

## بررسی مقایسه‌ای نتایج مدل عددی و شواهد میدانی مورفولوژیکی و عوارض فیزیکی در سواحل میانکاله

سعید رودباری شه‌میری<sup>1</sup>، مهدی عجمی<sup>2\*</sup> و همایون خوشروان<sup>3</sup>

- 1- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، سازه‌های دریایی، دانشگاه صنعتی شاهرود
- 2- استادیار دانشکده مهندسی عمران، گروه سازه‌های دریایی، دانشگاه صنعتی شاهرود
- 3- دکتری زمین‌شناسی، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، موسسه تحقیقات آب، ساری

\*adjami@shahroodut.ac.ir

**چکیده** - هدف این پژوهش صحت سنجی نتایج مدل عددی با شواهد فیزیکی موجود در ساحل میانکاله است. این پژوهش با استفاده از مدل‌سازی با نرم‌افزار مایک 21 (ماژول‌های HD، SW و COUPLED MODEL FM) به همراه مطالعات میدانی و نمونه‌برداری رسوبی صورت پذیرفته است. بر اساس نتایج مدل عددی مایک در سواحل میانکاله، انرژی موج و سرعت جریان‌های ساحلی از غرب به شرق کاسته شده و همچنین اندازه ارتفاع امواج در درون دهانه خلیج گرگان تا 80 درصد کاهش را نشان می‌دهد. میانگین جهت جریان‌ها در یک سال در بیرون خلیج، از غرب به شرق بوده و درون خلیج، به صورت پادساعتگرد عمل می‌کند. نرخ کلی انتقال رسوب در زبانه میانکاله کمتر از 0/00002 متر مکعب در ثانیه بر هر متر است، که نرخ پایین انتقال رسوب از بالادست را نشان می‌دهد. سواحل شرقی حساسیت بالاتری از سواحل غربی نسبت به نوسانات تراز آب دریا دارند. نتایج مشاهدات میدانی و عوارض فیزیکی در ساحل نیز تأیید کننده نتایج بدست آمده از مدل عددی مایک در منطقه است. میانگین اندازه رسوبات سواحل میانکاله 0/106 میلی‌متر می‌باشد. سواحل میانکاله از نوع سواحل پراکنشی بوده و از غرب به شرق به خاصیت پراکنشی ساحل افزوده می‌شود. منطقه غربی منبع رسوبی و منطقه شرقی میانکاله مقصد رسوبی می‌باشد. مدل عددی مایک نیز برای سواحل کم شیب از نوع پراکنشی پاسخگو است. مدل عددی مایک به وسیله‌ی شواهد فیزیکی ساحل صحت سنجی شده است.

**واژگان کلیدی:** مدل هیدرودینامیک، مایک 21، خلیج گرگان، دسته بندی سواحل، شواهد مورفولوژیکی ساحلی.

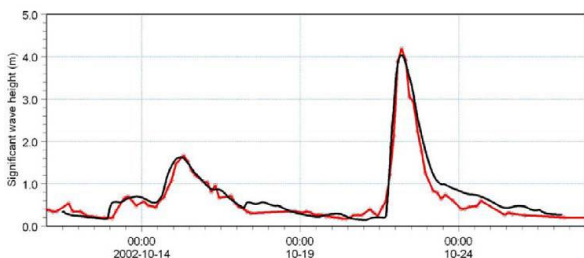
### 1- مقدمه

نیروهای اثرگذار در منطقه موجب درک بهتر از سازوکار و پیش‌بینی چگونگی تغییرات آن در آینده می‌شود. شواهد مورفولوژیکی و عوارض فیزیکی توسط نیروی غالب در هر منطقه خصوصیات مختص به خود را دارد و بررسی این شواهد این امکان را به محقق می‌دهد که از نحوه پاسخگویی ساحل به عملکرد موج، جریان، جزر و مد و ... مطلع شود.

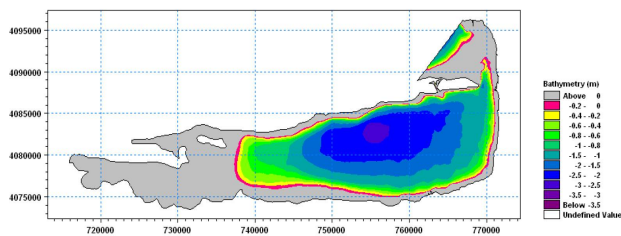
تحقیقات فراوانی (با تأکید بر مدل‌سازی عددی با استفاده از

سواحل در سراسر جهان با مکانیزم‌های متفاوتی از عملکرد طبیعت در تغییر و شکل‌دهی‌شان روبه‌رو هستند؛ مورفولوژی این محیط‌ها دائماً به‌وسیله‌ی اثر موج و جزر و مد در حال تغییر است. این عوامل موجب حرکت رسوبات و انتقال آن‌ها در راستاهای طولی و عرضی و موجب فرسایش یا رسوب‌گذاری در سواحل می‌شوند. هر ساحل خصوصیات و سازوکار مختص به خود را دارد و شناخت محیط اطراف و

نرم‌افزار مایک) در منطقه انجام شده است. همت ... رورده و همکاران در سال 1392 با استفاده از نرم‌افزار مایک منطقه مورد مطالعه را مدل‌سازی کرده و به این نتیجه رسیدند که حداکثر ارتفاع امواج بافاصله گرفتن از خط ساحلی در آب‌های با عمق 15 متر، به بالای 2 متر می‌رسد و با نزدیک شدن به دهانه ورودی خلیج گرگان، ارتفاع امواج به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد و نهایتاً در داخل خلیج، امواج قابل ملاحظه‌ای دیده نمی‌شود. جهت رانه ساحلی در سواحل میانکاله از سمت غرب به سمت شرق است. حداکثر سرعت جریانی که در منطقه رخ می‌دهد، در منطقه شکست موج و در ادامه به سمت خط ساحلی تا 5 سانتی‌متر بر ثانیه ایجاد می‌شود و کمترین سرعت جریان در مناطق دورتر از خط ساحلی به سمت آب‌های نیمه عمیق و عمیق رخ می‌دهد (رورده، 1392).



شکل 1 ارتفاع امواج (فرمز مربوط به بویه و مشکی مربوط به مدل) سازمان بنادر و دریانوردی و مرکز ملی اقیانوس‌شناسی، 1390



شکل 2 وضعیت توپوگرافی خلیج گرگان در تراز منفی 27/6 متر (شربت‌ی، 1395)

## 2- مبانی مدل عددی MIKE 21

### 2-1- ماژول SW

مبنای این مدل برای پیش‌بینی موج، حل معادلات انتقال انرژی همراه با ترم‌های چشمه و چاه می‌باشد. به منظور لحاظ کردن طبیعت تصادفی امواج دریا، معادله انرژی در شکل طیفی آن در نظر گرفته می‌شود. شکل معادلات انتقال در حالت دوبعدی به صورت رابطه (1) می‌باشد (DHI, 2012).

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\cos \theta}{c} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial x} + \frac{\sin \theta}{c} \frac{\partial (E.C.C_g)}{\partial y} + \frac{C_g}{C} (\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y}) \frac{\partial E}{\partial \theta} = S \quad (1)$$

در رابطه (1)،  $E$  طیف انرژی موج فرکانسی جهتی،  $t$  زمان،  $f$  فرکانس،  $\theta$  جهت انتشار امواج،  $C_g$  سرعت گروهی موج،  $C$  سرعت انتشار موج و  $S$  عبارت چشمه و چاه می‌باشد.

معادله فوق خاطر نشان می‌کند که هر مؤلفه از یک طیف فرکانسی جهتی با سرعت گروهی موج حرکت می‌کند و در مسیر حرکت خود تحت اثر افزایش یا کاهش انرژی ناشی از

پژوهش مدلی جامع برای کل دریای خزر بوده و کارآمدی نرم‌افزار مایک در مدل‌سازی ارتفاع امواج، پریود امواج در دریای خزر به خوبی نشان داده شده است (شکل 1). در پژوهشی دیگر که توسط منیره سادات کیایی در سال 1393 با استفاده از نرم‌افزار مایک و ماژول couple model FM صورت پذیرفت، پژوهشگر با استفاده از این ماژول اقدام به مدل‌سازی جریانات و انتقال رسوب در دهانه‌ها کرد که نتایج مدل حاکی از کارآمدی این ماژول در مدل‌سازی نحوه انتقال رسوب و نحوه توزیع جریان در دهانه است (kiaei, 2014).

در پژوهشی که سعید شربت‌ی در سال 1395 با نرم‌افزار مایک 21 به انجام رساند، به این نتیجه رسید که خلیج گرگان در تراز منفی 27/6 متر عملاً هیچ‌گونه ارتباطی با دریای کاسپین نخواهد داشت (شکل 2) (شربت‌ی، 1395). در این پژوهش ابتدا شواهد فیزیکی در منطقه میانکاله برداشت و مورد استنتاج قرار گرفته شده، سپس نرم‌افزار

38

امواج، برکشند طوفان و جریانات جزر و مدی را شامل می‌شود. با بکارگیری این مدل می‌توان تغییرات سطح آب و جریانات را در هر مکان از منطقه مورد مطالعه، بررسی نمود. لازم به ذکر است که این مدل، جریانات را در یک سیال تک لایه (به‌طور عمودی همگن) شبیه‌سازی می‌کند. جریان‌ها شامل جریان کشندی، جریان ناشی از موج یا ترکیبی از این دو می‌باشند. در واقع این نرم‌افزار روشی برای تحلیل برهم‌کنش متقابل بین امواج و جریان‌ها با استفاده از یک رابطه دینامیکی بین مدل‌های HD و SW ارائه می‌دهد. همچنین از طریق ایجاد یک رابطه هم‌زمان بین سه مدل HD، ST، SW قادر به مدل‌سازی نحوه بازخورد کامل بین تغییرات تراز بستر در اثر گردش‌های ناشی از موج و جریان به‌صورت (با هم) خواهد بود. در این مدل تنش‌های تشعشعی از مدل SW به مدل HD داده می‌شود و به‌صورت هم‌زمان اثر جریان بر روی اندازه امواج از ماژول HD به ماژول SW داده می‌شود که دقت بالاتر را در مدل‌سازی حاصل می‌کند. مدل‌سازی نرم‌افزاری در این پژوهش با استفاده از این ماژول صورت پذیرفته است (DHI, 2012).

### 3 - انواع سواحل

سواحل به‌صورت کلی به سه دسته‌ی سواحل با موج غالب<sup>1</sup>، با جزرومد غالب<sup>2</sup> و سواحل میان دو حالت<sup>3</sup> تقسیم‌بندی می‌شوند. سواحل جنوب شرقی دریای خزر، به دلیل پایین بودن طیف جزر و مد، کاملاً تحت تسلط قدرت امواج بوده است. در سواحل موج غالب، پدیده‌های مورفولوژیکی با شرایط موج محلی و ویژگی‌های رسوبات کنترل می‌شوند (Wright and hort, 1984).

از آنجا که سواحل دریای خزر از نوع موج غالب بوده، در این بخش سعی به معرفی این دست از سواحل شده است. رایت و شرت<sup>4</sup> در سال 1984 به طبقه‌بندی سواحل مختلف جهان با توجه به شرایط هیدرودینامیکی<sup>5</sup> حاکم بر ساحل و سرعت ته‌نشینی ذرات رسوبی در هر بخش ساحل پرداختند

توپوگرافی کف دریا، سرعت و جهت باد و نیز شکل طیف قرار می‌گیرد. آخرین عبارت در سمت چپ معادله مذکور اثر انکسار و پشته کردن موج را در نظر می‌گیرد.

### 2-2- ماژول Flow Model FM

Flow Model FM ماژولی جامع برای مدل‌سازی‌های دو و سه‌بعدی می‌باشد. این زیربرنامه برای مدل‌سازی برای عملکردهای مختلط در اقیانوس‌ها، مناطق ساحلی و مناطق با اهمیت محیط زیستی همچون خلیج‌ها توسعه‌یافته است و شامل زیر برنامه‌های هیدرودینامیک، انتقال رسوب دریایی، مدل‌سازی آزمایشگاهی، انتقال گل‌ولای و زیر برنامه انتقال ماسه می‌باشد (DHI, 2012).

زیر برنامه هیدرودینامیکی، تغییرات سطح آب و جریان در واکنش به نیروهای مختلف در محیط‌های دریایی را نشان می‌دهد. معادلات این ماژول به‌صورت متداول در حالت سه‌بعدی بیان می‌شوند، ولی معادلات برای جریان دوبعدی، با انتگرال‌گیری معادلات بر روی اعماق به دست می‌آید (DHI, 2012).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \gamma \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - f v v_x + h \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{P_a}{p_w} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{c^2 h^2} - \left[ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right] - \omega q - f v v_y + h \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{P_a}{p_w} \right] \quad (4)$$

در روابط فوق،  $h$  عمق آب،  $x, y$  مختصات دکارتی در حالت دوبعدی،  $f$  ضریب اصطکاک باد،  $c$  ضریب شری،  $P_a$  فشار هوا،  $\rho_w$  جرم حجمی آب،  $v, u$  سرعت متوسط،  $p, q$  دانسیته شار در جهت‌های مختلف و  $\xi$  تغییرات تراز سطح آب می‌باشد.

### 2-3- ماژول Mike Coupled 21/3

ماژول Mike Coupled 21/3 برای کاربردهای ساحلی و مصب‌های رودخانه‌ای می‌باشد. مدل هیدرودینامیک یا جریان (HD)، جزر و مد رودخانه، باد، جریان‌های ناشی از

<sup>1</sup> Wave dominated

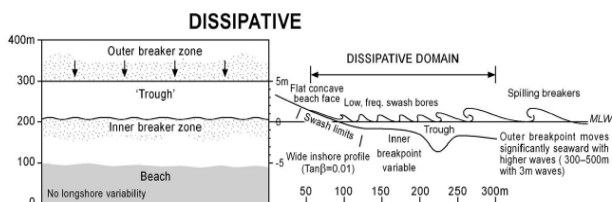
<sup>2</sup> Tidal dominated

<sup>3</sup> Intermediate

<sup>4</sup> Wright and Short

<sup>5</sup> Hydrodynamic Condition

شکست و تشکیل دو یا چند پشته رسوبی موازی ساحل در عرض ناحیه شکست مشخص می‌شوند (Dean and Dalrymple, 2004). شکل 3 ویژگی‌های ذکر شده سواحل استهلاکی را نشان می‌دهد (Short, 2006).



شکل 3 ویژگی‌های سواحل استهلاکی (Short, 2006)

### 3-2- سواحل بینابینی (میانی)

تغییرات مکانی امواج در این سواحل بیشتر و شیب منطقه‌ی نزدیک به ساحل تندتر است، در نتیجه امواج تابشی هنگامی که تیزی نسبتاً کمی دارند، تمایل به شکستن در قالب امواج با شکست ریزشی<sup>5</sup> یا آشفته دارند. دو ویژگی این ساحل‌ها را متمایز می‌کند؛ ناحیه‌ی شکست و چرخش باریکه گردابی که همیشه با توپوگرافی هماهنگ ساحل همراه است.

این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می‌شوند که روابط  $10 \leq K^* \leq 20$ ،  $1 \leq \Omega \leq 6$  و  $1 \leq \xi \leq 0.23$  برقرار باشد. به طوری که در این سواحل امواجی مرتفع تا متوسط (0/5 تا 2/5 m) بر ساحل حاکم‌اند و پوشش رسوبی ساحل متشکل از ماسه ریز متوسط است. از ویژگی‌های برجسته سواحل میانه، دارا بودن منطقه‌ی ساحلی افقی تکه‌تکه با سدهای رسوبی و جریان‌های تند بازگشتی است (Dean and Dalrymple, 2004).

با توجه به تحقیقات اخیر انجام‌شده در زمینه میزان انتقال رسوب در این 3 دسته سواحل توسط ترولز آگاررد و همکاران در سال 2013 این نتیجه حاصل شد که کمترین نرخ انتقال رسوب مربوط به سواحل انعکاسی و بیشترین نرخ انتقال مربوط به سواحل میانی است؛ و نحوه انتقال رسوب و شدت جریان‌ها در شکل 4 مشخص است (Aagaard et al., 2013). سواحل پراکنشی بیشتر تمایل به رسوب‌گذاری داری این در حالی است که سواحل بینابینی

و سواحل موج غالب را در سه حالت اصلی دسته‌بندی کردند که شامل سواحل حالت‌های پراکنا (استهلاکی<sup>1</sup>)، بازتابان (انعکاسی<sup>2</sup>) و میانه (بینابینی<sup>3</sup>) می‌باشد (Wright and Short, 1984). با توجه به اطلاعات بخش 5 سواحل میانکاله در قسمت پراکنشی و تا حدودی بینابینی بوده و در قسمت انعکاسی قرار ندارد و به این منظور از ارائه اطلاعات اضافی در این قسمت خوداری شده است.

### 3-1- سواحل استهلاکی (پراکنشی)

این سواحل، در محدوده‌ی موج‌های بلند و ترجیحاً با پرپود کوتاه موج رخ داده و می‌بایستی ماسه ریز باشند. این سواحل در محیط‌های باز دریایی که گاهی پرپودهای بلند و امواج طوفانی کوتاه، ساحلی با پشته‌های رسوبی متعدد ایجاد می‌کنند، نسبتاً معمول است. از مشخصات بارز این سواحل، منطقه‌ی خیزاب ساحلی (منطقه شکست موج) گسترده با شیب اندک است. این سواحل اغلب هنگامی ایجاد می‌شوند که روابط  $\Omega > 6$ ،  $\xi < 0.23$  و  $K^* > 20$ ، برقرار باشند. این شاخص‌ها توسط روابط (5) تا (7) تعریف می‌شوند (DHI, 2012).

$$\Omega = \frac{H_b}{W_s T} \quad (5)$$

$$k^* = \frac{H_b^2}{g T^2 d_{50}} \quad (6)$$

$$\xi = \frac{\tan \beta}{\left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{0.5}} \quad (7)$$

طبق روابط فوق،  $H_b$  ارتفاع شکست موج،  $H_0$  ارتفاع موج در آب عمیق،  $T$  پرپود امواج،  $L_0$  طول موج آب عمیق،  $\tan \beta$  شیب ساحل،  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات رسوب و  $W_s$  سرعت سقوط ذرات می‌باشد. از آنجا که دریای خزر یک محیط نیمه بسته می‌باشد، بالطبع امواج مرتفع اقیانوسی در آن دیده نمی‌شود، بلکه عمده امواج آن توسط باد شکل می‌گیرد و سواحل آن متأثر از امواج ناشی از باد<sup>4</sup> می‌باشد، به همین دلیل برای دسته‌بندی هیدرودینامیکی سواحل جنوبی خزر از پارامتر ( $\Omega$ ) استفاده می‌شود.

این سواحل با شیب طولانی عریض در وجه ساحلی و ناحیه

<sup>1</sup> Dissipative

<sup>2</sup> Reflective

<sup>3</sup> Intermediate

<sup>4</sup> Wind-wave domain beach

<sup>5</sup> Plunging

بیشتر تمایل به فرسایش را از خود نشان می‌دهد.

#### 4- عوارض فیزیکی ساحل

در نحوه شکل‌گیری عوارض مورفودینامیک باید به توپوگرافی سطح ساحل، جنس رسوبات، اثر حاصل از جزر و مد جریان‌ها و امواج و مراحل تأثیرپذیری ساحل از نیروهای حاصل از این پدیده‌ها در دینامیک انتقال رسوب توجه شود. در روند تشکیل عارضه مورفودینامیکی در سواحل به پارامترهای هندسی ساحل نیز باید توجه شود، یعنی مورفودینامیک ساحل، در واقع حاصل از اندرکنش امواج (جریان و جزر و مد) با توپوگرافی ساحل است که طی مراحل تأثیر این عوامل هیدرودینامیکی تغییر ساختاری در توپوگرافی سواحل در نواحی مختلف آن مشاهده می‌شود. حاصل این فعل‌وانفعالات در خطوط ساحلی عوارض گوناگونی شامل تپه‌های ماسه‌ای، موج‌نقش ماسه‌ای، تراس فرسایشی، شاخک‌های ساحلی (کاسپ‌ها) و ... است. در این بخش به معرفی عوارض موجود در ساحل میانکاله پرداخته شده است.

#### 4-1- موج‌نقش ماسه‌ای

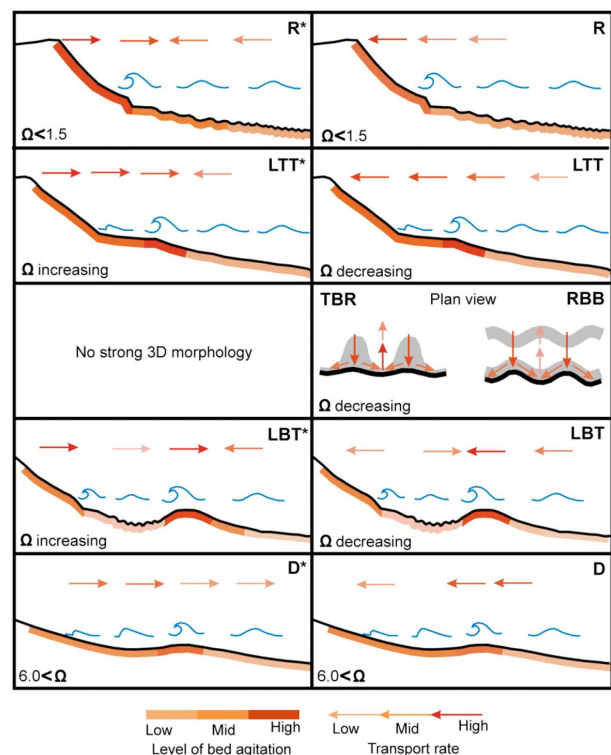
در ناحیه داغ آب ساحلی که جنس رسوبات در صورت ساحل ماسه‌ای دانه‌ریز باشد (به همراه سیلت و رس) و انرژی هیدرودینامیک پیوسته و با شدت کم باشد، تپه پشته ماسه‌های ریز به‌طور منظم به دنبال هم به وجود می‌آید که به آن‌ها ریپل مارک می‌گویند؛ حاصل جریان رو به ساحل و پشت به ساحل یکسان است و حضور آن مؤید شیب کم توپوگرافی بستر و کم انرژی بودن حوضه است. موج‌نقش‌هایی که در اثر فعل‌وانفعالات موج است، شکل متقارنی دارند (Evans, 1941). شکل 5 دو حالت از موجک‌های جریانی و موجی را نشان می‌دهد.

#### 4-2- تراس فرسایشی

در سواحل ماسه‌ای، در اثر تغییر سطح آب دریا، تغییر رژیم هیدرولوژی دریا در فصول سرد و گرم سال، تراس‌های رسوبی حاصل از فرسایش در کنار خطوط ساحلی مشاهده می‌شوند که با توجه به تغییر ارتفاع و فاصله آن از خط ساحلی در طی فصول گرم و سرد سال، چگونگی برداشت یا آورد رسوبی از دریا مشخص می‌شود و تراس‌ها و کنار هم قرارگیری ریتم‌های گوناگون رسوبی در کنار هم، در تراس‌های رسوبی مؤید نوع رژیم غالب در سواحل مورد نظر در دوره زمانی مذکور می‌باشند. اندازه ارتفاع تراس‌ها نشان‌دهنده میزان فرسایش‌پذیری منطقه است (خوشروان، 1379). شکل 6 نمونه‌ای از تراس فرسایشی در ساحل میانکاله را نشان می‌دهد.

#### 5- منطقه مورد مطالعه

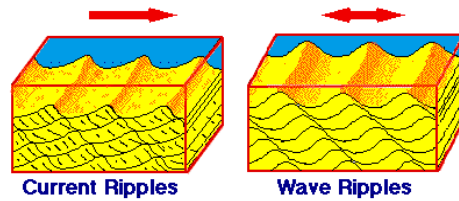
منطقه مورد مطالعه این پژوهش حدفاصل بندر امیرآباد تا دهانه خلیج گرگان، واقع در جنوب شرقی دریای خزر است. شبه‌جزیره میانکاله پس از خلیج گرگان، مهم‌ترین جلوه زمین‌شناسی سواحل شمال کشور به شمار می‌رود. زبانه ماسه‌ای در دهانه خورها، خلیج‌ها، رودخانه‌ها و به‌موازات ساحل و در جهت آورد رسوب ساحلی<sup>1</sup> تشکیل می‌شوند. زبانه میانکاله بزرگ‌ترین و طویل‌ترین زبانه ماسه‌ای سواحل شمال کشور است.



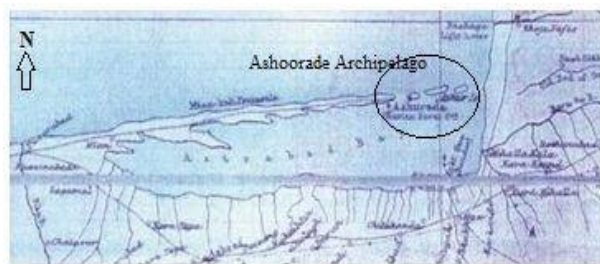
شکل 4 مدل حالت سواحل توسط رایت و شورت در سال 1984 و شورت در سال 1999، نشان‌دهنده جهت و اندازه حرکت رسوبات است (Wright and Short, 1984) و (Short, 1999)

<sup>1</sup> Littoral drift

مورد پیمایش، نمونه‌برداری، عکس‌برداری و اندازه‌گیری قرار گرفته و بر پایه مفاهیم و تعاریف بخش 3 اقدام به تحلیل و تفسیر عملکرد ساحل میانکاله شده است (شکل 9). سپس مدل عددی مایک برای منطقه ساخته شده و با نتایج شواهد میدانی صحت سنجی شده است.



شکل 5 موج‌نقش در سواحل



شکل 7 نقشه تاریخی خلیج گرگان و شبه‌جزیره میانکاله در سال 1980

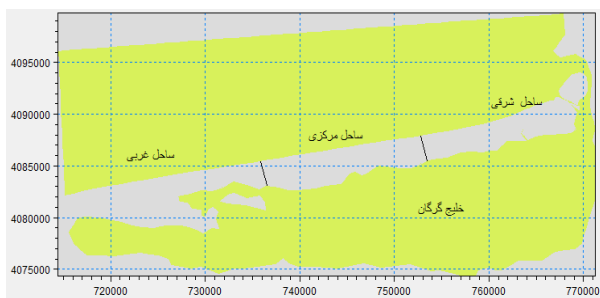


شکل 6 تراس فرسایشی در ساحل میانکاله

امواج شمال غرب پس از شکست در خطوط ساحلی جریان‌های در طول ساحل (جریان طولی ساحل)<sup>1</sup> ایجاد کرده‌اند و به‌این ترتیب رسوبات خروجی را از رودخانه‌های تجن و نکارود به سمت شرق رانده که در شکل 7 نشان داده شده است. این زبانه حاصل از توپوگرافی مسطح، حرکت رسوبات از شرق به غرب و همچنین تغییرات تراز آب دریای خزر است. بررسی نقشه قدیمی برداشت‌شده در سال 1980 از سواحل جنوب شرقی دریای کاسپین و خلیج گرگان نشان می‌دهد که زمانی آشوراده امروزی مرکب از سه جزیره کوچک‌تر بوده است (عمادالدین، 2012). این جزایر به دلیل شیب ملایم و ارتفاع کم در برابر نوسان سطح آب دریای کاسپین به‌سرعت واکنش نشان داده و جزایر مذکور به‌تدریج در پاسخ به کاهش سطح آب دریای کاسپین رفته‌رفته به یکدیگر متصل می‌گردند (Erfan and M. Hamed, 2015) (شکل 8).



شکل 8 موقعیت خلیج گرگان در جنوب شرقی دریای خزر



شکل 9 تقسیم‌بندی سواحل میانکاله به سه قسمت غربی، شرقی و مرکزی

هدف این پژوهش، صحت سنجی نتایج مدل عددی با شواهد فیزیکی موجود در ساحل جنوب شرقی دریای خزر است. بدین ترتیب ابتدا ساحل میانکاله تا دهانه خلیج گرگان به سه بخش ساحل شرقی، مرکزی و ساحل غربی

<sup>1</sup> Longshore current



ریپل‌های جریان ناشی از پیشروی آب دریا در مدخل ورودی کانال است. این عوارض نشان‌دهنده‌ی امواج بانرژی پایین و حضور امواج کم دامنه در منطقه سواش تا خط ساحل است. تپه‌های ماسه‌ای در فاصله دوری از خط ساحلی در ناحیه پشت ساحل قرار دارند که این نشان‌دهنده‌ی کم انرژی بودن و کم شیب بودن منطقه و حساسیت بالا نسبت به نوسانات آب دریای خزر است. در سواحل شرقی به علت توپوگرافی مسطح آن باند شکست موج به فاصله 300 تا 600 متری از ساحل رفته است. موج در فاصله دوری از ساحل انرژی خود را از دست داده و از طرفی رسوبات این قسمت از ساحل بسیار ریزدانه بوده است (شکل 11). موج قدرت حمل رسوبات را ندارد و یک محیط ساکن و رسوب‌گذار مهیا شده است. رفتار این بخش از ساحل به شدت نزدیک به سواحل پراکنشی است. کاسپ‌های عظیم و کاسپ‌ها در این قسمت از ساحل دیده نمی‌شود. تصاویر تهیه‌شده در قسمت شرقی زبانه میانکاله در شکل‌های 12 و 13 نشان داده شده‌اند.

### 5-1- داده‌های میدانی جمع‌آوری شده

موارد میدانی جمع‌آوری شده (با همراهی و کمک گروه مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر) برای صحت سنجی مدل مایک، شامل: 1- ارزیابی رسوبی منطقه، 2- بررسی عوارض فیزیکی در ساحل و 3- دسته‌بندی شهودی سواحل میانکاله بوده است. موارد برداشت‌شده در ساحل میانکاله که به سه بخش مرکزی، غربی و شرقی قابل تقسیم می‌باشد، به شرح جدول 1 است. نمونه‌برداری در ساحل میانکاله در 12 نقطه موازی ساحل از غرب به شرق در نزدیکی دهانه خلیج انجام شده است (شکل 10).

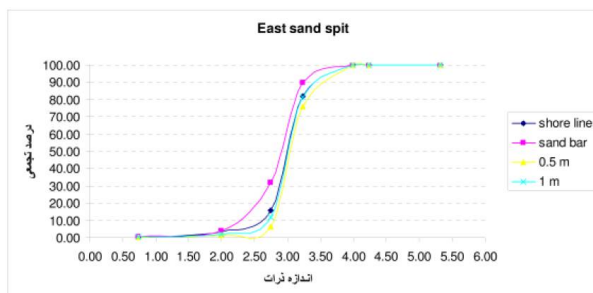
### 6- یافته‌های مطالعه میدانی

#### 6-1- ساحل شرقی میانکاله

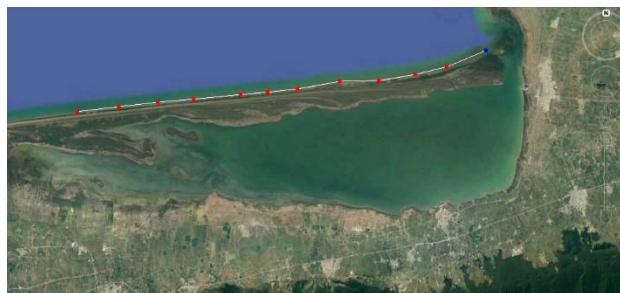
منطقه کم‌عمق ساحلی با توپوگرافی تقریباً مسطح/برابری نسبی شیب خشکی با ساحل/باند شکست امواج بسیار دور از ساحل/آبراهه‌های ناشی از جریان‌های ساحلی/ریپل مارک‌های جریانی و موجی/تالاب‌های حاشیه‌ی/

جدول 1 موارد برداشت‌شده در ساحل میانکاله

پوشش رسوبی	پدیده‌های مورفودینامیکی	شیب صورت ساحل	نوع شکست موج	تعداد شکست موج	ناحیه شکست موج	منطقه میانکاله
مواد ماسه‌ی دانه ریز تا دانه متوسط حاوی ذرات ریز دانه در محیط‌های تالابی	تراس‌های فرسایشی، تاجک‌های ماسه-ی، تپه‌های ماسه‌ی	0/9	ریزشی - فروریز	کمتر از 5 شکست، عموماً بین 2 تا 5 شکست موج	کمتر از 100 متر	بخش غربی
ماسه ریزدانه به همراه مواد رسی چسبنده حاوی مواد آلی	زبانه ماسه‌ای، تاجک‌های ماسه‌ای، موج نقش‌ها، تپه‌های ماسه‌ای، چاله-های آبیگیر	0/7	ریزشی	بیش از 5 شکست موج	بین 100 تا 350 متر	بخش مرکزی
مواد رسی و گلی چسبنده حاوی مواد آلی رنگ تیره	چاله‌های آبیگیر، تالاب، موج نقش‌ها، آبراهه‌های ناشی از جریان‌های ساحلی	0/4	ریزشی	بیش از 5 شکست موج	بین 300 تا 600 متر	بخش شرقی



شکل 11 منحنی تجمعی شرق زبانه ماسه‌ای



شکل 10 نقاط و مسیرهای پیمایش و نمونه‌برداری در ساحل میانکاله

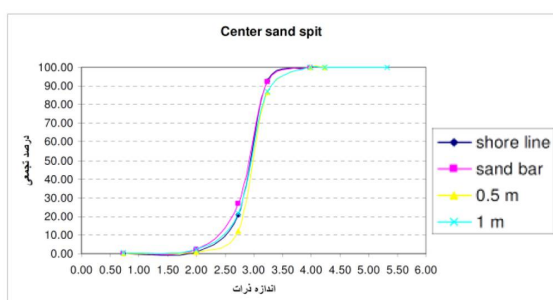
سواحل رسوبات درشت‌دانه تمایل به ته‌نشینی دارند و رسوبات ریزدانه به‌اندازه ناچیزی انتقال می‌یابند. کم‌عمق بودن آب دریا در منطقه نزدیک به ساحل باعث ایجاد ریزموج‌های جریانی با فرکانس‌های متفاوت می‌شود. در ساحل شیپارهای فرسایشی حضور دارند که وجود آن‌ها به علت حضور چشم‌گیر رسوبات ریزدانه در حجم رسوبات ماسه‌ای ساحل است. همچنین در اثر برگشت جریان‌های ساحل در ناحیه‌ی صورت ساحل و انباشت رسوبات در طرفین این شیپارها و شکل‌گیری عوارض برآمده و فرورفته<sup>1</sup> ماسه‌ای بر روی پهنه خشک ساحلی مشاهده می‌شود. با توجه به توزیع نرمال رسوبات در این بخش، یکنواختی بسیار خوب ذرات در ساحل و عمق 1 متری مشاهده می‌شود. یکنواختی در پشته ماسه‌ای خوب است، ولی پشته ماسه‌ای تمایل به ذرات درشت‌دانه تر دارد. در منحنی توزیع نرمال هرچه منحنی کشیده‌تر باشد یکنواختی رسوبی بهتر است (شکل 14).



شکل 12 سواحل تالابی در ساحل شرقی میانکاله



شکل 13 ریپل مارک موجی در سواحل شرقی میانکاله



شکل 14 منحنی تجمعی ساحل مرکزی

## 2-6- ساحل مرکزی میانکاله

عوارض مورفودینامیکی: در این بخش نیز شیب عمومی منطقه ناچیز است که با توجه به‌اندازه‌گیری‌ها در محدوده 0/7 قرار دارد. در قسمت پشت به ساحل، شیب منفی دیده می‌شود. تپه‌های ماسه‌ای در این منطقه نیز در فاصله‌ی دور از ساحل دیده می‌شوند. باند شکست امواج پهن بوده و خط شکست بافاصله‌ی زیاد از ساحل است. اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهنده فاصله 100 تا 350 متری از خط ساحل است. عارضه مورفودینامیکی تالاب بافاصله زیادی از ساحل قرار دارد و در منطقه ریپل مارک‌های جریانی و موجی دیده می‌شود که نشان‌دهنده یک منطقه آرام است. به علت کم شیب بودن منطقه، امواج در فاصله نسبتاً دوری از ساحل بستر را احساس کرده و می‌شکنند و انرژی موج در فاصله‌ی نسبتاً دوری از ساحل رها می‌شود. این پدیده سبب می‌شود که در نزدیک به ساحل موج مؤثری دیده نشود و انتقال رسوب زیادی در منطقه به تبع آن دیده نشود. در این‌گونه

## 3-6- ساحل غربی میانکاله

این منطقه در نزدیکی بازوی اسکله‌ی امیرآباد قرار دارد و تحت تأثیر اسکله امیرآباد است. غرب زبانه ماسه‌ای از نظر شیب توپوگرافی نسبتاً پرشیب‌تر از 2 منطقه قبل بوده و از این رو خط شکست امواج به ساحل نزدیک‌تر است. تخلیه انرژی موج در نزدیک ساحل صورت می‌گیرد، از این رو جریان‌های طولی و عرضی در منطقه با شدت بیشتری صورت می‌گیرد. شیب از صورت ساحل به سمت پشت ساحل کم می‌شود و به‌طور عمومی منطقه از شیب کمی

<sup>1</sup> Relief & deposit



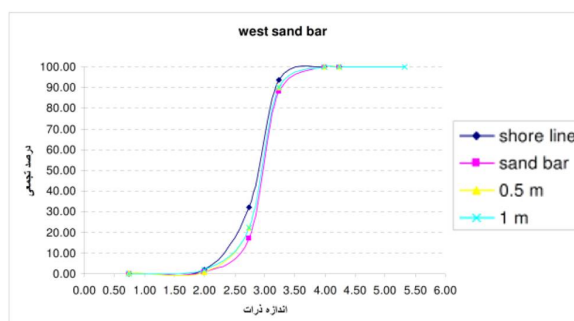
#### 6-4- جمع بندی ساحل میانکاله

با توجه به تقسیم‌بندی قسمت سوم مقاله نتیجه می‌شود که سواحل میانکاله، (از بندر امیرآباد تا دهانه خلیج گرگان) به علت شیب توپوگرافی، اندازه رسوبات، پریود و ارتفاع امواج تابیده به ساحل از نوع سواحل انعکاسی نیست. اندازه میانگین رسوبات ( $d_{50}$ ) برابر 0/0106 میلی‌متر بوده که سواحل میانکاله را در دسته سواحل ریز دانه قرار داده است. در قسمت غربی زبانه ماسه‌ای به علت شیب توپوگرافی بیشتر نسبت به شرق، شرایطی ایجاد کرده است که باند شکست کمتر از 100 متر شده و تعداد شکست موج در ناحیه شکست کمتر از شرق و مرکز ساحل میانکاله است و از نظر ظاهری به سواحل پراکنشی شباهت دارد، ولی رفتاری مانند سواحل بینابینی دارد که این رفتار را با وجود سازه‌های بزرگ در بالا دست آن میتوان توجیه کرد. قسمت شرقی سواحل میانکاله به علت شیب توپوگرافی مسطح، با باند شکستی بیش از 300 متر، تعداد شکست موج در ناحیه شکست بیش از 3 بار بوده و شکل ظاهری این سواحل با سواحل پراکنشی مطابقت دارد؛ و هرچه از شرق به سمت غرب پیش برویم، از تسلط سواحل پراکنشی کاسته شده و به قدرت سواحل میانه افزوده می‌شود، ولی به‌طور کل سواحل میانکاله خاصیت پراکنشی را دارا هستند. روابط تحلیلی نیز برای سواحل میانکاله گویای پراکنشی بودن سواحل میباشد. پارامتر  $\Omega$  بزرگتر از 6 بوده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود سواحل از نظر رژیم امواج و مورفودینامیک غالب به سه دسته یادشده طبقه‌بندی می‌شود. اصولاً وقتی انرژی امواج افزایش می‌یابد، یک تغییر قابل پیش‌بینی در مشخصه‌های مورفودینامیکی و چینه‌بندی ساحلی ایجاد می‌شود.

نتیجه این خط ساحلی بیان‌گر این عامل است که منطقه غربی نسبت به انرژی امواج فعال‌تر بوده و قادر به حمل رسوبات در جهت جریان طولی ساحل (از غرب به شرق) است و هر چه به سمت شرق رفته، از انرژی امواج کاسته می‌شود و جریان‌های ساحلی ضعیف‌تر شده، از این‌رو رسوبات درشت‌تر باقی می‌مانند و رسوبات ریزدانه به حرکت در راستای جریان طولی ادامه داده تا زمانی که انرژی آنقدر کاهش می‌یابد که دیگر توانایی حمل رسوب را ندارد. هر

پیروی می‌کند که نشان‌دهنده شرایط متعادل و یا ثبات نیروهای هیدرودینامیکی حاصل از جریان‌های ساحل در این قسمت است. در این قسمت اولین پشته ماسه‌ای در عمق 0/5 متری است.

عوارض مورفودینامیکی: در این منطقه دو صورت موج‌های سینوسی با دامنه بلند و دامنه کوتاه نمایان است که بیان‌کننده حضور موج‌های کم دامنه در بین موج‌های دامنه بلند منطقه است و مؤید افزایش شدت تأثیر جریان‌های ساحلی در این منطقه نسبت به مناطق شرقی است (شکل‌های 15 تا 17).



شکل 15 منحنی تجمعی ساحل غربی



شکل 16 تراس فرسایشی ساحل غربی



شکل 17 ساحل غربی میانکاله

جریان، تغییرات تراز برای یک سال از 2013 تا 2014 و در مختصات 53/85 و 37/00 در شرایط مرزی استفاده شده است. داده‌های رسوبی مورد استفاده در مدل‌سازی، شامل موارد رسوبی برداشت شده در ساحل میانکاله و دهانه خلیج گرگان بوده است. با توجه به روش حل عددی در مدل، شبکه مورد نیاز برای معرفی هندسه و هیدروگرافی مسئله غیرمنظم و شامل المان‌های مثلثی است. شبکه‌بندی نهایی مورد استفاده شامل 3725 المان و 2123 گره است (شکل 18). برای تهیه نقشه عمق سنجی، از روش درون‌یابی همسایگی برای درون‌یابی داده‌های عمق سنجی استفاده شده است (شکل 19).

به دلیل وجود 2 مرز آبی در سمت شمال و در غرب، داده‌های ورودی به مرزها مطابق جدول 2 و شکل 20 انتخاب شده‌اند.

به علت اینکه مرزهای شمالی و غربی در آب عمیق است و اثر باد در تشکیل امواج دیده نمی‌شود، از داده‌های خروجی مانیتورینگ دریای خزر در دو مرز استفاده شده است تا اثر باد در تشکیل موج و جریان در مرزهای مدل دیده شود.

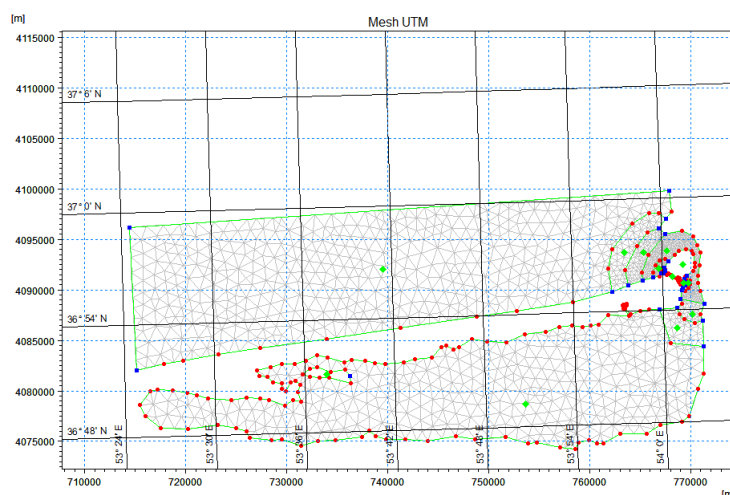
برای کالیبره کردن مدل عددی، از مدل در مختصات دستگاه ADCP امیرآباد برای یک سال خروجی گرفته شده و ارتفاع شاخص امواج برای یک سال با خروجی مدل در همان مختصات مقایسه شده است (شکل 21). اعداد جدول 3 برای کالیبره شدن مدل به دست آمده است.

چه از غرب به سمت شرق رفته، از قدرت جریان طولی ساحل کاسته می‌شود. در قسمت شرقی و در نزدیک به دهانه خلیج گرگان انتقال رسوب توسط جریان‌های ساحلی به حداقل خود می‌رسد. به‌طور کلی می‌توان منطقه غربی مشرف به بندر امیرآباد را منبع رسوبی و منطقه شرقی زبانه ماسه‌ای میانکاله را محل تخلیه رسوبی دانست.

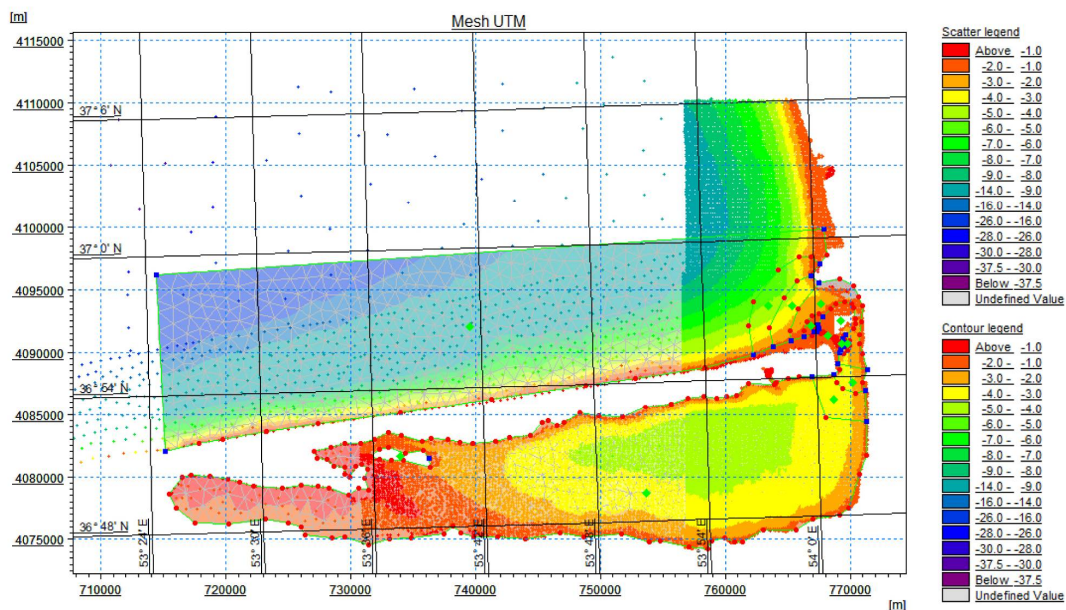
## 7- مدل‌سازی منطقه

### 7-1- داده‌های مورد استفاده مدل‌سازی

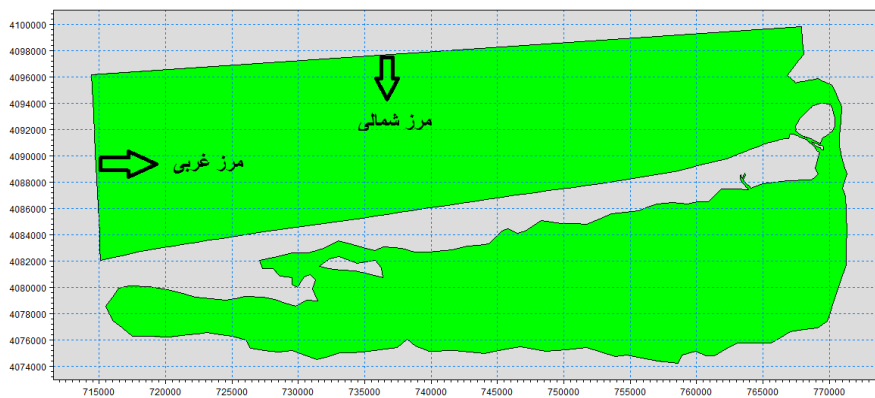
برای عمق سنجی منطقه مورد پژوهش از 2 سری داده‌های عمق سنجی، مربوط به تراز 26- شامل بیش از 5000 داده اسکتری استفاده شده است. داده‌های عمق سنجی درون خلیج گرگان از اداره شیلات استان گلستان و داده‌های عمق سنجی سواحل میانکاله از مرکز ملی مطالعات دریای خزر دریافت شده است. برای داده‌های باد در این پژوهش از داده‌های ایستگاه سینوپتیک امیرآباد از سال 2013 تا سال 2014 با گام زمانی 10 دقیقه‌ای استفاده شده است. برای داده‌های موج و جریان از دستگاه ADCP که در عمق 10 متری با مختصات 53.4111 و 36.9142 در نزدیکی بندر امیرآباد واقع گردیده، استفاده شده است. داده‌های موج در فاصله زمانی سال‌های 2013 تا 2014 و با گام زمانی یک ساعت برداشت شده و داده‌های جریان نیز در همین فاصله زمانی و با گام 10 دقیقه‌ای برداشت شده است. از داده‌های مانیتورینگ خزر شامل داده‌های باد، موج،



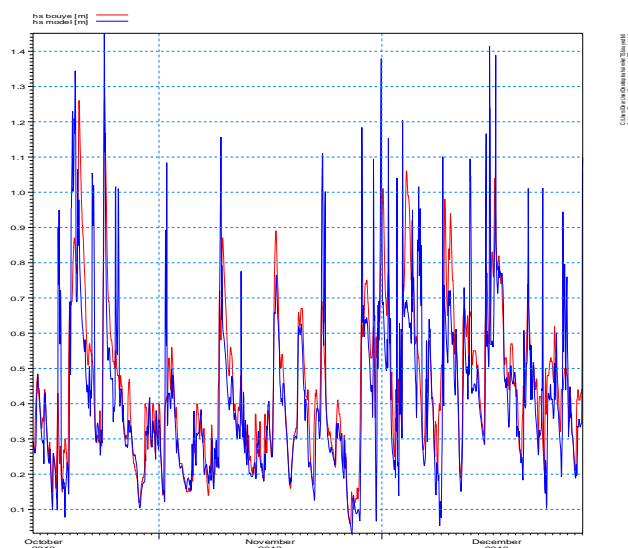
شکل 18 شبکه‌بندی منطقه مورد پژوهش



شکل 19 نقشه فایل عمق سنجی خلیج گرگان



شکل 20 مرزهای مدل



شکل 21 اندازه ارتفاع موج بویه و مدل

**جدول 2** ورودی‌های انتخاب‌شده در مرزهای مدل

ماژول	داده‌ها	مرز دریایی (مرز شمالی)	مرز دریایی (مرز غربی)
SW	باد	داده‌های باد خروجی مانیتورینگ دریای خزر	داده‌های باد خروجی مانیتورینگ دریای خزر
SW	موج	داده‌های موج خروجی مانیتورینگ دریای خزر	داده‌های موج خروجی مانیتورینگ دریای خزر
HD	جریان	داده‌های جریان دستگاه ADCP	داده‌های جریان خروجی مانیتورینگ دریای خزر

به ساحل، مشاهده می‌شود. با توجه به تعریف باد آرام، باد آرام بادی است که سرعت کمتر از یک نات یا 0/51 متر بر ثانیه داشته باشد. با توجه به گل باد منطقه نتیجه می‌شود که 2/03% از بادهای در تشکیل موج دخالتی ندارند، بیشتر بادهایی که در منطقه در تشکیل موج دخالت می‌کنند، از غرب و جنوب غربی و همچنین از سمت شرق و شمال شرقی می‌باشند (شکل 23).

با توجه به گلباد سالیانه منطقه مطالعاتی، بیشترین جهت ورود امواج از سمت غرب و شمال غربی واقع شده است (شکل 24).

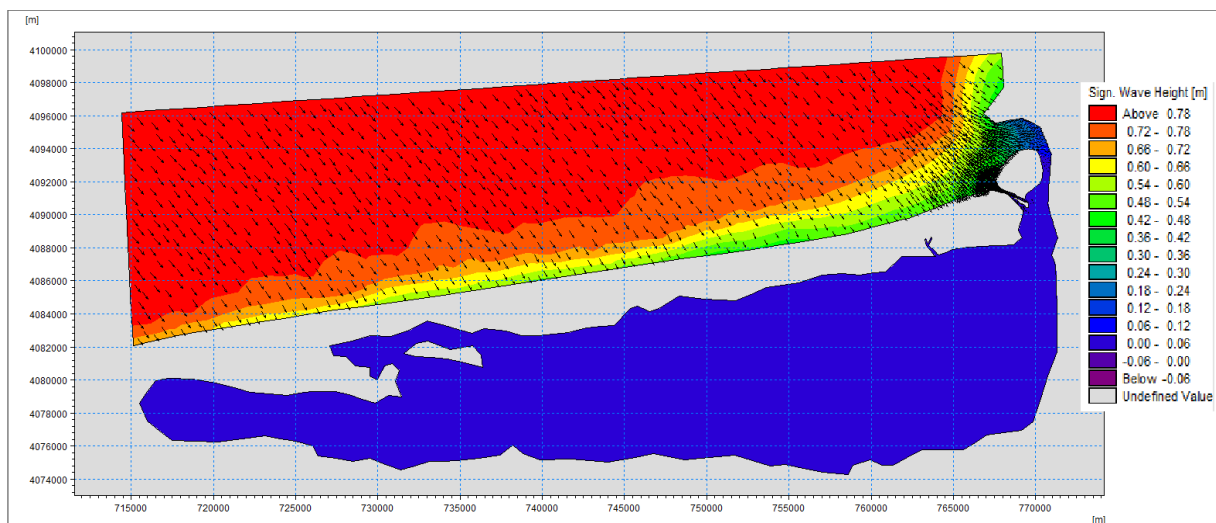
برای اندازه‌گیری میزان تغییرات تراز سطح آب، با توجه به شکل 25، سه نقطه به‌عنوان نماینده خروجی گرفته‌شده است. کمترین میزان تغییرات سطح آب مربوط غرب زبانه میانکاله و بیشترین اندازه تغییرات مربوط به شرق زبانه می‌باشد. حداکثر ارتفاع حاصل از مد طوفان مربوط به سرعت بادهای بین 10 تا 13 متر بر ثانیه بوده که موجب بالا آمدن آب بیش از 30 تا 40 سانتی‌متر در محدوده شرق زبانه و دهانه کانال آشوراده (ساحل شرقی) شده است و ارتفاع حاصل از این مد طوفان در ساحل مرکزی میانکاله حدود 15 سانتی‌متر بوده و در ساحل غربی این عدد به کمتر از 1 سانتی‌متر کاهش می‌یابد (شکل 26).

**جدول 3** ضرایب کالیبراسیون مدل

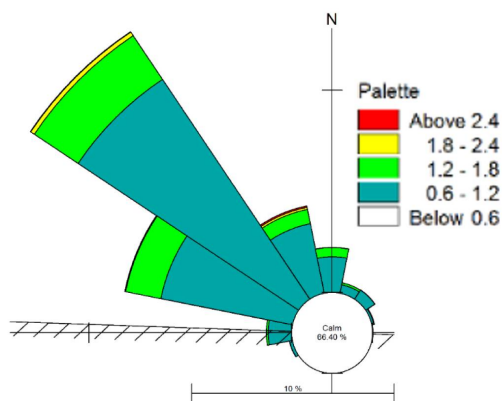
0/001	ضریب زبری ( $K_N$ )
0/8	شکست موج ( $\gamma$ )
2	سفیدک رأس موج
0/8	ضریب پراکنش

## 7-2- یافته‌های مدل‌سازی

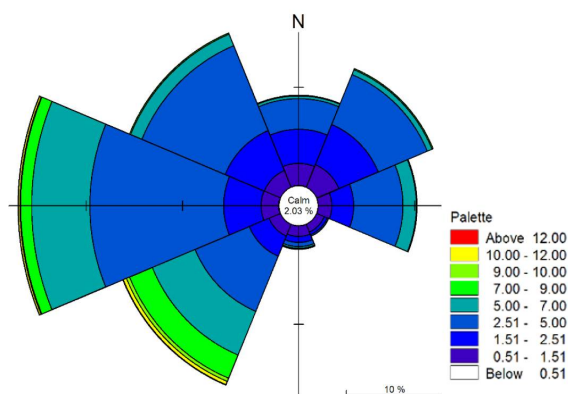
مدل‌سازی طیفی امواج، میانگین جهت امواج از غرب به شرق را نشان می‌دهد. ارتفاع موج در محدوده خلیج با نزدیک شدن به خط ساحلی به یک‌باره کاهش می‌یابد. روند کاهش ارتفاع امواج بعد از شکست موج در دهانه‌های آشوراده و چپقلی (دهانه‌های خلیج گرگان) ادامه داشته و میانگین ارتفاع امواج به زیر 0/3 متر می‌رسد (شکل 22). امواج منطقه موردپژوهش تحت تأثیر جهت باد غالب بوده و در فصل زمستان بیشترین تغییر در جهت امواج تابیده‌شده



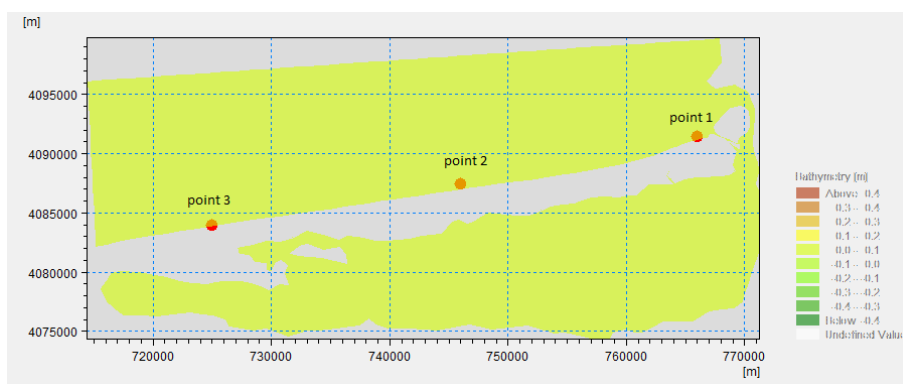
**شکل 22** ارتفاع و جهت امواج در محدود خلیج گرگان



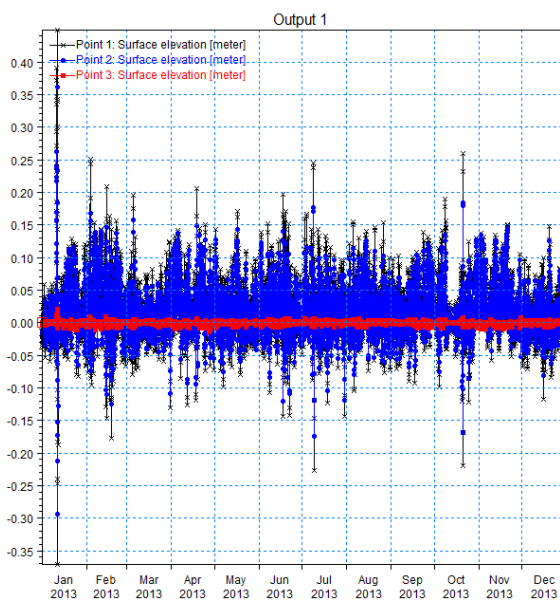
شکل 24 گل موج سالانه



شکل 23 گلابد یکساله ایستگاه سینوپتیک



شکل 25 نقاط انتخابی برای خروجی از تغییرات سطح آب و اندازه سرعت جریانها



شکل 26 خروجی اندازه تغییرات سطح آب

حاکی از کاهش نرخ کل انتقال رسوب و کاهش سرعت جریان از غرب به شرق ساحل میانکاله است. میانگین نرخ

برای درک کاهش یا افزایش سرعت جریان و نرخ انتقال رسوب از نقاط شکل 27 خروجی گرفته شده است و نتایج

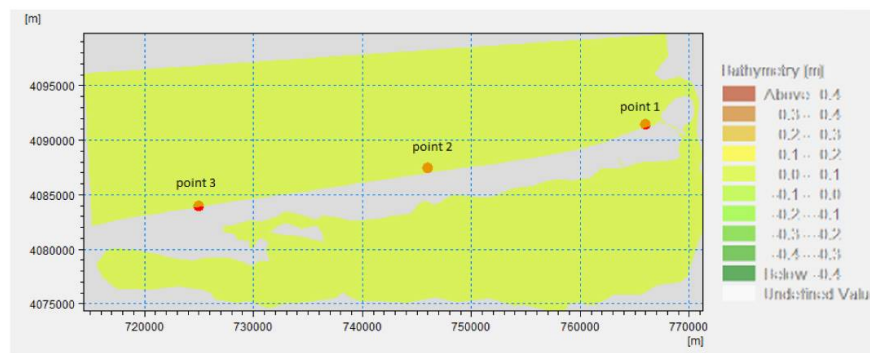


مناطق عمیق دریا، تغییر بار بستر چندان زیاد نبوده و کمابیش بدون تغییر مثبت یا منفی باقی می‌ماند، اما در نزدیکی خط ساحلی، برداشت و انتقال ماسه مقادیر بیشتری به خود اختصاص می‌دهد (شکل 29).

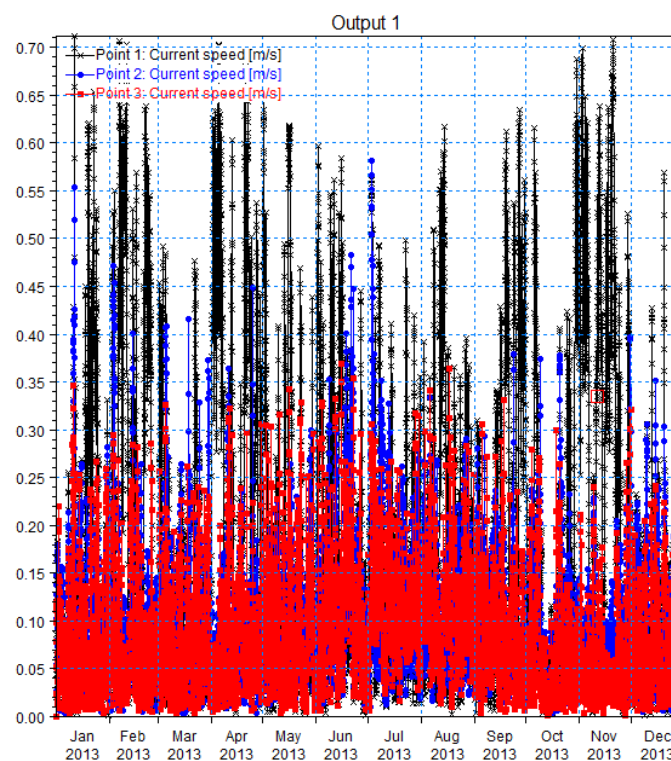
نرخ تغییرات بستر دریا برحسب متر در روز حاکی از برداشت ماسه در آب‌های کم‌عمق ساحلی به‌وسیله‌ی جریان‌های ساحلی، امواج و رودخانه است. این نرخ در آب‌های عمیق به سمت اعداد مثبت تمایل دارد که حاکی از انباشت ماسه در جهت عمود بر خط ساحلی در آب‌های عمیق است (شکل 30).

کلی انتقال رسوب در ساحل میانکاله کمتر از 0/00002 مترمکعب بر ثانیه در هر متر می‌باشد و سرعت جریان از 0-0/65 متر بر ثانیه در غرب به 0/3-0 متر بر ثانیه در شرق رسیده است (شکل 28).

در ادامه با استفاده از مدل طیفی امواج و مدل هیدرودینامیک که ورودی مدل انتقال ماسه شمرده می‌شود، به شبیه‌سازی انتقال ماسه در آب‌های کم‌عمق خط ساحل میانکاله و دهانه خلیج گرگان پرداخته شد. مدل‌سازی انتقال ماسه، تغییرات قابل‌توجهی را در بار بستر آب‌های نزدیک خط ساحلی نشان می‌دهد. در



شکل 27 نقاط انتخابی برای خروجی سرعت جریان و انتقال رسوب

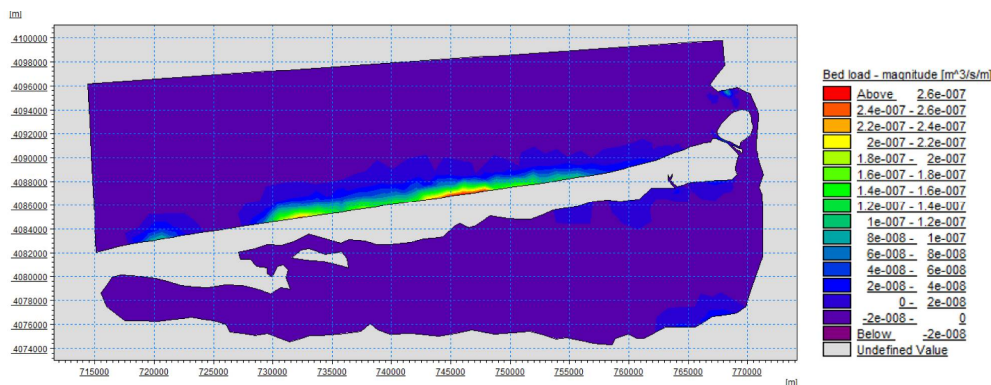


شکل 28 اندازه خروجی سرعت جریان در ساحل میانکاله

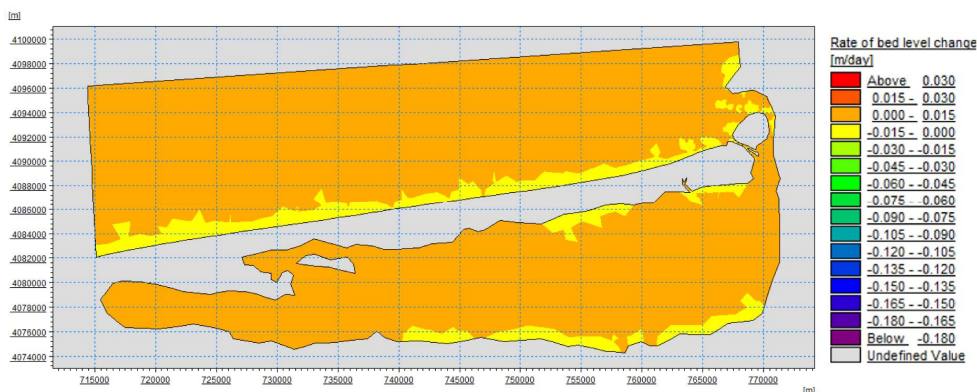


رسوب در ساحل میانکاله کمتر از 0/00002 مترمکعب بر ثانیه در طول متر است. شکل 31 میانگین جهت جریان محدوده خلیج گرگان در بیرون خلیج و در خط ساحلی از سمت غرب به شرق بوده و با دور شدن از خط ساحلی جهت جریان نیز دچار تغییر می‌شود. در درون خلیج، میانگین جهت جریان از شرق به غرب و به صورت پادساعت‌گرد، در شکل 32 مشاهده می‌شود.

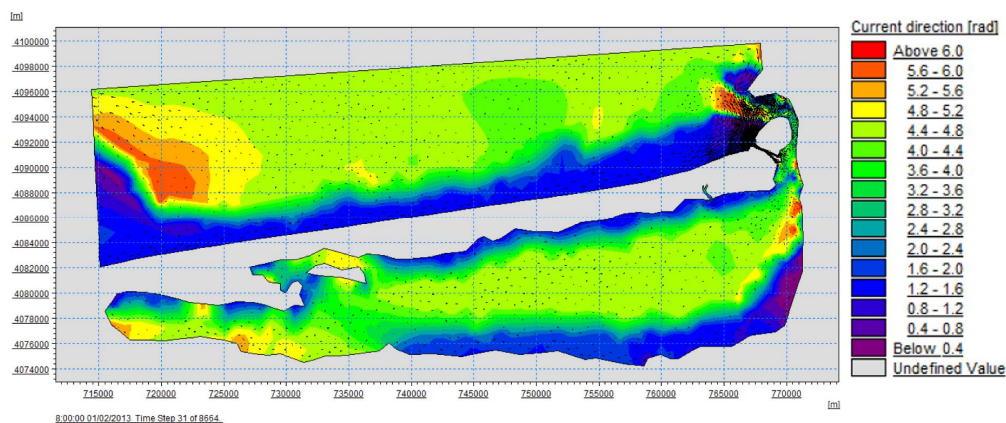
برای ساحل میانکاله 3 نقطه بر اساس شکل 28 برای اندازه نرخ کلی انتقال ماسه خروجی در نظر گرفته شده که نتایج خروجی بیانگر این است که اندازه نرخ کلی انتقال در کل ساحل میانکاله تقریباً از غرب به شرق کاهش داشته، ولی این عدد تفاوت چندانی نداشته و می‌توان گفت با یک نرخ تقریباً ثابت در طول ساحل میانکاله، رسوبات انتقال می‌یابد. به‌طور میانگین نرخ انتقال



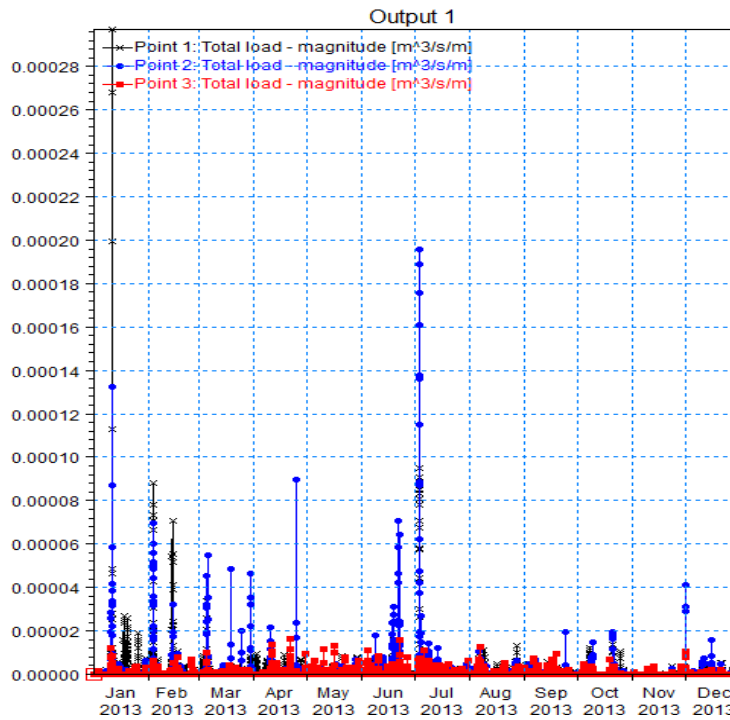
شکل 29 تغییر بار بستر در منطقه مطالعاتی



شکل 30 نرخ تغییرات بستر دریا



شکل 31 جهت جریان غالب در منطقه میانکاله



شکل 32 خروجی اندازه کلی نرخ انتقال ماسه در نقاط مشخص شده در شکل 28

## 8- نتیجه‌گیری

در این مطالعه طی عملیات دقیق پایش میدانی منطقه و سپس مدل‌سازی عددی مایک (SW و Flow Model) منطقه مطالعاتی به‌منظور شناخت نحوه عملکرد ساحل میانکاله، نتایج زیر حاصل شد:

- در مدل‌سازی هیدرودینامیکی، جهت و سرعت جریان در خلیج گرگان مشخص شد که طبق نتایج، جهت جریان در خلیج گرگان پادساعت‌گرد و جهت جریان در ساحل میانکاله از سمت غرب به سمت شرق می‌باشد که شکل ظاهری خلیج و تشکیل زبانه میانکاله نیز، این جهت را تأیید می‌کند.

- موارد به‌دست‌آمده توسط مدل نرم‌افزاری مایک نیز بیانگر کاهش سرعت جریان و کاهش ظرفیت انتقال رسوب از سواحل غربی به سواحل شرقی است و نشان‌دهنده نرخ رسوب‌گذاری پایین در دهانه خلیج است. - با توجه به گشت میدانی و تفسیر شواهد مورفولوژیکی میانگین جهت حرکت رسوبات از غرب به شرق است. - سواحل میانکاله از نوع پراکنشی است و با توجه به شواهد مورفولوژیکی منطقه سمت بازوی اسکله امیرآباد،

علی‌رغم پراکنشی بودن منبع رسوبات، خاصیت فرسایشی دارد. همچنین خاصیت پراکنشی ساحل به علت کاهش شیب ساحل از غرب به شرق، افزایش پیدا می‌کند. - تغییر شواهد فیزیکی در ساحل، بیانگر کاهش سرعت جریان از غرب به سمت شرق بوده و ساحل شرقی یک محیط آرام و رسوب‌گذار است. - نتایج مدل‌سازی مایک و تفسیر شواهد مورفولوژیکی ساحل میانکاله با هم همسو هستند. - مدل‌سازی عددی مایک برای مناطق کم شیب ساحلی که تحت سلطه امواج قرار دارند، جوابگو است.

## 9- فهرست علائم

$C$	سرعت انتشار موج
$c$	ضریب شزی
$Cg$	سرعت گروهی موج
$d_{50}$	قطر متوسط ذرات رسوب
$E$	طیف انرژی موج فرکانسی جهتی
$f$	فرکانس
$f$	ضریب اصطکاک باد
$h$	عمق آب

رسوب شناسی، شماره 95، صص. 217-230.

Aagaard, T., B. Greenwood and H. Michael (2013). "Sediment transport on dissipative, intermediate and reflective beaches," *Earth-Science Reviews*, Vol. 124, pp. 32-50.

DHI (2012). Manual of MIKE 21 and MIKE 3 flow model FM, Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module.

DHI (2012). Manual of MIKE 21/3, coupled model FM, Coastal Hydraulic and Oceanography Hydrodynamic Module.

Dean, R. G. and R. A. Dalrymple (2004). Coastal processes with engineering applications, Cambridge University.

Doug, P. and H. Karunarathna (2013). "A statistical-process based approach for modelling beach profile variability," *Elsevier*, Vol. 81, pp. 19-29.

Evans, O. F. (1941). "The classification of wave-formed ripple marks," *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 11., pp. 37-41.

Emadaldin, S. (2012). "Assess changes in sea levels and human activity deformation in the eastern part of the Caspian Sea coast during the past half century," *Second International Conference on Environmental Hazards*, Tehran, Iran, Kharazmi University. 8p.

Kiaei, S. (2014). "The survey of sedimentation and erosion of ideal tidal inlets effected by both tide and cross-shore wave by numerical modeling," *Watershed Management Research*, Vol. 104, pp. 62-74.

Short, A. D. (2006). "Australian beach systems—nature and distribution.," *Journal of Coastal Research*, Vol. 22, pp. 11-27.

Short, A. d. (1999). "Wave-dominated beaches. In: Short, A.D. (Ed.), *Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics*," Wiley Science, pp. 173-203.

Wright, L. and A. d. Short (1984). "Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis," *Marine Geology*, Vol. 56, pp. 93-118.

$H_0$	ارتفاع موج در آب عمیق
$H_b$	ارتفاع شکست موج
$L_0$	طول موج آب عمیق
$p, q$	دانسیته شار در جهت‌های مختلف
$P_a$	فشار هوا
$S$	عبارت چشمه و چاه
$t$	زمان
$T$	پریود امواج
$\tan \beta$	شیب ساحل
$v, u$	سرعت متوسط
$W_s$	سرعت سقوط ذرات
$x, y$	مختصات دکارتی در حالت دوبعدی
$\theta$	جهت انتشار امواج
$\rho_w$	جرم حجمی آب
$\xi$	تغییرات تراز سطح آب

## 10- منابع

خوشروان، ه. (1390). "پهنه‌بندی مورفولوژی سواحل جنوبی دریای خزر"، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، گزارش داخلی.

رورده، ه. ا. (1392). "شبیه‌سازی دینامیک امواج و انتقال ماسه در سواحل دریای خزر (محدوده خلیج گرگان)"، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمتی، جلد 2، صص. 1-18.

سازمان بنادر و دریا نوردی مرکز ملی اقیانوس شناسی و مؤسسه تحقیقات هیدرولیک دانمارک (1390). "مدل‌سازی دریا‌های ایران، دریای خزر".

شربتی، س. (1395). "ضرورت بررسی اثرات کاهش سطح تراز آب دریای کاسپین بر وضعیت خلیج گرگان و ارائه راهکار جهت برون رفت از بحران در سال‌های آتی"، بهره‌برداری و پرورش آبزیان، جلد 5(1).

عرفان، ش و حامدی، م. (1394). "مجموعه جزیره سدی در جنوب خاور دریای خزر (شمال بهشهر)"، مجله چینه شناسی و