بررسی عددی الگوی بلند مدت انتقال رسوب بندر صیادی زرآباد – سیستان و بلوچستان

سیاوش سلیمی ترکمانی[۱] ، احمدرضا مصطفی قره باغی[۲]، عارفه امامی[۳]*

[۱] کارشناس ارشد، سواحل بنادر و سازه‌های دریایی، شرکت مهندسین تدوین توسعه پایدار، Salimisiavash67@gmail.com

[۲] استاد، سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، mgharabaghi@sut.ac.ir

[۲] استادیار، سازه‌های دریایی، دانشگاه هرمزگان، emami@hormozgan.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۴/۱۴

کلمات کلیدی:
انتقال رسوب
تحلیل بلند مدت
نرم افزار Delft3D
تسریع مورفولوژیکی
بندر صیادی زرآباد

چکیده

در این مطالعه الگوی بلند مدت انتقال رسوب و تغییرات خط ساحلی بندر صیادی زرآباد واقع در استان سیستان و بلوچستان با نرم افزار Delft3D شبیه‌سازی شد. ابتدا واسنجی مدل با استفاده از داده‌های میدانی موج و جزرومد در دسترس در دوره زمانی فروردین ۸۳ تا مهرماه ۸۴ در زمان احداث بندر بدون وجود دستک رسوب‌گیر صورت گرفت. ضرایب انتقال ناشی از موج و جریان، اصطکاک و زبری بستر واسنجی شد. سپس صحت سنجی مدل در دوره زمانی بهمن ماه ۹۱ تا مهرماه ۹۳ همراه با دستک رسوب‌گیر صورت گرفت. صحت مدل با داده‌های میدانی در دسترس بررسی شد. پس از تایید اعتبار مدل، شبیه سازی بلند مدت ده ساله از مهرماه ۹۳ تا مهرماه ۱۴۰۳ با رویکرد کاهش داده‌های ورودی و تسریع مورفولوژیکی و به صورت مدل دو بعدی افقی (2DH) انجام شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که طی دوره ۱۰ ساله با وجود دستک، کنارگذری رسوب قطع شده و پیشروی خط ساحلی و تغییر زاویه ساحل در پشت موجشکن شرقی بندر حالتی پایدار را به خود می‌گیرد. همچنین، نتایج نشان داد که پیشروی خط ساحلی طی دوره ده ساله به حدی نیست که مشکل کنارگذری رسوب در آن رخ دهد.

Numerical Investigation of Long-term Sediment Transport Pattern of Zarabad Fishery Harbor – Sistan and Baluchestan

Siavash Salimi Turkamani[1], Ahmad Reza Mostafa Gharabaghi[2], Arefeh Emami[3*]

[1] MSc; Coasts, Ports, and Marine structures; Tadvin Tosehe Paydar Engineers Company, Tehran
[2] Professor; Coasts, Ports, and Marine structures; Sahand University of Technology
[3]Assistant Professor; Marine Structures; University of Hormozgan

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 02 Apr 2024
Accepted: 01 Jul 2024
Available online: 04 Jul 2024

Keywords:
Sediment Transport
Long-term Analysis
Delft3D Software
Data reduction
Zarabad fishery

ABSTRACT

This study simulated long-term sediment transport patterns and shoreline evolutions of Zarabad fishery harbor in Sistan and Baluchestan province using Delft3D software. The model was first calibrated utilizing available field wave and tide data from March 2004 to October 2005 before constructing a groin for the Zarabad port. Calibration parameters included wave and current-related factors, bed friction, and roughness coefficient. Subsequently, the model was validated using available field data from February 2013 to October 2015, after the construction groin. With a validated model, the long-term sediment transport was simulated over ten years from October 2014 to October 2024, using input data reduction and coastal area model (2DH) method. The results indicated that the sediment bypassing has been effectively reduced. In addition, the progress of the coastline and the change of shoreline angle behind the eastern breakwater of Zarabad port created a stable state. Furthermore, the predicted shoreline evolution suggests minimal sediment bypassing concerns over the next ten years. Therefore, sediment bypassing will not pose a significant problem.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

۱ – مقدمه

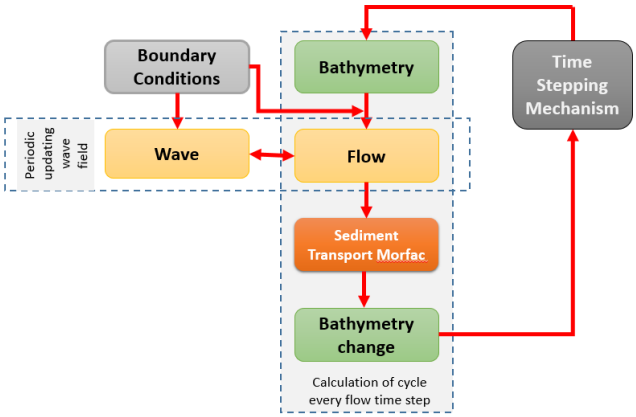
بندرصیادی زرآباد پایه اصلی زندگی و امرار و معاش اهالی منطقه و نیز پایه توسعه اقتصادی منطقه با تکیه بر صنایع وابسته به صیادی است. هر عاملی که باعث کمتر شدن کارایی و یا ناکارامدی این بندر گردد اثر نامطلوب خود را در زندگی و معیشت اهالی آن منطقه به طور مستقیم و یا غیرمستقیم خواهد گذاشت. بررسی و شناخت فرآیندهایی که ممکن است در آینده سبب ایجاد و تشدید ناکارامدی بنادر گردد امری ضروری وحائز اهمیت است. یکی از این پدیده‌ها انتقال رسوب است. مطالعه و شناخت پدیده انتقال رسوب، عوامل ایجاد کننده و پیامدهای آن اعم از فرسایش و یا رسوب گذاری به ویژه در مجاورت سازه‌ها و کانال‌های کشتیرانی و سواحل حائز اهمیت است. به طور کلی انتقال رسوب را می‌توان به صورت جابجایی ذرات رسوبی در یک بازه زمانی تعریف کرد. نرخ انتقال رسوب به عواملی مانند مشخصات مواد رسوبی و نیروهای مسبب انتقال بستگی دارد. یکی از نیروهای عمده در انتقال رسوب تنش برشی اعمالی به بستر تحت اثر حرکت آب می‌باشد. ذرات رسوبی موقعی که تنش برشی موجود به تنش برشی بحرانی برسد شروع به حرکت می‌کنند. این تنش‌های برشی می‌توانند ناشی از نیروی باد [۱]، موج، جریان‌های جزرومدی، حرکات نوسانی آب و یا ترکیب موج و جریان باشند.

پدیده رسوبگذاری فرآیندی است که در بازه‌های زمانی بزرگ (بلند-مدت) تاثیرات خود را نشان می‌دهد لذا بررسی اثرات ناشی از آن در بلند مدت ناگزیر است. اما در انجام شبیه‌سازی بلند مدت مورفولوژی سواحل و بحث‌های انتقال رسوب به صورت زمان-واقعی، عدم وجود داده‌های میدانی پیوسته‌ی کافی و ظرفیت محاسباتی موجود مهمترین عامل محدودکننده می‌باشد. این نوع شبیه‌سازی، دارای محاسبات زمان‌بری بوده و ابزار و توان محاسباتی بالایی را طلب می-کند. وجود محدودیت‌ها بسیاری از محققان گذشته را ناچار کرده تا در بازه‌های زمانی کوتاه چند ماهه به بررسی فرایندهای رسوبی بپردازند. در سالهای اخیر محققان به دنبال راهکارهایی بوده که بتوانند شبیه سازی انتقال رسوب را در دوره زمانی بلند مدت انجام دهند. یکی از راهکارها که با اتخاذ آنها می‌توان بر مشکل زمان شبیه سازی فائق آمد، کاهش داده‌های ورودی از داده‌های اندازه‌گیری در دسترس و نیز تسریع تغییرات مورفولوژیکی است. بدین منظور روش-های عددی تسریع در شبیه‌سازی عددی توسعه پیدا کردند. از جمله این روش‌ها، روش مرفک[۱] و مرمرگ[۲] [۲] است. مرفک یک ابزار قدرتمند در شبیه سازی مورفولوژیکی است که توسط لسر و همکاران در سال ۲۰۰۴ [۳] و روئلوینک در سال ۲۰۰۶ [۴] معرفی شد. روش مرفک با ایجاد نسبتی بین گام زمانی هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی، در رفع اختلاف بین مقیاس زمانی تغییرات هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی عمل می‌کند. این روش با فرض بر کوچک بودن تغییرات مورفولوژیکی نسبت به تغییرات هیدرودینامیکی با ضرب یک مقدار ثابت در نرخ انتقال رسوب، گام زمانی را به طور موثری افزایش می‌دهد. در واقع فاکتور تسریع مورفولوژیکی (M_f) یک کمیت اسکالر بوده که برای معادلات پیوستگی انتقال رسوب اویلر بکار می‌رود (معادله ۱) که با فرض ارزیابی مورفولوژی در زمان بلندتری نسبت به فرایند هیدرودینامیکی اتفاق می‌افتد [۳].

$$\frac{\partial \eta}{\partial t^*} = -\frac{M_f}{1-\lambda}\nabla\overrightarrow{q_b} \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱) η تغییرات ارتفاعی بستر، t^* زمان موثر، λ میزان تخلخل رسوب و $\nabla\overrightarrow{q_b}$ دیورژانس بردار بار رسوب در واحد عرض است. در نتیجه زمان شبیه سازی واقعی برابر با $t = M_f \times t^*$ خواهد بود. این روش بدون کاهش چشمگیر دقت، محاسبات و زمان شبیه سازی را به صورت قابل توجه‌ای کاهش می‌دهد.

چرخه محاسبات به روش مرفک به صورت شکل (۱) نشان داده می-شود:



شکل ۱: چرخه محاسبات در روش مرفک

مطالعات نشان دادند که مقادیر مرفک بایستی بر اساس محل مورد نظر ارزیابی شود به عنوان نمونه در مکان‌هایی با عدد فرود پایین عموما مقدار مرفک بالاتری را ایجاد می‌کند و مقادیر مرفک بالاتر تغییرات بزرگ مورفولوژی را نشان می‌دهد. همچنین در روش مرفک شرایط به صورت متوالی و یکی پس از دیگری محاسبه شده و عمق-سنجی مرحله قبل به عنوان عمق سنجی اولیه برای مرحله بعد در نظر گرفته می‌شود. ضریب تسریع در این روش در هر شرایط خاص بر اساس وزن آن (فراوانی وقوع) انتخاب و ضرب می شود و توالی شرایط مختلف به صورت تصادفی انتخاب می‌شود. اما روش مرمرگ این شرایط را به صورت همزمان و موازی حل می‌کند و در نهایت با وزن‌گیری هر یک از شرایط در تغییر بستر و در هر گام زمانی و نیز نسبت به درصد فراوانی وقوع آن شرایط عمق سنجی نهایی را محاسبه می‌کند.

[۱] Morphological Acceleration Factor (MORFAC)

[۲] MorMerge

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

از جمله تحقیقاتی که در بحث انتقال رسوب بلندمدت تاکنون انجام گرفته است عبارتند از: لتئوکس در سال ۱۹۹۵ در راستای شبیه سازی بلند مدت مورفولوژی تحت جریان جزرو مدی روش‌های عملی به منظور کاهش زمان محاسباتی را مورد بحث قرار داد[۵]. لسر و همکاران در سال ۲۰۰۴ [۳] عملکرد مدول جریان از مجموعه مدل Delft3D را مورد بررسی قرار دادند و مشخصات کلیدی روابط بکار گرفته شده در انتقال بار بستر و بار معلق در رسوبات غیر چسبنده و نیز طرح بهنگام سازی مورفولوژیکی در این مجموعه را شرح دادند. روئلوینک در در سال ۲۰۰۶ [۴] در تحقیق خود بیان میکند که تحلیل و پیشبینی جزئیات تغییرات مورفولوژیکی در محیط‌های ساحلی با فرآیندها و هندسه‌های نسبتاً پیچیده مانند؛ دهانه‌های جزرومدی، دهانه رودخانه، مصب‌ها و خلیج‌ها، نیازمند مدل‌های پیشرفته مورفودینامیکی و فرآیند-مبنا می‌باشد. این مدل‌ها در دهه-های اخیر پیشرفت‌های بسیاری داشته و از مدلهایی سنگین و ترکیبی ناپایدار به سیستم‌های ساده و قدرتمند که قادر به حل مسائل عملی هستند، مبدل گشته‌اند. در این تحقیق راهبردهای گوناگونی در زمینه بهنگام سازی ریخت شناسی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و کارایی روش‌های بررسی شده به لحاظ پایداری عددی و دقت حل مسئله با توجه به شرایط ورودی متغییر ارزیابی شده است. لسر در سال ۲۰۰۹ [۶] به طور جامع تری بر روی انتقال رسوب و فرمول بندی بهنگام سازی ریخت شناسی در مدل جریان با استفاده از نرم افزار Delft3D کار کرده است. ترو و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۷] به مقایسه دو مدل عددی Delft3D و Xbeach پرداخته‌اند. برای این منظور سواحل بلژیک در دو بخش وجود سازه‌ها و عدم وجود سازه تحت اثر امواج و جزرومد و همینطور ترکیب آنها شبیه سازی شد. این محققین از روش تسریع مورفولوژیکی به منظور بررسی رسوب استفاده کردند. آنها نشان دادند که هر دو مدل عددی تطابق نسبتا خوبی با هم دارند. خی در سال ۲۰۱۴ [۸] با استفاده از نرم افزارِ Delft3D به شبیه سازی مشخصه‌های هیدرودینامیکی بزرگ مقیاس الگوهای انتقال رسوب و تحولات مورفولوژیکی در خلیج هانگژو واقع در ساحل شرقی چین پرداختند. آنها از معادلات آب‌های کم عمق، معادله انتقال رسوب معلق و معادلات پیوستگی جرم رسوب استفاده کرده و محاسبات هیدرودینامیکی کوتاه مدت و انتقال رسوب همراه با تحولات مورفولوژیکی بلند مدت را انجام دادند. ویلیمینک در سال ۲۰۱۵ [۲] با توضیح این مسئله که شبیه سازی بلند مدت مورفولوژیکی نیازمند صرف زمان زیادی بوده و با روش زمان واقعی به سختی عملی است رویکرد کاهش داده‌های زمان واقعی ورودی و تسریع تغییرات مورفولوژیکی را مورد بررسی و آزمایش قرار دادند. فیاض و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۹] به بررسی تاثیر جزر و مد بر رفتار بلندمدت مورفولوژی در حوضچه وسیع جزرومدی خور موسی پرداختند. هدف از مطالعه آنها ارزیابی تاثیر جزرومد بر تعادل مورفولوژی با برپاسازی آزمایشگاهی عددی و تولید داده‌های کافی در در حوضچه جزرومدی خور فوق بود. در این راستا پارامترهای مهم رسوبی ارزیابی گردیده و سپس رفتار بلندمدت مورفولوژیک خور موسی تحت اثر جزرومد ارزیابی شد. همچنین در این تحقیق از روش بهینه‌سازی جهت طراحی سناریوهای مورد نیاز آزمایشگاه عددی استفاده شده و پاسخ سناریوها با استفاده از روش‌های آماری با هدف تاثیر جزر و مد بر تغییرات بلند مدت مورفولوژیکی تحلیل گردید. مرگان و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۱۰] رفتار بلندمدت مورفولوژیکی رودخانه‌ای با بستر سنگی به روش مرفک بررسی کردند. شبیه سازی با نرم افزار Delft3D انجام گردید. آنها اثرات ضرایب مرفک بر روی دبی سیلاب و موج را به طور کامل بررسی کردند.

اگرچه روش تسریع یافته مرفک غیرمرسوم نیست و مطالعات در این زمینه انجام شده است اما به کار گیری آن بر روی رسوبگذاری منطقه زرآباد تاکنون بررسی نشده است. لذا در این تحقیق به دلیل نبودن داده‌های پیوسته‌ی کافی از موج و جریان در بلند مدت و همینطور با هدف کاهش زمان محاسباتی بلند مدت، به مطالعه مورفولوژیکی بلند مدت منطقه زرآباد با روش تسریع یافته می‌پردازد. در ادامه در بخش دوم منطقه مورد مطالعه و ویژگی‌های هیدرودینامیکی آن منطقه بیان می‌شود. بخش سوم به مدلسازی مورفولوژیکی منطقه می‌پردازد، شبکه بندی، گام زمانی تحلیل، شرایط مرزی و نحوه اعمال کاهش داده‌های ورودی مربوط به این بخش از مطالعه است. واسنجی، صحت سنجی و شبیه‌سازی بلند مدت مدل به تفصیل در بخش چهارم ارائه خواهد شد. در نهایت بخش پنجم به جمع‌بندی نتایج اختصاص دارد.

۲- منطقه مورد مطالعه

بندر زرآباد در بخش زرآباد، شهرستان کنارک از استان سیستان و بلوچستان در سواحل شمالی دریای عمان در فاصله مستقیم ۱۰۵ کیلومتری از چابهار و در سمت غرب آن با موقعیت جغرافیایی ۵۹/۶۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵/۳۸ درجه شمالی واقع شده است (شکل ۲). این بندر مجهزترین بندر صیادی کشور نام دارد و به منظور ساماندهی فعالیت‌های صیادی، توسط معاونت عمران بنادر صیادی سازمان شیلات کشور طراحی و اجرا شده است [۱۱].

با توجه به موقعیت قرارگیری سواحل مکران و واقع شدن آن در مقابل دریای عربی و اقیانوس هند، عموما امواج دورای قابل توجهی از سمت اقیانوس به این منطقه می رسند و بیشترین اثرگذاری را بر رفتار رسوبی و شکل سواحل دارند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]



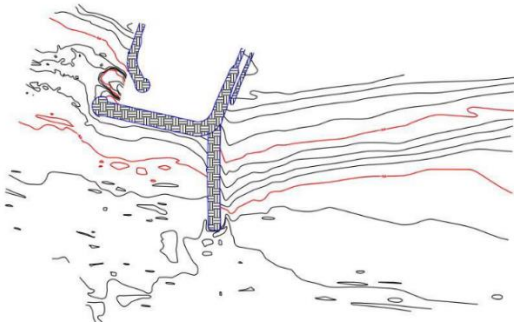
شکل ۲: موقعیت جغرافیایی بندر زر آباد (طول جغرافیایی ۵۹/۶۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵/۳۸ درجه شمالی)

بر اساس تقسیم بندی مازلینگ و شورت در سال (۱۹۹۳) [۱۲] و با توجه به دامنه متوسط جزرومدی در حالت بیشینه کشند (۲/۶ متر)، این ساحل به ازای ارتفاع موج‌های بزرگتر از یک متر در گروه موج غالب و برای ارتفاع موج‌های کوچکتر از ۱ متر در دسته موج مختلط جزر و مدی قرار می‌گیرد. همچنین بررسی اطلاعات هیدروگرافی مربوط به سال ۱۳۸۱ که بخشی از سواحل منطقه را در بر گرفته است نشان می‌دهد که شیب ساحل در محل بندر در حدود ۲٪ و در سواحل اطراف آن کمتر نیز می‌باشد. زرآباد به دلیل شیب ملایمی که دارد در دسته سواحل جاذب تقسیم بندی می‌شود.

از نقشه‌های هوایی استخراج شده از سواحل بندر زراباد به وضوح قابل مشاهده است که حجم بسیار بالایی از مواد رسوبی در پشت موجشکن اصلی بندر ته‌نشین‌شده است که جنس آن‌ها از ماسه بادی و غیر چسبنده با قطر میانه ۲۴۰ میکرومتر می‌باشد (شکل ۳). این انباشت سبب پیشروی ساحل ماسه‌ای در حدود ۵۰۰ متر و تا خم موجشکن اصلی گشته است. برای جلوگیری از دور زدن و عبور مواد رسوبی از خم موجشکن اصلی، درسال ۸۷ اقدام به طراحی و احداث دستک رسوبگیر در محل خم موجشکن شده است. .شکل ۳ آخرین هیدروگرافی در دسترس از این منطقه است که در مهر ماه سال ۹۳ توسط مهندسین مشاور دریا اندازه‌گیری و ترسیم شده است. ساحل شرقی بندر تحت اثر رسوبگذاری به پیشرفت خود ادامه داده است و ساحل غربی نیز در پشت موج شکن فرعی دچاررسوبگذاری و پیشرفت آن به سمت دهانه بندر شده است. اگر در زمان‌های قبل از انجام این هیدروگرافی، لایروبی در این نواحی صورت نگرفته باشد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نرخ رسوبگذاری در ساحل شرقی بندر بسیار بیشتر از نرخ آن در ساحل غربی و پشت موجشکن فرعی است و به تبع آن سرعت پیشروی خط ساحلی در ساحل شرقی به مراتب بیشتر از سرعت آن در ساحل غربی است.



شکل ۳ : نقشه هوایی سواحل بندر زرآباد همراه با بندر

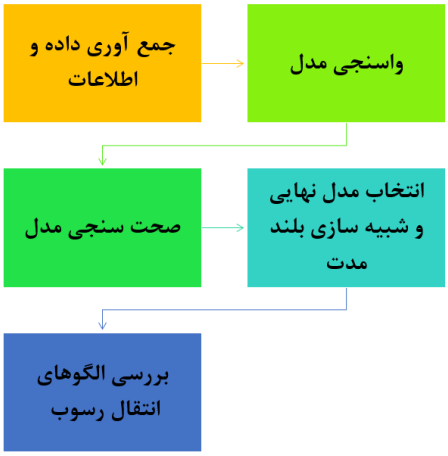


شکل ۴: هیدروگرافی سواحل اطراف بندر زرآباد در مهرماه سال ۱۳۹۳

۳- مدلسازی مورفولوژیکی منطقه

سه نوع مدلسازی ریخت شناسی شناخته شده‌اند که عبارتند از (۱) مدل‌های پروفیل ساحلی که تمرکز آنها بر روی فرایندهای عمود بر ساحل بوده و از اثرات فرایندهای موازی ساحل صرفنظر می‌گردد (۲) مدل‌های خط ساحلی که پروفیل عمود بر ساحل شکل خود را حفظ کرده ولی خط ساحلی می‌تواند تغییر کند. (۳) مدلهای محیط ساحلی که تغییرات در هر دو بعد افقی محاسبه می‌گردد.

در این مطالعه با توجه به صورت مسئله و قابلیت نرم افزار مورد استفاده از نوع سوم که مدلسازی از نوع محیط ساحلی در حالت دو بعدی است برای بررسی ریخت شناسی منطقه بهره گرفته شد. روند مدلسازی به صورت الگوریتم ترسیم شده در شکل ۵ انجام گرفت.



شکل ۵: مراحل مدلسازی مورفولوژیکی بندر زرآباد

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

۳-۱- داده و اطلاعات

در سواحل مجاور بندرزرآباد به منظور پایش؛ تغییرات مورفولوژیکی به صورت هیدروگرافی منظم و دوره‌ای با فاصله زمانی مناسب صورت گرفته است. اطلاعات هیدروگرافی مربوط به اسفند ماه ۸۱ مربوط به قبل از احداث بندر، مهرماه ۸۴ مربوط به پس از احداث بندر و مهر ماه ۹۱ و همینطور دی ماه ۹۳ مربوط به زمانی که دستک رسوبگیر به بندر متصل شده است در اختیار می‌باشد. داده‌های مربوط به موج در پروژه پایش که توسط سازمان بنادر و دریانوردی کشور تعریف و توسط شرکت Baird کانادا انجام گرفته است بکار گرفته شد [۱۳]. این اطلاعات بوسیله شرکت مهندسین مشاور تهران برکلی آنالیز آماری شده و به صورت جدول گلموج بر اساس ارتفاع، جهت و درصد وقوع موج و بر مبنای اطلاعات موج از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ (به طور متوسط ده سال) در آب عمیق مقابل بندر زرآباد (عمق ۲۰ متری) ارائه گشته است [۱۱]. اطلاعات جزر و مد در قالب سری زمانی تغییرات تراز آب در نقطه‌ای از مقابل بندر و از مدل جهانی جزرومدی مایک ۲۱ استخراج گردید.

۳-۲- برپاسازی مدل

در این مطالعه از مدل عددی دوبعدی متوسط‌گیری شده در عمق (2DH) در نرم افزار Delft3D جهت شبیه‌سازی استفاده شد. این مدل با استفاده از روش تفاضل محدود و شبکه بندی منحنی الخط معادلات پیوستگی و مومنتوم را حل نموده و تغییرات هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی را در مقیاس‌های زمانی متفاوت محاسبه می‌نماید. با در نظر گرفتن سه زیر مدل اصلی هیدرودینامیک (موج، باد و جزرومد)، انتقال رسوب و مورفولوژی، مدل‌های بلند مدت با تکنیک‌هایی از جمله مرفک فاصله موجود بین مقیاس زمانی هیدرودینامیک و مورفولوژی را مرتبط می‌نماید [۱۴]. در این مطالعه ابتدا شبیه سازی‌ها به منظور انجام واسنجی و صحت سنجی در بازه زمانی مربوطه انجام گرفت. پس از تایید مدل، شبیه سازی مورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه در بلند مدت مبنای کار قرار گرفت.

۳-۲-۱- حوزه مکانی شبیه سازی

محدوده شبیه‌سازی به گونه‌ای انتخاب شد که تمام مکان‌های تحت تاثیر تغییرات مورفولوژیکی پوشش داده شود. لذا محدوده‌ای در امتداد ساحل به طول ۲۹۴۰ متر و در امتداد عمود بر ساحل به طول ۱۳۳۰ متر و عمق ۸ متری با مساحتی برابر با ۳/۹۱ کیلومتر مربع برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد.

۳-۲-۲- شبکه بندی

شبکه بندی و اعمال داده هیدروگرافی بر روی مدل توسط مدول‌های RGFERID و QUICKIN صورت گرفت. محدوده منتخب برای شبیه سازی به صورت مستطیلی و منحنی الخط در نظرگرفته شد. سلول‌های شبکه در مجاورت ساحل ابعادی برابر با ۶ متر در راستای عمود بر ساحل داشته که این مقدار در نقاط دورتر به ۴۰ متر می‌رسد. در امتداد موازی ساحل ابعاد شبکه ۴۰ متر انتخاب شده که در مجاورت بندر برای دقت بیشتر و رویت دقیق‌تر نتایج این مقدار به ۲۰ متر تقلیل یافت. مشخصات شبکه بندی مطابق با جدول (۱) در نظر گرفته شد.

جدول ۱. مشخصات شبکه بندی جهت شبیه‌سازی

شرح	تعداد گره‌ها	بعد عرضی (km)	بعد طولی (km)	شماره شکل
شبکه بندی درشت موج	۲۴۱۸	۸	۳۵	شکل ۶
واسنجی(قبل از احداث دستک)	۹۳۸۴	۱/۳	۳/۰	شکل ۷
صحت سنجی(بعد از احداث دستک)	۸۳۴۶	۱/۳	۳/۰	شکل ۸
قبل از احداث بندر	۹۸۹۴	۱/۳	۳/۰	شکل ۹

به منظور بالا بردن دقت مدل و اعمال شرایط مرزی به ویژه شرایط مرزی جانبی موج به صورت دقیق از مدل لانه‌ای[۳]استفاده گردید به نحوی که یک شبکه مستطیلی منحنی الخط بر شبکه محلی و ریز محیط شد. مرز جنوبی و دریا سوی شبکه‌بندی باتوجه به وجود اطلاعات موج در عمق ۲۰ متری در نظر گرفته شد. شایان ذکر است که شبکه‌های معرفی شده پس از حساسیت سنجی انتخاب شده‌اند.

۳-۲-۳- بازه و گام زمانی تحلیل

عامل مهم در تعیین بازه زمانی شبیه‌سازی، بازه زمانی اطلاعات و داده‌های موجود برای شبیه‌سازی می‌باشد. در این مطالعه به دلیل استفاده از روش تسریع یافته مرفک، از اطلاعات موج که به صورت متوسط ده سال (۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷) در دسترس است، می‌توان برای هر بازه زمانی دلخواه استفاده کرد. برای تعیین آغاز بازه زمانی شبیه‌سازی با توجه به عدم وجود هیدروگرافی در سال ۸۳ (زمان آغاز احداث بندر) و با فرض یکسان بودن هیدروگرافی‌ها در سالهای ۸۱ و ۸۳ از هیدروگرافی اسفندماه ۸۱ به عنوان هیدروگرافی جایگزین از ابتدای سال ۸۳ استفاده گردید. بدین سبب بازه زمانی ابتدای سال ۸۳ تا مهرماه ۸۴ برای دوره واسنجی و از دی ماه ۹۱ تا مهرماه ۹۳ برای دوره صحت‌سنجی، با فاصله زمانی به ترتیب ۵۸۱ و ۷۵۰ روز به عنوان بازه زمانی شبیه‌سازی برگزیده شدند. برای تعیین گام زمانی از رابطه عدد کورانت استفاده شد (معادله ۲) که با توجه به شبکه بندی برای شبیه‌سازی‌های مختلف مشاهده شد که گام زمانی ۶/۸ ثانیه‌ای عدد کورانت را اقناع می‌کند. لذا گام زمانی ۶ ثانیه برای مدل هیدرودینامیکی لحاظ شد.

$$Cr = -\frac{\sqrt{gH} \times \Delta t}{\min\{\Delta x . \Delta y\}} \quad (۲)$$

در این معادله g شتاب گرانش زمین، H ماکزیمم عمق آب، $\Delta x . \Delta y$ ابعاد شبکه در دو راستای طولی و عرضی می‌باشند.

[۳] Nested Model

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

۳-۲-۴- شرایط مرزی

مرزهای باز عمود بر ساحل در سمت شرق و غرب بندر و مرز باز موازی ساحل در سمت جنوب بندر در نظر گرفته شد. در مرز باز جنوبی تغییرات تراز آب به صورت سری زمانی جزر و مد مورفولوژیکی در نظر گرفته شد. همچنین از شرط مرزی نیومن برای مرزهای جانبی استفاده شد .به دلیل اینکه طول ناحیه محاسباتی در راستای موازی ساحل نسبت به طول موج جزرومدی ناچیز می‌باشد شرط مرزی نیومن که گرادیان فوق را صفر در نظر می‌گیرد مناسب است. همچنین شرط مرزی زبری دیوار به صورت لغزشی آزاد است.

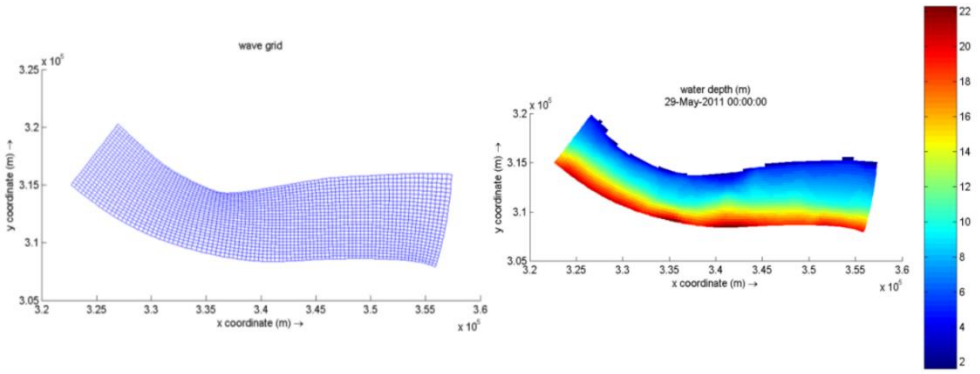
۳-۳- کاهش داده‌های ورودی

شبیه سازی بلند مدت برای بررسی تغییرات مورفولوژیکی سواحل با استفاده از داده‌های سری زمان واقعی به عنوان داده ورودی، منجر به صرف زمان طولانی برای انجام تحلیل عددی خواهد شد. لذا کاهش داده‌های ورودی راهکار مطلوبی است. داده‌های کاهش یافته به صورت شرایط مرزی اعمال خواهند شد که در این مطالعه داده‌های کاهش یافته داده‌های جزرومدی و داده‌های موج است که در ادامه توضیحات اورده شده است.

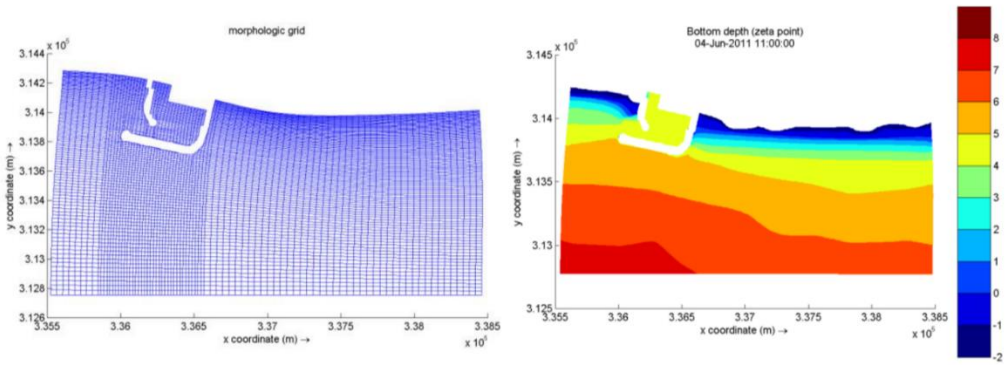
۳-۳-۱- کاهش داده‌های ورودی جزرومدی

برای کاهش داده‌های جزرومدی می‌توان داده‌های سری زمان واقعی را به یک یا چند سیکل جزرومدی که بیانگر رفتار متوسط نوسانات جزرومدی در هر ماه است تبدیل کرد. این جزرومد منتخب به عنوان جزرومد مورفولوژیکی در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش مراحل زیر برای انتخاب جزرومد منتخب طی شد:

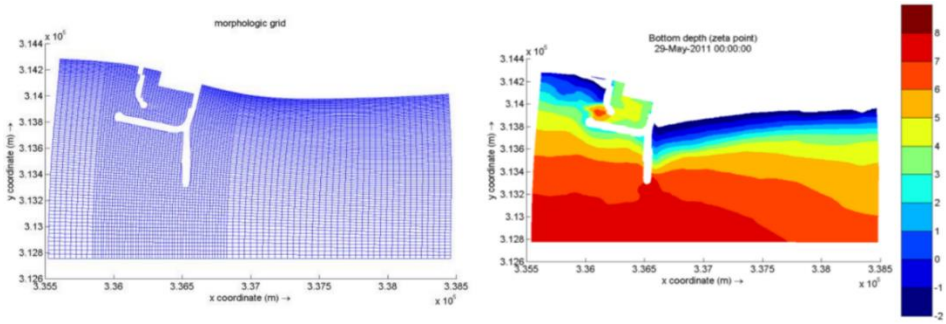
(۱) شبیه سازی جریان، انتقال رسوب و تغییرات بستر طی یک دوره جزرومدی کامل-خفیف به عنوان شبیه سازی مرجع در نظر گفته شد.



شکل ۷: شبکه بندی و عمق سنجی درشت موج



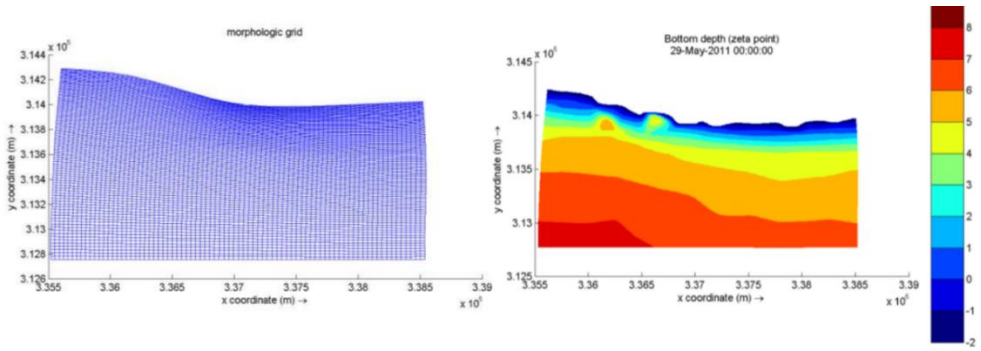
شکل ۸: شبکه بندی و عمق سنجی محلی در دوره واسنجی با وجود بندر



شکل ۹: شبکه بندی و عمق سنجی محلی در دوره صحت سنجی با احداث بندر و دستک رسوبگیر

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]



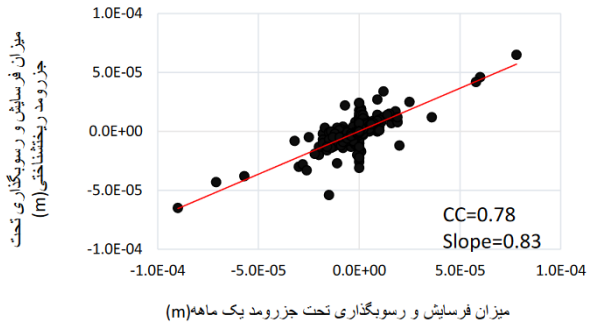
شکل۱۰: شبکه بندی و عمق سنجی محلی در دوره قبل از احداث بندر

(۲) شبیه‌سازی در دوره‌های زمانی کوتاهتر (معمولا یک جزرومد) و مقایسه الگوهای فرسایش و رسوبگذاری (و یا نرخ انتقال رسوب) حاصل از شبیه‌سازی‌ها انجام گرفت.

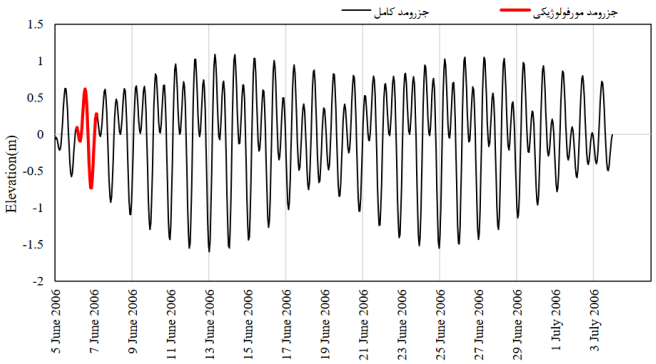
(۳) پارامترهای همبستگی نرخ انتقال رسوب (و یا تغییرات بستر) حاصل از دو شبیه‌سازی و درتمامی گره‌های شبکه و همینطور شیب خط برازش خطی برای نرخ انتقال رسوب (و یا تغییرات بستر) محاسبه شد.

در این مطالعه با انجام شبیه سازی‌های مرجع (شکل ۶) از ۱۵ خرداد تا ۱۲ تیر ۱۳۸۵ به تعداد ۲۸ جزرومد و شبیه سازی متعدد با جزرومدهای مختلف (دو سیکل متوالی و یا همان جزرومد با دوره تناوب روزانه ۲۵ ساعته) با در نظر گرفتن ضریب تسریع مورفولوژیکی ۲۸، یک دوره‌ی یک روزه جزر و مدی انتخاب شد.

به لحاظ مورفولوژیکی مشاهده شد که میزان فرسایش و رسوب گذاری در اثر جزرومد بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است. این مسئله از حساسیت انتخاب جزرو مد مورفولوژیکی به شدت می‌کاهد. شکل (۱۰) نمودارپراکندگی مربوط به داده‌های خروجی از فرسایش و رسوب گذاری برای شبیه سازی مرجع و شبیه سازی با جزرومد مورفولوژیکی را نشان می‌دهد. از مقایسه‌ی ضریب همبستگی ۷۸ درصد و شیب خط برازش ۸۳ درصد؛ مطلوب‌ترین نتیجه بین شبیه سازی‌ها با جزرومدهای یک روزه مشاهده شد. لذا جزر و مد فوق نتیجه به عنوان جزرومد مورفولوژیکی منتخب انتخاب گردید (شکل ۱۱).



شکل ۱۰: پراکندگی میزان فرسایش و رسوبگذاری تحت جزرومد کامل-خفیف و مورفولوژیکی



شکل ۱۱: جزر و مد مورفولوژیکی انتخاب شده برای ورودی مرزها

۳-۳-۲- کاهش داده‌های ورودی موج

چندین رویکرد برای انتخاب امواج شبیه سازی شده به منظور کاهش داده‌های ورودی موج وجود دارد که در این مطالعه از رویکرد تعیین دستی امواج بر مبنای ارتفاع، جهت و اثر مورفولوژیکی مرتبط با ارتفاع موج استفاده گردید. بر این اساس با توجه به گلموج در دسترس (جدول ۲)، ۱۴ بازه موج که فراوانی وقوع بیشتری دارند در نظر گرفته شد. متوسط بازهای مربوط به ارتفاع و جهت موج به عنوان نماینده بازه انتخاب گردید. ضریب مورفولوژیکی که با فراوانی وقوع موج، طول دوره شبیه سازی و پریود جزرومد مورفولوژیکی ارتباط دارد از رابطه (۳) محاسبه گردید.

$$f_{morfac} = \frac{P_r \times season\ duration}{T_{morph\ tide}} \qquad (۳)$$

که در این رابطه P_r میزان فراوانی موج، season duration طول دوره شبیه سازی و $T_{morph\ tide}$ پریود جزر و مد مورفولوژیکی است. پس از محاسبه ضریب مورفولوژیکی هر کدام از امواج، شبیه‌سازی جداگانه‌ای برای امواج منتخب توام با جزر و مد منتخب صورت گرفت تا میزان اثرگذاری مورفولوژیکی هرکدام مشخص شود.

از جدول (۲) مشاهده می‌شود که امواج با ارتفاع بیشتر از ۲ متر اثر مورفولوژیکی بالا ولی فراوانی وقوع بسیار پایینی دارند که این امر موجب کاسته شدن شدید اثر مورفولوژیکی آنها نسبت به امواج با ارتفاع کمتر و فراوانی وقوع بیشتر می‌گردد. در نهایت مطابق با

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]
[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

جداول (۲) و (۳)، شش موج به صورت جدول (۴) به عنوان امواج منتخب در شبیه سازی در نظر گرفته شد و به مرزها اعمال گردید.

جدول ۲: بخشی ازجدول گلموج آب عمیق مقابل بندر زرآباد بر اساس اطلاعات۱۹۹۷-۲۰۰۷ (پایش)

Wave Direction	0.25-0.75	0.75-1.25	1.25-1.75	1.75-2.25	2.25-2.75	2.75-3.25	≥3.25	sum
115 - 125	1.9657	0.1926	0.0277	0	۰	0	0	2.186
125 - 135	1.5585	0.2319	0.0508	0	0	0	0	1.8411
135- 145	1.367	0.2365	0.0715	0	0	0	0	1.675
145 - 155	2.0418	0.3299	0.09	0	0	0	0	2.4617
155 - 165	5.2083	0.9748	0.443	0.0761	0.0173	0	0	6.7195
165 - 175	8.0738	11.2588	12.0778	4.6835	0.4949	0.0288	0	36.6175
175 - 185	3.5057	3.5957	1.9045	0.7152	0.0508	0	0	9.7718
185 - 195	1.773	1.1363	0.4026	0.1811	0.0046	0	0	3.4976
195 - 205	1.2551	0.7925	0.1696	0.0692	0	0	0	2.2864
205 - 215	0.9759	0.6656	0.09	0.0404	0.0023	0	0	1.7742
215 - 225	0.9402	0.6114	0.0911	0.0323	0.0058	0	0	1.6807
225 - 235	1.0013	0.5387	0.1661	0.0208	0	0	0	1.7269
235 - 245	1.0786	0.7833	0.2065	0.0161	0.0092	0	0	2.0937
245 - 255	1.3197	1.1051	0.2503	0.0138	0.0115	0	0	2.7005
255 - 265	1.8872	2.1133	0.7729	0.1557	0.0484	0.0058	0	4.9834
265 - 275	1.0636	1.9876	0.7937	0.2307	0.0658	0.0104	0	4.1517

جدول۳: پریود امواج با ارتفاع و جهات مختلف موثر بر آورد رسوب

جهت موج	۰/۲۵-۰/۷۵	۰/۷۵-۱/۲۵	۱/۲۵-۱/۷۵	۱/۷۵-۲/۲۵	۲/۲۵-۲/۷۵	۲/۷۵-۳/۲۵	≥۳/۲۵
۱۱۵ - ۱۲۵	۴	۵	۶	۶/۵	۷	۷/۵	۸
۱۲۵ - ۱۳۵	۹	۹	۹/۵	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
۱۳۵- ۱۴۵	۱۰	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
۱۴۵ - ۱۵۵	۱۰	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
۱۵۵ - ۱۶۵	۱۰	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
۱۶۵ - ۱۷۵	۱۰	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
۱۷۵ - ۱۸۵	۱۰	۱۰	۱۰/۵	۱۱	۱۱	۱۱	۱۱
۱۸۵ - ۱۹۵	۳	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷
۱۹۵ - ۲۰۵	۳	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷
۲۰۵ - ۲۱۵	۳	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷
۲۱۵ - ۲۲۵	۳	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷
۲۲۵ - ۲۳۵	۳	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷
۲۳۵ - ۲۴۵	۴	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷
۲۴۵ - ۲۵۵	۴	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷
۲۵۵ - ۲۶۵	۴	۴	۵	۵/۵	۶	۶/۵	۷

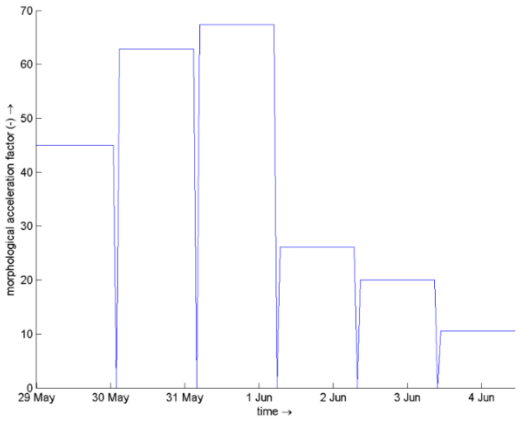
جدول۴:گروه موج انتخاب شده برای شبیه سازی بلند مدت

شماره موج	ارتفاع	پریود	جهت	فراوانی وقوع	ضریب ریخت‌شناختی (دوره واسنجی)	ضریب ریخت‌شناختی (دوره صحت‌سنجی)
۱	۰/۵	۱۰	۱۷۰	۸/۰۷	۴۵	۶۴/۶۱
۲	۱	۱۰	۱۷۰	۱۱/۲۵	۶۲/۸۴	۹۰/۸۶
۳	۱/۵	۱۰/۵	۱۷۰	۱۲/۰۷	۶۷/۴۲	۹۶/۹۲
۴	۲	۱۱	۱۷۰	۴/۶۸	۲۶/۱۴	۳۷/۹۶
۵	۱	۱۰	۱۸۰	۳/۵۹	۲۰	۲۹
۶	۱/۵	۱۰/۵	۱۸۰	۱/۹	۱۰/۶	۱۵/۳۴

۴- شبیه سازی مدل

۴-۱- واسنجی مدل

به منظور واسنجی مدل مورفولوژیکی از داده‌های هیدروگرافی در اسفندما سال ۸۱ تا مهرماه ۸۴ استفاده شد. هیدروگرافی اسفند ۸۱ به عنوان هیدروگرافی اولیه برای شروع تحلیل مدل و هیدروگرافی مهرماه ۸۴ به عنوان داده‌های هدف برای مقایسه به کار گرفته شد. پارامترهای فیزیکی و عددی مطابق با جدول (۵) به مدل معرفی شد. شبیه سازی در بازه زمانی یکساله انجام گردید. برای انجام واسنجی و مقایسه راحتر و بهتر نتایج مدل، تغییرات بستر در دو کنتور صفر که نشان دهنده خط ساحلی و کنتور ۵- متر که عمق نزدیک به عمق فعال رسوبی می‌باشد در نظر گرفته شد. شکل (۱۲) ضرایب تسریع مورفولوژیکی برای هر موج که در این مرحله بکار گرفته شده است را نشان می‌دهد. برای جلوگیری از عدم پیوستگی جرم رسوب، در انتهای هر دوره یک بازه زمانی ۶۰ دقیقه‌ای با ضریب تسریع صفر قرار داده شد.



شکل ۱۲: مقادیر فاکتور تسریع کننده مورفولوژیکی برای هر امواج برای واسنجی مدل

نرم افزار Civil3D برای استخراج عمق سنجی بستر از نتیجه مدل و تبدیل به فرمت خوانا و مقایسه با داده‌های موجود بکار گرفته شد. شکل (۱۳) مقایسه کیفی مدل نهایی با داده‌های اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. در این شکل، شبیه سازی با نرم افزار Delft3D با رنگ قرمز بوده و خطوط مشکی رنگ هیدروگرافی اندازه گیری شده در سال ۸۴ می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود ضلع غربی بندر برای مقایسه نتایج کارامد نمی‌باشد زیرا لایروبی‌های دوره‌ای باعث ایجاد تغییرات در بازهای زمانی تحلیل در عمق سنجی شده است اما در ساحل شرقی نتایج حاصل از مدلسازی با نتایج میدانی تطابق نسبتا خوبی دارد. این نتایج نشان می‌دهد که داده‌های در نظر گرفته شده در جدول (۵) پارامترهای قابل قبول هستند.

۴-۲- صحت سنجی مدل

پس از انجام مرحله واسنجی، برای بررسی و اطمینان کامل از عملکرد مدل بسته به اطلاعات موجود بایستی از صحت نتایج مطمئن بود. برای این منظور دی ماه سال ۹۱ تا مهرماه سال ۹۳ با توجه به وجود اطلاعات هیدروگرافی در این زمان‌ها به عنوان بازه صحت سنجی در نظر گرفته شد (شکل ۳). فاکتور تسریع ریخت شناسی برای هر موج مطابق با شکل (۱۴) در نظر گرفته شد. تغییرات بستر در مرحله صحت سنجی در دو کنتور صفر و کنتور۵- متر پس از شبیه سازی به صورت شکل (۱۵) استخراج گردید. قابل توجه است که در شکل فوق، خطوط مشکی هیدروگرافی اندازه گیری شده در سال ۹۳و خطوط قرمز شبیه سازی تغییرات خط بستر با نرم افزار Delft3D است. نتایج حاصل از شکل (۱۵) نشان دهنده تطابق نسبتا خوب مدلسازی با داده‌های میدانی در مرحله صحت سنجی است. همچنین این نتایج نشان می‌دهند که در بازه

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

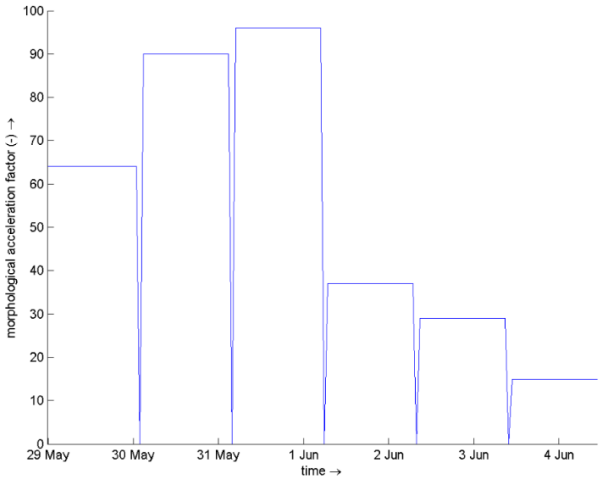
[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

زمانی شبیه‌سازی، با توجه به انباشت رسوب در ضلع شرقی بندر و تغییر در راستای خط ساحلی، الگوهای جریان ناشی از شکست موج و به تبع آن انتقال رسوب نیز دچار تغییر شده‌اند.

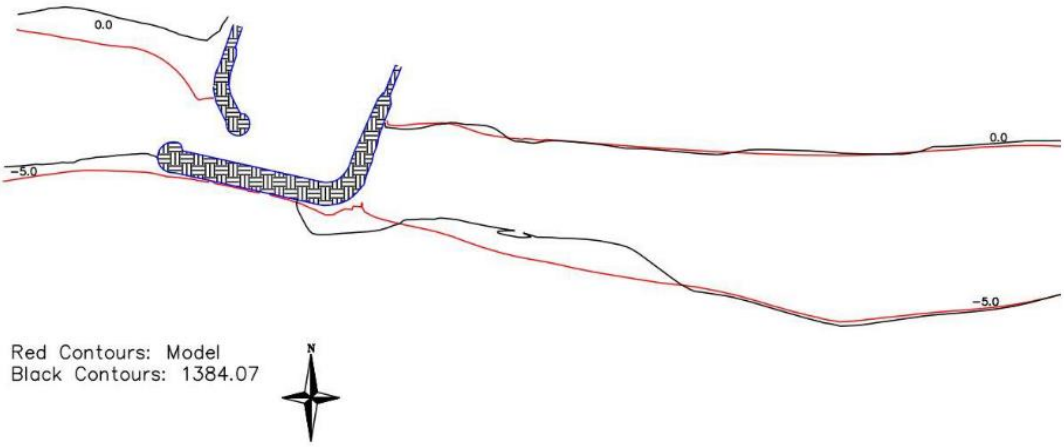
جدول ۵: پارامترهای فیزیکی در نظر گرفته شده در مدل

مدول	گروه پارامتر	نوع پارامتر	مقدار ورودی	واحد
جریان و ریخت‌شناسی	ثابت	شتاب گرانشی	۹/۸۱	m/s^2
		چگالی آب	۱۰۲۵	kg/m^3
	زبری	ضریب اصطکاک Manning	۰/۰۲۵	$s/m^{1/3}$
		رابطه تنش برشی (ناشی از موج)	Van Rijn 2004	-
	لزجت	لزجت گردابی افقی	۰/۵	m^2/s
		پخش گردابی افقی	۰/۵	m^2/s
	رسوب	وزن مخصوص	۲۶۵۰	kg/m^3
		قطر میانه	۲۴۰	μm
		ضخامت اولیه	۲	m
	ریخت‌شناختی	Sus[۱]	۱	-
		Bed[۲]	۱	-
		Sus W[۳]	۰/۰۱	-
		Bed W[۴]	۰/۰۲۵	-
موج	فرآیندها	پارامتر شکست موج	۰/۸۳	-
		اصطکاک کف Madsen	۰/۰۵	m

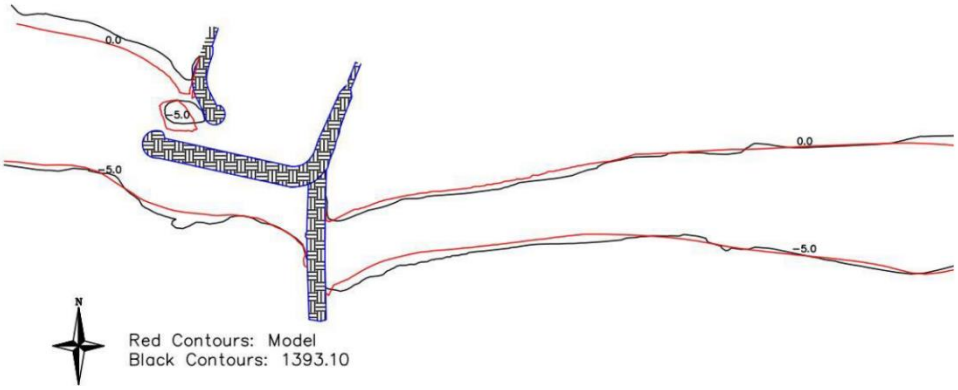
در این شرایط حرکت رسوب تحت امواج منتخب از سمت غرب به شرق رخ داده و نقش انتقال رسوب عمود بر ساحل نسبت به زمان قبل از احداث دستک پر رنگتر گشته است. علاوه بر این کناره-گذاری رسوب توسط دستک احداث شده در این بازه زمانی متوقف شده است.



شکل۱۴: مقادیر فاکتور تسریع کننده مورفولوژیکی برای هر امواج برای صحت سنجی مدل



شکل۱۳: مقایسه کیفی کنتورهای بستر حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری میدانی به منظور واسنجی مدل



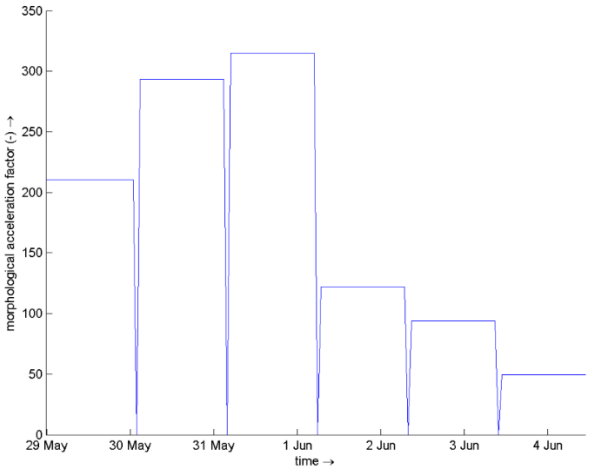
شکل۱۵: مقایسه کیفی کنتورهای بستر حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری میدانی به منظور صحت سنجی مدل

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

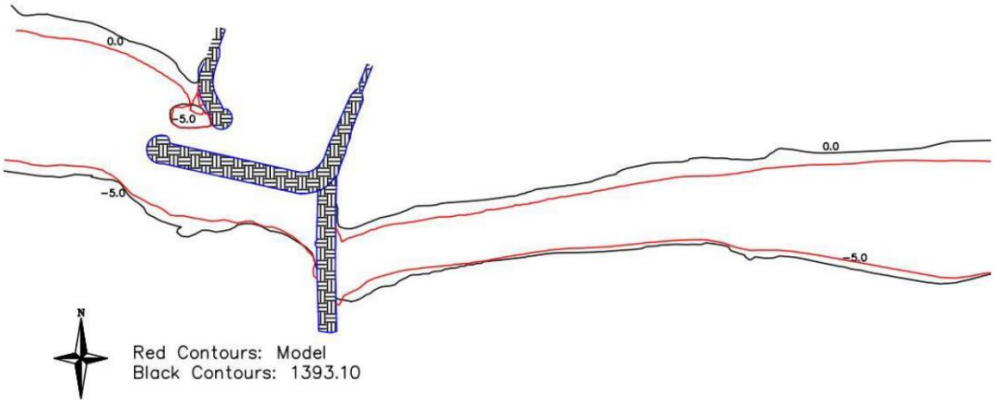
[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

۴-۳- شبیه سازی بلند مدت رسوب بندر زرآباد

پس از اطمینان از کارایی مدل، به منظور شبیه سازی بلند مدت رفتار رسوب در منطقه مورد نظر، بازه زمانی ده ساله از بهمن ماه ۱۳۹۳ تا بهمن ماه ۱۴۰۳ به عنوان بازه زمانی برای شبیه‌سازی بلند مدت در نظر گرفته شد. هیدروگرافی موجود در بهمن ماه ۱۳۹۳ به عنوان هیدروگرافی اولیه در مدل تعریف شد. پارامترهای بدست آمده از واسنجی به مدل اعمال شد. شبیه سازی با جزرومد مورفولوژیکی و امواج منتخب مشابه مدل‌های قبل با محاسبه ضریب تسریع مورفولوژیکی (شکل ۱۶) برای هر کدام از امواج انجام گرفت. برای جلوگیری از عدم پیوستگی جرم رسوب، در انتهای هر دوره یک بازه زمانی ۶۰ دقیقه‌ای با ضریب تسریع صفر در نظر گرفته شد. کنتورهای بستر طی دوره ده ساله برای عمق صفر و -۵ متر بدست آمد (شکل ۱۷). نتایج حاصله نشان می‌دهند که طی مدت ده سال تغییرقابل توجهی در شکل سواحل مجاور رخ نمی‌دهد. پیشروی جزئی خط ساحلی عمدتاً ناشی از انتقال عمود بر ساحل بوده و در مقابل بندر نیز توسط همین مکانیزم رسوبگذاری مختصری روی می‌دهد.

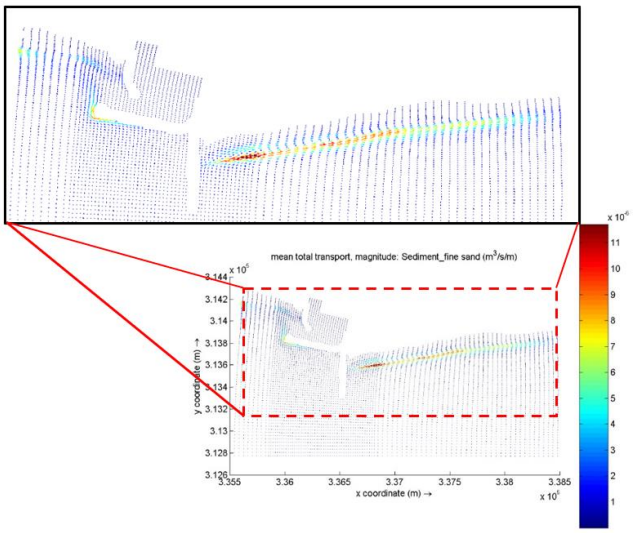


شکل۱۶: مقادیر فاکتور تسریع کننده مورفولوژیکی برای هر امواج در شبیه سازی بلند مدت



شکل۱۷: مقایسه کیفی کنتورهای بستر حاصل از شبیه سازی و اندازه گیری میدانی طی دوره بلند مدت ده ساله

همچنین الگوی انتقال رسوب میانگین در انتهای دوره ده ساله از شبیه سازی استخراج گردید (شکل ۱۸). از شکل ۱۸ مشاهده می-گردد که رسوبگذاری به وسیله مکانیزم انتقال عمود بر ساحل در پشت دستک رخ داده است که با لایروبی‌های دوره‌ای از ایجاد اختلال در رفت و آمد می‌توان جلوگیری‌کرد.



شکل ۱۸: الگوی انتقال رسوب میانگین در دوره ده ساله

نتایج حاصل از شبیه سازی مطابق با اشکال ۱۷ و ۱۸ نشان می‌دهد که در عمق فعال رسوبی که تقریباً ۵ متر است جابجایی به سمت نوک دستک وجود نداشته و می‌توان گفت که دستک از عهده هدف مورد انتظار که قطع گذر رسوب در امتداد بندر است، به درستی بر می‌آید. همچنین از مقایسه قبل و بعد از مدلسازی دوره ۱۰ ساله مشاهده می‌شود که در طی این دوره تغییر قابل مشاهده‌ای در فرآیند انتقال رسوب در منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.

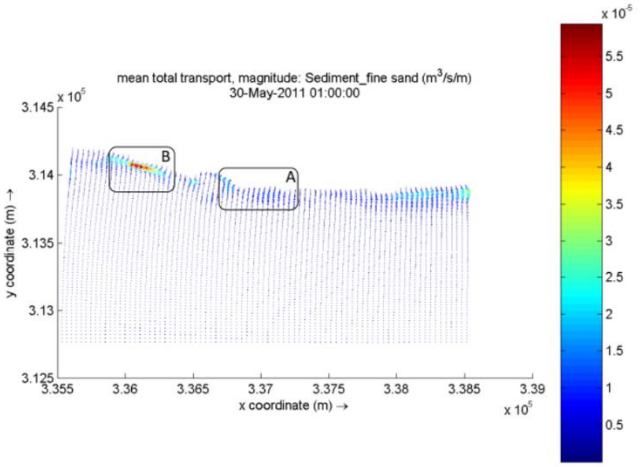
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

۴-۴- شبیه سازی بلند مدت رسوب قبل از احداث بندر

در انتهای شبیه سازی‌های هیدرودینامیکی و مورفولوژیکی منطقه، یک شبیه سازی در این زمینه، برای بررسی الگوهای جریان و حمل رسوب در منطقه مورد مطالعه، شبیه‌سازی بلند مدت در دوره قبل از احداث بندر به منظور قضاوت قابل قبول‌تری از روند تغییرات ساحل مورد مطالعه و نیز تغییرات ایجاد شده به وسیله احداث بندر انجام گرفت. در این شبیه سازی از داده‌های هیدروگرافی موجود مربوط به اسفندماه سال ۱۳۸۱ و قبل از احداث بندر استفاده گردید. منتخبی از امواج غالب راستای ۱۷۰ تا ۱۸۰ درجه به عنوان شرط مرزی موج اعمال گردید تا بررسی تحت این امواج صورت گیرد. شرط مرزی تغییرات تراز آب – جزرومد منتخب - در مرز جنوبی و شرط مرزی نیومن در مرزهای جانبی به مدل اعمال گیرد. سایر پارامترهای لازم برای این شبیه‌سازی همان پارامترهای به دست آمده از مراحل واسنجی و صحت سنجی بوده که در مدلسازی در نظر گرفته شد.

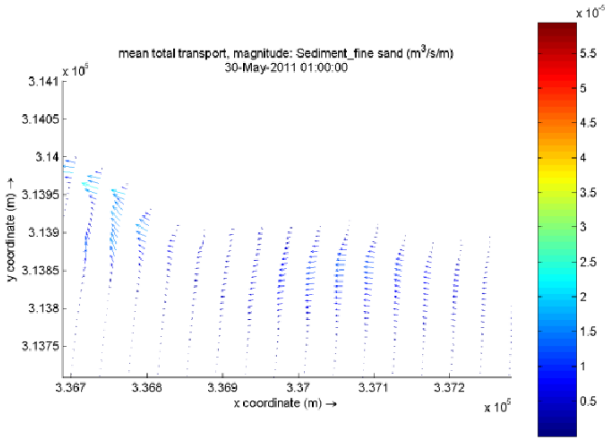
نتایج مربوط به الگوی انتقال رسوب متوسط در اثر امواج ۱/۵ متری نشان می‌دهند که قبل از احداث بندر، پتانسیل حمل رسوب از شرق به غرب بوده است (شکل ۱۹). این امر با توجه به راستای موج و ساحل در محل شکست موج اتفاق افتاده است. در سالهای قبل از احداث بندر اختلاف زاویه بین موج و خط فرضی عمود بر ساحل نسبتا زیاد بوده که با احداث بندر با رسوب گذاری در پشت بندر اصلی به تدریج این زاویه کمتر گشته و باعث ایجاد تعادل شده است. به منظور واضح بودن روند انتقال، دو نقطه A و B در شکل (۱۹) به عنوان نمونه انتخاب شد و بزرگنمایی آن نواحی در اشکال (۲۰) و (۲۱) آورده شده است. از اشکال فوق مشاهده می‌شود که انتقال بار رسوب در این ناحیه از سمت شرق به غرب رخداده است.



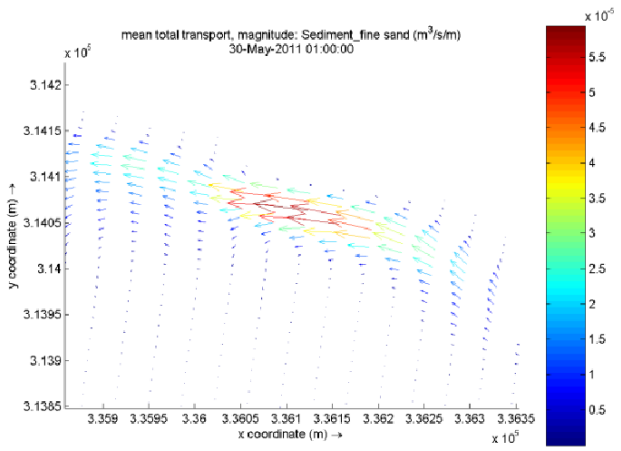
شکل ۱۹: الگوی انتقال رسوب تحت موج با ارتفاع ۱/۵ متری با پریود ۱۰/۵ ثانیه در راستای ۱۸۰ درجه

۵- نتیجه گیری

نخستین چالش و مشکلی که در پی احداث بندر، منطقه زرآباد را تهدید و یا مختل می‌کند رسوب گذاری شدید در قسمت پشت بندر (قسمت شرقی)، پیشروی نسبتا سریع خط ساحلی تا ناحیه خم بندر و گذر رسوب از مقابل بندر و در پی آن بروز مشکل در دهانه ورودی حوضچه بندر است. در این مطالعه مدل عددی مورفولوژیکی سواحل مجاور بندر زرآباد با استفاده از نرم افزار Delft3D شبیه‌سازی شد. الگوی انتقال رسوب، الگوی فرسایش و رسوب گذاری، نحوه عملکرد دستک رسوبگیر در قطع گذر رسوب و نیز تغییرات احتمالی سواحل در بلند مدت مورد بررسی قرار گرفت. از ترکیب دو روش کاهش داده‌های ورودی و روش تسریع دهنده مورفولوژیکی مرفک برای بررسی رفتار مورفولوژیکی منطقه در بلند مدت استفاده گردید.



شکل ۲۰: بزرگنمایی ناحیه A نشان داده شده در شکل ۱۹



شکل ۲۱: بزرگنمایی ناحیه B نشان داده شده در شکل ۱۹

اطلاعات و داده‌های لازم و در دسترس برای انجام این شبیه سازی‌ها شامل؛ اطلاعات هیدروگرافی سواحل مجاور بندر در چندین بازه زمانی، تغییرات تراز آب و یا همان اطلاعات جزرومد، اطلاعات امواج منطقه و اطلاعات مربوط به مواد رسوبی سواحل منطقه می‌باشد. در روش مورد استفاده داده‌های مربوط به جزرومد و امواج کاهش یافته و منتخبی از این داده‌ها که عمده نقش را در رفتار رسوبی منطقه ایفاء می‌کنند برگزیده شدند. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد:

- قبل از احداث بندر، الگوی انتقال رسوب متوسط در اثر امواج با ارتفاع ۱/۵ متر در راستای پر وقوع ۱۷۰ تا ۱۸۰

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]

درجه در سمت غرب نقطه تغییر زاویه ساحل نسبتاً شدید بوده که این امر موجب حمل رسوب از شرق به غرب گردیده است.

- پس از احداث بندر در بخش غربی نقطه تغییر زاویه ساحل، در زمانی که هنوز دستک احداث نشده بود، آورد رسوب موجب انباشت شدید مواد رسوبی در پشت بازوی شرقی موجشکن بندر و همینطور پیشروی خط ساحلی تا خم موجشکن شرقی بندر شده است.
- آورد رسوب در پشت موجشکن شرقی بندر (قبل از احداث دستک) باعث می‌شود به مرور گذر رسوب از مقابل بندر شروع شده و ته نشینی آن در دهانه ورودی حوضچه بندر عملکرد آن را مختل کند.
- پس از احداث دستک رسوب‌گیر به منظور قطع گذر رسوب، انباشت رسوب و پیشروی خط ساحلی تا زمانی که اختلاف زاویه در طرفین نقطه تغییر زاویه ساحل از بین برود ادامه یافته است.
- پس از احداث دستک رسوب‌گیر جهت جریان ناشی از شکست امواج تغییر کرده و از سمت غرب به شرق روانه می‌شوند.
- پس از احداث دستک، ساحل به حالت تعادل پایدار رسیده و انتقال رسوب موازی ساحل نقش تعیین کننده خود را از دست داده و نقش انتقال رسوب عمود بر ساحل پر رنگ‌تر گشته است.
- پیش بینی بلند مدت ده ساله پیشروی جزئی خط ساحلی شرقی نشان داد که در آینده عمدتاً مکانیزم انتقال رسوب عمود بر ساحل موجب پیشروی جزئی خط ساحلی می-گردد.
- شبیه‌سازی بلند مدت نشان داد که عمق فعال رسوبی (حدودا ۵ متر) به سمت نوک دستک رسوب‌گیر حرکت نکرده و از آن رد نمی‌شود لذا می‌توان گفت که دستک می‌تواند از عهده هدف مورد انتظار که قطع گذر رسوب در امتداد بندر است، برآید.

۵- تشکر و قدردانی

مراتب تشکر و قدردانی خود را از سازمان‌های نقشه برداری، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، هواشناسی، شیلات کل کشور، شرکت تهران برکلی و شرکت Baird کانادا که داده‌های لازم را در اختیار ما گذاشتند داریم.

۶- مراجع

1.REZAEI, F., TAJZIEHCHI, M., SOLTANPOUR, M. and EMAMI, A.,(2014), PREDICTION OF WAVE CHARACTERISTICS IN PERSIAN GULF WITHIN QESHM AND HORMOZ ISLANDS USING SWAN WAVE MODEL, in *International Conference on Coasts, Ports and marine Structures*.

2.WILMINK, R., (2015), Accelerated morphological modelling: a schematized case study into the medium-and long-term morphological acceleration techniques Morfac and Mormerge, University of Twente, Master Thesis.

3.LESSER, G. R., ROELVINK, J. V., VAN KESTER, J. T. M. and STELLING, G.,(2004), *Development and validation of a three-dimensional morphological model*, Coastal engineering **51** ,p. 883-915, https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2004.07.014

4.ROELVINK, J.,(2006), *Coastal morphodynamic evolution techniques*, Coastal engineering **53**(2-3), p. 277-287. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.10.015

5.LATTEUX, B.,(1995), *Techniques for long-term morphological simulation under tidal action*, Marine Geology **126**(1-4), p. 129-141. https://doi.org/10.1016/0025-3227(95)00069-B

6.LESSER, G.,(2017), *Approach to Medium-term Coastal Morphological Modelling-Unesco-ihe Phd Th*, Taylor & Francis Limited. (PhD Thesis).

7.TROUW, K., ZIMMERMANN, N., MATHYS, M., DELGADO, R. and ROELVINK, D.,(2012), *Numerical modelling of hydrodynamics and sediment transport in the surf zone: A sensitivity study with different types of numerical models*, Coastal Engineering Proceedings **1**(33), p. 23.

8.XIE DONGFENG, X. D., GAO SHU, G. S., WANG ZHENGBING, W. Z. and PAN CUNHONG, P. C.,(2013), *Numerical modeling of tidal currents, sediment transport and morphological evolution in Hangzhou Bay, China*. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(13)60042-6

9.FAYYAZ, M., SHAFIEEFAR, M. and DASTGHEIB, A.,(2017), *TIDAL EFFECTS ON LONG-TERM MORPHOLOGY BEHAVIOUR IN LARGE TIDAL BASINS*, Journal Of Marine Engineering **13**(25), p . 91-104. http://marine-eng.ir/article-1-491-en.html

10.MORGAN, J. A., *et al.*, (2020), *The use of a morphological acceleration factor in the simulation of large-scale fluvial morphodynamics*, Geomorphology **356**, p. 107088 https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107088.

11. Tehran Berkeley Consulting Engineers. Zarabad fishing port study project report (2003), (In Persion).

12. MASSELINK, G. and SHORT, A. D.,(1993), *The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model*, Journal of coastal research, p. 785-800.

13.in *ENGINEERS WFB& AC, RESEARCH JWAE. Development of a wave climate for the Oman sea coastline of iran*.

14. HTTPS://OSS.DELTARES.NL/WEB/DELFT3D),

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-24]

[DOI: 10.61186/marineeng.20.43.15]