D.A.; Davidson, M.A., 2002. Modelling water surface topography at a complex inlet system-teignmouth, uk. *Journal of Coastal Research*: 675-685.
- Toluei, A., 1985. Report of the caspian sea protection plan in dashtak region. Pp. eds. *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*. [In Persian]
- Loza, P.R.G., 2008. Sand bypassing systems: Masters in environmental engineering.
- Lumborg, U.; Pejrup, M., 2005. Modelling of cohesive sediment transport in a tidal lagoon—an annual budget. *Marine Geology*, 218: 1-16.
- Lumborg, U.; Windelin, A., 2003. Hydrography and cohesive sediment modelling: Application to the rømø dyb tidal area. *Journal of Marine Systems*, 38: 287-303.
- Mahmoodi, k.; Saybani, M.; moradi, A., 2015. Provide a new computational module for digital shoreline analysis system to detect uncertain data in the shoreline change data. *Journal Of Marine Engineering*, 11: 83-94. [In Persian]
- Motamed, A.; Gharib Reza, M., 2008. Evolution of coastal makran zone during late quaternary. *Physical Geography Research Quarterly*, 48: 77-87. [In Persian]
- Motevalli, S.; Sheykipour, F., 2016. The role of geomorphic landforms in the spatial development of coastal cities: A case study of noor to rooyan. Pp. 2 in *The 5th National Conference on Geographical Space, Experimental Approaches and Environmental Managementeds. Islamic Azad University of Islamshahr, Islamshahr*. [In Persian]
- Nielsen, P.; Robert, S.; Møller-Christiansen, B.; Oliva, P.,