



مرکز بررسی اطلاعات و پژوهش

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



سازمان بنادر و دریانوردی



## بررسی رسوبات رودخانه سفیدرود در پیشروی خط ساحلی منطقه کیشهر

علی کرمی خانیکی  
مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

سید علی آزر ماسا  
دانشگاه تربیت مدرس

مهدی اسماعیلی  
دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

[akk1168@yahoo.com](mailto:akk1168@yahoo.com)

[sazarmsa@gmail.com](mailto:sazarmsa@gmail.com)

[mehdiesmaeili83@gmail.com](mailto:mehdiesmaeili83@gmail.com)

### چکیده

یکی از مهمترین مسائل در مهندسی سواحل محاسبه انتقال رسوب است که در منطقه ساحلی تا حد زیادی بوسیله شرایط موج و جریان‌های کرانه‌ای ناشی از موج وابسته تعیین می‌شود. سیستم مدل‌سازی کاربردی MIKE 21 چندین مدول جداگانه را شامل می‌شود. مدول‌های استفاده شده در این مطالعه، مدول هیدرودینامیکی (MIKE 21 HD) برای محاسبه حرکات آب و مدول انتقال گل (MIKE 21 MT) برای محاسبه دینامیک رسوب چسبیده می‌باشند (مانند Lumborg and Windelin, 2003 و Lumborg and Pejrup, 2005). با احداث جت‌ها شرایط طبیعی جریانات در منطقه دستخوش تغییرات شده که این امر تغییر در روند فرایندهای طبیعی حاکم بر منطقه ساحلی را به دنبال دارد. در این تحقیق، الگوی انتقال رسوبات معلق به کمک مدل MIKE 21 برای حالات قبل و بعد از احداث جت‌ها در منطقه کیشهر شبیه‌سازی شده است. نتایج این بررسی نشان داد که با احداث جت‌ها، سرعت جریانات در اطراف ورودی مرداب کمتر شده و نفوذ رسوبات معلق به داخل بندر کاهش یافته است. بار رسوبی کل، در محدوده‌ی دهانه سفیدرود تا ورودی مرداب ۹/۸ میلیون تن در سال برآورد شده است. این مقدار رسوب باعث پیشروی ۱/۳۵ متری خط ساحلی در سال می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** انتقال رسوب، رودخانه سفیدرود، MIKE 21، کیشهر

### مقدمه

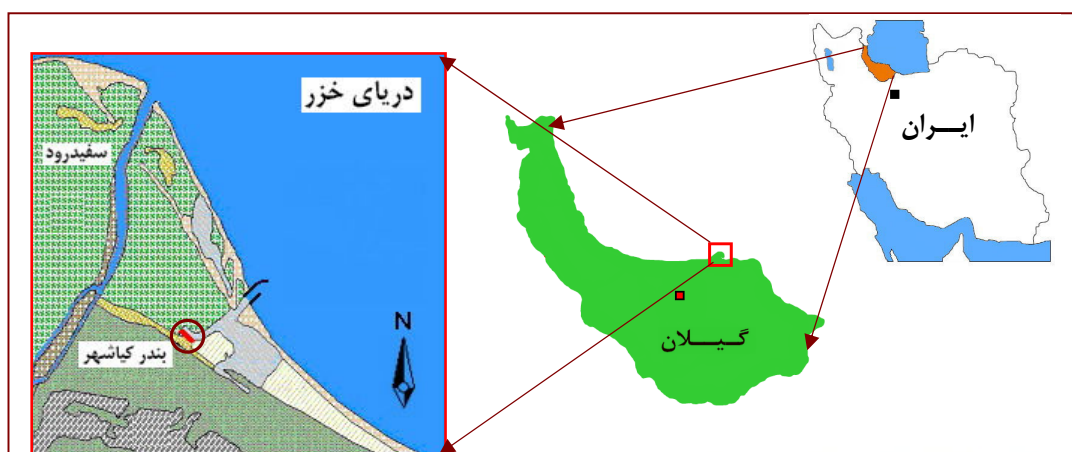
اعمال تغییرات بر طبیعت یک منطقه ساحلی بر روند طبیعی تأثیرگذاری متقابل دریا و ساحل، مؤثر خواهد بود که از آن جمله می‌توان به حرکت رسوبات دریایی اشاره کرد. این رفتار طبیعت در حقیقت بر این اصل استوار است که تغییرات اعمال شده بر روی عوامل طبیعی، عمدتاً نوعی تداخل در روند عادی امور طبیعی به حساب آمده و برهم‌زننده تعادلی می‌باشد که در طی سالیان دراز مابین تمامی عوامل و پدیده‌های جاری بر طبیعت منطقه طرح حاکم شده است. بر این اساس پروژه‌های ساحلی نیز از این قاعده جدا نبوده و نواحی ساحلی دستخوش بی‌نظمی و تحولات پیاپی شده که این روند تا رسیدن به حالت تعادلی ادامه خواهد داشت [۵].

جت‌های احداث شده در دهانه مرداب کیشهر که با اهداف ناوبری و پایداری دهانه طراحی شده‌اند، باعث تغییر در الگوی جریان‌های منطقه ساحلی مجاور خود شده‌اند. مطالعه دقیق بر روی این منطقه راهی برای جلوگیری از تأثیرات منفی سازه‌های احداث شده خواهد بود [۲]. در این تحقیق روش دستیابی به الگوی انتشار رسوبات معلق رودخانه سفیدرود در منطقه کیشهر به کمک مدول انتقال گل (Mud Transport Module (MT)) در شرایط قبل و بعد از احداث جت‌ها مدنظر می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

بندر صیادی کیشهر در استان گیلان و در ۵۱ کیلومتری شمال شرق 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 در ضلع شرقی رودخانه سفیدرود و در کنار دریا به‌طور طبیعی به‌وجود آمده است [۲]. رودخانه سفیدرود که مهمترین رودخانه حوزه‌ی جنوبی دریای خزر می‌باشد با طول حدود ۷۸۰ کیلومتر، وسعت حوزه‌ی آبریز ۶۵۰۰۰ کیلومتر مربع و میانگین سالانه آورد ۵۲۰۰ میلیون متر مکعب در منطقه طرح قرار می‌گیرد [۱]. شکل ۱ موقعیت منطقه کیشهر را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه کیشهر

### مدول MT بسته نرم‌افزاری MIKE 21

برنامه کامپیوتری مشهور به MIKE 21 که توسط انستیتو هیدرولیک دانمارک<sup>۱</sup> پایه‌ریزی و به مرور زمان تکمیل و توسعه یافته است، دارای قابلیت‌های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده‌های مربوط به خورها، دریاچه‌ها، نواحی کم‌عمق ساحلی، خلیج‌ها و دریاها است. مدل ریاضی MIKE 21 از مدول‌های متعددی جهت شبیه‌سازی پدیده‌ها استفاده می‌نماید، که هر یک از مدول‌های آن برای کاربرد خاصی طراحی شده‌اند. در این تحقیق از مدول‌های HD<sup>۲</sup> و MT<sup>۳</sup> استفاده شده است.

مدول انتقال گل، فرسایش، انتقال و ته‌نشینی گل (رسوب چسبیده) را تحت اثر جریان‌ها و امواج با در نظر گرفتن تنش برشی بستر ناشی از امواج توصیف می‌کند (Mehta et al., 1989). به منظور در بر گرفتن فرایندهای فرسایش، انتقال و ته‌نشینی رسوبات ریزدانه در سیستم مدل‌سازی، ضروری است که معادله انتقال-پخش (Advection-Dispersion) ناشی از جریان بیان شود. این معادله غلظت رسوبات معلق را در هر نقطه از شبکه و در هر گام زمانی محاسبه می‌کند (Teisson, 1991).

$$\frac{\partial \bar{c}}{\partial t} + V_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} + V_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} = \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left( h D_x \frac{\partial \bar{c}}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left( h D_y \frac{\partial \bar{c}}{\partial y} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{S_i}{h} \quad (1)$$

که در آن  $\bar{c}$  غلظت رسوب معلق در عمق متوسط،  $V_x, V_y$  سرعت‌های جریان عمق متوسط (محاسبه شده توسط مدول HD)،  $D_x, D_y$  ضرایب پخش،  $h$  عمق آب (محاسبه شده توسط مدول HD) و  $S$  ترم چشمه و چاه است که برای محاسبه فرسایش و ته‌نشینی رسوب کاربرد دارد. غلظت‌های رسوب معلق به عنوان متغیرهای حالت در مدل فرض می‌شوند، بدین معنی که مدل در طی شبیه‌سازی تحول آنها را در زمان و مکان بررسی می‌کند [۱۷].

### اجرای مدل

انتخاب محدوده اجرای مدل و یا به عبارت دیگر طراحی مدل منطقه‌ای، گام نخست در انجام مطالعات این بخش می‌باشد. 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 می‌باشد.

در تمامی مدل‌هایی که با روش تفاضل محدود کار می‌کنند، پایداری و همگرایی مدل به مشخصات پارامترهای خاصی همچون گام زمانی و گام مکانی مدل بستگی دارد. در مدول هیدرودینامیک عدد شاخصی جهت تعیین شرایط پایداری مدول، تعریف گردیده است. این عدد که عدد کورانت<sup>۴</sup>

<sup>1</sup> Danish Hydraulic Institute

<sup>2</sup> Hydrodynamic Module

<sup>3</sup> Mud Transport Module

<sup>4</sup> Courant Number

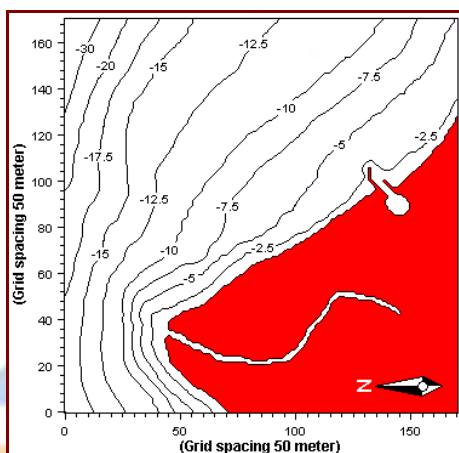
نام دارد، به منظور دستیابی به پایداری کامل باید حدود ۱ در نظر گرفته شود. در مواردی که تغییرات توپوگرافی شدید نباشد، با اعداد کورانت ۵-۶ نیز می‌توان به پایداری مطلوب رسید. عدد کورانت بر طبق روابط زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$C_R = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (2)$$

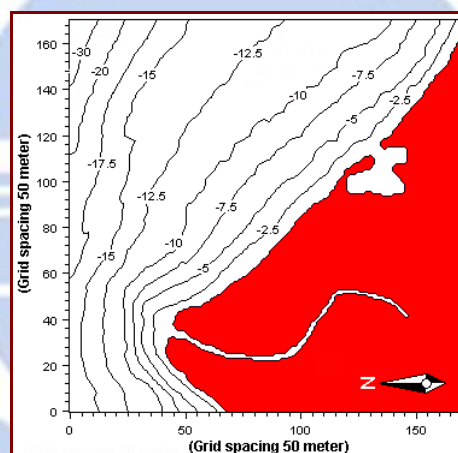
$$c = \sqrt{gh} \quad (3)$$

که در آن  $g$  شتاب گرانش،  $h$  عمق آب،  $c$  سرعت امواج،  $\Delta x$  گام مکانی در جهت  $x$  و  $\Delta t$  گام زمانی می‌باشد [۱۶]. در شبیه‌سازی جریان‌های کرانه‌ای در منطقه کیشهر حداکثر عمق ۳۰ متر، گام زمانی ۱۰ ثانیه و  $\Delta x$  برابر با ۵۰ متر و عدد کورانت حاصله برابر با ۳/۴ لحاظ گردیده است. از آنجایی که برای اجرای مدل انتقال گل لازم است تا قسمت هیدرودینامیکی (HD) آن اجرا شود، لذا از اطلاعات خروجی مدل HD حاوی سرعت جریان‌ات کرانه‌ای به عنوان ورودی در مدل MT استفاده می‌شود.

برای عمق‌سنجی<sup>۱</sup> مدل در شرایط قبل و بعد از احداث جتی‌ها به ترتیب از نقشه‌های منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰ استفاده شده است. نقشه‌های فوق توسط نرم‌افزار ILWIS رقومی شده و به‌صورت فایل xyz به برنامه MIKE 21 داده می‌شود. در این حالت شبکه‌هایی با ابعاد ۱۷۰×۱۷۰ و گام مکانی ۵۰ متر در جهت‌های  $x$  و  $y$  در نظر گرفته شده است. نقشه‌های عمق‌سنجی طراحی شده در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳: نقشه عمق‌سنجی منطقه کیشهر بعد از احداث جتی‌ها (Bathymetry 2)



شکل ۲: نقشه عمق‌سنجی منطقه کیشهر قبل از احداث جتی‌ها (Bathymetry 1)

مدل جریان کالیبره شده بدست آمده از مدل هیدرودینامیکی، جهت مدل‌سازی رسوبات ریزدانه در مدل MT به کار گرفته می‌شود. در هر قسمت (قبل و بعد از احداث جتی‌ها) ۵۰ مدل منطقه‌ای جهت شبیه‌سازی انتقال رسوبات ریزدانه در منطقه دریایی کیشهر با استفاده از مدل طراحی گردید. در جدول ۱ اجرای مدل MT در منطقه مدل به‌صورت موردی برای چندین حالت همراه با مشخصات فایل ورودی و فایل خروجی قبل از احداث جتی‌ها نشان داده شده است. خروجی مدل MT، غلظت رسوب معلق<sup>۲</sup> (\*.mt) برای تمامی نقاط شبکه مدل می‌باشد.

جدول ۱: اجرای مدل MT برای شرایط قبل از احداث جتی‌ها

| جهت موج | فایل عمق‌سنجی | سرعت باد (m/s)<br>مدت وزش (hr) | مشخصات فایل ورودی |           | فایل خروجی |
|---------|---------------|--------------------------------|-------------------|-----------|------------|
|         |               |                                | $H_s$ (m)         | $T_s$ (s) |            |
| N       | Bathymetry 1  | ۲<br>Duration 3hr              | ۰/۲               | ۲/۲       | N3h2.mt*   |
|         |               |                                | N3h2.hd**         |           |            |

<sup>۱</sup> Bathymetry

<sup>۲</sup> Suspended Sediment Concentration (SSC)

\* N3h2= Northern wind; Duration: 3hour; Speed: 2 m/s (\*.mt)

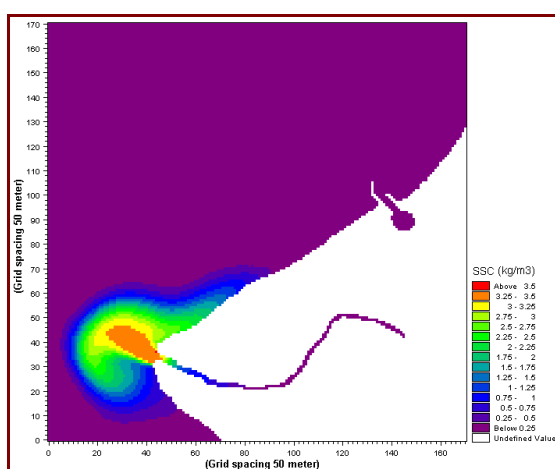
\*\* Hydrodynamic Module file (\*.hd)

|    |              |                    |           |     |           |
|----|--------------|--------------------|-----------|-----|-----------|
| NW | Bathymetry 1 | ۱۴<br>Duration 6hr | ۳/۰       | ۷/۰ | NW6h14.mt |
|    |              |                    | NW6h14.hd |     |           |
| NE | Bathymetry 1 | ۱۴<br>Duration 3hr | ۱/۸       | ۵/۲ | NE3h14.mt |
|    |              |                    | NE3h14.hd |     |           |

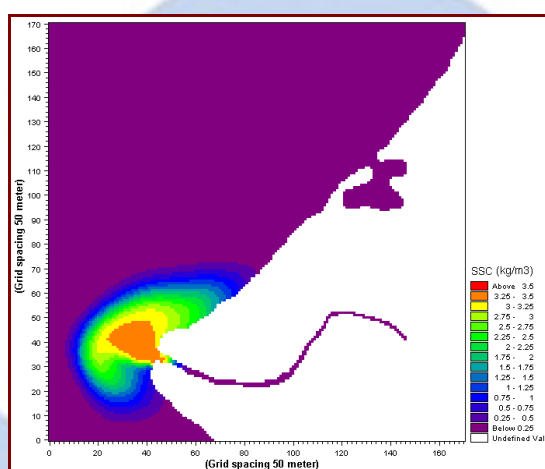
اجرای مدول MT برای شرایط بعد از احداث جتی‌ها همانند شرایط قبل از احداث جتی‌هاست که در جدول ۱ نشان داده شده است، تنها با این تفاوت که فایل ورودی عمق‌سنجی منطقه و فایل حاوی جریان‌های کرانه‌ای تغییر می‌کند.

### نتایج

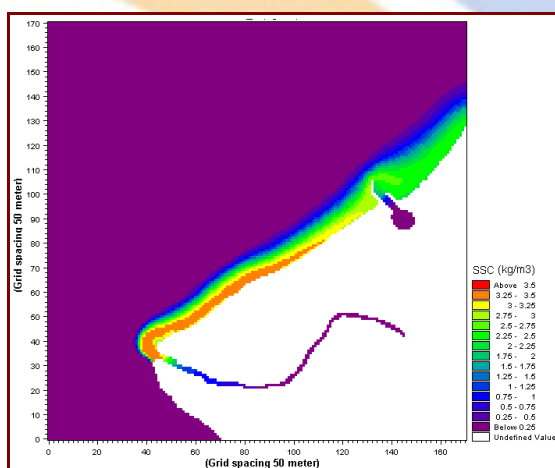
نتایج شبیه‌سازی برای تعدادی از حالت‌ها در شکل‌های ۴ تا ۹ نشان داده شده است. خروجی مدل در واقع توزیع غلظت رسوبات معلق را بر حسب  $kg.m^{-3}$  در منطقه مدل نشان می‌دهد.



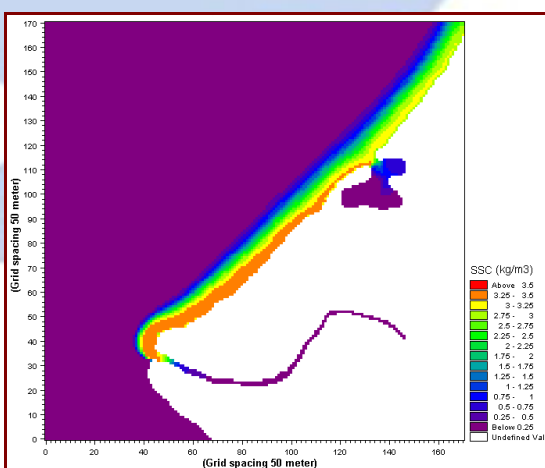
شکل ۵: الگوی توزیع غلظت رسوبات معلق برای باد ۳ ساعته شمالی ۲ m/s بعد از احداث جتی‌ها



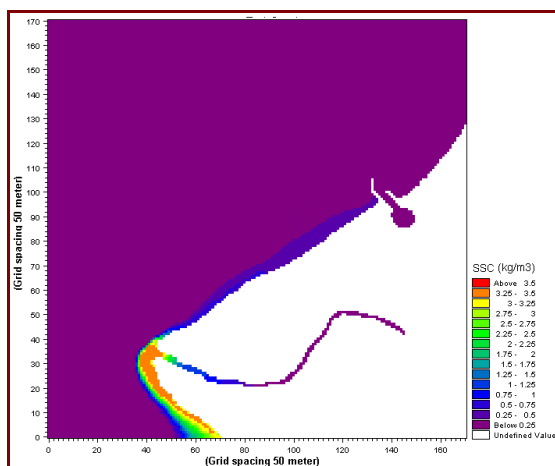
شکل ۴: الگوی توزیع غلظت رسوبات معلق برای باد ۳ ساعته شمالی ۲ m/s قبل از احداث جتی‌ها



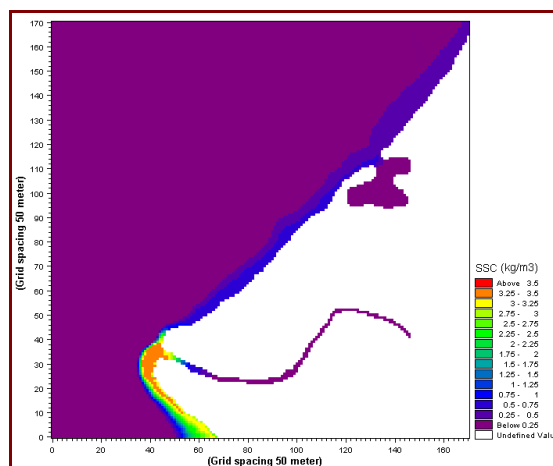
شکل ۷: الگوی توزیع غلظت رسوبات معلق برای باد ۶ ساعته شمال‌غربی ۱۴ m/s بعد از احداث جتی‌ها



شکل ۶: الگوی توزیع غلظت رسوبات معلق برای باد ۶ ساعته شمال‌غربی ۱۴ m/s قبل از احداث جتی‌ها



شکل ۹: الگوی توزیع غلظت رسوبات معلق برای باد ۳ ساعته شمال شرقی ۱۴ m/s بعد از احداث جت‌ها



شکل ۸: الگوی توزیع غلظت رسوبات معلق برای باد ۳ ساعته شمال شرقی ۱۴ m/s قبل از احداث جت‌ها

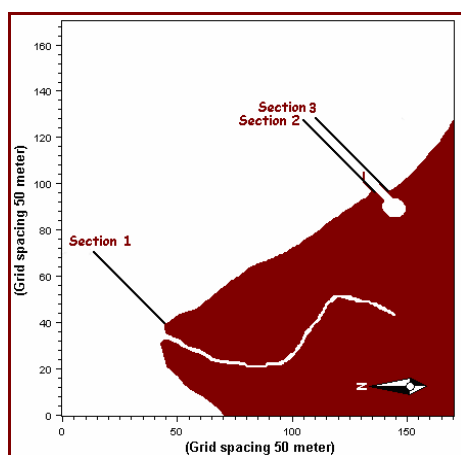
### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مدول MT نشان می‌دهد که عامل اساسی در انتقال رسوبات معلق سفیدرود به سمت دهانه مرداب کياشهر، جریانات کرانه‌ای می‌باشد. با توجه به اینکه برای امواج شمالی و شمال غربی در محدوده‌ی دهانه سفیدرود تا مرداب جهت جریان از غرب به شرق می‌باشد، رسوبات معلق در جهت جریان در کانالی به عرض تقریبی ۱/۵ کیلومتر منتقل می‌شوند.

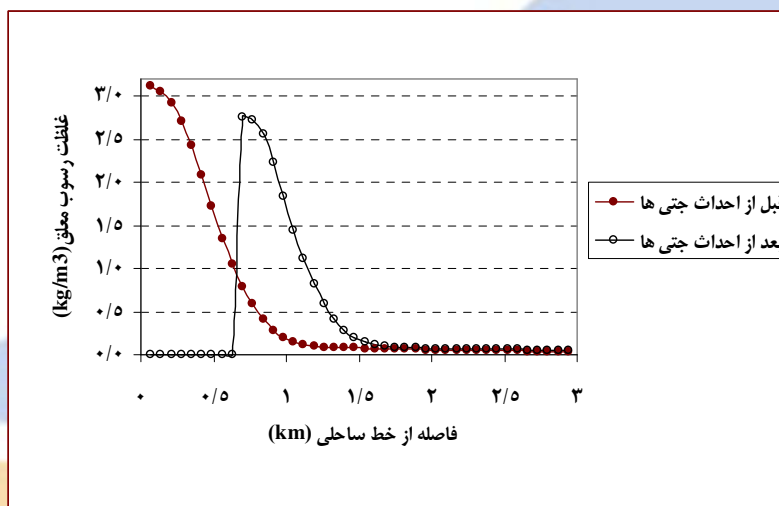
در مصب سفیدرود اندرکنش امواج و جریان خروجی رودخانه باعث ایجاد تلی از رسوب در جلوی دهانه خروجی سفیدرود می‌گردد. در مواردی که سرعت جریانات کرانه‌ای کم است (۰/۰۵ متر بر ثانیه)، جریانات در منطقه تحت تأثیر جریان خروجی رودخانه بوده و در نتیجه رسوبات معلق در جلوی دهانه تا فاصله ۲ کیلومتری پخش شده و رسوب می‌کنند. به بیان دیگر در مصب رودخانه سرعت جریان به دلیل افزایش سطح مقطع کاهش یافته و از قدرت حمل رسوب جریان کاسته شده و رسوبات در نزدیکی دهانه رودخانه ته‌نشین می‌شود. از آنجایی که جهت رودخانه سفیدرود متمایل به شرق می‌باشد، در این حالت‌ها رسوبات معلق اندکی به سمت شرق سوق پیدا می‌کنند (شکل‌های ۴ و ۵). این فرایند در دراز مدت می‌تواند باعث پیشروی دلتای سفیدرود شود.

برای امواج شمال شرقی رسوبات معلق با توجه به جهت جریانات، به سمت غربی دهانه رودخانه متمایل شده و این حالت‌ها تأثیری بر وضعیت رسوبی منطقه نمی‌گذارند. البته برای این امواج (شکل ۸) غلظتی در حدود  $0.4 \text{ kg.m}^{-3}$  در نزدیکی دهانه مرداب مشاهده می‌شود. در این حالت جریان شرقی ناشی از خروجی رودخانه عامل انتقال رسوبات معلق می‌باشد.

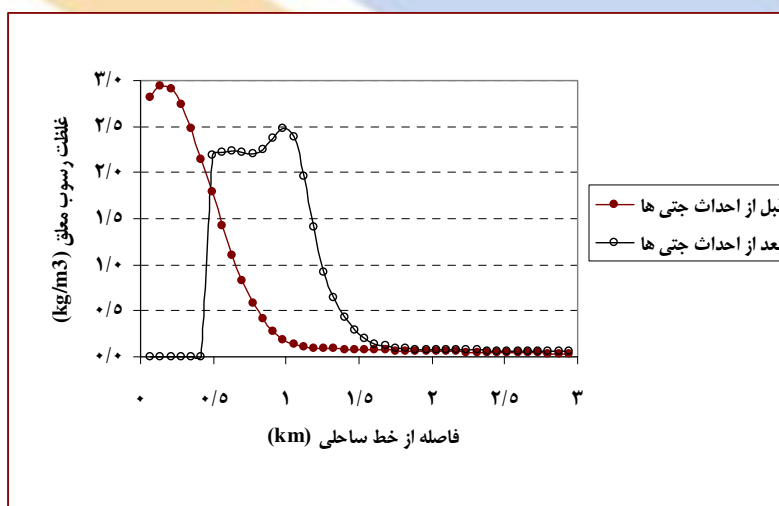
بعد از احداث جت‌ها الگوی توزیع رسوبات معلق در منطقه تغییر می‌کند که این تغییرات در حوالی جت‌ها محسوس می‌باشد. با توجه به سرعت جریانات کرانه‌ای در این حالت، رسوبات معلق بعد از برخورد به بازوی غربی به سمت دریا تغییر جهت داده و بعد از عبور از انتهای جت غربی دوباره توسط جریانات کرانه‌ای در راستای ساحل پخش می‌شوند. کاهش غلظت رسوب را در قسمت شرقی جت‌ها می‌توان مشاهده کرد که در نتیجه کاهش سرعت جریان رخ می‌دهد. علاوه بر این حضور جت‌ها باعث افزایش عرض کانال انتقالی رسوبات معلق در نزدیکی خط ساحلی شده است. برای مشاهده بهتر تأثیر احداث جت‌ها و تغییرات غلظت رسوبات معلق و همچنین تعیین مناطق فرسایش و رسوب‌گذاری، مقاطعی در منطقه مدل در نظر گرفته شده و نحوه تغییرات غلظت رسوبات معلق در این امتدادها رسم شده است. مقطع ۱ در نزدیکی دهانه سفیدرود و در سمت شرق آن، مقطع ۲ در روی جت غربی و مقطع ۳ در روی جت شرقی در نظر گرفته شده‌اند. این مقاطع از خط ساحلی شروع شده و حدود ۳ کیلومتر به سمت دریا امتداد داده می‌شوند تا جایی که غلظت رسوب معلق در انتهای مقطع تقریباً به صفر می‌رسد. در شکل ۱۰ موقعیت مقاطع انتخابی و در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نحوه‌ی تغییرات غلظت رسوبات معلق در امتداد مقاطع ۲ و ۳ در روی جت‌ها به صورت موردی برای باد ۶ ساعته شمال غربی ۱۴ m/s نشان داده شده است.



شکل ۱۰: مقاطع در نظر گرفته شده برای مقایسه غلظت رسوبات معلق



شکل ۱۱: مقایسه غلظت رسوبات معلق برای باد ۶ ساعته شمال غربی  $14 \text{ m/s}$  در امتداد مقطع ۲



شکل ۱۲: مقایسه غلظت رسوبات معلق برای باد ۶ ساعته شمال غربی  $14 \text{ m/s}$  در امتداد مقطع ۳

غلظت رسوبات معلق در منطقه ساحلی به دلیل حضور جریان‌های کرانه‌ای بیشترین مقدار را دارد و با دور شدن از خط ساحلی به طور نمایی کاهش یافته و با رفتن به سمت آب عمیق مقدار آن به صفر می‌رسد. با توجه به شکل‌های ۱۱ و ۱۲ محدوده‌ی مکانی تأثیر جتی‌ها بر غلظت رسوبات معلق به طور متوسط یک کیلومتر می‌باشد. بدین معنی که در فاصله‌ی یک کیلومتری از جتی‌ها در امتداد عمود بر خط ساحلی، اثر این سازه‌ها دیگر مشاهده نمی‌شود و غلظت رسوبات برای حالت‌های قبل و بعد از احداث آن تقریباً برابر می‌شود.

برای تعیین مناطق فرسایش و رسوب‌گذاری، وزن متوسط رسوب عبوری ( $Q_S$ ) از هر مقطع باید محاسبه شود. برای این منظور به کمک دی‌های جریان بدست آمده از مدول HD و غلظت‌های رسوب معلق بدست آمده از مدول MT طبق رابطه زیر مقدار  $Q_S$  برای هر مقطع محاسبه شده است.

$$Q_S = Q \times C \quad (4)$$

که در این رابطه  $Q_S$  وزن رسوب عبوری از مقطع در واحد زمان ( $kg \cdot s^{-1}$ )،  $Q$  دی‌جریان ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ) و  $C$  غلظت رسوب معلق ( $kg \cdot m^{-3}$ ) می‌باشد. به کمک مقادیر  $Q_S$  و محاسبه اختلاف این مقادیر در محدوده‌ی بین مقاطع می‌توان مناطق فرسایش و رسوب‌گذاری را تعیین کرد. در جدول ۲ مقادیر مربوط به  $Q_S$  و  $\Delta Q_S$  برای حالت‌هایی که در قسمت نتایج مدل آورده شده، محاسبه شده است.

جدول ۲: مقادیر  $Q_S$  و  $\Delta Q_S$  برای شرایط متفاوت باد در مقاطع مختلف

| جهت باد | سرعت باد (m/s)<br>مدت وزش (hr) | P %  | $Q_{S1}$<br>( $kg \cdot s^{-1}$ ) | $Q_{S2}$<br>( $kg \cdot s^{-1}$ ) | $Q_{S3}$<br>( $kg \cdot s^{-1}$ ) | $\Delta Q_{S2-S1}$<br>( $kg \cdot s^{-1}$ ) | $\Delta Q_{S3-S2}$<br>( $kg \cdot s^{-1}$ ) |
|---------|--------------------------------|------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| N       | ۲<br>Duration 3hr              | ۵/۰۰ | ۱۲۴/۷                             | ۰                                 | ۰                                 | -۱۲۴/۷                                      | ۰   |
| NW      | ۱۴<br>Duration 6hr             | ۰/۰۲ | ۱۱۴۵                              | ۸۴۹/۳                             | ۱۵۲۳                              | -۲۹۵/۴                                      | ۶۷۳/۳                                       |
| NE      | ۱۴<br>Duration 3hr             | ۰/۰۲ | ۵۵/۸                              | ۱۵/۶                              | ۲۸/۷                              | -۴۰/۲                                       | ۱۳  |

$\Delta Q_{S2-S1} < 0$  نشان می‌دهد که وزن رسوب عبوری در واحد زمان از مقطع ۲ نسبت به مقطع ۱ کاهش یافته و اختلاف مقادیر  $Q_S$  در واقع همان مقدار رسوبی است که در بین دو مقطع ته‌نشین شده است. به همین ترتیب  $\Delta Q_{S3-S2} > 0$  نشان‌دهنده فرسایش در بین مقاطع می‌باشد. به بیان دیگر وزن متوسط رسوب عبوری در اثر فرسایش محدوده‌ی بین دو مقطع افزایش یافته است. برای برآورد مقدار کل رسوب ته‌نشین شده یا فرسایش‌یافته در بین مقاطع، نتایج به‌دست آمده در هر حالت در فرکانس وقوع آن ضرب شده و نتیجه نهایی از مجموع حالات مختلف محاسبه می‌شود (جدول ۳).

جدول ۳: مقادیر کلی رسوب در بین مقاطع

| واحد اندازه‌گیری        | $\Delta Q_{S2-S1}$ | $\Delta Q_{S3-S2}$ |
|-------------------------|--------------------|--------------------|
| کیلوگرم بر ثانیه (kg/s) | -۲۱۹/۵۴            | ۲۴/۳               |
| تن بر سال (ton/year)    | -۶۹۲۳۳۸۷           | ۷۶۶۶۳۴             |

با توجه به مقادیر بدست آمده در محدوده‌ی دهانه رودخانه سفیدرود تا ورودی مرداب ۶/۹ میلیون تن در سال رسوب‌گذاری (بار معلق) خواهیم داشت. از طرفی ایستگاه آستانه حدود ۴/۵ میلیون تن بار بستر سفیدرود را نشان می‌دهد که از این مقدار رسوب با توجه به الگوی رسوب‌گذاری دهانه سفیدرود و پتانسیل حمل رسوب ساحلی که از غرب به شرق است تخمین زده می‌شود حدود ۶۵ درصد آن یعنی ۲/۹ میلیون متر مکعب به طرف شرق سرازیر شود (سهرابی، ۱۳۸۴). بنابراین با در نظر گرفتن این مقدار در سال حدود ۹/۸ میلیون تن بار کل خواهیم داشت که به طرف جتی‌ها و کانال دسترسی بندر کیشهر هجوم می‌آورند.

آورد رسوب زیاد رودخانه سفیدرود در تغییرات مورفولوژیک مصب این رودخانه و سواحل دریای خزر در مجاورت آن تأثیرگذار می‌باشد. این حجم از آورد رسوبی رودخانه در سواحل منطقه مورد مطالعه رسوب‌گذاری در پشت جتی غربی را بدنال داشته است. استمرار وقوع انباشت رسوب مذکور، ساحل منطقه در پشت جتی غربی را مداوماً بطرف جلو می‌برد و این امر در دراز مدت برای جتی‌ها ایجاد مشکل نموده و اطاله مکرر آنها را طلب می‌نماید.



بر اساس نتایج مطالعه سهرابی (۱۳۸۴) نرخ رسوب‌گذاری در محدوده‌ی دهانه سفیدرود تا ورودی مرداب ۰/۴ متر در سال برآورد شده است که این مقدار باعث جلو آمدن خط ساحل به مقدار ۴۰ سانتی‌متر در سال می‌گردد. این مقدار رسوب‌گذاری تنها بر اساس رسوبات سفیدرود که به صورت بار بستر حمل می‌شوند، بدست آمده است. با لحاظ کردن نتایج بدست آمده از مدول MT (در نظر گرفتن رسوبات معلق سفیدرود)، نرخ رسوب‌گذاری ۱/۳۵ متر در سال بدست می‌آید. لذا نقش بازوی غربی در جلوگیری از انتقال رسوبات به داخل کانال دسترسی حائز اهمیت می‌باشد. به این ترتیب برای دستیابی به شرایط منطقی جتی‌ها، جتی غربی بایستی به عنوان بازوی اصلی تلقی شده و ضمن حفظ پوشش آن بر بازوی شرقی، لحاظ نمودن فاصله کافی بین دو سر بازوها برای پرهیز از بسته شدن زود هنگام کانال ورودی بین آنها نیز حفظ شود.

### مراجع:

- ۱) 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.
- ۲) بی‌نام، ۱۳۷۵. گزارشات مطالعات تکمیلی مرحله اول بندر صیادی کیش، شرکت مهندسی مشاور سازه‌پردازی ایران. ۲۹۳ صفحه.
- ۳) پورمند، ج.، ۱۳۸۰. کاربرد مدل‌های ریاضی در شبیه‌سازی رسوب‌گذاری سواحل (مطالعه موردی سواحل بوشهر)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۰ صفحه.
- ۴) چایچی‌طهرانی، ن.، ۱۳۸۴. بررسی تأثیر سدهای جزر و مدی روی الگوی جریان و رسوب‌گذاری به کمک مدل MIKE 21. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه کیش، ۱۲۰ صفحه.
- ۵) سهرابی، م.، ۱۳۸۴. بررسی جریان‌های کرانه‌ای و انتقال رسوب در دهانه بندر کیش به منظور تعیین حداقل طول جتی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ۲۰۵ صفحه.
- ۶) ملکی تبریزی، آ.، ۱۳۸۴. بررسی هیدرودینامیک جریان و انتقال رسوب در محدوده‌ی تحت تأثیر رودخانه زهره، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۱۴۴ صفحه.
- 7) Blewett, j. and Huntley, D., 1998. Measurement of Suspended Sediment Transport Processes in Shallow Water of the Holderness Coast, UK, Journal of Marine Pollution Bulletin, 37: 134-143.
- 8) Cheng, R.T., Burau, J.R. and Gartner, J.W., 1991. Interfacing Data Analysis and Numerical Modeling for Tidal Hydrodynamics Phenomena, Journal of Tidal Hydrodynamics, 128: 201-219.
- 9) Coastal Engineering Manual. 2002. Transport and Deposition of Cohesive Sediments, Part III, Chapter 5, Department of the Army U.S., Army Corps of Engineers, Washington, 67 pp.
- 10) 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.
- 11) Liu, W.C., Hsu, M.H, and Kuo, A., 2002. Modelling of hydrodynamics and cohesive sediment transport in Tanshui River estuarine system, Taiwan, Journal of Marine Pollution Bulletin 44: 1076-1088.
- 12) Lumborg, U. and Pejrup, M., 2005. Modelling of cohesive sediment transport in a tidal lagoon-an annual Budget, Journal of Marine Geology, 218: 1-16.
- 13) Lumborg, U. and Windelin, A., 2003. Hydrography and Cohesive Sediment Modelling: Application to Romo Dyb Tidal Area, Journal of Marine Systems, 38: 287-303.
- 14) Lumborg, U., 2004. Cohesive Sediment Transport Modelling -Application to the Lister Dyb Tidal Area in the Danish Wadden Sea, Journal of Coastal Research, 41: 114-123.
- 15) Lumborg, U., 2005. Modelling the Deposition, Erosion and Flux of Cohesive Sediment Through Oresund, Journal of Marine System, 56: 179-193.
- 16) User Guide and Reference Manual for MIKE 21., 2003. Hydrodynamic Module, DHI Software, 76 pp.
- 17) User21 Guide and Reference Manual for MIKE 21., 2003. Mud Transport Module, DHI Software, 110 pp.