

شبیه‌سازی جریان‌های کرانه‌ای با استفاده از مدل عددی MIKE 21

بررسی موردی: منطقه کياشهر

مهدی اسماعیلی^۱، سید علی آزرمسای^{۲*} و علی کریمی خانیکی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس و عضو هیئت علمی دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، ایران

^۲ دانشیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

^۳ عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

(دریافت: ۸۵/۱۲/۸، پذیرش نهایی: ۸۷/۱/۱)

چکیده

اولین قدم در جهت شناخت عوامل تأثیرگذار بر محیط‌های دریایی و نواحی ساحلی، تعیین الگوی امواج و جریان‌های ساحلی است. در مناطق ساحلی، امواج و جریان‌ها نقش مهمی در تعیین هندسه و شکل سواحل بازی می‌کنند. در این تحقیق، الگوی جریان‌های کرانه‌ای به کمک مدول هیدرودینامیکی برای حالات قبل و بعد از احداث جت‌ها در دهانه مرداب کياشهر شبیه‌سازی شده است. برای این منظور از بسته نرم‌افزاری MIKE 21 استفاده شده است. سامانه مدل‌سازی کاربردی MIKE 21 چندین مدول جداگانه را دربر می‌گیرد. مدول استفاده شده در این بررسی، مدول هیدرودینامیکی (MIKE 21 HD) است که حرکات آب را در مناطق ساحلی محاسبه می‌کند. نتایج این تحقیق نشان‌دهنده آن است که جریان‌های ناشی از امواج شرقی در مقایسه با امواج شمالی، شمال غربی و شمال شرقی تأثیر بیشتری بر دهانه مرداب می‌گذارند. همچنین مقایسه جریان‌های کرانه‌ای برای دو حالت روشن ساخت که با احداث جت‌ها، سرعت جریان‌ها در اطراف ورودی مرداب حدود ۳۵ درصد کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: مدل عددی، هیدرودینامیک، کياشهر، MIKE 21

Longshore currents simulation using MIKE 21 numerical model Case study: Kiashahr Zone

Esmaeili, M¹., Azarmsa, S. A². and Karami Khaniki, A³.

¹Graduate in Physical Oceanography, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Member of Scientific Board of Chabahar Maritime University, Iran

²Associate Professor of Physical Oceanography, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

³Member of Scientific Board of Soil Conservation and Watershed Management Research Center, Tehran, Iran

(Received: 27 Feb 2007, Accepted: 20 Jan 2009)

Abstract

INTRODUCTION: Determination of waves and the pattern of coastal currents is the first step in finding the effective physical factors on marine environments and coastal regions. Moreover, wave induced currents play important roles in the determination of geometry and shape of coasts. In this research, patterns of longshore currents are simulated for situations before and after construction of jetties on the mouth of the Kiashahr lagoon. Construction of jetties may lead to change in the pattern of coastal currents not only near the entrance of the lagoon, but also in the adjacent areas. Therefore, a precise study is necessary to understand and prevent the possible impact of the jetties on the study area. For this purpose, MIKE 21 software package was used to simulate patterns of longshore

currents before and after construction of the jetties. The field measurements in the Kiashahr coastal area are also used for calibration of the model parameters. Besides, the results of this study can be used for other related research works on sediment transport, water quality, etc. in the study area.

Material and Methods: Kiashahr fishing harbor is located in the northwestern part of the Iranian coast of the Caspian Sea at geographical coordinates on the $39^{\circ} 57'$ E and $37^{\circ} 26'$ N. Kiashahr harbor and Kiashahr lagoon are situated on the east side of Sefid Rud river, which is the most important river in the southern part of the Caspian Sea (Figure 1).

The Model: The applied modeling system MIKE 21 consists of several separate modules. In this study, the hydrodynamic module (MIKE 21 HD) is used to calculate the water movements in the Kiashahr coastal area. MIKE 21 HD is the basic computational hydrodynamic module of the entire MIKE 21 system, providing the hydrodynamic basis for other MIKE 21 modules such as for Advection-Dispersion (AD), Particle tracking (PA) and Sediment Transport (ST, MT). HD module simulates the water level variations and flows in response to a variety of forcing functions in lakes, estuaries, bays and coastal areas. The water levels and flows are resolved on a rectangular grid covering the area of interest.

MIKE 21 HD includes formulations for the effects of; convective and cross momentum, bottom shear stress, wind shear stress at the surface, barometric pressure gradients, coriolis forces, momentum dispersion, wave-induced currents, sources and sinks (mass and momentum), evaporation, flooding and drying.

The equations for the conservation of mass and momentum (x and y directions) are integrated over depth to describe the flow and water level variations. The equations are solved by implicit finite difference techniques with the variables defined on a space staggered rectangular grid.

Run of the MODEL: The first step in the simulation of longshore currents is selection of the run extents in the hydrodynamic module (set up of the regional model). Dimension and extents of regional model depend on boundary situation and model boundary conditions. In addition, accuracy of available hydrographic maps is effective on determination of regional model extents. It is necessary to firstly run nearshore spectral waves module (NSW) and calculate the radiation stress data to use as input in the HD model. For each section (before and after construction of the jetties) 50 regional models in the Kiashahr marine area were set up to simulate littoral current velocities using the mud transport module (Table 1).

RESULTS: Figures 1 and 2 show the simulation results obtained for the representative cases before and after the construction of jetties. In these figures, vectors indicate direction and size of longshore currents.

Based on the model results, construction of jetties has not considerably influenced the general pattern of littoral currents in the Kiashahr Zone.

For the purpose of comparison, some stations are considered in the model area and variations in littoral current velocities are investigated for conditions of before and after the construction of jetties (figures 3 and 4).

The results presented in this study show that the currents due to easterly waves have more influence on the mouth of lagoon. In addition, comparison of patterns for both situations indicated that after the construction of jetties, current speed around the lagoon entrance (Stations P6, P8 and P9) was reduced about 35 percent so that the harbor entrance has become a calm place.

Key words: Numerical modeling, Hydrodynamic module, Kiashahr, MIKE 21

۱ مقدمه

نتیجه این کار را با تصاویر از راه دور مقایسه کردند. ایشان شبه‌سازی را در طول جزر و مد‌های متفاوت عملی ساختند و به وابستگی معنی‌داری بین شبه‌سازی عددی با تصاویر موجود رسیدند. از آنجا که برای اجرای مدل هیدرودینامیکی لازم است تا قسمت امواج (NSW) آن اجرا شود، لذا از اطلاعات خروجی مدل NSW در حکم ورودی در مدل HD مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نهایت با رسم نمودار سرعت جریان برای حالات گوناگون ارتفاع موج مشخصه (Significant Wave Height, H) به تأثیر آنها در مورفولوژی ساحلی پرداخته می‌شود (هانتلی و دیویدسن، ۲۰۰۲).

بابو و همکاران (۲۰۰۵) در تحقیقی با استفاده از مدل هیدرودینامیکی مدل عددی MIKE 21، به شبه‌سازی جریان‌های جزرومدی در خلیج کاجه (Kachchh) واقع در جنوب غربی هندوستان اقدام کردند. نتایج مدل با استفاده از اطلاعات میدانی جریان و فاکتورهای واسنجی؛ ضریب اصطکاک باد برابر با 0.026 ، عدد مانینگ $38 m^{1/3} \cdot s^{-1}$ و لزجت چرخشی (Eddy Viscosity) $0.5 m^2 \cdot s^{-1}$ واسنجی (کالیبره) شد. این تحقیق روشن ساخت که نیروی باد نقش مهمی در تعیین هیدرودینامیک و انتقال رسوب منطقه بازی می‌کند. به طوری که برای بادهای جنوب غربی در طی ماه‌های ژانویه و ژوئیه سرعت جریان‌های مدی در حدود ۲۰ درصد افزایش و سرعت جریان‌های جزری نیز به همین میزان کاهش می‌یابد (بابو و همکاران، ۲۰۰۵).

کرمی خانیکی و همکاران (۱۳۸۳ الف وب) تغییرات ایجاد شده در الگوی موج و جریان فصلی دریاچه ارومیه را در اثر احداث بزرگراه شهید کلاتری مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، الگوی کلی موج و جریان با استفاده از مدل‌های NSW و HD نرم‌افزار MIKE 21 و اطلاعات

تعیین الگوی جریان در کنار الگوی موج در دریا، خلیج و نواحی ساحلی، نخستین قدمی است که برای هرگونه بررسی و فعالیتی در جهت شناخت عوامل تأثیرگذار بر رفتار و شرایط موجود صورت می‌گیرد (کرمی خانیکی و همکاران، ۱۳۸۳). البته اندازه‌گیری‌های میدانی دقیق‌ترین روش برای دستیابی به الگوی جریان‌های یک منطقه است، ولی هنگامی که تعیین الگوی جریان‌ها در منطقه‌ای وسیع مورد نظر، باشد روش اندازه‌گیری میدانی به تنهایی قادر به پاسخگویی نخواهد بود. هزینه زیاد اندازه‌گیری، آن هم در محدوده‌ای وسیع و نیز وقت گیر بودن چنین اندازه‌گیری‌هایی، استفاده از مدل ریاضی را ضروری می‌سازد.

بررسی الگوی جریان در منطقه کیشهر از اهمیت خاصی برخوردار است و چنین تحقیقی می‌تواند پایه‌ای برای سایر بررسی‌های وابسته، مانند بررسی کیفیت آب و انتقال رسوب در نظر گرفته شود. در اینجا فرضیه‌ها و نتایج تعدادی از بررسی‌های صورت گرفته در زمینه هیدرولیک و هیدرودینامیک به طور مختصر بیان می‌شود.

کریستین و کنی (۲۰۰۱) در تحقیقی، جریان‌های ناشی از جزر و مد و امواج را در خلیج هارکی (Haurki) نیوزیلند به کمک مدل هیدرودینامیکی MIKE 21 شبه‌سازی کردند. در این تحقیق از الگوی باد منطقه (گلباد) استفاده شد و خروجی مدل در نرم‌افزار MATLAB مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. براساس نتایج، سرعت جریان حدود $30 cm \cdot s^{-1}$ محاسبه شد (کریستین و کنی، ۲۰۰۱).

هانتلی و دیویدسن (۲۰۰۲) در تحقیقی با به دست آوردن توپوگرافی سطح آب و مدل کردن آن با مدل‌های هیدرودینامیکی (HD) و امواج (NSW) مدل عددی MIKE 21 به بررسی مورفولوژی ساحلی در خلیج تیگنموت (Teignmouth) انگلستان پرداختند و

باعث پایداری دهانه و جلوگیری از تغییر مکان آن می‌شوند. این سازه‌ها از خط ساحل شروع می‌شوند و تا عمق مشخصی در داخل دریا پیشروی می‌کنند. از آنجا که احداث جتی‌ها در دهانه مرداب کیشهر باعث تغییر در الگوی جریان‌های منطقه ساحلی مجاور آن شده است، بررسی دقیق بررسی این منطقه، راهی برای جلوگیری از تأثیرات منفی سازه‌های احداث شده خواهد بود. در این تحقیق روش دستیابی به الگوی جریان‌های کرانه‌ای در منطقه کیشهر به کمک مدول هیدرودینامیکی و واسنجی آن براساس اندازه‌گیری‌های به‌عمل آمده در شرایط قبل و بعد از احداث جتی‌ها مدنظر است.

۲ مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد بررسی

بندر صیادی کیشهر در استان گیلان و در ۵۱ کیلومتری شهرستان رشت واقع شده است. موقعیت جغرافیایی آن ۳۹ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی است. این بندر در واقع در مجاورت مردابی است که به‌طور طبیعی در ضلع شرقی رودخانه سفیدرود و در کنار دریا به‌وجود آمده است (بی‌نام، ۱۳۷۵). رودخانه سفیدرود که مهم‌ترین رودخانه حوزه جنوبی دریای خزر است با طول حدود ۷۸۰ کیلومتر، وسعت حوزه آبریز ۶۵۰۰۰ کیلومتر مربع و میانگین سالانه آورد ۵۲۰۰ میلیون متر مکعب، در منطقه مورد بررسی قرار دارد (الرمضان و همکاران، ۱۳۸۰). شکل ۱ موقعیت منطقه کیشهر را نشان می‌دهد.

۲-۲ مدول هیدرودینامیکی بسته نرم‌افزاری MIKE

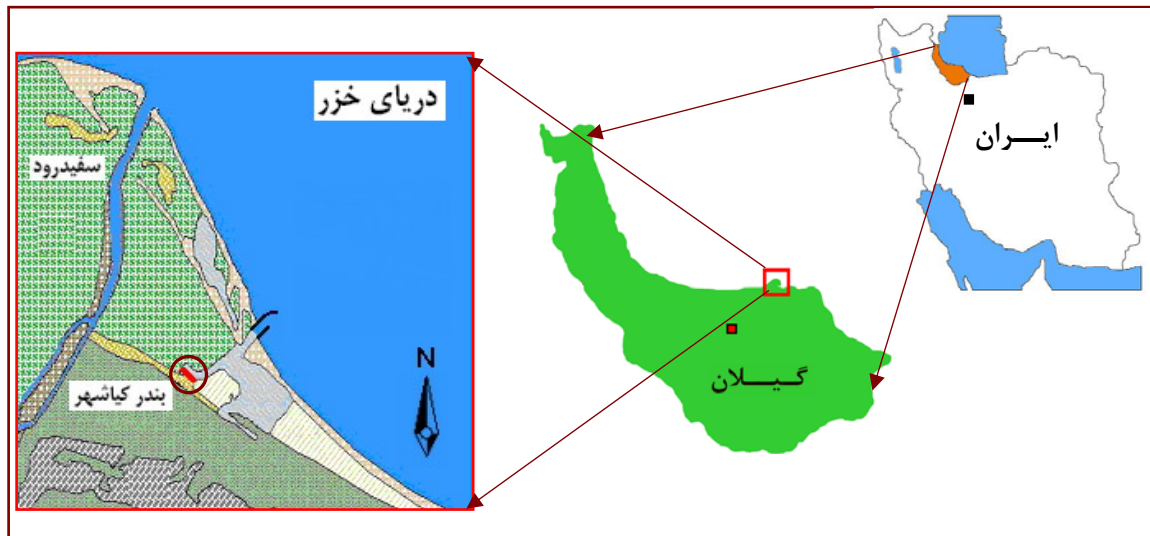
21

مدل عددی MIKE 21 که مؤسسه DHI (Danish Hydraulic Institute) تهیه کرده، نرم‌افزاری است برای مدل‌سازی دوبعدی جریان‌های دارای سطح آزاد که امکان

تهیه شده از آمار باد ثبت شده ایستگاه هواشناسی ارومیه، برای فصول متفاوت در دو حالت قبل و بعد از احداث بزرگراه شبیه‌سازی شده است. نتایج این تحقیق روشن ساخت که بعد از احداث بزرگراه، از ارتفاع امواج در منطقه مجاور آن کاسته شده، به طوری که در فصول زمستان و بهار ارتفاع امواج در مجاورت بزرگراه نسبت به قبل از آن، حداقل ۲۵ درصد کاهش یافته است. همچنین احداث بزرگراه باعث تغییراتی در الگوی جریان در محدوده مرکزی دریاچه می‌شود ولی این تغییرات محلی است و نقاط دور از بزرگراه را متأثر نمی‌سازد (کرمی خانیکی و همکاران، ۱۳۸۳ الف).

توفیقی و همکاران (۱۳۸۵) در مطالعه‌ای به شبیه‌سازی دوبعدی هیدرودینامیک دریاچه ارومیه برای تعیین الگوی جریان پرداختند. در این تحقیق، هیدرودینامیک دریاچه با نرم‌افزار MIKE 21 به صورت دوبعدی در سطح صورت گرفته و الگوی جریان در یک سال شاخص در شرایط محیطی تعیین شده است. با توجه به مقادیر سرعت و تراز آب به‌دست آمده، مدل دوبعدی برای هیدرودینامیک دریاچه مدل مناسبی عنوان شده است. همچنین در شرایط متعارف، باد اصلی‌ترین عامل به‌وجود آورنده جریان‌ها بوده و برای به‌دست آوردن پارامترهای طراحی وابسته به جریان در دریاچه، توجه به آن ضروری است (توفیقی و همکاران، ۱۳۸۵).

در دهانه مرداب کیشهر تداخل جریان ورودی با جریان‌های کرانه‌ای باعث رسوب‌گذاری و کم‌عمق شدن دهانه می‌شود. برای جلوگیری از این پدیده و هدایت جریان‌های ورودی به قسمت‌های عمیق دریا در طرفین دهانه ورودی، سازه‌هایی به نام جتی (Jetty) به موازات جریان ورودی و عمود بر ساحل احداث شده‌اند. جتی‌ها سازه‌هایی باریک با طول و ارتفاع متفاوت هستند که معمولاً عمود بر ساحل احداث می‌شوند، دهانه کانال ورودی را در مقابل امواج و جریان‌ها محافظت می‌کنند و



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه کیشهر.

۷- جریان‌های ایجاد شده با موج

۸- چشمه و چاه‌ها (مانند رودخانه‌ها)

۹- تبخیر و بارش

۱۰- تر و خشک شدن مرزها

معادلات حاکم در مدول HD، معادله پایداری جرم و معادله‌های تکانه در جهت‌های x و y هستند که این معادلات با گسسته‌سازی به روش تفاضل متناهی روی یک شبکه دوبعدی پیشنهادی حل می‌شوند. الگوریتم گام‌برداری زمانی (Time stepping) در این مدول از نوع اویلر پیشرو (Forward Euler) است. خروجی‌های مدول در میدان حل مسئله شامل تراز آب و تغییرات سرعت متوسط در عمق است که به صورت گرافیکی نشان داده می‌شوند. همچنین اطلاعات لازم برای اجرای سایر مدول‌هایی که مدول هیدرودینامیک اساس آن است، تهیه می‌شوند (راهنمای مایک ۲۱، ۲۰۰۳).

امواج پس از رسیدن به منطقه کم‌عمق ساحلی، تحت تأثیر شکست و شرایط کم‌عمقی قرار می‌گیرند و سرانجام می‌شکنند. در اثر شکست امواج در این ناحیه و تغییرات تنش‌های تابشی، دو جریان یکی به موازات ساحل و

شبیه‌سازی هیدرولیک و پیش‌بینی پدیده‌ها در دریاچه‌ها، سواحل، خلیج‌ها و نواحی دریایی که در آنها لایه‌بندی جریان قابل صرف‌نظر کردن (فرض همگنی در عمق) است، را دارد. ساختار این مدول برای هیدرولیک سواحل و اقیانوس‌شناسی، هیدرولیک محیطی، فرایند انتقال رسوب و امواج طراحی شده است. این مدول از مدول‌های متعددی نظیر (Nearshore Spectral Wind-Wave Module) NSW، (Offshore Spectral Wind-Wave Module) OSW، (Sand Transport Module) MT و (Mud Transport Module) (Module) جهت شبیه‌سازی پدیده‌ها استفاده می‌کند، که هر یک از این مدول‌ها برای کاربرد خاصی طراحی شده‌اند. در این تحقیق از مدول (Hydrodynamic Module) HD استفاده شده است. در مدول‌سازی هیدرودینامیک می‌توان عوامل زیر را در نظر گرفت:

۱- تکانه موجود و وارد شده به محیط

۲- تنش اصطکاکی کف

۳- تنش اصطکاکی باد در سطح

۴- گرادیان فشار جو

۵- نیروی کوریولیس

۶- لزجت یا گران‌روی

زمان گرم شدن مدل یک ساعت انتخاب شده است.

در همه مدل‌هایی که با روش تفاضل متناهی کار می‌کنند، پایداری و همگرایی مدل به مشخصات پارامترهای خاصی همچون گام زمانی و گام مکانی مدل بستگی دارد. در مدول هیدرودینامیک، عدد شاخصی برای تعیین شرایط پایداری مدول، تعریف شده است. این عدد که عدد کورانت (Courant Number) نام دارد، به منظور دستیابی به پایداری کامل، باید حدود ۱ در نظر گرفته شود. در مواردی که تغییرات توپوگرافی شدید نباشد، با عددهای کورانت ۵ و ۶ نیز می‌توان به پایداری مطلوب رسید.

عدد کورانت بر طبق روابط زیر قابل محاسبه است:

$$C_R = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (۴)$$

$$c = \sqrt{gh} \quad (۵)$$

که در آن g شتاب گرانی، h عمق آب، c سرعت امواج، Δx گام مکانی در جهت x و Δt گام زمانی است (راهنمای مایک ۲۱، ۲۰۰۳). در شبیه‌سازی جریان‌های کرانه‌ای در منطقه کیشهر حداکثر عمق ۳۰ متر، گام زمانی ۱۰ ثانیه و Δx برابر با ۵۰ متر و عدد کورانت حاصل برابر با ۳٫۴ لحاظ شده است (هاتلی و دیویدسن، ۲۰۰۲ و راهنمای مایک ۲۱، ۲۰۰۳).

وقتی باد روی منطقه مدل می‌وزد و امواج را به وجود می‌آورد، اصطکاک بین باد و سطح آب باعث ایجاد تنش در کل عمق می‌شود. سهم تکان ناشی از امواج که در معادلات پیوستگی و تکان اضافه می‌شود، به مثابه تنش تابشی (Radiation Stresses) معرفی شده است. در واقع تنش‌های تابشی نه تنش (یعنی از جنس نیرو بر واحد سطح هستند) و نه نیرو، بلکه نیرویی در واحد سطح‌اند که از انتگرال‌گیری تنش در کل عمق به دست می‌آیند. این تنش‌ها باعث ایجاد جریان در منطقه می‌شوند. از آنجا که

دیگر عمود بر ساحل پدید می‌آید. علت اصلی همه جابه‌جایی‌ها رسوب در سواحل همین مؤلفه در امتداد ساحل جریان، یعنی جریان کرانه‌ای است (ثابت‌عهد جهرمی، ۱۳۷۸) که در این تحقیق به آن پرداخته می‌شود.

۲-۳ اجرای مدل

انتخاب محدوده اجرای مدل و یا به عبارت دیگر طراحی مدل منطقه‌ای، گام نخست در بررسی‌های این بخش است. ابعاد و محدوده مدل منطقه‌ای به محل قرارگیری مرز و وجود اطلاعات مرزی مدل بستگی دارد. علاوه بر این دقت نقشه‌های هیدروگرافی موجود در تعیین محدوده مدل منطقه‌ای مؤثر است. عوامل در نظر گرفته شده برای تحلیل منطقه کیشهر عبارت‌اند از:

- داده‌های باد به صورت سه ساعته از ایستگاه بندر انزلی به دلیل نزدیکی بودن به منطقه پس از اعمال تصحیح‌های لازم.

- دبی رودخانه سفیدرود که برای تعیین آن از اطلاعات ایستگاه آستانه استفاده شده است.

- هیدروگرافی منطقه کیشهر

انتخاب محدوده زمانی مناسب که نتایج حاصل در آن بازه، قابلیت تعمیم به زمان‌های دیگر را داشته باشد، بسیار مهم است. اصولاً در شبیه‌سازی بسیاری از پدیده‌ها، تعیین دقیق و جامع بعضی از مقادیر شرایط اولیه، بسیار مشکل و حتی غیر ممکن است. با توجه به این مسئله، چندین گام زمانی طول می‌کشد تا مدل، پس از اعمال شرایط مرزی، اثرات این شرایط خاص را در محدوده شبیه‌سازی شده، منعکس کند و به همگرایی مطلوب برسد. این تعداد گام زمانی، تحت عنوان مرحله گرم شدن مدل (Warm up) مطرح است. بنابراین با افزودن زمان کوتاهی به مدت زمان شبیه‌سازی برای عبور مدل از مرحله گرم شدن، حداقل طول زمانی برای شبیه‌سازی حاصل می‌شود. در تحقیق حاضر زمان شبیه‌سازی ۲۴ ساعت و

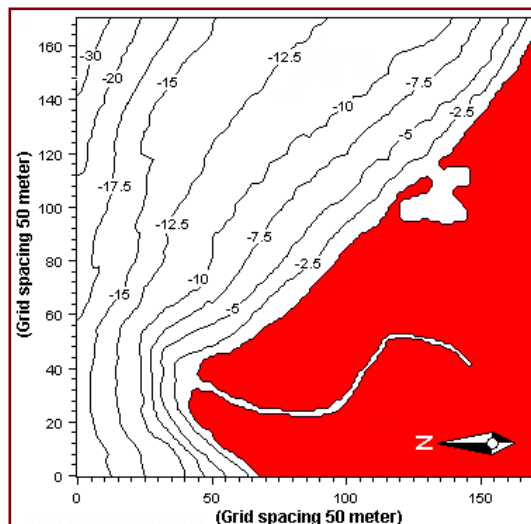
درجه) را می‌توان با فایل عمق‌سنجی مشابه (شکل ۲) شبیه‌سازی کرد. اما از آنجا که حداکثر زاویه بین جهت موج انتشاریافته با محور X ها می‌بایست از ± 60 درجه تجاوز نکند، برای شبیه‌سازی امواج شرقی (۹۰ درجه) نیاز است تا عمق‌سنجی مدل فوق، ۹۰ درجه در جهت پادساعت‌گرد چرخانده شود. این چرخش به وضوح در نتایج مربوط به امواج شرقی قابل مشاهده است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵).

همان‌طور که اشاره شد برای اجرای مدل HD لازم است تا ابتدا مدل NSW اجرا شود تا فایل‌های تنش‌های تابشی محاسبه شوند. این فایل‌های (*rad) درحکم ورودی در مدل HD به کار گرفته می‌شوند. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه اندازه‌گیری مشخصات امواج در منطقه طرح صورت نگرفته، برای تعیین مشخصات موج آب‌عمیق در منطقه (مورد استفاده در مدل NSW) به کمک آمار باد از روش SMB (Sverdup-Munk-) Bretchneider استفاده شده است.

برای اجرای مدل هیدرودینامیکی لازم است تا قسمت امواج (NSW) آن اجرا شود، لذا از اطلاعات خروجی مدل NSW حاوی تنش‌های تابشی درحکم ورودی در مدل HD استفاده می‌شود.

۲-۳-۱ اجرای مدل HD برای شرایط قبل از احداث جتی‌ها

برای عمق‌سنجی (Bathymetry) مدل در این حالت از نقشه منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ که سازمان نقشه‌برداری در سال ۱۳۷۲ استخراج کرد، استفاده شده است. نقشه فوق که با نرم‌افزار ILWIS رقومی شده و به صورت فایل xyz به برنامه MIKE 21 داده می‌شود. در این حالت شبکه‌ای با ابعاد 170×170 و گام مکانی ۵۰ متر در جهت‌های x و y در نظر گرفته شده است. وقتی که چندین جهت موج مشاهده می‌شود، بررسی نقشه هیدروگرافی برای هر جهت خاص، لازم است. چنانچه محور x مدل منطقه‌ای در راستای شمال-جنوب واقع شود، امواج شمال (صفر درجه)، شمال شرقی (۴۵- درجه) و شمال غربی (۴۵-



شکل ۲. نقشه عمق‌سنجی منطقه کباشهر قبل از احداث جتی‌ها.

مقیاس ۱:۵۰۰۰ استفاده شده که سازمان شیلات در سال ۱۳۸۲ استخراج کرده است. با احداث جتی‌ها هیدروگرافی منطقه تغییرات زیادی کرده و نیاز است تا فایل‌های عمق‌سنجی جدیدی طراحی شود. بعد از رقومی کردن نقشه با نرم‌افزار ILWIS، شبکه‌ای با ابعاد 170×170 و گام مکانی ۵۰ متر در جهت‌های x و y در نظر گرفته شد. نقشه عمق‌سنجی طراحی شده در شکل ۳ نشان داده شده است. در این قسمت نیز، به‌منظور شبیه‌سازی جریان‌های کرانه‌ای ناشی از امواج در منطقه کیشهر در حالت بعد از احداث جتی‌ها با استفاده از مدول HD ۵۰ مدل منطقه‌ای طراحی شد. اجرای مدول HD برای شرایط بعد از احداث جتی‌ها همانند شرایط قبل از احداث جتی‌هاست که در جدول ۱ نشان داده شده است، فقط با این تفاوت که فایل ورودی عمق‌سنجی منطقه و فایل تنش‌های تابشی تغییر می‌کنند.

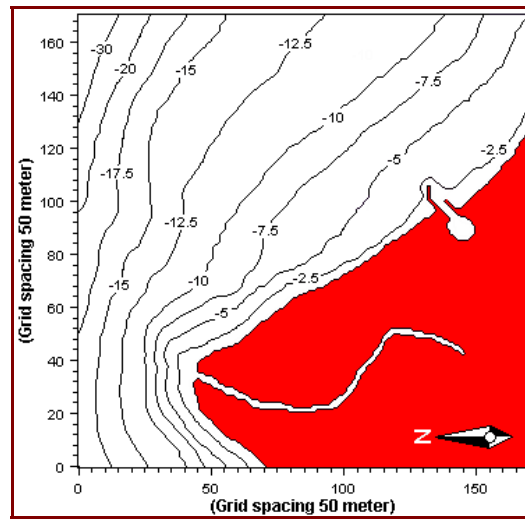
در این قسمت ۵۰ مدل منطقه‌ای برای شبیه‌سازی جریان‌های کرانه‌ای در منطقه کیشهر در حالت قبل از احداث جتی‌ها با استفاده از مدول HD طراحی شد. در جدول ۱، اجرای مدول HD در منطقه مدل به‌صورت موردی برای چندین حالت همراه با مشخصات فایل ورودی و فایل خروجی نشان داده شده است. خروجی مدول HD اندازه و جهت سرعت جریان‌های کرانه‌ای (hd.*) برای همه نقاط شبکه مدل است.

۲-۳-۲ اجرای مدول HD برای شرایط بعد از احداث جتی‌ها

به‌منظور بررسی جریان‌های کرانه‌ای، بعد از احداث جتی‌ها و مقایسه الگوی جریان در قبل و بعد از احداث آن، مدول HD براساس اطلاعات موجود در زمان بعد از احداث، اجرا می‌شود. در این حالت از نقشه منطقه با

جدول ۱. اجرای مدول HD قبل از احداث جتی‌ها.

جهت موج	فایل عمق‌سنجی	سرعت باد (m/s) مدت وزش (hr)	مشخصات فایل ورودی		فایل خروجی
			$H_s(m)$	$T_s(s)$	
N	Bathymetry 1	۲ Duration 3hr	۰/۲	۲/۲	N3h2.hd N3h2=Northern wind; Duration: 3hour; Speed: 2 m/s (*.hd)
			N3h2.rad Radiation Stress file (*.rad)		
		۱۱ Duration 3hr	۱/۳	۴/۷	N3h11.hd
			N3h11.rad		
NW	Bathymetry 1	۱۴ Duration 6hr	۳/۰	۷/۰	NW6h14.hd
			NW6h14.rad		
NE	Bathymetry 1	۱۴ Duration 3hr	۱/۸	۵/۲	NE3h14.hd
			NE3h14.rad		
E	Bathymetry 2	۸ Duration 6hr	۱/۶	۵/۷	E6h8.hd
			E6h8.rad		

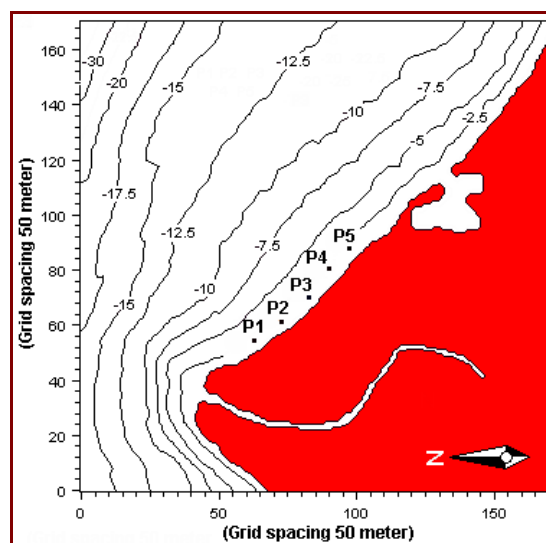


شکل ۳. نقشه عمق‌سنجی منطقه کیشهر بعد از احداث جتی‌ها.

این تحقیق با توجه به کمبود اطلاعات میدانی، تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر در محدوده مجاز مدل و سعی و خطا مدنظر قرار گرفته است. با توجه به اطلاعات موجود، سرعت جریان برای باد سه ساعته شمالی 5 m.s^{-1} ، در نقاط P1 تا P5 (شکل ۴) در مدل هیدرودینامیک، معیار حساسیت‌سنجی پارامترها در نظر گرفته شد. جدول ۲ خلاصه نتایج تحلیل حساسیت را نشان می‌دهد.

۴-۲ تحلیل حساسیت مدل

معمولاً برای صحت‌سنجی مدل‌های عددی، مدل ساخته شده با توجه به اطلاعات موجود برای حالتی خاص تهیه و اجرا می‌شود و پس از تحلیل حساسیت پارامترهای گوناگون آن و نزدیک شدن نتایج به واقعیت، مدل برای شرایط دیگری اجرا و نتایج حاصل با اطلاعات میدانی موجود در این حالت مقایسه و دقت یا نبود دقت مدل تعیین می‌شود (توفیقی و همکاران، ۱۳۸۵). در



شکل ۴. موقعیت نقاط در نظر گرفته شده برای حساسیت‌سنجی پارامترهای مدل.

جدول ۲. نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای مدل.

پارامتر تحلیل حساسیت	حدود تغییرات در مدل	حداکثر تأثیر مشاهده شده در سرعت جریان کرانه‌ای (درصد)
لزجت چرخشی (بی‌بعد)	< ۱۲۵ این مقدار با توجه به ابعاد شبکه و گام زمانی مدل تعیین می‌شود	۵
عدد مانینگ ($m^{1/3}/s$)	۲۰ ~ ۴۰	۶۵
ضریب اصطکاک باد و آب (بی‌بعد)	۰ ~ ۰.۰۰۵	۲۰

میدان سرعت مناسب صورت می‌گیرد. انتخاب پارامترهای واسنجی و محل‌هایی که باید از این نظر کنترل شود، بستگی به محل منطقه مورد بررسی و اطلاعات میدانی موجود دارد. پارامتر واسنجی در مدل کیشهر عدد مانینگ است. این ضریب بیانگر تأثیر اصطکاک کف بر الگوی جریان در منطقه مدل است که با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$F = \frac{g \cdot u \cdot |u|}{C^2} \quad (۶)$$

که در آن g شتاب گرانش، u سرعت جریان و C ضریب سزی است.

در مدل کیشهر، به منظور واسنجی مدل، عددهای مانینگ ۲۵، ۳۲ و ۴۰ در نظر گرفته شده تا اثر این پارامتر بر سرعت جریان‌های کرانه‌ای مشخص شود. برای این منظور مدول HD به صورت موردی برای جهت شمال شرقی و سرعت باد $5 m \cdot s^{-1}$ برای هر سه عدد اجرا و نتایج آن با اطلاعات میدانی مقایسه شد. مقایسه‌ها نشان می‌دهد که اجرای مدول هیدرودینامیکی با عدد مانینگ $m^{1/3} \cdot s^{-1}$ ۳۲ بهترین نتیجه را در بر دارد (شکل ۵ و جدول ۳).

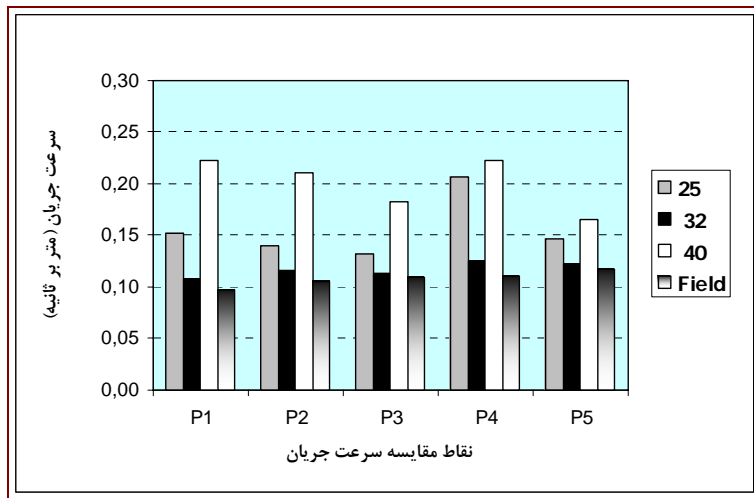
همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، در مدل HD ضریب لزجت در مقادیر سرعت جریان کرانه‌ای تأثیر کمی دارد. مدل نسبت به مقاومت بستر به صورت عدد مانینگ (Maning Number) بسیار حساس است. ضریب اصطکاک باد نیز نقش عمده‌ای در تغییر سرعت جریان دارد. البته مقدار 0.005 ، ضریب حداکثر قابل اعمال به مدل است و محدوده توصیه شده این ضریب بین 0 تا 0.026 برای بادهای کمتر از 30 متر بر ثانیه است. در این محدوده تأثیر تغییر این ضریب در سرعت جریان کمتر از 1 درصد است. با توجه به شرایط فوق، برای انتخاب مقادیر این پارامترها در مدل‌سازی جریان، از توصیه‌های سازنده مدل، مقادیر توصیه شده و واسنجی مدل استفاده شده است.

۲-۵ واسنجی مدل

قبل از اجرای نهایی مدول HD، به منظور دستیابی به همسانی هر چه بیشتر نتایج شبیه‌سازی با اطلاعات میدانی و یافته‌های منطقه‌ای، واسنجی (Calibration) مدول ضروری خواهد بود. واسنجی مدل در واقع برای رسیدن به

جدول ۳. درصد تغییر مقادیر متفاوت عدد مانینگ.

عدد مانینگ $m^{1/3} \cdot s^{-1}$	۲۵	۳۲	۴۰
درصد تفاوت با داده‌های میدانی	۴۳	۸	۸۵

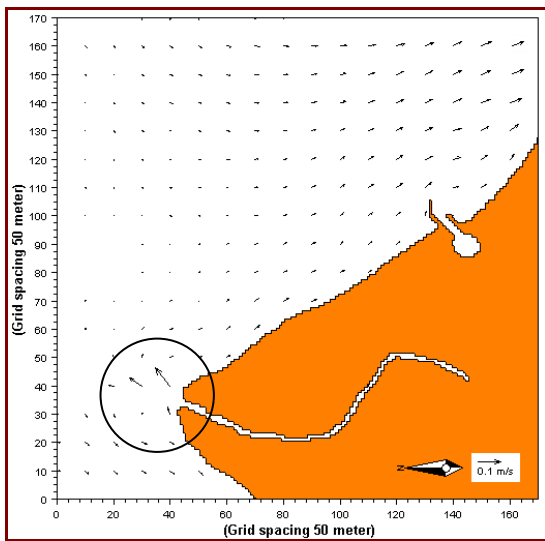


شکل ۵. مقایسه سرعت‌های جریان حاصل از مدل با اندازه‌گیری‌های میدانی.

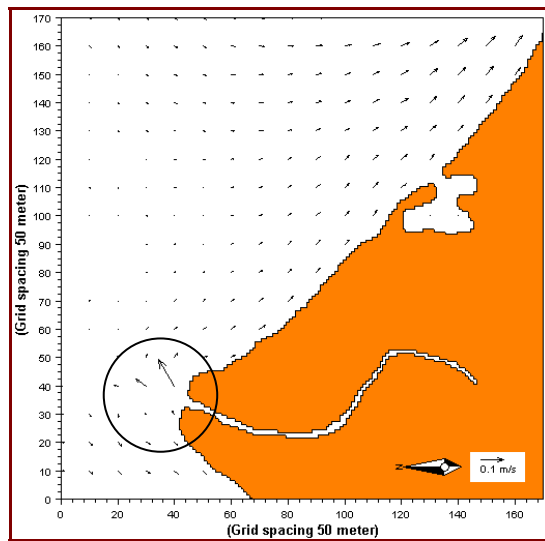
نمایانگر جهت و اندازه (با توجه به مقیاس ارائه شده در هر شکل) سرعت جریان‌های کرانه‌ای‌اند.

۳ نتایج مدل

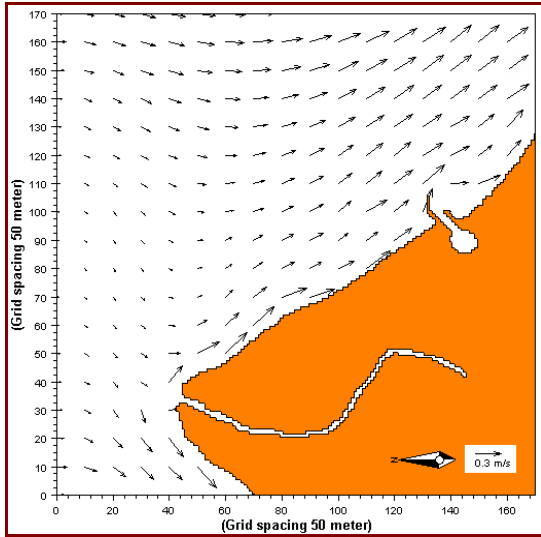
نتایج شبه‌سازی برای تعدادی از حالت‌ها در شکل‌های ۶ تا ۱۵ نشان داده شده است. در این شکل‌ها بردارها



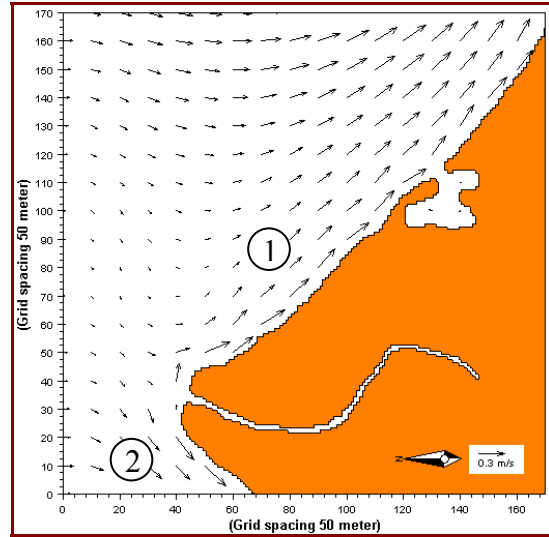
شکل ۷. الگوی جریان برای باد سه ساعته شمالی 2m.s^{-1} بعد از احداث جتی‌ها.



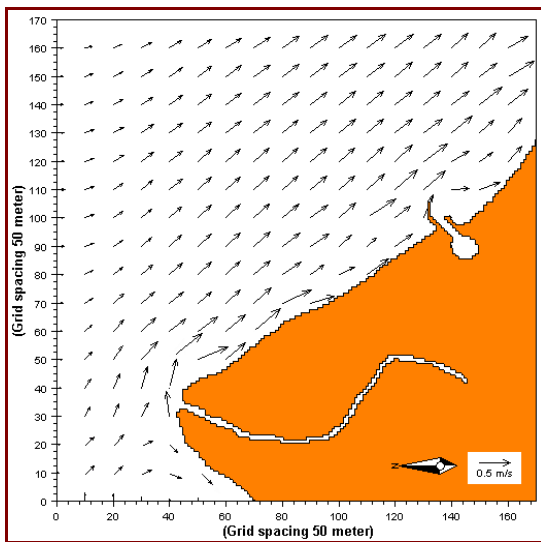
شکل ۶. الگوی جریان برای باد سه ساعته شمالی 2m.s^{-1} قبل از احداث جتی‌ها (N3h2.hd).



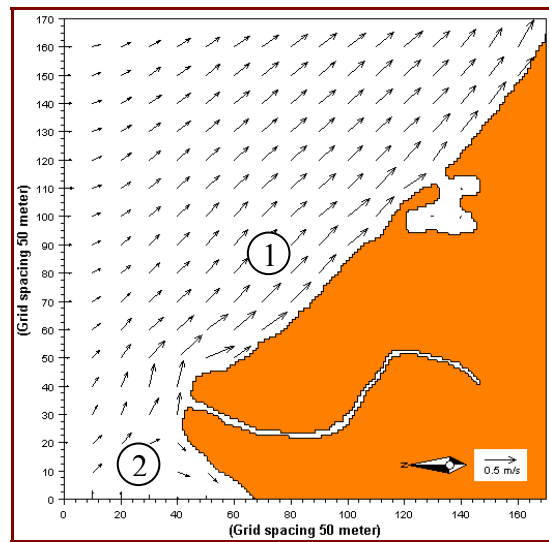
شکل ۹. الگوی جریان برای باد سه ساعته شمالی 11 m.s^{-1} بعد از احداث جتی‌ها.



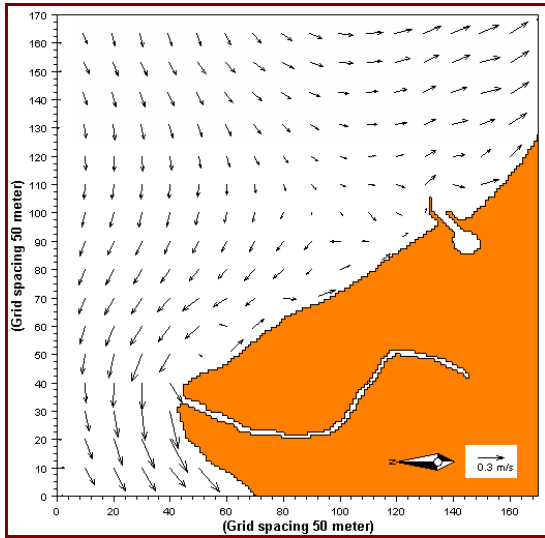
شکل ۸. الگوی جریان برای باد سه ساعته شمالی 11 m.s^{-1} قبل از احداث جتی‌ها (N3h11.hd).



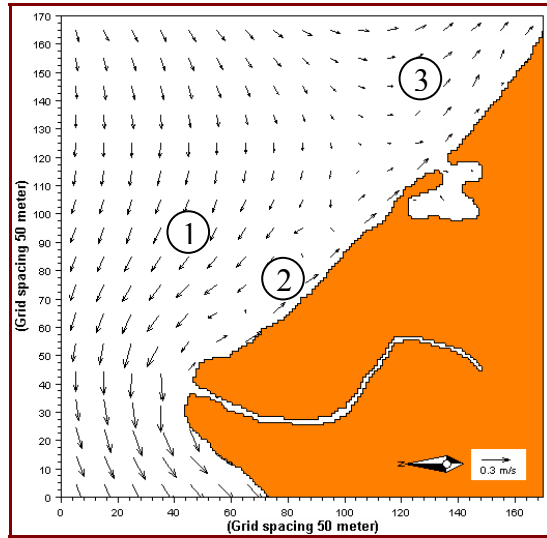
شکل ۱۱. الگوی جریان برای باد شش ساعته شمال غربی 14 m.s^{-1} بعد از احداث جتی‌ها.



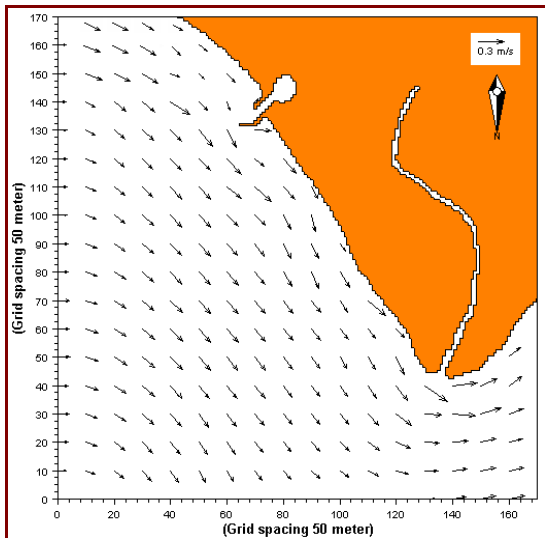
شکل ۱۰. الگوی جریان برای باد شش ساعته شمال غربی 14 m.s^{-1} قبل از احداث جتی‌ها (NW6h14.hd).



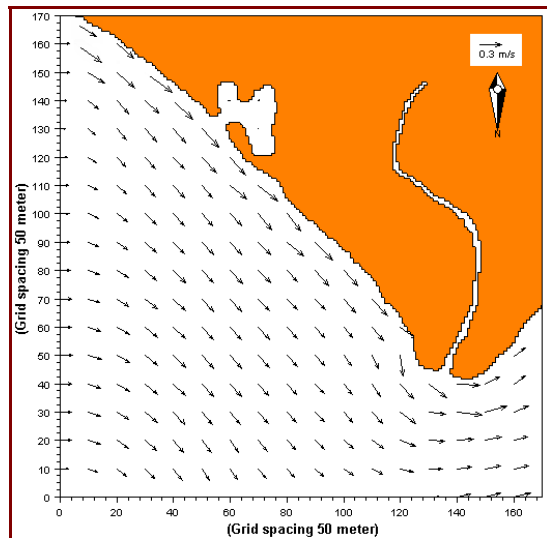
شکل ۱۳. الگوی جریان برای باد سه ساعته شمال شرقی ۱۴m.s^{-1} بعد از احداث جت‌ها.



شکل ۱۲. الگوی جریان برای باد سه ساعته شمال شرقی ۱۴m.s^{-1} قبل از احداث جت‌ها (NE3h14.hd).



شکل ۱۵. الگوی جریان برای باد شش ساعته شرقی ۸m.s^{-1} بعد از احداث جت‌ها.



شکل ۱۴. الگوی جریان برای باد شش ساعته شرقی ۸m.s^{-1} قبل از احداث جت‌ها (E6h8.hd).

دارای سرعت و جهت‌های متفاوتی‌اند. با توجه به الگوی جریان‌های کرانه‌ای شبیه‌سازی شده در منطقه مدل، امواج ناشی از بادهای شمالی و شمال غربی در منطقه بین

۴ بحث و نتیجه‌گیری

جریان‌های کرانه‌ای ناشی از شکست امواج در مناطق ساحلی بسته به ارتفاع امواج و زاویه امواج با خط ساحلی،

جریان‌های ساحلی در نواحی بین رودخانه سفیدرود تا ورودی بندر در جهت شمال غربی است (شکل ۱۴ و ۱۵).

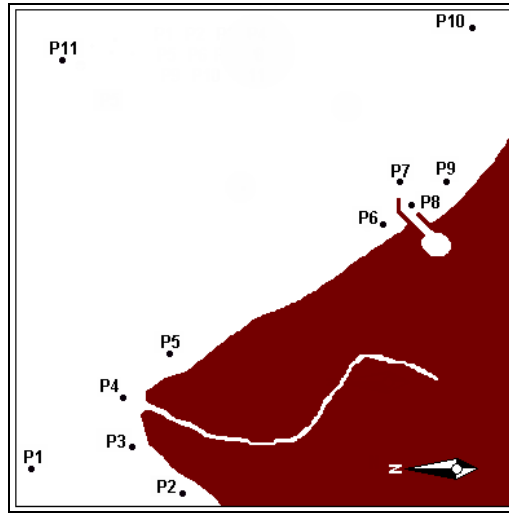
با توجه به نتایج مدل، الگوی کلی جریان‌های کرانه‌ای بعد از احداث جتی‌ها در جهت‌های متفاوت، همانند قبل از احداث جتی‌ها است ولی همان‌طور که انتظار می‌رود، در بخش شرقی ورودی مرداب و در مقابل بندر، سرعت جریان‌های در اثر احداث جتی‌ها کمتر شده است. جریان‌های ناشی از امواج شمالی و شمال غربی با برخورد به بازوی غربی جتی به صورت جریان بازگشتی به سمت دریا جریان می‌یابند. جریان‌های ناشی از امواج شمال شرقی نیز با توجه به شکل بازوی غربی جتی تأثیر زیادی بر ورودی مرداب ندارند و فقط جریان‌های ناشی از امواج شرقی هستند که تأثیر و نفوذ بیشتری بر دهانه مرداب می‌گذارند. این جریان‌ها از سمت بازوی شرقی جتی که طول کمتری دارد وارد منطقه بندر می‌شوند و جریان را به داخل کانال دسترسی می‌کشاند که این خود وجود بازوی شرقی جتی با طول بیشتر را ضروری می‌سازد.

به منظور بررسی جریان‌های کرانه‌ای در منطقه کیشهر، نقاطی در منطقه مدل مشخص شده و مقایسه سرعت جریان در این نقاط برای شرایط قبل و بعد از احداث جتی‌ها صورت گرفته است. در شکل ۱۶ موقعیت نقاط مقایسه شده نشان داده شده است.

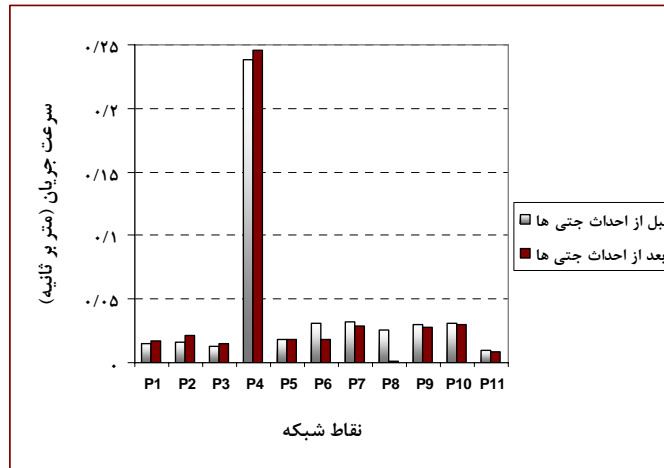
نقاط P1 و P11 در منطقه آب‌عمیق (مرز شمالی مدل)، نقاط P2 و P10 در نزدیکی مرزهای جانبی، نقاط P3 تا P5 در محدوده مصب سفیدرود و نقاط P6 تا P9 در اطراف جتی‌ها در نظر گرفته شده‌اند. نمودارهای مربوط به مقایسه سرعت جریان‌های کرانه‌ای در نقاط تعیین شده برای حالت‌هایی که در بحث نتایج مدل نشان داده شد، در شکل‌های ۱۷ تا ۲۱ رسم شده است.

رودخانه سفیدرود و ورودی بندر کیشهر (ناحیه ۱)، جریانی جنوب شرقی و در قسمت غربی رودخانه (ناحیه ۲)، جریانی جنوب غربی را تشکیل می‌دهند (شکل ۸ تا ۱۱). شکل‌گیری این دو جریان به دلیل شکل خط ساحلی در منطقه مجاور دهانه سفیدرود است. با توجه به اینکه ورودی مرداب کیشهر در سمت شرقی رودخانه قرار دارد، جریان‌های جنوب شرقی ناشی از امواج شمالی و شمال غربی از اهمیت خاصی برخوردار هستند. سرعت این جریانات در نزدیکی ساحل، یعنی منطقه شکست بیشتر است و در محدوده‌ی ۰/۱ تا ۰/۵ متر بر ثانیه قرار دارد. البته سرعت جریان ۰/۵ متر بر ثانیه برای حالت‌هایی است که بسامد وقوع کمی دارند (حدود ۰/۰۱ درصد) و مربوط به زمانی هستند که سرعت باد در منطقه زیاد است و تا ۲۰ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. در مواردی که ارتفاع امواج (یا سرعت باد) کم است، سرعت جریان‌های کرانه‌ای به ۰/۰۵ متر بر ثانیه کاهش می‌یابد. در این حالت جریان‌ها در منطقه مدل تحت تأثیر جریان خروجی رودخانه سفیدرود هستند (شکل ۶ و ۷).

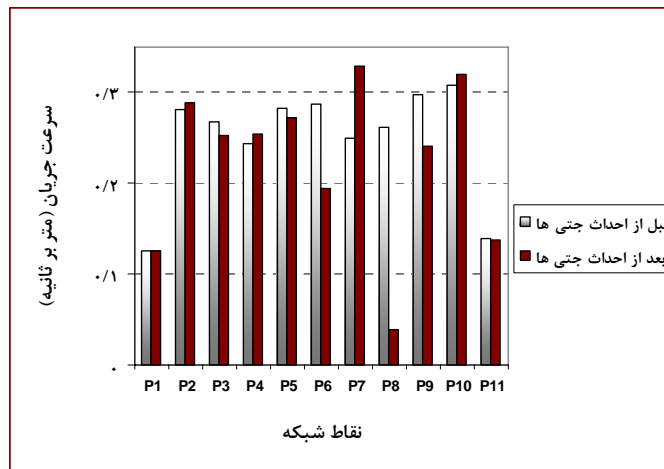
برای امواج ناشی از باد شمال شرقی، جهت جریان‌ها با نزدیک شدن به منطقه ساحلی به دو جهت شمال غربی (ناحیه ۱) و جنوب شرقی (ناحیه ۳) تفکیک می‌شود. جهت جریانات ساحلی در نواحی بین رودخانه سفیدرود تا ورودی مرداب به شمال غربی تغییر جهت می‌دهد (ناحیه ۱)، ولی با وجود این یک جریان جنوب شرقی در باریکه کم‌عمق مجاور خط ساحلی مشاهده می‌شود (ناحیه ۲). این جریان در اثر خروجی رودخانه سفیدرود و تضعیف جریان‌های ناشی از امواج در ناحیه ۲ شکل می‌گیرد (شکل ۱۲ و ۱۳). آشفتگی‌های مشاهده شده در محدوده بین نواحی ۱ و ۲ نیز بیانگر اندرکنش جریان‌های ناشی از امواج و این جریان رودخانه‌ای است. برای امواج ناشی از باد شرقی، جهت



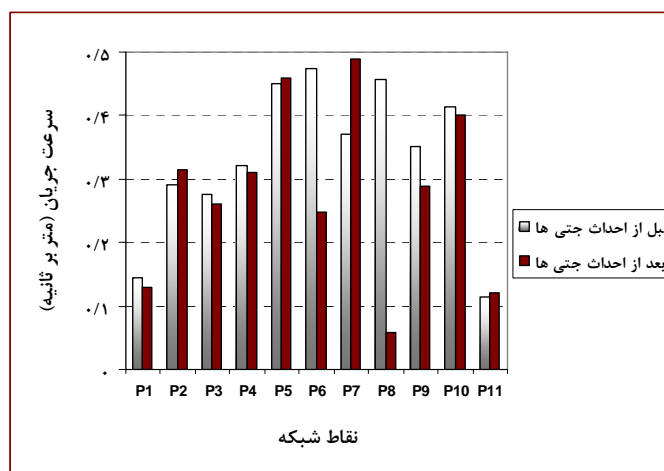
شکل ۱۶. نقاط در نظر گرفته شده برای مقایسه سرعت جریان‌های کرانه‌ای.



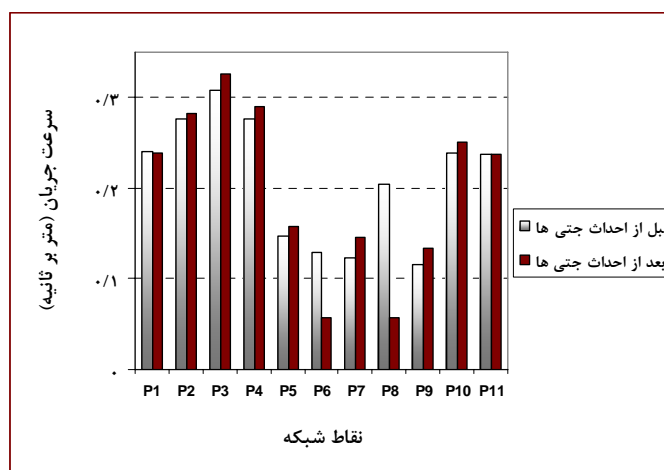
شکل ۱۷. مقایسه سرعت جریان‌های کرانه‌ای برای باد سه ساعته شمالی $2m.s^{-1}$.



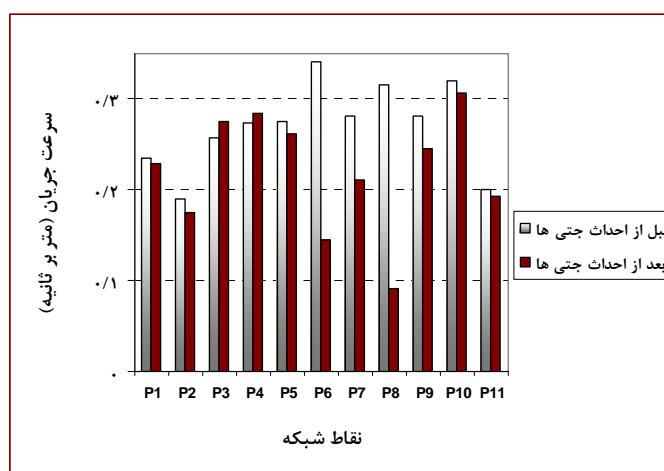
شکل ۱۸. مقایسه سرعت جریان‌های کرانه‌ای برای باد سه ساعته شمالی $11m.s^{-1}$.



شکل ۱۹. مقایسه سرعت جریان‌های کرانه‌ای برای باد ۶ ساعته شمال‌غربی $14 m.s^{-1}$.



شکل ۲۰. مقایسه سرعت جریان‌های کرانه‌ای برای باد ۳ ساعته شمال‌شرقی $1 m.s^{-1}$.



شکل ۲۱. مقایسه سرعت جریان‌های کرانه‌ای برای باد ۶ ساعته شرقی $1 m.s^{-1}$.

نتایج روشن می‌سازد که با احداث جتی‌ها، سرعت جریان‌های کرانه‌ای در منطقه آب‌عمیق، محدوده‌ی مصب سفیدرود و همچنین برای نقاط نزدیک به مرزهای جانبی دچار تغییر قابل ملاحظه‌ای نمی‌شود. ولی برای نقاط P6، P8 و P9 در حوالی جتی‌ها می‌توان کاهش سرعتی در حدود ۳۵ درصد را به طور مشخص مشاهده کرد. البته برای نقطه P7 سرعت جریان‌ها بعد از برخورد به بازوی غربی در جلوی آن برای امواج شمالی و شمال غربی، حدود ۲۵ درصد و برای امواج شمال شرقی حدود ۱۵ درصد افزایش یافته است.

بررسی الگوی جریان‌های کرانه‌ای ناشی از شکست امواج، کاهش ۳۵ درصدی سرعت جریان در بخش شرقی ورودی بندر را تحت تأثیر احداث جتی‌ها نشان داد. در واقع با احداث جتی‌ها، الگو و جهت جریان‌ها در منطقه مورد بررسی تغییر کرده است. جتی‌ها عمود بر خط ساحلی و جریان‌های کرانه‌ای به موازات ساحل‌اند. به لحاظ فیزیکی چون شار انرژی در جهت عمود بر جتی صفر است و مؤلفه سرعت جریان عمود بر جتی نداریم، معمولاً سرعت جریان در اطراف جتی‌ها کاهش می‌یابد. این مطلب را از روی نمودارهای مقایسه سرعت جریان‌های کرانه‌ای (شکل‌های ۱۷ تا ۲۱) نیز می‌توان مشاهده کرد. بر این اساس می‌توان گفت که مدل به خوبی وضعیت واقعی (فیزیکی) موجود در طبیعت را پیش‌بینی کرده است.

سرعت جریان‌های کرانه‌ای به‌دست آمده از مدل HD در منطقه در محدوده ۰٫۱ تا ۰٫۵ متر بر ثانیه قرار دارد. همچنین امتداد غالب جریان‌های کرانه‌ای در جهت جنوب شرقی است که با امواج غالب شمال غربی و همچنین امواج شمالی ارتباط دارد. این نتایج با نتایج ثابت‌عهد جهرمی و همکاران (۱۳۸۴) که قدرت جریان‌های ساحلی در منطقه را از مرتبه ۰٫۲ تا ۰٫۳ متر بر ثانیه و به طور عمده در جهت جنوب شرقی برآورد

کرده‌اند، مطابقت دارد.

منابع

الرمضان، ب.، اسفندیارنژاد، ا. و عامری، ج.، ۱۳۸۰، بررسی نحوه انتشار جریان و رسوب در دهانه سفیدرود، طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو، ۱۶ صفحه.

الله‌دادی، م. ن. و کلاهدوزان، م.، ۱۳۸۱، مدل‌سازی عددی جریان‌های جزر و مدی در خلیج بوشهر، ارائه در پنجمین کنفرانس بین‌المللی سواحل، بندر و سازه‌های دریایی، رامسر، سازمان بندر و کشتیرانی ایران، صفحه‌های ۱۰۵-۱۰۹.

بی‌نام، ۱۳۷۵، گزارشات مطالعات تکمیلی مرحله اول بندر صیادی کیشهر، شرکت مهندسین مشاور سازه‌پردازی ایران. ۹۳ صفحه.

توفیقی، م. ع.، زین‌الدینی، م. و گلشنی، ع. ا.، ۱۳۸۵، شبه‌سازی دوبعدی هیدرودینامیک دریاچه ارومیه برای تعیین الگوی جریان، نشریه مهندسی دریا، سال سوم، شماره ۴، صفحه‌های ۳۷-۴۷.

ثابت‌عهد جهرمی، ع.، ۱۳۷۸، بررسی شکست موج و جریان‌های در امتداد ساحل ناشی از آن در سواحل جنوبی دریای خزر (بین بندر انزلی تا بندر کیشهر)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۶ صفحه.

ثابت‌عهد جهرمی، ع.، ابراهیم‌نژاد، م. و سلطانی، ا.، ۱۳۸۴، بررسی شکست موج و جریان‌های در امتداد ساحل ناشی از آن در سواحل جنوبی دریای خزر (بین انزلی تا کیشهر)، مجموعه خلاصه مقالات ششمین همایش علوم و فنون دریایی و اولین همایش آبنگاری ایران، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تهران، صفحه ۲۹.

شفیعی‌فر، م. و تقی‌زاده، م.، ۱۳۷۹، نگرشی بر مدل‌سازی عددی انتقال رسوب و مطالعات ساماندهی خور و بندر گناوه، ارائه در پنجمین کنفرانس بین‌المللی سواحل،

- Department of Civil and Resource Engineering, University of AuckLand, New Zealand.
- Coastal Engineering Manual, 2002, Surf Zone Hydrodynamics, Part II, Chapter 4, Department of the Army U. S. Army Corps of Engineers, Washington, 42 pp.
- Gunaratna, P. P., Justesen, P., Abeysirigunawardena., 1997, Mathematical Modelling of Hydrodynamics in a Reef Protected Coastal Stretch, 2nd DHI Software User Conference, Sri Lanka, 21pp.
- Huntley, D. A., and Davidson, A. D., 2002, Modelling Water Surface Topography at a Complex Inlet System Teingmouth, UK, J Coastal Res, **36**, 675-685.
- Manual of MIKE 21., 2003, Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module, Danish Hydraulic Institute (DHI Software), 74 pp.
- Saavedra, I., Lopez, J. L., and Garsia-Martinez, R., 2003, Dynamic Wave Study of Flow in Tidal Channel System of San Juan River, J Hydraul Eng, **129**, 519-526.
- Tiani, G., Gonella, M., and Polo, P., 1998, Environmental Impact Assessment Study of a Marina with MIKE 21 Numerical Model, 3rd DHI Software Conference, Italy, 13pp.
- Warren, I. R. and Bach, H. K., 1992, MIKE 21: A Modeling System for Estuaries, Coastal Waters and Seas. Environ Softw, **7**, 229-240.
- بنادر و سازه‌های دریایی، رامسر، سازمان بنادر و کشتیرانی ایران، صفحات ۱۶۲-۱۶۵.
- کرمی‌خانیک، ع.، چایچی‌طهرانی، ن. و فلاح، ع.، ۱۳۸۵، بررسی تأثیر سدهای جزر و مدی بر الگوی جریان جزر و مدی در مصب رودخانه زهره، ارائه در هفتمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، سازمان بنادر و کشتیرانی ایران، تهران، صفحه ۱۳۲.
- کرمی‌خانیک، ع.، دهقانی، م. و غریب‌رضا، م.، ر.، ۱۳۸۴، بررسی کارایی نرم‌افزار MIKE 21 در مدل‌سازی جریان‌های جزر و مدی مصب رودخانه‌ها (مطالعه موردی دلتای رودخانه زهره)، ارائه در پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه کرمان، صفحه‌های ۴۰۳-۴۰۷.
- کرمی‌خانیک، ع.، فلاح، ع. و آزرما، س.، ع.، ۱۳۸۳ الف، ارزیابی تغییرات ایجاد شده در الگوی موج و جریان فصلی دریاچه ارومیه در اثر احداث بزرگراه شهید کلانتری، نشریه علمی- پژوهشی آب و آبخیز، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، شماره ۱، صفحه‌های ۲۴-۳۵.
- کرمی‌خانیک، ع.، فلاح، ع. و آزرما، س.، ع.، ۱۳۸۳ الف، تحلیل امواج دریاچه ارومیه در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از مدل MIKE 21، نشریه اقیانوس (ضمیمه مجله نیوار)، مرکز علوم جوی و اقیانوسی سازمان هواشناسی، شماره ۱، صفحه‌های ۶۳-۷۵.
- Babu, M. T., Vethamony, P., Ehrlich Desa, 2005, Modelling Tide-driven Currents and residual eddies in the Gulf of Kachchh and their seasonal variability A marine environmental planning perspective, Ecol Model, **184**, 299-312.
- Cheng, R. T., Burau, J. R., and Gartner, J. W., 1991, Interfacing Data Analysis and Numerical Modeling for Tidal Hydrodynamics Phenomena, J Tidal Hydrodynamics, **128**, 201-219.
- Christian, C. D., and Coney, P. A., 2001,