

مقایسه نتایج دو مدل عددی سه بعدی پیش بینی حرکت لکه نفت ناشی از ریزش اتفاقی در تنگه سنگاپور

شهلا حبیبی واحد زنجانی^۱

پژوهشگاه استاندارد، استان البرز، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۸/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۰۶

چکیده

در این مقاله، مدل عددی سه بعدی پیش بینی حرکت نفت ناشی از حادثه اتفاقی در تنگه سنگاپور معرفی شده، سپس نتایج این مدل با نتایج مدلی که توسط چائو و همکاران اجرا شده است، مورد مقایسه قرار گرفته است. مدل عددی معرفی شده سابقاً برای حرکت میعانات گازی ناشی از ریزش اتفاقی در منطقه دریایی عسلویه اجرا شده که بر اساس حل معادلات حاکم ناویر استوکس و پیوستگی شبیه سازی شده است. برای حل معادله فرا رفت در مدل، از الگوریتم بالا سوی وزن دار ترابرد مثبت معین چند بعدی (MPDATA) به کار رفته است. اساس این الگوریتم، طرحواره ساده پاد جریانسو است، که در آن از مفهوم سرعت پاد پخش برای تعدیل اثر پخش موجود در طرحواره استفاده می شود. مقایسه نتایج دو مدل سازگاری خوبی را نشان می دهد که صحت سنجی خوبی برای مدل معرفی شده، می باشد.

واژگان کلیدی: مدل عددی سه بعدی، تنگه سنگاپور، ریزش نفت، MPDATA

آهسته پراکنده می شوند و معمولاً نیاز به پاکسازی دارند.

اصلی ترین خواص فیزیکی که بر رفتار نفت ریخته شده در دریا اثر می گذارد عبارت است از وزن مخصوص (S.g.)، مشخصات تقطیر، لزجت و نقطه ریزش می باشد.

مشخصه های مربوط به نفت (چگالی، تنش سطحی، ویسکوزیته ...) و نیز شرایط حاکم جوی و دریایی، عامل مهم در انتقال و سرنوشت نفت ریزش شده در دریا می باشند. این عوامل موثر به صورت پارامترهای ریاضی در معادلات حرکت و غلظت بیان شده و به صورت مدل عددی توجیه می شوند. نفت شامل چندین مولفه ترکیب شده (ذرات با قطرهای مختلف) می باشد، اما در اکثر مدل های ریزش نفت، نفت به عنوان یک مولفه منفرد در نظر گرفته می شود.

در تحقیق حاضر، مدل عددی سه بعدی ریزش نفت که سابقاً برای پیش بینی حرکت میعانات گازی در منطقه دریایی عسلویه اجرا شده است (Habibi et al., 2008)، معرفی گردیده است. این مدل برای حرکت نفت ناشی از حادثه اتفاقی در منطقه تنگه سنگاپور با استفاده از داده های ورودی مدل عددی ریزش نفت که توسط چائو (Chao et al., 2001) به کار رفته است، اجرا شده است. مقایسه دو مدل نشان می دهد که نتایج اجرای مدل عددی با مدل عددی چائو سازگاری مناسبی دارد که می تواند صحت سنجی مدل معرفی شده را نشان دهد.

مواد و روش ها

در این مطالعه از روش تحلیلی و مقایسه ای استفاده شده است و برای این منظور به پایگاه های علمی معتبر

در سال های اخیر، مسئله افزایش آلودگی توده های آب و نواحی مجاور خط ساحلی توسط ریزش نفت مورد توجه قرار گرفته است. حادثه ریزش نفت برای محیط دریا و سلامتی بشر خیلی زیان بخش می باشد. ریزش عمده نفت می تواند خط ساحلی را آلوده کند و باعث صدمات بلند مدت در محیط آبریان برای ماهیگیری و حیات وحش شود. ریزش نفت ممکن است ساختارهای لنگرگاه و کشتی ها را نیز آلوده کند. برای آمادگی در برابر چنین حوادثی، بسیاری از آژانس های دولتی، نقشه های ریزش نفت غیرمترقبه را تهیه کرده اند. مولفه مهم این نقشه ها، کاربرد مدل های عددی است که حرکت لکه نفت و توزیع غلظت های ذرات نفت را در آبهای ساحلی پیش بینی می کند.

وقتی نفت به دریا می ریزد تحت تأثیر تغییرات فیزیکی و شیمیایی قرار می گیرد، بطوریکه برخی از آن، از سطح دریا ناپدید می شود، برخی از آن پایدار می ماند و سرانجام نفت ریزش شده جذب محیط دریایی می شود. زمانی که صرف این فرآیند می گردد بستگی به عواملی مانند میزان نفت ریزش شده، ویژگی های اولیه فیزیکی و شیمیایی آن، شرایط دریایی و آب و هوایی غالب منطقه دارد. نفت خام مجموعه ای از هیدروکربن های اشباع شده، حلقوی، آروماتیک و همچنین ترکیبات آلی قطبی و پلیمرهای با وزن مولکولی بالا می باشد و با توجه به ناحیه استخراج دارای خواص فیزیکی و شیمیایی متفاوتی است. نفت های ناپایدار تمایل دارند به سرعت از سطح دریا ناپدید شوند و نفت های پایدار در مقابل خیلی

گرانش-چسبناک **gravity-viscous** و تنش سطحی - چسبناک **surface tension-viscous** است. فاز گرانش-اینرسی سریع طی چند دقیقه به جز برای ریزش‌های بزرگ رخ می‌دهد و زمانی که مساحت لکه نفت زیاد و ضخامت آن کم می‌گردد، فاز اول به فاز دوم گرانش-چسبناک منتقل می‌شود و زمانی که ضخامت لکه خیلی نازک می‌شود، فاز سوم تنش سطحی شروع می‌شود که نقش نیروی رانشی را دارد. بنابراین **Fay (1971)**، لکه نفت را در سه مرحله (فاز) در نظر گرفت اما بدلیل عدم در نظر گرفتن نفوذ باد و آشفتگی مربوط، پیش‌بینی گسترش نفت با استفاده از فرمول **Fay** موجب شد که پیش‌بینی گسترش افقی در مقایسه، کمتر از آنچه که اندازه‌گیری‌های میدانی نشان می‌دهد باشد. **Lehr** و همکاران (1984) یک معادله اصلاح شده گسترش نوع فی با اثر باد را در نظر گرفتند (**Chao et al., 2003; Comerma et al., 2003**):

$$A = 2270 \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right)^{2/3} V^{2/3} t^{1/2} + 40 \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right)^{1/3} V^{1/3} U_{wind}^{4/3} t \quad (1)$$

و t زمان به دقیقه می‌باشد. بر اساس فرمول **Lehr**، مساحت لکه نفت بدلیل گسترش در هر مرحله زمانی می‌تواند بدست آید.

مانند **scopus, sciencedirect** و مقالاتی همچون (**Comerma et al., 2003**)، (**Chao et al., 2001**)، (**Mackay & Matsugu, 1973**) و (**Nesterov & Tkalich, 2005; Pang & Tkalich, 2003**)، پایگاه‌های علمی داخل کشور و سازمان‌های مرتبط همچون سازمان هواشناسی کشور، سازمان نقشه برداری و سازمان جغرافیایی کشور مراجعه شده است. مدل عددی معرفی شده در پیش‌بینی حرکت میعان‌ات گازی ناشی از حادثه ریزش در منطقه دریایی عسلویه واقع در سواحل شمالی خلیج فارس اجرا شده است، (**Habibi et al., 2008**) که این مدل برای منطقه تنگه سنگاپور به کار رفته است.

گسترش نفت در سطوح آب به دلیل بسط افقی لکه نفت در اثر ثقل، اینرسی، ویسکوزیته و نیروهای تنش سطحی می‌باشد. **Fay** در سال 1971 گسترش لکه نفت در دریا را به بخش‌های با غلظت‌های ضخیم و نازک در نظر نگرفت بلکه فرآیند گسترش را به سه فاز جدا تقسیم کرد که شامل گرانش-اینرسی **gravity-inertial**،

که در آن مساحت لکه نفت به متر مربع $\Delta\rho = \rho_w - \rho_0$ ، چگالی نفت، ρ_w چگالی آب، $\Delta\rho$ اختلاف چگالی، V حجم کل نفت ریزش شده بر حسب بشکه، U_{wind} سرعت باد بر حسب knots

کند. در این تئوری مقدار تبخیر مؤلفه ارائه شده نفت بوسیله معادله زیر داده می شود (Chao et al., 2003; Comerma et al., 2003)

$$M_i = K_e A t X_i P_i^S / (RT)$$

، P_i^S فشار بخار مؤلفه i می باشد، X_i پیرو زیر تعریف می شود:

مکی و ماتسگو (Mackay & Matsugu, 1973) فرمول پیرو را پیشنهاد کردند که ضریب انتقال جرم تبخیر K_e را بر اساس نتایج تجربی آزمایشگاه محاسبه می کند:

$$K_e = 0.0292 U_{wind}^{0.78} D^{-0.11} S_c^{-0.67}$$

اشمیت می باشد که به زبری سطح اشاره می کند. سپس سرعت‌های تبخیر می تواند محاسبه شود به صورت:

$$S_e = \sum M_i / t = \sum K_e A X_i P_i^S / (RT)$$

مولکولی نفت و اندازه قطر قطره نفت بستگی دارد. چند مؤلفه های نفت از لکه سطحی شامل هیدرو کربن ها که در معرض تبخیر قرار می گیرند نیز می تواند در ستون آب حل شود. غلظت های حل شده لکه نفت در آب، از نقطه نظر سم شناسی مهم می باشد. فرآیند فیزیکی حلالیت بخوبی قابل درک است، اما شرح در حالت ریزش نفت بدلیل ترکیب پیچیده نفت با صدها مؤلفه مشکل میشود. حلال ترین مؤلفه های نفت معمولاً سمی ترین می باشند. حتی غلظت های

عمل تبخیر بی درنگ بعد از ریزش رخ می دهد. Mackay (1981) تئوری چند مؤلفه ای را توسعه داد که سرعت تبخیر نفت را محاسبه می

(۲)

که در آن M_i مقدار مؤلفه i از دست رفته توسط تبخیر (مول)، K_e ضریب انتقال جرم تبخیر بر حسب متر بر ثانیه $A, m/s$ ، مساحت لکه نفت $\sum M_i / \sum M_i$ ، m^2 ، t ، زمان به ثانیه R_s ثابت گاز بر حسب اتمسفر - متر مکعب / مول کلوین $k, atm - m^3 / mol$ ، T دمای هوای بالا لکه نفت به کلوین K می باشد. در معادله، $(X_i P_i^S)$ به فشار بخار جزئی مؤلفه i اشاره می کند

(۳)

که در آن K_e ضریب انتقال جرم بر حسب متر بر ساعت $U_{wind}, m/h$ ، سرعت باد بر حسب متر بر ساعت $D, m/h$ قطر لکه نفت به متر m و S_c عدد

(۴)

بر اساس معادله (۴)، مقدار بخار شدن نفت در هر مرحله زمانی می تواند محاسبه شود. فرآیند حلالیت (مولکول جدا شده مؤلفه نفت و ورود به فاز آب) به پارامترهای مساحت لکه نفت، قابلیت حلالیت مؤلفه نفت در آب، ضریب انتقال جرم حلالیت (تابع سرعت آب، ریشه دوم مساحت سطحی لکه نفت، ضریب سینماتیکی آب دریا و ضریب پخش نفت در آب)، اثرات سرعت باد، دما، خواص نفت، غلظت شوری آب (خاصیت مهم آب در تعیین سرعت حلالیت نفت)، وزن

محاسبه می‌کند. مقدار مؤلفه i که توسط حلالیت از دست می‌رود می‌تواند بوسیله معادله زیر محاسبه شود

(Chao et al., 2003; Comerma et al., 2003):

$$M_{di} = K_d A t X_i S_i$$

مربع t ، زمان به ثانیه S و S_i قابلیت حلالیت می‌باشد. سرعت‌های حلالیت سپس به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_d = \sum M_{di} / t = \sum K_d A X_i S_i$$

اغتشاش شبیه سازی می‌شود. معادلات حاکم جریانهای سه بعدی جزر و مدی علاوه بر توزیع غلظت نفت در آب‌های ساحلی پیرو زیر هستند (Chao et al., 2003; Comerma et al., 2003):

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0$$

پایین این ترکیبات سمی، می‌تواند به تأثیرات جدی در سیستم‌های بیولوژیکی هدایت شود. سرعت حلالیت کمتر از سرعت تبخیر است و معمولاً مقدار نفت حل شده کمتر از یک درصد جرم اصلی ریزش می‌باشد.

Mackay (1981)، تئوری چند مؤلفه‌ای را توسعه داده است که سرعت حلالیت نفت را

(۵)

که در آن M_{di} مقدار مؤلفه i از دست رفته توسط حلالیت (مول)، K_d ضریب انتقال جرم حلالیت، X_i نسبت مولکولی مؤلفه، A مساحت لکه نفت به متر

(۶)

مدل سه بعدی هیدرودینامیک جزر و مدی چند لایه بر اساس معادلات سه بعدی نویراستوکس توسعه پیدا کرد. بر اساس معادلات سه بعدی میانگین‌گیری شده رینولدز، با بکارگیری تقریب بوزینس، بطوریکه تنش آشفتگی و دبی جرمی آشفتگی بوسیله ویسکوزیته اغتشاش و پخش

معادله پیوستگی:

(۷)

معادلات ممتنم (حرکت) در جهت‌های x, y :

(۸)

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h \frac{\partial U}{\partial y} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\tau_x)}{\partial z} + \Omega V$$

(۹)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_h \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial (\tau_y)}{\partial z} - \Omega U$$

معادله فشار غیر هیدروستاتیک:

$$\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g \neq 0 \quad (10)$$

معادله انتقال ذره نفت:

$$(11) \quad \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(UC)}{\partial x}$$

که در آن $\left(\frac{\partial C}{\partial t}\right)$ تغییر سرعت زمانی محلی آلوده کننده در یک نقطه خاص، $(\bar{V}(C\bar{U}))$ جا به جایی یا حرکت آلوده کننده بخاطر حرکت مرکزی خود، $\bar{V}(D\bar{V}C)$ پخش آلوده کننده، (\bar{V}) عملگر برداری $\vec{i}\frac{\partial}{\partial x} + \vec{j}\frac{\partial}{\partial y}$ ، U, V, W مولفه های سرعت متوسط زمانی به ترتیب در جهت های طولی x ، عرضی y و عمقی z می باشد، t زمان، ρ چگالی جریان نفت - آب، P فشار متوسط زمانی، g شتاب ثقل، v_h ضریب ویسکوزیته پیچکی افقی،

تنش های برشی افقی حاصل از انتقال ممتنم τ_x, τ_y آشفتگی عمودی، Ω پارامتر کوریولیس، $\Omega = 2\omega \sin \phi$ که در آن ω سرعت زاویه ای چرخش زمین و ϕ عرض جغرافیایی می باشد، C غلظت ذرات نفت، D_x, D_y, D_z به ترتیب ضرایب پخش در جهت های x, y, z ، $\sum S$ ترم تأثیر منبع و ω_b سرعت شناوری ذرات نفت می باشد که در آن :

شود که می تواند به صورت زیر تعریف شود (Chao et al., 2003; Comerma et al., 2003):

در اینجا ρ_w چگالی جرم آب، ρ_o چگالی جرم نفت، d اندازه متوسط ذره نفت و v_w ویسکوزیته جنبشی آب می باشد.

چگالی ρ و ویسکوزیته v بوسیله کسری از نفت در جریان مخلوط نفت - آب تشخیص داده می

$$\rho = F_{ow}\rho_o + (1 - F_{ow})\rho_w \quad (13)$$

$$v = F_{ow}v_o + (1 - F_{ow})v_w \quad (14)$$

$$\omega_b = \frac{1}{1}$$

(Matsugu, 1973; HR, Wallingford, 1982)

می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$\tau_x = v_{tx} \frac{\partial U}{\partial z} = \rho l_{mo}^2 \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right| \frac{\partial U}{\partial z} \quad (15)$$

$$\tau_y = v_{ty} \frac{\partial V}{\partial z} = \rho l_{mo}^2 \left| \frac{\partial V}{\partial z} \right| \frac{\partial V}{\partial z} \quad (16)$$

که به سادگی یک تابع عمق نسبی z/H می‌باشد
پیرو:

$$l_{mo} = 0.7z(1 - z/H)^{0.5} \quad (17)$$

برای ضریب پخش عمودی، می‌تواند به عنوان
تابع ویسکوزیته پیچکی آشفته بیان شود:

$$D_x = \frac{A_x}{A_{tx}} (F_0 + F_1 Q_T) \alpha Q_k \frac{\Delta x}{A_x} \quad (18)$$

$$D_y = \frac{A_y}{A_{ty}} (F_0 + F_1 Q_T) \alpha Q_k \frac{\Delta y}{A_y} \quad (19)$$

$$D_z = \frac{v_e}{\sigma_{\phi z}} = \frac{v}{\sigma_{\phi z}} + \frac{v_t}{\phi z} \quad (20)$$

فاکتورهای تجربی، Δ_x, Δ_y به ترتیب مسافت‌های بین
مراکز عنصر در جهت‌های x, y و v, v_t, v_e و به ترتیب
لزجت مولکولی جنبشی و لزجت آشفته جنبشی و
لزجت موثر جنبشی بوده و $\sigma_{\phi z}$ عدد آشفته‌گی اشمیت

برای ترم‌های مبادله عمودی، مدل اختلاط
آشفته‌گی طولی بکار برده می‌شود و تنش‌های
آشفته‌گی، τ_x, τ_y در معادلات (Mackay &

که در آن v_{tx}, v_{ty} به ترتیب ضرایب ویسکوزیته
آشفته‌گی در جهت‌های x, y و طول اختلاط

در معادله غلظت (11)، ضرایب پخش افقی می
توانند بوسیله معادلات (18) و (19)
(Wallingford, 1982) بدست آید. همانطور

که در آن A_x, A_y به ترتیب نواحی مقطع عرضی در
جهت‌های x, y ، A_{tx}, A_{ty} به ترتیب نواحی کل مقطع
عرضی در جهت‌های x, y ، Q_t دبی خروجی جزر و مدی
طی فصل مشترک، Q_k تخلیه کلی، F_0, F_1 و α

می باشد. براساس مدل اختلاط آشفته طولی، همان صورت زیر بیان شود:

$$v_t = \rho v_m^2 \left| \frac{\partial U}{\partial z} \right| \quad (21)$$

که در آن t_m طول اختلاط در جریان نفت - آب می باشد و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\frac{t_m}{t_{m0}} = (1 + \beta R_i)^{-0.5} \quad (22)$$

t_{m0} طول اختلاط طبیعی و $\beta = 20$ می باشد، که می تواند از معادله (۱۷) بدست آید. R_i عدد ریچاردسون می باشد، که به صورت زیر بیان می شود:

$$R_i = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho / \partial z}{(\partial U / \partial z)^2} \quad (23)$$

برای عدد اشمیت آشفته $\sigma_{\varphi z}$ ، نفوذ شناوری نیاز است که مورد توجه قرار گیرد و می تواند توسط فرمول مانک آندرسون محاسبه شود ($\sigma_{\varphi 0} = 1$):

$$\frac{\sigma_{\varphi z}}{\sigma_{\varphi 0}} = \frac{(1+3.33R_i)^{1.5}}{(1+10R_i)^{0.5}} \quad (24)$$

ماتریس پراکنده بدست می آید. بعد از اجرای مدل، جریانات بعلاوه غلظت نفت در بدنه آب در هر مرحله زمانی می تواند بدست آید. در مدل، برای محاسبه ضرایب پخش افقی در معادله (۱۱) از فرمول زیر استفاده شده است (Comerma et al., 2003):

بعد از بدست آوردن v_t ، $\sigma_{\varphi z}$ ضریب پخش عمودی می تواند بدست آید. در این مدل، میدان غلظت بوسیله جفت با میدان جریان محاسبه می شود. روش تفاضل محدود، یک روش مرحله زمانی را در بر می گیرد. مدلی که انتخاب می شود، تفاضل روبه جلو برای مشتق زمانی و ترمهای مکانی بکار می برد. با ترکیب معادلات تفاضل محدود صریح برای همه عناصر، یک معادله

$$D_x = D_y = C_{s\alpha} \Delta x \Delta y \left[\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + 0.5 \left(\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2}$$

برای محاسبه تنش سطح τ_{sy}, τ_{sx} و تنش بستر τ_{by}, τ_{bx} در معادلات (۸) و (۹) از روابط زیر استفاده شده است (Mackay & Matsugu, 1973):

که در آن $C_{sa} = 0.5$ ثابت اختیاری، $(\Delta y), (\Delta x)$ طول شبکه در جهتهای y, x می باشد. برای محاسبه ضریب پخش عمودی در معادله (۱۱) از معادلات (۱۴)، (۱۸)، (۲۱)، (۲۲)، (۲۳) و (۲۴) استفاده شده است.

$$\tau_{sx} = C_d \rho_a (U^2 + V^2)^{1/2} U$$

$$\tau_{sy} = C_d \rho_a (U^2 + V^2)^{1/2} V$$

$$\tau_{bx} = \rho_w k (U^2 + V^2)^{1/2} U$$

$$\tau_{by} = \rho_w k (U^2 + V^2)^{1/2} V$$

های باد کمتر از ۲۵ متر بر ثانیه، ضریب پسا به صورت زیر محاسبه می شود:

که در آن U, V مولفه های سرعت باد در ۱۰ متری بالای سطح دریا، k ضریب اصطکاک کف ۰,۰۰۲، ρ_a چگالی هوا و C_d ضریب پسا می باشد. برای سرعت

$$C_d = (0.63 + 0.066(U^2 + V^2)^{1/2}) 10^3$$

برای سرعت های باد بالاتر از ۲۵ متر بر ثانیه، وابستگی ضریب پسا به باد کاهش یافته و رابطه زیر بکار می رود:

$$C_d = (2.28 + 0.033(U^2 + V^2)^{1/2} - 25) 10^3$$

غرب و شرق و جنوب غربی و جنوبی شرقی در نظر گرفته شد. محدوده عمق آب ۱-۱۱۵ متر بوده است. محل ریزش در شبکه در نقطه $x = 15.5 \text{ km}, y = 52 \text{ km}$ می باشد که مربوط به حادثه برخورد نفت کش Orapin Global با نفت کش Evoikos در عرض جغرافیایی $N 10^{\circ} 52'$ و طول جغرافیایی $E 48^{\circ} 30'$ در ساعت ۲۱ در ۱۵ اکتبر ۱۹۹۷

اجرای مدل در تنگه سنگاپور

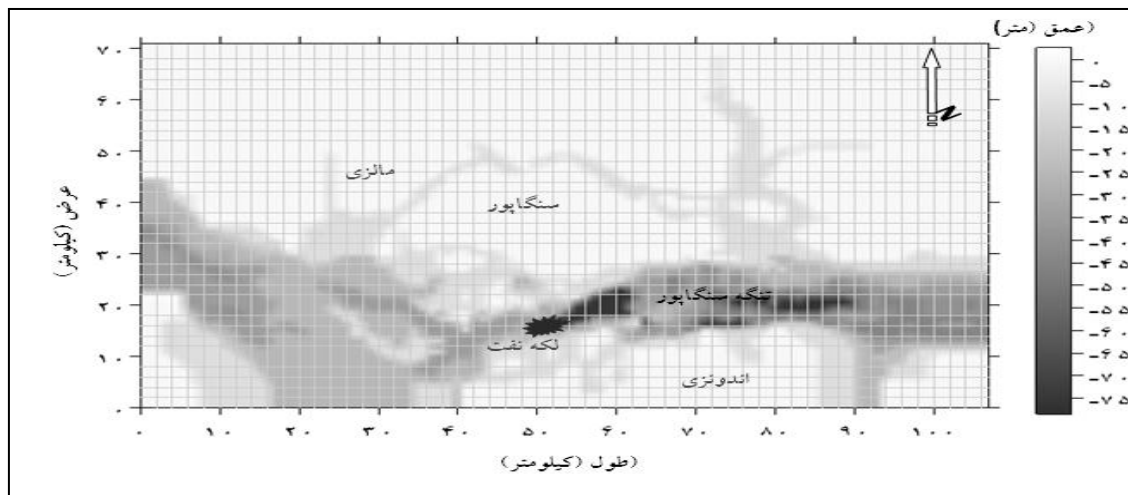
یک شبکه مربع مستطیل به ابعاد $72 \text{ km} \times 110$ (۱۰۷ ستون، ۷۱ ردیف) با تعداد نقاط شبکه ۷۷۷۶ نقطه در عرض جغرافیایی $N 0^{\circ} 59'$ تا $N 0^{\circ} 44'$ و طول جغرافیایی $E 103^{\circ} 18'$ تا $E 104^{\circ} 20'$ با $\Delta x = \Delta y = 1 \text{ km}$ در منطقه مورد مطالعه در تنگه سنگاپور شکل (۱) رسم شد. در منطقه چهار مرز باز در

(Nesterov & Tkalich, 2005; Pang & Tkalich, 2003).

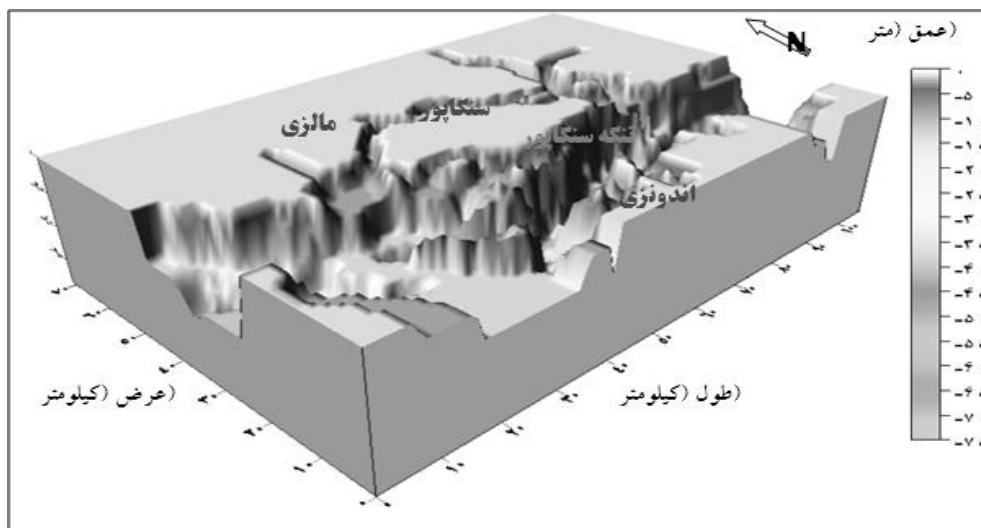
شکل ۲، توپوگرافی تنگه سنگاپور را نشان می‌دهد.

میلاادی است. جریان باد غالب شرقی و حداکثر سرعت ۵ متر بر ثانیه می‌باشد. داده‌های ورودی مدل مطابق با جداول (۱) و (۲) می‌باشد (Chao et al., 2001; Chao et al., 2003; Comerma et al., 2003)

و



شکل ۱- شبکه بندی منطقه مورد مطالعه در تنگه سنگاپور



شکل ۲- توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در تنگه سنگاپور

جدول ۱- مقادیر ورودی‌های اجرای مدل در تنگه سنگاپور

مقادیر	داده‌ها	مقادیر	داده‌ها
	پوشش نفت در کسری از سطح دریا	نفت سوخت سنگین (Bunker)	نوع نفت
$5-10 \text{ m}^2/\text{s}$	ویسکوزیته پیچکی افقی (در معادلات حرکت A و 9 v_h)	3000 m^3 (28500t)	حجم ریزش
20	عدد ثابت β	$965 \text{ Kg}/\text{m}^3$	چگالی نفت
1	عدد ثابت σ_ϕ	$3180 \times 10^{-2} \text{ p}_a \text{ s}$	ویسکوزیته نفت
		$39.8 \times 10^{-2} \text{ N}/\text{m}$	تنش موئینی نفت و آب
		301.15 K	دما
		$10 \text{ m}^2/\text{s}$	ضریب پخش افقی (D_h)
		$0.2 \text{ Kg}/\text{m}^3$	غلظت رسوب (C_s)
		0.043 mm	قطر رسوب
		$10 \text{ }\mu\text{m}$	قطر ذره نفت
		$5 \text{ m}/\text{s}$	سرعت آستانه باد
		0.5	ثابت C_{sa}
		$8.206 \times 10^{-5} \frac{\text{atm.m}^3}{\text{mol.K}}$	ثابت گاز
		2.7	عدد اشمیت (S_c)
		$3 \times 10^{-6} \text{ m}/\text{s}$	ضریب حلالیت (k_d)

جدول ۲- مقادیر ارتفاع سطح آب در یک ایستگاه جزرومدی در تنگه سنگاپور بر گرفته از (Lehr et al., 1984) و

(Comerma et al., 2003):

ارتفاع (متر)	زمان سپری شده (ساعت)	ارتفاع (متر)	زمان سپری شده (ساعت)	ارتفاع (متر)	زمان سپری شده (ساعت)	ارتفاع (متر)	زمان سپری شده (ساعت)
۲.۸	۸۶.۴	۱.۸	۴۴.۶	۱.۹	۱.۲	۱.۸	۱۲۴.۸
۲.۲	۸۷.۲	۲.۶	۴۵.۶	۱.۳	۲.۴	۱.۳	۱۲۵.۸
۱.۵	۸۸.۸	۳.۱	۴۶.۶	۰.۹	۳.۴	۱.۴	۱۲۶
۰.۹	۸۹.۸	۳.۱	۴۸	۰.۶	۳.۶	۱	۱۲۷
۰.۵	۹۰	۲.۹	۴۹.۲	۰.۵	۴.۹	۰.۹	۱۲۸.۲
۰.۳	۹۱.۲	۲.۴	۵۰.۴	۰.۷	۶	۱	۱۲۹.۵
۰.۴	۹۲.۲	۱.۷	۵۱.۴	۱.۱	۷.۲	۰.۵	۱۳۰.۶
۰.۷	۹۳.۶	۱.۱	۵۱.۶	۱.۸	۸.۴	۲	۱۳۱
۱.۴	۹۴.۶	۰.۷	۵۲.۸	۲.۵	۸.۶	۲.۷	۱۳۲
۲.۱	۹۴.۸	۰.۶۸	۵۴	۲.۸	۱۰.۸	۳.۱	۱۳۳.۲
۲.۷	۹۶	۰.۷	۵۵.۲	۲.۹	۱۲	۳.۱	۱۳۴.۴
۳	۹۷.۴	۱	۵۶.۲	۲.۷	۱۳.۲	۲.۸	۱۳۵.۴
۳	۹۹.۴	۱.۷	۵۶.۶	۲.۲	۱۴.۴	۲.۴	۱۳۵.۸
۲.۶	۹۹.۸	۲.۵	۵۸.۶	۱	۱۵.۴	۱.۷	۱۳۶.۸
۲	۱۰۰.۸	۳	۵۹	۰.۷	۱۵.۶	۱.۲	۱۳۸
۱.۵	۱۰۱.۸	۳.۰۸	۶۱	۰.۶	۱۶.۸	۰.۷	۱۳۹.۲
۱	۱۰۲	۲.۹	۶۱.۲	۰.۷	۱۸	۰.۵	۱۴۰.۲
۰.۸	۱۰۳.۲	۲.۴	۶۲.۴	۱	۱۹.۲	۰.۶	۱۴۱.۸
۰.۸	۱۰۳.۲	۱.۸	۶۳.۴	۱.۷	۲۰	۱	۱۴۲.۸
۱.۱	۱۰۵.۶	۱.۱	۶۳.۸	۲.۵	۲۰.۵	۱.۷	۱۴۴
۱.۷	۱۰۶.۶	۰.۶	۶۵.۶	۳	۲۱.۶		
۲.۵	۱۰۶.۸	۰.۴	۶۶	۲.۹	۲۴		
۳	۱۰۸	۰.۴	۶۷.۲	۲.۵	۲۵.۲		
۳.۱	۱۰۹.۴	۰.۶	۶۸.۴	۱.۸	۲۶.۴		
۳	۱۰۴.۴	۱.۱	۶۹.۶	۱.۲	۲۶.۵		
۲.۶	۱۱۱.۴	۲	۷۰.۶	۰.۸	۲۷.۸		
۲	۱۱۲.۸	۲.۷	۷۰.۸	۰.۶	۳۰		
۱.۳	۱۱۳.۸	۳.۱	۷۴.۴	۰.۸	۳۱.۲		
۰.۸	۱۱۶.۴	۲.۸	۷۵.۴	۱.۳	۳۲.۲		
۰.۶	۱۱۵	۲.۲	۷۵.۶	۲.۱	۳۲.۶		
۰.۵	۱۱۶.۲	۲	۷۵.۸	۲.۸	۳۴.۶		
۰.۳	۱۱۶.۲	۱.۶	۷۶.۵	۳	۳۶		
۰.۴	۱۱۶.۴	۱.۱	۷۷	۲.۷	۳۷		
۱.۶	۱۱۸.۸	۰.۸	۷۸	۲.۶	۳۷.۴		
۰.۸	۱۱۲.۶	۰.۷	۷۹.۲	۲	۳۸.۴		
۱.۵	۱۱۸.۸	۰.۹	۸۰.۲	۱.۳	۳۹.۴		
۲.۲	۱۲۰	۱.۳	۸۰.۶	۰.۸	۳۹.۶		
۲.۷	۱۲۱.۴	۲.۱	۸۲.۶	۰.۶	۴۰.۸		
۲.۸	۱۲۳.۴	۲.۸	۸۳	۰.۵	۴۱.۸		
۲.۷	۱۲۳.۶	۳.۱	۸۴	۰.۷	۴۳.۲		
۲.۴	۱۲۳.۸	۳.۱	۸۵.۴	۱	۴۴.۲		

فرضیات مدل

۴- مرحله زمانی $\Delta t = 5$ ثانیه می باشد.

۱- در مدل از تقریب بوسینسک استفاده شده است.

۲- تنش کف مورد نظر بوده است .

۳- تغییرات پارامتر کوریولیس مورد نظر نبوده است .

۴- سرعت و تنش باد متغیر فرض شده و جهت باد غالب شرقی در نظر گرفته شده است .

۵- لکه نفت خام به شکل بیضی فرض شده است و ضخامت آن یکسان فرض شده است .

۶- در معادله انتقال جرم (غلظت)، نفت خام به صورت یک مولفه در نظر گرفته شده است و چند مولفه ای نمی باشد .

۷- چگالی و ویسکوزیته جریان نفت - آب ، نسبت به زمان متغیر در نظر گرفته شده است.

شرایط مرزی

۱- تمام مرزهای جامد بدون لغزش است. حرکت شاره در مجاورت مرز صفر است.

۲- تغییرات عمودی آب در مرزها صفر است .

۳- در مرز سخت، مولفه عمودی سرعت (عمود بر مرز) صفر می باشد.

۴- در مرز سخت، افت و خیز سطح صفر است و تنش رینولدز در سطح مرز صفر است (شرایط غیر لغزشی).

نتایج

نتایج حاصل از اجرای مدل در تنگه سنگاپور

در شکل ۳ حرکت نفت خام در سطح آب در تنگه سنگاپور حاصل از اجرای مدل، مشاهده و مدل چائو ، ۱۷، ۴۴ و ۶۹ ساعت پس از حادثه ریزش و در شکل ۴ نتایج توزیع غلظت حاصل از اجرای مدل، مشاهدات و مدل چائو و در جدول ۳ مقادیر میانگین توزیع غلظت نفت خام حاصل از اجرای مدل و مدل Chao (میکروگرم بر گرم) در تنگه سنگاپور مشاهده می شود.

شرایط اولیه

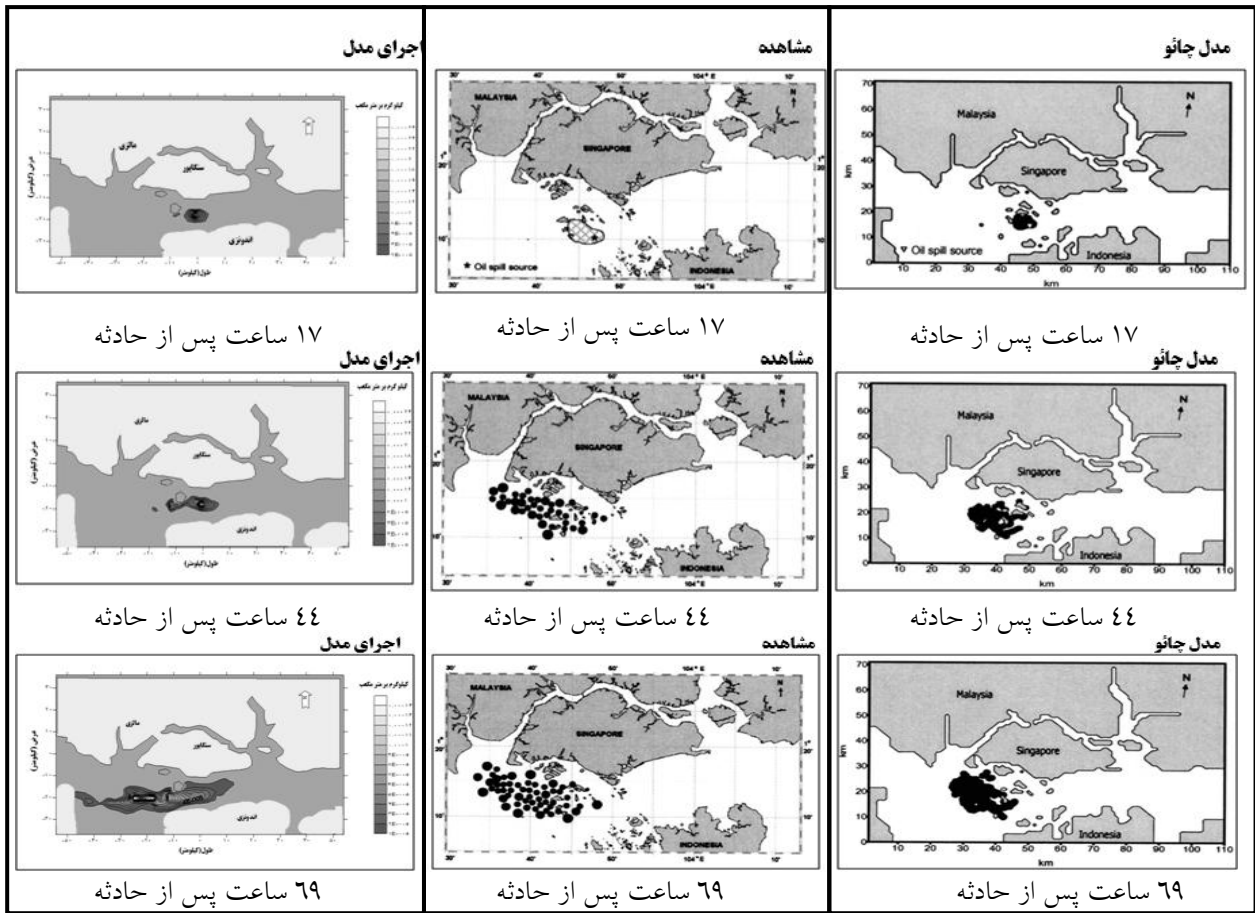
۱- با توجه به سخت بودن مرزها (Rigid-lid) ، تغییرات عمودی آب در مرزها صفر است .

۲- سرعت ها در مرز سخت صفر می باشد.

۳- در شبکه بندی $\Delta x = \Delta y = 1000$ متر در نظر گرفته شده است.

جدول ۳- مقایسه مقادیر میانگین توزیع غلظت نفت خام حاصل از اجرای مدل و مدل Chao (میکروگرم بر گرم) در تنگه سنگاپور

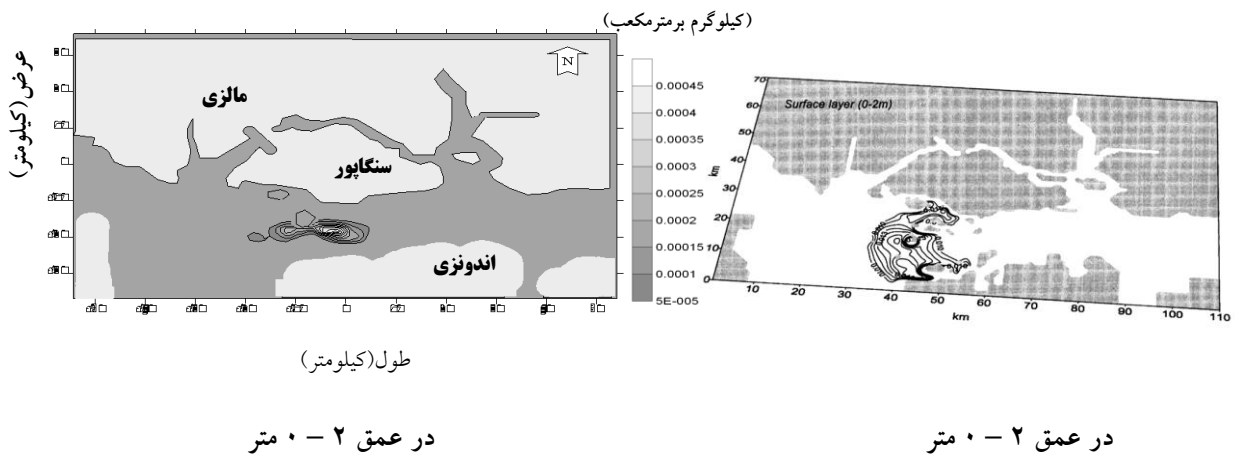
خطای نسبی (درصد)	مدل Chao	مدل عددی	عمق (متر)
۴٫۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲۸۷۵	۰-۲
۳۰٫۹	۰٫۰۰۴۵	۰٫۰۰۳۱۱	۱۷-۲۲
-	-	۰٫۰۰۵۴۴	۴۵



شکل ۳- مقایسه حرکت نفت خام در سطح آب در تنگه سنگاپور حاصل از اجرای مدل، مشاهده و مدل چائو، ۱۷، ۴۴ و ۶۹ ساعت

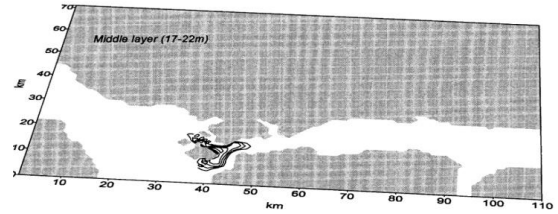
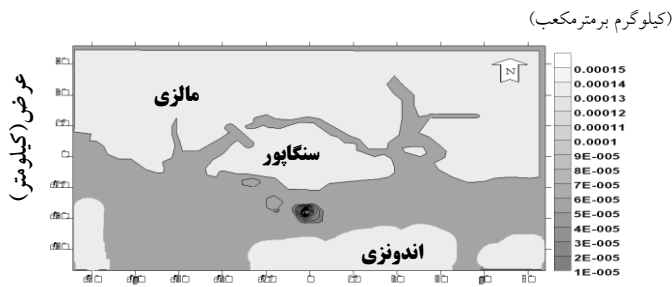
(۲)

(۱)



در عمق ۰ - ۲ متر

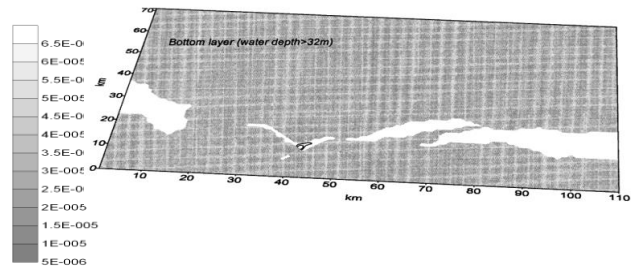
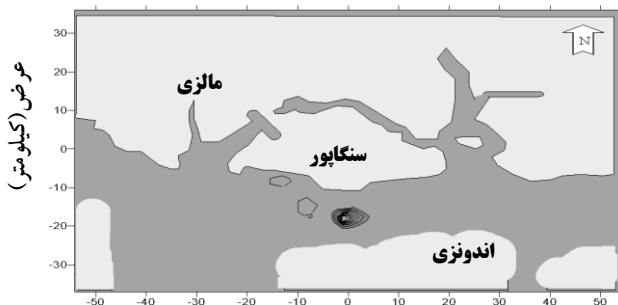
در عمق ۰ - ۲ متر



(کیلوگرم بر مترمکعب) طول (کیلومتر)

در عمق ۱۷ - ۲۲ متر

در عمق ۱۷ - ۲۲ متر



طول (کیلومتر)

در عمق بیش از ۳۲ متر

در عمق بیش از ۳۲ متر

شکل ۴- مقایسه توزیع غلظت ذرات نفت خام در تنگه سنگاپور،
(۱) مدل Chao [میکرو گرم بر گرم، ppm] ، (۲) اجرای مدل [کیلو گرم بر متر مکعب].

بحث و نتیجه گیری

سپس بدلیل گستردگی، جابه جایی، پخش افقی، تبخیر و حلالیت، لکه نفت نازکتر و نازکتر شده و در اثر برش آشفته‌گی و شکست امواج، لکه نفت ناپایدار و پخش شده و به ذرات کوچکتر تبدیل می‌شود. شکل (۳) نشان می‌دهد جهت حرکت اصلی لکه نفت و ناحیه آلوده شده

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، لکه سطحی نفت خام بدلیل اثر ثقل، اینرسی، ویسکوزیته و نیروهای تنش سطحی گسترده شده و بدلیل جریان و باد در لکه جابجایی و پخش افقی صورت گرفته است.

شرقی به طرف جنوب دریای چین است. بدلیل نفوذ فاکتور پیچیده، چند تفاوت بین نتایج و داده های مشاهدات وجود دارد. حرکت آب عموماً در تنگه سنگاپور بوسیله ارتفاع آب و شارش سه مرز اصلی متصل به تنگه شامل تنگه مالاکا در غرب و جنوب دریای چین در شرق و دریای جاوا در جنوب تنگه می باشد. جهت جریان آب در تنگه حاصل واکنش بین امواج فصلی و جزر مدی می باشد که در کوتاه مدت مربوط به flood, ebb و در بلند مدت مربوط به نمونه های فصلی است. با توجه به مونسون شمال شرقی، در شرق تنگه سنگاپور و مرکز تنگه جریان ها سریع تر بوده و جهت نسبتاً ثابت است. جریان در مرکز تنگه سریعتر است بدلیل ساختار کانال مانند در مرکز تنگه است. در غرب، تغییر جهت جریان ها به دلیل نفوذ مرز باز جنوبی بوده و در شرق و مرکز بدلیل ساختار کانال مانند (سرعت سریع تر) است. شدت آشفتگی، جریان ها را تحت تاثیر دارد. واکنش جریان موج در تنش کف، در مدل اختلاط و فرآیندهای انتقال رسوب (فرآیندهای انتقال سطحی کف) مهم است. سرعت کف با افزایش ارتفاع موج زیاد و با کاهش فرکانس و کاهش عمق آب، کم می شود. کاهش فرکانس و عمق آب در سرعت جریان کف بیشتر تاثیر دارد تا ارتفاع موج. واکنش جریان موج در ارتفاع سطحی آب کم اهمیت است، اما این اثر در سرعت جریان بیشتر است. نزدیک سطح، تنها سرعت برشی جریان به اختلاط آشفتگی تاثیر دارد. شکل (۴) و جدول (۳) مقایسه توزیع غلظت ذرات نفت خام در تنگه سنگاپور حاصل از اجرای مدل و مدل چائو (Lehr

حاصل از اجرای مدل با مدل چائو (Lehr et al., 1984) و (Chao et al., 2003) و مشاهده توافق دارد. در اولین روز، لکه نفت بدون متلاشی شدن حرکت کرده و گستردگی در زمان کوتاهتر رخ داد. پس از طی ۲ تا ۳ روز لکه نفت نازکتر شده و بدلیل باد شرقی غالب، گستردگی نفت به سمت غرب صورت گرفته است. با نفوذ آشفتگی و گرادیان های افقی سرعت، لکه شکسته و به بسته های نفت کوچکتر تبدیل شده و در سطح آب حرکت می کنند. تغییر مکان نفت به دلیل جابجایی و پخش افقی آشفتگی است. حرکت یک لکه سطحی نفت به سرعت جابجایی آن بستگی دارد که آن هم بر اساس سرعت سطحی آب و سرعت باد می باشد. میدان سرعت باد و سرعت های جریان سطحی، سرعت های جابجایی لکه را تعیین می کند. براساس نتایج عددی و داده های مشاهده شده، می توان گفت شمال غربی تنگه سنگاپور، ناحیه اصلی آلودگی حادثه ریزش نفت کش Evoikos می باشد.

نیروهای رانش اصلی هیدرودینامیک سنگاپور همراه با تغییرات جزر و مدی و مونسون ها، جریان های جزر و مدی و رانش مونسون در تنگه سنگاپور را پیش بینی می کند.

(Nesterov & Tkalich, 2005; Wei-Hong et al., 2003) و (Chong & Tkalich, 2003).

در طول مونسون شمال شرقی، جریان اصلی به طرف غرب از جنوب دریای چین به طرف غرب تنگه مالاکا می باشد و در طول مونسون جنوب غربی از دریای جاوا به طرف شمال تنگه سنگاپور است. جریان

نزدیک به وزن مخصوص آب در ستون آب به مدت طولانی قرار می‌گیرند. ذرات نفت به مواد معلق گوناگون در آب جذب می‌شوند. نفوذ ذرات نفت به سرعت درون آمیختگی نفت بستگی دارد و سرعت درون آمیختگی نفت به اندازه ذره، عمق نفوذ ذرات، نوع نفت، انرژی شکست موج و دما وابسته است. بدلیل حلالیت و پخش (Dispersion)، نفت پراکنده شده و در ستون آب مخلوط می‌شود. با توجه به شکل‌های (۳ و ۴) و جدول (۳) مدل معرفی شده توانسته با مدل اجرایی چائو سازگاری خوبی داشته باشد.

منابع

- Chao, X., Shankar, N.J. & Cheong, H.F. 2001. Two and three - dimensional oil spill model for coastal waters. *Ocean Engineering (Pergamon)*. 28:1557-1573.
- Chao, X., Shankar, N.J. & Wang, S.S.Y., I. 2003. Development and application of oil spill model for Singapore coastal waters. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*: 495-503.
- Comerma, E., Poutchkovsky, A., Guyomarch J., Cabioc'h F., Doré A. & Daniel, O. 2003. Inclusion of an oil database into a forecasting system. *Proceedings of AMOP*. Victoria, Canada.
- Fay, J. A. 1971. Physical process in the spread of oil on a water surface. In: *Proceedings of the Joint Conference on the Prevention and Control of OH Spills*, American Petroleum Institute, Washington, DC.
- Habibi. S., Torabi Azad, M. & Bidokhti, A.A. 2008. A numerical model for the prediction of movement of gas condensate from spill accidents in the Assalouyeh marine region, Persian Gulf, Iran. *Indian Journal of Marine Sciences*, 37(3): 233-242.
- Hong Zhan, G., Madsen, Ole S., Sannasiraj. S.A. & Chan. Eng Soon. 2004. Hydrodynamic Model with wave - Current Interaction in Coastal Regions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 61: 317-324.
- Wallingford, H.R. 1982. Tolo water quality model. *Hong Kong Hydraulic Aspects*, Report No. EX 1045.
- Lehr, W.J., Fraga.R.J., Belen. M.S. & Cekirge, H.M. 1984. A new technique to estimate initial spill size using a modified Fay-type spreading formula. *Marine Pollution Bulletin*, 15: 326-329.
- Mackay, D. 1981. Physical-chemical weathering of petroleum hydrocarbons from the Ixtoc I Blow Out-chemical measurements and a weathering model.

-
- In: Proceedings of 1981 Oil Spill Conference, Washington, DC.
- Mackay, D. & Matsugu, R.S. 1973. Evaporation rates of liquid hydrocarbon spills on land and water. Canadian Journal of Chemical Engineering, 51(8):434- 439.
- Nesterov O., Tkalich P. 2005. Hydrodynamics and water quality modeling of Singapore and Johor Straits with SLON model.. Proc. **XXXI IAHR Congress**, 11-16 September 2005, Seoul, Korea.
- Pang, W.C., Tkalich, P. 2003. Modeling tidal and monsoon driven currents in the Singapore Strait. Singapore Maritime & Port Journal, 151-162.

