

## شبیه سازی عددی مشخصه های اقیانوس شناسی و هواشناسی دریایی خلیج فارس و دریای عمان با استفاده از مدل جفت شده WRF و ROMS

بهزاد لایقی<sup>۱\*</sup>، عباسعلی علی اکبری بیدختی<sup>۲</sup>، سرمد قادر<sup>۳</sup>، مجید آزادی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری فیزیک دریا دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، سازمان هواشناسی کشور

۲- استاد گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک

۳- دانشیار گروه فیزیک فضا، موسسه ژئوفیزیک

۴- دانشیار گروه هواشناسی دینامیکی، پژوهشکده هواشناسی

(دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۹، بازنگری: ۱۳۹۸/۱۲/۰۹، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۳۹۸/۰۷/۰۱)

### چکیده

در این مقاله مشخصه های هواشناسی دریایی و اقیانوس شناسی دریای عمان با استفاده از روش جفت شدن مدل های عددی هواشناسی WRF و مدل اقیانوس شناسی ROMS شبیه سازی شده است. ابتدا مدل WRF بر روی دریای عمان اجرا و نتایج آن مورد بررسی و راستی آزمایی قرار گرفته و سپس مدل عددی ROMS بر روی این دریا با توجه به واداشت های هواشناسی پیش یابی شده اجرا و مورد ارزیابی قرار گرفت. پدیده عمده برای بررسی مدل WRF مونسون تابستانی اقیانوس هند بود. برای مدل ROMS نحوه انتقال آب سطحی اقیانوس هند به خلیج فارس و دریای عمان مورد بررسی قرار گرفت. مدل اقیانوسی برای یک دوره هفت ساله اجرا گردید و نتایج مدل اقیانوسی با تصاویر ماهواره ای مقایسه گردیدند. نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن برهمکنش متقابل جو و اقیانوس (با در نظر گرفتن جفت شدگی) نتایج واقعی تری به دست می آید.

**کلمات کلیدی:** شبیه سازی عددی، دریای عمان، مدل WRF، مدل ROMS، جفت شدگی.

### ۱. مقدمه

توجه به موقعیت جغرافیایی، از یک طرف تحت تأثیر جریان های جوی متعدد مانند مونسون و به تبع آن باران های موسمی اقیانوس هند است و از طرف دیگر تحت تأثیر فشار زیاد عرض های متوسط قرار دارد که گرمای شدید ترین پدیده مشهود اقلیمی آن است. دریای عمان یک گذار از خور به گردش آب اقیانوس عمیق می باشد. گردش آب در دریای عمان شامل ساختارهای زیر می باشد:

الف- یک خروجی در عمق از تنگه هرمز پخش می شود.  
ب- پیچک های خلاف عقربه های ساعت که یک ساختار فراجهندگی<sup>۱</sup> آب سرد در طول سواحل ایرانی ایجاد می کند.  
در دریای عمان یک گردش آب با دو پیچک وجود دارد.

دریای عمان دریای جنوب شرقی ایران است که در حقیقت ادامه اقیانوس هند به شمار می رود. از شمال به سواحل مکران ایران و از جنوب به دریای عربستان و کشور عمان محدود است و مدار راس السرطان از جنوب آن می گذرد. عرض آن از دماغه حد، در شمال شرقی کشور عمان، تا بندر گوآتر، در متی الیه جنوب شرقی ایران (در مرز ایران و پاکستان)، حدود ۳۲۰ کیلومتر و طول آن حدود ۵۶۰ کیلومتر است. در شمال غربی از طریق تنگه استراتژیک هرمز، در شمال شبه جزیره به عمقی تا حدود ۲۰۰ متر فرو می رود و در عرض حوضه مسندم (راس مسندم)، به خلیج فارس یکی از مهمترین کانون های تامین انرژی جهان می پیوندد اقلیم این منطقه با

<sup>1</sup> Upwelling  
layeghi2001@yahoo.com

\* نگارنده رابط:

که دو جمله اول مربوط به تنش سطحی ناشی از باد در راستای X و Y، جمله سوم مربوط به تغییرات دما به صورت گرمای نهان و آشکار، جمله چهارم مربوط به تغییرات شوری بر اساس بارندگی و تبخیر، و جمله پنجم مربوط به تغییرات مولفه قائم سرعت بر اساس تغییرات تراز آب است. برای اجرای مدل ROMS، داده های عمق سنجی از مجموعه داده های ETOPO1، داده های مقادیر اولیه، مرزها و کلیماتولوژی از مجموعه داده های WOA و برای مقادیر ورودی واداشت جوی از خروجی مدل WRF استفاده گردید.

### ۳. نتایج

بر اساس خروجی های بدست آمده از اجرای ۷ ساله مدل الگوی تغییرات دما، شوری و جریان در سطح آب مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. برای راستی آزمایی دامنه تغییرات مقادیر از داده های ماهواره ای استفاده گردید.

#### ۳-۱. دمای آب

برش مداری و نصف النهاری دمای آب خلیج فارس، دریای عمان و تنگه هرمز در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱ الگوی دمای سطح آب را در ماه فوریه نشان می دهد. همان گونه که در شکل مشاهده می شود، آب گرم اقیانوس هند از سمت شمال دریای عمان و از طریق تنگه هرمز به خلیج فارس انتقال می یابد. جبهه دمایی ایجاد شده در جنوب شرقی خلیج فارس قابل مشاهده است. در این منطقه دو پیچک قابل ملاحظه است که حرکت آنها به سمت غرب خلیج فارس رویت می شود. تغییرات دمایی در دریای عمان جزئی است و تقریباً مشابه با شرایط شمال اقیانوس هند است. مقدار دمای آب در دریای عمان حدود ۲۴ درجه سانتیگراد و در شمال خلیج فارس حدود ۱۸ درجه است.

یک گردش آب در جهت عقربه های ساعت در غرب دریا، بر آب های سطحی در سواحل کشور عمان و تنگه هرمز تاثیر می گذارد. یک گردش خلاف جهت عقربه های ساعت نیز در ناحیه مرکزی دریای عمان وجود دارد. ترکیب این دو پیچک یک رشته<sup>۱</sup> آب سرد ایجاد می کند. در این تحقیق شبیه سازی مشخصه های اقیانوس شناسی این محیط آبی توسط مدل جفت شده جوی و اقیانوسی انجام می شود.

#### ۲. داده و روشها

مدل پیشرفته تحقیقاتی WRF (ARW) نسخه 3.5.1 برای شبیه سازی وضعیت جوی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. برای شبیه سازی مشخصه های اقیانوس شناسی از مدل عددی ROMS استفاده گردید. مدل ROMS، یک مدل اقیانوسی سطح آزاد<sup>۲</sup> با دستگاه مختصات وابسته به زمین<sup>۳</sup> است که در آن از معادلات پایه اقیانوسی استفاده شده است. این مدل دارای دقت و کارآمدی فیزیکی بالا است که قابلیت کاربرد در مناطق اقیانوسی عمیق و مناطق ساحلی (کم عمق) را دارد که دارای طرح واره های اختلاط عمودی مختلف، سطح های چند گانه، شبکه های مرکب، آشیانه ای<sup>۴</sup> است. در راستای قائم، معادلات پایه بر اساس متغیر توپوگرافی و با استفاده از مختصات وابسته به زمین گسسته سازی می شوند. شرایط مرزی قائم در سطح که بر اساس واداشت جوی بدست می آید به صورت زیر است:

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \tau_s^x(x, y, t)$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = \tau_s^y(x, y, t)$$

$$K_T \frac{\partial T}{\partial Z} = \frac{Q_T}{\rho_0 c_p} + \frac{1}{\rho_0 c_p} \frac{dQ_T}{dT} (T - T_{ref})$$

$$K_S \frac{\partial S}{\partial z} = (E - P)S$$

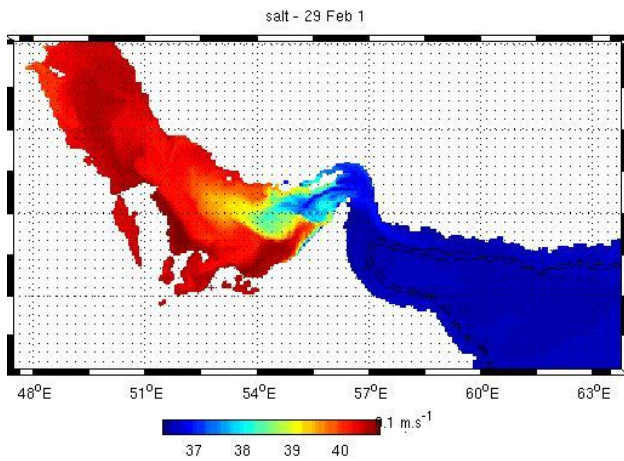
<sup>3</sup> terrain-following

<sup>4</sup> nested

<sup>1</sup> filament

<sup>2</sup> free-surface

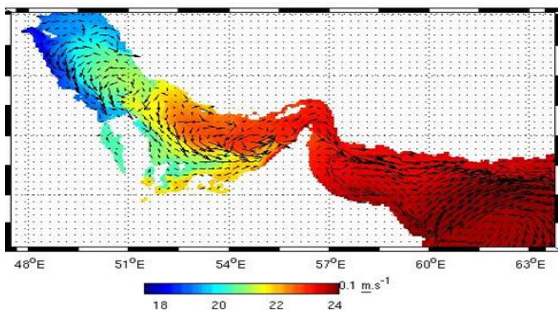
شوری از خلیج فارس به دریای عمان از بخش جنوب تنگه هرمز دیده می شود که این زبانه بعد از تنگه هرمز ناپدید می شود و امکان انتقال از لایه های پایین تر در این تنگه را نشان می دهد. همچنین تغییرات شوری در ماه های مختلف در خروجی مدل در سال ۲۰۰۰ در شکل شماره ۳ نشان داده شده است.



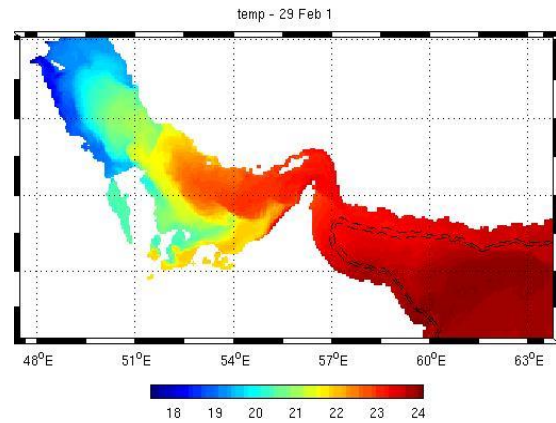
شکل ۳- الگوی مدل سازی شده شوری خلیج فارس و دریای عمان در ماه فوریه

### ۲-۳. جریان

در شکل شماره ۴ الگوی جریان سطحی در دریای عمان و خلیج فارس در ماه فوریه مشاهده می شود. الگوی غالب مشاهده شده در دریای عمان نشان دهنده یک پیچک بزرگ در محل اتصال دریای عمان به اقیانوس هند و همچنین جریان رو به غرب در بخش شمالی و جریان رو به شرق در سواحل جنوبی آن می باشد. همچنین الگوی غالب جریان در خلیج فارس گردش پاد ساعتگرد آب و وجود پیچک در بخش میانی خلیج فارس می باشد.

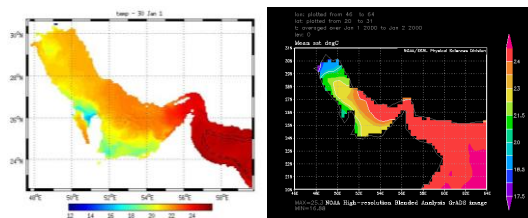


شکل شماره ۴- الگوی جریان شبیه سازی شده خلیج فارس و دریای عمان در ماه فوریه



شکل ۱- الگوی مدل سازی شده دمای آب خلیج فارس و دریای عمان در ماه فوریه

همچنین داده های باز تحلیل دمای سطح آب موسسه NOAA<sup>1</sup> (ستون سمت چپ) برای سال ۲۰۰۰ برای روزهای اول ماه های میلادی با خروجی مدل اقیانوسی ROMS مورد مقایسه قرار گرفتند (شکل ۲). محدوده دمایی و الگوی خطوط هم دما در بیشتر ماه های سال در تصاویر ماهواره ای و خروجی مدل از تطابق خوبی برخوردار است و اختلاف دمایی در ماه های آگوست و سپتامبر برای خلیج فارس و برای ماه های نوامبر و دسامبر برای منطقه دریای عمان قابل مشاهده است.



شکل ۲- مقایسه دمای آب شبیه سازی شده (سمت راست) با اطلاعات بدست آمده از ماهواره (سمت چپ) در ماه ژانویه

الگوی پراکندگی شوری سطح آب در خلیج فارس و دریای عمان در ماه فوریه شکل ۱۴ مشاهده می شود. بیشترین مقدار شوری در خلیج فارس (حدود ۴۰ PSU) و کمترین مقدار در سمت دریای عمان (حدود ۳۵ PSU) می باشد. در این تصویر تنها انتشار سطحی شوری از دریای عمان به خلیج فارس از مرزهای ایران مشاهده می شود. تنها زبانه انتقال

<sup>1</sup> NOAA High Resolution SST data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSD, Boulder, Colorado, USA

- 4- Andreas, L. Edgar, 1992: Sea spray and the turbulent air-sea heat fluxes. *J. Geophys. Res.*, 97, 11 429-11 441.
- 5- Andreas, L. Edgar, 1998: New sea spray generations function for wind speeds up to 32 m s<sup>-1</sup>. *J. Phys. Oceanogr.*, 28, 2175-2184.
- 6- Andreas L. A. and K. A. Emanuel, 2001: Effects of sea spray on tropical cyclone intensity. *J. Atmos. Sci.*, 58, 3741-3751.
- 7- Davies, A.M., and J. Lawrence, 1995: Modeling the effect of wave-current interaction on the three-dimensional wind-driven circulation of the eastern Irish Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, 25, 29-45.
- 8- Bao, J.-W., J. M. Wilczak, J.-K. Choi, and L. H. Kantha, 2000: Numerical simulations of air-sea interaction under high wind conditions using a coupled model: A study of hurricane development. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2190-2210.
- 9- Bender, M.A., and I. Ginis, 2000: Real-case simulations of hurricane-ocean interaction using a high-resolution coupled model: Effects on hurricane intensity. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 917-946.
- 10- Bender, M.A., and I. Ginis, and Y. Kurihara, 1993: Numerical simulations of tropical cyclone-ocean interaction with a high-resolution coupled model. *J. Geophys. Res.*, 98, 23 245-23 263.
- 11- Bender, M.A., and I. Ginis, R. Tuleya, B. Thomas, and T. Marchok, 2007: The operational GFDL coupled hurricane-ocean prediction system and a summary of its performance. *Mon. Wea. Rev.*, 135, 3965-3989.
- 12- Bister, M., and K. A. Emanuel, 1998: Dissipative heating and hurricane intensity. *Meteor. Atmos. Phys.*, 65, 233-240.
- 13- Black, W. J., and T. D. Dickey, 2008: Observations and analyses of upper ocean responses to tropical storms and hurricanes in the vicinity of Bermuda. *J. Geophys. Res.*, 113, C08009, doi:10.1029/2007JC004358.
- 14- Chan, J. C. L., and R. T. Williams, 1987: Analytical and numerical studies of the beta-effect in tropical cyclone motion. Part I: Zero mean flow. *J. Atmos. Sci.*, 44, 1257-1265.
- 15- Chan, J. C. L., Y. Duan, and L. K. Shay, 2001: Tropical cyclone intensity change from a simple ocean-atmosphere coupled model. *J. Atmos. Sci.*, 58, 154-172.

#### ۴. نتیجه گیری

در این تحقیق الگوی میدان مشخصه های هواشناسی بر روی خلیج فارس و دریای عمان و همچنین گردش عمومی این حوزه های آبی با استفاده از مدل های عددی WRF و ROMS شبیه سازی شده و نتایج آن به صورت کمی و کیفی مورد بررسی قرار گرفتند. گردش عمومی خلیج فارس و دریای عمان بر اساس نتایج خروجی مدل ROMS و مقایسه آن با نتایج کارهای انجام شده قبلی مورد بررسی قرار گرفت. الگوی توزیع دمایی در خلیج فارس و دریای عمان نشان دهنده انتقال آب های اقیانوس هند از طریق سواحل شمالی دریای عمان و تنگه هرمز به خلیج فارس از سطح آن بود. تشکیل پیچک در خلیج فارس و دریای عمان از مواردی بود که در خروجی مدل مشاهده شد. همچنین بررسی پروفایل عمودی دمای آب در دریای عمان نشان دهنده فراجهدگی در مجاورت سواحل شمالی دریای عمان بود. الگوی شوری آب در نتایج مدل اقیانوس شناسی خلیج فارس و دریای عمان نشان دهنده انتقال آب شور از زیر سطح خلیج فارس و از طریق تنگه هرمز به دریای عمان انتقال پیدا می کند. الگوی جریان سطحی شبیه سازی شده در این حوزه های آبی توسط مدل ROMS در تطابق با کارهای مشابه مدل سازی در این منطقه در سال های گذشته بود.

#### ۵. منابع

- 1- BIN LIU, HUIQING LIU, AND LIAN XIE, 2010: "A Coupled Atmosphere-Wave-Ocean Modeling System: Simulation of the Intensity of an Idealized Tropical Cyclone", monthly weather review, vol.139,132-152.
- 2- Alamaro, M., K. A. Emanuel, J. J. Colton, W. R. McGillis, and J. Edson, 2002: Experimental investigation of air-sea transfer of momentum and enthalpy at high wind speed. Preprints, 25th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology, San Diego, CA, Amer. Meteor. Soc., 17C.6.
- 3- Andreas, L. Edgar, 1989: "thermal and size evolution of sea spray droplets", CRELL report, 89-11

## Numerical simulation of oceanic and marine meteorological characteristics of Persian Gulf and Oman Sea using coupled model WRF and ROMS

Behzad Layeghi<sup>\*1</sup>, A. A. Bidokhti<sup>2</sup>, S. Ghader<sup>3</sup>, M. Azadi<sup>4</sup>

1-PhD student in physical oceanography, Azad University, branch of science and research

2- Professor of Space Physics, Institute of Geophysics

3-Associate Professor of Space Physics, Institute of Geophysics

4-Associate Professor of Dynamic Meteorology, Institute of Meteorology

(Received: 29 Jan 2019, Revised: 28 Feb 2019, Accepted: 03 Aug 2019, Published online: 23 Sep 2019)

### Abstract

In this paper, marine meteorological and oceanic characteristics of Persian Gulf and Oman Sea were simulated using coupled numerical weather prediction model WRF and numerical oceanic model ROMS. At first, WRF model was operated over the sea and its results were analyzed and verified, and then numerical model ROMS operated and assessed on the sea by considering meteorological forcing. The major phenomena for analyzing WRF model was Indian Ocean summer Monsoon. For the model ROMS, transferring seawater from Indian Ocean to Oman Sea and Persian Gulf was studied. Oceanic numerical model was operated for a 7 years period and its results were compared by satellite images. The results show that considering interaction of atmosphere and ocean (by coupling) lead to more real results.

**Keywords:** Numerical simulation, Oman Sea, WRF model, ROMS model, coupling.

---

\* Corresponding author:

Email Address: layeghi2001@yahoo.com