

# Investigation of the effects of the construction of the new breakwater on Rivers connecting Anzali lagoon and port

Marziye Khosropasand<sup>1</sup>, Hossein Nassiraei<sup>2</sup>, Ahmad Neshaei<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Master. Student, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

\*Corresponding Author: [maln@guilan.ac.ir](mailto:maln@guilan.ac.ir)

Received: 17 Oct. 2021  
Accepted: 1 March 2022



Homepage: [ijwer.uoz.ac.ir](http://ijwer.uoz.ac.ir)

**Abstract:** In the last decade, two breakwaters and five pier posts have been added to increase the capacity of Bandar Anzali, North of Iran. Thus, we conducted this study to investigate the effects of the construction of new breakwaters on sedimentation conditions in Anzali Wetland (Roga) and Bandar Anzali stilling basin. MIKE 21 software is used for simulation. The results show that after development, the daily bed change rate in most areas of the pond is equal to 0.001 m/day, which is equal to its value before development; However, its value reaches the maximum value of 0.004 m/day in Sousar Roga and at the junction of Nahang Roga and Nahang-e-Bozorg Roga. Furthermore, sediment concentrations increase slightly after constructing new breakwaters in the stilling basin. Therefore, it seems the construction of new breakwaters does not significantly affect the change in the hydraulic conditions of the wetland.

**Keywords:** Anzali port, Sediment Transfer, Modeling, Mike 21, Breakwater.

**Introduction:** Breakwaters are one of the first offshore structures to create calming ponds for mooring ships. Numerous studies have been conducted in numerical modeling of sediment transport and the evolution of shore morphology against coastal waves and currents. (Sverdrup and Munk, 1947; Gelci, 1957; Miles, 1957; Phillips, 1957; Hasselmann, 1974)

Examining the effects of coastal structures on coastal sediment transport demonstrates that the construction of ports or breakwaters causes coastal erosion and sediment accumulation and distribution (El-Asmar and White, 2002; Bohloli et al., 2005; Tang et al., 2017; Sakhaee and Khalili, 2021).

Anzali wetland, one of Iran's most sensitive aquatic ecosystems, is connected to Anzali Port tranquility basin through several Rogas. Due to the lack of wharves' capacity, decision-makers provide a program to develop this port. Fig. 1 shows the port of Anzali before and after development. Simultaneously with the construction of new port breakwaters, changes were observed in the wetland conditions and sediment accumulation at the wetland margin.

In this paper, simulation of waves and water flow and sediment in Bandar Anzali area before and after port development investigates the effect of new Anzali breakwaters on the daily bed change rate and sediment concentrations increase using MIKE 21 software.

**Material and Methods:** MIKE 21, a subset of MIKE software, is a comprehensive system for modeling open and two-dimensional flows in which fluid flow layering can be neglected. We took the information related to depth measurement, hydrodynamic, sediment, border conditions (Fig. 2), and Wind (Fig. 3) to provide the model. The hydrographic maps belong to 1) November 2007 (before the development of Bandar Anzali) and 2) February 2017 (after development). The solution area was divided into a network. Then, the second hydrographic file was fed to the Mesh Generator module of the MIKE 21 SW module.

Comparing the height of waves of this model with the height of the buoy waves and the waves of the previous stage in each trial and error led to selecting network dimensions, Fig. 4. Hereafter, it was modified for the state of before development. Subsequently, it was altered for stage 1, before development. The MIKE 21 Spectral Waves SW module were used to simulate the waves, and the non-cohesive sediment transport sub-model was used to model sediment flow. Simulation was run for both stages.

**Results and Discussion:** Fig. 8-(a) shows that the daily bed change (DBC) rate for before development in most areas of the port basin is less than 0.001 m/day, and only a tiny part of the Nahange-Bozorg Roga experiences larger values. It takes values greater than 0.002 and 0.003 m/day in the center of Nahang Roga. At the junction of Pir-Bazar Roga and Sousar Roga, the DBC rate is more than 0.003 m/day. Also, at the intersection of the four rivers, a minor part has a value of more than 0.003 m/day. However, Shanbe-Bazar Roga did not illustrate a significant amount of DBC.

Fig. 8-(b) illustrates that the rate of DBC after development in most areas of the port basin is about 0.001 m/day, and only the southern borders and a part of Shanbe-Bazar Roga the rate values are more than 0.002 m/day; however, even 0.004 m/day. In a large area of the intersection of Pir-Bazar Roga and Sousar Roga, the rate takes a little change of more than 0.002 and 0.004 m/day. Also, along with all four rivers outlets, there is a length with a rate amount of more than 0.002 m/day. Furthermore, in a tiny part of Shanbe-Bazar Roga, the amount rate of DBC is more than 0.002 m/day.

Comparing Fig. 9-(a) and b shows that the concentration of suspended sediments (CSS) after development in most areas of the port basin is about 1.5 g/m<sup>3</sup>, and only the southern borders and a part of Shanbe-Bazar Roga show larger values, which is more significant than 0.8 g/m<sup>3</sup> before development. However, in the eastern part of the study area and the region where Shanbe-Bazar Roga connects to the tranquility -basin, CSS is about 3 g/m<sup>3</sup>. The Pir Bazar and the Nahange-Bozorg do not report significant amounts of CSS, and for most of the length of Nahang Roga, CSS is about 4 g/m<sup>3</sup>. The maximum rate of CSS occurs in 100 meters length of Sousar Roga, along which CSS has reached 13 g/m<sup>3</sup>, and at last 1 meter of that, it shows the amount of 15 g/m<sup>3</sup>.

**Conclusion:** Areas that have experienced a change in DBC in post-development conditions compared to port pre-development are 1) a small area of Shanbe-Bazar Roga, 2) the junction of Nahang Roga and Nahang-e-Bozorg Roga, 3) the connection of Sousar and Pir-Bazar Roga, and 4) Southern region, the intersection of Nahang, Pir-Bazar, and Sousar Rogas.

In terms of sediment concentration, an increase was reported along 300 meters of Sousar Roga.

The new breakwaters are the only difference between pre-and-post development modeling of the Anzali port basin; thus, they can effectively change flow transfer from the lagoon to the sea. However, since the difference in the DBC and CSS value rate is low, the construction of new breakwaters can not be the leading cause of the wetland destruction process during the past years, and other factors affecting this water area need to be considered.

© 2022 University of Zabol, Zabol, Iran.



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

# بررسی اثرات احداث موج‌شکن جدید انزلی بر شرایط رسوب‌گذاری در رودخانه‌های ارتباطی تالاب و بندرانزلی

مرضیه خسروپسند<sup>۱</sup>، حسین نصیرائی<sup>۲</sup>، سید احمد نشایی<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی عمران گرایش مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران  
<sup>۳</sup> دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

\* پست الکترونیکی نگارنده مسئول: [maln@guilan.ac.ir](mailto:maln@guilan.ac.ir)

وب‌گاه نشریه: [ijwer.uoz.ac.ir](http://ijwer.uoz.ac.ir)



تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۰

## چکیده

در دهه گذشته برای افزایش ظرفیت بندرانزلی دو موج‌شکن و پنج پست اسکله به آن اضافه شده است. همزمانی این توسعه با تغییر در شرایط هیدرودینامیکی تالاب انزلی بیان می‌کند که ساخت موج‌شکن‌های جدید می‌تواند از دلایل اصلی این تغییرات باشد. این تحقیق اثرات احداث موج‌شکن جدید انزلی بر شرایط رسوب‌گذاری در رودخانه‌های ارتباطی تالاب انزلی (روگا) و حوضچه آرامش بندرانزلی، مدل‌سازی امواج دریا و جریان ناشی از شکست آنها را بررسی می‌کند. برای این منظور، از نرم‌افزار MIKE 21، مدل امواج طیفی، برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بعد از توسعه، نرخ تغییر روزانه بستر در اکثر نواحی حوضچه برابر با ۰/۰۰۱ متر در روز یعنی برابر مقدار آن قبل از توسعه است؛ اما مقدار آن در محل اتصال نهنگ و نهنگ بزرگ روگا و در سوسر روگا به ۰/۰۰۴، در پیربازار روگا ۰/۰۰۲، و در بخش کوچکی از شنبه بازار روگا به ۰/۰۰۲ متر در روز هم می‌رسد. همچنین، غلظت رسوبات بعد از ساخته شدن موج‌شکن‌های جدید در بخش‌های رودخانه‌ای حوضچه آرامش بندرانزلی (روگا) به مقدار کمی افزایش می‌یابد؛ به صورتی که تنها در طولی برابر ۳۰۰ متر از سوسر روگا مقدار رسوبات معلق افزایش می‌یابد. و در سایر روگاها افزایش غلظت قابل توجهی مشاهده نمی‌شود. از آنجاکه، این روگاها تنها مسیر ارتباطی بین تالاب انزلی و حوضچه بندری انزلی می‌باشند، می‌توان بیان کرد که احداث موج‌شکن‌های جدید تغییر شرایط هیدرولیکی تالاب را توجیه نمی‌کند.

کلیدواژه‌گان: بندرانزلی، انتقال رسوب، مدل‌سازی، MIKE 21، موج‌شکن

استفاده قرار می‌گیرند. تغییر جهت امواج و رسوب‌گذاری در اطراف موج‌شکن‌ها، سبب شده است که نظر مهندسیین سواحل به تأثیرات ناشی از وجود این سازه‌ها جلب شود. مطالعات زیادی در زمینه مدل‌سازی عددی انتقال رسوب و

## ۱- مقدمه

موج‌شکن‌ها از اولین سازه‌های دریایی می‌باشند که جهت ایجاد حوضچه‌های آرامش برای پهلوگیری کشتی‌ها مورد

گرفت که از جمله این پارامترها اثر جریان‌های ناشی از مد طوفان، اثر توام جریان و موج در حمل رسوب، اثر رسوب بستر مربوط به رسوبات ساحلی و اثر رسوبات معلق حمل شده از سمت تالاب انزلی می‌باشد (Bohloli et al., 2005).

جان تانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۷ مدلی عددی برای مشاهده تأثیر نقشه موج‌شکن‌ها روی امواج ساحلی، جریان امواج ورودی، انتقال رسوبات و شکل تراز ساحلی در نزدیکی موج‌شکن‌ها تهیه کردند. موج نزدیک ساحل با معادله سهموی پارابولیک با در نظر گرفتن شکست، انکسار و تفرق مدل‌سازی شد. همچنین، جریان ناشی از موج نزدیک ساحل با استفاده از معادلات غیرخطی آب سطحی که در آن تنش تشعشعی از مدل موج به دست آمد بود، مدل‌سازی شد (Tang et al., 2017).

سختائی و خلیلی در سال ۲۰۲۰ جهت محاسبه فرسایش و تغییرات بستر در حوضچه آرامش شهر نوشهر بعد از ساخت موج‌شکن مدل‌سازی این حوضچه را در MIKE 21 انجام دادند. اطلاعات امواج، تراز سطح آب و هیدروگرافی به عنوان داده‌های ورودی به مدل MIKE 21 معرفی شد و خروجی آن اطلاعات رسوب از مدل رسوب MIKE 21 بود. نتایج نشان داد که اصلی‌ترین جهت موج از شمال به جنوب بوده است و اصلی‌ترین جهت رسوب‌گذاری از غرب به شرق بوده است. با ساخت بازوی موج شکن غربی میزان انتقال رسوب کاهش پیدا می‌کند که نشان دهنده نشست رسوب در پشت موج‌شکن است (Sakhace and Khalili, 2021).

بندر انزلی یکی از بزرگ‌ترین بنادر شمال ایران در شهرستان انزلی با فاصله ۴۰ کیلومتری از شهر رشت، مرکز استان گیلان قرار گرفته است. حوضچه آرامش بندر از طریق چند روگا به تالاب انزلی که از حساس‌ترین اکوسیستم‌های آبی کشور به‌شمار می‌رود، متصل می‌شود. با توجه به عدم پاسخگویی ظرفیت اسکله‌های سابق و حوضچه آرامش قدیم بندر برای ورود و پهلوگیری کشتی‌های ورودی به بندر تصمیم به توسعه این بندر در دستور کار سازمان بندر و دریانوردی قرار گرفت. هم‌زمان با شروع به ساخت موج‌شکن‌های جدید بندر تغییرات چشمگیری در شرایط تالاب و تجمع رسوبات در حاشیه تالاب مشاهده شد، برای

تکامل مورفولوژی ساحل در برابر امواج و جریان‌های ساحلی انجام شده است و مدل‌های عددی و تحلیلی برای پیش‌بینی موج‌ها، جریان‌های ناشی از موج‌ها و انتقال رسوبات و شکل ساحل در نزدیکی موج‌شکن‌ها توسعه یافته است.

علاقه به پیش‌بینی موج در طول جنگ جهانی دوم به دلیل نیاز عملی به دانش از وضعیت دریا در حین عملیات‌ها افزایش یافت (Noujas and Kurian, 2015). ابتدا مانک و همکارانش در سال ۱۹۴۷ توصیف پارامتری از وضعیت دریا، قوانین تجربی دریا و قوانین حاکم بر طوفان را برای پیش‌بینی موج عملیاتی معرفی کردند (Sverdrup and Munk, 1947). گلوسی و همکاران در سال ۱۹۵۷ مفهوم کلی معادله انتقال طیفی را معرفی کردند. آن‌ها از یک عبارت کاملاً تجربی برای عملکرد منبع خالص حاکم بر میزان تغییر طیف موج استفاده کردند (Gelci, 1957) بر اساس تئوری‌های تولید موج ارائه شده توسط فیلیپس و مایلز در سال ۱۹۵۷، هاسلمن در سال ۱۹۶۲ توابع منبع انتقال غیر خطی را معرفی کرد. عبارت کلی برای عملکرد منبع شامل سه اصطلاح است که ورودی از باد، انتقال غیر خطی و اتلاف توسط پوشش سفیدیا اصطکاک کف را نشان می‌دهد (Miles, 1957; Phillips, 1957; Hasselmann, 1974).

در سال ۲۰۰۲ اسمار و وایت اثرات سازه‌های ساحلی در بندر دامیتای دلتای نیل در کشور مصر را بر روی انتقال رسوب ساحلی بررسی کردند. نتایج نشان داد که ساخت بنادر و به‌ویژه ساخت دو اسکله که از ورودی بندر خارج می‌شوند، باعث ایجاد ناهماهنگی در جریان رسوب شده است. همچنین تصاویر هوایی و ماهواره‌ای فرسایش ساحل را نشان داد و عمق سنجی‌ها نشان‌دهنده گوه و لای گرفتگی در اطراف بندر بوده است، علاوه بر این، در دو قسمت بندر، تجمع رسوبات و فرسایش مشاهده شده است (El-Asmar and White, 2002).

بهلولی و همکاران در سال ۱۳۸۳ حجم و نحوه توزیع رسوب در بندر انزلی را با استفاده از مدل‌های عددی دو بعدی و سه بعدی مورد مطالعه قرار دادند، در این پژوهش کلیه پارامترهای موثر در برآورد بار رسوبی مورد بررسی قرار

حوضچه بندری انزلی قبل و بعد از توسعه نمایش داده شده است. عملیات توسعه این بندر از اواخر دهه هشتاد شمسی

بررسی میزان تأثیر این موج‌شکن‌ها بر شرایط هیدرودینامیکی تالاب انزلی مدل‌سازی امواج و جریان و رسوبات ورودی به حوضچه بندر انجام شد. در شکل ۱

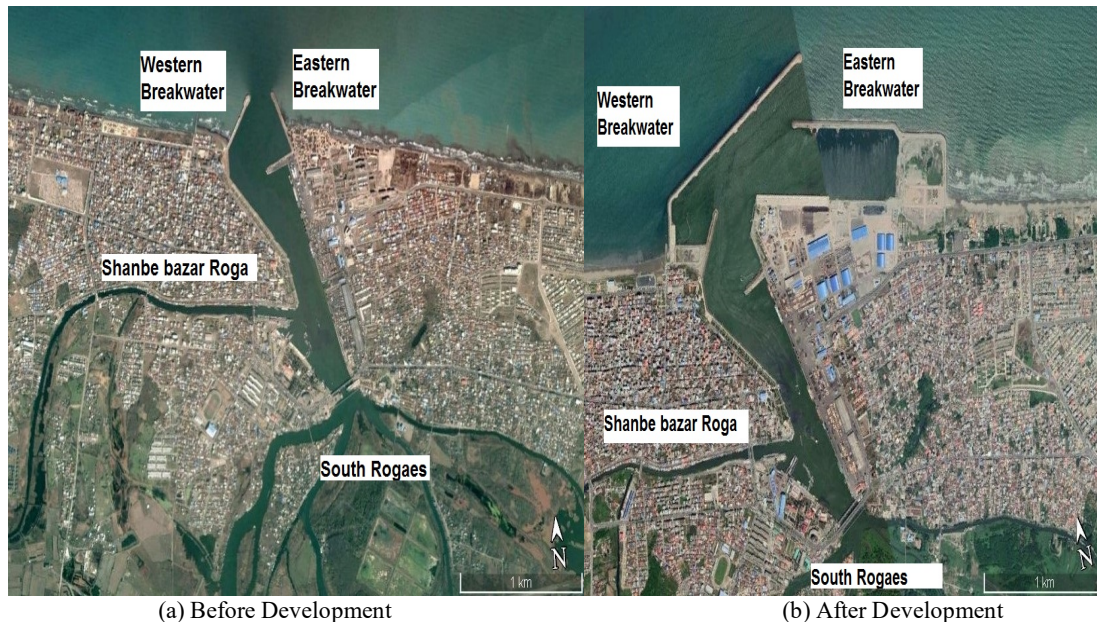


Fig. 1 Aerial view of Anzali port basin and rivers entering it  
شکل ۱ تصویر هوایی از حوضچه بندری انزلی و روگهای ورودی به آن

## ۱-۲- اطلاعات مورد استفاده

### اطلاعات مربوط به ژرفاسنجی

اولین قدم در مدل‌سازی ریاضی پدیده‌های دریایی، تهیه نقشه‌های هیدروگرافی است. اطلاعات مربوط به مختصات تراز نقاط مختلف کف دریا یا به عبارتی ژرفاسنجی قبل و بعد از هر عملیات لایروبی در بنادر کشور تهیه می‌شود. در این پژوهش از نقشه‌های هیدروگرافی سازمان بنادر و دریانوردی قبل از توسعه بندرانزلی در آبان سال ۱۳۸۶ و بعد از آن در بهمن ۱۳۹۸ استفاده شده است.

### اطلاعات هیدرودینامیک

فاکتورهای اصلی مسئول در هیدرودینامیک ساحلی مشخصات موج، جریان و جزر و مد (تراز آب دریا) است. در این پژوهش از اطلاعات بویه موج نگار سازمان بنادر و دریانوردی در بندرانزلی به مختصات (۴۹/۴۳۳۶۳ و ۳۷/۵۱۶۸۳) به دلیل جدیدترین اطلاعات موجود

آغاز شده است. در این مقاله شبیه‌سازی امواج و جریان آب و رسوب در محدوده بندرانزلی برای قبل و بعد از توسعه بندر، با هدف بررسی میزان اثرگذاری موج‌شکن‌های جدید انزلی بر تغییرات عرض و عمق روگهای مرزی بین تالاب انزلی و حوضچه بندرانزلی، در نرم‌افزار MIKE 21 انجام شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

در این مقاله جهت بررسی اثرگذاری موج‌شکن‌های جدید انزلی بر شرایط امواج، جریان و انتقال رسوبات درون حوضچه آرامش انزلی از مدل‌سازی عددی استفاده شده است. برای این مدل‌سازی از MIKE 21، زیر مجموعه نرم‌افزار MIKE استفاده شده است. مدل ریاضی MIKE 21 یک سیستم جامع برای مدل‌سازی جریان‌های روباز و دوبعدی است که در آن لایه‌بندی جریان سیال قابل صرف‌نظر کردن باشد.

است، استفاده شد. این بویه در خارج از محدوده بندری انزلی قرار گرفته است و شرایط بندر تأثیری روی امواج نخواهد داشت و به‌همین دلیل در دو مدل‌سازی برای قبل و بعد از احداث موج‌شکن از اطلاعات باد و موج در زمان‌های یکسانی استفاده شده است.

### اطلاعات مربوط به باد

در پروژه‌های دریایی، دینامیک دریا که متأثر از امواج است تأثیر بسیار مهمی در تعیین مشخصات فیزیکی دریا دارد. در محدوده بندرانزلی عامل اصلی ایجاد امواج و جریان‌های دریایی و در نهایت انتقال رسوبات، باد است. در این پژوهش برای کسب اطلاعات دقیق از باد از اطلاعات سه ماهه بویه انزلی استفاده شد. شکل ۳ نمایشگر گل‌باد انزلی است که با استفاده از اطلاعات دریافتی در نرم‌افزار MIKE رسم شده است.

### ۲-۲- ساخت مش (شبکه‌بندی)

تقسیم ناحیه حل به قسمت‌های کوچک‌تر برای انجام محاسبات ریاضی شبکه‌بندی نامیده می‌شود. در این بررسی ابتدا فایل‌های هیدروگرافی بعد از توسعه بندرانزلی به ماژول Mesh Generator معرفی شد. مش‌های ساخته شده از نوع مثلثی هستند و بعد از ۱۰ مرحله آزمون و خطا ابعاد مش‌ها در ماژول MIKE 21 SW، از طریق مقایسه ارتفاع امواج خروجی از این مدل با ارتفاع امواج بویه و امواج مرحله قبل در هر مقایسه، در نهایت فایل مش با ابعاد شکل ۴ انتخاب شد. ابعاد مش‌بندی برای مدل پیش از توسعه با توجه به ابعاد فایل بعد از توسعه مطابق با شکل ۵ در نظر گرفته شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- شبیه‌سازی امواج

در این پژوهش برای شبیه‌سازی امواج قبل و بعد از توسعه بندر انزلی از نرم‌افزار MIKE 21 استفاده شد، که در آن برای شبیه‌سازی امواج از مدل MIKE 21 Spectral Waves FM و زیر مجموعه آن ماژول SW (Spectral Waves) استفاده می‌شود. این ماژول یک نسل جدید مدل باد-موج طیفی بر اساس مش‌های ساختار نیافته است و بر اساس رشد کردن، متلاشی شدن و انتقال امواج ناشی از باد و طوفان در فراساحل و ساحل طراحی شده است. اساس کار این ماژول

برای بررسی دقیق انتقال رسوب نیاز به شناخت و محاسبه دقیق تمام پارامترهای مؤثر بر آن است. در این پژوهش برای بررسی نوع و ابعاد رسوبات موجود در اطراف محیط بندرانزلی از گزارش‌های آزمایشگاهی موسسه تحقیقات امور آب بر روی نمونه‌های از دریا و رودخانه در آبان ماه سال ۱۳۹۲ استفاده شد. غالب رسوبات محدوده بندرانزلی از نوع ماسه‌ای بوده است. همچنین ابعاد ۵۰ درصد از ذرات رسوبات در حدود ۰/۲ میلی‌متر می‌باشد.

### اطلاعات رسوب

اطلاعات مربوط به ورودی مرزها

#### اطلاعات مربوط به ورودی مرزها

در محدوده مورد مطالعه این پژوهش، چهار رودخانه پیربازار روگا، سوسر روگا، نهنگ روگا و نهنگ بزرگ روگا در بخش جنوبی بندر به یکدیگر متصل شده‌اند و مرزهای جنوبی

مدل را تشکیل می‌دهند. و رودخانه شنبه بازار روگا در بخش انزلی از سمت جنوب غربی مدل وارد حوضچه آرامش بندر می‌شود. شکل ۲ مرزهای جنوبی و مرز جنوب غربی مدل را نمایش می‌دهد. برای اختصاص دبی به مرزهای جنوبی و جنوب غربی از نمونه برداری‌های میدانی توسط چگینی و حق نظر استفاده شد (Nezamivand Chegini and Haghazar, 2015). دبی جریان این مرزها با استفاده از رابطه  $Q=A \times V$  به دست می‌آید، در این رابطه  $V$  نشان‌دهنده سرعت جریان است که بر اساس نتایج تحقیق چگینی و حق نظر برابر با ۰/۲ در نظر گرفته شد. همچنین  $A$  نشان‌دهنده سطح مقطع جریان عبوری است و با فرض مستطیلی بودن جریان برابر  $A=B \times Y$  خواهد بود.  $B$ ، عرض مقطع عبوری جریان بوده و مقدار آن با توجه به تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث برای سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۴ مربوط به بعد و قبل از توسعه بندر در جدول ۱ نوشته شده است. برای مقادیر عمق جریان  $Y$  با توجه به موجود نبودن داده‌های عمق‌سنجی برای قبل از توسعه بندر از داده‌های

توسعه بندر به طرز محسوسی افزایش یافته و همچنین مقدار نفوذ امواج به درون بندر بعد از توسعه کاهش قابل توجهی پیدا کرده است.

### ۳-۲- شبیه‌سازی جریان آب و رسوب

بهترین روش جهت دستیابی به الگوی جریان در تمام حوضه‌های آبریز استفاده از روش‌های میدانی است. در این مقاله با توجه به وسیع بودن محیط مورد مطالعه و عدم امکانات و وقت کافی برای انجام عملیات میدانی، از روش عددی استفاده شده است.

بر معادلات حجم محدود است. Mike 21 SW از دو فرمولاسیون مختلف زیر استفاده می‌کند:

۱. فرمولاسیون پارامتری ترکیبی جهت‌دار و مجزا

۲. فرمولاسیون کاملاً طیفی

شبیه‌سازی برای مدت زمان ۳ ماه انجام گرفت.

در شکل ۶ گل‌موج بندرانزلی نمایش داده شده است و در شکل ۷ جهت امواج قبل و بعد از توسعه به نمایش درآمده است. بر اساس این تصاویر جهت غالب امواج از سمت شمال شرقی می‌باشد و در شرایط نزدیک به موج‌شکن‌ها چرخش در امواج قابل ملاحظه است. این چرخش در مدل بعد از

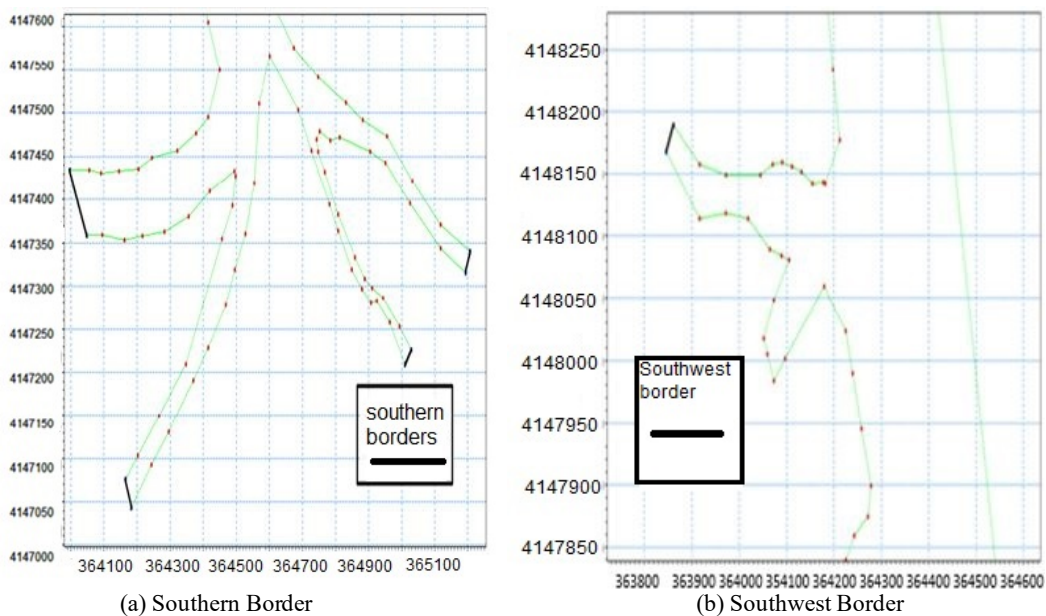


Fig. 2 Model boundaries with land  
شکل ۲ مرزهای در نظر گرفته شده مدل با خشکی.

جدول ۱ اطلاعات روگهای منتهی به بندر انزلی

Table 1 Information of rivers that leading to the anzali port

Border	Border Section	River name	Longitude (meter)	Depth	Width before development	Width after development	Discharge before development	Discharge after development
Southern borders	1	Nahang bozorg	364030	4147380	5	90	90	90
	2	Nahang	364187	4147067	2	50	25	20
	3	Pir bazar	365000	4147200	1.5	30	10	9
	4	Sosar	365205	4147322	3.5	32	28	21
Southwest border	5	Shanbe bazar	363860	4148168	1	70	70	14

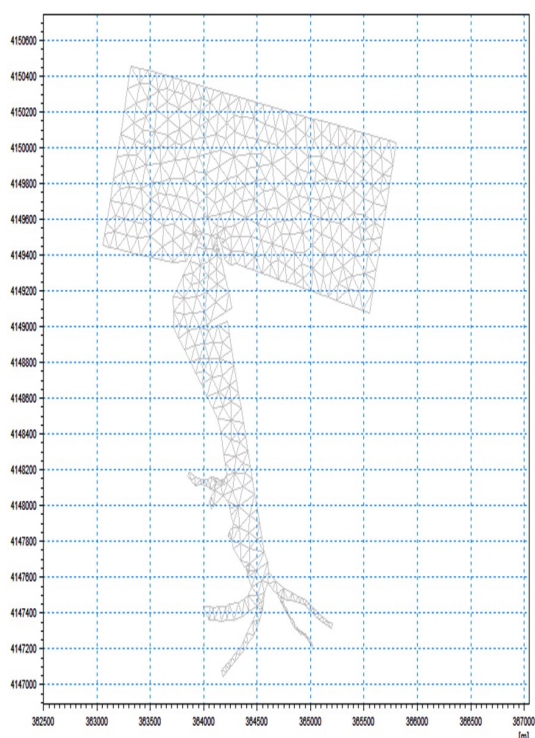


Fig. 5 Mesh before development  
شکل ۵ شبکه‌بندی قبل از توسعه بندرانزلی

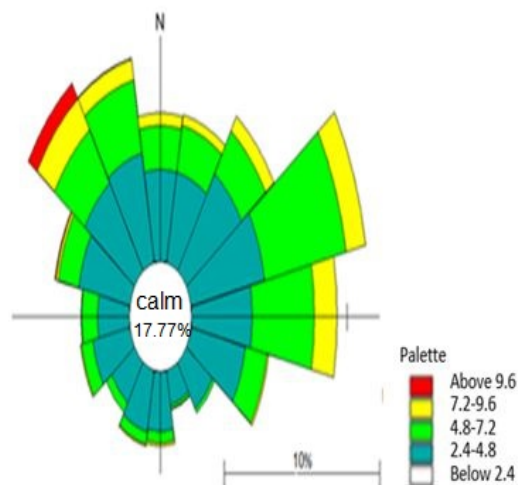


Fig. 3 Wave rose of Anzali  
شکل ۳ گل‌باد انزلی

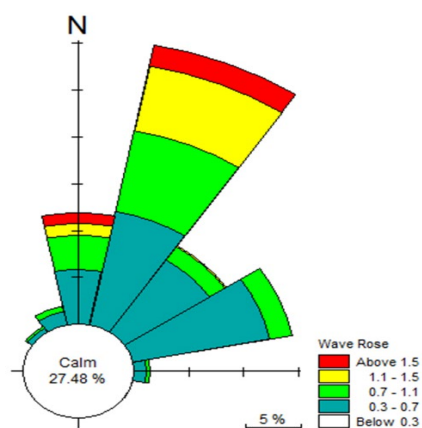


Fig. 6 Wind rose of Anzali  
شکل ۶ گل موج انزلی

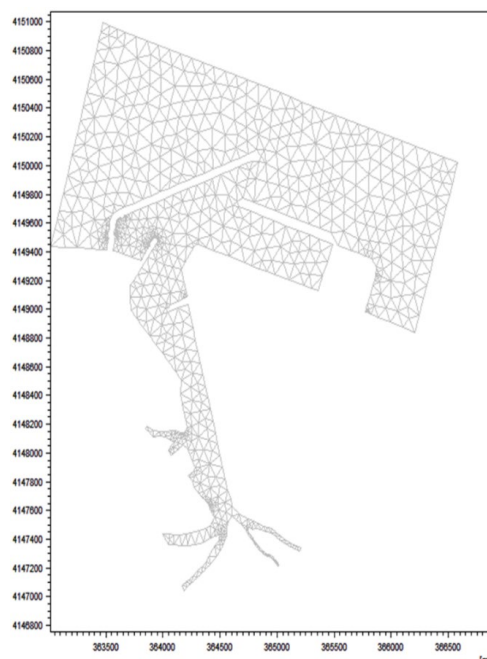
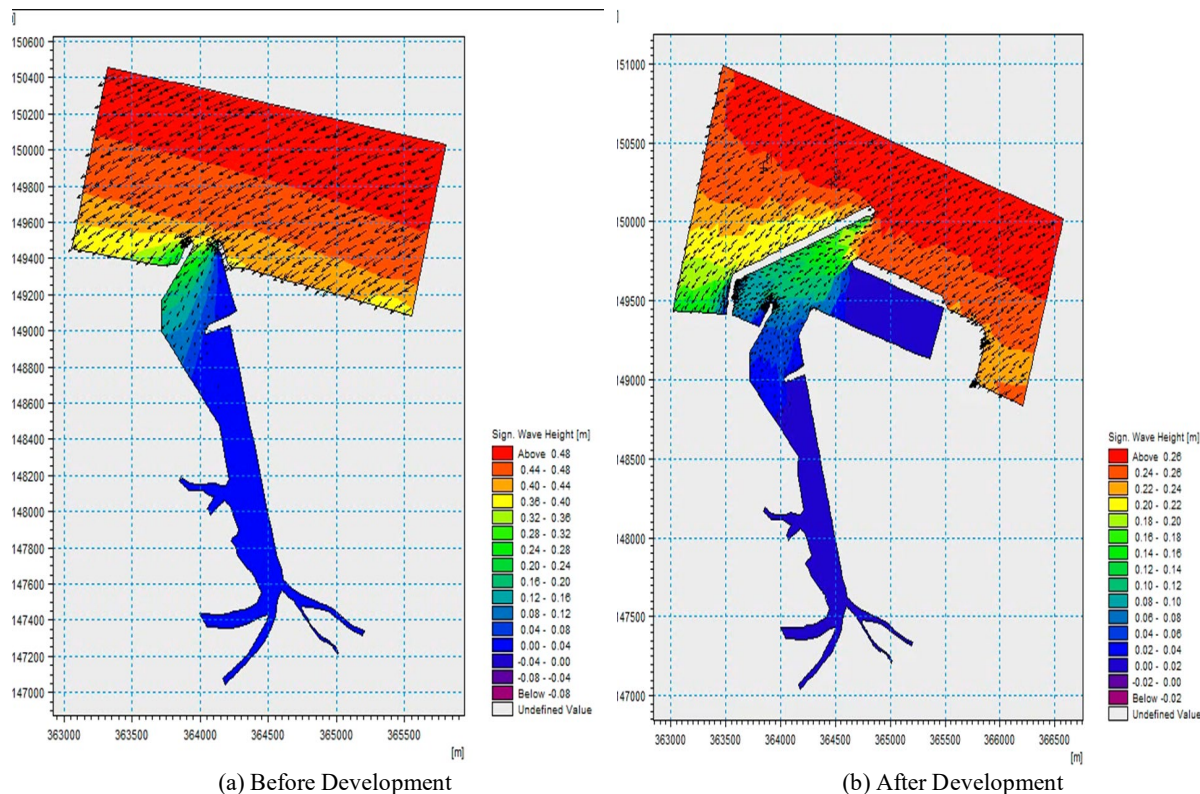


Fig. 4 Mesh after development  
شکل ۴ شبکه‌بندی بعد از توسعه

مدل امواج بوده است. با توجه به نمونه برداری‌های صورت گرفته روی رسوبات منطقه مورد مطالعه توسط موسسه تحقیقات امور آب سازمان بنادر و دریانوردی غالب رسوبات در این محدوده از نوع ماسه‌ای تشخیص داده شد؛ بنابراین در این قسمت برای مدل‌سازی جریان رسوبات از زیرمدل

برای مدل‌سازی عددی جریان، مانند امواج از نرم‌افزار MIKE 21 استفاده شده، زیرمدل مورد استفاده مدل جریان (Flow Model FM) بوده است. این مدل مبتنی بر رویکرد مش انعطاف پذیر است و با استفاده از روش حجم محدود کار می‌کند و ورودی آن تنش تشعشعی دریافت شده از



(a) Before Development

(b) After Development

**Fig. 7** The direction of the waves in the port basin of Anzali

شکل ۷ جهت امواج در محدوده حوضچه بندری انزلی

رسیده است، سمت چپ آن فرسایش رخ داده و سمت راست مقدار به بیش از  $0/001$  رسیده است. در نهنگ روگا بخش بحرانی (بزرگتر از  $0/004$ ) در یک ناحیه کوچک رخ داده اما بخش‌های با مقدار بیش از  $0/002$  و  $0/003$  نیز به مرکز آن دیده می‌شود. محل اتصال پیربازار روگا و سوسر روگا نیز دارای بخش قابل توجهی از مقدار تغییر بستر روزانه بیش از  $0/003$  می‌باشد. همچنین در محل اتصال این چهار رود بخشی بزرگ با مقدار بیش از  $0/001$  و در میان آن بخش کوچکتری با مقدار بیش از  $0/003$  در هر روز قابل ملاحظه است. با این حال شنبه بازار روگا در بخش شرقی مقدار رسوب‌گذاری قابل توجهی را از خود نشان نمی‌دهد.

با توجه به شکل ۸-ب درجه تغییر بستر روزانه بعد از توسعه در اکثر نواحی حوضچه بندر در حدود  $0/001$  متر در هر روز است و تنها مرزهای جنوبی و بخشی از مرز شرقی (قسمتی از شنبه بازار روگا) مقادیر بزرگتری را نمایش می‌دهند به صورتی که در بخشی از محل اتصال نهنگ روگا

انتقال رسوبات ماسه‌ای<sup>۱</sup> استفاده شد. مدل‌سازی رسوبات در دو مدل جداگانه برای قبل و بعد از توسعه بندرانزلی صورت گرفت. در این پژوهش هدف بررسی تاثیر موج‌شکن‌های جدید انزلی بر تغییر شرایط تالاب انزلی است؛ بنابراین تغییر در رسوبات با تمرکز بر بخش مرزی بین تالاب و حوضچه بندری یعنی ورودی روگاها در جنوب و شرق مدل برای قبل و بعد از توسعه بدست آمد. خروجی تغییر درجات رسوب‌گذاری منطقه مورد مطالعه برای قبل و بعد از توسعه، به ترتیب در شکل ۸-الف و ب نمایش داده شده است. همچنین غلظت رسوبات معلق قبل و بعد از توسعه به ترتیب در شکل ۹-الف و ب از مدل در زمانی یکسان نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۸-الف درجه تغییر بستر روزانه قبل از توسعه در اکثر نواحی حوضچه بندر کمتر از  $0/001$  متر در هر روز است و تنها مرزهای جنوبی مدل مقادیر بزرگتری را نمایش می‌دهند به صورتی که در بخش بسیار کوچکی از نهنگ بزرگ روگا این به مقدار به بیش از  $0/003$

<sup>1</sup> Non-Cohesive Sediment Transport

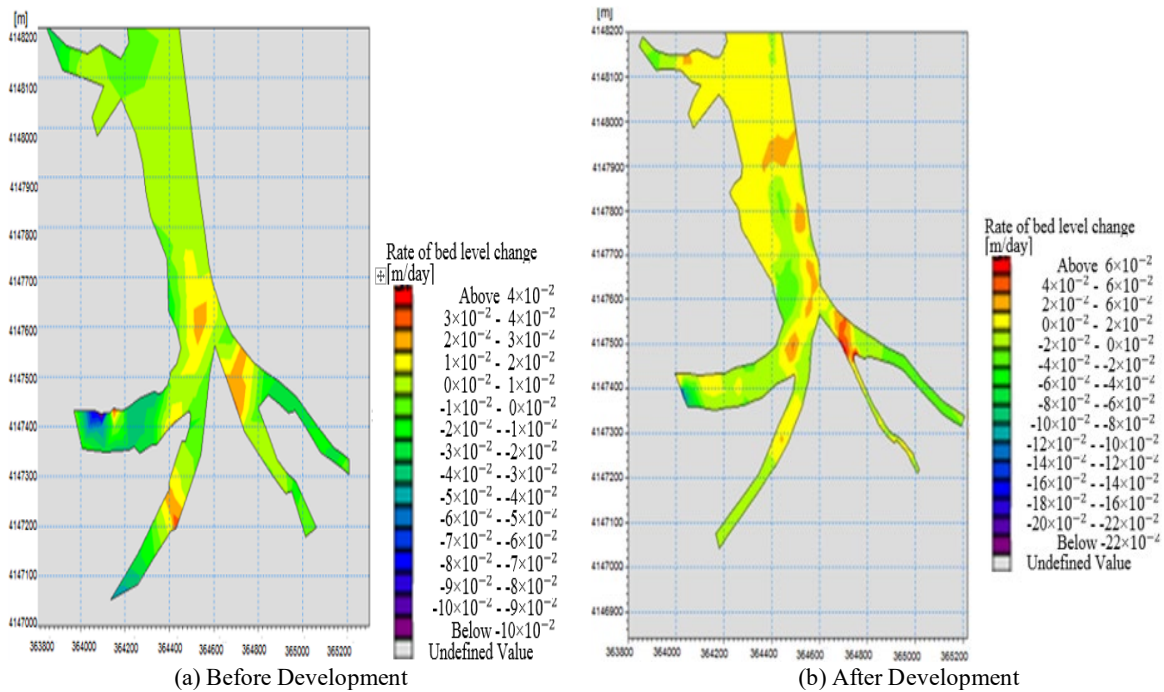


Fig. 8 Bed level change

شکل ۸ درجه تغییر بستر روزانه بندرانزلی

مترمکعب است. در محل ورود شنبه بازارروگا به حوضچه آرامش مقدار غلظت رسوبات معلق ۰/۸ گرم بر مترمکعب است اما در فاصله دورتر از محل اتصال این مقدار در حدود ۱ گرم بر مترمکعب است. با توجه به شکل ۹-ب غلظت رسوبات معلق بعد از توسعه در اکثر نواحی حوضچه بندر در حدود ۰ تا ۱/۵ گرم بر مترمکعب است. و تنها مرزهای جنوبی و بخشی از مرز شرقی (قسمتی از شنبه بازار روگا) مقادیر بزرگتری را نمایش می دهند به صورتی که در بخشی از محل اتصال چهار روگا جنوبی مقادیر ۶ گرم بر مترمکعب است، در طول حدودا ۳۰۰ متری از سوسر روگا مقدار رسوبات معلق بیش ۴ گرم بر مترمکعب است که در ۱۰۰ متر از این طول به ۱۳ رسیده است و بخش حدود ۱ متری از آن مقدار ۱۵ گرم بر مترمکعب را نشان می دهد. پیربازار و نهنگ بزرگ روگا مقادیر قابل توجهی از غلظت را گزارش نمی کنند و در بیشتر طول نهنگ روگا غلظت رسوبات معلق حدود ۴ گرم بر مترمکعب است. در بخش شرقی مدل و محل اتصال شنبه بازار روگا به حوضچه آرامش مقدار غلظت رسوبات در حدود ۳ گرم بر مترمکعب است.

مقادیر بیشتر از ۰/۰۲ است، که در مرکز آن مقادیر به ۰/۰۴ نیز رسیده است. محل اتصال پیربازار روگا و سوسر روگا نیز دارای بخش قابل توجهی از مقدار تغییر بستر روزانه بیش از ۰/۰۲ و ۰/۰۴ می باشد. همچنین در امتداد این چهار رود بخشی با مقدار بیش از ۰/۰۲ متر در هر روز قابل ملاحظه است. همچنین شنبه بازار روگا در بخش شرقی مدل مقدار رسوب گذاری بیش از ۰/۰۲ را در بخش بسیار کوچکی نشان می دهد. با توجه به شکل ۹-الف مقدار غلظت رسوبات معلق قبل از توسعه در اکثر نواحی حوضچه بندر در حدود ۰/۸ گرم بر مترمکعب است و تنها مرزهای جنوبی و بخشی از مرز شرقی (قسمتی از شنبه بازار روگا) مقادیر بزرگتری را نمایش می دهند به صورتی که در بخشی از محل اتصال نهنگ بزرگ و نهنگ روگا مقادیر بین ۶ تا ۸ گرم بر مترمکعب است. در سوسر روگا، نزدیک به محل اتصال آن به پیربازار روگا این مقدار به ۱۲ گرم بر مترمکعب می رسد. در محل اتصال سوسر و پیربازار روگا مقدار حدود ۴ گرم بر مترمکعب می باشد. در بیشتر طول نهنگ روگا مقدار غلظت رسوبات معلق بین ۴ تا ۸ گرم بر مترمکعب و در نهنگ بزرگ روگا بین ۲ تا ۸ گرم بر

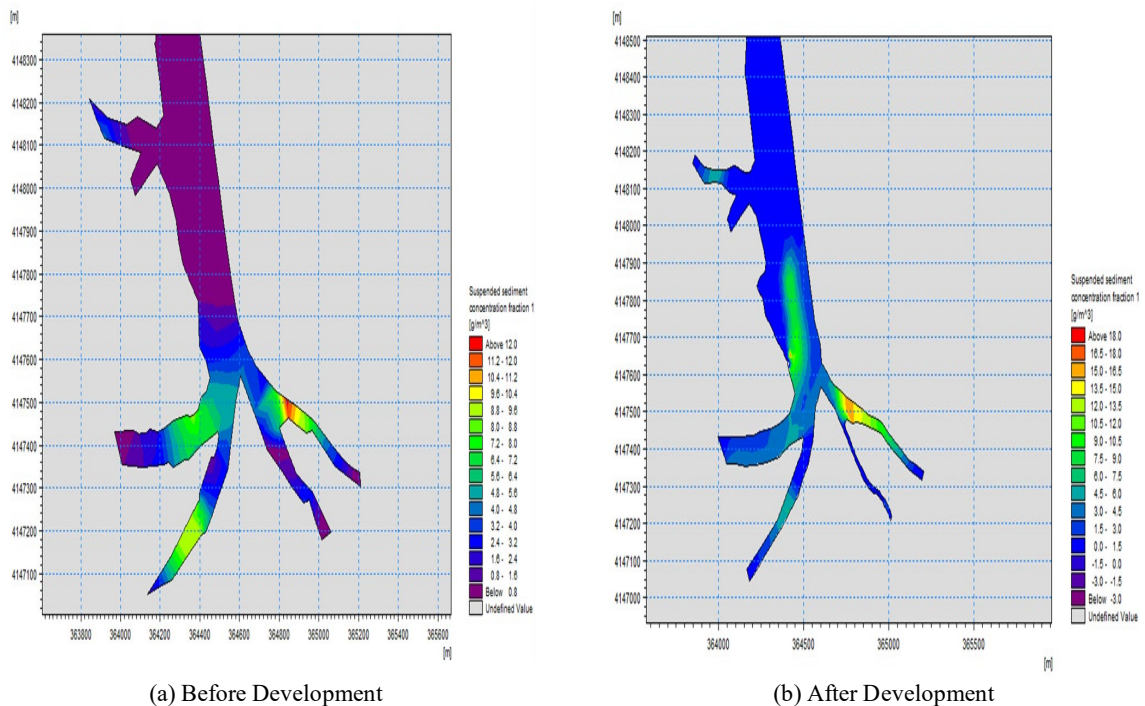


Fig. 9 Suspended load magnitude  
شکل ۹ غلظت رسوبات معلق

امواج و دبی ورودی از سمت روگایا یکسان در نظر گرفته شده و تنها تفاوت وجود موج‌شکن‌های جدید در مدل‌سازی دوم است، بنابراین این امر می‌تواند در تغییرات ایجاد شده در روند انتقال جریان از سمت تالاب به دریا موثر باشد.

با توجه به کوچک بودن این مقدار، ساخت موج‌شکن‌های جدید تمام آنچه را که در طول سال‌های گذشته از روند تخریبی تالاب برداشت شده را نمی‌تواند پاسخ دهد و جهت شناسایی علل اصلی تخریب تالاب در چند سال گذشته نیاز به بررسی سایر عوامل تاثیرگذار بر این پهنه آبی مانند تغییر تراز آب دریا و آوردهای رودخانه‌ای است.

#### ۵- فهرست علائم

عمق مقطع جریان $Y (m)$	$Q (\frac{m^3}{s})$	دبی جریان
عرض مقطع جریان $B (m)$	$A (m^2)$	سطح مقطع جریان
	$V (\frac{m}{s})$	سرعت جریان

#### ۴- نتیجه‌گیری

سطوحی که نسبت به قبل از توسعه بندر دچار افزایش در رسوب‌گذاری روزانه در شرایط بعد از توسعه هستند، به شرح زیر می‌باشند:

- ♦ بخش‌های از شنبه بازار روگا که این روگا قبل از توسعه تقریباً انباشت رسوبی قابل توجهی نداشته است.
- ♦ محل اتصال نهنگ روگا و نهنگ بزرگ روگا
- ♦ محل اتصال پیربازار روگا و سوسر روگا
- ♦ بخش جنوبی مدل یعنی محل اتصال نهنگ روگا، پیربازار روگا و سوسر روگا

از نظر غلظت رسوبات تنها طول ۳۰۰ متری از سوسر روگا افزایش مقدار رسوبات معلق را گزارش می‌دهد.

باتوجه به افزایش در حجم رسوب می‌توان نتیجه گرفت که روند انتقال جریان از سمت تالاب به دریا با مشکل جزئی مواجه شده است و با در نظر گرفتن این نکته که در دو مدل‌سازی تمام شرایط از جمله باد، امواج، جریان ناشی از

wetland. Paper presented at the International Conference on Environmental Science, Engineering, and Technology, Tehran, Iran, [in Persian].

Noujas V, Kurian K. 2015. coastal Hydrodynamics and sediment Transport Regime in the central kerala coast in comparison to south kerala. Cochin University of Science and Technology.

Phillips OM. 1957. On the generation of waves by turbulent wind. *Journal of fluid mechanics*, **2**(5):417-445.

Sakhaee F, Khalili F. 2021. Sediment pattern & rate of bathymetric changes due to construction of breakwater extension at Nowshahr port. *Journal of Ocean Engineering and Science*, **6**(1):70-84.

Sverdrup HU, Munk WH. 1947. Wind, sea and swell: Theory of relations for forecasting. vol 601. Hydrographic Office,

Tang J, Lyu Y, Shen Y, Zhang M, Su M. 2017. Numerical study on influences of breakwater layout on coastal waves, wave-induced currents, sediment transport and beach morphological evolution. *Ocean Engineering*, **141**(375-387).

## References

## منبع‌ها

Bohlooli A, Badie P, Zaker H. 2005. Two-and-three dimensional modeling of sediment in Anzali port. Paper presented at the Sixth International Conference on Coasts, Ports and Marine Structures Tehran, Iran, [in Persian].

El-Asmar HM, White K. 2002. Changes in coastal sediment transport processes due to construction of New Damietta Harbour, Nile Delta, Egypt. *Coastal Engineering*, **46**(2):127-138.

Gelci R. 1957. Prévision de la houle. La méthode des densités spectroangulaires. *Bull Inform Comité Central Oceanogr d'Etude Côtes*, **9**(416-435).

Hasselmann K. 1974. On the spectral dissipation of ocean waves due to white capping. *Boundary-Layer Meteorology*, **6**(1):107-127.

Miles JW. 1957. On the generation of surface waves by shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, **3**(2):185-204.

Nezamivand Chegini AH, Haghazari H. 2015. Comparative study of sediment transfer rate from Pir Bazaar river based on laboratory and field model and its effect on the environmental life of Anzali