

محاسبه عددی عدد پرائنتل در لایه‌بندی ستون آب تنگه هرمز

ایمان خادمی^۱، محمد اکبری نسب^{۱*}، عباسعلی علی‌اکبری بیدختی^۲، محمدرضا خلیل‌آبادی^۳

۱. دانشگاه مازندران - دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی

۲. موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

۳. دانشگاه صنعتی مالک اشتر شیراز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۳۱

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2016.15334](https://doi.org/10.22113/jmst.2016.15334)

چکیده

اختلاط تلاطمی، نقش مهمی در گردش ستون آب‌های کم‌عمق ایفا می‌کند. مبحث تلاطم در سیالات یکی از اصولی‌ترین و مهم‌ترین مباحث است که همواره توجه اکثر دانشمندان و محققان علم دینامیک سیالات را به خود جلب می‌کند. در این مقاله به بررسی پارامترهای مؤثر بر تلاطم با استفاده از مدل یک‌بعدی تلاطم اقیانوسی (GOTM) در بخش جنوبی تنگه هرمز پرداخته شده است. در این تحقیق ابتدا برای یک ایستگاه در بخش جنوبی تنگه هرمز، داده‌های اندازه‌گیری شده دما و شوری در اعماق مختلف و با گام سه ساعت (با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در سال ۱۹۹۷ با گام نیم‌ساعته توسط دانشگاه میامی) و اطلاعات هواشناسی شامل سرعت باد، فشار هوا، ابرناکی، رطوبت، دما هوا با گام سه ساعت در سال ۱۹۹۷ به‌عنوان ورودی به مدل اعمال می‌شود، در این مدل، با استفاده از معادله بستر تلاطمی $\varepsilon - k$ ، به روش طرح‌واره بستر تلاطمی مرتبه دوم، پارامترهای تلاطم همچون نرخ انرژی جنبشی تلاطم، محصولات شناوری و مقادیر میانگین عدد پرائنتل در فصول مختلف مدل‌سازی شد. در این مقاله، بررسی عدد پرائنتل تلاطمی، برتری وشکسانی تلاطمی نسبت به پخش شناوری در اعماق میانی را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: انرژی جنبشی تلاطم، عدد پرائنتل، تنگه هرمز

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

۱. مقدمه

تلاطم حالتی از حرکت شارها است که اغلب در شاره‌هایی مانند اقیانوس و جو رخ می‌دهد و به‌عنوان یکی از مسائل بزرگ حل‌نشده‌ی فیزیک کلاسیک از آن نام می‌برند که نقش محوری در مهندسی و ژئوفیزیک ایفا می‌کند (Falkovich & Sreenivasan, 2006). خرد ساختارهای هیدرودینامیکی داخلی آب‌های دریایی، شامل تغییرات میدانی دما، شوری و چگالی در جهت قائم و افقی است. این ساختارها ناشی از عوامل ایجاد تلاطم و اختلاط در محیط‌های چینه‌بندی شده دریایی است و در محیط‌های دریایی مانند خلیج فارس، عامل اصلی آن، جزر و مد، شکست امواج، سطح توپوگرافی بستر دریا، جریان‌های ناشی از باد و همرفت قسمت‌های فوقانی ستون آب است. با توجه به وجود چینش چگالی پایدار، عمدتاً حالت دولایه‌ای در خلیج فارس حاکم است. یکی از عوامل ایجادکننده تلاطم شکست امواج داخلی در لایه‌های میانی این آب می‌تواند باشد (Monin & Ozmidov, 1985). وجود این خرد ساختارها می‌تواند روی ارتباطات صوتی دریایی و آلودگی محیط دریا نقش مؤثری ایفا کنند. با توجه به اهمیت تنگه هرمز در منطقه، در نظر گرفتن مسئله‌ی تلاطم و بررسی آن بسیار مهم می‌نماید. با وجود آنکه ویژگی‌های عمومی تبادل جریان در میان تنگه هرمز شناخته شده است، لیکن در مورد انرژی جنبشی تلاطم این منطقه در کشور، هیچ مطالعه‌ی صورت نگرفته است. تأثیر مستقیم تلاطم بر روی پخش آلودگی‌ها، محیط زیست، شیلات، کشتیرانی، کاربردهای نظامی و اثرات آن، بر پارامترهای فیزیکی که می‌توان از جمله‌ی آن‌ها به تغییر در سرعت صوت و غیره اشاره نمود، اهمیت مطالعه این موضوع را کاملاً آشکار می‌نماید. بررسی و مطالعه‌ی این شرایط از سیال می‌تواند اثرات مضر را کنترل نموده و اطلاعات مهمی از منطقه را فراهم نماید. به دلیل موقعیت استراتژیک تنگه هرمز در

منطقه، از روزگار پیشین مورد توجه قدرت‌های بزرگ دنیا و منطقه بوده که همین مسئله باعث تحقیقات گسترده در این موضع گشته است. (Obino, 2002) با استفاده از مدل عددی COHERENS در دریای بوهایی^۱ که یک دریای نیمه بسته کم عمق است، دو طرح‌واره بستار تلاطمی را برای تعیین انرژی جنبشی تلاطم به کار بردند نتایج برتری طرح‌واره میلور و یامادا را بر بقیه نشان می‌دهد (Obino, 2002). لیو و همکاران از چند طرح‌واره تلاطمی برای مدل‌سازی جریان‌ات جزرومدی لایه‌بندی شده و شوری در یک سیستم خوری استفاده کردند نتایج نشان می‌دهد که طرح‌واره میلور و یامادا پیش‌بینی لایه‌بندی بزرگ‌تر و اختلاط عمودی کوچک‌تری دارد (Liu et al., 2001). یوسف ال اوسایری و همکارانش در طی یک تحقیق با استفاده از مدل سه‌بعدی خور، دریاچه و ساحل (ELCOM) و اندازه‌گیری زمان اقامت آب در خلیج فارس، به بررسی ضرایب پراکندگی تنگه هرمز پرداختند. اطلاعات مورد استفاده آن‌ها از ۲۷ ژانویه تا ۲۶ فوریه ۱۹۹۲ و همچنین ۱۳ می تا ۱۲ جون ۱۹۹۲ بود. مدل به محاسبه‌ی تنوع جغرافیایی نرخ پراکندگی افقی (K_x) در سراسر خلیج فارس پرداخت. نتایج مدل نشان داد که پراکندگی بیشتر توسط نیروی برشی مرتبط با جزر و مد رانده و انباشته می‌شود؛ اما در طول سواحل عربی، باد یک منبع با اضافی انرژی برای پراکندگی بود. در این تحقیق مدت اقامت آب در سواحل عربی بیش از ۳ سال تخمین زده شد که در طول سواحل ایران، این مقدار بسیار کمتر است (Alosairi et al., 2011). مهندسی نمین و بیدختی (۱۳۹۲) به بررسی توزیع دما و شوری در سطح و کف خلیج فارس در فصل زمستان و شبیه‌سازی عددی الگوی جریان‌ات در سطح و کف، با استفاده از یک مدل عددی سه‌بعدی با اعمال دو طرح‌واره بستار

^۱ Bohai Sea

در حل این معادلات مدل سازی برای شارهای تلاطمی، همین کمیت‌ها می‌باشند. در این تحقیق، با استفاده از معادله $k - \epsilon$ ، به روش طرح‌واره بستار تلاطمی مرتبه دوم استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه، در عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و طول جغرافیایی ۵۶ درجه در بخش جنوبی تنگه هرمز است. در این ایستگاه، داده‌های شامل دما و شوری به صورت اویلری از سطح تا عمق ۱۱۰ متری با گام فاصله‌ای ۲۰ متری در دوره‌ی زمانی پیوسته از دسامبر ۱۹۹۶ تا مارس ۱۹۹۸ توسط دانشگاه میامی اندازه‌گیری شده است و همچنین داده‌های هواشناسی ایستگاه سینوپتیک قشم شامل باد، رطوبت، ابرناکی، فشار هوا و دمای هوا به صورت گام سه‌ساعته در بازه ۱۹۹۷ برای مدت یک سال در دوره داده‌های اندازه‌گیری شده از سراج‌های نوا جمع‌آوری شده (جدول ۱) و به‌عنوان شرایط مرزی به مدل اعمال می‌شود.

در این تحقیق برای بررسی تغییرات فصلی عدد پراتنل در ستون آب از مدل عددی GOTM استفاده شده است. این مدل یک‌بعدی برای بررسی مهم‌ترین فرآیندهای هیدرودینامیکی و ترمودینامیکی مربوط به اختلاط عمودی در آب‌های طبیعی است. علاوه بر این، طوری طراحی شده است که آن را به‌آسانی می‌توان به مدل‌های سه‌بعدی پیوند داد و برای محاسبه اختلاط مغشوش عمودی از آن استفاده کرد. مدل، برای حل معادلات انتقال اندازه حرکت، نمک و گرما از روش معادلات یک‌بعدی استفاده می‌کند که مؤلفه‌های اصلی در حل این معادلات مدل‌سازی برای شارهای تلاطمی، همین کمیت‌ها می‌باشند. در این مقاله، از معادله $k - \epsilon$ ، به روش طرح‌واره بستار تلاطمی مرتبه دوم استفاده شد. داده‌های اندازه‌گیری شده دما و شوری به صورت پیوسته برای سال ۱۹۹۷ در ساعت ۱۵ هر روز به مدت یک سال و نیز پارامترهای هواشناسی برای ایستگاه سینوپتیک قشم برای سال ۱۹۹۷ در ساعت ۱۵

تلاطمی مختلف پرداختند. در آن مدل از سیستم مختصات دکارتی برای راستای افقی و از مختصات سیگما با ۵ لایه برای راستای قائم استفاده شده است. خط ساحلی خلیج فارس و عمق آن بر اساس داده‌های ETOPO-2، که از داده‌های دیجیتالی بستر دریا و برآمدگی زمین با شبکه‌های ۲ دقیقه عرضی و طولی جغرافیایی، به دست آمده است. آزمایش مدل با طرح‌واره‌های بستار تلاطمی K-L و K-E نشان می‌دهد که طرح‌واره K-E در آب‌های ورودی خلیج فارس اختلاط کمتری را نشان می‌دهد. جریانات برای آزمایشی که طرح‌واره K-L اعمال می‌شود دارای سرعت بیشتری هستند که باید با اختلاط بیشتر همراه باشند و با الگوهای شوری نیز مطابقت دارد (Mohandesi et al., 2013). در این مقاله برای مدل‌سازی جریان تلاطمی از مدل یک‌بعدی GOTM^۱ استفاده گردید. هدف اصلی این تحقیق، شناسایی فاکتور اصلی در تولید انرژی جنبشی تلاطمی در اعماق و فصول مختلف در بخش جنوبی تنگه هرمز است.

۲. مواد و روش‌ها

در این مقاله، برای مدل‌سازی جریان تلاطمی از مدل یک‌بعدی GOTM^۲ استفاده گردید. این مدل یک‌بعدی برای بررسی فرآیندهای هیدرودینامیکی و ترمودینامیکی مربوط به اختلاط عمودی در آب‌های طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Burchard, et. al. 2008) (سایت gotm) علاوه بر این، طوری طراحی شده است که به‌آسانی می‌توان آن را با مدل‌های سه‌بعدی هیدرودینامیک جفت نمود و برای محاسبه اختلاط مغشوش عمودی از این مدل استفاده کرد. مدل، برای حل معادلات انتقال اندازه حرکت، نمک و گرما از روش معادلات یک‌بعدی استفاده می‌کند که مؤلفه‌های اصلی

^۱ General Ocean Turbulence Model
^۲ General Ocean Turbulence Model

هر روز به مدت یک سال، به عنوان شرایط مرزی به مدل اعمال شد.

جدول ۱: داده‌های مورد نیاز جهت مدل سازی

داده	اکیانوس شناسی	هواشناسی
نوع داده	پروفایل قائم دما و شوری	مؤلفه‌های باد، دمای هوا، فشار هوا و رطوبت نسبی
منبع جمع‌آوری داده	اندازه‌گیری شده	وبسایت‌های هواشناسی
نحوه استفاده مدل از منابع	همانندسازی مدل	شرایط بالای مرز، اندازه حرکت و شارش‌های تلاطمی حرارت و بودجه تابش سطحی

(۳-۳) نیز، به شارش گرمای محسوس سطح اشاره می‌کند

(Q_h) .

$$\tau_x = \rho_a C_{dx} V u_a ; \tau_y = \rho_a C_{dy} V v_a \quad (1)$$

$$Q_e = \rho_a L_v C_e V (q_a - q_0) \quad (2)$$

$$Q_h = \rho_a c_p C_h V (\theta_a - SST) \quad (3)$$

u_a و v_a بیانگر مؤلفه‌های افقی سرعت باد می‌باشند.

q_a ، رطوبت هوا، q_0 رطوبت به دست آمده از دمای سطح آب (SST^1) است که توسط معادله‌ی بولتن^۲، محاسبه می‌شود (Bolton, 1980). θ_a دمای

هوا و $V = (u_a^2 + v_a^2 + w_g^2)^{1/2}$ است که w_g بیانگر بادهای طوفانی است و وقتی که بادهای افقی مؤلفه‌ای نداشته باشند، این مؤلفه، از صفر شدن شار، ممانعت می‌نماید. چگالی هوا است که توسط قانون گازها محاسبه می‌گردد. مقدار آن ۱۰۰ هکتوپاسکال در نظر گرفته می‌شود. $c_p = 1004.6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ گرمای

ویژه در فشار ثابت و $L_v = 2.5 \cdot 10^6 - 2370 \text{ SST}$ ، گرمای نهان تبخیر است. (C_{dx} , C_{dy} , C_e , C_h) ضرایب انتقالی بر اساس تئوری شبیه‌سازی مونین-ابوکو^۳ که برای لایه‌ی سطحی اتمسفری است، محاسبه می‌گردند

GOTM بر پایه‌ی معادلات هیدرودینامیکی

حرکت، با استفاده از تقریب بوزینسک، عمل می‌نماید. این تقریب بر این اساس استوار است که در معادله‌ی حرکت، می‌توان از تأثیر تغییرات چگالی سیال در ترم اندازه‌ی حرکت چشم‌پوشی نمود و تأثیر تغییرات چگالی را، تنها در ترم‌هایی از معادله حرکت سیال که ضریب شتاب گرانش می‌باشند، منظور نمود. این تقریب حل معادله‌ی حرکت سیال را، در شرایطی که تغییر چگالی وجود دارد، بسیار ساده می‌نماید. GOTM توپوگرافی بستر را، در مدل‌سازی لحاظ نمی‌کند؛ بنابراین دامنه‌ی عمودی مدل طوری انتخاب شده است که شرایط بستر در شبیه‌سازی لایه‌های بالایی تأثیری نداشته باشد. دامنه عمودی برای شبیه‌سازی در این پژوهش، از $Z = 0$ در سطح تا $Z = -110$ در شبکه کارتزینی در نظر گرفته شده است. بستر به عنوان یک سطح سخت در نظر گرفته و هیچ برش (تنش) و شارشی در بستر لحاظ نمی‌گردد. شارش نمک در سطح نیز صفر در نظر گرفته شده است. همچنین در شرایط مرزی، برای سطح آب از فرمول بالک استفاده می‌شود که این فرمول در معادلات زیر شرح داده شده است (Fairall et. al, 2003). معادلات اول و دوم، (τ_x , τ_y) بیانگر مؤلفه‌ی افقی تنش در سطح آب می‌باشند. معادله بعدی نیز، بیانگر شارش گرمای نهان سطح است (Q_e) و معادله‌ی

¹ Sea Surface Temperature
² Bolton
³ Monin-Obukhov

چگالی اقیانوس و ρ_0 چگالی مرجع اقیانوس است و g نشان‌دهنده شتاب گرانش است)، نرخ انرژی جنبشی توربولانسی (TKE) (که توسط معادله زیر بیان می‌شود و از پارامترهای برش یا فرآورده‌های مکانیکی (P)، محصولات شناوری (B)، پخش عمودی (T)، اتلاف ویسکوزیته‌ی انرژی جنبشی تلاطم (\mathcal{E})، تشکیل شده است.

$$\partial_t k = p + B + T - \mathcal{E} \quad (5)$$

در این فرمول پارامترها به صورت زیر تعریف می‌شوند. P : برش یا فرآورده‌های مکانیکی: با فرمول $P = V_t^m S^2$ تعریف می‌شود که S فرکانس برشی و

V_t^m ویسکوزیته‌ی تلاطم بستگی دارد، B : محصولات شناوری: با فرمول $B = V_t^h N^2$ تعریف می‌شود که به

(N) فرکانس شناوری و (V_t^h) پخش حرارتی تلاطم بستگی دارد و T : پخش عمودی: با فرمول $T = V_t^m \sigma_k^{-1} (\partial_z k)$ تعریف می‌شود که پارامتر نیمه

تجربی عدد شیمت σ_k^{-1} و ویسکوزیته‌ی تلاطم (V_t^m) بیان می‌شود (Burchard et al., 1999). تعریف می‌شوند؛ و مقادیر میانگین عدد پرائنتل (عدد پرائنتل تلاطم (P_r)) از نسبت وشکسانی تلاطم به پراکندگی دما را محاسبه می‌شود. این پارامتر می‌تواند مشخص کند که چه فرآیندهایی بر اختلاط تلاطم در جریان تسلط دارند (Skielka et al., 2010).

$$P_r = \frac{v_t^m}{v_t^h} \quad (6)$$

بنابراین مناطقی که در آن‌ها $P_r > 1$ است، بر اثر بیشتر ویسکوزیته‌ی تلاطم بر تولید جریان تلاطمی

(Fairall et al, 1996). همچنین برای تعادل گرما در سطح آب، از معادله شارش‌های گرمایی که در ذیل معرفی شده استفاده می‌گردد، معادله (۴) چگونگی محاسبه‌ی شار گرمایی کل (Q_n) را بیان می‌نماید.

$$Q_n = Q_b + Q_e + Q_h + I_0 \quad (4)$$

در این رابطه Q_b بیانگر شارش امواج با طول موج بلند، Q_e بیانگر شار گرمای نهان سطح و Q_h بیانگر شار گرمای محسوس و I_0 بیانگر شارش امواج دارای طول موج کوتاه است؛ که Q_n مثبت، نشان‌دهنده‌ی جذب گرما توسط آب و علامت منفی آن نشان‌دهنده‌ی از دست دادن گرما توسط آب است.

در این تحقیق، از معادله بستار تلاطمی $k - \mathcal{E}$ به روش طرح‌واره بستار تلاطمی مرتبه دوم، (مدل $k - \mathcal{E}$ یک مدل دو معادله‌ای است، به عبارتی شامل دو معادله انتقالی اضافی برای محاسبه خواص تلاطم جریان است. از این معادلات می‌توان برای محاسبه تأثیرات جابجایی و پخش در انرژی تلاطم بهره برد. اولین متغیر انتقالی، انرژی تلاطم جنبشی یا همان k است و دومین متغیر انتقالی در این مدل، اتلاف تلاطم یا همان \mathcal{E} است. به عبارتی می‌توان گفت که k ، انرژی را در تلاطم و \mathcal{E} مقیاس تلاطم را معین می‌کند. استفاده می‌شود و پارامترهای مؤثر بر تلاطم، شامل فرکانس شناوری، نرخ انرژی جنبشی توربولانسی و عدد پرائنتل شبیه‌سازی می‌شوند؛ که فرکانس برشی^۱ با

فرمول $s = \left[(\partial_z U)^2 + (\partial_z V)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ تعریف می‌شود که

در این فرمول (U, V) میانگین مؤلفه‌های سرعت افقی هستند و ∂z مشتق عمودی است. فرکانس شناوری^۲

$N = \left[-g \rho_0^{-1} (\partial_z \rho) \right]^{\frac{1}{2}}$ در این معادله ρ بیانگر

^۱ Shear frequency
^۲ buoyancy frequency

^۳ Schmidt number

مشخص‌کننده‌ی محصولات برشی^۱ (تنش) و همچنین شکل (۴) که مشخص‌کننده‌ی ترم‌های شناوری، می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل همکاری این دو عامل، انرژی جنبشی تلاطم در سطح ایجاد و در طول سال حفظ می‌شود. شکل (۳) به بررسی محصولات برشی ایجادشده توسط تنش باد در ستون آب می‌پردازد. حداکثر عمق حضور محصولات برشی در آب، با توجه به شکل (۳) تا عمق ۳۰ متر هست که با توجه به شدت گرفتن یا ضعیف گشتن باد در منطقه‌ی موردنظر، از عمق نفوذ آن کاسته شده و قدرت آن نیز کمتر می‌شود. مشخص است که با شدت گرفتن باد در فصول سرد، میزان تنش تولیدشده در این دوره‌ی زمانی بیشتر هست.

با بررسی عمق بیشتر از ۳۰ متر که با توجه به شکل (۳)، تحت تأثیر تنش باد قرار ندارد و محصولات برشی در آن یافت نمی‌شود، باین‌حال انرژی جنبشی تلاطم در این اعماق وجود دارد. از آنجاکه انرژی جنبشی تلاطم (TKE)، به دو عامل محصولات برشی ترم‌های شناوری بستگی دارد، مشخص می‌شود که در غیاب محصولات برشی در عمق‌های بیشتر از ۳۰ متر، انرژی جنبشی تلاطم (TKE) توسط ترم‌های شناوری ایجاد می‌شوند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در اعماق بیشتر از ۳۰ متر، تنها عامل تولید انرژی جنبشی تلاطم (TKE)، ترم‌های شناوری می‌باشند.

از اواسط فروردین و تا اواخر اردیبهشت، بیشتر ترم‌های شناوری، دارای مقادیر منفی می‌باشند که در جهت مصرف کردن انرژی جنبشی تلاطم (TKE) و از بین بردن آن عمل می‌کنند. انرژی جنبشی تلاطم (TKE) در آن دوره با وجود ضعیف و کم عمق شدن، همچنان وجود دارد که بیانگر این موضوع هست که در این دوره از سال انرژی جنبشی تلاطم (TKE)، تنها

اشاره دارد و اگر $p_r < 1$ باشد نشان‌دهنده‌ی تسلط عامل پخش گرما که به اثرات شناوری مربوط است، هست.

به‌طور کلی در این مقاله به پرسش‌های اساسی زیر در تنگه هرمز پاسخ داده شود:

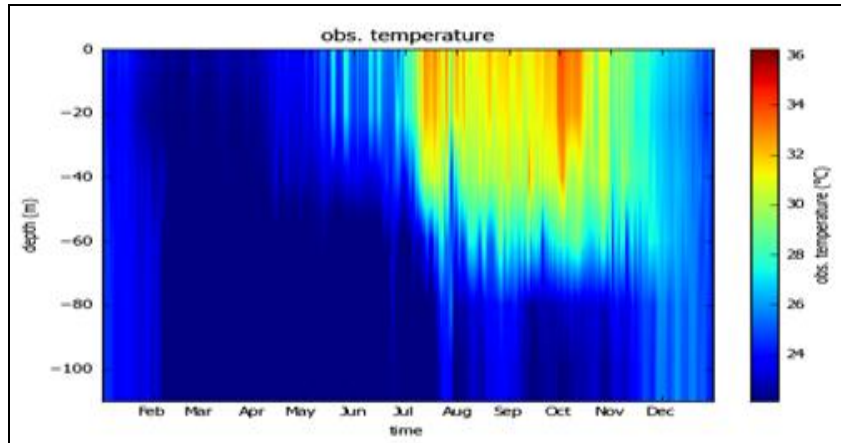
- ✓ بررسی تغییرات میانگین عدد پراتل در فصول مختلف چگونه است؟
- ✓ عوامل مؤثر بر انرژی جنبشی شناسایی شوند و اثر هر کدام بر روی انرژی جنبشی چگونه است؟

کالیبراسیون مدل GOTM در فصل 6 کتاب برچاد (Burchard, 2002) به‌طور مفصل توضیح داده شده است. در این تحقیق، برای مدل‌سازی در مدل محیط را ۱۰۰ لایه و با گام زمانی برای گسسته سازی ۱۲۰ ثانیه تعیین کردیم، این مدل بر اساس انتخاب تعداد لایه‌ها و گام زمانی، ضرایب ثابتی جهت حل معادله $k - \epsilon$ به روش حل بستار تلاطمی مرتبه دوم طوری تعیین می‌نمایند که مدل ناپایدار نشود. این مدل برای صحت سنجی خروجی، داده‌های که به‌عنوان اندازه‌گیری به مدل داده شده را با داده‌های خروجی که بر اساس ضرایبی که کاربر و نیز الگوریتمی که کاربر تعیین می‌کند، مقایسه می‌کند. در شکل ۲ خروجی دمای مدل شده (پیش‌یابی) برای ماه‌های سال 1997 در کل ستون آب در ایستگاه اندازه‌گیری شده با دما اندازه‌گیری (شکل ۱) در ماه‌های مختلف سال 1997 برای کل ستون آب مورد مقایسه گردید و نتایج همخوانی خوبی با یکدیگر را نشان می‌داد.

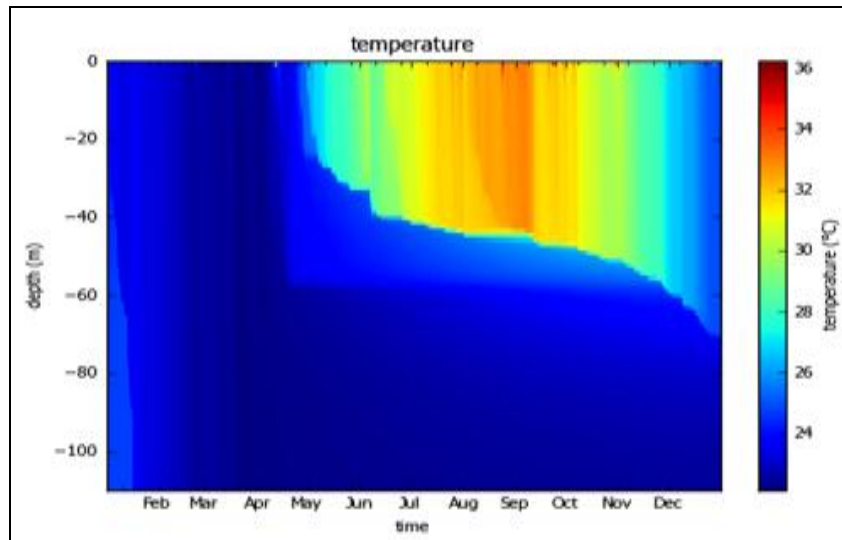
۳. نتایج عوامل مؤثر بر انرژی جنبشی تلاطم به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شکل (۵a) که به چگونگی تغییرات انرژی جنبشی تلاطمی در طول سال 1997 اشاره دارد، مشخص می‌شود که مقادیر آن در سطح بیشتر هست. با بررسی شکل (۳) که

^۱ Shear production

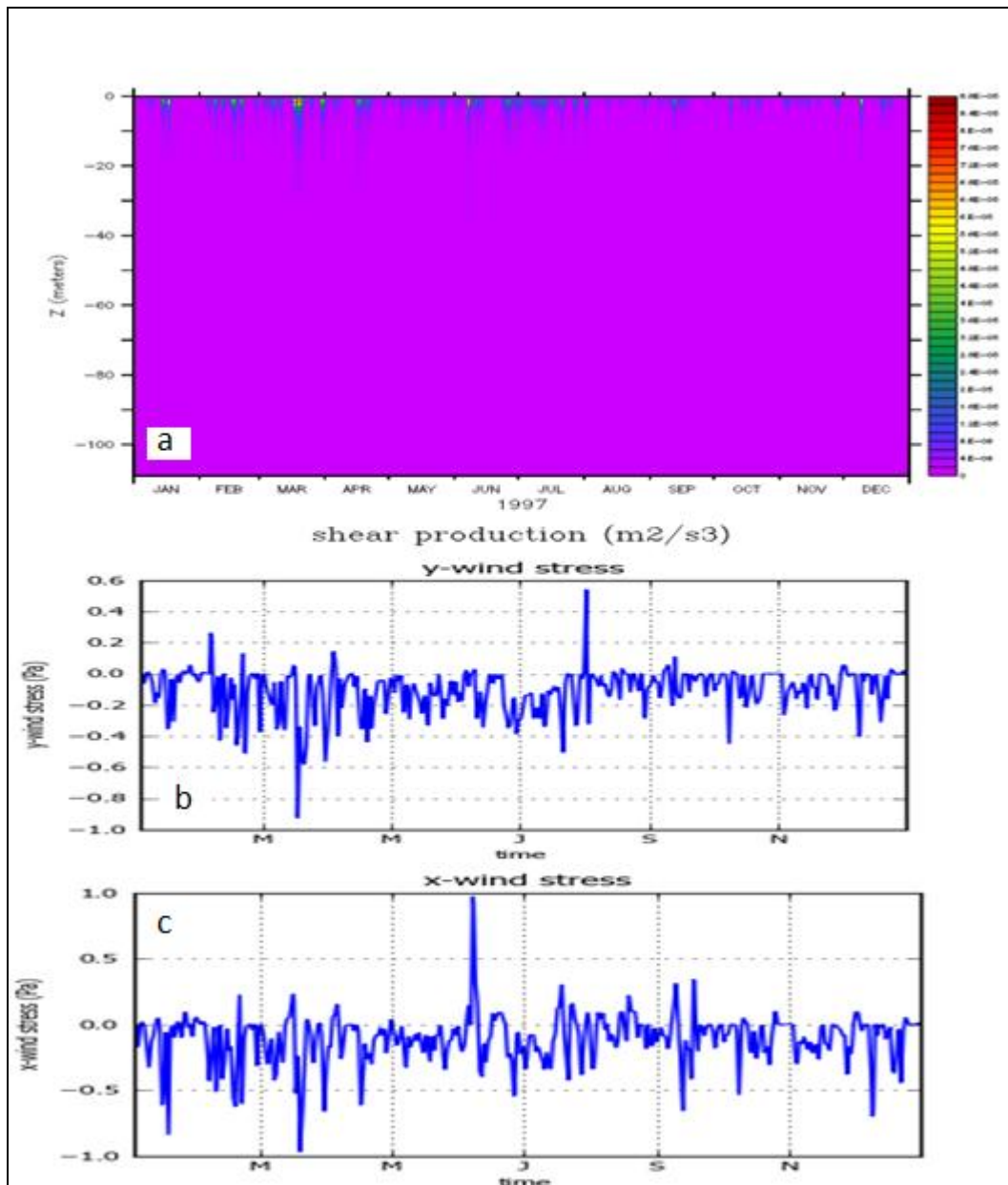
توسط محصولات برشی ناشی از باد، تولید می‌شود و از آن پیروی می‌نمایند. در شکل (۵) عوامل مؤثر در تولید TKE را در طول دوره باهم مقایسه می‌نمایند.



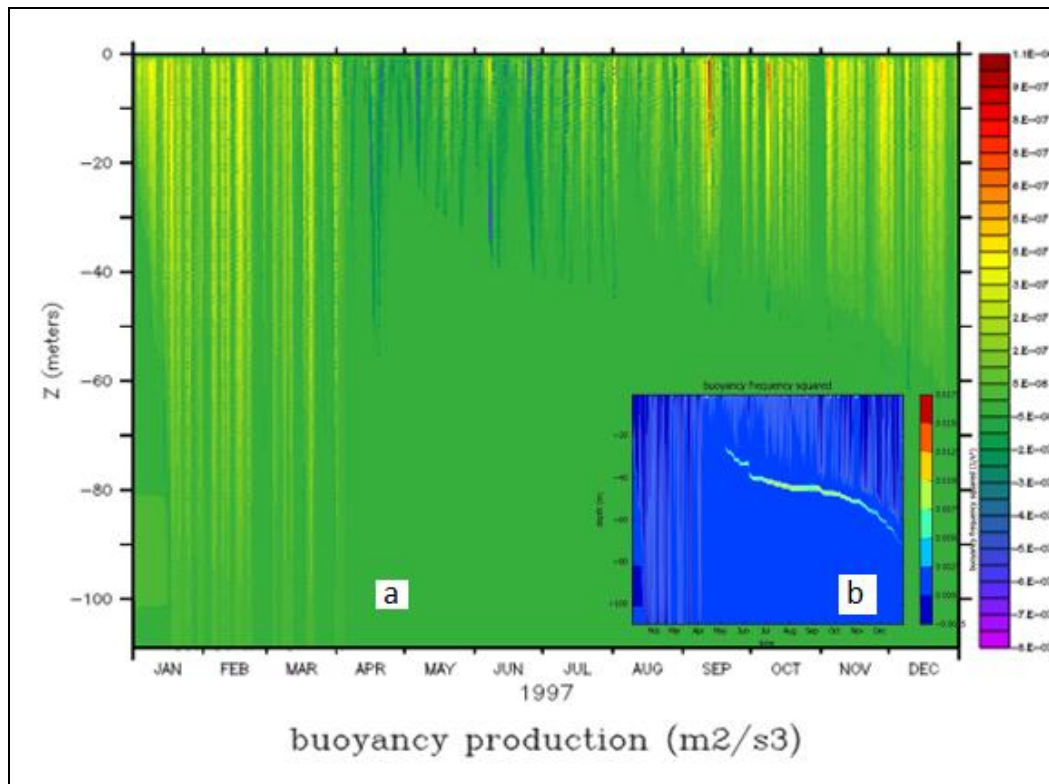
شکل ۱. سری زمانی تغییرات پروفایل دمای اندازه‌گیری شده در ماه‌های مختلف سال ۱۹۹۷



شکل ۲. شبیه‌سازی سری زمانی تغییرات پروفایل دمای اندازه‌گیری شده در ماه‌های مختلف سال توسط مدل GOTM



شکل ۳ مقایسه (a) محصولات برشی و (b) تنش باد در جهت x و (c) تنش باد در جهت Y.



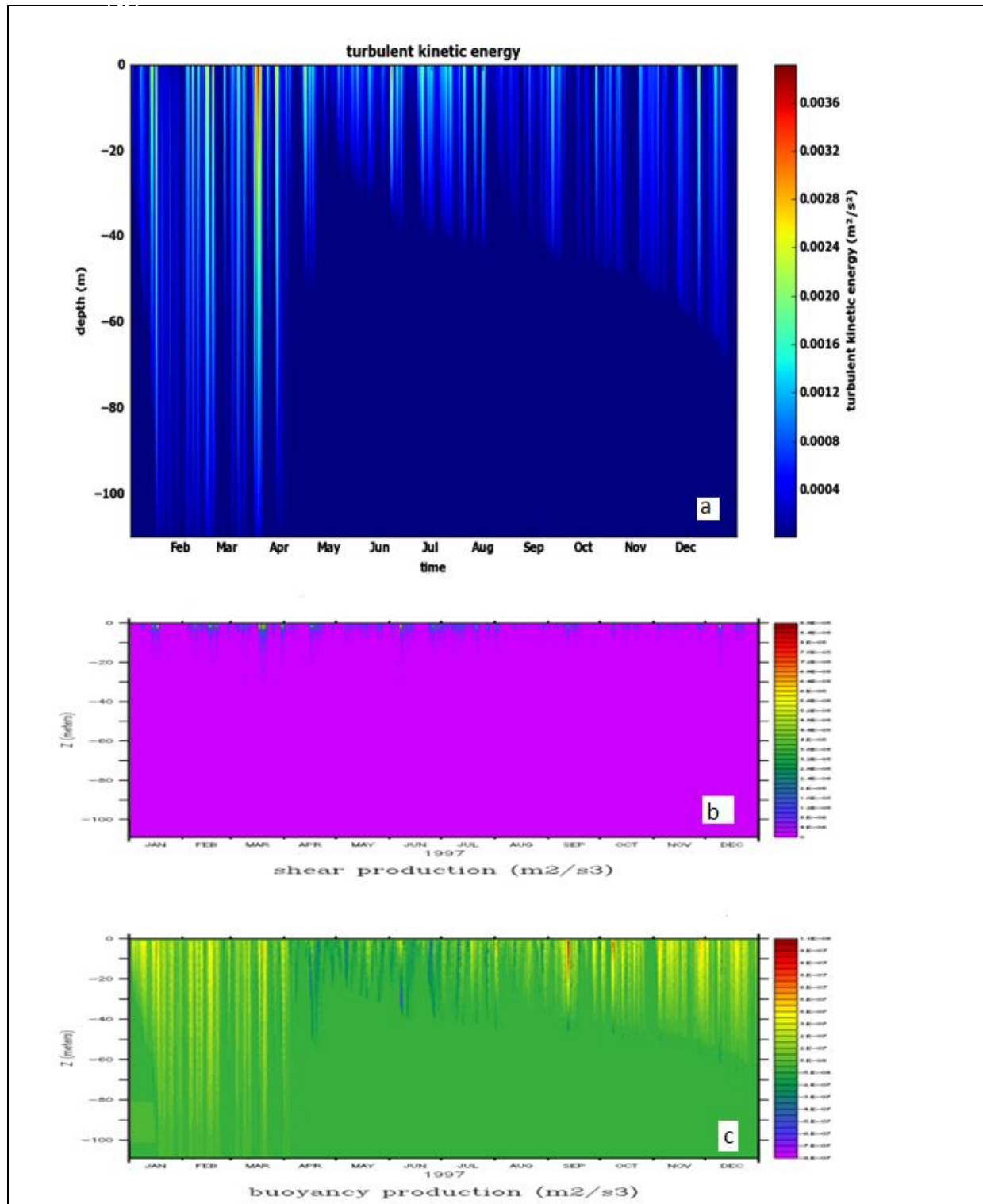
شکل ۴ مقایسه نیمرخ قائم تولید شناوری (a) با فرکانس شناوری (b) در طول سال 1997.

وشکسانی تلاطم در شکل (۴ زمستان) مشخص می-شود.

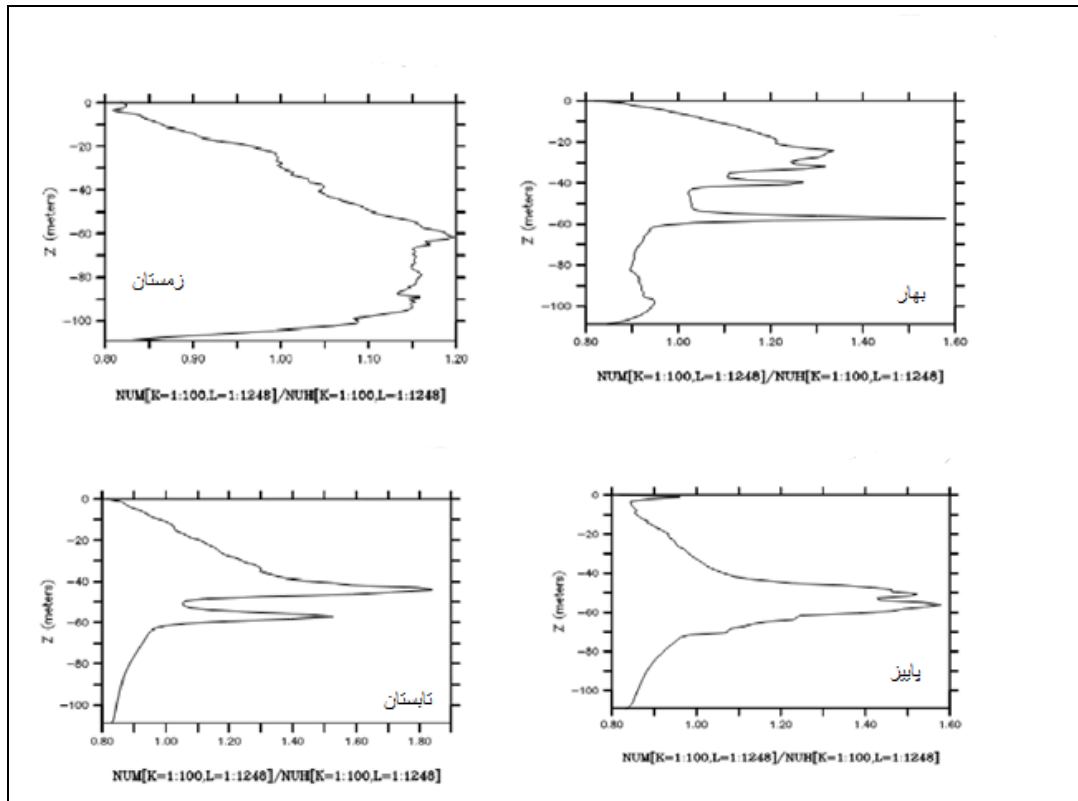
حداکثر مقدار عدد پراتل در این دوره، در عمق ۶۰ متر مشاهده می-شود که دلیل بر قدرت بالای مؤلفه‌ی وشکسانی تلاطم در این دوره است. شکل (۶ بهار) نشان دهنده‌ی تغییرات نیمرخ قائم میانگین عدد پراتل در فصل بهار سال 1997 در طول ماه‌های اواخر اسفند تا خرداد است. عمق لایه‌ای که در آن، عدد پراتل دارای مقادیر بیشتر از ۱ است، در این دوره نسبت به فصل زمستان کاهش یافته و به عمق ۱۰ متر می‌رسد. از عمق ۶۰ متر تا بستر، عدد پراتل با مقادیر کمتر از ۱ مشاهده می‌شود که به برتری عامل پخش حرارتی تلاطم اشاره دارد. در عمق ۶۰ متر، عدد پراتل یک جهش سریع را انجام می‌دهد که دارای مقداری بیشتر از ۱ است، این رشد ناگهانی، نشان دهنده‌ی برتری مطلق وشکسانی ی تلاطم در این عمق است.

تغییرات میانگین عدد پراتل در فصول مختلف به شرح زیر بررسی شد. نیمرخ قائم میانگین عدد پراتل در طول سال 1997 در شکل (۶) نشان داده شده است. همان‌طوری که در مقدمه بیان شد، عدد پراتل بیانگر برتری وشکسانی تلاطمی یا پخش تلاطم حرارتی در تولید انرژی جنبشی تلاطمی است.

شکل (۶) (زمستان)، مقادیر نیمرخ قائم میانگین عدد پراتل در فصل زمستان سال 1997 نشان می‌دهد. در طی این فصل از سطح تا عمق ۳۰ متر، مقادیر عدد پراتل کوچک‌تر از ۱ است که معرف برتری پخش حرارتی تلاطم، است و موجب ایجاد تلاطم همرفتی می‌شود. مقادیر عدد پراتل از عمق ۳۰ متر تا بستر، بیشتر از ۱ است. این مقادیر برتری وشکسانی تلاطم بر ترم پخش حرارتی را تأیید می‌نماید. با توجه به رابطه‌ی بین پخش تلاطم حرارتی و تولید شناوری که در معادله‌ی (۶) معرفی شد ضعف تولید شناوری نسبت به



شکل ۵ مقایسه نیمرخ‌های عمودی تغییرات TKE (a) با محصولات برشی (b) و تولید شناوری (c) در سال ۱۹۹۷



شکل (۶) مقایسه نیمرخ قائم میانگین عدد پراتنل در فصول مختلف

می‌دهد. با بررسی این دوره مشخص می‌شود، لایه‌ای که در آن تلاطم بر اثر وشکسانی ی تلاطمی ظاهر شده است، به عمق بیشتر می‌رود و از ضخامت آن کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری پارامترهای هیدروفیزیکی، با گام زمانی ۳۰ دقیقه که توسط دانشگاه میامی در نیمه‌ی جنوبی تنگه‌ی هرمز از دسامبر ۱۹۹۶ تا مارس ۱۹۹۸ و همچنین داده‌های هواشناسی ایستگاه قشم، با استفاده از مدل GOTM به شبیه‌سازی تلاطم در قسمت جنوبی تنگه هرمز پرداخته می‌شود. انرژی جنبشی توربولانسی در فصل‌های مختلف، با عمق نفوذ متفاوت در طول سال ظاهر می‌شود. در فصل‌های سرد، از سطح تا بستر گسترش

شکل (۶ تابستان) نیمرخ قائم میانگین عدد پراتنل در فصل تابستان سال ۱۹۹۷ را نشان می‌دهد. مقادیر بیشتر از ۱ برای عدد پراتنل، از عمق ۱۵ متر شروع می‌شود و تا عمق ۶۰ متر را پوشش می‌دهد و بیشترین مقدار عدد پراتنل با مقادیر بیشتر از ۱ در عمق ۴۰ متر مشاهده می‌شود. یکی از دلایل افزایش عدد پراتنل می‌تواند حضور امواج درونی باشد. امواج درونی مومنوم را منتقل می‌نمایند اما در این انتقال ماده منتقل نمی‌شود. تفکیک این امواج از تلاطم سخت است. در این محیط که عدد پراتنل بیشتر است این‌گونه القا می‌شود که تلاطم تا آنجا که مربوط به انتقال مومنوم می‌شود، دارای مقادیر بالایی است. شکل (۶ پاییز) نشان‌دهنده‌ی نیمرخ قائم میانگین عدد پراتنل در فصل پاییز سال ۱۹۹۷ است. مقادیر بیشتر از یک برای عدد پراتنل از عمق ۴۰ متر آغاز شده و تا عمق ۷۰ متر را پوشش

در این دوره، از برتری ویسکوزیته‌ی توربولانسی نسبت به اثرات شناوری در عمق‌های میانی اشاره می‌کند.

منابع

- Mohandesi Namin, N., Bidokhti, A. A. 2013. Study of the performance of two Turbulence Schemes in Numerical Simulation of Hydrodynamics of a Semi-Closed Sea (Persian Gulf). 15th Fluid Dynamics Conference. University of Hormozgan. Physics Society of Iran. Bandar Abbas. Iran.
- Alosairi, Y., Imberger, J., & Falconer, R. A. 2011. Mixing and flushing in the Persian Gulf. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 116(C3).
- Bolton, D. 1980. The computation of equivalent potential temperature. *Monthly weather review*, 108(7), 1046-1053.
- Burchard H., Craig P., Gemmrich J., van Haren H., Mathieu P.P., Meier H., Smith W.N, Prandke H., Rippeth T., Skillingstad E., Smyth W., Welsh D., and Wijesekera H. "Observational and numerical modeling methods for quantifying coastal ocean turbulence and mixing," *Progress in Oceanography*, vol. 76, pp. 399-442.
- Burchard H., Bolding K., & Villarreal M. R. 1999. GOTM, a general ocean turbulence model: Theory, implementation and test cases. Space Applications Institute.
- Burchard H. 2002. *Applied Turbulence Modelling in Marine Waters*. ISBN 3-540-43795-9 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- www.gotm.net
- می‌یابد و در فصل‌های گرم به دلیل وجود ترموکلاین فصلی، عمق نفوذ آن محدود می‌شود و تنها از سطح تا بالای ترموکلاین گسترش می‌یابد. بررسی عدد پیرانتل
- Fairall, C. W., Bradley, E. F., Rogers, D. P., Edson, J. B., & Young, G. S. 1996. Bulk parameterization of air-sea fluxes for tropical ocean-global atmosphere coupled-ocean atmosphere response experiment. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012), 101(C2), 3747-3764.
- Fairall C. W., Bradley, E. F., Hare, J. E., Grachev, A. A., & Edson, J. B. 2003. Bulk parameterization of air-sea fluxes: Updates and verification for the COARE algorithm. *Journal of climate*, 16(4), 571-591.
- Falkovich, G., & Sreenivasan, K. R. 2006. *Lessons from hydrodynamic turbulence*. Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, Trieste, Italy.
- Liu W. C., Hsu M. H., & Kuo A. Y. 2002. Application of different turbulence closure model for stratified tidal flows and salinity in an estuarine system. *Mathematics and computers in simulation*, 59(5), 437-451.
- Monin A. S., Ozmidov R. V. 1985. *Turbulence in the Ocean* (Vol. 3). D Reidel Publishing Company.
- Obino R. S. 2002. *Simulation of the Bohai Sea Circulation and Thermohaline Structure Using COHERENS Model*. Naval Postgraduate school Montereyca.

Numerical calculation of Prandtl number in the stratification of water column of the Hormuz Strait

Khademi, Iman¹, Akbarinasab, Mohammad^{*1}, Bidokhti, Abbas Ali², Khalilabadi, Mohammad reza³

1. University of Mazandaran, Faculty of Marine & Oceanic Science.
2. Institute of Geophysics, Tehran University, Iran.
3. Malek Ashtar University of Technology, Shiraz, Iran

Abstract

Turbulence is a form of movement characterized by an irregular or agitated motion. Turbulent motions are very common in nature. Most flows in the lower atmosphere and in the upper ocean are turbulent. The Turbulence has long had a special attraction for physicists and mathematicians; it has been called “the last great unsolved problem of classical physics”.

In this study, hydrophysical measured data in the southern part of the Strait of Hormuz and with time step of half an hour during the period December 1996 to March 1998, by the University of Miami, and the meteorological station in island of Ghesm are used, then turbulence was simulated by General Ocean Turbulence Model (GOTM) (the second-order turbulent closure of Cheng et al. (2002) using the k- ϵ equations). The results showed that, turbulent kinetic energy (TKE) in different seasons, with different penetration depths were appeared at during the year. In the cold season, the kinetic energy of the turbulent expands from surface to bottom and in the warm seasons because of existing the seasonal thermocline, depth penetration of TKE are limited, and only expands from surface to top of thermocline layer. In this study, investigation of the turbulent Prandtl number (Pr) shows that, effect turbulent viscosity Preference to the production buoyancy in the middle depth.

Keywords: Turbulent kinetic energy, Prandtl number, Strait of Hormuz,

Table1-Essential data for modelling

Figure1-Time series of measured temperature profile during different months in 1997

Figure2-Modelled time series of temperature profile during different months in 1997 by GOTM

Figure3-Comparison of (a) shear production (b) wind stress in x direction and (c) wind stress in y direction

Figure4-Comparison between (a) vertical profiles of buoyant production (b) buoyant frequency in 1997

Figure5-Comparison between changes in vertical profiles of TKE with (a) shear production and (b) buoyant production in 1997

Figure6-Differences between vertical profiles of Prandtl number in different seasons

*Corresponding author, E-mail: m.akbarinasab@umz.ac.ir