یادداشت فنی

مدل‌سازی هیدرودینامیکی جنوب خلیج فارس با استفاده از مدل Delft3D-FLOW

علی اصغر گلشنی[1*]

۱- استادیار پژوهشی، موسسه ملی اقیانوس شناسی

چکیده

هدف از این مطالعه، مدل‌سازی جریانات و تراز سطح آب (برکشند طوفان) در خلیج‌فارس با در نظر گرفتن همزمان جزر و مد و باد می‌باشد. مدل Delf3D-FLOW برای مدت یک ماه یعنی ژانویه ۲۰۰۰ که در آن بادهای شَمال زمستانی قوی می‌وزند، اجرا شده است. از اطلاعات باد مدل PERGOS به عنوان باد ورودی و از مولفه‌های هارمونیکی استخراج شده از جداول جزر و مدی دریانوردی UKHO به عنوان شرایط مرزی در مرزهای باز مدل استفاده شده است. از داده‌های جریان و تراز سطح آب مدل PERGOS و داده‌های جریان بویه Ghasha دریافت شده از UKHO نیز برای واسنجی نتایج مدل‌سازی استفاده شده است. خطای تراز سطح آب کمتر از ۲۵٪ دامنه جزر و مد می‌باشد. در ۹۵٪ مواقع، اختلاف کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه بین نتایج مدل و داده‌های جریان نقاط واسنجی دیده می‌شود که نشان می‌دهد که نتایج مدل رضایت بخش می‌باشد. با تغییر پارامترهای واسنجی در یک محدوده منطقی، نتایج مدل به شکل قابل محسوسی تغییر نمی‌کند که این مساله نشان می‌دهد که مدل پایدار است.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی جریان، مدل‌سازی برکشند طوفان، خلیج فارس، مدل Delft3D-FLOW

TECHNICAL NOTE

A HYDRODYNAMIC STUDY OF THE SOUTH OF PERSIAN GULF USING DELFT3D-FLOW

Aliasghar Golshani[1]

1-Research Assistant Professor, Iranian National Institute for Oceanography

Abstract

The goal of this study was to simulate the hydrodynamics induced by con-current wind and tide loading in the southern part of the Persian Gulf. The model was calibrated with a 28 day lunar cycle, in which both neap and spring tide were modeled. The model boundaries were forced using tidal water levels obtained from the United Hydrographic Tide Tables. Wind data extracted from PERGOS database was used as input to the model. Current data recorded at Ghasha buoy, as well as current and water level data from PERGOS database were used for calibration of the model. The error in water level prediction is typically less than 25% of tidal range. Currents were also predicted with accuracy of 0.1 m/s (95% of time). Model results are insensitive to variations of calibration parameters over the recommended range, which demonstrates that the model is robust and can be used with confidence.

Keywords: Current Modeling, Storm Tide Modeling, Delft3D-FLOW, the Persian Gulf

* نویسنده مسوول مقاله agolshani@hotmail.com

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-06-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.13.6.6]

۱- مقدمه

تاثیر جریانات ناشی از جزر و مد، باد و امواج و همچنین دامنه تغییرات تراز سطح آب بر فعالیت‌های مرتبط با محیط دریا موجب شده است تا راه‌حل‌های گوناگونی برای تعیین مشخصه‌های این پارامترها توسط محققین ارائه شود. اندازه‌گیری‌های میدانی، بررسی‌های تحلیلی، روشهای تجربی و نیمه تجربی، مدل‌سازی‌های فیزیکی و شبیه‌سازی‌های عددی از جمله روشهایی هستند که بنا بر مقتضیات طرح (اهمیت، دقت موردنظر، امکانات و زمان) مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این راستا، شبیه‌سازی هیدرودینامیکی با استفاده از مدل‌های عددی، یکی از جدیدترین تلاش‌ها در زمینه شناخت صحیح اقلیم جریان و محدوده تغییرات ارتفاع سطح آب به شمار می‌رود.

۲- اقلیم خلیج فارس

منطقه خلیج فارس، منطقه‌ای است با آب و هوای نسبتا گرم که از مشخصات آن وزش بادهای شَمال با قدرت بیش از ۲۰ متر بر ثانیه می‌باشد. شَمال نامی است که به بادهای فصلی شمال غربی که در زمستان و تابستان در خلیج فارس می‌وزند، اطلاق می‌شود.

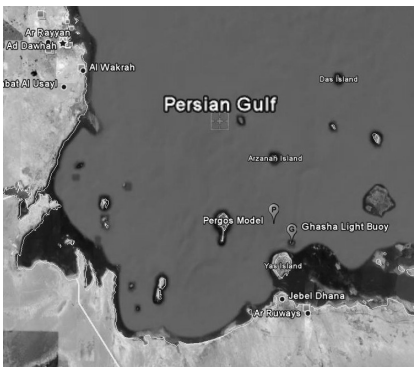
ماههای نوامبر تا مارس، شَمال زمستانی نامیده می‌شود که مربوط به اغتشاشات میان عرض جغرافیایی است که از غرب به شرق پیش می‌رود. این مسأله باعث عبور جبهه هوای سرد شده که مشخصه آن وزش بادهای قوی شمال غربی است که قویترین آنها در ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه رخ می‌دهد و همراه با شرایط هوایی وارونه مانند طوفان، توربولانس، کم بودن قابلیت دید و دریاهای طوفانی می‌باشد [۱]. شَمال زمستانی پدیده‌ای نسبتا نادر بوده که در طی آن در اکثر نقاط خلیج‌فارس بادهای بیشتر از ۱۰ متر بر ثانیه در کمتر از ۵ درصد زمان وقوع آن رخ می‌دهد.

شَمال تابستانی معمولا از اوایل ژوئن تا اواسط ژوئیه رخ می‌دهد و دلیل آن وجود کم فشارهای حرارتی در دریای عربی و اقیانوس هند می‌باشد و از شَمال زمستانی ضعیف‌تر می‌باشد.

۳- منابع مختلف اطلاعات باد، جریان و تراز سطح آب در منطقه

اطلاعات نسبتا دقیقی از پروژه PERGOS در نقطه‌ای در جنوب خلیج‌فارس به مختصات ۵۲/۵۶۲۵ شرقی و ۲۴/۵ شمالی استخراج شده است. داده‌های این پروژه که محصول مشترک شرکت‌های DHI و OceanWeather می‌باشد، حاصل از اجرای مدل‌های عددی موج و جریان در خلیج فارس با رزولوشن مکانی ۰/۰۶۲۵ درجه و رزولوشن زمانی یک ساعت به مدت بیست سال (از تاریخ ۱۹۸۳/۱/۱ تا ۲۰۰۲/۱۲/۳۱) می‌باشد. این داده‌ها شامل باد، موج، جریان و تراز سطح آب می‌باشند [۲]. از اطلاعات باد این مدل که در مقایسه با مدل‌های عددی دیگر موجود در منطقه مانند NCEP/NCAR و ECMWF ERA40 از دقت بیشتری برخوردار است [۳]. به عنوان ورودی مدل و از اطلاعات جریان و تراز سطح آب آن برای واسنجی (کالیبراسیون) مدل استفاده می‌شود.

جداول ترازهای جزر و مدی دریانوردی نیز از اداره هیدروگرافی انگلستان برای ایستگاه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه قابل دریافت است که از آنها به عنوان شرایط مرزی در مرزهای مدل استفاده خواهد شد. این اداره همچنین اطلاعات جریانهای ناشی از جزر و مد را در چندین ایستگاه داراست که از اطلاعات ایستگاه بویه غاشا (St4223a) برای واسنجی نتایج جریان استفاده خواهد شد. شکل ۱ منطقه مورد مطالعه همراه با مکان نقاط مدل PERGOS و بویه Ghasha را نشان می‌دهد [۴].



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه به همراه نقاط واسنجی (منبع: Google Earth)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-06-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.13.6.6]

۴- مدل جریان Delft3D-FLOW

مدل جریان از نرم‌افزار دلفت یک مدل چندبعدی (دو یا سه بعدی) هیدرودینامیکی و انتقال است. این مدل قابلیت محاسبه جریانات ناپایدار و پدیده‌های انتقال ناشی از جزر و مد و باد را بر روی شبکه مستطیلی یا شبکه منحنی دارا می‌باشد. در حالت سه بعدی، شبکه عمودی با استفاده از روش مختصات سیگما تعریف می‌شود [۵].

۵- برپایی مدل

منابع اصلی اطلاعات عمق‌یابی برای ساخت شبکه محاسباتی، نقشه‌های آدمیرالیتی یا دریانوردی از منبع UKHO بوده که در جدول ۱ با ذکر مقیاس آنها آمده‌اند. نقشه‌های (A) تا (E) مقیاس بزرگتری داشته و محدوده وسیع‌تری را پوشش می‌دهند. در حالت هم پوشانی آنها با نقشه (F) که دقیق‌ترین مقیاس را داراست، از اطلاعات نقشه (F) استفاده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات نقشه‌های آدمیرالیتی موجود در منطقه

نام نقشه	شماره نقشه(UKHO)	مقیاس
(A) Strait of Hormuz to Qatar	۲۸۳۷	۱:۷۵۰۰۰۰
(B) Outer approaches to Abu Dhabi	۳۱۷۷	۱:۱۲۵۰۰۰
(C) Approaches to Mubarraz Terminal	۳۱۷۸	۱:۱۲۵۰۰۰
(D) Sir Bani Yas to Khawr Al Udayd	۳۹۵۱	۱:۱۵۰۰۰۰
(E) Jazirat Das to Ar Ru'ays	۳۱۷۹	۱:۱۲۵۰۰۰
(F) Approaches to Jabel Az Zannah and Ar Ru'Ays	۳۷۸۰	۱:۳۵۰۰۰

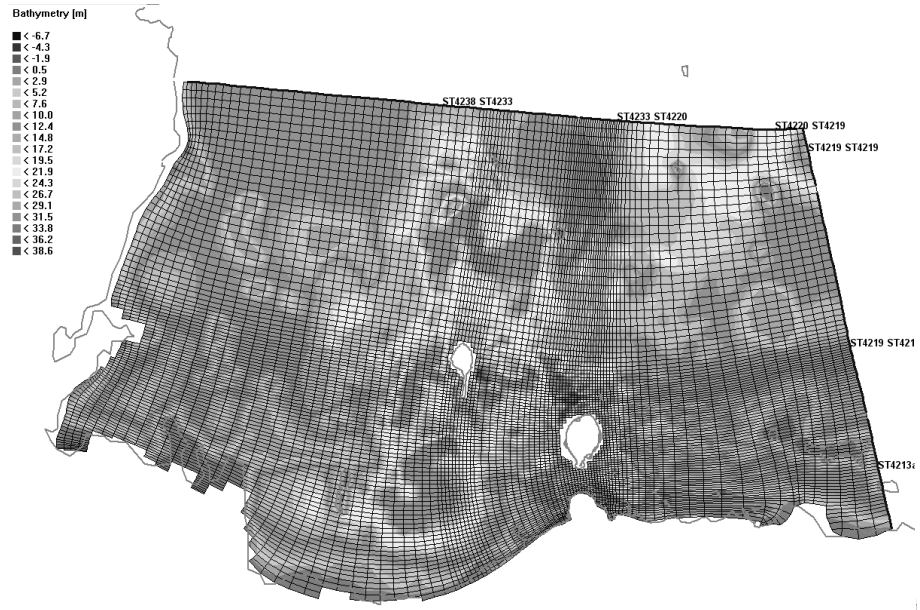
در این مطالعه از شبکه‌ای منحنی استفاده شده که در محدوده نقاط واسنجی (نقاط PERGOS و Ghasha) به اندازه کافی ریز شده است. شکل ۲ این شبکه را نشان می‌دهد. به علت دستیابی به اطلاعات باد تنها در یک نقطه از خلیج فارس (نقطه PERGOS) ، محدوده این مدل تنها در بخش جنوبی آن در نظر گرفته شده تا این باد با تقریب نسبتا خوبی نماینده باد در کل میدان مدل باشد.

نقشه‌های عمق‌یابی در نقاط این شبکه درونیابی شده و با انتقال تراز متوسط دریا به نحوی اصلاح شده اند که نماینده شرایط تراز متوسط دریا باشند. لازم به ذکر است که تراز متوسط دریا در این محدوده محاسباتی نسبتا ثابت می‌باشد.

از مولفه‌های هارمونیکی استخراج شده از جداول ترازهای جزر و مدی دریانوردی UKHO به عنوان شرایط مرزی تراز آب در این مدل استفاده شده است. شماره ایستگاه‌های مورد استفاده به عنوان شرایط مرزی در شکل ۲ نشان داده شده است. تعداد این اجزا برای هر کدام از مرزها مختلف است ولی همگی شامل مولفه های هارمونیکی اصلی می‌باشند (M2,S2,K1,O1). همچنین مولفه‌های هارمونیکی بلند مدت (SA,SSA,MSM,MM,MSF) از آنالیز هارمونیکی داده‌های تراز سطح آب بیست ساله مدل PERGOS با استفاده از نرم‌افزار Tidal Analysis Toolbox به دست آمده‌اند [۶]. مولفه‌های هارمونیک P1,Q1,TAU1 نیز از جداول UKHO استخراج شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پارامترها مجموعا ۹۵٪ تغییرات دامنه جزر و مدی را در ناحیه مورد نظر تشکیل می‌دهند. لازم به ذکر است که تاثیرات فشار اتمسفری، موج و باد تنها در مولفه‌های هارمونیکی بلند مدت در نظر گرفته شده‌اند.

استفاده از مولفه‌های جزر و مدی هارمونیکی مورفولوژیکی از وقوع رزنانس در مرزها جلوگیری کرده و خطا را کاهش می‌دهد.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-06-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.13.6.6]



شکل ۲- محدوده اجرای مدل Delft3D و عمق (متر)

۶- پارامترهای عددی

مدل در حالت دو بعدی کالیبره شده است. گام زمانی توسط عدد کورانت که تابعی از بعد شبکه محاسباتی و سرعت جریان می‌باشد، محدود می‌شود. عمق آستانه، رزولوشن آلگوریتم خشک شدگی به تر شدگی را نشان می‌دهد. عرض جغرافیایی نیز به منظور در نظر گرفتن نیرو های کوریولیس در مدل می‌باشد.
جدول ۲ پارامترهای عددی مورد استفاده در مدل را بیان می‌کند:

جدول ۲ - پارامترهای عددی مدل

پارامتر مدل	مقدار
تعداد لایه ها	۱
گام زمانی	۶۰ ثانیه
عمق آستانه	۰/۱ متر
عرض جغرافیایی	۲۴/۵ درجه

۷- پارامترهای واسنجی

زبری کف با استفاده از عدد مانینگ (N) بیان می‌شود که بایستی مقدار آن برای هر پروژه تنظیم شود. این عدد در کل محدوده پروژه یکنواخت در نظر گرفته شده است. محدوده این عدد از ۰/۰۱۶ (برای کانالهای حفاری شده تمیز Sellin 1969 [۷]) تا ۰/۰۴ می‌باشد که برای مدل دلفت توصیه شده است.

حساسیت سنجی نسبت به این پارامتر در مدل نشان داد که نتایج خیلی وابسته به این عدد نمی باشند چرا که عمق جریان در منطقه مورد نظر نسبتا زیاد بوده و تحت تاثیر شرایط زبری طبیعی قرار نمی گیرد.
لزجت گردابه ای افقی و پخش شدگی گردابه ای افقی نیز در کل محدوده پروژه بصورت ثابت در نظر گرفته شده اند. این ضرائب نیز مربوط به شبکه محاسباتی و رژیم جریان می باشند. مهندسین ارتش امریکا (USACE) مقدار لزجت گردابه ای افقی را برای آبهای سطحی بین $۰/۰۱\ m^2s^{-1}$ تا $۱۰۰\ m^2s^{-1}$ توصیه می کند. راهنمای مدل جریان دلفت مقدار بین $۱\ m^2s^{-1}$ تا $۱۰\ m^2s^{-1}$ برای مدلهای دقیق با رزولوشن تقریبا ۱۰ متر و بین $۱۰\ m^2s^{-1}$ تا $۱۰۰\ m^2s^{-1}$ برای مدلهای کلی با رزولوشن صد ها متر یا بیشتر را توصیه می کند که در اینجا مورد نظر قرار گرفته است [۵].
بدلیل اینکه مطالعه ما شامل فرآیندهای انتقال مانند شوری یا درجه حرارت نمی باشد، لذا پارامتر پخش شدگی گردابه ای افقی، واسنجی مدل را تحت تاثیر قرار نمی دهد. ضریب انعکاس آلفا در مرز ۵۰ در نظر گرفته میشود. این ضریب برای شرایط مرزی جزر و مدی در نظر گرفته می شود چرا که انعکاس امواج با پریود کوتاه به دامنه محاسباتی را محدود می کند.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-06-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.13.6.6]

جدول ۳ پارامترهای واسنجی مدل که بهترین تطابق برای تراز آب و جریانات را دارد را ارائه می‌کند :

جدول ۳ - پارامترهای واسنجی مدل

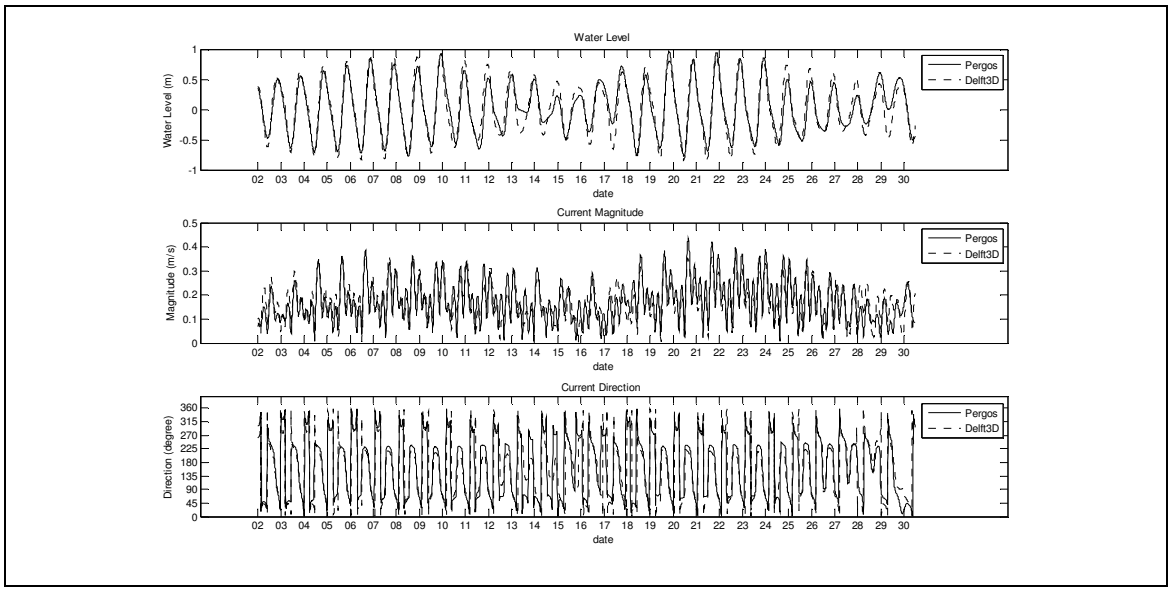
پارامتر واسنجی	مقدار
زبری یکنواخت	۰/۰۳
ضریب انعکاس از مرز آلفا	۵۰
لزجت گردابه ای افقی یکنواخت (رزولوشن زیاد)	$۵ m^2 s^{-1}$
لزجت گردابه ای افقی یکنواخت (رزولوشن کم)	$۵۰ m^2 s^{-1}$

۸- اجرای مدل و نتایج واسنجی

این مدل برای ژانویه ۲۰۰۰ که شامل یک دوره ۲۸ روزه قمری و مهکشند و کهشکند است و همچنین ماهی است که در آن بادهای شَمال زمستانی قوی می‌وزند، اجرا می‌شود. شکل ۳ مقایسه نتایج این مدل با نتایج مدل PERGOS شامل تراز آب و سرعت و جهت جریان را نشان می دهد. در ارتباط با تراز سطح آب خطای کمتر از ۱۰ سانتی متر در شرایط مهکشند و تا ۳۰ سانتی متر در شرایط کهکشند دیده می‌شود. این مقدار که کمتر از ۲۵٪ دامنه جزر و مد می‌باشد، می‌تواند به دلیل در نظر گرفتن تعداد نسبتا محدود از مولفه های جزر و مدی به عنوان شرایط مرزی باشد و با در نظر گرفتن تعداد بیشتری از این مولفه‌ها می‌توان دقت مدل را افزایش داد. همچنین در شرایط کهکشند تاثیر تغییرات اتمسفری، امواج و باد در مدل هیدرودینامیکی بیشتر از کم دقتی مدل می‌باشد. نتایج این مدل در شرایط کهکشند محافظه کارانه می‌باشد.

در ارتباط با شدت جریان در شرایط کهکشند به مدت چند روز جریانات ندرتا بیشتر از ۰/۱۵ متر بر ثانیه هستند و عمدتا ناشی از وزش باد شمال هستند. جریانات در شرایط مهکشند دو برابر جریانات در شرایط کهکشند هستند. در حالت مد افولی مهکشند، جریان به سمت شرق به مقدار m/s ۰/۲-۰/۱ و در حالت سیل مدی مهکشند، جریان به سمت غرب به مقدار m/s ۰/۲۵-۰/۱۵ وجود دارد.

شکل ۴ مقایسه تجمعی مربوط به تفاوت میان شدت جریان به دست آمده از مدل در مقایسه با اطلاعات مدل PERGOS و بویه Ghasha را نشان می‌دهد. جدول ۴ نیز پارامترهای آماری مربوط به این مقایسه را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول در ۹۵ ٪ مواقع اختلاف کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه دیده می‌شود که نشان می دهد که نتایج مدل رضایت بخش می‌باشد.



شکل ۳- نتایج مدل Delft3D در مقایسه با مدل PERGOS
(بالا: تراز آب (متر) ، وسط: مقدار جریان (متر بر ثانیه) ، پایین: جهت جریان (درجه))

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-06-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.13.6.6]

۹- حساسیت سنجی مدل

با تغییر پارامترهای واسنجی از قبیل زبری کف، لزجت گردابه‌ای و ضریب انعکاس از مرز در یک محدوده منطقی، نتایج مدل به شکل قابل محسوسی تغییر نمی‌کند که این مساله نشان می‌دهد که مدل پایدار است و می توان با اعتماد کافی از نتایج آن استفاده نمود.

جدول ٤- پارامترهای آماری مربوط به مقایسه جریان (متر بر ثانیه)

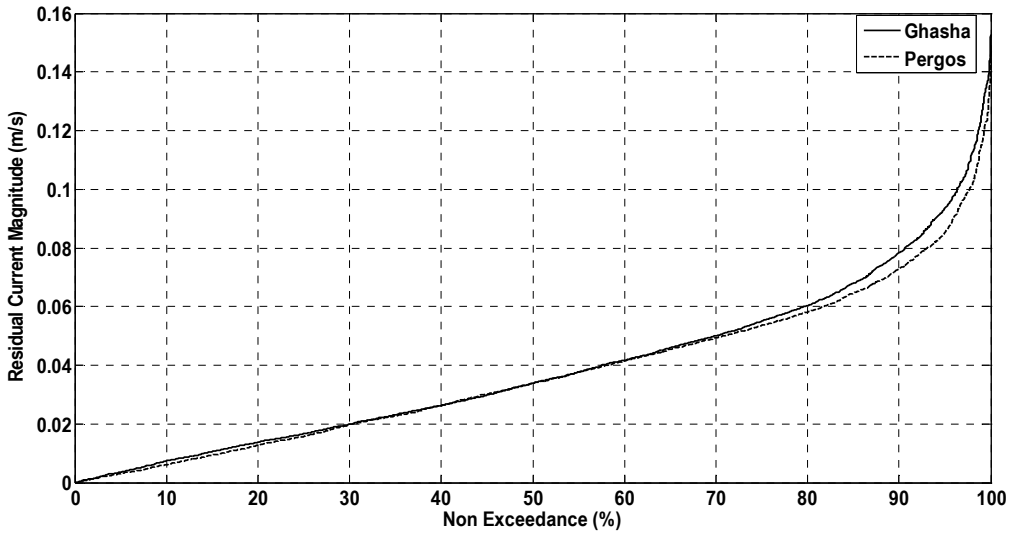
پارامتر آماری	مدل PERGOS	بویه Ghasha
ماکزیمم خطا	۰/۱۴۷	۰/۱۵۳
۹۵٪ خطا	۰/۰۸۵	۰/۰۹۵
متوسط خطا	۰/۰۳۴	۰/۰۳۵

نهایتا شکل ۵ الگوی جریان مربوط به سیل مدی و مد افولی مهکشند را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل ماکزیمم جریان ۰/۷ متر بر ثانیه در منطقه در اثر باد و جزر و مد ایجاد می شود.

۱۰- نتیجه گیری

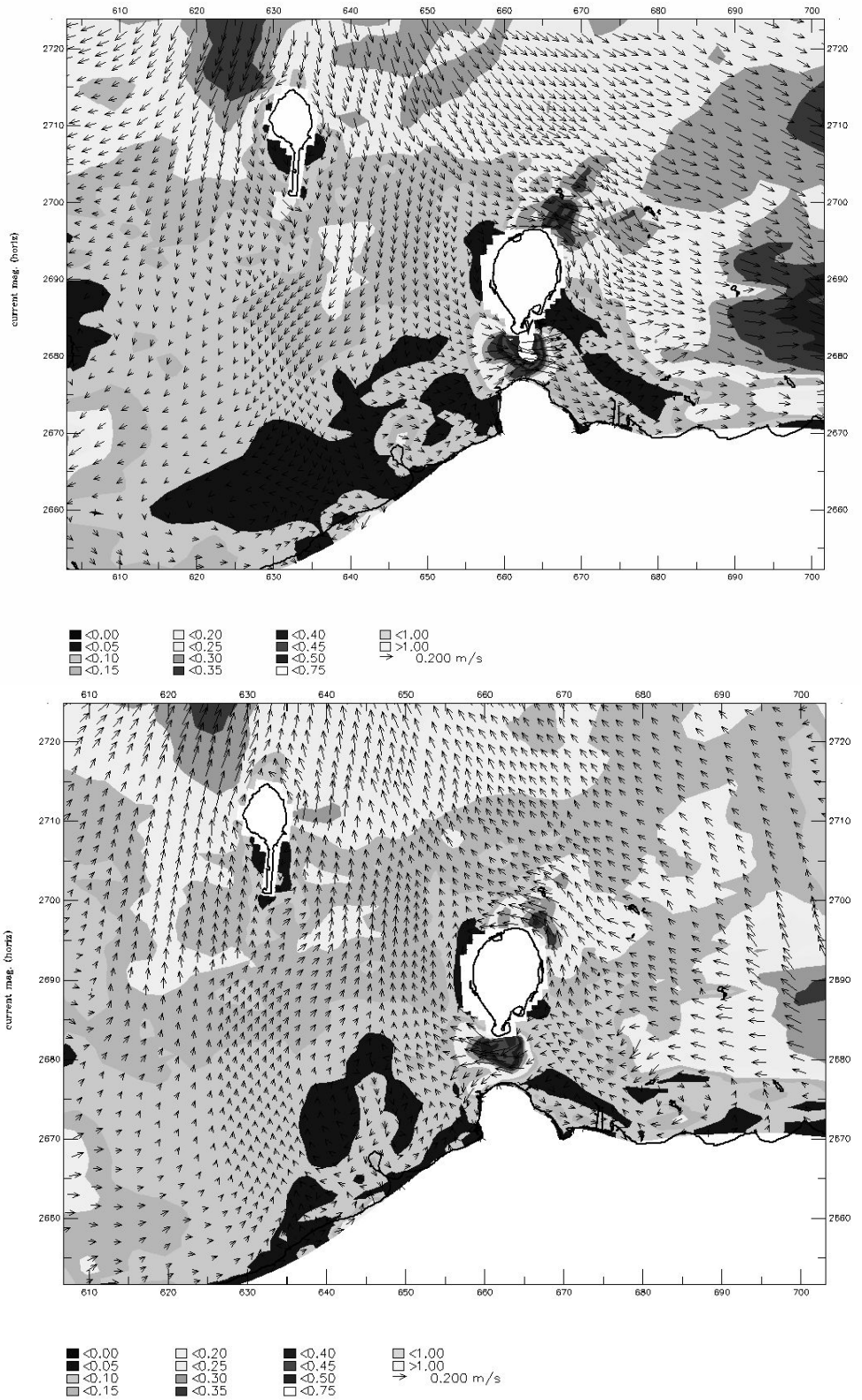
نتایج حاصل از این پژوهش به اجمال شامل موارد زیر می‌باشد:

- خطای کمتر از ۱۰ سانتی متر در شرایط مهکشند و تا ۳۰ سانتی متر در شرایط کهکشند در تراز سطح آب دیده می‌شود که کمتر از ۲۵٪ دامنه جزر و مد می‌باشد.
- اختلاف کمتر از ۰/۱ متر بر ثانیه بین نتایج مدل و داده‌های جریان نقاط واسنجی در ۹۵٪ مواقع دیده می‌شود که نشان می‌دهد که نتایج مدل رضایت بخش می‌باشد.
- در هنگام کهکشند به مدت چند روز جریانات ندرتا بیشتر از ۰/۱۵ متر بر ثانیه هستند و عمدتا ناشی از وزش باد شمال هستند.
- اندازه جریانات در شرایط مهکشند دو برابر اندازه جریانات در شرایط کهکشند هستند.
- در حالت مد افولی مهکشند، جریان به سمت شرق به مقدار m/s ۰/۲-۰/۱ و در حالت سیل مدی مهکشند، جریان به سمت غرب به مقدار m/s ۰/۲۵-۰/۱۵ وجود دارد.
- ماکزیمم جریان ۰/۷ متر بر ثانیه در منطقه مورد مطالعه در اثر باد و جزر و مد ایجاد می‌شود.
- با در نظر گرفتن تعداد بیشتری از مولفه های جزر و مدی در مرزها می‌توان دقت مدل را افزایش داد.
- با تغییر پارامترهای واسنجی در یک محدوده منطقی، نتایج مدل به شکل قابل محسوسی تغییر نمی‌کند که این مساله نشان می‌دهد که مدل پایدار است.



شکل ٤- مقایسه تجمعی خطای جریان در نقاط واسنجی

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-06-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.13.6.6]



شکل ۵- جریان در زمان مهکشند به متر بر ثانیه (بالا : سیل مدی، پائین: مد افولی)

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-06-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.13.6.6]

۱۱- مراجع

1-Perrone, Thomas I, (1979), Winter Shamal in the Persian Gulf, Naval Environmental Prediction Research Facility.
2-PERGOS Database, OceanWeather website,
http://www.oceanweather.com/metocean/.
3-Golshani, A., (2011), A 60 Years Wave Hindcast Study in the south of Persian Gulf using SWAN Model & Semi-time Domain Method, Journal of Marine Engineering. Vol.6, No.12, p.73-87 (in Persian)
4-EasyTide, UKHO website, http://easytide.ukho.gov.uk/
5-Delft3D website,
http://delftsoftware.wldelft.nl/
6-Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz, (2002), Classical Tidal Harmonic Analysis including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE, Computers and Geosciences, 28, 929-937.
7-Bernard Paul Boudreau, Bo Barker Jørgensen, (2001), The Benthic Boundary Layer: Transport Processes and Biogeochemistry.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2025-06-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1390.7.13.6.6]