Archive OF SID

سازمان بنادر و دریانوردی به عنوان تنها مرجع حاکمیتی کشور در امور بندری، دریایی و کشتی‌رانی بازرگانی به منظور ایفای نقش مرجعیت دانشی خود و در راستای تحقق راهبردهای کلان نقشه جامع علمی کشور مبنی بر "حمایت از توسعه شبکه‌های تحقیقاتی و تسهیل انتقال و انتشار دانش و سامان‌دهی علمی" از طریق "استانداردسازی و اصلاح فرایندهای تولید، ثبت، داوری و سنجش و ایجاد بانک‌های اطلاعاتی یکپارچه برای نشریات، اختراعات و اکتشافات پژوهشگران"، اقدام به ارایه این اثر در سایت SID می‌نماید.

سازمان بنادر و دریانوردی

مرکز بررسی اطلاعات علمی

ICOPMAS

www.SID.ir

Archive of SID

ارایه مدل عددی جهت ارزیابی چگونگی پخش و انتقال لکه نفتی در محیط آبی آرام

فرزاد عزیزی قناد
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
f_azizi_gh@sina.kntu.ac.ir

فریدون وفایی
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
fvafai@kntu.ac.ir

مهدی محمدی عراق
مرکز تحقیقات آب
maragh@yahoo.com

چکیده

پخش آلاینده های نفتی در محیطهای آبی از معضلات بشر امروزی است. معمولاً، انتقال و پخش لکه نفتی در محیط های آبی به دلیل فرایند های شیمیایی، فیزیکی،و زیست شناسی است که خود وابسته به خصوصیات نفت، هیدرودینامیک، هواشناسی و شرایط زیست محیطی است. این فرایند ها شامل انتقال، پراکندگی، تبخیر، و ... می‌باشد. زمانی که نفت در سطح آب پخش می شود، کشیده شده و لایه نفتی را تشکیل می‌دهد. پخش و انتقال لایه نفتی به دلیل جریان، امواج و اثر باد می‌باشد. افزایش تمایل نسبت به مطالعه لکه نفتی و همچنین اهمیت روز افزون این موضوع در زندگی روزمره بشر، باعث توسعه تعداد زیادی از مدل های عددی شده است.[۶]

در این مقاله یک مدل عددی برای شبیه سازی انتقال و پراکندگی ضخامت لکه نفتی و همچنین پخش و جابجایی مقدار متوسط غلظت نفت در ستون آب و تبخیر با دیدگاه اویلری و به صورت یک مدل چند فازی[1] توسعه داده شده است. مدل هیدرودینامیک موجود معادلات دو بعدی غیر دایمی ناویر استوکس متوسط‌گیری شده در عمق را حل می‌کند. در حل عددی جریان از روش تغییر جهت متناوب ضمنی[2] استفاده شده است. گسسته سازی معادلات به روش احجام محدود انجام شده است. به منظور بررسی صحت کارایی مدل عددی، با یک رابطه تجربی مقایسه شده است که نتایج، تطابق مناسبی را نشان می‌دهند. [۱]

واژه های کلیدی: انتقال و پراکندگی لکه نفتی، متوسط گیری شده در عمق، مدل چند فازی ، روش اویلری،

مقدمه

از آنجائیکه حوادث دریایی اکثرا در محیطهای گسترده و غیر قابل دسترس رخ میدهد، لذا دسترسی محلی به آلودگی نفتی در موقعیت مورد نظر تقریباً غیر اقتصادی و زمانبر می‌باشد. یکی از روشهایی که می‌تواند در پیش‌بینی حرکت لکه نفتی و پاکسازی آن کمک شایانی کند، مدلسازی عددی است. رشد چشمگیر این نوع از حوادث در سالهای اخیر محققان را بر آن داشت تا مدلهای متنوعی را برای پیش‌بینی چگونگی انتقال و پخش لکه نفتی ارایه‌دهند که هر یک از آنها به نوبه خود دارای نقاط ضعف و قوت بودند. از مشهورترین مدل‌ها می‌توان به مدلهای oilpol (Alrabel, 1993)، ASA (Anderson, Spaulding, 1992)، Delvigne 1994، Fignas 1994، و ... اشاره کرد. اکثر این مدل‌ها تنها به بررسی حرکت لکه نفتی در سطح آب می‌پردازند و نفت را به صورت مجموعه‌ای از ذرات در نظر می‌گیرند. اما مطالعات اندکی در مورد تخمین غلظت نفت موجود و فرایندهای مستهلک‌کننده در زیر سطح آب انجام گرفته‌است. در این تحقیق سعی شده تا یک مدل عددی برای شبیه‌سازی پخش و انتقال لکه نفتی در سطح آب با در نظر گرفتن فرایندهای استهلاکی همچون تبخیر و نفوذ ذرات در داخل ستون آب توسعه داده شود.[۷و۸]

مبانی تئوری و معادلات حاکم

برای پیش بینی دقیق فرایند پخش و انتقال لکه نفتی در سطح دریا، لازم است تا علاوه بر شناسایی عوامل موثر در پخش و انتقال، فرایندهای استهلاکی همانند تبخیر و نفوذ نفت در ستون آب، نیز شناخته و بررسی شوند. برای این منظور یک مدل عددی بر پایه روش اویلری توسعه داده‌شده و در آن برای مشخص شدن الگوی حرکت جریان آبی از معادلات پیوستگی و ممنتوم (معادلات نویر – استوکس متوسط‌گیری شده در عمق)، (معادلات (۱) الی (۳)). [۲]و برای بررسی انتقال لکه نفتی از معادلات انتشار نفت در سطح (معادله تکالیش)،(معادله (۴)) استفاده‌شده-است.

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial (HU)}{\partial x}+\frac{\partial (HV)}{\partial y}=0 \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(HU)+\frac{\partial}{\partial x}\left(HU^2\right)+\frac{\partial}{\partial y}(HUV)=-gH\frac{\partial H}{\partial x}-\frac{g}{C^2}U\left(U^2+V^2\right)^{1/2}+\frac{\partial}{\partial x}\left[\left(2\nu(\frac{\partial HU}{\partial x})\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\nu\left(\frac{\partial (HU)}{\partial y}+\frac{\partial (HV)}{\partial x}\right)\right]\right. \qquad (۲)$$

[1] Multi phase Model
[2] ADI : Alternating Direction Implicit

www.SID.ir

Archive of SID

$$\frac{\partial}{\partial t}(HV)+\frac{\partial}{\partial x}(HUV)+\frac{\partial}{\partial y}(HV^2)=-gH\frac{\partial H}{\partial y}-\frac{g}{C^2}V(U^2+V^2)^{1/2}+\frac{\partial}{\partial y}\left[\left(2\nu(\frac{\partial HV}{\partial y})\right]+\frac{\partial}{\partial x}\left[\nu\left(\frac{\partial(HU)}{\partial y}+\frac{\partial(HV)}{\partial x}\right)\right]\right. \quad (۳)$$

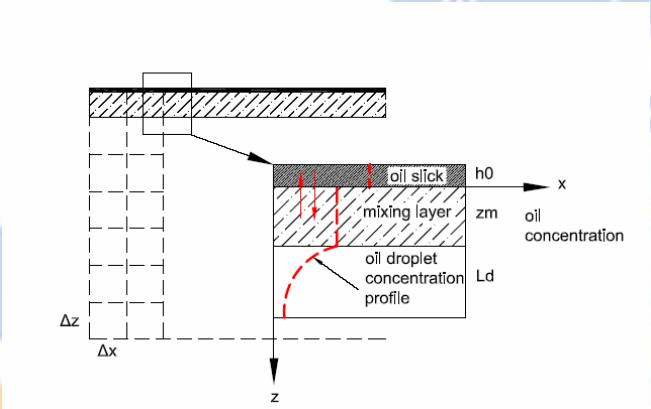
$$\frac{\partial h}{\partial t}+\overline{\nabla}(h\bar{v})-\overline{\nabla}(D\overline{\nabla}h)=R_h \quad (۴)$$

در هر گام زمانی، تغییرات خصوصیات نفت و مقدار کاهش حجم نفت به واسطه فرایندهای مختلف از جمله تبخیر که از معادله Mackay 1981، (معادله (۵)) بدست می‌آید و همچنین مقدار نفوذ نفت در ستون آب که به واسطه مشخصات موج و شناوری محیط رخ می‌دهد از معادله تکالیش (معادله(۶))، محاسبه می‌شود.[۳]

$$M_i = k_e A t X_i P_i^s \left(1/RT\right) \quad (۵)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\overline{\nabla}(C\vec{u})-\overline{\nabla}\left(\vec{E}\,\overline{\nabla}C\right)=R \quad (۶)$$

در روابط (۴) و (۶)، با توجه به شکل(۱)، h ضخامت لایه نفتی، C غلظت آلاینده نفتی در ستون آب، $\vec{E}=(E^x,E^y)$ ضریب پخش آشفتگی به ترتیب در دو جهت x و y، R_h و R عبارت‌های دینامیکی فیزیکی شیمیایی، $\bar{v}=\left(u^x+\tau^x/f,u^y+\tau^y/f\right)$ سرعت جابجایی لکه در دو جهت x و y، $(\tau^x,\tau^y)/f\approx 0.03(U^x,U^y)$ تنش‌های برشی به دلیل باد، $D=gh^2(\rho-\rho_o)\rho_o/\rho f$ تابع پخش[۳]، ρ و ρ_o چگالی آب و نفت به ترتیب، f ضریب اصطکاک بین لایه نفتی و سطح آب، g شتاب ثقل، $\vec{u}=(u^x,u^y)$، u^x و u^y سرعت سیال به ترتیب در دو جهت x و y، t زمان، $\overline{\nabla}=(\partial/\partial x,\partial/\partial y)$ می‌باشند.[۴]



شکل (۱)، لایه نفتی و لایه اختلاط آب و نفت و همچنین شبکه محاسباتی مربوطه[۴]

معادله (۴) برای دینامیک لکه نفتی بوده و با متوسط گیری از معادلات ناویر استوکس روی ضخامت نفت سطحی حاصل شده است. عبارت دوم معادله (۴) جابجایی افقی لکه نفتی در اثر جریان باد و جریان نزدیک به سطح و عبارت سوم پخش توسط نیروهای ویسکوزیته–جاذبه می‌باشند. معادله (۶) انتقال نفت در ستون آب را بیان می‌کند. عبارت‌های سمت راست معادلات (۴) و (۶)، انتقال نفت بین دو لایه را بیان می‌کند. [۴]

در رابطه (۵)، M_i حجم نفت مولفه iام که به موجب تبخیر کاهش یافته است بر حسب مول، K_e ضریب انتقال جرم برای تبخیر (m/s) که از رابطه (۷) بدست می‌آید. A سطح لکه نفتی (m^2)، t زمان بر حسب ثانیه، X_i مقدار حجم مولفه iام بر حسب مول، P_i^s فشار بخار مولفه iام، T دمای هوا بر حسب کلوین، R ثابت گازها، می‌باشد.[۹]

$$k_e = .0292\,U_{wind}^{0.78}\,D^{-0.11}\,S_c^{-0.67} \quad (۷)$$

در رابطه (۷)، U_{wind} سرعت باد بر حسب (m/s) و D قطر لکه نفتی بر اساس متر و S_c عبارتست از عدد Schmidt که صافی سطح آب را نمایش می‌دهد و مقدار آن ۲,۷می‌باشد.[۹]

روش حل و گسسته سازی معدلات

به منظور حل معادلات مربوط از الگوی حل تغییر جهت متناوب ضمنی[۴] و روش گسسته‌سازی احجام محدود در شبکه‌بندی سازمان‌یافته لغزان استفاده‌شده‌است. با در نظر گرفتن دو نیم گام زمانی در هر گام زمانی، معادله پیوستگی و ممنتوم در جهت x در نیم گام زمانی اول و معادله

[3] Spreading Function
[1] Alternating Direction Implicit

www.SID.ir

Archive of SID

پیوستگی و معادله ممنتوم در جهت y در نیم گام زمانی دوم حل می‌شوند. در هر نیم گام زمانی بعد از محاسبه میدان سرعت، معادله انتقال غلظت مواد معلق و محلول حل می‌گردد. در انتها برای هر گام زمانی معادلات استهلاک ذکر شده حل می‌شود. [۲]

در این تحقیق با استفاده از یک مدل هیدرودینامیک دو بعدی که با استفاده از نرم افزار Fortran، نوشته شده است، منطقه مورد نظر، مدل شده و معادلات دو بعدی غیر دایمی ناویر استوکس متوسط گیری شده در عمق را حل می‌شود.[۱]

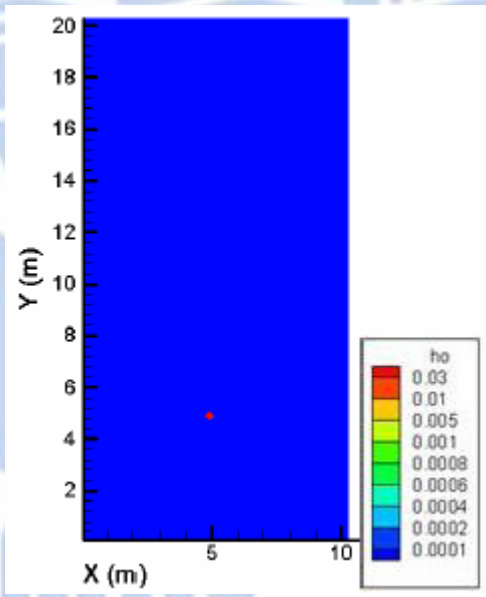
اجرای مدل و نتایج آن

پس از ورود اطلاعات اولیه به مدل و گسسته سازی معادلات، یک کانال با ابعاد ۱۰ متر در ۲۰ متر و به عمق ۴ متر در نظر گرفته شد و یک سرعت جریان یکنواخت با سرعت ۰,۱ متر بر ثانیه در راستای طولی کانال لحاظ گردید. با توجه به شرایط ذکر شده مدل اجرا می‌گردد و نتایج بدست آمده با نتایج معادله تحلیلی ارایه شده توسط Brothwich,1992 (معادله (۸))، مقایسه می‌گردد، که نتایج بدست آمده دقت قابل قبول حل عددی را مشخص می‌کند.[۵]

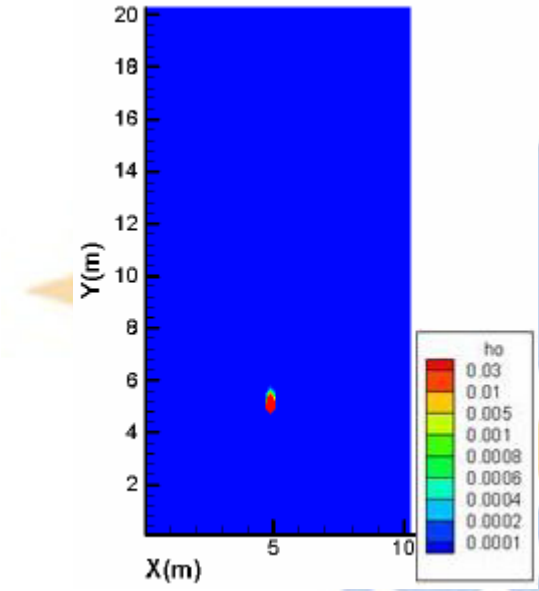
$$S_{(x,y,t)} = \frac{M}{H 4\pi \sqrt{D_x D_y}} . \exp\left[-\frac{(y-y_0)^2}{4D_y t} \right] . \exp\left[-\frac{(x-ut)^2}{4D_x t} \right] \qquad (۸)$$

M جرم غلظت ورودی در $x = 0$ ، $y = 0.5$ و $t = 0$ ، u سرعت متوسط و t زمان محاسبه شده از لحظه ورود آلاینده نفتی است.

شکل های (۲) تا (۵) ضخامت لایه نفتی را در زمان آغاز شبیه سازی، ۲/۵ ثانیه، ۲۰ ثانیه و ۷۰ ثانیه پس از آغاز شبیه سازی نشان می دهند. شکل های (۶) تا (۹) پخش و انتقال نفت در ستون آب را در زمان آغاز شبیه سازی، ۲/۵ ثانیه، ۲۰ ثانیه و ۷۰ ثانیه پس از آغاز شبیه سازی را نشان می دهند.[۱]



شکل (۲) تغییرات ضخامت لکه نفتی در سطح و **T=0 sec** [۱]

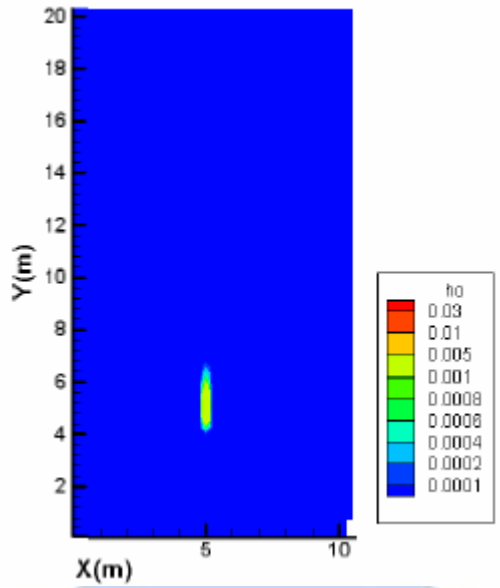


شکل (۳) تغییرات ضخامت لکه نفتی در سطح و **T=2.5 sec** [۱]

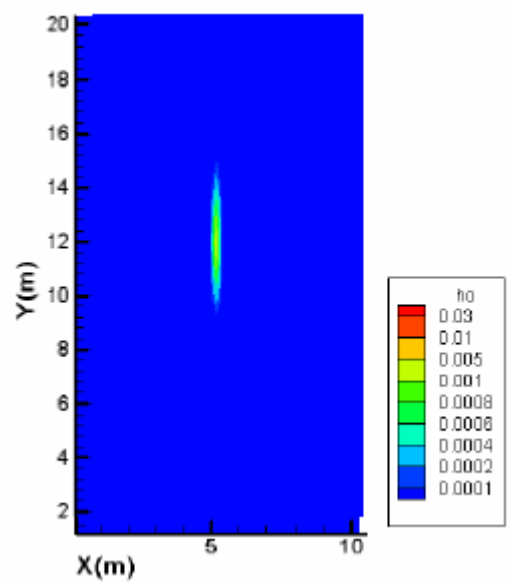
[h_o بر حسب متر می باشد.]

www.SID.ir

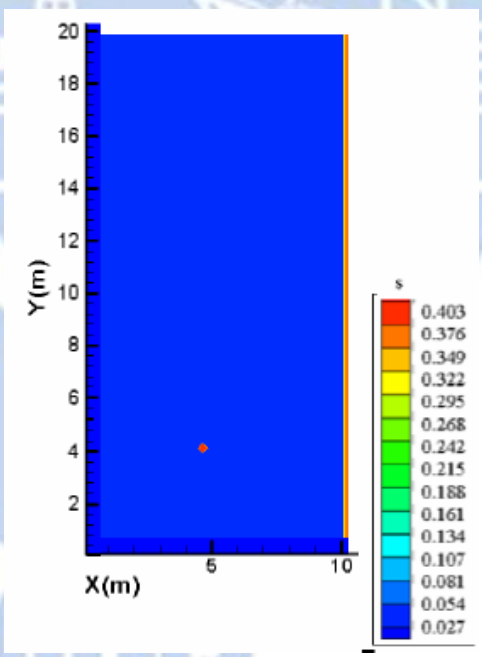
Archive of SID



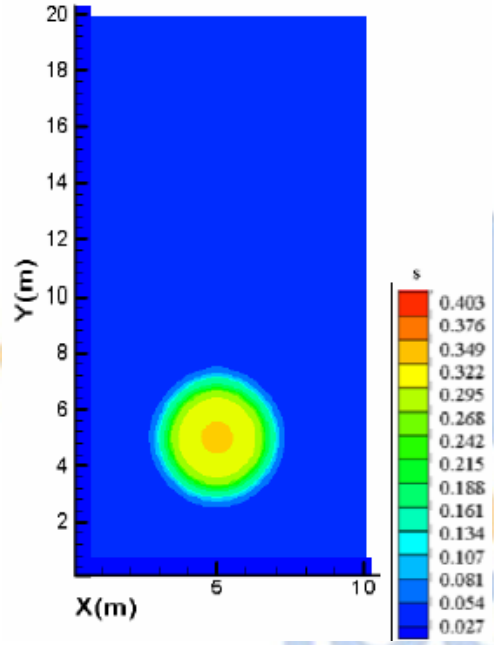
شکل (۴) تغییرات ضخامت لکه نفتی در سطح و **T=10 sec** [۱]



شکل (۵) تغییرات ضخامت لکه نفتی در سطح و **T=70 sec** [۱]



شکل (۶)تغییرات غلظت نفت در ستون آب در **T=0 sec** [۱]

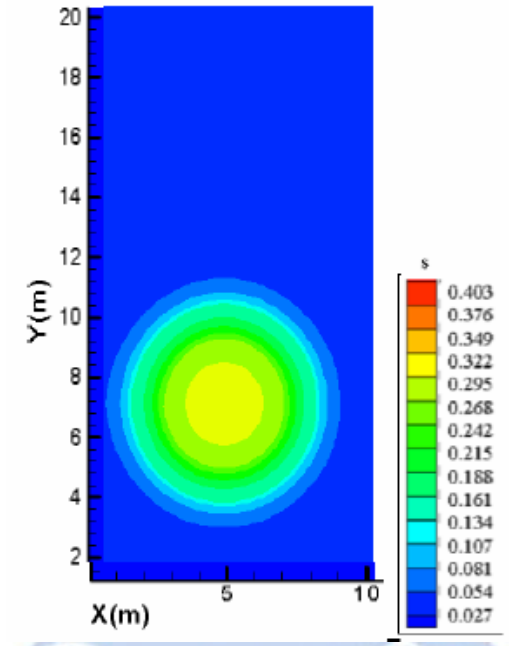


شکل (۷)تغییرات غلظت نفت در ستون آب در **T=2.5 sec** [۱]

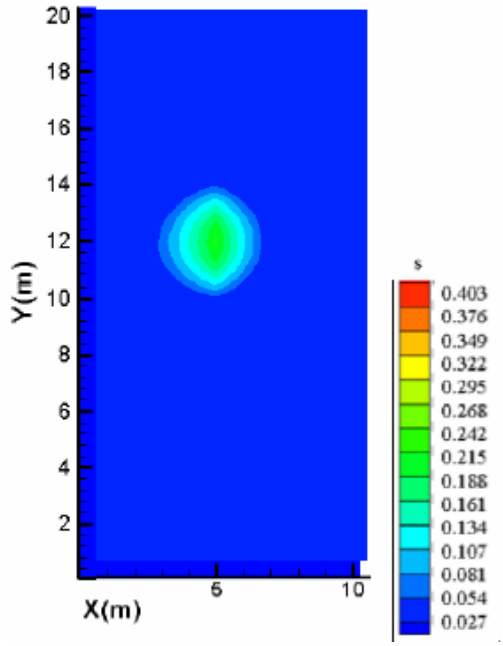
[**s** بر حسب kg/m^3 می باشد.]

www.SID.ir

Archive of SID

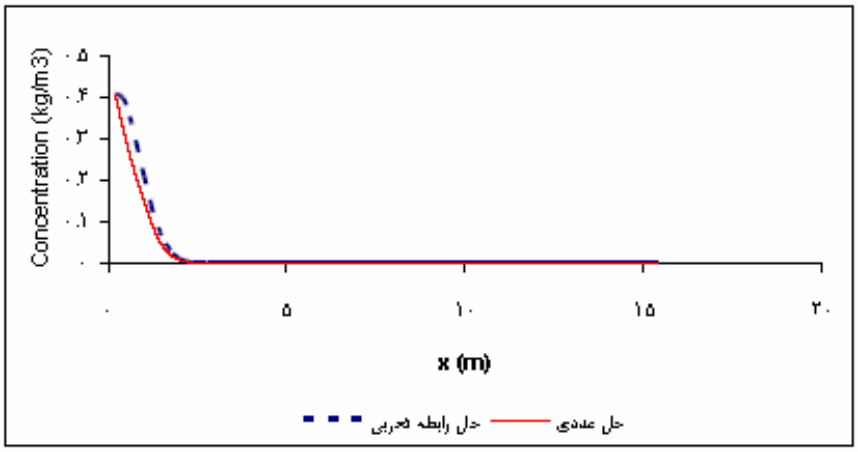


شکل (۸)تغییرات غلظت نفت در ستون آب در **T=10 sec** [۱]



شکل (۹)تغییرات غلظت نفت در ستون آب در **T=70 sec** [۱]

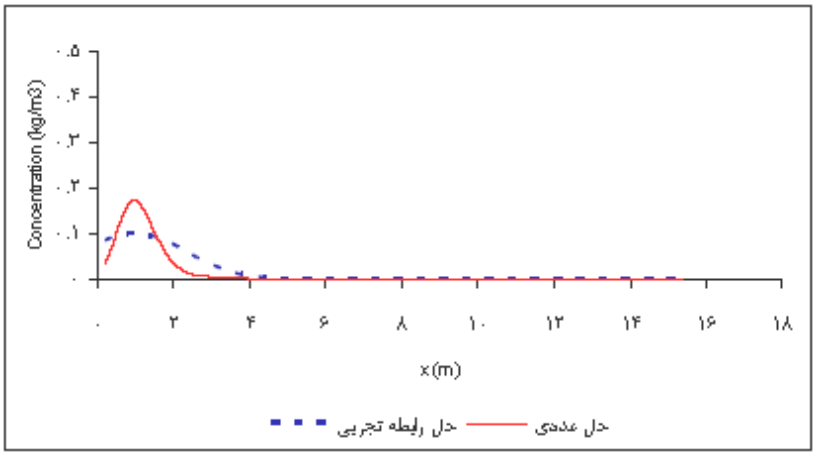
شکل های ۱۰ – ۱۳ مقایسه نتایج شبیه سازی را با حل تحلیلی بر روی محور میانی و موازی با طول کانال نشان می دهند. با توجه به نتایج ارائه شده مشخص می شود که مدل می تواند انتقال لکه نفتی را با دقت زیاد شبیه سازی کند. [۱]



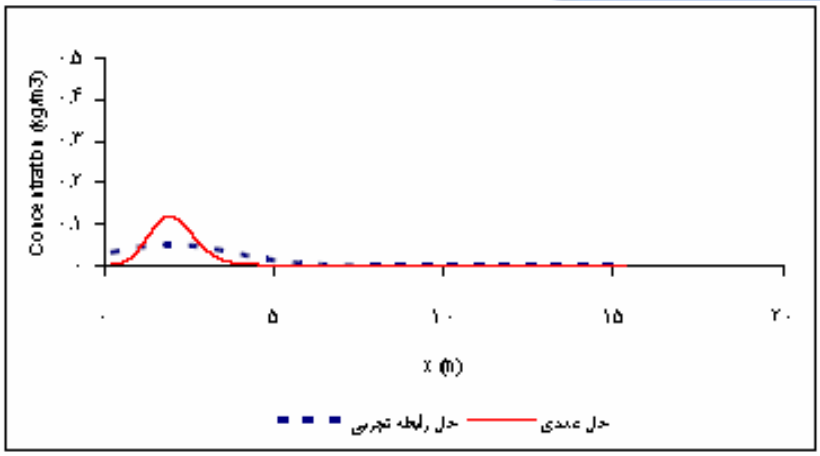
شکل (۶-۱۵) نمودارتغییرات غلظت در مکان (۵ و **x**) در **T=10 sec** [۱]

www.SID.ir

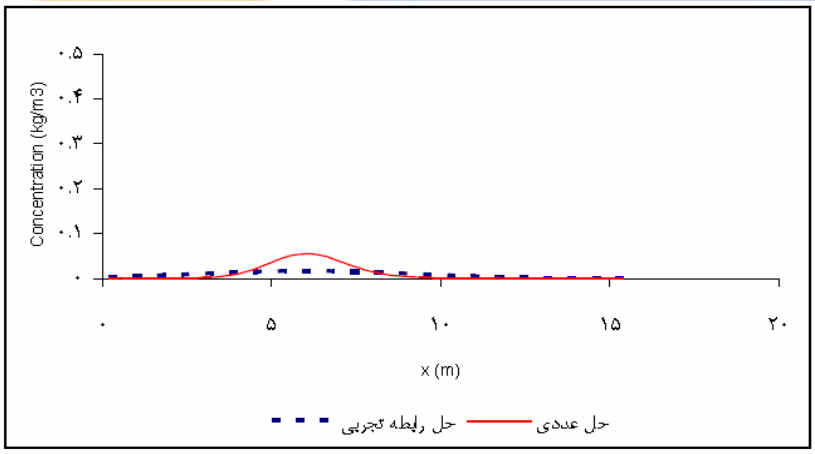
Archive of SID



شکل (۶-۱۵) نمودارتغییرات غلظت در مکان (۵ و **x**) در **T=2.5 sec** [۱]



شکل (۶-۱۵) نمودارتغییرات غلظت در مکان (۵ و **x**) در **T=10 sec** [۱]



شکل (۶-۱۵) نمودارتغییرات غلظت در مکان (۵ و **x**) در **T=70 sec** [۱]

www.SID.ir

Archive of SID

جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله مدلی عددی به منظور پیش بینی انتقال و پراکندگی ضخامت لکه نفتی بر اساس روش گسسته سازی احجام محدود توسعه‌داده-شده‌است. معادلات انتقال و پخش ضخامت لکه نفتی و مقدار متوسط غلظت نفت در ستون آب همراه و همزمان با معادلات میانگین گیری شده در عمق جریان حل می‌شوند. مدل هیدرودینامیک موجود، معادلات دو بعدی غیر دایمی ناویر استوکس متوسط گیری‌شده در عمق را حل می-کند. در حل عددی جریان از روش تغییر جهت متناوب ضمنی استفاده شده‌است. به منظور صحت سنجی انتقال غلظت لکه نفتی با نتایج یک رابطه تحلیلی مقایسه شده‌است. مدل عددی انتقال لکه نفتی را به خوبی شبیه سازی می‌کند.[۱]

منابع

۱ – فرزاد عزیزی قناد،۱۳۸۷" شبیه سازی عددی پخش آلودگی نفتی در دریا". دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های دریایی.

۲ – محمدی عراق م.، ۱۳۸۶ . " مدلسازی جریان و آشفتگی و مطالعه تاثیرات هندسه‌ی بندر بر تخلیه و اختلاط تحت تاثیر جریان های جزر و مدی با استفاده از روش احجام محدود". دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده عمران. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه های دریایی.

3 - Paval Tkalich, 2004. “A CFD solution of oil spill problems.” Enviromental Modelling & Software. Sience Direct

4 - Tkalich, P., Huda, K., Gin, k., 2003. A multiphase oil spill model. Journal of Hydraulic Research 41 (2), 1-11.

5 - Borthwick, A.G.L., Joynes, S.A., (1992), "Laboratory Study of Oil Slick Subjected to Nearshore Circulation", Journal of Environmental Engineering, Vol. 118, No.6 .

6 - ASCE Task Committee on Modeling of Oil Spills of the Water Resources Engineering Journal of Division, (1996), "State-of-the-art review of modeling transport and fate of oil spills", ASCE, Hydraulic Engineering, 122, 11, 594-609.

7 - Al-Rabeh, A.H., Cekirge, H.M., Gunay, N. (1999), "A stochastic simulation model of oil spill fate and transport", Appl. Math. Modeling, Vol. 13. June.

8 - Fingas, M.Fieldhouse, B. (2003). “Studies of the formation process of water-in-oil emulsions. “Marine Pollution Bulletin, 47, 369-396.

9 - R., Mackay, D., Prentki, R., 1999. Oil spill modelling toward the close of the 20th century: overview of the state of the art. Spill Science and Technology Bulletin 5 (1), 3–16.

www.SID.ir

Archive of SID

Numerical Model of Oil Spill and Dispersion on the Sea

F. Azizi Ghannad, F. Vafai & M. Mohamadi Iraq
K.N. Toosi University of Technology

Abstract

Nowadays oil spills are one of the most important problems in the human life. Usually advection and dispersion occurred because of chemicals, physicals and biological processes that related by properties of oil and other things like that. These processes are known as evaporation dispersion. When oil spill happen in the sea, it will be extended and made oil slick. Increasing these kinds of events will cause developing much kind of oil spill models. In this paper, one numerical model developed for simulation oil spill (advection and dispersion) using the Eulerian method and considering evaporation and oil mass exchange between the slick and the water column. This model included one hydro-dynamical model to solve layers averaged Navier - Stokes (LNS) equations, and one other model to solve advection and spreading. Alternating Direction Implicit (ADI) scheme on a staggered grid based on Finite Volume Method has also been deployed. In addition, to increase accuracy of calculations on the fluxes, a second order scheme has been used.

Keywords: *advection and dispersion of oil slick, layer averaged, multiphase model, Eulerian*

Archive of SID

www.SID.ir