

## مدل‌سازی جریانات باقی مانده جزر و مدی در خلیج پزم

حکیمه موسی زاد<sup>۱</sup>، محمد اکبری نسب\*<sup>۱</sup>، حسین مشایخ پول<sup>۲</sup>

۱. گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه مازندران، بابلسر

۲. دانشگاه هامبورگ، هامبورگ، آلمان.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۳

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2017.41734](https://doi.org/10.22113/jmst.2017.41734)

## چکیده

جریانات باقی مانده ناشی از سه نیروی جزرو مدی، نیروی باد و اختلاف چگالی می باشد. جریانات باقی مانده جزرومدی معمولاً در اثر تعامل موج جزرو مدی و ساختار نامنظم بستر به وجود می‌آیند. در این پژوهش، با استفاده از دو بعدی VOM-SW2d در شرایط فشارگرا و کاملاً غیرخطی، شکل‌گیری این جریانات باقی مانده به واسطه جزرومد در خلیج پزم شبیه‌سازی شده است. در این مطالعه جهت بررسی موثر اثرات ناهمواری بستر، شیب توپوگرافی منطقه با استفاده از فیلتر بالا گذر حذف شد. در این تحقیق شبکه محاسباتی منظم با قدرت تفکیک ۱۵۰ متر در راستای X و Y در مدل به کار رفته است. نتایج برای خلیج پزم نشان داد که مقدار جریان بیشینه ۰.۵ متر بر ثانیه است. جریانات باقی مانده در نزدیکی دهانه خلیج پزم به دلیل عوارض توپوگرافی، در محل دماغه‌ی خلیج پزم و همچنین در ناحیه ساحلی به دلیل شیب ساحل به وجود آمدند. مدل همچنین وجود چندین گرداب باقی مانده در اندازه‌های مختلف و چند گردش در مقیاس مختلف را نشان داد. جریانات باقی مانده جزرومدی در خلیج پزم توسط مدار لاگرانژی<sup>۱</sup> به تصویر کشیده شد که نتایج جریانی ثابت همراه با گردابه‌ها را نشان داد. هر گردابه را می‌توان با یک مانع توپوگرافی شناخت، این تایید می‌کند که جریانات باقی مانده شدیداً تحت تاثیر ناهمواری‌های بستر می‌باشد که شکل این گردابه‌ها با توجه به شکل تپه‌ها و دره‌های زیر آبی تغییر شکل می‌دهند.

واژگان کلیدی: جریانات باقی مانده جزر و مدی، خلیج پزم، مدل دو بعدی VOM-SW2d

<sup>۱</sup> Lagrangian trajectories

\* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: m.akbarinasab@umz.ac.ir

## ۱. مقدمه

سه فرآیند نیرو می‌توانند انرژی لازم برای حرکت افقی ستون آب را فراهم کنند. نیروی جزرومدی، نیروی باد و اختلاف چگالی، نسبت انرژی این سه ترم از جریان‌های اقیانوسی را به ترتیب از مرتبه ۱:۱۰:۱۰۰ می‌توان تقریب زد (Roeyndls, 1993). جریان‌های باقی مانده را نیز می‌توان ناشی از این سه نیرو دانست که به صورت جداگانه قابل بررسی هستند و در جریان میانگین نقش موثری دارند. در این پژوهش جریانات باقی مانده ناشی از جزرو مد مورد توجه می‌باشند.

به نظر می‌آید جریانات باقی مانده جزرو مدی ناشی از انتقال غیر خطی حرکت گردابی زمینه جزرو مدی نوسانی در زمینه اصلی باشند، ساختار بی نظم توپوگرافی یا عامل خط ساحلی به عنوان کاتالیزر اصلی تولید گردابیان گردابی است (Zimmerman, 1981). در دینامیک جزرو مدی، فعل و انفعالات غیر خطی چرخان جزرو مدی با توپوگرافی کف به وسیله ترم های فرارفت معادله اندازه حرکت ارائه می‌شود (Lavin and Marinone, 2003). بسیاری از مناطق که بستر دریا دارای ناهمواری باشد، احتمال ایجاد جریانات باقی مانده جزرومدی زیاد می‌باشد که ساختاری شبیه گرداب، چرخه و یا جریان حلقه‌ای را تشکیل می‌دهند (Zimmerman, 1981). همچنین در اثر شیب ساحل یا در دهانه خورها به دلیل اختلاف بین میزان آب جابه‌جا شده در یک دوره جزرو مدی، چرخه جریانات جزرو مدی نامتقارن شده و موجب شکل‌گیری یک جریان برآیند خواهند شد. این برآیند نیز جریانات باقی مانده جزرومدی نام‌گذاری شده است. عمرگردابه‌ها به بزرگی سرعت و اتلاف آن‌ها بستگی دارد (Imasato, 1983). جریانات باقی مانده را می‌توان به دو صورت اوپلری و لاگرانژی بررسی کرد. جریانات باقی مانده لاگرانژی به وسیله جریان باقی مانده اوپلری و تنش استوکس تشکیل می‌شود (Xuan et al., 2015). جریان باقی مانده اوپلری نقش مهمی در گردابه‌های باقی مانده جزرومدی ریز مقیاس و بخش دریایی گردش‌های جزرو مدی در مقیاس منطقه‌ای بازی می‌کنند در حالی که نقش استوکس در شکل دادن به نزدیک بخش ساحلی در مقیاس منطقه‌ای جریانات باقی مانده جزرومدی مهم است (Xuan et al., 2015). جریان‌های باقی مانده جزرو مدی معمولاً یک یا دو مرتبه از نظر اندازه ضعیف‌تر از سرعت جریان

جزرومدی هستند (Robinson, 1981). ترم‌های بلند انتقال جرم آب، حرارت، شوری، مواد مغذی، رسوب و آلاینده‌ها به همان اندازه جریانات باقی مانده انجام می‌گیرد (Robinson, 1981). به دلیل اینکه این فرآیندها غیر خطی هستند مدل‌های عددی برای بررسی اجزای آب‌های کم عمق و جریانات باقی مانده جزرومدی مهم هستند (Le Provost and Fornerino, 1985; Westerink et al., 1989; Dworak and Gómez-Valdés, 2003).

بررسی و شناخت جریان های باقی مانده جزر و مدی برای درک انتقال انرژی و انتقال خالص آلودگی ها یا مواد تخلیه شده در محیط زیست ساحلی مهم می‌باشد (Babu et al., 2005). در سال 1981، Zimmerman از لحاظ ریخت شناسی گردابه‌ها را به سه نوع دسته بندی کرد: الف-گردابه های باقی مانده حوضه: که در اثر تعامل جریان جزرو مدی و اصطکاک لایه‌های مرزی در حوضه نیمه محصور حاصل می‌شوند (شکل-الف). ب-گردابه‌های دهانه: در طول دماغه ساحلی در جهت جریان به واسطه اصطکاک جداره از سرعت جریان جزر و مدی کاسته می‌شود و چرخه‌ها را به وجود می‌آورد (شکل-ب). ج- گردابه‌های مرز بندی‌های شنی: زمانی که جریان‌های جزرومدی در طول منطقه‌های شنی زیر دریا تولید شوند به واسطه پیچش کوریولیس و اصطکاک کف این گردش‌ها حاصل می‌شود (شکل-ج).

در زمینه جریانات باقیمانده ناشی از جزرومد در خلیج چابهار مطالعات زیادی انجام نشده است فقط اکبری و همکاران (2016) با استفاده از مدل FVCOM، توزیع دامنه های جزرومدی در خلیج فارس و دریای عمان را مدلسازی نمود و شیرین منش و چنگینی (2012) میزان استحصال انرژی حاصل از جریان و موج در این منطقه را برآورد کردند.

در این زمینه تحقیقات وسیعی در خارج از کشور صورت گرفته است. مشایخ‌پول و همکاران (Mashayekh Poul et al., 2016) در دانشگاه هامبورگ در سال ۲۰۱۶ با مدل عددی VOM-SW2d این جریانات را در خلیج فارس شبیه سازی کردند و به نتایج جالبی دست یافتند. نتایج نشان داد که جریانات باقی مانده در این منطقه ناشی از گنبد های نمکی زیر آب است. ایشان همچنین

معادلات مشابه مدل HAMSOM<sup>۲</sup> می‌باشد (al., 1997; Backhaus 1985; Alvarez Fanjul et al. 1997). HAMSOM برای مطالعات دریایی در مناطق مختلف برای حمایت از محیط زیست و مطالعات شیلات و محیط زیست فلات و اقیانوس بوده است و همچنین برای تحقیقات آب و هوای برخی مناطق مورد استفاده قرار گرفته است. مدل VOM-SW2d معادلات آب کم عمق در یک محیط چرخان، تراکم ناپذیر و ناکشسان<sup>۱</sup> به روش احجام نامحدود حل می‌کند. یک شبیه‌سازی باروتروپیک با نیروهای جزرومدی توسط مدل برداری اقیانوسی دو بعدی آب کم عمق VOM-SW2d برای مطالعه جریان باقی مانده جزرومدی انجام شد. که جزرومد تنها مکانیسم نیرو در شبیه‌سازی می‌باشد. این مدل دارای شبکه منظم و در راستای قائم دارای شبکه قائم Z می‌باشد. در این مدل می‌توانید با استفاده از طرح واره های فرارفت جدیدی جهت سلول تر و خشک در یک صفحه افقی تعریف نمایید. این مدل معادلات آب کم عمق به صورت انتگرال در کل عمق حل نموده و قادر به بکارگیری انواع توپوگرافی می‌باشد. این نسخه از مدل معادلات ترمودینامیک را حل نمی‌کند. جزرومد از طریق یک مفهوم غشاء و فرآیندهای غشایی در مدل گنجانده شده است (Fischereit, 2014) سرعت جریان باقی مانده در مدل توسط فرمول زیر بدست می‌آید:

$$u_{res} = \frac{\sum_1^N U}{\sum_1^N H}$$

با گام زمانی  $N = \frac{T}{dt}$  که در آن  $u_{res}$  سرعت باقیمانده می‌باشد،  $U$  تکانه،  $T$  دوره جزرومدی و  $H$  به صورت  $Depth + \zeta$  تعریف می‌شود که در آن  $\zeta$  نوسانات سطح دریا می‌باشد. برای بررسی جریانات در خلیج پزم اطلاعات عمق‌سنجی از سازمان نقشه برداری تهیه شده، که در محیط GIS آماده شده سپس به مدل اعمال گردیده است. همچنین داده‌های مربوط به خط ساحلی نیز از این پایگاه استخراج شده و در شبکه‌ی محاسباتی اعمال گردیده است. جزرومد تنها مکانیسم نیرو در شبیه‌سازی می‌باشد. شرایط مرزی مرز باز به صورت تنظیمات اصلی مدل انتخاب گردید. این شرایط مرزی مربوط به حالتی است که نوسانات سطح آزاد در مرز باز به صورت دامنه و فاز جزر و مدی به مدل معرفی شده باشد. در مدل سه

مدار لاگرانژی<sup>۱</sup> را در این منطقه رسم کردند که گردابه‌ها و گردش‌های باقی مانده را نشان می‌داد و نیز الگویی برای گردابه‌ها با توجه به شکل و اندازه موانع توپوگرافی شامل تپه‌ها و دره‌ها ارائه کردند.

از بررسی‌های دیگری که در این زمینه انجام شده است می‌توان اشاره کرد به: Xuan و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی ساختار دقیق جریانات باقی مانده جزرومدی به خصوص گرداب‌های مشاهده شده از شبیه‌سازی در ریز مقیاس در منطقه Changjiang Bank و نقش آن‌ها در جریان میانگین در محدوده مدل ساحلی پرداختند. آن‌ها دو شبیه‌سازی با استفاده از مدل FVCOM با سناریوهای مختلف انجام دادند که در نتیجه مطالعاتشان دریافتند جریانات باقی مانده جزرومدی در منطقه مورد مطالعه متشکل از دو جزء است: تعدادی چرخه سیکلونی در ریز مقیاس در سرتاسر منطقه و یک گردش آنتی سیکلونی در مقیاس منطقه ای در اطراف لبه منطقه. Babu و همکاران در سال ۲۰۰۵ با مدل سازی جریان-های ناشی از جزرومد و گرداب‌های باقی مانده در خلیج Kachh و تنوع فصلی آن‌ها به بررسی این جریانات پرداختند آن‌ها از مدل هیدرودینامیکی MIKE21 استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهند توپوگرافی نامنظم در خلیج جنوبی انتشار موج‌های جزر و مدی را کند می‌کنند و باعث تغییر فاز آن می‌شوند جریان‌های باقی مانده از نتایج مدل محاسبه شدند که وجود سه گرداب در بخش غربی خلیج را نشان می‌دهند.

## ۲. مواد و روش‌ها

VOM-SW2d<sup>۲</sup> یک مدل اقیانوسی برداری است این مدل دارای یک طرح عددی دو بعدی در صفحه افقی است که معادلات حرکت آب کم عمق را به صورت عمودی یکپارچه در یک چارچوب چرخشی تقریب می‌زند. همچنین این مدل دو بعدی غیر خطی و براساس طراح واره نیمه ضمنی است که در موسسه اقیانوس شناسی هامبورگ توسعه یافته است. در این مدل اساس حل

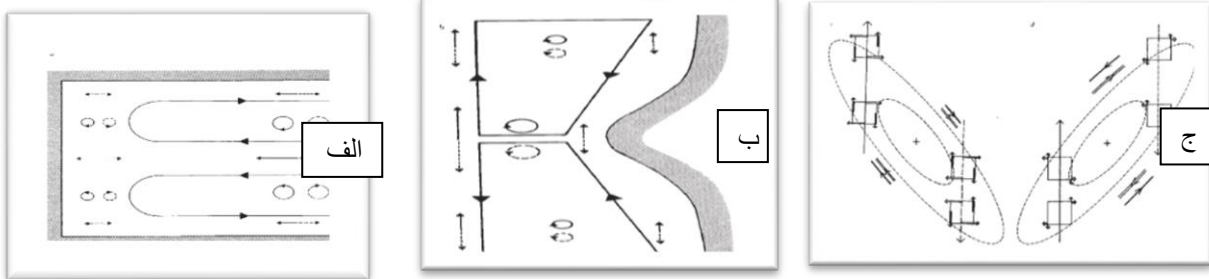
<sup>۱</sup> Lagrangian trajectories

<sup>۲</sup> vector-ocean-model- shallow –water- two-dimensional

<sup>۳</sup> Hamburg Shelf Ocean Model

موجود در منطقه مشخص می‌شود. مقادیر ثابت دامنه و فاز برای چهار مؤلفه‌ی جزر و مدی اصلی روزانه و نیم-روزانه (S2, K1, M2, O1) در منطقه در مختصات منطبق بر مکان گره‌های مرز باز به مدل معرفی شد.

مرز باز جنوبی، شرقی و غربی در نظر گرفته شد که تنها در مرز جنوبی که متصل به دریای عمان می‌باشد، نیرو اعمال شد. شرایط مرزی در طول مرز باز جنوبی با استفاده از 4 مولفه از ثابت‌های عمده هارمونیک جزرومد



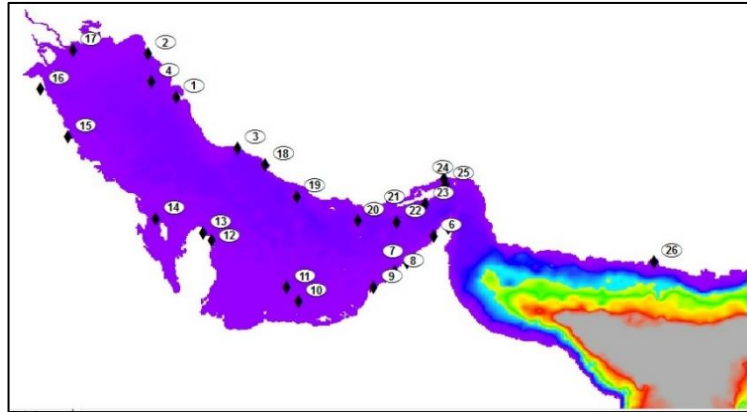
شکل ۱. اساس شکل‌گیری گردش‌های باقی مانده جزرومدی (Zimmerman, 1981)

شماره ایستگاه	نام ایستگاه
۱	بوشهر
۲	امام حسن
۳	کنگان
۴	خارک
۵	راس دیپله
۶	خور خویر
۷	اجمن
۸	دبی
۹	خور غاندا
۱۰	حسن البراعظ
۱۱	زرقاء
۱۲	راس لافان
۱۳	جبل کویت
۱۴	خوار فشت
۱۵	رأسالم الصحص
۱۶	مینا الحمیدی
۱۸	عسلویه
۱۹	جزیره لاوان
۲۰	جزیره فورو
۲۱	بندر لنگه
۲۲	جزیره تنب
۲۳	هنجم
۲۴	بندر عباس
۲۵	پسنی
۲۶	چابهار

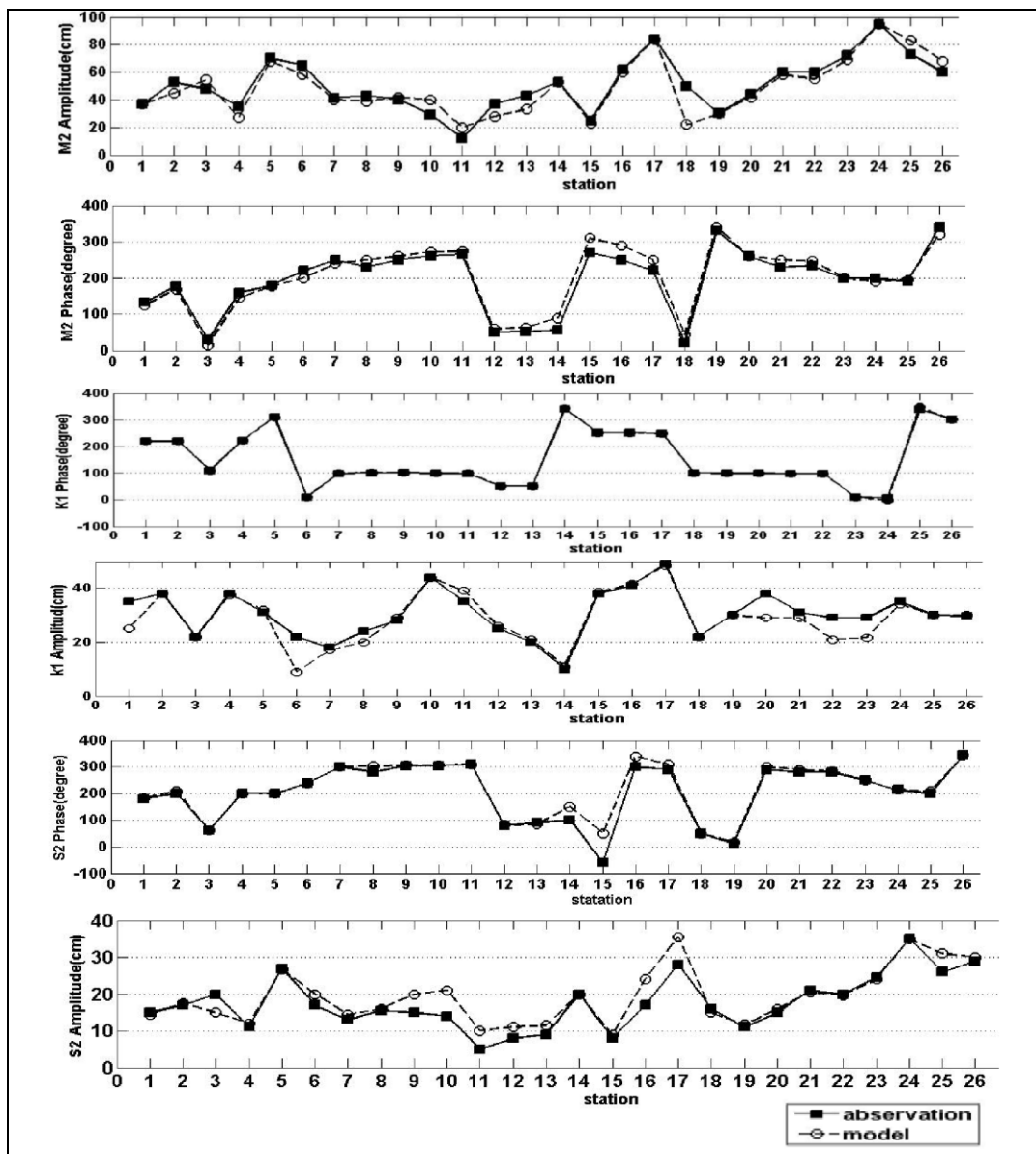
جدول ۱: نام ایستگاه‌های اندازه‌گیری جزرومد در منطقه خلیج فارس و دریای عمان

مدل از حالت سکون برای مدت ۱۰ دوره جزرومدی اجرا گردید تا علاوه بر آن که اطمینان حاصل شود که نوسانات در نقاطی با دورترین فاصله از مرز باز مدل، مقدار حقیقی دامنه‌ی خود را به دست آورده است، فرصت کافی برای برهم‌کنش‌های غیرخطی بین چهار مؤلفه‌ی جزر و مدی به کار برده شده نیز وجود داشته باشد. شبکه‌بندی با دقت  $0.0013 \times 0.0013$  درجه در نظر گرفته شده است. جریان‌های باقی مانده جزرومدی از یک میانگین عامل جزرومدی بدست آمده‌اند. این محاسبه برای هر جزء جزر و مد به طور جداگانه انجام می‌شود.

۴. پارامترهای کالیبراسیون و صحت سنجی مدل در منطقه مورد مطالعه به منظور اعتبار سنجی مدل از داده‌های ۲۶ ایستگاه (جدول ۱) در منطقه خلیج فارس و دریای عمان استفاده شد (شکل ۲). به منظور استخراج دامنه‌ی مؤلفه‌های جزر و مدی در ایستگاه‌های مورد مطالعه که اطلاعات اندازه‌گیری در آن‌ها موجود است از جعبه ابزار آنالیز هارمونیک T-Tide استفاده گردید. پس از استخراج دامنه و فاز مولفه‌های جزرومدی از داده‌های مشاهداتی توسط جعبه ابزار T-Tide این داده‌ها با دامنه و فاز مولفه‌های جزرومدی بدست آمده از مدل مقایسه شد (شکل ۳). نتایج حاصل از مقایسه نشان داد که داده‌های حاصل از مدل در تطابق خوبی با مشاهدات بدست آمده از داده سنج جزرومدی در ایستگاه‌های مورد نظر می‌باشند. و این نشان می‌دهد که مدل به خوبی کالیبره شده است.



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری جزر و مدی

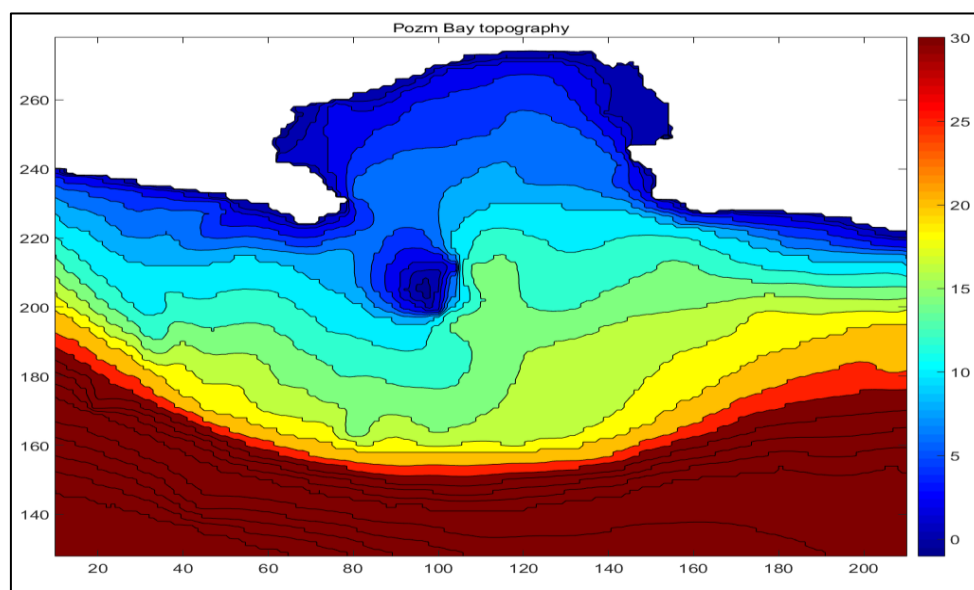


شکل ۳. مقایسه بین داده‌های حاصل از اجرای مدل و داده‌های مشاهداتی برای ۳ مولفه اصلی در خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان

## ۵. نتایج

منطقه با استفاده از فیلتر بالا گذر حذف شد، با اعمال فیلتر بالاگذر به شناسایی تپه‌ها و دره‌های خلیج پزم پرداخته شد که بیشترین ناهمواری مربوط به تپه‌ای با بزرگی بالاتر از ۳ متر در ورودی دهانه خلیج پزم و دره‌هایی به بزرگی ۳- متر در سواحل این خلیج می‌باشد (شکل ۵) و همچنین خلیج پزم دارای دو دماغه می‌باشد که در شکل‌ها مشخص هستند. سپس یک شبیه‌سازی برای بررسی تعامل ناهمواری‌های بستر و موج جزرو مد عبوری انجام شد.

از آنجا که جریان‌ات باقی مانده ناشی از تعامل توپوگرافی و موج جزرومدی می‌باشد، برای بررسی جریان‌ات باقی مانده در خلیج پزم، توپوگرافی این منطقه مورد مطالعه قرار گرفت، که ناهمواری‌های بستر را به نمایش می‌گذارد (شکل ۴) از آن جا که احتمال ایجاد جریان‌ات باقی مانده در اطراف تپه‌ها و دره‌ها و دماغه‌ها طبق تحقیقات انجام شده وجود دارد، جهت بررسی موثر اثرات ناهمواری بستر، شیب توپوگرافی



شکل ۴. توپوگرافی خلیج پزم، اعداد بر حسب متر

شبه‌سازی اولیه توسط مدل وجود جریان‌های باقی مانده ناشی از تعامل جریان جزرومدی و توپوگرافی را نشان داد که در توافق خوبی با توضیحات نظری جریان‌ات باقی مانده است (Yuxiang, 1988; Zimmerman, 1978; Komen et al., 1981;).

بیشترین سرعت مشاهده شده ۰.۵ متر بر ثانیه می‌باشد، در سایر نقاط سرعت‌ها کمتر از ۰.۱۵ می‌باشد. (شکل ۶) پس از اجرای ثانویه مدل، جزئیات جریان باقی مانده جزرومدی با وضوح بالا بدست آمد، که چندین گرداب باقی مانده جزرومدی متمایز سیکلونی و آنتی سیکلونی ریز مقیاس<sup>۱</sup> (ادی‌ها در مقیاس چند

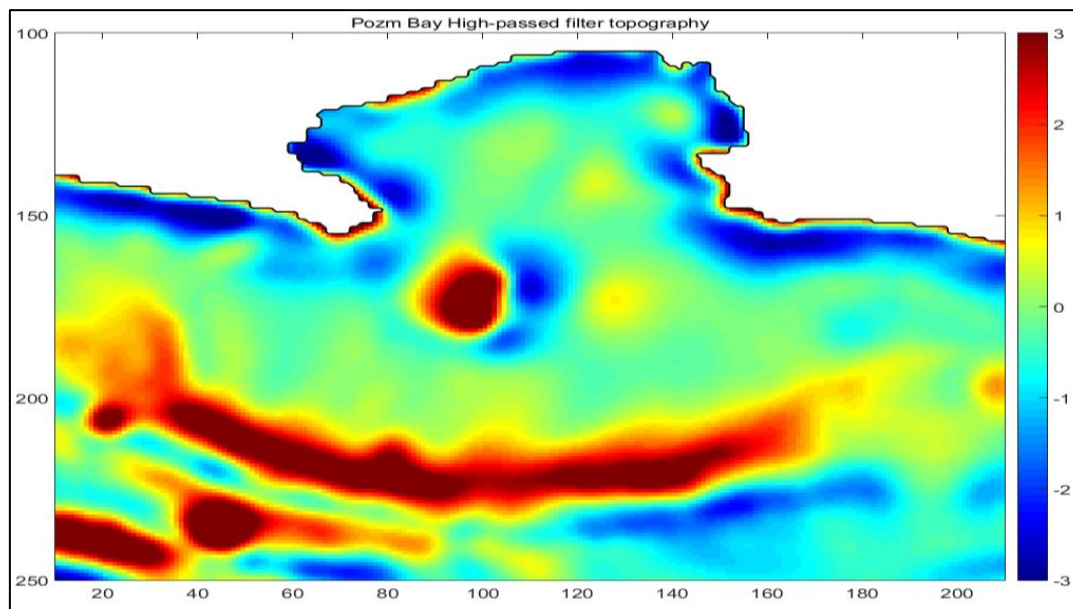
متر تا کیلومتر) برای مولفه‌های اصلی روزانه و نیم روزانه مشخص شد. سرعت‌های باقی مانده مولفه نیم روزانه و نیم روزانه خلیج پزم به صورت جداگانه شبیه‌سازی شد (شکل ۷ و ۸).

در بررسی نهایی هر ۴ مولفه اصلی جزرومدی در منطقه (K1+M2+O1+S2) به مدل اعمال شد و جریان‌ات باقی مانده جزرومدی توسط مدل شبیه‌سازی شد که چندین گردابه در منطقه مشاهده شد (شکل ۹). سه نوع گردابه توضیح داده شده توسط Zimmerman در این منطقه دیده می‌شود: ۱- در دهانه خلیج پزم طبق داده‌های توپوگرافی تپه‌ای به بلندی ۵ متر دیده می‌شود که اطراف آن چندین گردابه تشکیل شده است که گردابه در قسمت شمالی تپه به صورت سیکلونی (پاد ساعتگرد) و

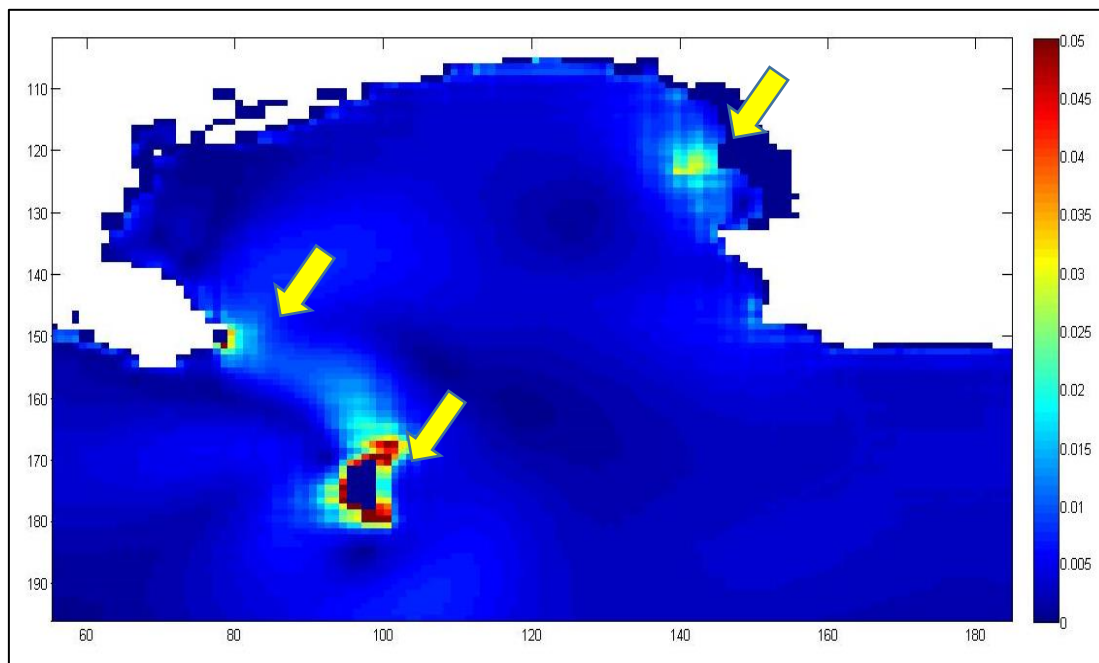
<sup>۱</sup> Mesoscale Eddy

سواحل نیز به دلیل شیب ساحل چندین گردابه در حدود طول ۲۵،۳۴ و عرض ۶۰،۱۹۷ دیده می‌شود ۳- در محل دماغه خلیج پزم گردابه دیده می‌شود که در شکل ۹ علامت گذاری شده اند.

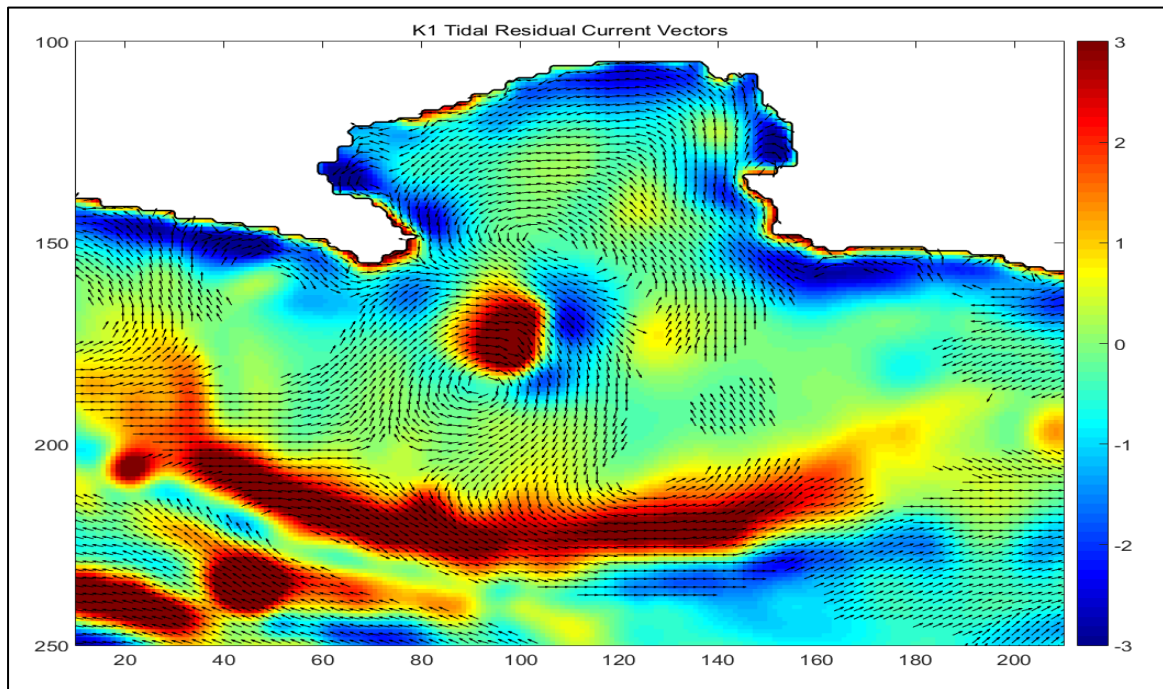
در قسمت جنوبی تپه به صورت آنتی سیکلونی (ساعتگرد) می‌باشد که با الگوی که مشایخ و همکاران (Mashayekh et al., 2016) ارائه داده بودند همخوانی دارد و در حدود طول ۲۵،۳۱ و عرض ۶۰،۲۱ قرار دارند ۲- اطراف



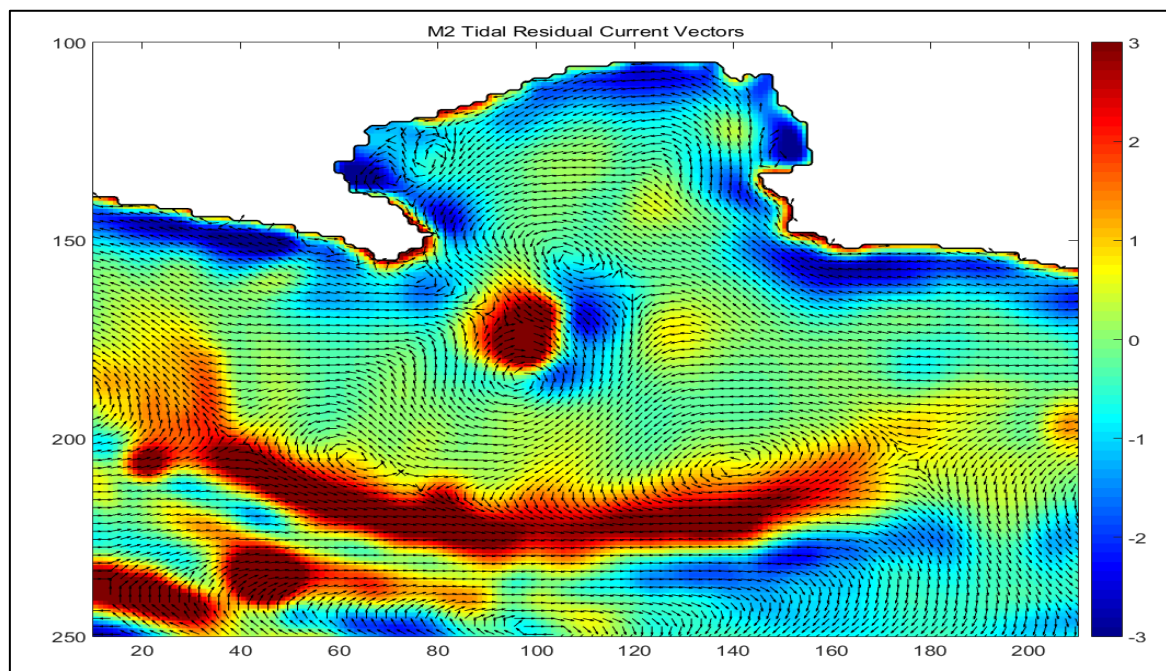
شکل ۵. اعمال فیلتر بالاگذر برای بررسی ناهمواری‌های بستر خلیج پزم، اعداد بر حسب متر



شکل ۶. الگوی سرعت های باقی مانده (m/s) ناشی از M2 در خلیج پزم. پس زمینه جریانات باقی مانده را نمایش می‌دهد.



شکل ۷. نتایج مدل برای سرعت های باقی مانده ناشی از K1 در خلیج پزم.



شکل ۸. نتایج مدل برای سرعت های باقی مانده ناشی از M2 در خلیج پزم.

می توان با یک مانع توپوگرافی شناخت. این نتایج نشان داد که جریان باقی مانده در ارتباط نزدیکی با مجموعه خط ساحلی و توپوگرافی ناهموار منطقه می باشد. نتایج مدل در نزدیکی مرز باز قابل اطمینان نمی باشد بنابراین سرعت ها در نزدیکی مرز باز مورد توجه نمی باشد.

مدار لگرنژی در منطقه برای ۴ مولفه اصلی ( $K1+M2+O1+S2$ ) مدل سازی شد (شکل ۱۰) که گردابه های اصلی<sup>۱</sup> و گردش های باقی مانده<sup>۲</sup> جزرومدی اطراف آن ها را در این منطقه نمایش می دهد. هر گردابه را

<sup>۱</sup> Mesoscale Eddy

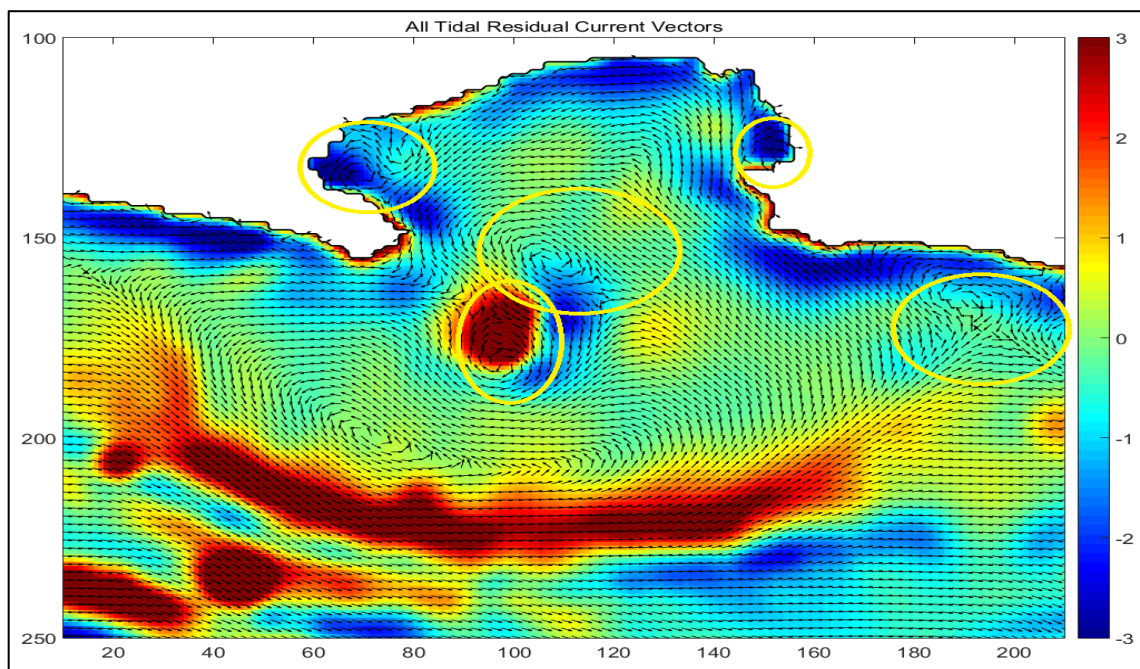
<sup>۲</sup> regional-scale



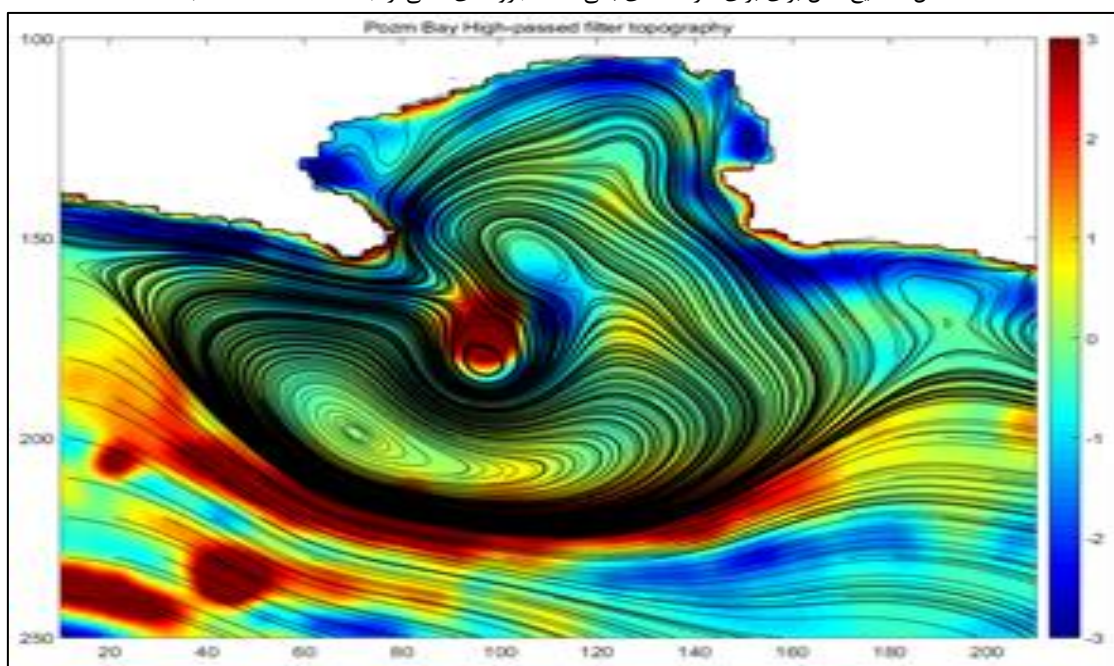
## ۶. بحث و نتیجه گیری

بستر خلیج پزم با فیلتر مناسب بالا گذر مورد بررسی قرار گرفت، که تپه‌ها و دره‌ها در این منطقه مشاهده شد. تعامل دینامیک جزرومدی و این موانع در مدل عددی هیدرودینامیکی غیر خطی VOM-SW2d در خلیج پزم مورد بررسی قرار گرفت. چهار مولفه اصلی جزرومدی به مدل در مرز باز دریای عمان اعمال شد. نتایج جریان‌ی ثابت همراه با گردابه‌ها را نشان داد، که هر گردابه را می‌توان توسط یک مانع توپوگرافی شناسایی کرد، این

تایید می‌کند که جریان باقی مانده جزر و مدی به شدت تحت تاثیر تعامل غیر خطی موج جزرومدی با برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های بستر دریا می‌باشد. بیشترین سرعت جریان‌های باقی مانده در منطقه برای چهار مولفه اصلی شناسایی شد. که سرعت بیشینه در منطقه حدود ۰/۵ متر بر ثانیه برای مناطق خاص و برای سایر نقاط سرعت حدود ۰/۱۵ متر بر ثانیه می‌باشد. مدار لاگرانژی رسم شده در خلیج پزم چند چرخاب اصلی و چندین گردش را نشان می‌دهد.



شکل ۹. نتایج مدل برای برای سرعت های باقی مانده جزر و مدی ناشی از  $(K1+M2+O1+S2)$ .



شکل ۱۰. مدار لاگرانژی در خلیج پزم. خطوط سیاه معرف گردش‌ها و گردابه‌های باقی مانده در منطقه می‌باشند.

## ۷- منابع

- Alvarez Fanjul E, Gómez BP, Sánchez-Arévalo IR (1997) A description of the tides in the Eastern North Atlantic. *Prog Oceanogr* 40:217-244.
- Akbari, P., Sadrasab, M., Chegini, V. and Siadat Mousavi, S. M. 2017. Study of tidal components amplitude distribution in the Persian Gulf, Gulf of Oman and Arabian Sea using numerical simulation. *Journal of Marine Science and Technology*, 16(3), 27-41.
- Babu, M. T., Vethamony, P., and Desa, E. 2005. Modelling tide-driven currents and residual eddies in the Gulf of Kachchh and their seasonal variability: A marine environmental planning perspective. *Ecological modelling*, 1
- Backhaus, J.O. 1985. A three-dimensional model for the simulation of shelf sea dynamics. *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*, 38(4), 165-187.
- Backhaus, J. O.1983. A semi-implicit scheme for the shallow water equations for application to shelf sea modelling. *Continental Shelf Research*, 2(4), 243-254.
- Dworak, J. A. and J. Gómez-Valdés .2003. Tide-induced residual current in a coastal lagoon of the Gulf of California, *Estuar. Coastal and Shelf Science*, 57(1-2), 99-109.
- Imasato, N. 1983. What is tide-induced residual current? *Journal of Physical Oceanography*, 13(7), 1307-1317.
- Fischereit, J. 2014. Impact of tides and ocean characteristics on the sea breeze in the German Bight area: model development and case study, (MA thesis) *Physical Oceanography*, Department of Mathematics, Computer Science and Natural Sciences Institute of Meteorology, University of Hamburg, p. 22.
- Komen, G. J. and H. W. Riepma.1981. The generation of residual vorticity by the combined action of wind and bottom topography in a shallow sea. *Oceanologica Acta* 4.3 (1981): 267-277.
- Lavin, M. F. and, S. G. 2000. An overview of the physical oceanography of the Gulf of California. In *Nonlinear processes in geophysical fluid dynamics* (pp. 173-204). Springer Netherlands.
- Le Provost, C. and M. Fornerino.1985. Tidal spectroscopy of the English Channel with a numerical model. *Journal of Physical Oceanography*., 15,1009-1031.
- Poul, H. M., Backhaus, J. and Huebner, U. 2016. A description of the tides and effect of Qeshm canal on that in the Persian Gulf using two-dimensional numerical model. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(2), 148.
- Mashayekh Poul, H., Backhaus, J., Dehghani, A. and Huebner, U. 2016. Effect of sub-seabed salt domes on tidal residual currents in the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research*.
- Reynolds, R.M .1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. *Mar Pollut Bull* 27:35-59.
- Robinson, I. S. 1981. Tidal vorticity and residual circulation. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 28(3), 195-212.
- Shirin Manesh, S. and Chegini, V. 2012. Marine energy extraction of waves and tidal currents in Chabahar Bay. *Journal of Marine Science and Technology*, 10(2), 91-107.
- Westerink, J. J., K. D. Stolzenbach, and J. J. Connor.1989. General Spectral Computations of the Nonlinear Shallow Water Tidal Interactions within the Bight of Abaco, *Journal of Physical Oceanography*,19(9), 1348-1371.
- Xuan, J., Yang, Z., Huang, D., Wang, T. and Zhou, F. 2015. Tidal residual current and its role in the mean flow on the Changjiang Bank. *Journal of Marine Systems*.
- Yuxiang, T. 1988. Numerical modelling of the tide-induced residual current in the East China Sea, *Prog. Oceanogr.*, 21(3-4), 417-429.
- Zimmerman, J. T. F. 1981. Dynamics, diffusion and geomorphological significance of tidal residual eddies.
- Zimmerman, J. T. F. 1978. Hydrodynamics of Estuaries and Fjords, in *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Liege Colloquium on Ocean Hydrodynamics*, Elsevier Oceanogr. Ser., 23, 207-216.dies

# Study of Tidal Residual Current in Pozm Bay with Numerical Modeling

Moosazad, Hakime<sup>1</sup>; Akbarinasab, Mohammad<sup>\*1</sup>; Mashayekh Poul, Hossin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Physical Oceanography, Faculty of Marine Science, University of Mazandaran, Babolsar.

<sup>2</sup> University of Hamburg, Hamburg, Germany.

## Abstract

Three forcing processes can provide residual current: Tidal forces, wind forces, and density differences. Tidal residual current are created by tidal wave interaction with the structure of topography. In this study, two-dimensional model VOM-SW2d is applied In the barotropic and fully nonlinear to Pozm Bay in the northern coast of Oman to simulate the tidal residual currents. In this study aimed to investigate the effects of substrate unevenness, removed topography slope using high-pass filter. Regular computational grid has been used with a resolution of 150 m, in direction x and y. The results obtain the maximum current velocity of 0.05 m/s near the mouth of the Gulf of Pozm. Tidal residual current was observed of topographic features near the headland of Pozm Bay, headland at Pozm Bay and also in coastal areas due to the slope of the coast. Also the model results shows several eddies in different sizes and some Circulation in various scales. Tidal residual currents in the Pozm Bay, as depicted by Lagrangian trajectories reveal a stationary flow whit several eddies. Each eddy can be identified with a topographic obstacle. This confirms that the tidal residual flow field is strongly influenced by the nonlinear interaction of the tidal wave with the bottom relief which, in turn, is deformed by figure hills and valleys beneath the seabed

Keywords: tidal Residual Current, Pozm Bay, VOM-SW2d model

Figure 1. The basic production mechanisms of residual circulation (Zimmerman, 1981).

Figure 2. Position of tidal measurement stations.

Figure 3. Comparison between data obtained from model implementation and observational data for the three main components in the Persian Gulf, the Strait of Hormuz and the Oman Sea

Figure 4 Gulf Pepper Topography in meters (colorbar).

Figure 5. High-pass filter for extracting the bed roughness of the the Pozm Bay in meters (colorbar).

Figure 6 Pattern of tidal Residual Currents caused by M2 in the Pozm Bay.

The background color represents the Residual Currents.

Figure 7. Model Result for k1 residual velocity (m/s) in the Pozm Bay.

Figure 8. Model Result for M2 residual velocity (m/s) in the Pozm Bay.

Figure 9. Model Result for (K1+M2+O1+S2) residual velocity (m/s) in the Pozm Bay.

Figure 10. Lagrangian trajectories (black lines) in the Pozm Bay.

Table 1: The name of the tidal measurement stations in the Persian Gulf and Oman Sea