

## شبیه‌سازی گردش آب در خلیج فارس با استفاده از مدل MIKE 3D

محمدرضا خلیل‌آبادی<sup>۱</sup>، قاسم دهقانی اشکذری<sup>۲</sup>، پژمان درخشان علمدارلو<sup>۳\*</sup>

۱- دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی هوادریا

۲- استادیار دانشگاه مالک اشتر تهران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه سیستان و بلوچستان

\* ایمیل نویسنده مسئول: [pezhmanderakhshan@gmail.com](mailto:pezhmanderakhshan@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۹/۰۵

### چکیده

پدیده‌های هیدرودینامیکی حاکم بر خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان در دهه اخیر به دلیل اهمیت استراتژیک منطقه به‌ویژه در کشورهای حاشیه رشد قابل توجهی داشته است. در تحقیق حاضر به بررسی حرکت توده آب توسط مدل عددی Mike 3D در خلیج فارس پرداخته شده است. برای پایداری مدل از نمودار شوری بر حسب زمان در دو سال متوالی استفاده شده است. حرکت توده آب تحت تاثیر گردش آب در مدت زمان ۱۵ روزه و ۱ ساله در چند مختصات جغرافیایی مختلف مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به صورت گرافیکی آورده و مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج نشان از یک نتیجه‌گیری واحد در حرکت توده آب در دوره زمانی ۱۵ روزه، در سه مختصات مختلف و یکساله دارد و آن این است که حرکت توده آب با توجه به واقعیت به صورت ساعتگرد بوده است.

### کلمات کلیدی

نیروی هیدرودینامیکی، خلیج فارس، Mike 3D، حرکت توده آب

## Simulation of the Flow of Water in the Persian Gulf using the MIKE 3D Model

Mohammad Reza Khalil Abadi<sup>1</sup>, Ghasem Dehghani Ashkezari<sup>2</sup>, Pezhman Derakhshan Alamdarloo<sup>3\*</sup>

1. Faculty of Naval Aviation, Malek Ashtar University of Technology, Iran

2. Assistant Professor Malek Ashtar University of Tehran

3\*. Ph.D student in Civil Engineering and Hydraulic Structures, University of Sistan and Baluchestan

Email Address: [Pezhmanderakhshan@gmail.com](mailto:Pezhmanderakhshan@gmail.com)

### Abstract

The use of available energy in the sea is one of the most widely used methods in engineering. That's why the advanced world has comprehensive plans for energy from the seas and oceans. The hydrodynamic phenomena dominant in the Persian Gulf, the Strait of Hormuz and the Oman Sea in the last decade have been remarkable due to the strategic importance of the region, especially in the marginalized countries. The present study investigates the motion of water masses by the Mike 3D model in the Persian Gulf. For stability model, the salinity curve has been used in time for two consecutive years. The motion of the water mass under the influence of water flow during the 15-day and 1-year period was investigated in several geographical coordinates, the results were presented graphically and examined. The results show a single conclusion on the movement of water mass over a period of 15 days, in three different coordinates and one year, which is that the motion of the water mass has been clockwise according to reality, as well as the tendency toward the coast, which is also the model This route predicts well.

### Keyword

Hydrodynamic- Force, Persian Gulf, Mike 3D, Water Mass- Movement

## ۱. مقدمه

انرژی های قابل استحصال از دریا به طور کلی شامل جزرومد، امواج، باد فراساحلی، جریانات، اختلاف گرمایی و اختلاف چگالی (شوری) می باشد. هر کدام از انرژی های ذکر شده در هر مسائلی می تواند مورد اهمیت واقع گردد. قرار گرفتن هر توده آب با شرایط خاص در آب دریاها و اقیانوس ها توسط انرژی های ذکر شده باعث تغییر مکان آن توده آب می گردد. آب دریاها و اقیانوس ها به علت دارا بودن چگالی های مختلف باعث به وجود آمدن لایه هایی در عمق های مختلف می شود. قرار گرفتن توده آب در آب نیز با توجه به چگالی توده آب و لایه آب مشخص می گردد (Dahmardeh Et.al, 2014). پدیده های هیدرو دینامیکی حاکم بر خلیج فارس، تنگه هرمز و دریای عمان در دهه اخیر به دلیل اهمیت استراتژیک منطقه بویژه در کشورهای حاشیه رشد قابل توجهی داشته و در داخل کشور نیز بصورت پراکنده و موردی فعالیت هایی توسط سازمان ها و ارگان های دریایی انجام شده است که این امر لزوم انجام مطالعاتی جامع را در این خصوص دو چندان می کند. در مورد اهمیت خلیج فارس در تمامی ابعاد وجودی از سیاسی، اقتصادی گرفته تا نظامی و جغرافیایی که آن را تبدیل به یکی از مهمترین مناطق آبی جهان کرده است، مهمترین موردی که باعث اهمیت فوق العاده خلیج فارس شده و حتی سبب دست اندازی و طمع ورزی قدرت های بزرگ نسبت به آن شده وجود ذخایر طبیعی به خصوص نفت است به گونه ای که نام خلیج فارس مساوی با نفت شده است. ویژگی دیگری که خلیج فارس را دارای اهمیت کرده است سهولت حمل و نقل در آن است. یعنی به علت اینکه به دریا دسترسی دارد هزینه حمل و نقل و بارگیری کمتر و آسان است. مثلا کشورهای واقع در حوزه دریای خزر نفت استخراجی شان را از طریق خط لوله انتقال داده و صادر می کنند که این خود سرآغاز مشکلات بسیاری از لحاظ هزینه، امن بودن، سهولت انتقال و... است. همچنین دارای ضمانت های امنیتی و اجرایی کمتری است. در حالی که خلیج فارس فاقد این مشکلات است. از لحاظ حمل و نقل کالاهای تجاری نیز خلیج فارس دارای اهمیت بیشتر برای قدرت های بزرگ است. بدین صورت که بازار اسلحه و تجهیزات نظامی بعد از نفت در درجه دوم اهمیت قرار دارند کشورهای حوزه خلیج فارس به خصوص کشورهای عربی که همواره در تنش و درگیری قرار دارند بیشتر درآمد حاصل از صادرات نفت را صرف واردات اسلحه می کنند که از این لحاظ برای کشورهای صادرکننده اسلحه که قدرت های بزرگ هستند بسیار با اهمیت است. کشورهای حوزه خلیج فارس به خصوص اعراب به این علت که درآمد حاصل از فروش نفت شان زیاد است بزرگترین واردکنندگان اسلحه در دنیا هستند (Seyfiainaloo Et.al, 2015).

## ۲. مواد و روش ها

سری نرم افزاری MIKE توسط موسسه هیدرولیک دانمارک<sup>۱</sup> (DHI) تهیه شده اند. در این مجموعه زیر برنامه های MIKE 21/3, MIKE3, MIKE21, MIKE11 و LITPACK, MIKE SHE, Integrated Models و MIKE Flood می باشد. دامنه کاربرد این نرم افزار شامل مدل سازی کانال ها و رودخانه ها در حالت های یک و دو بعدی و سه بعدی، مدل سازی پروسه های ساحلی (امواج، جریان ناشی از امواج، مورفولوژی ساحل و رودخانه اثر احداث سازه های ساحلی بر خط ساحل و ...)، طراحی بندر و نفوذ امواج، مدل سازی مخازن و دریاچه ها، مدل سازی انتشار آلودگی های مختلف در محیط های آبی، مدل سازی آب های سطحی و زیرزمینی و بررسی اثرات زیست محیطی در مناطق مختلف و محیط های آبی می باشد (Azadi Et.al, 2011). از میان مدل های ریاضی مطرح در جهان در تحلیل پدیده های حاکم بر محیط دریا، مدل ریاضی Mike 3D یکی از شناخته ترین آن ها است. این برنامه کامپیوتری که توسط انستیتو هیدرولیک و با همکاری انستیتو کیفیت آب<sup>۲</sup> پایریزی و به مرور زمان تکمیل و توسعه یافته است، دارای قابلیت های محاسباتی و گرافیکی بالایی در زمینه مدل کردن پدیده های مربوط به دریاچه ها، نواحی کم عمق ساحلی، خلیج ها و دریاها می باشد (Guha, 2008). این نرم افزار سیستم جامعی برای مدل کردن جریان های آزاد سه بعدی است. در حالت سه بعدی با در نظر گرفتن لایه های مختلف و حل هر لایه بصورت دو بعدی در کامپیوترهای موجود قابل اجرا است. علیرغم اینکه برنامه کامپیوتری Mike 3D از مدرن ترین امکانات نرم افزاری بهره گرفته است، به طور پیوسته تحت بازنگری قرار داشته و کاربردهای جدیدتری به آن اضافه می شود (Jie and Zhu, 2006). MIKE 3D یک ماژول هیدرو دینامیک می باشد که زمینه جریان را از طریق حل معادله پیوستگی و معادلات اندازه حرکت محاسبه می کند. علاوه بر باد و جزر و مد، عوامل تاثیرگذار ممکن است شامل گردان هایابی در زمینه تنش شعاعی، همانطور که به وسیله ماژول موج در سامانه مدل سازی ریخت شناختی محاسبه شده است، باشد. جریان ها و سطح متوسط آب روی بستری که با یک نرخ ثابت نمو می یابد محاسبه می شوند.

ماژول ردیابی ذرات براساس معادلات نایور استوکس به صورت رابطه (۱) پایریزی شده است (Ren et al, 2012):

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \quad (1)$$

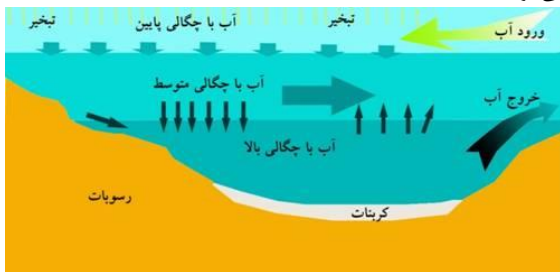
$$\frac{\partial w}{\partial z} = S$$

<sup>1</sup> Danish Hydraulic Institute

<sup>2</sup> Water Quality Institute

### ۳. منطقه مورد مطالعه

خلیج فارس از جمله مناطق آبی جهان است که امروزه به یکی از کانون‌های اصلی بحران و اختلاف بین‌المللی تبدیل شده است. این منطقه از جنبه‌های گوناگون دارای ویژگی‌های متمایزی در مقایسه با سایر مناطق آبی و خشکی‌های جهان است که به آن اهمیت و برجستگی‌های فوق‌العاده‌ای بخشیده است. اهمیت فزاینده آن نیز باعث بروز برخی اختلافات و منازعات اقتصادی و به خصوص سیاسی شده است که وسعت آن بین ۲۲۰ تا ۲۴۰ هزار کیلومتر مربع است یعنی تقریباً مساحتی نصف مساحت دریای خزر. طول سواحل خلیج فارس ۳۰۰۰ کیلومتر است که بیشترین خط ساحلی را ایران دارا است یعنی از دهانه فاو گرفته تا تنگه هرمز جزو مناطق ساحلی ایران محسوب شده و بقیه خطوط ساحلی کشورهای عربی حوزه خلیج فارس را شامل می‌شود. بنابراین از ۳۰۰۰ کیلومتر خط ساحلی ۱۷۲۲ کیلومتر آن از آن ایران است. طول خلیج فارس از عراق تا تنگه هرمز ۱۰۰۰ کیلومتر و عرض آن در بعضی جاها بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلومتر است. عمق خلیج فارس در نقاط گوناگون مختلف است. در تنگه هرمز متوسط عمق آب ۱۰۰ متر، در اطراف جزیره هرمز ۸۰ متر، در کل سواحل ایران ۷۰ متر و در سواحل جنوبی آن متوسط عمق آب به ۱۵ متر نمی‌رسد ولی به صورت کلی عمق متوسط آب در خلیج فارس ۳۵ متر است. در تحقیق حاضر به بررسی حرکت توده آب (تغییر مکان) در مدت زمان مشخص در خلیج فارس پرداخته خواهد شد. جریان‌ها در خلیج فارس عمدتاً سه منشأ چگالی، باد، و جزر و مدی دارند. اما اصلی‌ترین و مهم‌ترین جریان آب در خلیج فارس پاد ساعتگرد است که در اثر اختلاف چگالی آب ایجاد می‌گردد. شوری بیشتر آب حوضه خلیج فارس نسبت به اقیانوس، موجب پیدایش این جریان از اقیانوس هند به خلیج فارس شده است. آب با شوری معمول اقیانوسی از طریق تنگه هرمز وارد خلیج فارس شده و به سمت شمال غرب به موازات سواحل ایران حرکت نموده در بخش غربی حوضه به سمت جنوب تغییر مسیر می‌دهد. مطابق شکل (۱) در طی پیمودن این مسیر در اثر فرآیند تبخیر آب چگال‌تر می‌گردد و شوری آن بالا می‌رود و در نهایت این جریان آب پس از پیمودن بخش‌های جنوبی پر چگال‌تر شده و از بستر تنگ هرمز خارج می‌گردد.



شکل ۱. نیمرخ چرخش آب در یک دریای نیمه بسته نظیر خلیج فارس

که در این رابطه  $S$  نرخ تغییرات منبع ذرات است و  $u$  و  $v$  و  $w$  به ترتیب سرعت جریان در جهات  $X$  و  $Y$  و  $Z$  می‌باشند. برای جهت  $X$  می‌توان رابطه (۲) را نوشت:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = fv - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial pa}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z \eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h}$$

و برای جهت  $Y$  رابطه (۳) برقرار است:

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial wu}{\partial z} = -fu - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial pa}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z \eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h}$$

در کلیه روابط فوق،  $t$  زمان،  $\eta$  سطح آب،  $d$  عمق آب،  $h$  کل عمق آب برابر  $f(\eta + d)$  پارامتر کوریولیس و برابر  $(2\phi \sin F)$  که در آن  $\phi$  پارامتر چرخش و  $F$  زاویه چرخش زمین هستند،  $g$  شتاب ثقل،  $\rho$  دانسیته آب،  $Vt$  سرعت گرداب،  $Pa$  فشار اتمسفر،  $\rho_0$  دانسیته منبع آب و  $Sxx$ ،  $Sxy$ ،  $Syx$ ،  $Syy$  تنش‌های تشعشی در جهات مختلف هستند (Veluswamy et al, 2012).

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left[ 2A \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ A \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right]$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left[ A \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ 2A \frac{\partial v}{\partial y} \right]$$

که در آن  $A$  ویسکوزیته گردابی است.

در نرم افزار موجود در مدل‌هایی که از شبکه‌بندی مثلثی استفاده می‌کنند به جای استفاده از عدد کورانت، از مفهوم اصلاح شده آن به عنوان عدد کورانت - فردریش-لوی<sup>۳</sup> که به اختصار CFL نشان داده شده برای بیان شرایط پایداری در معادلات آب‌های کم عمق استفاده می‌شود. رابطه مربوط به عدد CFL به صورت رابطه (۶) بیان می‌شود (Zhang et al, 2016):

$$CFL_{HD} = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |v|) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (6)$$

در این رابطه  $h$  عمق آب،  $u$  و  $v$  پارامترهای سرعت در جهت‌های  $X$  و  $Y$ ،  $g$  شتاب جاذبه،  $\Delta x$  مقیاس طول مشخصه برای یک المان و  $\Delta t$  گام زمانی است. مقیاس طول مشخصه طول کوچک‌ترین لبه در هر المان تقریب زده می‌شود. همچنین عمق آب و سرعت‌ها در مرکز المان محاسبه می‌شوند. در رابطه اخیر تا زمانی پایداری مدل به خطر نمی‌افتد که عدد CFL کمتر از یک باشد.

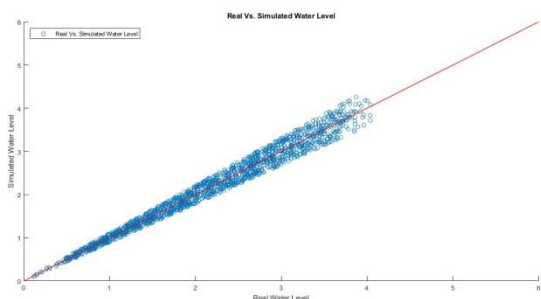
### 3-Courant-Friedrich-Levy

در این روابط آماری، X سری آماری نتایج اندازه‌گیری، Y سری آماری نتایج پیش‌بینی شده و  $\bar{X}$  و  $\bar{Y}$  متوسط هریک از این دو سری را نشان می‌دهد. n نیز تعداد کل داده‌ها در سری آماری می‌باشد. بر این اساس مطابق جدول ۳-۴، برای داده‌های برداشت شده و خروجی‌های بدست آمده از مدلسازی خواهیم داشت:

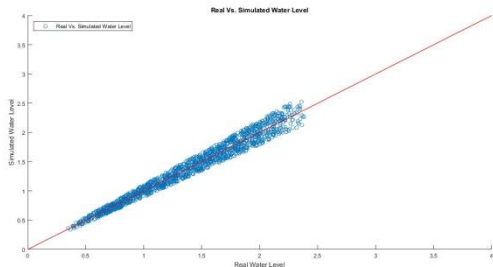
جدول ۱. مشخصات عدد نهایی کالیبراسیون مدل

ایستگاه	m	CC%	RMSE(m)	ERROR%	Bias
رجایی	+۰/۴۵	۹۸/۸۴	+۰/۱۴۲۷	۵/۲۳	+۰/۰۱۰
دیر	+۰/۴۵	۹۸/۴۹	+۰/۰۸۸۹	۵/۲۴	+۰/۰۲۱
بوشهر	+۰/۴۵	۹۸/۳۷	+۰/۰۶۷۹	۵/۲۱	+۰/۰۱۸

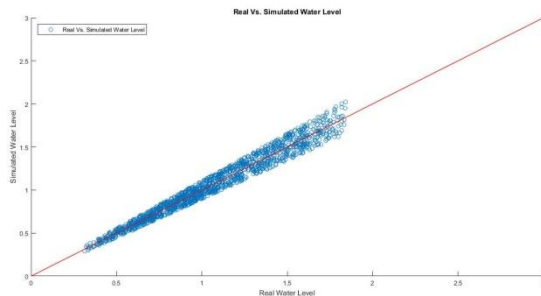
در جدول (۱)  $m =$  ضریب ارتفاع زبری



شکل ۴. دیاگرام پراکنده‌گی تراز آب به‌دست آمده از مدلسازی و مقدارهای برداشت شده برای بندر شهید رجایی



شکل ۵. دیاگرام پراکنده‌گی تراز آب به‌دست آمده از مدلسازی و مقدارهای برداشت شده برای بندر دیر

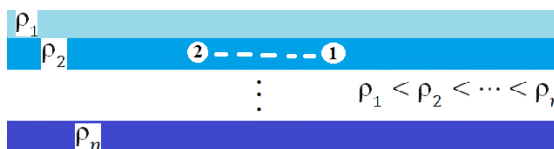


شکل ۶. دیاگرام پراکنده‌گی تراز آب به‌دست آمده از مدلسازی و مقدارهای برداشت شده برای بندر بوشهر

در شکل (۲) و (۳) مفهوم هدف تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.



شکل ۲. تغییر مکان توده آب در مدت زمان معین



شکل ۳. تغییر مکان توده آب با چگالی مشخص در لایه‌ای از آب

#### ۴. کالیبراسیون و اجرای نهایی مدل بزرگ مقیاس

برای کالیبراسیون مدل معمولاً از ضریب مقاومت بستر  $(1/n)$  (معکوس ضریب مانینگ) استفاده می‌شود، اما برای مدلسازی سه بعدی ضریب مانینگ (Mike3) ضریب مقاومت بستر به ارتفاع زبری (Roughness Height) تغییر یافته و دارای واحد متر (m) می‌باشد. روال کالیبراسیون بدین شکل است که با اجرای مدل هیدرودینامیک در ایستگاه‌های گفته شده در بخش قبل، با تغییر این ضریب در نرم‌افزار از مدل خروجی سری زمانی تغییرات تراز آب دریا گرفته شد با مقایسه سری زمانی تغییرات تراز آب خروجی مدلسازی و داده‌های اندازه‌گیری شده میزان هم‌پوشانی داده‌ها در نمودار با تغییر ضریب ارتفاع زبری مشخص شده است. همچنین از روش‌های نیمه تجربی یا همان پارامترهای آماری نیز میزان دقت مدل مشخص شده است. از روابط ۷ تا ۱۰ برای مقایسه دقت داده‌های مدلسازی نسبت به داده‌های واقعی استفاده شده است:

$$CC = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \times \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i - x_i)^2} \quad (8)$$

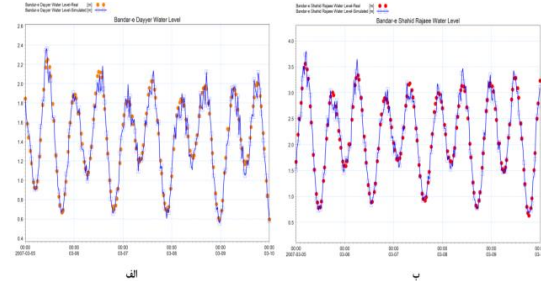
$$Error = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - x_i|}{x_i} \times 100 \quad (9)$$

$$Bias = \frac{1}{n} \sum (y_i - x_i) = \bar{y} - \bar{x} \quad (10)$$

CC= ضریب همبستگی، RMSE= جذر متوسط مربع خطاها  
Error= درصد خطا، Bias= شاخص ارزیابی

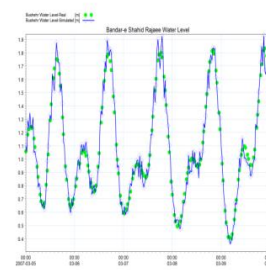
## ۵. صحت‌سنجی

در تحقیق حاضر برای صحت انجام کار از داده‌های مشاهداتی که مربوط به ارتفاع آب در چند بندر کمک رفته شد و نتایج مدل با برداشت‌های میدانی بررسی گردید که در شکل (۷) نتایج آورده شده است. برای صحت‌سنجی از ارتفاع آب سه ایستگاه بندر شهید رجایی، بندر بوشهر و بندر دیر استفاده شده است.



الف

ب



ج

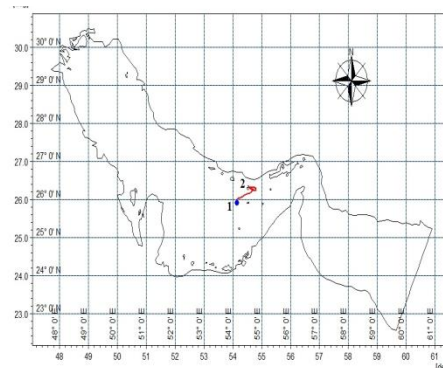
شکل ۷. صحت‌سنجی به کمک ارتفاع آب بنادر

## ۶. نتایج

از آنجاکه نرم افزار برای حرکت توده آب نیاز به مشخصات توده آب دارد لذا وزن توده آب در شبیه‌سازی برابر با ۳/۵ کیلوگرم و کمتر از چگالی سطح آب در نظر گرفته شده است تا توده آب بر روی سطح آب شناور باقی بماند. حرکت توده آب در چند مختصات مختلف در چند دوره زمانی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن به صورت گرافیکی در ادامه آورده شده است.

### ۶-۱. حالت اول: مختصات جغرافیایی ۵۴/۱۵° و

۸۹/۲۵°، دوره زمانی ۱۵ روزه



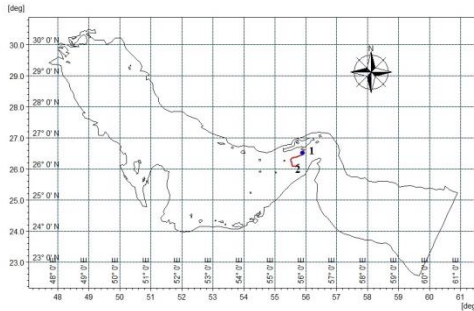
شکل ۸. مسیر حرکت توده آب تحت تاثیر گردش آب برای حالت اول

دوره زمانی ۱۵ روزه

با توجه به شکل (۸) مسیر حرکت با خط قرمز مشخص شده است که از نقطه ۱ به نقطه ۲ می‌باشد که در دوره زمانی ۱۵ روزه در مختصات جغرافیایی مورد نظر می‌باشد.

### ۶-۲. حالت دوم: مختصات جغرافیایی ۵۵/۹۸° و

۶۵/۲۶°، دوره زمانی ۱۵ روزه



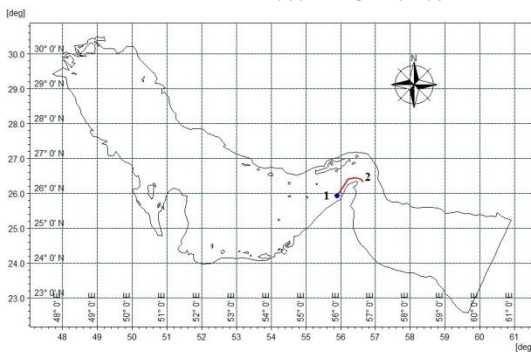
شکل ۹. مسیر حرکت توده آب تحت تاثیر گردش آب برای حالت دوم

دوره زمانی ۱۵ روزه

با توجه به اینکه جهت جریان از سمت دریای عمان و از بالای تنگه هرمز وارد خلیج فارس گردیده و از پایین تنگه هرمز از خلیج فارس به سمت دریای عمان خارج می‌گردد، می‌توان گفت که طبق شکل ۹ نیز مسیر حرکت توسط مدل پیش‌بینی گردیده است و مسیر حرکت از نقطه ۱ به نقطه ۲ می‌باشد.

### ۶-۳. حالت سوم: مختصات جغرافیایی ۵۵/۹۶° و

۹۵/۲۵°، دوره زمانی ۱۵ روزه



شکل ۱۰. مسیر حرکت توده آب تحت تاثیر گردش آب برای حالت

سوم دوره زمانی ۱۵ روزه

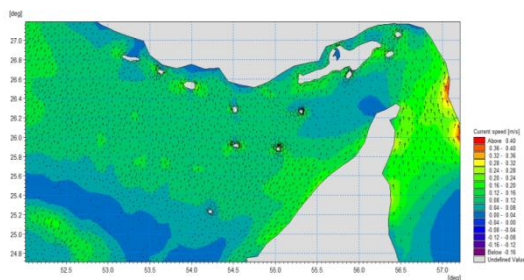
با توجه به شکل (۱۰) و مسیر جریان در خلیج می‌توان گفت که نرم افزار مسیر حرکت را به با دقت بالایی پیش‌بینی کرده است. در حرکت ذره عوامل مهمی همچون نیروی جزرومدی و نیروی باد را مدل در نظر گرفته و طبق نیروهای وارده به پیش‌بینی حرکت ذره می‌پردازد.

### ۶-۴. حالت چهارم: مختصات جغرافیایی ۵۵/۸۹۵° و

۱۵۴/۲۶°، دوره زمانی ۱ ساله

در این حالت با توجه به اینکه دوره زمانی به مدت یک سال انتخاب گردیده شده است و همچنین به‌خاطر جهت جریان که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد حرکت توده آب توسط مدل به صورت شکل

همچنین در شکل (۱۴) بردار سرعت آورده شده است.

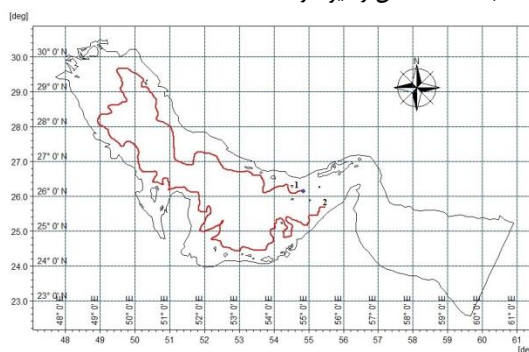


شکل ۱۴. بردار سرعت

### ۷. نتیجه گیری

یکی از اهداف مهم پژوهش حاضر حرکت توده آب در خلیج فارس تحت عوامل مختلفی همچون نیروی موج و نیروی باد، در مدت زمان مشخص و همچنین در مختصات جغرافیایی دلخواه می باشد. در کنار هدف اصلی می توان به اهداف فرعی همچون مقدار سرعت و بردار جریان در لحظات مختلف در موقعیت های مختلف به آن اشاره کرد. مدل استفاده شده در تحقیق پیش رو یک مدل هیدرودینامیکی می باشد که به خوبی می تواند مسیر حرکت توده آب را پیش بینی کند و با توجه به نتایج صحت سنجی می توان گفت که نتایج از دقت بالایی برخوردار بوده است. نتایج نشان از یک نتیجه گیری واحد در حرکت توده آب در دوره زمانی ۱۵ روزه، در سه مختصات مختلف و یکساله دارد و آن این است که حرکت توده آب با توجه به واقعیت به صورت ساعتگرد بوده است و همچنین تمایل به سمت ساحل می باشد که مدل نیز این مسیر حرکت را با دقت خوبی پیش بینی کرده است.

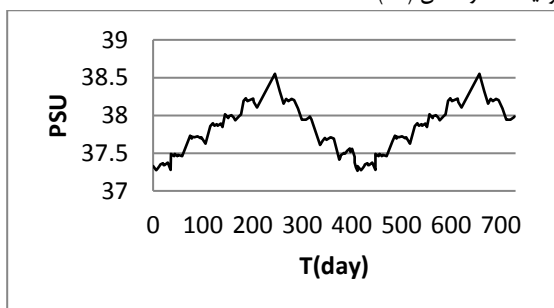
(۱۱) پیش بینی گردید. همانطور که مشخص است توده آب تمایل به حرکت به سمت ساحل را نیز دارد.



شکل ۱۱. مسیر حرکت توده آب تحت تاثیر گردش آب برای حالت

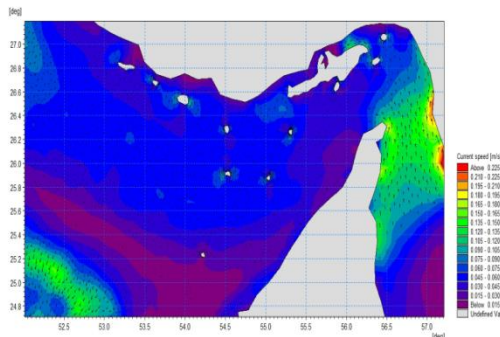
چهارم دوره زمانی ۱ ساله

همچنین جهت پایداری مدل از نمودار شوری بر حسب زمان استفاده شد که برای دو سال متوالی برای هر سال به صورت مشابه تکرار گردید که در شکل (۱۲) آمده است.



شکل ۱۲. نمودار شوری- زمان

یکی از قابلیت های مدل MIKE 3D مربوط به خروجی های نرم افزار می باشد که یکی از مهمترین پارامترهایی که مورد استفاده قرار می گیری سرعت و بردار جریان آب در لحظات مختلف می باشد که به صورت کانتور می دهد. به عنوان نمونه در شکل (۱۳) سرعت در چند دو زمان مختلف در بخشی از حوزه مورد مطالعه آورده شده است.



شکل ۱۳. کانتور سرعت

## منابع

- Dahmardeh Aliabadi, A. Taghvaei, A. Hasanzadegan Roodsari, M. Razmi, M. 2014. Simulation of the dynamic motion of a particle in a fluid with a supply tension. 15<sup>th</sup> National Congress of Chemical Engineering, Tehran University.
- Seyfiainallo, Sh, Mirzaei, B. Seyedbagheri, H. 2015. Investigation of the types of forces affecting particle movement in two-phase flows of fluid-particle entrainment. 15<sup>th</sup> National Conference and 2nd International Conference on Applied Research in Electrical, Mechanical, Mechatronics, Tehran.
- Azadi, M., et al. 2011. Experimental study of filtration system performance of natural gas in urban transmission and distribution network: A case study on the city of Kerman, Iran. Fuel. 90(3): p. 1166-1171.
- Guha, A. 2008. Transport and deposition of particles in turbulent and laminar flow.
- Jayaraju, S., et al. 2015. RANS modeling for particle transport and deposition in turbulent duct flows: Near wall model uncertainties. Nuclear Engineering and Design. 289: p. 60-72.
- Jie, P. Zhu, K.-Q. 2006. Drag force of interacting coaxial spheres in viscoplastic fluids, Journal of NonNewtonian Fluid Mechanics, vol.135, pp. 83-91.
- Ren, B., et al. 2011. Modeling of gas particle turbulent flow in spout-fluid bed by computational fluid dynamics with discrete element method. Chemical Engineering & Technology. 34(12): p. 2059-2068.
- Veluswamy, G.K., et al. 2012. Particle deposition in natural gas pipelines using computational fluid dynamics modelling. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering. 7(6): p. 841-847.
- Zhang, J., et al. 2016. Fundamentals and applications of inertial microfluidics: a review. Lab on a Chip. 16(1): p. 10-34.