

# ارزیابی خسارات زیست‌محیطی به محیط دریایی در اثر عملیات نفتی

مقصومه نبشیری، دانشگاه صنعت نفت آبادان

مریم قربانی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

در این مقاله ابتدا منشا آلودگی‌های محیط دریایی در اثر فعالیت‌های حفاری و به‌طور کلی، فعالیت‌های نفتی در مناطق فراساحلی و راه‌های از بین بردن آن مورد بررسی قرار گرفته است. سپس، مدلی برای پیش‌بینی هزینه کل خسارات وارد آمده به محیط دریایی ارائه می‌شود که در ارائه آن از اطلاعات تجربی وقایع اتفاق افتاده مانند واقعه نشت نفت اکسون والدز، استفاده شده است.

واژگان کلیدی: ارزیابی خسارت، آلودگی‌های حفاری فراساحلی، آسیب زیست‌محیطی، مدل هزینه، تخمین هزینه

## مقدمه

فرآیند اکتشاف و استخراج نفت و گاز از زیر بستر اقیانوس، اغلب نیاز به استفاده از مواد پسماندی از قبیل سیال حفاری استفاده شده (گل حفاری)، و مواد جامد (مانند خرده‌های حفاری) دارد. این مواد اغلب از سکوی حفاری به آب دریای اطراف، تخلیه می‌شوند.

اثرات زیانبار تخلیه این مواد بر محیط زیست به عنوان چالشی در مناطق اکتشاف و توسعه نفت مطرح است. اخیراً پسماندهای ایجاد شده بر اثر فعالیت‌های اکتشاف حفاری و تولید نفت-گاز مورد توجه ویژه قرار گرفته است. این پسماندها در قالب گل‌های حفاری و مواد جامد حفاری شده هستند.

گل‌های حفاری و خرده‌های حفاری، ترکیب پیچیده‌ای از رس و مواد شیمیایی هستند. اثرات زیانبار مصرف نادرست گل حفاری و خرده‌های حفاری، شامل موارد زیر است:

## ۱- تخلیه پسماندها در طول فعالیت نفتی و

### گازی فراساحلی

در اینجا اطلاعاتی در مورد تخلیه پسماندها ارائه می‌شود که شامل تخلیه گل حفاری و خرده‌های حفاری، آب تولیدشده و تابش‌های جوی در حین فعالیت‌های نفتی و گازی فراساحلی است.

## ۱-۱- منشأ، انواع و حجم تخلیه پسماندها

تقریباً همه‌ی عملیات تولید هیدروکربن

۱. آلودگی محیط دریایی، ۲. تخریب آب و خاک سطحی و ۳. آلوده کردن آب‌های زیرزمینی

بررسی انتشارات اخیر نشان می‌دهد که مدل کاملی از تخلیه پسماند حفاری که اصول و فرایندها را در یک چارچوب ریاضی مناسب توصیف کند، وجود ندارد. پاسخی واقع‌گرایانه به نگرانی در مورد اثرات زیست‌محیطی نیازمند بررسی



فراساحلی با تخلیه ناخواسته‌ی پسماند مایع، جامد و گازی همراه است. درجه و مقدار تخلیه پسماندها به‌طور قابل ملاحظه‌ای در طول تولید تغییر می‌کند. برای مثال، مقدار خرده‌های جامد حفاری معمولاً با افزایش عمق چاه و کوچک‌تر شدن شعاع آن، کاهش می‌یابد. حجم آب تولیدشده با تخلیه مواد هیدروکربنی افزایش می‌یابد. حفاری در لایه‌های رسوبات زیرین (تقریباً تا ۱۰۰ متر) می‌تواند بدون استفاده از سیال حفاری پیچیده انجام شود. در بعضی موارد آب دریا با سوسپانسیون‌های مخصوص رُسی به‌عنوان سیال حفاری استفاده می‌شود. تخلیه آب تولیدشده نسبت به سایر پسماندها بیشتر است. آب تولیدشده شامل آب سازندی، آب نمک، آب تزریقی و دیگر آب‌های صنعتی است. آب سازندی و آب نمک به‌همراه نفت و گاز استخراج می‌شوند. آب تزریقی برای نگه‌داشتن فشار در سیستم و هدایت هیدروکربن‌ها به‌سوی چاه‌های تولیدی، در چاه‌های تزریقی پمپ می‌شود. همه این آب‌ها معمولاً با نفت، هیدروکربن‌های با وزن ملکولی کم، نمک‌های غیر معدنی و مواد شیمیایی صنعتی آلوده می‌شوند. این آب‌ها باید قبل از تخلیه به دریا، پاکسازی شوند. آب‌های تزریقی و محلول‌های شیمیایی برای افزایش استخراج هیدروکربن و جداسازی مخلوط‌های آب-نفت، از اصلی‌ترین منابع آلودگی در منطقه فراساحلی تولید نفت و گاز هستند. زمانی که مخزن تخلیه می‌شود، نسبت آب و نفت در تولید زیاد می‌شود، حجم آب تخلیه شده و مشکلات فرآوری آن افزایش می‌یابد. تمامی حفاری‌ها با پسماندهای حفاری شامل گل حفاری و خرده‌های حفاری همراه هستند. خرده‌های حفاری از گل حفاری جدا می‌شوند و در تفکیک‌کننده‌های مشخصی پاکسازی می‌شوند.

زمانی که از سیال پایه روغنی استفاده می‌شود، مقدار نفت روی خرده‌های حفاری بعد از پاکسازی، بیشتر است. مقداری از گل‌های حفاری جداشده و سیالاتی که برای پاک کردن خرده‌های حفاری استفاده می‌شوند، به سیستم گردش بازگردانده می‌شوند. خرده‌های حفاری و باقیمانده گل‌های حفاری در کشتی انبار می‌شوند یا به ساحل منتقل می‌شوند که گزینه اول معمول‌تر است.

خطرات زیست‌محیطی گل حفاری ناشی از وجود مواد روغنکاری در ترکیب این مواد است. این مواد روغنکاری معمولاً پایه‌ی هیدروکربنی دارند. گل‌های حفاری پایه روغنی برای حفاری موثر لازمند، مخصوصاً در حفاری چاه‌های انحرافی و حفاری درون سنگ مقاوم. مواد روغنکاری از همان ابتدا به عنوان جزئی از فرمول اصلی و یا حین حفاری در مواقع اضطراری، به سیال حفاری اضافه می‌شوند. در هر دو مورد، پسماند گل حفاری مصرف شده و خرده‌های حفاری پوشیده شده با این گل‌ها، شامل مقداری از ترکیبات هیدروکربن نسبتاً پایدار و سمی و طیف وسیعی از مواد دیگر می‌باشند.

یک عامل بالقوه آلودگی نفت، ماسه‌ای است که با نفت استخراجی تولید می‌شود. مقدار ماسه تولید شده پوشیده از نفت، در مناطق مختلف، متفاوت است که در مواردی، سهم زیادی از تولید استخراج شده را تشکیل می‌دهد. در اغلب موارد، ماسه از نفت پاک شده و روی کشتی انبار می‌شود. تخلیه‌های دیگر به محیط دریایی از قبیل فاضلاب عرشه، زباله‌های بهداشتی، خانگی و غیره نقش اساسی در شرایط زیست‌محیطی در منطقه تولید نفت و گاز ندارند.

### ۱-۲- ترکیب شیمیایی پسماندهای تخلیه

شده

مواد شیمیایی که در مراحل مختلف تولید

نفت و گاز وارد محیط دریایی می‌شوند، متنوع‌اند و شامل صدها جزء اختصاصی و ترکیباتشان هستند. این مواد به‌طور کلی به دو گروه بزرگ تقسیم می‌شوند: گروه اول، شامل هیدروکربن‌های گازی و نفتی استخراجی و گروه دوم، باقیمانده اجزاء صنعتی و طبیعی که در مراحل مختلف فنی استفاده می‌شود.

### ۱-۳- سیالات حفاری و خرده‌های حفاری

پسماندهای حفاری دارای اهمیت زیادی هستند. حجم پسماند حفاری ۱,۰۰۰ تا ۵,۰۰۰ متر مکعب برای هر چاه می‌باشد. خرده‌های حفاری ترکیبی پیچیده و بی‌نهایت تغییرپذیر دارد. این ترکیب به نوع سنگ، روش حفاری، فرمول سیال حفاری، تکنولوژی جداسازی آن از سیال حفاری و عوامل دیگر وابسته است. گل حفاری نقش اساسی در تشکیل ترکیب خرده‌های حفاری دارد.

انواع مختلف گل حفاری (مانند آب تازه، آب نمک، پایه روغنی، پلی‌امولسیون، هوا و کف و ...) را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: پایه آبی و پایه روغنی. انتخاب نوع گل به عواملی از قبیل هزینه‌های وابسته به حفاری، تجهیزات ارزیابی مشخصات چاه، مسائل پیش‌بینی شده وابسته به سازند حفاری شده و عامل بالقوه اثرات زیان‌بار روی محیط بستگی دارد.

همه گل‌های پایه آبی حداقل یک جزء دارند: رس‌های به شدت آب‌دوست. رس‌ها به منظور اهدافی، اضافه می‌شوند (بنتونیت، سدیم مونتموریونیت و یا آتاپولگیت) یا به‌طور طبیعی از جامدات حفاری شده به‌وجود می‌آیند.

دو جزء اصلی گل پایه روغنی، عناصر آلی یا نفت (برای روانکاری) و باریت (به دلیل چگالی زیاد آن برای کنترل فشار

هیدرواستاتیک) می‌باشند. گل‌های پایه روغنی چندین مزیت بر گل‌های پایه آبی دارند که شامل موارد زیر است:

۱. کاهش یا از بین بردن مشکلات دیواره چاه،
۲. کاهش ریسک مشکلات پیش‌بینی شده و
۳. صرفه‌جویی در وقت و هزینه مخصوصاً وقتی که دیواره چاه ثابت ندارد. استفاده از گل پایه روغنی باعث می‌شود که خرده‌های حفاری با لایه‌ای از روغن پوشیده شوند. وقتی که این خرده‌های حفاری با روش غیر مناسبی به دریا تخلیه می‌شوند، در محیط‌زیست دریایی انباشته می‌گردند و در نتیجه، جامعه طبیعی زیر دریا را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

در ۱۰ سال اخیر ترجیح داده می‌شود که از سیال حفاری پایه آبی غیرسمی استفاده شود. در بعضی مواقع مثلاً حفاری از میان یک سنگ مقاوم در چاه انحرافی، استفاده از سیالات پایه روغنی اجتناب‌ناپذیر است. سیال پایه روغنی بر خلاف پایه آبی، پس از کاربرد، معمولاً روی کشتی تخلیه نمی‌شود و دوباره در چرخه، جریان می‌یابد.

استفاده از گل‌های حفاری پایه روغنی دارای پایه سوخت دیزلی به دلیل در دسترس بودن و قیمت پایین آن مورد توجه است. اخیراً تولید گل حفاری جدید با پایه محصولات ترکیب‌های شیمیایی با اتر، استر و پلی‌آلفا‌ولفین‌ها، توسعه یافته است. این سیالات حفاری، حفاری‌های با انحراف زیاد و افقی را ممکن می‌سازند. از لحاظ زیست‌محیطی، نکته بسیار مهم این است که در مقایسه با سایر سیالات، کمتر سمی هستند.

در نتیجه‌ی عملیات فنی و فرآیندها، گل‌های حفاری و خرده‌های حفاری با صدها ترکیب و ماده، اشباع می‌شوند. تخلیه آن‌ها در دریا یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در حین تولید فراساحلی نفت

را مطرح می‌کند. بسیاری از کشورها در مورد آفت‌کش که برای خنثی کردن گیاهان ریز استفاده می‌شوند، نگرانی دارند. عمده‌ترین آفت‌کشی که در تولید نفت و گاز کاربرد دارد، شامل نمک‌های سدیم و هیپوکلریت، راه‌انداز فرمالین و *glutaraldehyde*، *biguanidine*، آمونیوم چهار جزیی و بسیاری اجزا دیگر است. ترکیب برخی اجزا معمولاً ناشناخته‌اند. بعضی آفت‌کش‌ها بسیار سمی هستند. تخلیه‌های حفاری همچنین شامل فلزات سنگین زیادی هستند که از ترکیب اجزا سیال حفاری و خرده‌های حفاری مشتق می‌شوند.

#### ۱-۴- آب‌های تولیدی

آب‌های تولیدی معمولاً شامل این ترکیبات هستند: نمک‌ها و ترکیبات آلی حل شده، هیدروکربن‌های نفت، مقدار ناچیزی از فلزات، سوسپانسیون‌ها و مواد دیگری که اجزاء آب سازندی مخازن یا آبی که در طول حفاری و دیگر عملیات تولید استفاده می‌شوند.

علاوه بر این، آب‌های سازندی می‌توانند با نفت یا گاز استخراجی و آب‌های تزریقی مخلوط شوند. همه موارد ذکر شده ترکیبی پیچیده و قابل تغییر از آب تولیدی را سبب می‌شود. عملاً صحبت کردن در مورد پارامترهای متوسط این ترکیب غیر ممکن است به دلیل اینکه مطالعات تحلیلی کامل و معتبر در مورد این ضایعات بسیار نادر می‌باشد.

هیدروکربن‌های نفت همواره در آب‌های تولیدی موجود می‌باشند، به‌ویژه زمانی که با دیگر آب‌های صنعتی و محلول‌ها مخلوط می‌شوند. این مواد تنها به موقعیت‌های صنعتی ویژه وابسته نیستند بلکه به ترکیبات کوچک نفت و تأثیر روش‌های جداسازی نفت-

آب در چاه نیز وابسته‌اند. جداکننده‌های نفت اساساً ذرات ریز و متفرق نفت را از بین می‌برند در صورتی که هیدروکربن‌های حل شده با غلظت 20 mg/l تا بیشتر از 50 mg/l به‌عنوان بخشی از آب‌های تخلیه شده روی کشتی قرار می‌گیرد. حجم این چنین تخلیه‌هایی به هزاران تن نفت در سال می‌رسد. خصوصیات دیگر ترکیبات شیمیایی بیشتر آب‌های تولیدی، مواد معدنی خیلی بالای آن‌هاست. معمولاً این مقدار، بیشتر از درجه شوری آب دریا (300 g/l) می‌باشد. این مواد معدنی معمولاً به دلیل وجود یون‌های سدیم، پتاسیم، منیزیم، کلرید و سولفات در آب‌های تولیدی ایجاد می‌شوند. به‌علاوه، آب‌های تولیدی اغلب دارای مقدار زیادی از فلزات سنگین هستند.

مطالعات نشان داده است که آب‌های تولیدی غالباً به‌طور طبیعی شامل عناصر رادیواکتیو و محصولاتشان مانند رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ می‌شوند. این مواد به‌وسیله آب‌های سازندی شسته و همراه آب‌های تولیدی، نفت و گاز به سطح حمل می‌شوند. در طول تماس با دریا، این رادیونوکلید با سولفات‌ها فعل و انفعالاتی دارند، که ته‌نشین می‌شود و یک مقیاس رادیواکتیو شکل می‌گیرد. علی‌رغم مقدار نسبتاً کم پرتوزایی، این نگرانی وجود دارد که این فرایندها می‌تواند منجر به ایجاد مراکز خطرات پرتوزایی شود. این پدیده با توجه به مقررات تعریف شده به‌وسیله بعضی از توافقات بین‌المللی مورد توجه‌شماری از کشورها قرار گرفته است؛ مانند قرارداد دامپینگ لندن (۱۹۷۲)، که اجازه تخلیه مواد رادیواکتیو به محیط‌های دریایی را نمی‌دهد.

#### ۱-۵- دیگر ضایعات

مقادیر زیادی از آب‌های تولیدی، گل‌های حفاری، خرده‌های حفاری، موارد ذکر شده

در بالا، همچنین تخلیه ذخائر منتقل شده و آب‌های ballast، منابعی هستند که در طولانی مدت، صنعت فراساحلی را تحت فشار قرار می‌دهند. علاوه بر این تخلیه‌ها، گاهی اوقات نیاز به انجام یک تخلیه کوتاه مدت می‌باشد. این چنین موقعیت‌هایی شامل تخلیه شیمیایی در طول توسعه و ساخت، آزمایش‌های هیدرواستاتیکی، ریخته‌گری و سیستم نگهداری خطوط لوله است. حجم این ضایعات نسبتاً قابل ملاحظه می‌باشد و در دریای شمال، به بیش از  $300,000 \text{ m}^3$  از آب تخلیه شده در طول یک دوره کوتاه می‌رسد.

#### ۱-۶- انتشارات جوی

به دلیل اینکه انتشارات جوی بیشتر با فرآیندهای پالایش و فرآوری نفت و گاز همراه هستند، این فاکتور توجه زیادی را در زمینه توسعه فراساحلی کسب نمی‌کند. اطلاعات در دسترس، بسیار محدود و جدال برانگیز است. در بعضی از نواحی مانند سبیری غربی و نزدیک استارخان در روسیه، این منبع تولید به عنوان یک تهدید جدی برای آب و اکوسیستم و تنفس انسان‌ها مطرح شده است.

#### ۲- از بین بردن پسماندهای حفاری

در این بخش، از بین بردن عمده‌ترین پسماندها که در طول عملیات حفاری چاه هیدروکربنی تولید می‌شوند، به طور خلاصه بیان می‌شود که عبارتند از: تخلیه پسماند حفاری، ترکیب پیچیده‌ای از افزودنی‌های گل، خرده‌های حفاری و مواد جامد حفار شده (نظیر شیل و رس و انیدریت)، سیمان‌های حفار شده و افزودنی‌های سیمان، سیالات سازندی (مانند آب‌نمک، نفت خام و سایر محتویات سیالی سازند)، سیالات شست‌وشوی تجهیزات و دکل، پسماندهای

لازم برای مدل سازی به مطالعات میدانی و آزمایشگاهی گران قیمت نیاز دارد.

#### ۳-۱- مفهوم مدل سازی تخلیه‌های پسماندهای حفاری

توصیف ریاضی وضعیت پسماندهایی که در محیط آبی تخلیه می‌شوند، تقریباً پیچیده است. نخست مرور کلی مفهوم مدل سازی بیان می‌شود و سپس شرح جزئی تر سه حالت تخلیه، جابجایی و فرایندهای مربوطه که در مدل سازی به کار می‌روند بیان می‌شود. لازم به ذکر است که تنها جنبه فیزیکی پدیده بحث می‌شود چون جنبه‌های شیمیایی و بیولوژیکی و اکولوژیکی ورای هدف این بررسی است.

رایج ترین نوع پسماندی که در دریا تخلیه می‌شود، دوغاب اجزای جامد با چگالی و اندازه‌های متفاوت است (جامدهای سازندی، بنتونیت، باریت) که با آب مخلوط شده و دارای افزودنی‌های مختلف هستند. به منظور مدل سازی، فرض می‌شود که پسماند از هر نوع مواد جامد، مواد رسی و جامدات سازندی حفار شده (با وزن مخصوص  $2/6$ ) تشکیل شده است که همراه باریت (با وزن مخصوص  $4/5-4/2$ ) مخلوط شده با سیال (با وزن مخصوص بین وزن مخصوص آب تازه و آب‌نمک) است و ممکن است حاوی ترکیب آلی و فلز باشد. مواد جامد در پسماند به دسته‌های مختلفی جهت مدل سازی محاسباتی تقسیم می‌شوند: بر حسب چگالی مخصوص، سرعت ته‌نشینی مخصوص و درصد حجمی.

فرض می‌شود که آزاد شدن پسماند حفاری در محیط آبی مانند جتی از یک لوله زیر دریایی است. آزادسازی در یک منطقه با سرعت ته‌نشینی و چگالی لایه بندی مشخص می‌شود. به استثنای تخلیه، مواد در سه وضعیت قرار می‌گیرند: ۱. جت هادی

جامد عمومی مانند کیسه‌های خالی و سایر مواد مصرف شدنی.

روش پاکسازی ایمن برای انواع مختلف گل‌های حفاری و خرده‌های حفاری به عوامل متعددی بستگی دارد: نوع گل حفاری مصرف شده، نوع پسماندهای حفاری تولید شده، موقعیت عملیات حفاری.

گل‌های پایه روغنی به دلیل پتانسیل بالای آلودگی، به ندرت در حفاری فراساحلی استفاده می‌شوند. زمانی که استفاده از گل روغنی اجتناب‌ناپذیر است، دو روش الزامی برای منهدم کردن وجود دارد: ۱. خود گل روغنی، به طور کلی دور انداخته نشود و برای به‌سازی به ساحل فرستاده شود، در برخی موارد خرده‌های حفاری و گل به مناطق خاصی در ساحل برده می‌شوند و ۲. خرده‌های حفاری برای حذف روغن، شسته شوند، سپس خرده‌های شسته شده به دریا ریخته شوند. آب شست‌وشو نیز سوزانده شده یا به ساحل برده شود. زمانی که گل پایه آبی استفاده می‌شود، گل و خرده‌های حفاری در اقیانوس ریخته می‌شوند، مگر اینکه به نفت آغشته شده باشد.

#### ۳-۲- مدل سازی وضعیت پسماند حفاری در محیط دریایی

با ظهور گسترده وسایل محاسباتی، مدل‌های شبیه‌سازی به عنوان ابزاری ضروری در مطالعات گسترده زیست‌محیطی مطرح شده‌اند. یک روش فعال مدل سازی نیازمند توصیف و شرح جزئی فرایندهای موثر بر وضعیت تخلیه مواد در محیط ساحلی است. این کار پیچیده و چالش برانگیز است چون پدیده جریان و انتقال در اقیانوس پیچیده است و نیازمند تخصص‌های چند رشته‌ای است. گذشته از این، موفقیت توسعه مدل، آزمایش، تنظیم و کاربرد آن نیازمند اطلاعات زیادی است. جمع‌آوری اطلاعات

### ۳-۱-۳- انتشار مثبت

توده انبوهی از مواد در میان توده‌ای از فرآیندهای ساماندهی در انتشار مثبت ایجاد شده‌اند که شامل گروه کوچکی از ذرات جامد و مایعات تخلیه هستند. توده‌های ابرگونه در دو موقعیت ایجاد می‌شوند: اول، زمانی که مواد در طول فازهای دینامیک تخلیه، از لوله به بیرون ریخته می‌شوند و دوم، مواد داخل لوله به انتهای فاز فروپاشی تخلیه می‌رسند. توده‌های ایجاد شده به وسیله این دو موقعیت که شامل مقادیر متفاوتی از مواد هستند، دارای اندازه‌های مختلفی هستند و هم‌چنین موقعیت‌های متفاوتی را در فضا دارند. معمولاً ذرات بزرگتر از داخل لوله به بیرون ریخته می‌شوند تا توده ابرمانندی را تشکیل دهند (موقعیت اول) و ذرات کوچکتر داخل لوله باقی می‌مانند تا در انتهای فاز فروپاشی، توده ابرمانندی را تشکیل دهند (موقعیت دوم). طبق شرایط محدودکننده هر کدام از توده‌ها می‌توانند آزادانه حرکت کنند و بزرگ شوند.

### ۳-۲- اطلاعات خروجی مدل

اطلاعات خروجی مورد نیاز برای توسعه مثبت، درجه‌بندی و کاربرد هر مدل حمل و نقل رسوب، می‌تواند به صورت زیر طبقه‌بندی شود:

Model	$\hat{y}$	k	m	R <sup>2</sup>
Full cost	$-1.1124 \times 10^8 + 572.0984(x_1) + 1.2227 \times 10^9(x_2) + 1.7050 \times 10^6(x_3) - 3.5848 \times 10^4(x_4) + 4.3803 \times 10^8(x_5) - 0.6972 \quad 3.3119 \times 10^8$			0.4968
Reduced cost	$-2.4261 \times 10^8 + 707.6067(x_1) + 2.5658 \times 10^8(x_2) + 1.0409 \times 10^7(x_5)$	-0.7787	$3.7110 \times 10^8$	0.5633
Full per tonne	$-5.0785 \times 10^4 + 6.5230 \times 10^4(x_2) - 59.5582(x_3) - 86.1654(x_4) + 2.1519 \times 10^3(x_5)$	-0.4761	926.1171	0.2083
Reduced per tonne	$-4.6547 \times 10^4 + 5.5490 \times 10^4(x_2) + 1.6251 \times 10^3(x_3)$	-0.4689	660.9561	0.3396

$x_1$  = Spill quantity (ton),  $x_2$  = oil density (kg/dm<sup>3</sup>),  $x_3$  = distance to shore (km),  $x_4$  = cloudiness (%) and  $x_5$  = level of preparedness.

۲ | هزینه‌های پاکسازی خسارات

گرما (convective) ۲. ریزش دینامیکی و ۳. پراکندگی مثبت (شکل-۱)

### ۳-۱-۱- نازل (جت) هادی گرما

پسماندهای حفاری، به‌طور کلی به عنوان جتی از مواد دارای مومنتوم و بویانسی اولیه هستند. جت از تعدادی از دسته‌های اجزاء جامد با دسته سیال تشکیل شده است. دسته اجزاء جامد با چگالی مخصوص، سرعت ته‌نشینی و درصد حجمی که در کل مخلوط گل و خرده‌ها اشغال می‌کنند، متمایز می‌شوند. به دلیل اغتشاش تخلیه، فرض می‌شود که جت به خوبی مخلوط شده است. قوانینی که رفتار فیزیکی جت را شرح می‌دهند، همان‌هایی هستند که برای بقاء جرم، مومنتوم، بویانسی و اجزاء جامد می‌باشند.

همانطور که جت بالا یا پایین می‌رود، سیال محیط را دنبال می‌کند. در نتیجه چگالی و سرعت رسیدن به سیال محیط، جت به طور شعاعی شروع به رشد می‌کند. مسیر جت به انحای جریانات محیط تمایل دارد. همانطور که این اتفاقات می‌افتد، اجزاء جامد مختلف شروع به ته‌نشین شدن می‌کنند که به سرعت و شدت ته‌نشینی ذرات و رفتار جت بستگی دارند.

جت از زمان که از سطح بویانسی خنثی



۱ | هزینه‌های خسارت ناشی از ریزش نفت



(۱) اطلاعات ویژگی‌های تخلیه (الف) ویژگی‌های زائادات حفاری (مانند چگالی زائادات، توزیع اندازه دانه‌ها در جامدات موجود در زائادات حفاری، توزیع سرعت ریزش جامدات، چگالی مایعات و جامدات، ویژگی‌های شیمیایی) (ب) شرایط تخلیه زائادات حفاری (مانند نرخ تخلیه، مدت تخلیه، شعاع و موقعیت نازل تخلیه و موقعیت دکل) (۲) اطلاعات ویژگی‌های محیطی که شامل (الف) توزیع سه‌بعدی تراکم رسوب در افق‌های زمانی متفاوت، (ب) ویژگی‌های رسوب موجود (چگالی توده، توزیع اندازه دانه، چگالی جامد، ویژگی‌های شیمیایی) (۳) اطلاعات ویژگی‌های بستر دریا، توزیع اندازه دانه‌های مواد بستر و پروفیل مشاهده شده بستر دریا در افق‌های زمانی متفاوت قبل و بعد از تخلیه زائادات حفاری.

#### ۴- آثار مهم آلودگی آب با منشا نفت

از آثار مهم آلودگی آب با منشا نفت یا پساب‌ها، مشکلات زیست‌شناختی است که برای موجودات زنده دریایی به وجود می‌آید. از آنجایی که نفت خام یک ماده خالص نیست و در آن انواع هیدروکربن‌ها با تفاوت‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف وجود دارد، هنگامی که دریا را آلوده می‌سازد به اشکال گوناگون تبلور پیدا می‌کند که غالباً برای آبزیان مضر است. تعدادی از آن‌ها که سبک‌ترند، به سرعت تبخیر می‌شوند و هوا را آلوده می‌سازند. بخشی دیگر به صورت ذرات معلق در دریا شناور باقی می‌مانند که گاهی ماهیان، آن‌ها را می‌خورند و دچار مسمومیت می‌شوند. قسمت‌هایی از نفت جذب پوست آبزیان دریا می‌شود و تعدادی نیز رسوب کرده و باعث آلودگی موجودات کف‌زی می‌گردد.

قسمتی نیز به شکل لایه نازکی در سطح دریا قرار گرفته از نفوذ نور خورشید

می‌کاهند. بالاخره بخشی نیز به صورت توده‌هایی در می‌آیند که در اثر جریان آب و باد به طرف ساحل رفته و سبب آلودگی آن می‌شوند.

#### ۵- هزینه خسارات ریزش نفت در محیط آبی

در شکل ۱- هزینه‌های خسارات ریزش نفت در محیط آبی نشان داده شده است.

#### ۱-۵- عوامل موثر بر میزان خسارت

عوامل بسیاری در میزان خسارت ناشی از نفت وجود دارد از جمله آن‌ها مقدار مواد نفتی، شرایط آب و هوایی، کدورت، حساسیت ناحیه تحت تأثیر واقع شده و فصل می‌باشد. حساسیت ناحیه تحت تأثیر واقع شده با فاکتورهایی تعیین می‌شود مانند محل نشن نفت، حساسیت بوم و منبع زندگی، توزیع فصلی و یا حساسیت منابع زندگی و ...

#### ۲-۵- انواع خسارات

موجودات دریایی، تأسیسات ساحلی، صنعت توریسم، حمل و نقل، پرندگان، انسان‌ها، صنعت شیلات و حوادث و خسارات پیش‌بینی نشده

#### ۱-۲-۵- موجودات دریایی

ارزش گونه‌های اصلی و کاشت بذریه ۵۰ تا ۵۰۰ درصد بیشتر از گونه‌های دیگر باشد که این نیز به درجه اهمیت آن بستگی دارد.

هزینه از دست رفتن موجودات آبی = حجم آلودگی × فراوانی هر موجود در واحد حجم × قیمت محلی (ارزش) موجود آبی

#### ۲-۲-۵- صنعت شیلات

قیمت تجهیزات محافظت در برابر آلودگی، تجهیزات ماهیگیری، پاک کردن آلودگی و جمع‌آوری شواهد و شناسایی برای محاسبه

هزینه واقعی لازم است. زیان اقتصادی برای منابع شیلات طبیعی مطابق با منابع محلی تعیین می‌شود اما نباید از سه برابر زیان اقتصادی که از تخمین کاهش تولیدات آبی به دست می‌آید کمتر باشد. خسارت وارد شده به تعداد افرادی که شغل آنها ماهیگیری بوده نیز باید در محاسبات منظور شود.

#### ۳-۵- تخمین آلودگی ناشی از ریزش نفت

#### ۱-۳-۵- فرمول کاستانزا (COSTANZA ۱۹۹۷)

در این فرمول، میزان آلودگی خط ساحلی به ازاء هر هکتار ۴ هزار دلار برآورد می‌شود. در این روش نوع خط ساحلی در تعیین میزان خسارت تأثیری نداشته و آسیب وارده در تمام خطوط ساحلی بدون توجه به نوع زیستگاه، ۴ هزار دلار برآورد می‌شود.

#### ۲-۳-۵- هزینه کلی خسارت‌ها

هزینه کلی خسارت‌ها = (هزینه خسارات زیست‌محیطی) + (هزینه پاکسازی) + (هزینه پرداختی به دولت) + (هزینه مطالعات و تحقیقات) که برای محاسبه میزان خسارت زیست‌محیطی، هزینه خسارت به ازای هر گالون نفت (بر اساس حجم و نوع نفت) در حاصل جمع ضریب تأثیرپذیری آب شیرین و ضریب حساسیت زیستگاه‌ها در ۰/۵ ضرب شده و حاصل در میزان نفت رها شده ضرب می‌شود.

برای محاسبه هزینه پاکسازی مطابق شکل ۲- که توسط آقایان Mohammad Shahriari, Anton Frost ارائه شده است، عمل می‌شود.

#### ۶- نمونه مطالعه شده (واقع اکسون

#### والدز)

بیست سال پیش، نفتکش اگزونوالدز در خلیج آلاسکا دچار سانحه شد و هزاران لیتر نفت خام را در این منطقه پخش کرد. اما با

### نتیجه گیری

هزینه نهایی خسارات واقعه خلیج آلاسکا مجموع هزینه دادخواهی کیفری، جبران خسارت کیفری و هزینه‌های رسوب دادن (تن‌نشین کردن) مواد شیمیایی است. هزینه دادخواهی کیفری شامل مجموع پرداخت هزینه همکاری آگزون در پاکسازی واقعه نشست، غرامت قربانیان واقعه و هزینه صندوق حفاظت از تالاب‌های آمریکای شمالی می‌شود.

هزینه جبران خسارت کیفری شامل هزینه‌های پرداختی به دولت ایالتی و هزینه‌های پرداختی به دولت فدرال می‌باشد. هزینه‌های تن‌نشین کردن مواد شیمیایی شامل بازپرداخت به دولت‌های ایالتی و فدرال برای ارزیابی خسارت و پیامدهای نشستی نفت و هزینه‌های پرداختی به شورای امنای واقعه نشست آگزون والدز است.

تمامی این هزینه‌ها و مجموع آن‌ها در جدول ۱- نشان داده شده است. براین اساس مجموع خسارت وارد شده به این شرکت ۱۱۵۰ میلیون دلار برآورد گردید.

شسته و دور خواهد شد. اما این محموله نفت در نیم متری زیر سطح ساحل مدفون شد و مناطقی چون جزیره الینور از این مسئله به شدت آسیب دید.

جزیره الینور، ساحلی به پهنای ۴۰ متر از شن دارد که با تخته‌سنگ‌ها و صخره‌های کوچک پوشیده شده است.

فاصله میان این صخره‌ها و سنگ‌ریزه‌ها به اندازه‌ای است که آب و نفت به راحتی در آن نفوذ کند. در زیر این منطقه، رسوبات نرم‌تر و تخته‌سنگ‌ها به مرور زمان به هم فشرده شده‌اند. بر اساس تحقیقات انجام شده توسط میشل بوفادل از دانشگاه ویلادلفیای پنسیلوانیا و همکارش هیالونگ‌لی از دانشگاه علوم زمین‌شناسی ووهان در چین، این فرایند زمین‌شناسی منجر به ایجاد دو لایه شده که لایه بالایی صدها برابر نفوذپذیرتر از لایه زیرین است.

گذشت دو دهه از این رویداد تلخ، بخش قابل توجهی از این آلاینده زیست‌محیطی در کنار سواحل این منطقه باقی مانده، چراکه لایه‌ای از صخره‌های متخلخل باعث جلوگیری از حرکت نفت می‌شود.

به گزارش نیچر، متخصصان همواره در تعجب بوده‌اند که چگونه ذرات نفت در طول این سالیان دراز همچنان مدفون مانده‌اند. مدتی پس از این که آگزونوالدز در آب‌های پرنس ویلیام در مارس ۱۹۸۹ / اسفند ۱۳۶۷ واژگون شد، محققان بر این باور بودند که نفت ریخته‌شده در منطقه طی چند ماه یا حداکثر چند سال از میان خواهد رفت. برخی نیز باور داشتند برخی فرایندهای طبیعی مثل تخریب میکروبی، بخش اعظمی از این مواد را از میان خواهد برد و عده‌ای دیگر نیز اعلام کردند که نفت به‌وسیله امواج یا جریان‌های پرفشار آب از ساحل

مجموع هزینه‌های ناشی از واقعه نشست در خلیج آلاسکا

هزینه‌های تن‌نشین کردن مواد شیمیایی \$900M		جبران خسارت کیفری \$100M		هزینه دادخواهی کیفری \$150M		
هزینه‌های پرداختی به شورای امنای واقعه نشست آگزون والدز	بازپرداخت به دولت‌های ایالتی و فدرال برای ارزیابی خسارت و پیامدهای نشستی نفت	هزینه‌های پرداختی به دولت فدرال	هزینه‌های پرداختی به دولت ایالتی	غرامت قربانیان صندوق حفاظت از تالاب‌های آمریکای شمالی	واقعه	هزینه همکاری آگزون در پاکسازی واقعه نشست
\$686.9M	\$213.1M	\$50M	\$50M	\$12M	\$13M	\$125M

### پانویس‌ها

<sup>3</sup>Drilling Mud

<sup>4</sup>Cuttings

<sup>5</sup>Separator

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد مهندسی مخازن هیدروکربوری، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیر کبیر. m\_ghorbany@aut.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعت نفت آبادان

### منابع

[1] Cost of pollution in china/www.worldbank.org/eapenvironment  
 [2] www.offshore-environment.com  
 [3] www.black-tides.com  
 [4] Richard T. Carsoni, Robert C. Mitchell, Michael Hanemann, Raymond J. Kopp, Stanley Pressers and Paul A. Ruud, "Damages from the Exxon Valdez Oil Spill"  
 [5] www.apps.leg.wa.gov  
 [6] Mohammad Shahriari, Anton Frost, "Oil spill cleanup cost estimation"  
 [7] www.farsnews.com  
 [8] www.peykezamin.ir

[9] www.Wikipedia.com  
 [10] Robert Costanza, Ralph d'Arge, Rudolf de Groot, Stephen Farberk, Monica Grasso, Bruce Hannon, Karin Limburgl, Shahid Naeem, Robert V. O'Neill, Jose Paruelo, Robert G. Raskin, Paul Suttonk & Marjan van den Belt, "The value of the world's ecosystem services and natural capital"  
 [11] Robert Costanza, Ecological Economics  
 [12] A.N. Khondaker, "Modeling the fate of drilling waste in marine environment"  
 [13] www.scienceway.persianblog.ir