

# پیش بینی کیفی و کمی بررسی فرآیندهای مؤثر بر سطح لکه نفت و میعانات گازی حاصل از ریزش اتفاقی در سواحل شمالی خلیج فارس

پژوهش نفت

سال بیست و چهارم

شماره ۷۷

صفحه، ۱۴۷-۱۳۵ ۱۳۹۳

تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۴/۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۱/۹/۲۷

شهلا حبیبی واحد زنجانی

پژوهشکده برق، مکانیک و ساختمان، گروه پژوهشی مکانیک و فلزشناسی پژوهشگاه استاندارد،

shhabibip@standard.ac.ir

## مقدمه

در سال‌های اخیر، مسأله افزایش آلودگی توده‌های آب و نواحی مجاور خط ساحلی به دلیل ریزش نفت مورد توجه بوده است. ریزش عمده نفت می‌تواند خط ساحلی را آلوده کند و باعث صدمات بلند مدت در محیط آبیان برای ماهیگیری و حیات وحش شود. برای آماده بودن در چنین حوادثی، بسیاری از آژانس‌های دولتی، نقشه‌های ریزش نفت غیرمترقبه را تهیه کرده‌اند که مؤلفه مهم این نقشه‌ها، کاربرد مدل‌های عددی است که حرکت لکه نفت و توزیع غلظت‌های ذرات نفت را در آب‌های ساحلی پیش‌بینی می‌کند. عموماً، انتقال و جابه‌جایی نفت ریزش شده می‌تواند توسط فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تحت تأثیر قرار گیرد که شامل گسترش، جابه‌جایی، تبخیر، حلالیت، پراکندگی طبیعی، امولسیون‌سازی، درون آمیختگی در ستون آب، فتواکسیداسیون، رسوب‌سازی، پخش آشفتگی به دلیل جریان و باد و تجزیه بیولوژیکی می‌باشد. فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی عموماً بعد از ریزش نفت طی زمان طولانی رخ می‌دهد. ریاضی و عدالت، مدل عددی را معرفی کردند که سرعت‌های تبخیر و حلالیت را برای ریزش

## چکیده

در این مقاله، معادلات اساسی برای فرآیندهای مؤثر بر لکه نفت ریزش شده و میعانات گازی شامل گسترش، تبخیر، حلالیت و پخش عمودی که در مدل‌های عددی ریزش نفت مهم می‌باشد، معرفی می‌شود. این معادلات برای نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی ریزش شده ناشی از حادثه اتفاقی در فصول زمستان و تابستان با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی آنها و شرایط جوی دریا در منطقه دریایی عسلویه و منطقه بین بندر بوشهر و جزیره خارک بررسی شده است. نتایج حاصل از حل معادلات نشان می‌دهد که تبخیر میعانات گازی در زمستان طی ۴۸ ساعت، ۴۲/۱۷٪ و در تابستان ۶۲/۲۴٪ و حلالیت در تابستان ۰/۰۳۸۵٪ بوده است. تبخیر نفت خام در زمستان در طی ۴۸ ساعت، ۳۹/۷۴٪ و در تابستان ۶۲/۰۲۵ درصد و حلالیت طی ۱۲۰ ساعت، ۰/۰۵۳۷٪ بوده است. نتایج با نتایج حاصل از سایر مطالعات مورد مقایسه قرار گرفته که سازگاری خوبی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سواحل شمالی خلیج فارس، ریزش میعانات گازی و نفت، تبخیر، حلالیت، درون آمیختگی

مورد مطالعه به ابعاد  $555 \times 180$  km با  $\Delta x = \Delta y = 300$  m با ردیف (۰-۶۰) و ستون (۰-۱۸۵) با تعداد نقاط شبکه ۱۱۳۴۶ نقطه، رسم شد. این شبکه در عرض جغرافیایی  $30^{\circ}30' - 45^{\circ}26'$  شمالی و طول جغرافیایی  $53^{\circ} - 48^{\circ}$  شرقی قرار داشته و شامل رأس خلیج فارس در شمال تا بندر جوادالائمه در شرق (سواحل شمالی خلیج فارس) می‌باشد. محل ریزش اتفاقی نفت خام بین جزیره خارک و بندر بوشهر ۲۱ km دور از ساحل در نقطه مختصات عرض جغرافیایی  $29^{\circ}2'$  شمالی و طول جغرافیایی  $50^{\circ}30'$  شرقی (نقطه مختصات ردیف ۱۹ و ستون ۷۵) در ساعت ۱۰ صبح هفتم فوریه (۱۹ بهمن) ۲۰۰۵ میلادی (فصل زمستان) و نیز ساعت ۱۰ صبح هفتم جولای (۱۶ تیر) ۲۰۰۵ میلادی (فصل تابستان) انتخاب شد. میانگین دما در زمستان  $20^{\circ}C$  و حداکثر سرعت باد  $6/375$  m/s و میانگین دما در تابستان  $35/5^{\circ}C$  و سرعت باد  $5/96$  m/s بوده است.

#### منطقه دریایی عسلویه

منطقه دریایی عسلویه در عرض جغرافیایی  $27^{\circ}30'$  درجه شمالی و طول جغرافیایی  $52^{\circ}37'$  درجه شرقی قرار دارد. در نقشه به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه دریایی عسلویه، یک شبکه مربع مستطیل با توجه به جهت باد غالب شمال غربی به ابعاد  $67/5 \times 27$  km با  $\Delta x = \Delta y = 300$  m با ردیف (۰-۹۰) و ستون (۰-۲۲۵) با تعداد نقاط شبکه ۲۰۵۶۶ نقطه رسم شد. شبکه در عرض جغرافیایی  $27^{\circ}21'$  شمالی و طول جغرافیایی  $52^{\circ}50'$  شرقی قرار داشته و شامل بندر طاهری در غرب تا تبین<sup>۱</sup> در شرق می‌باشد. محل ریزش اتفاقی میعانات گازی در ساعت ۱۰ صبح هفتم فوریه (۱۹ بهمن) ۲۰۰۵ میلادی (فصل زمستان) و ساعت ۱۰ صبح هفتم جولای (۱۶ تیر) ۲۰۰۵ میلادی (فصل تابستان) در نزدیکی گوی شناور، ۳ km دور از ساحل در نقطه مختصات عرض جغرافیایی  $27^{\circ}31/5'$  شمالی و طول جغرافیایی  $52^{\circ}31/5'$  شرقی (نقطه مختصات ردیف ۲۱ و ستون ۷۸ نقشه شبکه بندی شده) انتخاب شد. میانگین دما در زمستان  $24/9^{\circ}C$  و حداکثر سرعت باد  $6/455$  m/s و میانگین دما در تابستان  $38/4^{\circ}C$  و حداکثر سرعت باد  $5/74$  m/s در منطقه مورد مطالعه بوده است. شکل ۱ (الف) توپوگرافی منطقه مورد

نفت شناور در سطح دریا پیش‌بینی می‌کرد [۱]. آنها تجربیات آزمایشگاهی دو نمونه را مورد بررسی قرار دادند، که شامل اندازه‌گیری سرعت حلالیت و تبخیر در دماها و غلظت‌های مختلف شوری آب بوده است.

شین - ایشی سوگیکا و همکارانش مطالعات خود را تحت عنوان شبیه‌سازی عددی ریزش نفت در خلیج توکیو ارائه دادند [۲]. در مدل معرفی شده، جا به جایی جریان، فروروی، پخش افقی، گسترده‌گی مکانیکی، تبخیر، حلالیت و درون آمیختگی در ستون آب در شبیه‌سازی تغییر شکل لکه نفت مورد بررسی قرار گرفت. مدل توانست تغییر تدریجی زمانی تقسیم نفت ریزش شده در سطح آب، ستون آب و رسوب گذاری در کف را محاسبه کند.

چائو و همکاران مطالعات خود را در مورد ریزش نفت، تحت عنوان مدل دو و سه بعدی ریزش نفت برای آب‌های ساحلی ارائه دادند که توسعه و کاربرد مدل‌های دو و سه بعدی سرنوشت و مسیریابی نفت را برای آب‌های ساحلی معرفی می‌کرد، [۳]. در مدل دو بعدی، لکه نفت به تعدادی شبکه‌های کوچک تقسیم می‌شد که خواص هر شبکه به دلیل گسترش، جا به جایی، پخش آشفته‌گی، تبخیر و حلالیت مورد مطالعه قرار گرفت.

در این مقاله، معادلات اساسی فرآیندهای مؤثر بر لکه نفت ریزش شده و میعانات گازی که در مدل‌های عددی ریزش نفت بسیار مهم می‌باشد معرفی گردیده و نتایج حاصل از کاربرد این معادلات برای نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی با توجه به شرایط فیزیکی و شیمیایی آنها و شرایط جوی دریا در منطقه دریایی عسلویه و منطقه بین بندر بوشهر و جزیره خارک بررسی شده است. نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از سایر مطالعات مورد مقایسه قرار گرفته که سازگاری خوبی را نشان می‌دهند.

#### روش کار

##### مناطق مورد مطالعه

##### منطقه مورد مطالعه در خلیج فارس

در نقشه به مقیاس ۱:۷۵۰۰۰۰ خلیج فارس، یک شبکه مربع مستطیل با توجه به جهت باد شمال غربی غالب در منطقه

در نظر گرفت [۴] به دلیل لحاظ نکردن تأثیر نفوذ باد و آشفستگی مربوط، در پیش‌بینی گسترش نفت با استفاده از فرمول فی، مقادیر حاصل کمتر از اندازه‌گیری‌های میدانی به دست آمد.

بنابراین لهر و همکاران [۵] یک معادله اصلاح شده گسترش نوع فی با اثر باد را در نظر گرفتند [۶]، مطالعات تجربی نشان می‌دهد که نفت‌هایی با لزاجت کمتر آرامتر از نفت‌های کمتر لزج گسترش دارد. محاسبه مساحت گسترش نفت طبق معادله شرح در حبیبی و همکاران [۷] می‌باشد.

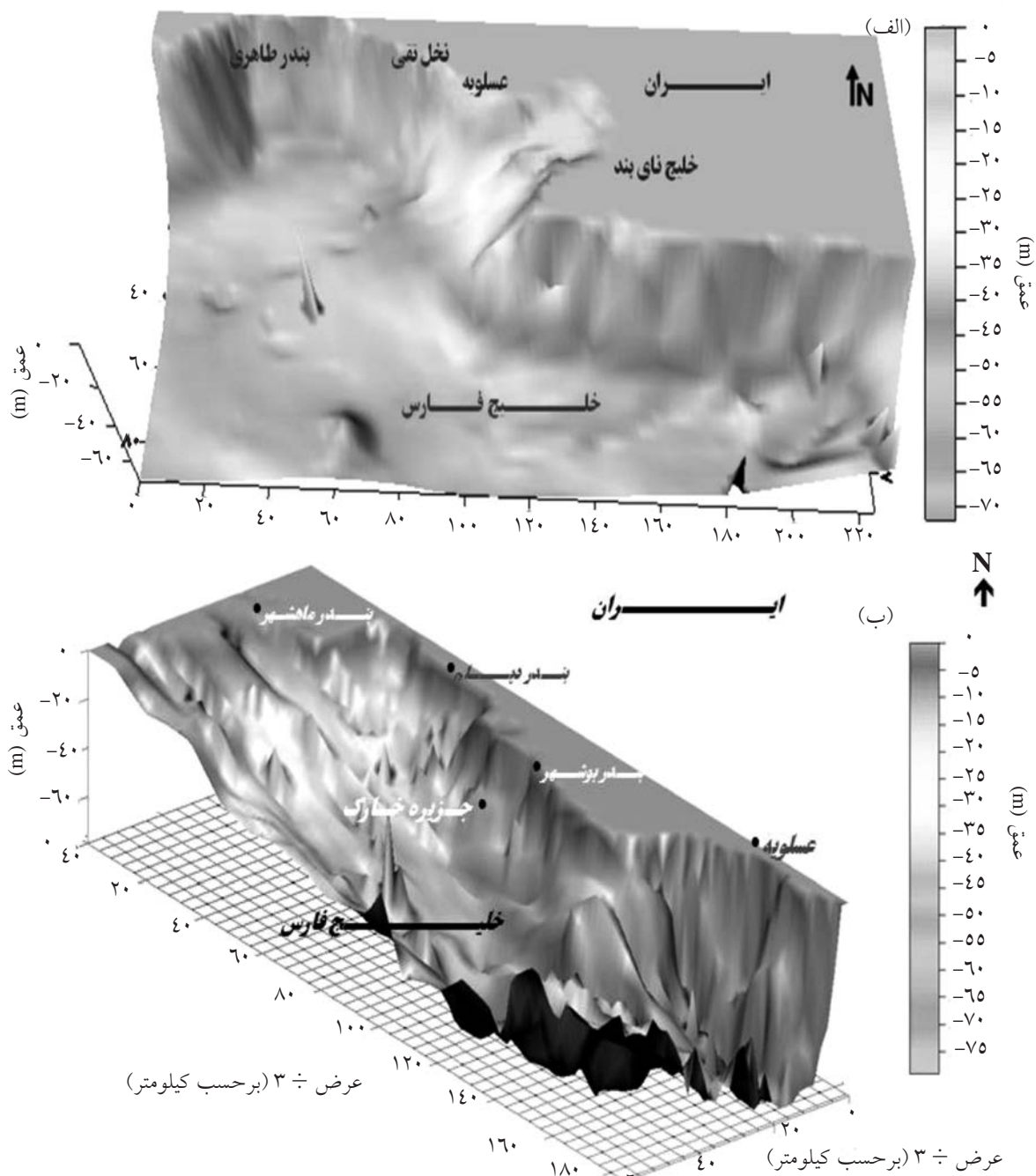
مطالعه در عسلویه و شکل ۱ (ب) توپوگرافی ناحیه بین بندر بوشهر و جزیره خارک را نشان می‌دهد.

### معادلات اساسی مورد استفاده

فرآیندهای مؤثر بر لکه نفت ریزش شده

گسترش در سطح آب

گسترش نفت، بسط افقی یک لکه نفت به دلیل ثقل، اینرسی، ویسکوزیته و نیروهای تنش سطحی می‌باشد. فی [۴]، یک لکه نفت را که از سه مرحله (فاز) می‌گذرد



شکل ۱- توپوگرافی منطقه مورد مطالعه الف- عسلویه و ب- منطقه بین بندر بوشهر و جزیره خارک

$D_{ba}$  و  $F_{wc}$  بوسیله فرمول‌های نیمه تجربی زیر ارائه می‌شود:

$$D_{ba} = 0.0034 \rho_w g H_{rms}^2 \quad (2)$$

$$F_{wc} = 0.032 (U_{wind} - U_i) / T_w \quad (3)$$

که در آن  $(\rho_w)$  چگالی آب بر حسب کیلوگرم به متر مکعب  $(kg/m^3)$ ،  $(g)$  شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه  $(m/s^2)$ ،  $(H_{rms})$  ارتفاع موج rms به متر  $(m)$ ،  $(U_{wind})$  سرعت باد به متر بر ثانیه  $(m/s)$ ،  $(U_i)$  سرعت بحرانی باد که باعث شکسته شدن موج می‌شود  $(\approx 5 m/s)$ ،  $(T_w)$  پیروی موج شکسته به ثانیه  $(S)$  می‌باشد. بر اساس معادله ۴، سرعت پخش عمودی می‌تواند توسط انتگرالگیری سرتاسری همه اندازه‌های ذره مطابق زیر به دست آید:

$$S_{vel} = \int_{d_{min}}^{d_{max}} Q(d) \Delta d \quad (4)$$

حداکثر و حداقل اندازه‌های ذره نیز پیرو معادلات زیر

$$d_{max} = \left[ \frac{12\sigma}{g(\rho_w - \rho_o)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$d_{min} = \frac{0.12\sigma^{3/5} \omega_f^{2/5}}{\rho_w^{3/5} g^{4/5}} \quad (6)$$

که در آن  $(\sigma)$  تنش موئینی بر حسب  $mN/m$  یا  $(dyne/cm)$ ،  $(\rho_w)$  چگالی آب،  $(\rho_o)$  چگالی نفت و  $(\omega_f)$  فرکانس موج بر حسب  $Hz$  می‌باشد.

$Z_i$  عمق تأثیر، که به طور تجربی توسط دلونینگ و سوئینی به دست آمده است:

$$Z_i \approx 1.5 H_b \quad (7)$$

که در آن  $(H_b)$  ارتفاع شکست موج می‌باشد.

جرم کل  $M_{tot}(d_c)$  قطرات پخش شده کوچک‌تر از  $d_{max}$  و شامل نفت سطحی اصلی از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$M_{tot}(d_c) = \int_0^{d_{max}} C(o) D_{BA}^{0.57} S_{cov} d^{0.7} \delta d \quad (8)$$

$$M_{tot}(d_c) = C(o) D_{BA}^{0.57} S_{cov} d_{max}^{1.7} \quad (9)$$

که در آن:

$C(o)$  یک ثابت وابسته به ویسکوزیته دینامیکی نفت  $(\mu)$  در دمای  $(k)$   $T_{oil}$  می‌باشد.

$$C(o) \approx [ \mu(T_{oil}) ]^{-1} \quad (10)$$

$(D_{BA})$  اتلاف انرژی میانگین در مساحت واحد سطح در یک موج شکسته که  $(D_{BA} = 0.0034 \rho_w g H_{rms}^2)$ ، چگالی آب،

## تبخیر

تبخیر بلافاصله پس از ریزش رخ می‌دهد. مکی [۸] تئوری چند مؤلفه‌ای را توسعه داد که سرعت تبخیر نفت را محاسبه می‌کرد [۸]. در این تئوری، مقدار نفت تبخیر شده طبق معادله به کار رفته در مقاله حبیبی و همکاران [۷] محاسبه می‌شود.

## حلالیت

لکه نفت در سطح آب علاوه بر تبخیر در ستون آب نیز حل می‌شود. مکی تئوری چند مؤلفه‌ای را توسعه داده است [۸]. برای محاسبه سرعت حلالیت نفت، مقدار مؤلفه  $i$  که توسط حلالیت از دست می‌رود طبق معادله به کار رفته در مقاله [۷] بیان می‌شود. سرعت حلالیت کمتر از سرعت تبخیر است و معمولاً مقدار نفت محلول شده کمتر از یک درصد جرم اصلی ریزش می‌باشد.

## پخش عمودی

لکه نفت در دریا نیز در معرض عمل امواج بخصوص شکست امواج و آشفتگی لایه بالاتر قرار می‌گیرد. تحت اعمال آنها، لکه نفت منسجم، شکسته شده و به ذرات کوچک تبدیل می‌شود، سپس در ستون آب جابجا و پخش می‌شود. این فرآیندها به عنوان پخش عمودی تعریف می‌شوند.

دلویگن و سوئینی [۹] طبق تحقیقات آزمایشگاهی سرعت درون آمیختگی نفت، اندازه ذره و عمق تأثیر ذرات نفت را به دست آوردند. آنها سرعت درون آمیختگی را به عنوان تابع نوع نفت، انرژی موج شکسته و دما، با کاربرد ضریب ثابت تجربی  $K_{en}$  ارائه شده، به صورت زیر نشان دادند [۳] و [۶]:

$$Q(d) = K_{en} D_{ba}^{0.57} S_{cov} F_{wc} d^{0.7} \Delta d \quad (1)$$

که در آن  $(d)$  اندازه ذره به متر  $(m)$ ،  $(\Delta d)$  اختلاف اندازه بین ذرات به متر  $(m)$ ،  $(Q(d))$  سرعت درون آمیختگی ذرات با اندازه‌های ذره بفواصل  $(\Delta d)$  اطراف  $d$  بر حسب  $(kg/m^2s)$ ،  $(K_{en})$  یک ضریب ثابت تجربی وابسته به نوع نفت و شرایط آب و هوایی،  $(D_{ba})$  استهلاک انرژی موج شکننده در واحد مساحت سطح به ژول بر متر مربع  $(J/m^2)$ ،  $(S_{cov})$  نسبت واحد سطح پوشیده به وسیله نفت  $(0 \leq S_{cov} \leq 1)$  و  $(F_{wc})$  کسری از سطح دریا است که مورد اصابت امواج شکسته شده در واحد زمان قرار می‌گیرد (سطحی از دریا که موج در آن می‌شکند).

سرعت عمودی قطرات بزرگ بیشتر بوده و اغلب به طرف سطح آب بر می گردند.

$d_c$  اندازه قطر بحرانی بر حسب متر یا میلی متر است و طبق

$$d_c = \frac{9.52v^{2/3}}{g^{2/3}(1-\rho_0/\rho)^{1/3}} \quad (12)$$

که در آن  $v$  ویسکوزیته آب بر حسب سانتی استوکس،  $\rho_0$  چگالی نفت و  $\rho$  چگالی آب می باشد.

پارامترهای لازم برای حل معادلات فرایندهای حاکم

برسرنوشت و انتقال نفت ریزش شده در دریا

حل معادلات فرایندهای مؤثر بر سه نمونه نفت خام، سبک

و میعانات گازی طبق داده های جدول ۱ اجرا شده است.

(g) شتاب ناشی از ثقل،  $H_{rms}$  جذر میانگین مربعات ارتفاع موج (root mean square=rms) بر حسب متر می باشد. در هر مرحله زمانی (t) با تغییر ( $S_{cov}$ ) مقدار ( $d_c$ ) نیز تغییر می کند.

نیروی شناوری به چگالی، اندازه قطرات و سرعت عمودی (W) وابسته می باشد.

سرعت عمودی برای قطرات کوچک  $d \leq d_c$  با توجه به معادله زیر محاسبه می شود:

$$W = [gd^2(1-\rho_0/\rho) \div 18v] \quad (10)$$

سرعت عمودی برای قطرات بزرگ  $d > d_c$  با توجه به معادله زیر محاسبه می شود:

$$W = [(8/3)gd(1-\rho_0/\rho)]^{1/2} \quad (11)$$

جدول ۱- داده های ورودی به کاررفته در معادلات حاکم ریزش نفت [۱، ۱۵-۲۰]

نوع فرآورده	وزن مخصوص ( $kg/m^3$ )	ویسکوزیته سینماتیک (cP)	جرم مولکولی (gr/mol)	تنش موئینی (dyn/cm)	فشار بخار (atm)	قابلیت حلالیت در آب (mg/lit)	API gravity
نفت خام	۸۷۵	۱۹/۲	۵۲۵	۱۸/۶	زمستان: ۰/۴۵۵۹ تابستان: ۰/۸۰۹۶	۱۸	۳۰/۲۱
نفت سبک	۸۲۰	۳/۵	۱۶۳	۲۰	زمستان: ۰/۳۴۵ تابستان: ۰/۶۱۲۶	۱۰۰	۴۱/۰۶
میعانات گازی	۷۵۰	۱/۱۵	۱۵۰	۲۰	زمستان: ۰/۳۵ تابستان: ۰/۵۴	۱۸	۵۷/۱۷

ادامه جدول ۱- داده های ورودی به کاررفته در معادلات حاکم ریزش نفت [۱، ۱۵-۲۰]

نوع فرآورده	محل ریزش	شرایط ریزش	قلمرو محاسبه ( $m^2$ )	حجم ریزش ( $m^3$ )	تعداد گره شبکه	نقطه محل ریزش در شبکه	$\Delta x = \Delta y$ (m)	تعداد ردیف شبکه	تعداد ستون شبکه
نفت خام	بین جزیره خارک و بندر بوشهر	فوری	۵۵۵×۱۸۰	۱۰۰	۱۱۳۴۶	ردیف: ۱۹ ستون: ۷۵	۳۰۰۰	۰-۶۰	۰-۱۸۵
نفت سبک	عسلویه	فوری	۶۷/۵×۲۷	۱۵،۸۹	۲۰۵۶۶	ردیف: ۲۱ ستون: ۷۸	۳۰۰	۰-۹۰	۰-۲۲۵
میعانات گازی	عسلویه	فوری	۶۷/۵×۲۷	۱۰۰	۲۰۵۶۶	ردیف: ۲۱ ستون: ۷۸	۳۰۰	۰-۹۰	۰-۲۲۵

ادامه جدول ۱- داده های ورودی به کاررفته در معادلات حاکم ریزش نفت [۱، ۱۵-۲۰]

نوع فرآورده	عدد اشمیت (-)	ضریب پخش نفت در آب ( $m^2/s$ )	عمق نفوذ ذرات نفت در آب (m)	ارتفاع موج شکست (m)	عمق شکست موج (m)	ارتفاع موج مؤثر $H_s$ (m)	جذر میانگین مربعات ارتفاع موج $H_{rms}$ (m)
نفت خام	۱۲۸	۰/۰۱۲۶	۳	۲	۲/۵۶	۱/۶۲	۱/۴۱۲
نفت سبک	۲۳/۳۳	۰/۰۱۲۶	۳	۲	۲/۵۶	۱/۶۲	۱/۴۱۲
میعانات گازی	۲۳/۳۳	۰/۰۱۲۶	۳	۲	۲/۵۶	۱/۶۲	۱/۴۱۲

ادامه جدول ۱- داده‌های ورودی به کاررفته در معادلات حاکم ریزش نفت [۱، ۱۵-۲۰]

دمای میانگین (° C)	قطر رسوب معلق در آب (mm)	غلظت رسوب معلق در آب (kg/m <sup>3</sup> )	ویسکوزیته آب (cP)	وزن مخصوص آب (kg/m <sup>3</sup> )	ثابت گازها (R) (atm. m <sup>3</sup> )/(mol.k)	حجم مولار (m <sup>3</sup> /mol)
زمستان: ۲۰ تابستان: ۳۵/۵	۰/۰۴۳	۰/۲	۱	۱۰۲۷	$8/206 \times 10^{-5}$	$600 \times 10^{-6}$
زمستان: تابستان: ۲۴/۹ ۳۸/۴	۰/۰۴۳	۰/۲	۱	۱۰۲۷	$8/206 \times 10^{-5}$	$198/78 \times 10^{-6}$
زمستان: ۲۴/۹ تابستان: ۳۸/۴	۰/۰۴۳	۰/۲	۱	۱۰۲۷	$8/206 \times 10^{-5}$	-

### نتایج و بحث

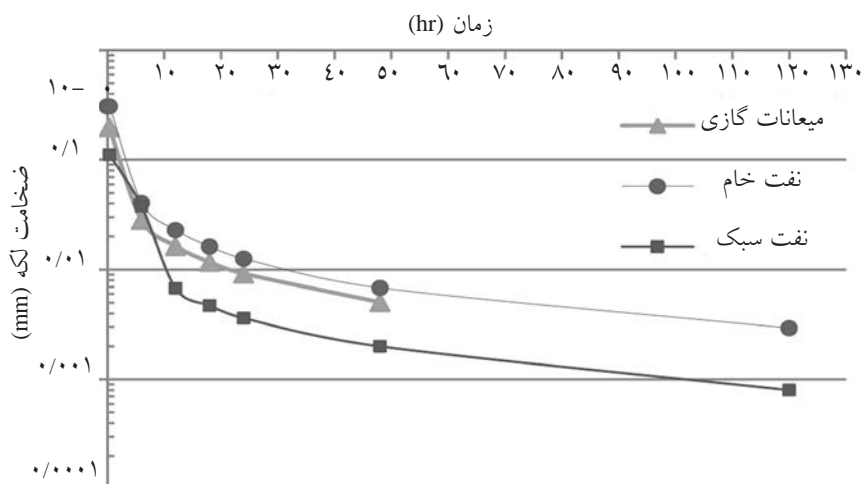
#### کاربرد معادلات برای حادثه ریزش اتفاقی نفت خام و نفت سبک در خلیج فارس

در ساعت ۱۰ صبح هفتم فوریه (۱۹ بهمن) ۲۰۰۵ میلادی (زمستان) و همچنین در ساعت ۱۰ صبح هفتم جولای (۱۶ تیر) ۲۰۰۵ میلادی (تابستان) یک ریزش فرضی اتفاقی بین جزیره خارک و بندربوشهر در نظر گرفته شد که محل فعالیت‌های استخراج نفت می باشد. حدود ۶۲۳ بشکه نفت خام در سطح دریا از یک نفت کش ریزش شد. شکل های ۲ تا ۱۰ ضخامت، مساحت، تبخیر (زمستان و تابستان)، حلالیت، سرعت درون آمیختگی، جرم قطرات، غلظت قطرات نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی را نشان می دهد.

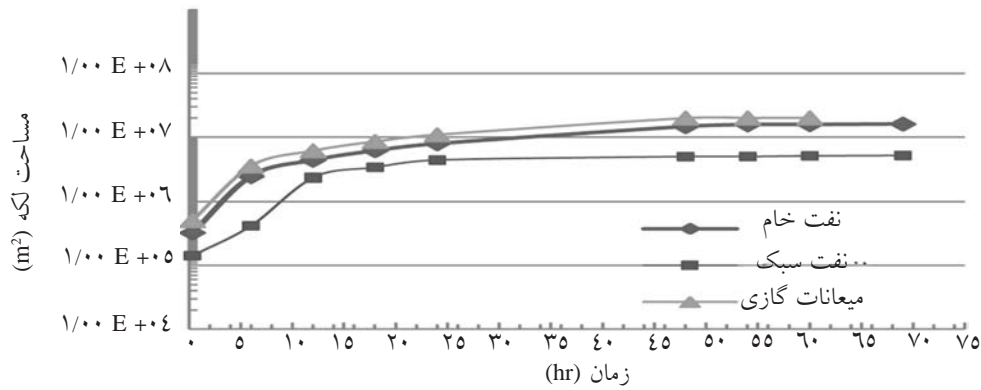
#### فرآیند گسترده‌گی

فرآیند گسترده‌گی به پارامترهای قطر لکه، حجم نفت

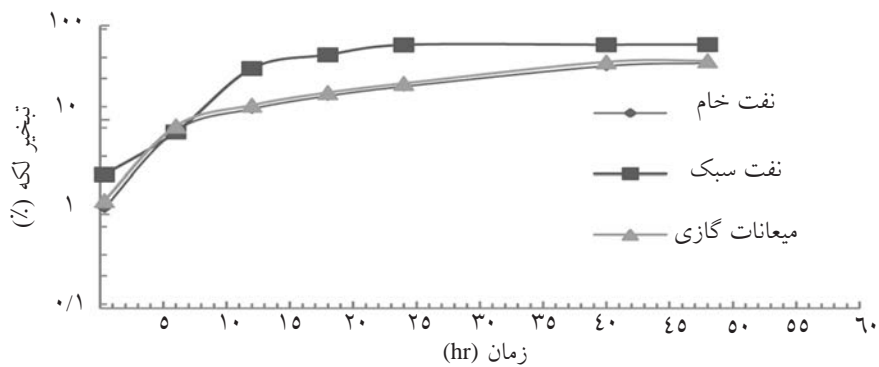
ریزش شده، سرعت باد و چگالی آب و نفت وابسته می باشد. با توجه به شکل های ۲ و ۳ در طول مراحل اولیه بعد از حادثه ریزش نفت در توده آب، فرآیند گسترده‌گی بر لکه نفت حاکم بوده که منجر به افزایش مساحت لکه و کاهش ضخامت لکه می شود. شکل ۲ نشان می دهد که در طول ۹ ساعت اول، ضخامت لکه نفت خام کاهش داشته (۰/۳-۰/۰۰۳ mm) و شکل ۳ افزایش مساحت لکه نفت خام را نشان می دهد که این افزایش مساحت لکه نفت خام نسبت به زمان تا ۵۵ ساعت اولیه ادامه داشته تا اینکه لکه نازکتر و به لکه های کوچکتر تبدیل می شود منحنی حاصل از شکل با مقادیر میدانی جدول ۲ و ۳ سازگاری دارد. نتایج مربوط به نفت سبک نشان می دهد که در ۱۶ ساعت اول ضخامت لکه کاهش (۰/۱-۰/۰۰۳ mm) و مساحت لکه افزایش یافته است. شکل های ۲ و ۳ این مورد را نشان می دهد.



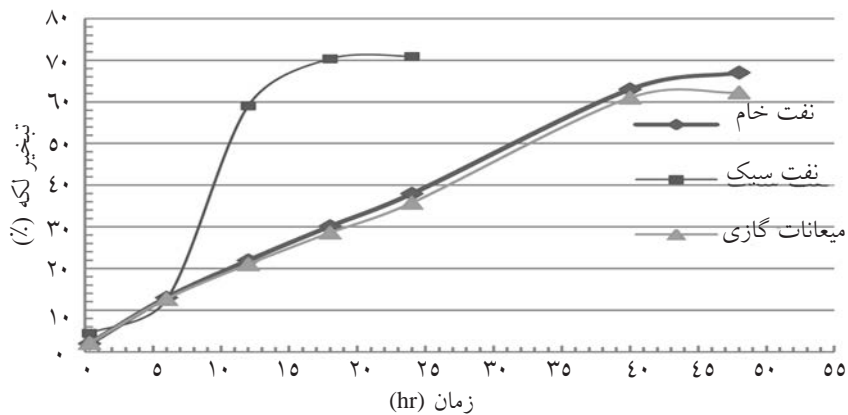
شکل ۲- ضخامت لکه نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی نسبت به زمان



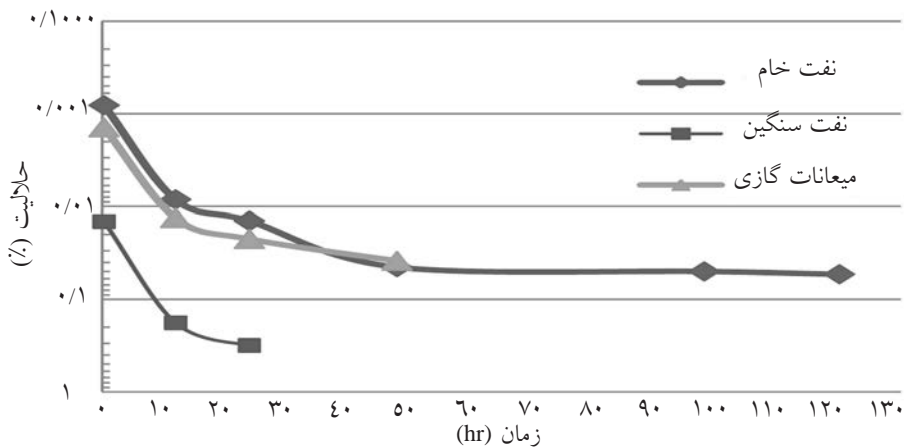
شکل ۳- مساحت لکه نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی نسبت به زمان



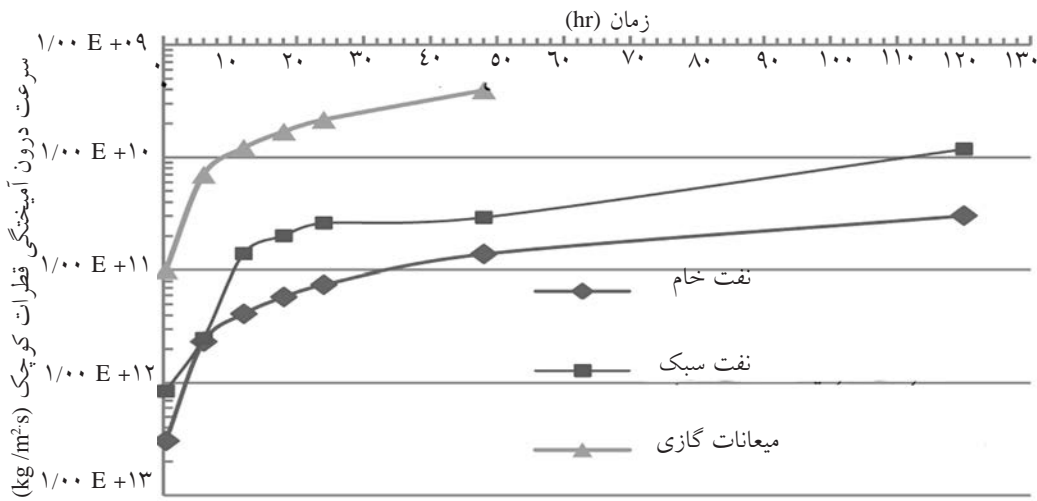
شکل ۴- تبخیر لکه نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی نسبت به زمان (زمستان)



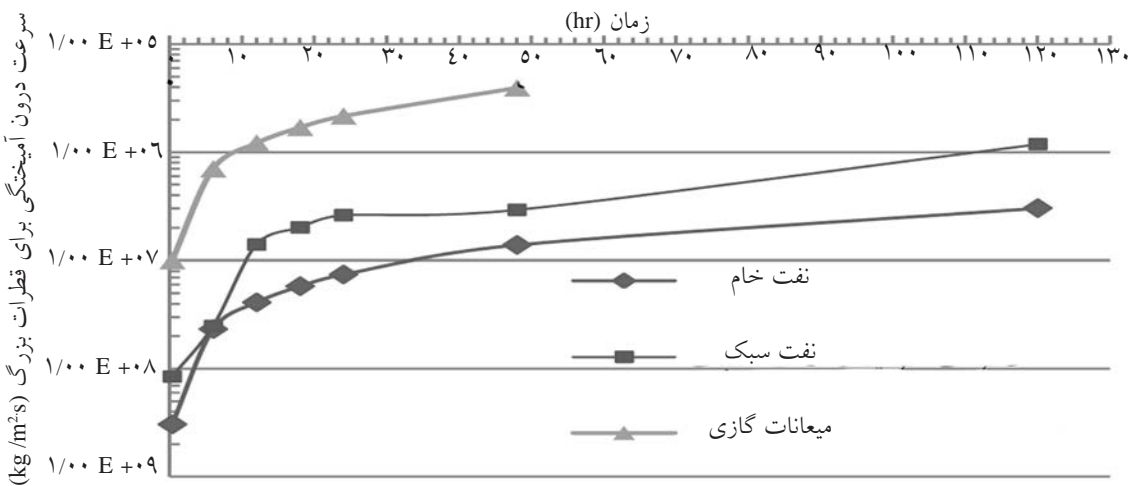
شکل ۵- تبخیر لکه نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی نسبت به زمان (تابستان)



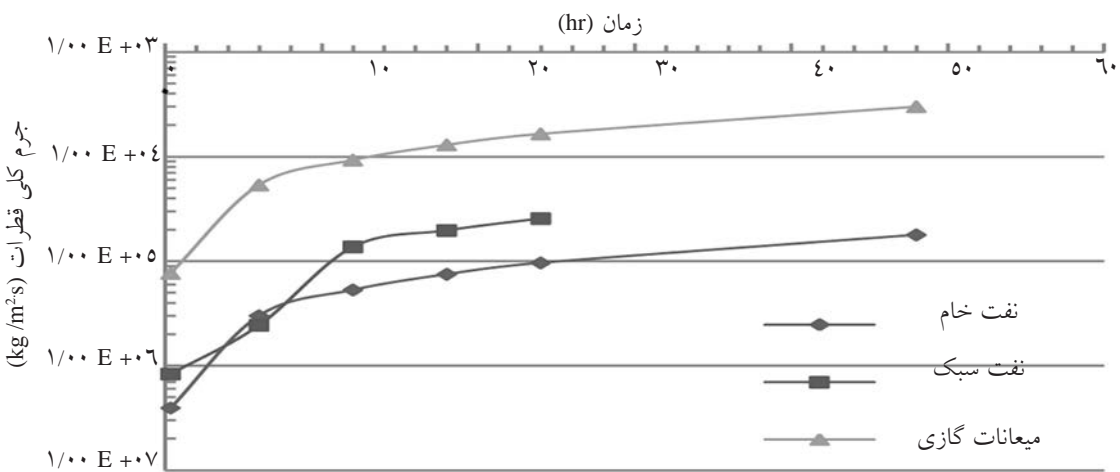
شکل ۶- حلالیت لکه نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی نسبت به زمان



شکل ۷- سرعت درون آمیختگی قطرات کوچک لکه نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی در واحد سطح

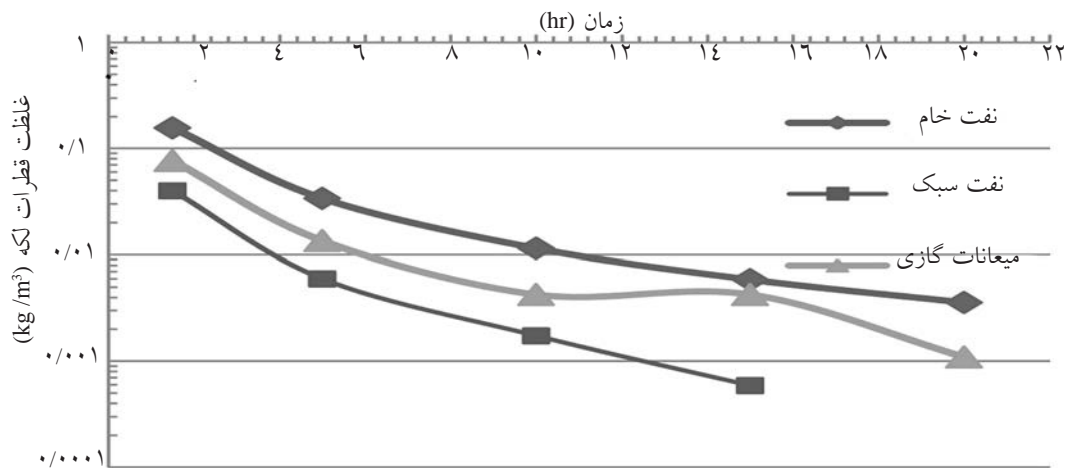


شکل ۸- سرعت درون آمیختگی قطرات بزرگ لکه نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی در واحد سطح



شکل ۹- جرم کلی قطرات پخش شده لکه نفت خام کوچکتر از قطر ماکزیمم (۰/۰۱۲۲۴ m)، نفت سبک کوچکتر از قطر ماکزیمم (۰/۰۰۹۴۰۲۷ m) و میعانات گازی کوچکتر از قطر ماکزیمم (۰/۰۱۰۸۸ m) در واحد سطح در حادثه پخش





شکل ۱۰- غلظت قطرات لکه نفت خام، نفت سبک و میعانات گازی بعد از جذب به رسوب معلق در آب

جدول ۲- نتایج سایر مدل‌ها [۱]

نوع نفت	سرعت آب	ضخامت لکه نفت	مساحت اولیه ریزش نفت	دما	ضریب انتقال جرم تبخیر	سرعت تبخیر	سرعت حلالیت	ضریب انتقال جرم حلالیت
نفت خام اهواز	۱ Km/h (۰/۲۷ m/s)	۰/۱ mm	۱ km <sup>2</sup>	۲۰ °C	$۲۵ \times 10^{-11}$ m/s	روز / ۱۵	روز / $۱,۹ \times 10^4$	$۵/۲ \times 10^{-8}$ m/s
نفت خام اهواز	۱ Km/h	۰/۱ mm	۱ km <sup>2</sup>	۴۰ °C	$۳۳ \times 10^{-11}$ m/s	روز / ۲	روز / $۵ \times 10^4$	$۵/۴ \times 10^{-8}$ m/s
کروزن	۱ Km/h	۰/۱ mm	۱ km <sup>2</sup>	۲۵ °C	$۲ \times 10^{-4}$ m/s	روز / ۲	روز / $۵ \times 10^4$	$۸ \times 10^{-8}$ m/s

÷ سرعت حلالیت حدود ۰/۱-۰/۰۲٪ سرعت تبخیر است.

حجم مولار نفت خام =  $۸۰۶ \text{ cm}^3/\text{mol}$

حجم مولار کروزن =  $۲۵۵ \text{ cm}^3/\text{mol}$

جدول ۳- مقادیر و نتایج سایر مدل‌های مورد مطالعه [۲، ۴ و ۱۳-۱۴]

نوع نفت	محل ریزش	حجم ریزش	وزن مخصوص	ویسکوزیته	سیستم شبکه افقی	سیستم شبکه عمودی
Bunker C-type oil	دریای ژاپن	۵۰۰۰ کیلو لیتر	$۰/۹۸ \text{ gr/cm}^3$	۲۵۰۰ cP	$۷۱ \times ۹۵$ (۵ km)	سه لایه - لایه سطح نفت ستون آب (۰-۲ m، ۲ m تا کف)
Heavy bunker fuel oil	خلیج سنگاپور	۲۸۵۰۰ تن ( $۳۰۰۰۰ \text{ m}^3$ )	$۹۶۵ \text{ kg/m}^3$ تنش موینی = $۳۹/۸ \text{ din/cm}$	۳۱۸۰ cP	$۱۱۰ \text{ km} \times ۷۲ \text{ km}$ با شبکه ۵۰۰۰	عمق آب ۱ m تا ۱۱۵ لایه سطحی (عمق آب کمتر از ۲ m) لایه میانی (عمق آب ۱۷ تا ۲۲ m) لایه کف (عمق آب بیشتر از ۳۲ m)
Ummchaif Crude oil (Abu Dabi)	خلیج توکیو	$۱۵۰۰ \text{ m}^3$ و سرعت باد (۱-۷) m/s پوشش نفت سطحی: $۱۰ \text{ km} \times ۱۲ \text{ km}$	نفت $\text{gr/cm}^3$ ۰/۸۳۵ آب دریا $۱/۰۲۳ \text{ gr/cm}^3$	$۶/۲۳ \text{ cSt}$ در دمای $۲۵ \text{ }^\circ\text{C}$	$۶۹ \text{ km} \times ۶۹ \text{ km}$	چهار لایه عمق آب (۱۰ تا ۵۰۰ m) لایه سطح و چهار لایه زیر سطح ۰-۲ m، ۰-۲، ۱۵-۵۰۰ m، ۵-۱۵ m
Light fuel oil	(مدل عددی)	$۶۰۰ \text{ m}^3$	نفت $\text{kg/m}^3$ و ۸۴۰ آب $۱۰۰۰ \text{ kg/m}^3$	-	$۴۰۰ \times ۴۰۰ \text{ m}$ سلول $\Delta y = ۱۰۰ \text{ m} \times ۱۰۰ \Delta x \times$	-

ادامه جدول ۳- مقادیر و نتایج سایر مدل‌های مورد مطالعه (منابع خارجی: [۲، ۴، ۱۳ و ۱۴])

غلظت ذرات نفت	اندازه ذره نفت	تبخیر	قطر رسوب معلق در آب	غلظت رسوب معلق در آب	فاکتور جریان	ضخامت لکه
در ۰/۰۱-۰/۰۱۳ ppm لایه سطحی (۰-۲ m)	۱۰ μm	۳۶٪ طی یک تا دو روز اول	۰/۰۳۴ mm	۰/۲ kg/m <sup>3</sup>	۱	حداقل ۰/۱ mm
- غلظت نفت سطحی بعد از ۲۴ hr ۳/۲ gr/m <sup>2</sup> در مرکز، ۱۸/۹ g/m <sup>2</sup> مجاور - توزیع ذرات نفت در سطح که حجم یک ذره نفت می‌شود ۲/۵ m <sup>3</sup> (تعداد ذره ۶۰۰) ۲/۵ × ۶۰۰ = ۱۵۰۰ m <sup>3</sup> - غلظت نفت سطحی با مشاهده طی ۲۷ hr، ۱ gr/m <sup>3</sup>	قطرات نفت زیر سطح به قطر ۲-۶ mm در عمق ۲ m	۶۰٪ طی یک روز به دلیل فراریت بالا و دمای هوای بالا ۲۵ °C، ۱۵/۸۶۳ (مکعب طی ۵ روز)	-	-	-	-

### فرآیند تبخیر

۰/۳۴۵ atm، به میزان ۶۲/۲۸ درصد نفت سبک در زمستان تبخیر شده است (شکل ۴). در تابستان در دمای ۳۸/۴ °C و فشار بخار ۰/۶۲۶ atm طی ۲۹ ساعت ۷۰ درصد نفت سبک تبخیر شده است شکل ۵. مقادیر حاصل از منحنی شکل با مقادیر میدانی جدول ۳ سازگاری دارد.

### فرآیند حلالیت

فرآیند حلالیت در ستون آب از یک لکه سطحی نفت به پارامترهای مساحت لکه نفت، قابلیت حلالیت نفت در آب، ضریب انتقال جرم حلالیت، اثرات سرعت باد، دما، خواص نفت، وزن مولکولی نفت و اندازه قطر قطره نفت وابسته می‌باشد. در شکل ۶ مشاهده می‌شود که مقدار حلالیت خیلی کم بوده و پس از گذشت ۱۲۰ hr، حلالیت نفت در آب حدود ۰/۰۵۳۷٪ کل مقدار نفت ریزش شده می‌باشد. سرعت حلالیت می‌تواند به دلیل فصل مشترک آب - نفت بالا رود. حلالیت نفت سبک در آب ۰/۳ درصد طی ۲۷ hr صورت گرفته است (شکل ۶). مقادیر حاصل از شکل ۶ با مقادیر میدانی جدول ۳ سازگاری دارد.

### فرآیند پخش عمودی

فرآیند سرعت پخش عمودی (سرعت درون آمیختگی

فرآیند تبخیر به پارامترهای مساحت لکه نفت، ضخامت لکه، فشار بخار، ثابت گاز، دمای هوای بالای و ضریب انتقال جرم تبخیر وابسته می‌باشد. در طول مراحل اولیه بلافاصله بعد از حادثه ریزش نفت در توده آب، فرآیند تبخیر که بزرگترین اتلاف حجم نفت در طول مراحل اولیه تغییر شکل لکه است، مانند فرآیند گسترده‌گی بر لکه نفت حاکم خواهد بود. شکل ۴ تبخیر نفت خام با فشار بخار ۰/۴۵۵۹ atm مربوط به فصل زمستان در دمای میانگین ۲۰ °C را نشان می‌دهد که تبخیر در اصل در یک و دو روز اول (طی گذشت ۴۸ ساعت) رخ می‌دهد، که حدود ۳۹/۷۴ درصد نفت خام تبخیر شده است. در شکل ۵ تبخیر نفت خام با فشار بخار ۰/۸۰۹۶ atm مربوط به فصل تابستان در دمای میانگین ۳۵/۵ °C که طی ۴۸ ساعت حدود ۶۷/۰۲۵ درصد نفت خام تبخیر شده است را نشان می‌دهد. افزایش دما در تابستان موجب تبخیر بیشتر نفت خام شده است. با گذشت زمان ضریب انتقال جرم تبخیر کاهش یافته و سرعت تبخیر و حجم اتلاف نفت خام افزایش یافته است. در طی ۲۵ ساعت در دمای میانگین ۲۴/۹ °C و فشار بخار

بزرگ نسبت به زمان افزایش داشته است و سرعت عمودی قطرات بزرگ بیشتر از سرعت عمودی قطرات کوچک است.

#### کاربرد معادلات برای حادثه ریزش اتفاقی میعانات گازی در منطقه دریایی عسلویه

در ساعت ۱۰ صبح هفتم فوریه (۱۹ بهمن) ۲۰۰۵ میلادی (زمستان) و همچنین در ساعت ۱۰ صبح هفتم جولای (۱۶ تیر) ۲۰۰۵ میلادی در تابستان یک ریزش اتفاقی میعانات گازی در منطقه دریایی عسلویه در نزدیکی گوی شناور (SPM) در ۳ km از ساحل (محل بارگیری کشتی) فرض شد. حدود ۶۲۳ بشکه میعانات گازی ریزش شد. شکل های ۲ تا ۱۰ ضخامت، مساحت، تبخیر (زمستان و تابستان) میعانات گازی، مقایسه تبخیر در زمستان و تابستان میعانات گازی، حلالیت، سرعت درون آمیختگی، جرم قطرات، غلظت قطرات میعانات گازی را نشان می دهد.

#### فرآیند گسترده

در طول مراحل اولیه بعد از حادثه ریزش، فرآیند گسترده بر لکه میعانات گازی حاکم بوده که منجر به نازک شدن لکه، افزایش قطر و مساحت لکه و کاهش ضخامت لکه شده است. در شکل ۲، ضخامت میعانات گازی طی ۱۰ ساعت اولیه کاهش داشته است (۰/۱۹۸۲-۰/۰۰۵ mm). بدین معنی که اولین مرحله گسترده طی یک زمان کوتاه رخ داده است.

در شکل ۳، افزایش مساحت لکه میعانات گازی نسبت به زمان طی گذشت ۴۵ ساعت اولیه را نشان می دهد تا اینکه لکه نازک تر و ناپایدار شده و شکسته می شود.

#### فرآیند تبخیر

در طول مراحل اولیه بلافاصله بعد از حادثه ریزش میعانات گازی در دریا، فرآیند تبخیر که یکی از بزرگترین عامل اتلاف میعانات گازی است، رخ می دهد. شکل ۴ تبخیر میعانات گازی با فشار بخار ۰/۳۵ atm مربوط به فصل زمستان در دمای میانگین  $24/9^{\circ}C$  نشان می دهد که تبخیر در اصل در یک و دو روز اول (طی گذشت ۴۸ ساعت) رخ می دهد که حدود ۰/۴۲/۱۷٪ میعانات گازی تبخیر شده است. در شکل ۵ نشان می دهد که تبخیر میعانات گازی

نفت) یا جرم پخش شده در واحد زمان بر حسب  $kg/m^2s$  و  $m^3/m^2s$ ، با توجه به معادلات ۱، ۴ و ۹ به پارامترهای ضخامت لکه، تنش موئینی نفت - آب، حالت دریا، سرعت باد، ویسکوزیته دینامیکی نفت (تابع دما)، اختلاف فاصله بین قطرات، دما، نوع نفت و عمق نفوذ ذرات نفت بستگی دارد. با توجه به معادلات ۵ و ۶، قطر قطرات بزرگ تابع تنش موئینی نفت - آب، شتاب ثقل و چگالی نفت و آب بوده و قطر قطرات کوچک تابع تنش موئینی نفت - آب، فرکانس زاویه ای موج، شتاب ثقل و چگالی آب می باشد. قطر بحرانی طبق معادله ۱۲ تابع ویسکوزیته جنبشی آب، شتاب ثقل و چگالی آب و نفت است و طبق معادلات ۱۰ و ۱۱، سرعت عمودی قطرات کوچک تر تابع شتاب ثقل، قطر قطره، ویسکوزیته جنبشی آب، چگالی نفت و آب بوده و سرعت عمودی قطرات بزرگ تر تابع شتاب ثقل، قطر قطره و چگالی آب و نفت می باشد. طبق معادله ۱ سرعت درون آمیختگی در واحد سطح که جرم پخش شده نفت در ستون آب در مساحت واحد سطح در حادثه شکست موج می باشد، برای قطرات کوچک و بزرگ نسبت به سپری شدن زمان افزایش یافته ولی سرعت درون آمیختگی قطرات بزرگ به دلیل بالا بودن سرعت بالا روی (شناوری) نسبت به سرعت پخش و تمایل به نزدیک شدن به سطح از قطرات کوچک بیشتر بوده و قطرات کوچک کمتر شناور بوده و نیروی شناوری و سرعت پخش آنها قابل مقایسه است و بیشتر تمایل دارند به درون ستون آب فرو روند. همان طور که در شکل ۷ و ۸ ملاحظه می شود سرعت درون آمیختگی قطرات بزرگ بیشتر از قطرات کوچک است. طبق معادله ۹، پخش غلظت بر حسب جرم پخش در مساحت واحد سطح در حادثه پخش را نشان می دهد. پخش قطره نفت از محدوده کوچک ترین اندازه تا اندازه ای که جرم درون آمیخته معادل با غلظت سطحی محلی نفت را شامل می شود (جرم نفت در واحد سطح). جرم نفت درون آمیخته در واحد سطح شامل حداکثر قطر مشخص قطره می باشد. با توجه به شکل ۱۰ پس از سپری شدن زمان، افزایش سطحی جرم قطرات نفت در طی پخش افقی مشاهده می شود.

طبق معادله ۴ سرعت پخش عمودی کل قطرات کوچک و

ویسکوزیته بالا نسبت به نفت‌های ویسکوزیته پایین، آرام‌تر گسترش دارند و لکه نفت با ویسکوزیته و تنش سطح پایین نسبت به لکه نفت با ویسکوزیته و تنش سطحی بالا، سریعتر پخش می‌شوند. تبخیر، تأثیر عمیق در چگالی، ویسکوزیته و سایر خواص نفت دارد. سرعت تبخیر به شدت به تخمین فشار بخار، وزن مولکولی نفت، ضخامت لکه نفت و دما وابسته می‌باشد. سرعت تبخیر با افزایش درجه حرارت و سرعت باد بیشتر می‌شود. قابلیت حلالیت نفت به دما، غلظت شوری آب و نیز به وزن مولکولی نفت بستگی دارد. حلالیت با دما زیاد و با غلظت شوری کم می‌شود. پیروید و ارتفاع موج، درون آمیختگی نفت را در ستون آب تحت تأثیر قرار می‌دهد و این درون آمیختگی قویاً بستگی به آشفتگی (انرژی جنبشی ناشی از تداخل باد، امواج و امواج شکسته) و حالت دریا دارد. سرعت درون آمیختگی قطرات بزرگ به دلیل بالا بودن سرعت شناوری، بیشتر از قطرات کوچک بوده است.

قطرات کوچک کمتر شناور بوده و خیلی آرام بالا می‌آیند. چگالی تابعی از دما و مقدار تبخیر شده نفت است. افزایش چگالی در مدل عددی انتقال نفت مورد توجه است و رفتار شناوری قطرات نفت در ستون آب را تحت تأثیر دارد. افزایش چگالی در اثر فرآیند امولسیون نشان می‌دهد که چند درصد قطرات نفت در ستون آب قرار دارد و تبخیر نشده است. در زمانی که چگالی بعضی امولسیون‌های آب در نفت به چگالی آب رسد بر فرو روی آنها در ستون آب تأثیرگذار است. داده‌های میدانی حاصل از اطلاعات داخل و خارج از کشور با نتایج حاصل از حل معادلات سازگاری دارد.

با فشار بخار  $0.53 \text{ atm}$  مربوط به فصل تابستان در دمای میانگین  $38.4^\circ \text{C}$  طی ۴۸ ساعت حدود  $62/24\%$  بوده است. افزایش دما در تابستان موجب تبخیر بیشتر میعانات گازی شده است.

#### فرآیند حلالیت

شکل ۶ تأثیر فرآیند حلالیت بر لکه میعانات گازی را طی گذشت زمان نشان می‌دهد که مقدار حلالیت خیلی کم بوده و طی ۴۸ ساعت، حلالیت میعانات گازی در آب حدود  $0.385\%$  درصد کل مقدار میعانات گازی می‌باشد.

#### فرآیند پخش عمودی

شکل ۷ سرعت درون آمیختگی در واحد سطح که تابع جرم پخش شده نفت در ستون آب می‌باشد را نشان می‌دهد.

این سرعت برای قطرات بزرگ و کوچک نسبت به گذشت زمان افزایش داشته است. شکل ۹، افزایش سطحی جرم قطرات پخش میعانات گازی را طی گذشت زمان نشان می‌دهد.

در جداول ۲ و ۳ نتایج حاصل از سایر مدل‌ها که قابل مقایسه با نتایج حاصل از حل معادلات می‌باشد را نشان می‌دهد. ضخامت، مساحت، تبخیر، غلظت قطرات با نتایج حل معادلات سازگاری دارد.

#### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق نشان می‌دهد که نفت‌های با

#### منابع

- [1]. Riazi M. R. and E. Mohsen , "Prediction of the rate of oil removal from seawater by evaporation and dissolution", Journal of Petroleum Science and Engineering (Elsevier) , Vol. 16, pp. 291-300, 1996.
- [2]. Shin-Ichi S. and et al., "A numerical simulation of an oil spill in Tokyo Bay", Spill Science & Technology Bulletin (Pergomon), Vol. 5, No.1, pp. 51-61, 1999.
- [3]. Xiaobo C. and et al., "Development and application of oil spill model for singapore coastal waters", Journal of

Hydraulic Engineering, ASCE , pp. 495-503, 2003.

[4]. Fay J. A., "Physical processes in the spreading of oil on a water surface. In: Proceedings of the Joint Conference on Prevention and Control of Oil Spills", Washington, DC., pp. 463-467, 1971.

[5]. Lehr W. J. et al., "A new technique to estimate initial spill size using a modified Fay-type spreading formula", Marine Pollution Bulletin 15, pp. 326-329, 1984.

[6]. Comerma E. and et al., "Inclusion of an oil database into a forecasting system", Proceedings of AMOP, Victoria, Canada, pp. 1-17, 2003.

[7]. Habibi S., Torabi Azad M. and Bidokhti A. A., "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., Vol. 37(3), September 2008: pp. 233-242, 2008.

[8]. Mackay D., "Physical-Chemical weathering of petroleum hydrocarbons from the Itoxic Blow Out-chemical measurements and a weathering model", In: Proceedings of 1981 Oil Spill Conference, Washington, DC., pp.453-460, 1981.

[9]. Delvigne G. A. L., Sweeney C. E., "Natural dispersion of oil", Oil and Chemical Pollution 4, pp.2 81-310, 1989.

[10]. Raj P. P. K. et al., "The survival of oil slicks on the ocean as a function of sea state limit", In: Proceedings of 1979 Oil Spill Conference, pp. 719-724, 1979.

[11]. Humphrey B. ET AL., "Development of a standard oil in coarse sediment model", In: Proceedings of the Oil Spill Conference, Washington, DC., pp. 573-582, 1993.

[12]. Wang S. D., and et al., "Two – dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spill in seas", Ocean Engineering (Elsevier), pp. 1-16, 2005.

[13]. Nakata Kisaburo and et al., "Hindcast of a japan sea oil Spill", Spill Science & Technology Bulletin (Pergamon), Vol. 4, No. 4, pp. 219-229, 1997.

[14]. Pavlo T., "Accurate simulation of oil slicks", Computer Technology and Oil Spills , pp. 1133-1137, 2001.

[15]. Riazi Mohammad R. and et al., "Modelling of the rate of oil spill disappearance from seawater for kuwaiti crude and its products", Chemical Engineering Journal (Elsevier), Vol. 73, pp. 161-172, 1999.

[16]. U. S. Department of Transportation United States Coast Guard, "Effects of weathering on the flammability of oils", U. S. Coast Guard Research and Development Center, Report No. CG – D –, pp. 1-26, 1999.

[۱۷]. گیتی ا.، مبانى پالایش نفت، انتشارات دانشگاه تهران، صفحات ۵، ۳۶، ۷۷، ۷۹، ۸۳، ۹۳-۹۱، ۱۳۴، ۱۳۶، ۱۶۹، ۲۵۲، ۳۰۴-۳۰۱، ۳۲۲، ۶۰۳-۵۶۹، ۱۳۸۱.

[۱۸]. خسروی م.، شیمی نفت، روش‌های تصفیه و فرآورده‌های پالایشگاه‌ها، انتشارات دانشگاه تهران، صفحات ۴، ۱۳، ۱۵، ۲۹، ۴۷، ۱۰۱، ۱۳۹، ۱۴۴، ۴۰۵-۴۴۲، ۱۳۷۶ فارس و دریای عمان، سازمان نقشه‌برداری کشور، صفحات ۱۸۱-۱۱.

[۱۹]. شرکت ملی نفت ایران، ۱۹۶۷، مشخصات نفت خام تجارتي شرکت‌های وابسته و شرکت‌های عامل، قسمت بازاریابی و صادرات صفحات ۳ و ۴، ۱۹۶۷.

[۲۰]. نوری، س.، شیمی و فناوری نفت، انتشارات دانشگاه ارومیه، صفحات ۳۳، ۳۸، ۴۵، ۴۶، ۶۰، ۷۱-۷۰، ۲۳۱، ۲۴۶، ۳۰۲، ۱۳۸۲.