پانزدهمين كنفرانس سالانه(بين المللي) مهندسي مكانيك **ISME2007**

ايران، تهران، دانشگاه صنعتي اميركبير، ۲۵-۲۷ ارديبهشت۱۳۸۶

ISME2007-1905&1910

مدلسازي مقدماتي پديده هاي انتشارواستهلاك لكه نفت بر روي سطح آب تحت تاثير برخي از مكانيزمهاي موثر

احمد رضا عظيميان

استاد- عضو هيئت علمي- دانشگاه صنعتي اصفهان

azimian@cc.iut.ac.ir

محمد علي بدري

دانشجوي دكتري - دانشگاه صنعتي اصفهان- دانشكده مهندسي مكانيک

malbdr@cc.iut.ac.ir

مهدي مولويان جزي

كارشناس- دانشگاه صنعتي اصفهان- دانشكده مهندسي مكانيک

Mehdimolavian@yahoo.com

مصطفي رفيعي

كارشناس- دانشگاه صنعتي اصفهان- دانشكده مهندسي مكانيک

Mostafa_rafiei@yahoo.com

چكيده

با توجه به‌اينكه انتشار نفت در آب دريا بسيار زيانبار بوده و صدمات زيادي به محيط زيست و سلامتي انسان وارد مي‌آورد تحقيقات گسترده‌اي در اين زمينه آغاز و بررسي موضوعاتي همچون شبيه‌سازي فرآيند انتشار نفت در آب و پاك‌سازي و جمع‌آوري آن اهميت خاصي پيداكرده‌است. معمولاً شبيه سازي سرنوشت لكه نفت در كلي‌ترين حالت با تقريب همراه است. متاسفانه هيچيک از كارهاي صورت گرفته در اين زمينه به صورت يک كد ملي ارائه نشده و به همين خاطر گروه همكار با هدف تدوين يک برنامه بومي جهت پيش‌بيني سرنوشت لكه‌هاي نفتي در آب‌هاي خليج-فارس و درياي خزر مطالعات ابتدايي را شروع، اثرات مكانيسم‌هاي مهم پيش‌بيني پراكنش ذرات نفت از جمله تبخير، امولسيون تغييرات چگالي و لزجت ، تفرق ، پراكنش عمودي و افقي را بررسي و معادلات تجربي آن‌ها را استخراج نموده و بر اساس آن برنامه‌اي به زبان فرترن نوشته است. بجز پديده‌ي انتشار نتايج حاصله از بقيه پارامترها با يک برنامه‌ي تجاري به نام آديوس [۱] مقايسه گرديده وصحت نتايج مربوط به پارامتر پراكنش افقي را بدون در نظر گرفتن جريان آب و باد و نيز پارامترهاي تبخير و امولسيون بوسيله شبيه‌سازي با نرم‌افزار فلوئنت احراز نموده‌است. ودر نهايت با برهم-نهي اثرات مربوط به هريك از پارامترها نحوه گسترش لكه نفتي پيش‌بيني شده‌است.

كلمات كليدي:

مدلسازي انتشار نفت، پراكنش لكه نفت، استهلاك نفت

مقدمه

انتقال و استهلاك نفت به وسيله‌ي جريان‌هاي فيزيكي، شيميايي و زيست‌شناختي كه بستگي به خاصيت نفت، هيدروديناميک، مترولوژي و شرايط محيطي دارد، كنترل‌مي‌شود. اين فرآيندها شامل، حركت افقي توده‌اي از هوا در اثر تغيير درجه حرارت، فوران پر تلاطم، تبخير پخش سطح، تجزيه، امولوسيون، تجزيه به وسيله‌ي آب (هيدروليز)، اكسيداسيون

تحت تأثير نور خورشيد(فوتو- اكسيداسيون)، زيست فروپاشي، و ريز كردن مولكول‌ها مي‌باشد. يكي از مهمترين اهداف در بررسي فرسايش و انتقال نفت كنترل اثرات زيست محيطي مي‌باشد. اين كنترل انسان را در انتخاب بهترين گزينه براي استراتژي پاكسازي و پاسخ به انتشار راهنمايي مي‌نمايد.

هنگامي‌كه نفت در آب انتشارمي‌يابد، تحت تاثير پروسه‌هاي متفاوتي قرارمي‌گيرد. اين فرآيندها در سه بخش انتقال، استهلاک و اندركنش (با ساحل و يخ) تقسيم‌بندي مي‌شوند. انتقال نفت در آب شامل فرآيندهاي زير مي‌باشد:

- حركت افقي بر اثر باد، موج و جريان آب[1]
- حركت و گسترش افقي بر اثر توازن نيروها[2]

استهلاک نفت نيز شامل فرآيندهاي زير است:

- تبخير[3]
- امولسيون[4]
- انحلال[5]
- پخش طبيعي در ستون آب[6]
- تغييرات بيولوژيكي توسط باكتري‌ها[7]
- اكسيداسيون در مقابل نور[8]
- هيدروليز شدن

همچنين نفت در حالات خاص، تحت اثر فرآيندهاي زير قرار مي‌گيرد:

- فعل و انفعالات نفت با يخ[9]
- فعل و انفعالات نفت با ساحل[10]

در كار حاضر فرآيند هاي انتشار و استهلاک به طور مقدماتي مورد بررسي واقع شده است و از پديده اندركنش صرفنظر شده است. [۲].

روش اتخاذ شده در اين تحقيق بر اساس اصل جمع آثار است به‌اين صورت كه در ابتدا نتايج حاصله از هريك از پارامترهاي تاثيرگذار استهلاک با خروجي نرم‌افزار تجاري آديوس براي يك مثال نمونه مقايسه و همخواني لازمه احراز گرديد . در مرحله بعدي سابروتين انتشار بدون در نظر گرفتن اثرات استهلاک ، جريان باد و آب وتنها تحت تاثير نيروهاي ثقلي بررسي شده . در اين راستا از آنجايي كه نرم‌افزارهاي تجاري موجود اين فرآيند را به تنهايي بررسي نمي‌كند بوسيله نرم‌افزار فلوئنت پراكنش افقي نفت را براي يك مثال نمونه و تحت شرايط فوق شبيه‌سازي و خروجي برنامه نوشته شده توسط آن صحت‌سنجي گرديد.

در نهايت با اتكا به نتايج ذكرشده و بر اساس اصل جمع آثار، صحت برنامه براي انتشار لكه نفتي تحت تاثير همه پارمترهاي مهم تاثير گذار مورد اعتنا قرار گرفته و براي يك مثال نمونه نتايج خروجي ذكر شده‌است.

۱- فرآيند انتشار و استهلاک لكه نفت بر روي آب دريا

وقتي نفت در آب حل مي‌شود به صورت يک ديافراگم نازک (oil slick) در سطح آب وسعت مي‌يابد و حركت اين سطح به علت همراه شدن با جريان، امواج و باد آغاز مي‌شود. هم‌چنين سطح در حال حركت بر اثر توازن نيروها (گرانشي، اينرسي، ويسكوزيته و تنش‌هاي داخلي آب و نفت) پخش مي‌شود. اجزاي سبک (با وزن مولكولي كم) تبخير مي‌شوند. مولفه-هاي با قابليت انحلال در آب حل مي‌شوند. بخش قابل معلق شدن در آب تشكيل امولسيون مي‌دهد. اجزاي سنگين‌تر در آب رسوب مي‌كنند و روند تغييرات بيولوژيكي نيز به كندي انجام مي‌شود. با توجه به مسائل فوق در صورتي كه نفت فرصت كافي داشته باشد مي‌تواند به طور كامل تحت‌تأثير فرآيندهاي بيولوژيكي قرار گرفته و فرسايش يابد. اما متأسفانه طبيعت هيچ‌گاه چنين فرصتي را در اختيار نمي‌گذارد، زيرا نفت به مناطق حساس (از نظر اكوسيستم) و يا خليج‌هاي كوچک و سواحل برخورد كرده و زبان-هاي فراواني را بر جاي مي‌گذارد.

در زمينه شبيه‌سازي فرآيند انتشار نفت مدل‌هاي متعددي وجود دارد (۵۰ مدل مختلف[۳]). برخي از اين مدل‌ها براي موارد خاص تهيه شده‌اند. همچنين مدل‌هايي تجاري نيز براي اين منظور وجود داشته و قابل مراجعه هستند. در حال حاضر تعداد مدل‌هاي سه بعدي و تجاري كم نيست ولي متأسفانه دسترسي به اغلب آنها دشوار بوده و عمومي نمي‌باشد. در كار

1-advection
2-spreading
3- evaporation
4 - emulsion
5 - dissolution
6 - natural dispersion
7- bio-degradation
8- photo-oxidation
9- ice interaction
10- shoreline interaction

حاضربه عنوان بخشي از يك سلسله مطالعات راهبردي در راستاي شبيه سازي مسير حركت لكه نفت وتحت روش ذكر شده در مقدمه به بررسي پديده انتشار و استهلاك نفت پرداخته شده است.

۲- شبيه‌سازي گسترش افقي لكه نفت فارغ از اثرات استهلاك

جهت صحت‌سنجي فرآيند گسترش افقي بدون در نظر گرفتن تاثيرات استهلاك به شبيه‌سازي اين فرآيند توسط نرم‌افزر فلوئنت مي‌پردازيم.

گسترش افقي يا spreading به سبب نيروهاي مكانيكي مثل جاذبه، اينرسي، چسبندگي و تنش‌هاي مياني بوجودمي‌آيد. در شبيه‌سازي اين پروسه هيچ‌يك از ترم‌هاي جريان آب، باد و موج در مسئله وارد نشده است. در ادامه به ذكر توضيحاتي در رابطه با مدلهاي آشفتگي و روش انفصال معادلات در فلوئنت مي پردازيم.

۲-۱- مدل‌هاي آشفتگي

معادلات حركت جريان در حالت آشفته براي سيال تراكم‌ناپذير بصورت زير مي‌باشد.

۲-۱-۱- معادله پيوستگي

(۱)
$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_1} = 0$$

(۲)
$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \overline{u}_j \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + g_{x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(v\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u_i' u_j'} \right)$$

۲-۱-۲- معادله ممنتوم

اين معادلات همان متوسط‌گيري‌شده زماني معادلات ناوير- استوكس مي‌باشند. نرم‌افزار فلوئنت مدل‌هاي آشفتگي متعددي را براي تحليل جريان در اختيار مي‌گذارد. اين مدل‌ها در جريان دو بعدي شامل مدل يك‌معادله‌اي Spalart-Allmaras دو معادله‌اي $k-\omega, k-\varepsilon$ ، پنج معادله‌اي Reynolds-Stress مي‌باشند. در حالت سه بعدي مدل تنش‌هاي رينولدز به هفت معادله‌اي تغييريافته و مدل Large-Eddy-Simulation نيز افزوده‌شده‌است. مدل تك‌معادله‌اي فقط يک معادله براي انتقال ويسكوزيته سينماتيک حل‌مي‌كند. مدل‌هاي دو معادله‌اي معادلاتي جهت انتقال k و ε يا (k و ω) بكارمي‌برند.

به عنوان نمونه معادلات اضافه شده براي مدل $k-\varepsilon$ استاندارد ازقرار زير مي‌باشند.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_i}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] + G_k + G_h - \rho\varepsilon - Y_M + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}G_h) - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon$$

پارامترهاي مورد استفاده در معادلات مذكور در راهنماي فلوئنت [۴] شرح داده‌شده‌اند. لازم بذكر است كه در فلوئنت، براي هر يک از مدل‌هاي آشفتگي حالات متعددي در دسترس مي‌باشد.

به‌نظر مي‌رسد در مسئله حاضر با توجه به توضيحات داده‌شده در راهنماي فلوئنت مدل‌هاي $k-\varepsilon$ استاندارد و RNG مناسبتر از بقيه مدل-ها باشند. بنابراين در شبيه‌سازي اين مسئله از مدل $k-\varepsilon$ حالت استاندارد استفاده شده‌است. از آنجائيكه ضرايب ثابت موجود در اين مدل‌ها تا حد زيادي با كارهاي آزمايشگاهي صحت‌سنجي شده‌است، تغييري در آنها داده‌نشده و از مقادير پيش‌فرض نرم‌افزار فلوئنت استفاده شده‌است. اين مقادير پيش‌فرض براي مدل‌هاي مختلف $k-\varepsilon$ از قرار زير مي‌باشند.

جدول ۱) مقايسه ضرايب ثابت مدلهاي مختلف آشفتگي $k-\varepsilon$

مدلهاي آشفتگي	ضرايب ثابت				
	δ_c	δ_k	$C_{2\varepsilon}$	$C_{1\varepsilon}$	C_μ
Standard	1.3	1.00	1.92	1.44	0.09
RNG	-	-	1.68	142	0.0845
Realizable	1.20	1.00	1.90	-	-

۲-۲- روش انفصال معادلات

بطور كلي براي انفصال معادلات در شبيه‌سازي عددي مي‌توان از روش‌هاي مختلفي همچون اختلاف‌محدود، حجم‌محدود و المان‌محدود بهره جست. نرم‌افزار فلوئنت از روش حجم محدود استفاده مي‌كند. براي انفصال معادله ممنتوم، انرژي آشفتگي و استهلاک آشفتگي طرح‌هاي موجود عبارتند از: آپويند معمولي[1] و درجه دوم[2] ، طرح توانی[3] و كوئيک[1].

1- Upwind -

2- SOU

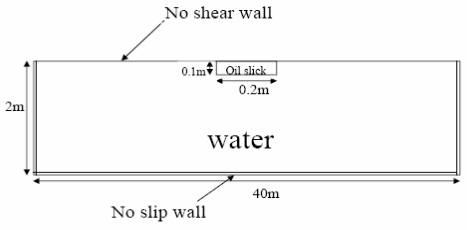
3- power Law

معمولاً براي شروع حل استفاده از روش‌هاي آپويند درجه دوم و تواني مناسب مي‌باشد ولي پس از همگرايي ميدان مي‌توان از طرح درجه اول استفاده‌نمود. اما بطور كلي طرح تواني از افزايش بيش از حد نسبت ويسكوزيته آشفتگي جلوگيري نموده و همگرايي را در اغلب موارد تضمين مي‌كند. در اين شبيه سازي از طرح تواني استفاده شده است.

از آنجا كه در كوپل ميدان حركت و فشار نمي‌توان از شبكه ثابت استفاده‌نمود و بايستي از شبكه جابجاشده بهره‌برد. در فلوئنت امكان استفاده از الگوريتم‌هاي PISO و SIMPLE,SIMPLEC وجوددارد. نكته مهم ديگر استفاده از ضرايب زير تخفيف براي پارامترها در انفصال بوده كه از مهم‌ترين عوامل در همگرايي و سرعت آن به‌شمارمي‌رود. در كار حاضر اين ضرايب براي فشار، چگالي، نيروي كالبدي، ممنتوم، جزء سيال، انرژي-جنبشي‌آشفتگي، نرخ استهلاك آشفتگي و ويسكوزيته‌آشفتگي با توجه به اينكه دقت در انتخاب اين ضرايب از مهم‌ترين امور در شبيه‌سازي عددي به شمار مي‌رود مورد عنايت بوده است..

۲-۳- هندسه مساله

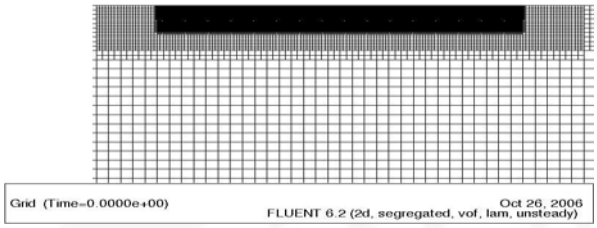
عوامل كليدي در اين پروسه ضخامت و سطح لكه نفت مي‌باشد وهدف، مقايسه نتايج حاصل از شبيه‌سازي با خروجي برنامه نوشته‌شده با استفاده از معادلات تجربي Fay مي باشد. [۵] در معادلات فاي فرض شده‌است كه در لحظه‌ي اوليه عرض لكه نفتي صفر مي‌باشد، بنابراين در روند شبيه-سازي هر چه عرض اوليه لكه رهاشده در سطح آب كوچكتر باشد جواب-هاي بدست‌آمده دقيق‌تر خواهدبود . هندسه‌ي مسئله شامل يك حوضچه با طول قابل ملاحظه براي از بين بردن اثرات ناشي از ديواره‌ها و نزديك كردن هندسه به شرايط واقعي دريا مي‌باشد.حوضچه داراي طول ۴۰ متر و عمق ۲ متر و لكه نفتي به صورت يك مستطيل با طول و عرض ۲. و ۰۵. متر به‌طور متقارن روي سطح آن قراردارد(شكل ۱). دليل عرض كم لكه نفتي همانطور كه گفته‌شد جهت دقيق‌تر بودن جواب‌هاست



4- QUICK

شكل۱) نماي كلي دامنه حل

براي انفصال ميدان از شبكه مستطيلي سازمان يافته استفاده مي-شود. اين شبكه براي جريان‌هاي معمولي مقدار پخش كاذب كمتري دارد و دقت آن در اين نوع مسائل از حالت مثلثي كمتر نخواهد بودو نكته مثبت آن در تعداد كمتر سلول‌هاي مورد نياز براي شبكه‌بندي است. البته در نواحي اطراف لكه نفتي كه نياز به شبكه ريزتر و حل دقيق‌تري است



شكل۲) شبكه ريز شده در اطراف لكه نفتي

۲-۴- تعيين شرايط اوليه

شريط مرزي براي كامل كردن سيستم معادلات و در گره‌هاي مرزي اعمال مي شوند . شرط مرزي در ديواره‌ها به صورت ديواره با فرض بدون لغـزش[۲] براي ورودي، خروجي و كف استفاده مي‌شود. سطح آب براي قسمت تماس آب و هوا و همينطور نفت و هوا با شرط مرزي ديواره با تنش برشي صـفر[۳] مشخص مي‌شود. شرط مرزي ديواره با تنش برشي يكي از شروط سه‌گانـه تقارن در فلوئنت مي‌باشد كه در اينجا به دو مورد ديگر پرداخته نمي‌شود.

۳- بررسي اثرات تبخير و امولسيون

براي استفاده از مدل و سنجش اعتبار برنامه‌ي نوشته‌شده شرايط زير به عنوان يك سناريوي ريزش در نظر گرفته شد.

روز۲۹ جولاي در ساعت ۶:۰۰ برخورد يك تانكر در عين سوخنا در درياي سرخ باعث شد كه حدود ۷۰۰ متر مكعب نفت خام سبك عربي وارد دريا شود.محل ريزش در حدود ۶km از ساحل دريا فاصله داشت.

براي مقايسه‌ي بهتر در ميان روابط موجود چندين سابروتين مختلف بر پايه-ي مدل‌هاي گوناگون نوشته شد و هر كدام اجرا گرديد. سپس براي مقابسه، مسأله در نرم‌افزار Adios نيز تعريف و با آن نرم‌افزار نيز حل گرديد.

1- no slip

2- no shear

در ضمن سابروتين‌هاي تغيير در چگالي و لزجت نيز در در نرم‌افزار، نوشته شده و خروجي آن در سابروتينهاي امولسيون و تبخير فراخوانده ميشود.

۳-۱- شبيه‌سازي تبخير

شبيه‌سازي تبخير به طور كلي يک بحث كاملاًمطالعه شده است. دو روش كه براي محاسبه تبخير استفاده شده است، بر اساس روش اجزاي واحد يا چندگانه است. روش اجزاي واحد معمولاً در مورد نفت به كار برده نمي‌شود.

۳-۲- تقريب اعضا[1]

مدلي كه براي رديابي نفت به كار مي‌رود روش اجزاي چندگانه خواهد بود و به آن چه كه مكي ذكر كرده است، شبيه است. مكي يک مدل به صورت رياضي براي تبخير نفت پيشنهاد كرده است. معادله به صورت زير مي‌باشد.

$$\Delta M_i = K_m A \Delta t X_i P_i^s / RT \qquad (۳)$$

كه در آن X_i كسر مولي فاز نفت جزء iام و si جزء خالص قابل حل iام($mol.cm^{-2}$) و ΔM_i مقداري از جزء iام است كه به وسيله تبخير از دست رفته‌است (مول)، K_m برابر ضريب توده انتقال‌يافته از تبخير (m/s)، A برابر مساحت لكه نفتي (m^2)، Δt گام زماني(s)، R ثابت‌جهاني‌گاز [۸/۲۰۶*۱۰$^{-5}$ atm-m^3/mol.k] و T دماي اطراف بالاي لكه [۲۹۳K] است. در معادله ۲-۱۱، $X_i P_i^s$ فشار بخار جزئي عنصر iام را نشان مي‌دهد، كه در اين جا X_i برابر $\frac{M_i}{\Sigma M_i}$ است و P_i^s برابر فشار بخار عنصر iام است [۰/۲۳۶۸ atm] و ضريب توده انتقال يافته K_m توسط ماتسوگو و مكي[۶] محاسبه شد. آنها يک فرمول براي محاسبه ضريب توده انتقال يافته بر اساس آزمايشات بر اثر تبخير در آب و بنزين بدست آورند.

$$K_m = 0.0292 U^{0.78} D^{-0.11} Sc^{-0.67} \qquad (۴)$$

كه در آن K_m ضريب توده انتقال يافته (m/hr)، U سرعت باد(m/hr)، D قطر لكه و Sc عدد اشميت Schmidt كه نشان دهنده سختي سطح است. اليوت و هرفورد[۶] اين معادله را به وسيله ادغام قطر لكه و تعداد Schmidt در ضريبي به صورت ساده‌تر در آوردند. معادله حالا به صورت زير مي‌باشد.

$$K_m = 2.5 \times 10^{-3} U^{0.78} \qquad (۵)$$

مقدار نفت باقي مانده بعد از هر مرحله از تبخير به سادگي با استفاده از رابطه زير محاسبه مي‌شود.

$$M_{i(new)} = M_{i(old)} - \Delta M_i \qquad (۶)$$

$$X_i = M_i / \Sigma M_i \qquad (۷)$$

۳-۳- نمايش تبخيري[2]

اين مدل مدل مورد استفاده در نرم‌افزار Adios مي‌باشد. اين نرم-افزار حاوي يك مدل جزء ساختگي[3] در تقريب جزء ساختگي نفت‌هاي خام و محصولات پالايش شده به صورت اجزاي بدون اثر متقابل گسسته مدلسازي مي‌شوند. هر جزء كاذب به صورت يك جسم تنها همراه با يك فشار بخار وابسته رفتار مي‌كندو تبخير هر جزء به صورت مجزا دنبال مي-شود.

۳-۴- روش تجربي

آزمايشات نشان مي‌دهد كه نفت اصلاً يك لايه‌ي مرزي هوايي درست نمي‌كند. اين حقيقت كه تبخير اصلاً يك لايه‌ي مرزي درست نمي‌كند، به اين موضوع اشاره مي‌كند كه يك مدل تبخير ساده مي‌تواند اين پديده را مدل كندو نيازي به توجه به پارامترهاي سرعت باد، مرتبه‌ي اغتشاش، مساحت و اندازه‌ي گام‌هاي زماني نيست. بنابراين زمان و دما فاكتورهاي مهم براي تبخير هستند.

پارامترهاي روابطي كه به صورت تجربي براي نفت بدست آمده‌اند، مي‌توانند به اطلاعات تقطير نفت‌هاي موجود مربوط شوند. به طور خاص، پارامترهاي رابطه به درصد تقطير نفت در ^0C ۱۸۰ وابستگي شديد دارند. روابط بدست آمده‌ي زير محاسبه‌ي مستقيم رابطه‌ي تبخير را از داده‌هاي تقطير ميسر مي‌سازد[۷].

$$\text{Percentage evaporated} = A + B\,(\%D)\ln(t) \qquad (۸)$$

۱-Component approach

• 1-Evaporative exposure method or analytical method (Stiver and Mackay, 1984)

2-Pseudo-component

$$\text{Percentage evaporated} = A+B(\%D)\sqrt{t} \qquad (۹)$$

درصد وزني نفت تقطير شده در $180^{0}C$ و t زمـان در واحـد دقيقـه است. A و B ثوابتي هستند كه از طريق آزمايش بـراي نفـت هـا مختلـف محاسبه شده‌اند. اگر اين رابطه را به روابطي كه براي تغيير درجـه حـرارت موجودند اضافه كنيم روابطي به شكل زير بدست مي‌آيند.

$$\%F_{em} = \begin{Bmatrix} \left(0.165(\%D)+0.45\left(T^{*}_{oil}\right)\right)\ln(t) \\ or \\ \left(0.0254(\%D)+0.01\left(T^{*}_{oil}-15\right)\right)\sqrt{t} \end{Bmatrix} \qquad (۱۳)$$

در اين روابط دما بر حسب ^{0}C است.

۳-۵- شبيه‌سازي امولسيون

اين نكته قابل قبول است كه نظريه‌اي كه به وسيله مكي[۸] ارائه شده است بهترين شبيه‌سازي از امولسيون است. او يک معادله را كه غلظت امولسيون را پيش بيني مي‌كرد بدست آورده و ارائه كرده است.

$$\mu_E = \mu_0 \exp\left(2.5w/\left(1-k_1 w\right)\right) \qquad (۱۴)$$

μ_o, μ_E به ترتيب برابر ويسكوزيته براي امولسيون و نفت اوليه هستند. W برابر كسر آب موجود در امولسيون است. K_1 برابر نسبت ثابتي از آب الحاقي است. ضريبي كه به وسيله مكي انتخاب شده است برابر ۲/۵ است، بنابراين از معادله اينشتين Einstin براي ويسكوزيته نسبي μ_E/μ_0 در رقيق كردن سوسپانسيون تبعيت مي‌كند. مكي در مورد K_1 از مقدار ۰/۶۵۴ براي آب شور و ۰/۶۲۱ براي آب شيرين استفاده كرد. او يک معادله براي مقدار آب در يک شكل متفاوت معين پيشنهاد كرد.

$$\Delta W = K_A\left(u+1\right)^2\left(1-k_B w\right)\Delta t \qquad (۱۵)$$

كه در آن k_A يک مقدار ثابت و K_B يک مقدار ثابت در حدود ۱/۳۳ است، u سرعت باد و Δt گام زماني است. فاي شبيه‌سازي ريزش نفت شامل تعدادزيادي آزمايش درباره امولسيون است را ارائه كرده است. او معادله‌هاي مكي را تأييد كرده و يک معادله براي چگالي امولسيون به صورت زير ارائه نمود.

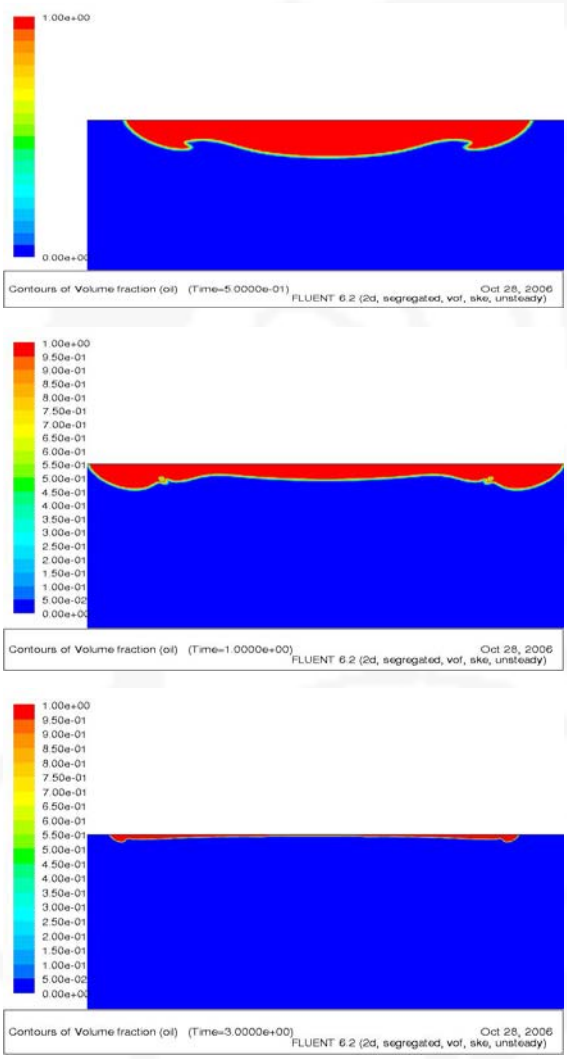
$$\rho_E = W\rho_w + \left(1-W\right)\rho_0 \qquad (۱۶)$$

كه در آن ρ_0, ρ_w, ρ_E به ترتيب برابر چگالي امولسيون، آب و نفت هستند[Kg/m^2].

۴- نتايج

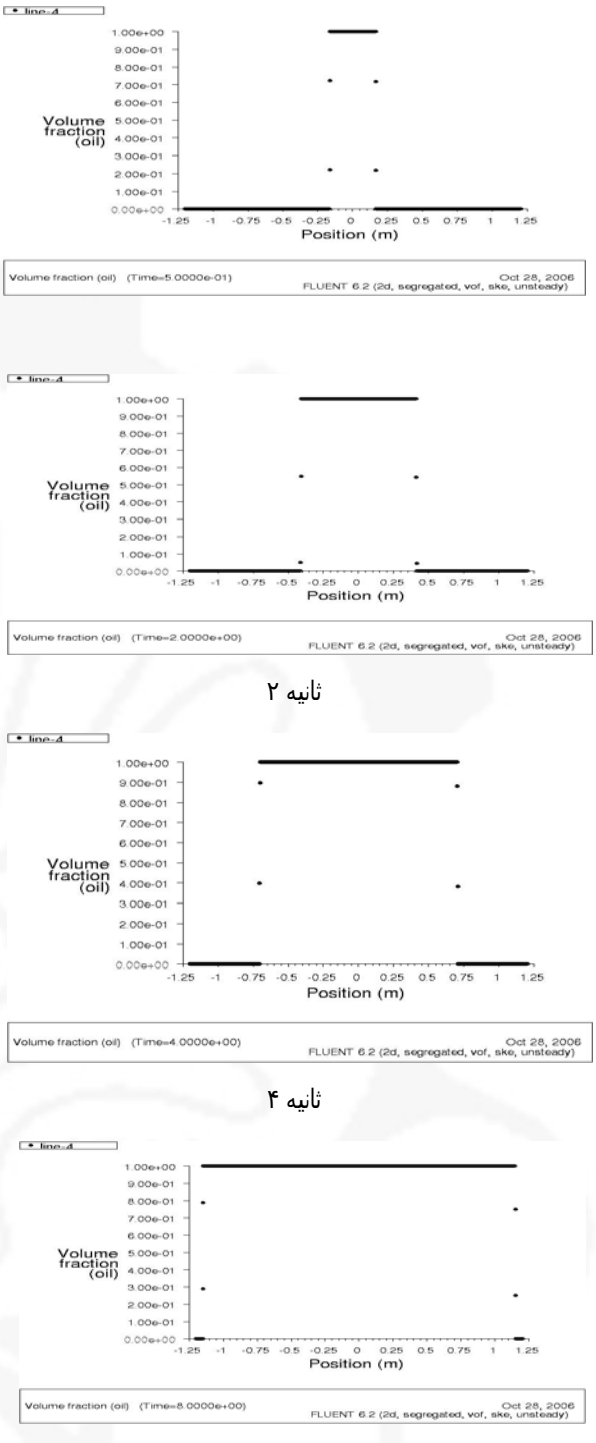
۴-۱- پديده انتشار

در بررسي پديده انتشار حل مسئله تا ثانيه هفتم پس از رهاسازي ادامه داده شده است. از حدود اين زمان به بعد چون نيروهاي موثر بر گسترش تغير مي‌كند و نيروهاي بين سطحي اهميت پيدا مي‌كند ادامه شبيه‌سازي توجيح‌پذير نيست. در ادامه سرنوشت لكه نفتي در ثانيه‌هاي ۰/۵ ، ۱، ۲و ۳ ثانيه (شكل۳) مشاهده شده است.



شكل۳) سرنوشت لكه نفتي

براي اندازه‌گيري دقيق عرض لكه نفتي، خطي روي سطح آب تعريف كرده و در هر يک از لحظاتي كه جواب ذخيره شده نموداري از درصد-حجمي نفت در سلول‌هاي روي خط تعريف شده تهيه مي‌كنيم. در شكل ۴ مي‌توان نمودارهاي ذكر شده را در همان زمان‌هاي گفته شده قبلي مشاهده كرد.



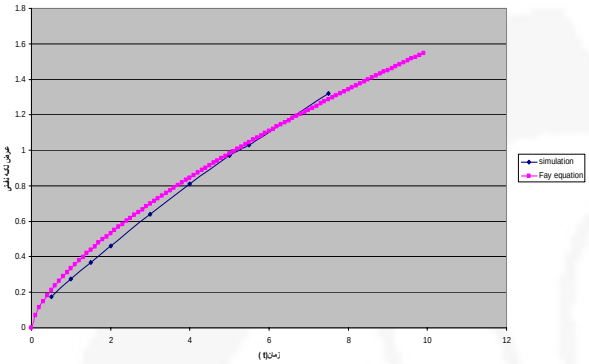
ثانيه ۲

ثانيه ۴

ثانيه ۸

شكل۴) نمودار تغييرات عرض لكه نفتي

با توجه به نمودارهاي بالا مي‌توان نمودار گسترش نفت پيش‌بيني شده توسط نمايه‌سازي را تهيه و آن را با خروجي برنامه نوشته‌شده كه بر مبناي معادلات تجربي فاي تدوين گرديده‌است مقايسه كرد(شكل ۵). البته در گرفتن خروجي از برنامه جهت انجام اين مقايسه توجه شده‌است كه سرعت جريان آب و باد برابر صفر قرار گيرد تا گسترش لكه فقط و فقط به سبب نيروهاي اينرسي، جاذبه و نيروهاي بين سطحي لحاظ گردد. همانطور كه از نمودار بر مي‌آيد و قبلا هم به آن اشاره‌شد روابط فاي عرض لكه نفتي را در ابتداي رهاسازي صفردر نظر مي‌گيرد و به‌همين جهت در پروسه شبيه-سازي هر چه كه عرض ابتدايي لكه را كمتر در نظر بگيريم دقت خطاي كمتري بوجودمي‌آيد.



شكل۵) نمودار نتايج حاصل از شبيه‌سازي و نتايج تجربي فاي

همچنين در جدول ۲ خطاهاي شبيه‌سازي در طول زمان آمده‌است.

جدول ۲) خطاي شبيه‌سازي

زمان(ثانيه)	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۳	۴	۵	۵,۵	۷
خطا(درصد)	۱۷	۱۸	۱۵	۱۳	۸	۵	۱	۲	-۷

همانطور كه ملاحظه مي‌شود مقادير خطاها روند نزولي را طي مي‌كند و با توجه به فرض صفر بودن عرض لكه در لحظه رهاسازي نفت اين سير كاملا توجيه‌پذير است. البته در لحظات پاياني با توجه به نظريه فاي مبني بر تغيير نيروهاي حاكم بر پراكنش افزايش مجدد خطا درست به نظر مي-رسد.

۴-۲- پديده استهلاك

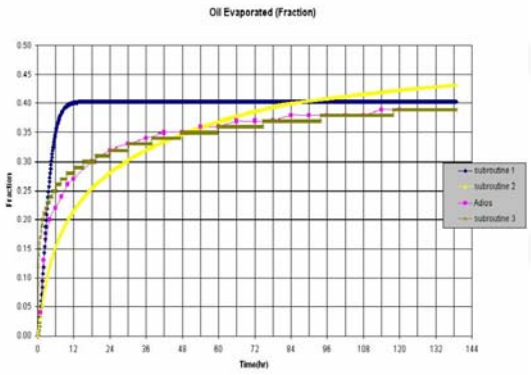
از آنجايي كه نرم‌افزار Adios يك نرم‌افزار تجاري معتبر جهاني است، نتايج حاصل از اجراي اين نرم‌افزار با نتايج سابروتين‌هاي مختلف مقايسه گرديد. البته نكته قابل توجه اينكه، بهتر است چنين مقايسه‌هايي با داده‌هاي تجربي صورت گيرد، ولي به علت عدم دسترسي به چنين داده‌هايي انجام چنين مقايسه‌اي امري گريز ناپذير مي باشد.

همان‌گونه كه در شكل ۶ مشاهده مي‌گردد، در ابتداي سناريوي ريزش، سابروتين ۱ كاملاً با نرم‌افزار Adios هم‌خواني دارد، ولي در ادامه نتايج حاصل از سابروتين تجربي(سابروتين ۳)، با نتايج نرم‌افزار تجاري هم‌پوشاني بسيار خوبي دارد. در پايان محدوده همه‌ي نمودارها، محدوده‌ي كوچكي

(۰/۴۳۲-۰/۳۹) است كه در مجموع به نظر مي رسد نتايج همه‌ي سابروتين‌ها از لحاظ علمي قابل قبول ميباشد.

از حدود ۴ ساعت پس از ريزش، سابروتين۱ شدت تبخير زيادي را نشان مي‌دهد، كه با توجه با ديگر داده‌ها قابل قبول نيست. اين روند افزايش سريع تبخير به جايي مي‌انجامد كه در ۱۲ ساعت اين سابروتين نسبت به داده‌هاي Adios، حدود ۳۵% خطا را نشان مي‌دهد، كه اصلاً قابل قبول نيست. اين سابروتين در ادامه روند ثابتي را دارد، به‌گونه‌اي كه اين خطا مرتباً كاهش مي‌يابد و در پايان به حدود ۳% مي‌رسد.

سابروتين۲ در ابتدا اعداد كمتري نسبت به داده‌هاي Adios ارائه مي‌دهد ولي در ادامه از حدود ۵۴ ساعت اعداد ارائه شده بيشتر مي‌شود. اين سابروتين در بيشترين اختلاف خود (در ۱۲ ساعت)، حدود ۱۸% خطا را نشان مي‌دهد. و در پايان اين خطا به عدد۹/۷% مي‌رسد. در مورد سابروتين ۳ مي‌توان گفت كه در ابتداي امر خطاي زيادي دارد(حدود ۳۵% در ۲ ساعت) ولي از حدود ۱۲ ساعت پس از ريزش تقريباً اعداد آن با اعداد ارائه‌شده توسط Adios يكسان است. به‌طوري كه در بيشترين خطا حدود ۳% خطا مشاهده مي‌شود. بنابراين استفاده از تركيبي از سابروتين‌هاي اول وسوم براي زمان‌هاي مختلف (در ۱۲ ساعت اوليه سابروتين اول و در ادامه سابروتين سوم) مناسب خواهد بود.



شكل ۶) نمودار مقايسه‌ي نتايج سابروتين‌هاي ذرات معلق با داده‌هاي Adios

در كل سابروتين‌هاي امولسيون تطبيق بهتري دارند، اين تطبيق در ابتداي امر كمتر و در ادامه به علت رسيدن به حداكثر امولسيون زياد مي‌شود. سابروتين اول در ابتداي امر و تا حدود ۹ ساعت تقريباً بر داده‌هاي Adios منطبق است ولي در ادامه اين تطبيق كم مي‌شود، به گونه‌اي كه در حدود ۱۷ ساعت خطا به حدود ۶ درصد خطا مي‌رسيم، ولي در ادامه پس از ۳۶ ساعت، به علت اين‌كه داده‌هاي Adios به حداكثر مي‌رسد، داده‌ها كاملاً منطبق مي‌شود. سابروتين دوم در همان ابتداي امر روندي سريع به خود مي‌گيرد، به‌گونه‌اي كه در حدود ۵ ساعت اين سابروتين ۳۰% خطا را نشان مي‌دهد. اين خطا مرتباً كاهش مي‌يابد و در ۱۸ ساعت به حدود ۹/۶% مي‌رسد. اين روند كاهش به‌گونه‌اي ادامه مي‌يابد كه پس از ۳۶ ساعت خطاي ۰% مشاهده ميشود. با توجه به روند خطاها، استفاده از سابروتين اول به علت آن‌كه در تمامي زمان‌ها كمتر از ۱۰% خطا را نشان مي‌دهد، توصيه مي گردد.

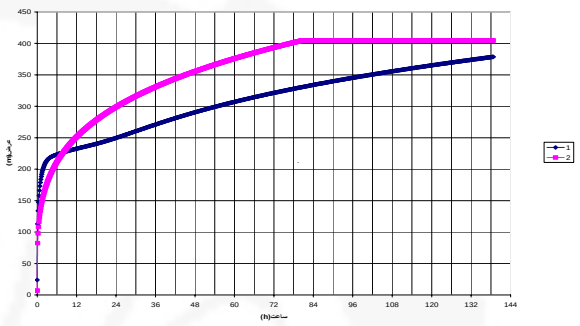
۴-۳- دلايل ايجاد خطا

در مورد اختلاف بين اعداد ارائه شده توسط نرم‌افزار نگاشته‌شده توسط نگارنده و نرم‌افزار تجاري Adios مي‌توان نكات زير را يادآور شد:

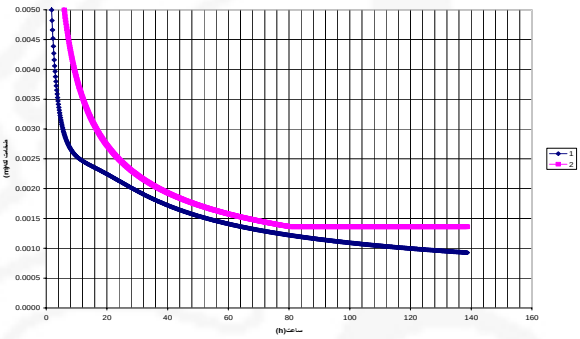
- نرم‌افزار Adios يك نرم‌افزار تجاري آمريكايي است، كه توسط داده‌هاي تجربي ريزش نفت در خليج آلاسكا صحت‌سنجي شده‌است و تطبيق آن در شرايط مختلف جاي بحث دارد.
- نرم‌افزار نوشته‌شده، براي حالت دور از ساحل نگاشته شده‌است و قابليت محاسبه‌ي تأثير ساحل در ارتفاع موج را ندارد. در صورتي كه در مورد مسئله مدل شده، فاصله از ساحل فقط ۶ كيلومتر مي باشدو براي دقت بيشتر قابليت استفاده از ساحل براي محاسبه‌ي ارتفاع موج را در نرم‌افزار Adios بي اثر شده است.
- بايد اين نكته را در نظر داشت كه هردوي اين نرم-افزارها مدل‌هايي براي مدل‌سازي داده‌هاي تجربي‌اند و تطبيق مدل‌ها را بايد با داده‌هاي تجربي صورت داد، كه متأسفانه به علت عدم دسترسي به اين‌گونه داده‌ها اين عمل صورت نگرفت.
- نرم‌افزار Adios قابليت وارد كردن اعداد اعشاري را ندارد. بنابراين اعداد ورودي كمي كمتر از اعداد ورودي در نرم‌افزار تهيه شده مي‌باشد، كه ممكن است باعث ايجاد خطا شود.

درستي نتايج احراز شده در مراحل قبل به تاييد كلي برنامه مي‌انجامد كـه انتشار لكه نفتي را با در نظـر گـرفتن اسـتهلاك نفـت و جريـان آب و بـاد پيش‌بيني مي‌كند.

در شكل ۷ تغييرات عرض لكه نفتـي را بـراي مثـال نمونـه ذكـر شـده در ساعات بعد از ريزش آورده‌شده وشكل ۸ ضخامت اين لكه را نشان ميدهد.



شكل ۷- تغييرات عرض لكه نفت



شكل۸-ضخامت لكه نفت

در اشكال فوق نمودار۱ تغييرات را تحت تاثيرنيروهاي ثقلي، عوامل استهلاك و ديگر موارد نشان مي‌دهد ،در صورتيكه نمودار ۲ اين تغييرات را صرفا تحت تاثير نيروهاي ثقلي نشان مي‌دهد.

۵- پيشنهادات

بين نتايج حاصله از نرم‌افزار تجاري adios و برنامه نوشته شده با فرترن همخواني نسبي برقرار است، كه البته از آنجايي‌كه دقت نرم‌افزار آديوس هم آنچان بالا نيست در اين مرحله نتايج راضي كننده‌است. در ادامه به پيشنهاداتي در زمينه‌ي تكميل اين تحقيق پرداخته شده‌است

- با توجه به گسترش زبان‌هاي برنامه‌نويسي شئ‌گرا از اين زبان‌ها براي نوشتن برنامه‌ها استفاده نمود.

- براي صحت‌سنجي نرم‌افزار ارائه‌شده و تطبيـق آن بـا داده‌هـاي تجربـي كشور، خليج فارس و درياي عمان اقدام نمود.

- به برنامه نوشته‌شده كتابخانه‌اي از خصوصيات نفت‌هاي مختلف اضافه شود، همچنين در راستاي هدف اصلي اين تحقيق كه همانا تهيه يک نرم-افزار بومي است، تهيه كتابخانه‌اي شامل خصوصيات اقليمي نواحي مختلف آب‌هاي ايران و اضافه كردن آن به برنامه ضروري به‌نظر مي‌رسد. البته براي كامل شدن اين كار بررسي بيشتر روابط به‌كار رفته براي به‌حداقل رساندن اختلاف نتايج با داده‌هاي تجربي ضروري است.

- پيشنهاد مي‌شود براي كامل شدن كار با اضافه كردن فاز سوم هوا به بررسي اثرات باد، جريان آب و موج بر روي پراكنش نفت پرداخته‌شود.

۶- مراجع

1. The NOAA/HAZMAT shoreline assessment Manual(Report 98-3),

۲- بدري ، محمد علي، معرفي مكانيزم هاي مهم جهت پيش‌بيني نحوه پراكندگي نفت حاصل از رهاسازي مداوم ،دومين همايش ملي علوم و فناوري هاي زيردريا، ايران، اصفهان، آذرماه۸۲ ، صفحه ۲۱۳-۲۲۱ .

۳-. مشكاتي، محمد هادي، شبيه سازي عددي انتشار نفت در آب،پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه تربيت مدرس، ۱۳۸۳.

4. FLUENT users guide, version 6.2 .30, fluent, Inc, NH, USA, 2003.

5. Fay, J.A. “Physical Processes in the Spread of Oil on a Water Surface” Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills, Washington , D.C., June, Amer. Petrol. Inst., p.p. 463-467. 1971.

6-Mackay, D., and Matsugu, R.S. “ Evaporation Rates of Liquid Hydrocarbon Spills on Land and Water,” Canadian J. of Chemical Engineering, Vol. 51, August, 434-439 ,1973.

7-Merv F. Fingas, “Modeling evaporation using models that are not boundary-layer regulated” Journal of Hazardous Materials 107 PP 27–36, 2005.

8- Mackay, D., and Zagorski, W. “Studies of water-in-oil emulsions,” Manuscript Report EE-34, Environment Canada, Ottawa, Ontario, p. 10 1982