أخذ العينات من انسكابات النفط البحرية ورصدها

ITOPF
PROMOTING EFFECTIVE SPILL RESPONSE

ورقة المعلومات الفنية رقم

14

مقدمة

في أعقاب انسكاب النفط، عادةً ما ترغب الحكومات والمنظمات الأخرى في معرفة مدى تلوث الموارد الرئيسية أو أثر الحادث على البيئة البحرية. وهذه المعلومات مهمة لتحديد ما إذا كان هناك إجراء سريع مطلوب لحماية صحة الإنسان أو الموارد الحسّاسة. ولتسهيل صنع القرار، قد تستخدم برامج الرصد، والتي عادة ما تنطوي على عمليات مسح وجمع عينات من النفط أو المياه أو التربة أو الكائنات الحية، وتحليلها كيميائيًا.

وتعطي هذه الورقة نظرة عامة على إجراءات الرصد وأخذ العينات التي يمكن استخدامها في الرصد النوعي والكمي للتلوث النفطي. ومع أن التحليلات النوعية يمكن أن تؤكد مصدر التلوث النفطي، إلا أن برامج الرصد عادةً ما تهتم بالتغيرات الكميَّة في مستويات الهيدروكربون مع مرور الوقت. وهي تعطي إرشادات حول الممارسات التحليلية الفضلى وتشرح المصطلحات الشائعة. ولكن الأساليب والملاحظات المطلوبة لرصد آثار إيكولوجية أو بيولوجية محددة ولرصد الملوثات في الهواء تعتبر خارج نطاق هذه الورقة.

نظرة عامة

في أعقاب الانسكاب، يمكن إجراء الرصد بعدة طرق مختلفة طبقًا لأهداف برنامج الرصد. وعادةً ما يتم توثيق مدى التلوث النفطي من خلال استخدام الاستطلاع الجوي أو عمليات المسح من المراكب أو من الشاطئ كخطوة أولية في أي برنامج رصد. ويمكن هذا تحديد توزيع التلوث ومداه، وقد يمكن صياغة استراتيجيات الاستجابة لحماية الموارد المهددة. وسوف يساعد تحديد مدى التلوث بالنظر (*الشكل رقم 1*) على تصميم أي برنامج رصد ويتيح تحديد محطات أخذ العينات داخل أو خارج المنطقة المتضررة طبقًا للأهداف المحددة لعملية الرصد. ويتفاوت الأساس المنطقي لإجراء عملية الرصد بعد انسكاب النفط من حادثٍ إلى آخر. وقد لا يكون الرصد مطلوبًا دائمًا، وبخاصة إذا كان الانسكاب صغيرًا والموارد غير معرضة للتهديد، أو إذا كانت آثار النفط على مورد معين معروفة جيدًا. وحيثما يتم الرصد، فإنه يُجرى عادة تحقيقًا للأهداف التالية:

- التحقق من مصدر التلوث النفطي؛
- إثبات خطر انتقال الملوثات إلى سلسلة الغذاء البشري؛
- التأكد من آثار التلوث على الأسماك التجارية والمحار لدعم اتخاذ القرار بشأن الحاجة لفرض قيود على الصيد من عدمه؛
- التحقق من السبب والأثر، أي إثبات ما إذا كانت أية آثار بيئية ملحوظة تُعزى بشكل مباشر إلى ارتفاع تركيزات النفط الناتجة من حادث تلوث معين أم لا؛
- قياس تركيزات المواد الهيدروكربونية في التربة أو المياه للمساعدة في اتخاذ القرار حول استكمال أو إنهاء عملية الاستجابة؛
- تحديد انخفاض تركيزات المواد الهيدروكربونية في البيئة البحرية لرصد حالة التعافي؛
- تحديد الظروف المناسبة لبدء تدابير استعادة الأوضاع إلى طبيعتها والحفاظ عليها؛
- إثبات أن الأضرار الناتجة عن الانسكاب قد تم تقييمها وأن التعافي في طريقه للحدوث وأن تركيزات النفط في البيئة البحرية تعود إلى قيمها الابتدائية؛
- الوفاء بمجموعة متطلبات الرصد المنصوص عليها في اللوائح الوطنية القائمة مثل معايير مياه الاستحمام.

الشكل رقم 1: في أعقاب انسكاب النفط، قد يلزم وضع برنامج رصد لتحديد التغيرات في مستوى الملوثات في البيئة.

ولابد أن يكون الهدف من أي برنامج رصد هو توفير معلومات موثوقة وموضوعية ومفيدة للإجابة على مخاوف محددة ومنطقية حول وجود النفط المنسكب في البيئة. ويشكل تحديد مدى ومستوى الملوثات في البيئة مع مرور الزمن حجر الزاوية في معظم برامج الرصد، وفي معظم الحوادث تكون هي العوامل الوحيدة اللازم قياسها. ويمكن إجراء المزيد من الدراسات لبحث إمكانية حدوث أثر على البيئة كنتيجة للتلوث النفطي جنبًا إلى جنب مع رصد الملوثات، ولكن المنهجيات المستخدمة لدراسة الموارد أو الموائل المنفصلة متباينة وكثيرة العدد. ونظرًا لذلك، فإن هذه الورقة تركز على الأساس المنطقي والمنهجية اللازمة لإجراء عمليات رصد الملوِّثات لدعم صنع القرار أثناء الاستجابة.

ورغم أهمية تحديد أهداف أي برنامج رصد بأقصى دقة ممكنة قبل بدء العمل، إلا أنه قد يكون من المناسب استخدام أسلوب يعتمد على تدرج المراحل للسماح بتضمين أهداف إضافية أو تعديل الأهداف الابتدائية، طبقًا لنتائج مرحلة سابقة من الدراسة.

وهناك ثلاثة أساليب ممكنة لتنفيذ برامج الرصد:

- مقارنة بيانات ما قبل وما بعد الانسكاب؛
- المقارنة بين البيانات المتحصل عليها من المناطق الملوثة والمواقع المرجعية غير الملوثة.
- رصد التغيرات مع مرور الزمن.

يمثل الرصد مواءمة هامة بين الجوانب العلمية والقانونية والعملياتية والمالية للحادث. فالنتائج التي يتم الحصول عليها بصورة منهجية قد تستخدم لتأكيد مصدر الانسكاب وبالتالي المسؤوليات القانونية، وللتحقق من القرارات المتخذة أثناء عملية التنظيف (مثل الأساليب المناسبة ونقاط الانتهاء المثلى) وتتبع التعافي البيئي. ونظرًا لأن نتائج دراسات الرصد قد يكون لها أثر بالغ على التعويضات وغيرها من المسائل المالية، فإن أكثر نهج بنّاء يتبع لعملية الرصد هو أن تعمل جميع الأطراف بصورة تعاونية. ويمكن تحقيق هذا من خلال أخذ العينات المشتركة وتحليلها، ومن خلال استخدام طرف ثالث مستقل، أو من خلال تولي أحد الأطراف عملية أخذ العينات والتحليل ثم تبادل النتائج. ورغم أن اختلافات الآراء قد تنشأ عند تفسير النتائج، إلا أن كل من هذه الأساليب يقلل من ازدواجية الجهود والنفقات ويزيد من فرصة الاتفاق على الحقائق الأساسية.

تصميم برنامج للرصد

سوف ييسّر فهم مصير النفط المنسكب وسلوكه وآثاره والمسارات الممكنة لتعرض الموارد للمواد الهيدروكربونية فهم ما إذا كانت هناك حاجة لبرنامج رصد، وإذا كانت هناك حاجة فسوف يساعد هذا الفهم على تصميمه[1]. ويتيح المدى الجغرافي للتلوث تحديد منطقة الدراسة، على الرغم ن أن هذه الحدود قد تحتاج إلى إعادة تحديد في حالات استمرار انبعاث النفط، حيث تكون عودة النفط للتحرك أحد العوامل، أو حيثما تشير نتائج أخذ العينات الأولية وتحليلها إلى أن المنطقة المتضررة تختلف عمّا كان يعتقد في البداية. كما أن نوع النفط المنسكب ومدى احتمال تعرض الموارد الطبيعية له من العوامل الرئيسية الواجب أخذها في الاعتبار عند تصميم برنامج رصد. ويتيح أخذ هذه العوامل في الاعتبار، بالإضافة إلى مسارات التعرض المحتملة، إلى تطبيق العوامل المكانية والزمانية المناسبة.

وعند تصميم برنامج للرصد، فإن المرحلة الأولى هي تحديد أهداف الدراسة بوضوح وتحديد المعلومات والبيانات اللازمة لتحقيق هذه الأهداف. وسوف تحدد الأهداف مدى البرنامج ومحتواه وعادةً ما تضعها سلطة حكومية أو توضع استجابة لمطالبات محتملة ضد المتسبب في التلوث. وفي كِلتَي الحالتين، فإن نطاق الدراسة وخطة تنفيذها يجب أن يتفق عليه بدءًا من مرحلة مبكرة، وفي الحالة المثلى يتم الاتفاق عليه بصورة تعاونية كما سبق الإيضاح.

وبعد الاتفاق على الأهداف، يمكن إنشاء خطة رصد مفصلة تحدد نوع البيانات أو المعلومات المطلوب الحصول عليها وما إذا كانت هناك عينات يجب أن تؤخذ، وتوزيع محطات أخذ العينات ونوع العينات الواجب أخذها في كل محطة وأعدادها وأحجامها. وسوف يعتمد معدل أخذ العينات ونوع التحليل والإطار الزمني الإجمالي للدراسة على أهداف الرصد. فعلى سبيل المثال، إذا كان الهدف هو إثبات أن تركيزات النفط في البيئة تقل عائدة إلى المستويات المعتادة، فيمكن اعتبار الدراسة مكتملة بمجرد الوصول إلى المستويات المعتادة أو بمجرد أن تظهر النتائج معدلاً مُرضيًا للانخفاض. وفي العديد من انسكابات النفط الناجمة عن السفن، لا يوجد من البيانات المناسبة في مرحلة ما قبل الانسكاب إلا أقل القليل، وسوف تكون فرص الحصول على عينات مرجعية محدودة للغاية. ولهذا السبب، فإن برامج الرصد عادة ما تعتمد على البيانات المرجعية التي تم جمعها أثناء الحادث من مواقع مرجعية قريبة لم تتأثر بالحادث. ومن المهم ضمان أن تمثل المواقع المرجعية المختارة أنواع الموائل الجارية دراستها داخل المنطقة المتضررة وأن تماثلها من ناحية الكائنات الحية وطبيعة الأرض والطبيعة المادية، على سبيل المثال، من ناحية التعرض للتيارات المائية أو حركة الأمواج. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المسوحات المقصود بها إعطاء بيانات كمية لابد أن تأخذ في الاعتبار التغير الطبيعي الذي يحدث عادة في أي نظام إيكولوجي. وتتيح المقارنة بين سلسلة زمنية من القياسات من مواقع مرجعية ومن داخل المنطقة المتأثرة أخذ التغيرات التي تحدث بصورة طبيعية والتغيرات الموسمية في الاعتبار.

ويعطي الجدول رقم 1 أمثلة لأهداف الرصد من حوادث تلوث نفطي سابقة كما يعطي ملخصًا لأنشطة الرصد التي تمت.

[1] *انظر الأوراق المنفصلة الصادرة عن الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث (ITOPF) بعنوان، "آثار تلوث النفط على مصائد الأسماك وتربية الأحياء البحرية" و"آثار تلوث النفط على الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية" و"آثار تلوث النفط على البيئة".*

الموقع	الهدف من الرصد	نشاط الرصد
أمريكا الجنوبية	تحديد مدى التلوث النفطي والحاجة لاستكمال تدابير استمرار عمليات التنظيف.	تم إجراء مسوحات موسّعة بالمراكب ومسوحات للسواحل لتوثيق وجود النفط أو عدمه على سطح المياه بالنظر بالعين المجردة ومدى تلوث السواحل بالنفط. كما تم تحديد المواقع الملوثة بالنفط والتي تتطلب عمليات تنظيف وأساليب التنظيف المناسبة الموصى بها. وأتاحت المراقبة المستمرة التي أجريت أثناء عمليات التنظيف والتفتيش النهائي بمجرد اكتمال العمل إصدار توصيات تتعلق بالنهاية المناسبة لأعمال التنظيف.
أوروبا	تحديد مستوى التلوث النفطي في التربة في مواقع رئيسية ملوثة بالنفط نتيجة الحادث.	تم جمع عينات التربة من الشواطئ والمياه الضحلة من المواقع الرئيسية المعروف تلوثها بالنفط أثناء الحادث على مدار فترة زمنية بلغت 3 أشهر. وتم تحليل العينات بحثًا عن التتراهيدروكانابينول والهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات. وقد أظهرت نتائج الرصد أن معظم التربة كانت غير متأثرة نسبيًا بانسكاب النفط.
المحيط الهندي	التأكد مما إذا كانت مياه الشرب في آبار المياه الموجودة على الساحل قد تلوثت نتيجة خسارة حمولة الفوسفات ووقود السفينة.	تم أخذ عينات مياه من الآبار على طول الساحل الملوث ومن الآبار خارج المنطقة وتحليلها بحثًا عن الفوسفات والهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات والمعادن الثقيلة. ولم تظهر المقارنة بين القيم المتوسطة للمياه المأخوذة من الآبار المرجعية وتلك المأخوذة في المناطق الملوثة أية فروق جوهرية، مما أدى إلى استنتاج أن الحادث لم يسبب تلوث موارد مياه الشرب المحلية.
المحيط الأطلسي	تقرير المدى المكاني ومدة التلوث المحتمل لمصايد الأسماك.	تم وضع برنامج لتجميع عينات من سلالات الكائنات البحرية من المنطقة الملوثة ومن المواقع المرجعية وعلى مدار عدة أشهر. تم تحليل العينات لرصد معدلات التنقية للهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات ومقارنتها بالقيم الطبيعية التي تم الوصول إليها.

▲ *الجدول رقم 1: أمثلة لأهداف الرصد وأنشطته في حوادث التلوث النفطي السابقة سوف يتم استعراض المعاملات المختلفة التي يتم تحليلها فيما بعد في المربع رقم 1.*

مكان مواقع الرصد وعددها

يمكن أن تكون المسوحات الميدانية مفيدة لتجميع معلومات مصحوبة بالمرجعية الجغرافية حول موقع ومدى النفط بسرعة. ويمكن أن تفيد المسوحات أيضًا في رصد فعالية عمليات تنظيف السواحل من الناحية النوعية أو مدى تقدم عمليات التعافي الطبيعية، وبخاصة حينما تتم على فترات منتظمة. وسوف يعتمد أماكن المواقع التي يجب تضمينها في عمليات المسح الميدانية وعددها أو محطات أخذ العينات إلى درجة كبيرة على تغير الأثر وتغير السواحل المتضررة ودرجة تضررها. ويجب توخي الحرص دائمًا لضمان أن تكون المواقع المختارة تمثل المنطقة التي يتم تنظيفها، أو التلوث الملاحظ أو الموئل الخاضع للرصد. ولكن، معظم سيناريوهات انسكاب النفط لا تتطلب استخدام إجراءات إحصائية معقدة لتحديد عدد المواقع الواجب مسحها أو عدد العينات الواجب جمعها. وفي الواقع، عادةً ما يستدعي الأمر قدرًا كبيرًا من التوازنات ودرجة ما من البراغماتية للوفاء بمتطلبات كل من الاعتمادية الإحصائية وإمكانية تغطية التغيرات المكانية والزمانية للأنظمة الإيكولوجية المعقدة بصورة عملية داخل الإطار الزمني المتاح والقيود المالية. وبالإضافة إلى ذلك، هناك بعض القواعد الشاملة التي تتعلق بأفضل موقع وعدد لمحطات أخذ العينات لدراسات رصد ما بعد الانسكاب. وبدلاً من ذلك، فإن هذا سوف يعتمد على أهداف برنامج الرصد وعلى عدد من المتغيرات التي تخص الحالة مثل:

- كمية النفط المنسكب ونوعه؛
- سلوك النفط أثناء التعرض لعوامل التجوية (مثل الانتشار والذوبان وما إلى ذلك)؛
- الخواص المادية للمنطقة المتضررة (مثل التغطية بالرمال أو مفتوحة أو ما إلى ذلك)؛
- طبيعة الموارد الحساسة وموقعها؛
- الوسائل المتاحة لأخذ العينات؛
- الظروف المادية التي قد تضع قيودًا على عملية أخذ العينات (مثل القدرة على الوصول إليها أو الطقس).

وفي أبسط المواقف، حين يكون الهدف مثلاً هو تحديد مصدر التلوث، فإن تصميمات أخذ العينات القائمة على الاحتمالات لا تكون مطلوبة. وبدلاً من ذلك، فإن أخذ عدد صغير من العينات من بقعة النفط أو الساحل الملوث قد يكون مقبولاً عادة من جميع الأطراف كعينة تمثل هذا التلوث.

وفي بعض الحالات، يمكن تحديد أفضل المواقع لمحطات أخذ العينات وأعدادها من خلال وضع شبكة فوق خريطة منطقة الدراسة تبين التلوث بالنفط، وموضوعة عليها علامات بإحداثيات نظام تحديد المواقع جي بي إس. ويمكن أن يفيد وجود قطاع أو سلسلة من القطاعات في تحديد الأنماط بالنسبة للمسافة من مصدر التلوث (*الشكل* رقم *2*) أو بالنسبة إلى أي متغيرات بيئية أخرى مثل ارتفاع المد. وقد يكون هذا الأسلوب المنهجي مفيدًا على الأخص بالنسبة للمناطق ذات السواحل غير المتجانسة نسبيًا، مثل المساحات الواسعة من الأهوار أو الرمال. وفي المناطق القريبة من الساحل التي تنطوي خصائصها المادية على بعض التعقيد (مثل وجود خلجان منفصلة) أو في الانسكابات التي تؤثر على مساحات واسعة من الساحل، قد يتم تقسيم المساحة إلى مناطق طبقية أصغر لرصدها بصورة منفصلة. وعمليًا، يجب اختيار محطات أخذ العينات بحيث تعكس توزيع النفط والتدرجات البيئية الطبيعية، وبهذا الصدد من المفيد الاعتماد على المعارف المحلية عند تخطيط برنامج الرصد.

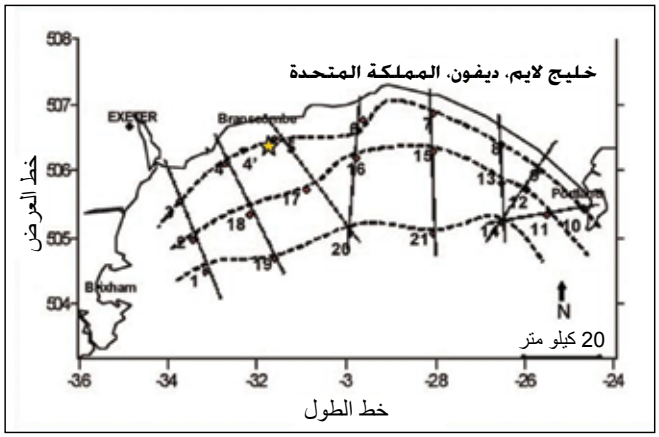
ومن الممكن اتباع أساليب عشوائية تمامًا في أخذ العينات، ولكن يندر هذا حين تؤخذ العينات من الملوثات فقط في برنامج رصد. ورغم أن النهج العشوائي يمكن أن يتيح استخدامًا أكبر للاستقراء الإحصائي عند إعداد التقارير بالنتائج، إلا أنه يلزم تحليل عدد أكبر كثيرًا من العينات بتكلفة أغلى كثيرًا للحصول على تحسينات ضئيلة في البيانات المتحصل عليها. وبدلاً من ذلك، يمكن التوصل إلى حل وسط، في الحالات المعقدة، من خلال جعل بعض عناصر الدراسة عشوائية، على سبيل المثال باستخدام أخذ العينات العشوائي الطبقي أو تطبيق نظام أكثر تعقيدًا لأخذ العينات على مراحل (مجموعات) أو أخذ العينات المركب. وفي بعض الحالات، قد يستدعي إعداد تصميم مناسب قائم على الاحتمالات لأخذ العينات الاستعانة بخدمات متخصص في الإحصائيات البيئية. ويلخص الجدول رقم 2 الأساليب المتعددة لتصميم النهج الإحصائي لخطط أخذ العينات.

توقيت برنامج الرصد

رغم عدم وجود تواريخ محددة لأنشطة رصد الاحتواء وأخذ العينات في أعقاب الانسكاب، إلا أنه كلما بدأ الرصد مبكرًا، أمكن الكشف مبكرًا عن الآثار قصيرة الأمد (سريعة الزوال) وتسجيل المدى المتغير للتلوث. وحيثما كان أخذ العينات لازمًا، يجب أخذ عينات من النفط من المصادر المحتملة وتأمينها والحفاظ عليها في نفس الوقت الذي يتم فيه أخذ العينات من المناطق المتضررة للتحقق من المصدر وتجميع العينات للبيانات سريعة الزوال (في عينات مائية معينة). ونظرًا لأن العديد من تقييمات الأثر تُبنى على توقعات مستندة إلى نماذج، فإن البيانات سريعة الزوال قد تكون هامة لتوثيق التركيز الفعلي الذي تعرضت لها الكائنات الحية للتحقق من التوقعات.

ويعتمد طول فترة برنامج الرصد ومعدل تكرار أخذ العينات على أهداف البرنامج والخصائص المتأصلة للمعاملات المحددة التي يجري قياسها. فعلى سبيل المثال، يعتبر قياس تركيز النفط الإجمالي في بيئة الاحتواء معاملاً قد يتطلب أسابيع أو شهورًا لرصده قبل إثبات عودة التركيزات إلى قيمها الطبيعية. وفي المقابل، إذا كان الهدف هو تحديد فعالية أسلوب استجابة معين، مثل استخدام المشتتات، فإن التنفيذ الفوري للرصد ومعالجة النتائج بسرعة يمكن أن يكونا من الأمور الحاسمة للتمكن من اتخاذ قرار في الوقت المناسب.

كما يجب أن تؤخذ إتاحة الموارد، مثل طاقم العمل المدرب ومراكب أخذ العينات المناسبة، في الحسبان بالإضافة إلى الأمور اللوجستية والتكلفة المتضمنة. وسوف يعتمد معدل أخذ العينات بطريقة آمنة وصحيحة على الطقس وحالة البحر ومدى القدرة على الوصول إلى مواقع أخذ العينات. وبالإضافة إلى ذلك، عند الحاجة إلى قياس الآثار سريعة الزوال، فلابد من ضبط منطقة الاهتمام أو الكثافة المطلوبة لأخذ



▲ *الشكل رقم 2: موقع محطات أخذ العينات من المياه بالقرب من موضع رسو مركب (النجمة الصفراء). (المصدر — الرصد البيئي الذي أجري في خليج ليما (Lyme Bay) في أعقاب غرق مركب MSC Napoli في يناير/كانون الثاني عام 2007مع تقييم الأثر. تقرير مركز البيئة ومصايد الأسماك وعلوم تربية الأحياء المائية (CEFAS) رقم 61 حول رصد البيئة المائية — http://cefas.defra.gov.uk).*

تصميم أخذ العينات	الخصائص الرئيسية بالنسبة لرصد ما بعد الانسكاب
أخذ العينات التقديري	سهل التنفيذ، نهج يعتمد على "التفكير المنطقي"، مفيد بصفة خاصة برامج الرصد التي تهدف إلى "رفع البصمات" والتي تتم بالتراضي. أحد أمثلة أخذ العينات غير المعتمد على الاحتمالات والقائم على حكم الشخص الذي يتولى عملية أخذ العينات.
أخذ العينات العشوائي البسيط	تختار العينات بالكامل عشوائيًا من مجموعة أكبر. صحيحة من الناحية الإحصائية وسهلة التنفيذ في المناطق المتجانسة (المياه المفتوحة، السواحل الطويلة والثابتة، مصايد الأسماك)؛ ولكنها صعبة في المناطق التي تتفاوت فيها السواحل وتتفاوت مستويات التلوث.
أخذ العينات العشوائي الطبقي	شكل "تقديري" آخر ومختلف لأخذ العينات العشوائي البسيط يتم فيه تقسيم المجالات إلى مجموعات فرعية ذات صلة بالحالة (أو طبقات) لتؤخذ منها العينات عشوائيًا. وهو أسلوب جيد بالنسبة للمجالات غير المتجانسة (ذات الطبيعة المتباينة) حين تكون هناك اختلافات بين المجموعات الفرعية داخل المجموعة الإجمالية.
أخذ العينات المنهجي (الشبكي)	مناسب للمساحات الكبيرة التي لا توجد فيها تغيرات معروفة، وبخاصة في أخذ العينات من المراكب حيث يمكن عمل قطاعات. ولكنه يمثل مشكلة من الناحية الإحصائية حيث قد تكون هناك متغيرات أخرى مرتبطة بصورة منهجية (مثل مصادر تلوث أخرى).
أخذ العينات بالمجموعات	طريقة فعّالة ومتعددة المراحل تتيح المزيد من التفاصيل في دراسة المناطق الساخنة التي تم تحديدها في المرحلة الأولى (التي تتم عادة من خلال تصميم شبكي).
أخذ العينات المركب	أسلوب عالي الفعالية مقسّم إلى مراحل حيث يمكن مسح المناطق الواسعة من خلال دمج عينات للتحليل. ولكنه غير مناسب في المناطق التي يتفاوت فيها التلوث بدرجة كبيرة.

▲ *الجدول رقم 2: الأساليب الإحصائية المعتادة لتوزيع محطات أخذ العينات في رصد ما بعد الانسكاب.*

العينات لكي يتم أخذ العينات خلال الوقت المتاح. وفي جميع الحالات، يجب أن يأخذ التوقيت وتصميم البرنامج الإجمالي في الاعتبار الوقت المتوقع المطلوب لمعالجة العينات في المختبرات التحليلية والسرعة المطلوبة لإصدار النتائج. فعلى سبيل المثال، عند التحقيق فيما إذا كانت مصايد الأسماك يمكن أن تتأثر بالانسكاب، فإن توقيت أخذ العينات والتحليل يحتمل أن يتأثر بالحاجة للبيانات لتزويد القرارات بالمعلومات حول غلق المصايد أو إعادة فتحها.

إعداد الموازنة لحساب التكاليف

تعتمد مسؤولية دفع تكلفة برنامج الرصد على النظام القانوني المطبق داخل البلد الذي تحدث فيه الحادثة أو يقع فيه الضرر. وبغض النظر عمّن يتولى الدفع، فمن الممارسات الجيدة إصدار مقترح يتضمن موازنة مفصّلة في وقت مبكر من العملية (*الجدول رقم 3*). وحيثما كان ذلك ذا صلة، يمكن أن يناقش هذا مع الجهات التي تدفع التعويضات قبل بدء العمل.

وبوجه عام، يجب أن تعكس التكلفة الإجمالية للرصد مستوى الجهد الذي تنطوي عليه العملية، ومعدل المسوحات التي تُجرى، وعدد العينات أو محطات أخذ العينات وأنواع التحليل المطلوبة وأن تتناسب مع نطاق القضايا التي يجري التعامل معها. ولكن، نظرًا لأن بعض التكاليف ثابتة، مثل إيجار المراكب، فإن التكلفة النهائية لكل عينة لا تتأثر بالضرورة بإجمالي عدد العينات المأخوذة، وقد تكون هناك فرص لأخذ أكثر من الحد الأدنى للعينات بتكلفة إضافية قليلة. وعلى الرغم من ذلك، ونظرًا لأن تكاليف التحليل تميل إلى الارتباط المباشر بعدد العينات، فعادةً ما يوصى بألاّ يتم تحليل إلا الحد الأدنى من العينات والاحتفاظ بباقي العينات في التخزين المناسب في حالة الحاجة إليها فيما بعد.

ويعتبر استخدام نهج ذي مراحل أحد الاستراتيجيات الأخرى التي تحول دون ارتفاع تكاليف الرصد بصورة مبالغ فيها. وبالمقارنة بالمرحلة الأولى من أخذ العينات والتي يمكن أن تحدث بعد الانسكاب بفترة قصيرة، عادة ما تكون المراحل التالية أضيق نطاقًا. ويجب أخذ معايير إنهاء برنامج الرصد في الاعتبار مبكرًا، ولكن رصد المواد الملوثة عادة ما ينتهي بمجرد الكشف عن العودة إلى المستويات الطبيعية.

اختيار المختبر

يجب اختيار المختبرات التي سوف تتولى مهمة تحليل العينات والاتفاق عليها من قِبل جميع الأطراف في مرحلة تصميم البرنامج. ويجب أن تتوافر للمختبر القدرة على التعامل مع أعداد العينات المتوقعة وأن توافر لديها الأساليب المطلوبة لتحقيق أهداف البرنامج. وتشمل بعض الاستفسارات الأولية التي يمكن طرحها لإثبات مناسبة مختبر معين ما يلي:

- هل الفنيون في المختبر من ذوي الخبرة ومؤهلون في تحليل المواد الهيدروكربونية؟
- هل يمتلك المختبر المعدات المطلوبة، وبصفة أساسية معدات قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية، و كروماتوغرافيا الغاز -كشف تأين اللهب، وكروماتوغرافيا الغاز-القياس الطيفي للكتلة (كما سوف يشرح بالتفصيل في موضع تالٍ من هذه الورقة)؟
- هل المختبر معتمد وطنيًا أو معترف به دوليًا؟
- ما هي إجراءات ضمان الجودة ومراقبة الجودة المطبقة؟
- هل يمكن إعطاء أولوية لأعمال الانسكاب النفطي على الأنشطة الروتينية؟
- ما هي تكاليف المسح وأخذ العينات وإجراء التحليل؟
- كيف سيتم إعداد تقارير بالنتائج؟
- هل المختبر مستعد لشرح النتائج والدفاع عنها في المحكمة إذا لزم الأمر؟

خلفية	أخذ العينات	التحليل	الجوانب اللوجستية
• اسم الحالة والتواريخ والموقع • أسماء أعضاء الفريق العلمي وأماكن عملهم • الأهداف والأساليب والإجراءات	• الدورة الزمنية والمعدّل • المجال الجغرافي • أنواع العينات	• المختبرات التي تقوم بالتحليلات. • الخطط التحليلية والتكاليف المتعلقة بها • تاريخ الالتزام بنشر التقرير	• وصف المعدات والمواد وتكلفتها • تكاليف أي دعم لوجيستي إضافي خاص • تحديد تكلفة الاحتياجات من السفر والإقامة

▲ *الجدول رقم 3: المكونات المعتادة في موازنة المقترح.*

مراقبة الجودة

للحفاظ على جودة عالية لعملية أخذ العينات والتحليل، يجب أن تتضمن كل خطة للرصد عنصرين أساسيين وهما:

- ضمان الجودة (QA) لضمان وجود العمليات والإجراءات القائمة للتحقق من إجراء جوانب خطة الرصد، مثل أخذ العينات والتحليل، بالأسلوب الصحيح (مراجعة للعملية)؛
- مراقبة الجودة (QC) لضمان تحقيق خطة الرصد لأهدافها المخططة (مراجعة المنتج).

وقد يتم تقسيم العينات بأكثر من طريقة لأغراض مراقبة الجودة ويتم تقرير هذا قبل جمع العينات، وذلك على النحو التالي:

- تقسيم العينات: يتم تقسيم كل عينة متجانسة بالكامل بعد سحبها أو أخذها لإعطاء طرفين أو أكثر فرصة القيام بالتحليل المستقل؛
- العينات المزدوجة/المكررة ميدانيًا: يستخدم نفس الجهاز والإجراءات في نفس الموضع لأخذ عينتين أو أكثر ويجب أن تكونا متطابقتين. وتستخدم مثل هذه العينات لاختبار تباين العينة وقد لا يتم تعريف هويتها دائمًا للمختبر؛
- العينات المزدوجة/المكررة في المختبر: تعطى عينات مقسّمة إلى نفس المختبر للتحليل، ولكنها توصف بأنها عينات مختلفة. يمكن استخدام هذه العينات للتحقق من دقة تحليل المختبر.

تنفيذ برنامج الرصد وأخذ العينات

يعتمد نوع ومدى البيانات والمعلومات الميدانية التي يتم تجميعها على أهداف الرصد الذي يتم تنفيذه. على سبيل المثال، لرصد فعالية استخدام المشتتات، يمكن استخدام قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية (UVF)، وذلك بالإضافة إلى المراقبة بالنظر بواسطة مراقبين مدربين، لتجميع البيانات حول تركيزات النفط في عمود المياه2. ومن الواضح أنه لكي تكون النتائج المستقاة من المسوحات الميدانية مفيدة في اتخاذ القرار، فإنه يجب إرسالها إلى مركز القيادة في الوقت المناسب.

ورغم أن المراقبة الجوية مفيدة في جمع المعلومات حول المدى الجغرافي الإجمالي للنفط في البحر وعلى السواحل، إلا أن المسوحات الأكثر تفصيلاً للسواحل والتي تهدف إلى التوثيق السريع لتلوث الساحل بالنفط تعطي معلومات هامة للغاية لتساعد في تحديد أساليب التنظيف المناسبة. وبالإضافة إلى الملاحظات المكتوبة والرسومات التخطيطية، فمن الشائع أن توثّق عمليات مسح السواحل ما توصلت إليه من خلال الصور الفوتوغرافية وأفلام الفيديو. وبالنسبة لكلٍ من المراقبة الجوية ومسوحات السواحل، من المفيد تسجيل الصور باستخدام بيانات نظام تحديد المحل الجي بي إس، مما يتيح إيجاد مرجعية للبيانات والمعلومات بطريقة مباشرة3.

وحيثما تكون خصائص النفط والظروف البيئية وقت الانسكاب تشير إلى غرق كميات كبيرة من النفط، فقد يتطلب الأمر إجراء مسوحات تحت الماء لمعرفة ما إذا كان هذا قد حدث بالفعل أم لا ولتحديد نطاق المناطق المتضررة إن وجدت. ويمكن تحقيق مثل هذه المسوحات من خلال أساليب متنوعة، مثل التقييم البصري إما من خلال الغطّاسين أو باستخدام المركبات التي تعمل عن بعد (ROV) أو المستشعرات الصوتية والسونار أو الأساليب الميكانيكية. وقد استخدمت بعض الأساليب الميكانيكية في صورة مواد ماصة يتم وضعها في أماكن ثابتة أو جرها على قاع البحر (*الشكل رقم 3*) للكشف عن وجود النفط المنسكب في بعض الحالات الماضية.

وبغض النظر عن نوع البيانات الميدانية والمعلومات التي يجري جمعها، يجب وضع بروتوكولات مثل بروتوكول SCAT (أسلوب أو فريق تقييم عمليات تنظيف السواحل)، لضمان الدقة والترابط في كيفية جمع البيانات والمعلومات. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الأفراد الذين يقومون بالمسح يجب أن يكونوا حاصلين على التدريب المناسب. ويجب تصنيف أي بيانات أو معلومات ميدانية تم تجميعها وتخزينها وأرشفتها بصورة مناسبة، وذلك لإتاحة ربطها بنتائج أية دراسات رصد أخرى قد تُجرى.

تجميع العينات

يجب أن تتفق إجراءات تجميع العينات مع الممارسات الفضلى الدولية، ويجب أن يتم وصفها بالتفصيل في خطة الرصد. ويضمن هذا النهج أن تتّبع فرق أخذ العينات نفس البروتوكولات في الميدان وأن تتاح معلومات كافية تُمكّن من تفسير النتائج بصورة صحيحة. وعند اتباع الممارسات الفضلى المتفق عليها دوليًا، يزيد احتمال الدفاع عن النتائج أمام المحكمة، إذا تطلب الأمر ذلك. ويحتوي الجدول رقم 4 على إرشادات حول كمية العينات من الأنواع المختلفة.

مصدر العينات

من بين أهم العينات التي يلزم الحصول عليها مبكرًا في برنامج الرصد هي عينات النفط النظيفة والتي يتم التحقق منها من جميع المصادر المحتملة (*الشكل رقم 4*). وحين يكون المصدر معروفًا، مثل ماسورة مكسورة أو خزّان سفينة، ويمكن الوصول إليه، يمكن أخذ العينات بواسطة الأشخاص المدربين مباشرة (*الشكل رقم 5*). أما حين يكون المصدر غير معروف، فقد يلزم أخذ العينات من عدة مصادر مرشحة. ورغم أنه يمكن عادة الاكتفاء بأخذ عينات من النفط الموجود في ناقلات الحمولة من موضع واحد، إلا أن محتويات خزّانات الوقود أو الصنادل البحرية نادرًا ما تكون متجانسة

---

2 *انظر الورقة المنفصلة الصادرة عن الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث (ITOPF) بعنوان "استخدام المشتتات لمعالجة انسكابات النفط".*

3 *انظر الورقتين المنفصلتين الصادرتين عن الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث (ITOPF) بعنوان "المراقبة الجوية لانسكابات النفط البحرية" و"التعرف على النفط على السواحل".*

▲ *الشكل رقم 3: استخدام المواد الماصّة لأخذ العينات تحت خط الجذر. يتم سحب الإطار، المتصل به المادة الماصّة، بطول قاع البحر. ويتيح وجود النفط على المادة الماصّة عند رفعه تحديد النطاق الجغرافي للنفط الغارق.*

الوصف	مؤشر الحد الأدنى للكمية المطلوبة (لكل عينة)
عينة مصدر نفط صافي	30-50 ملي لتر
نفط ملوّث (مثل النفط المكوَّن لمستحلب، والنفط الخارج من البحر أو الشاطئ وكتل القطران المختلطة بالرمال وما إلى ذلك).	10-20 جرام
حطام السفن مختلط بالنفط، رمال ملوثة بالنفط	كمية كافية لأن يكون النفط حوالي 10 جرام
ريش ملوث بالنفط	5-10 ريشات طبقًا لكمية النفط الموجودة
الأسماك والمحاس (اللحم والأعضاء)	عدة أفراد من نفس السلالة بإجمالي 30 جرام
عينة مياه مع نفط مرئي	1 لتر
عينة مياه ليس بها نفط مرئي	3-5 لتر

▲ *الجدول رقم 4: إرشادات لكمية العينات المطلوبة عادة للتحليل الهيدروكربوني*

بدرجة تسمح بأخذ العينات من نقطة واحدة، وتؤخذ العينات عادة من أعماق مختلفة من الخزّان وعادة ما تؤخذ من الجزء العلوي والأوسط والقاع.

وعادة ما تؤخذ العينات أثناء تحميل نفط الوقود أو الحمولة في السفينة ويتم الاحتفاظ بها كأحد ممارسات التشغيل القياسية في حالة نشوب نزاع تجاري. ورغم أنها قد تكون مفيدة كعينات من المصدر، إلا أنه من المهم ملاحظة أنه قد تكون هناك مسائل تتعلق بالجودة وتسلسل الحيازة عند استخدامها، وبالأخص عندما تكون مخزّنة في أوعية بلاستيكية. وعندما يكون مصدر النفط هو حطام غارق ولا يمكن الوصول إليه لأخذ العينات، فقد يمكن تجميع عينات من النفط مع ارتفاع النفط إلى سطح البحر، فوق الحطام مباشرة. وإذا تمت عمليات لإزالة النفط من الحطام في وقت لاحق، فيمكن أن تؤخذ كمية قليلة من النفط المستعاد من فريق الإنقاذ. وفي الحالات التي لا يمكن فيها الحصول على عينة من المصدر، يمكن أخذ عدة عينات من النفط من السواحل الملوثة واستخدامها كمصدر بديل للعينات.

أخذ العينات من النفط المنسكب

عادة يمكن أخذ عينات من النفط الطافي أو النفط المحتجز لأغراض نوعية لتأكيد مصدر النفط، وليس لوضع خرائط كميّة للتركيزات. وعادة لا يتطلب الأمر إلا كميات قليلة من النفط (أي 20-10 جرام) للتحليل. ويمكن جمع العينات من سطح المياه مباشرة باستخدام أوعية أخذ العينات أو وسادات ماصة (*الشكل رقم 6*). وإذا كان الوصول للمصدر محظورًا، فيمكن جمع العينات باستخدام دلاء على حبل أو باستخدام أعمدة إطالة. ويجب أخذ العينات من مقدمة القارب المستخدم في أخذ العينات وذلك لتجنب أية لمعة من بدن المركب المستخدم في أخذ العينات وعادم المحرك أو مياه التبريد.

ومن حينٍ إلى آخر، يتحتم أخذ عينات من لمعة النفط الرقيقة، والتي توجد معدات متخصصة لأخذ العينات منها، مثل شبكات أخذ العينات ذات الفتحات الدقيقة. ولا يتم الحصول إلا على كميات صغيرة للغاية من النفط في اللمعة. وكلما كانت الطبقات المطلوب أخذ العينات منها أقل سمكًا، زاد خطر تلوث العينة (على سبيل المثال من المركب المستخدم أو المعدات المستخدمة لأخذ العينات). ولمراقبة الجودة، يجب إعطاء شبكات أخذ العينات أو الوسادات الماصة غير المستخدمة للمختبر كمرجع للتحليل بجانب العينة.

عادة ما تتضمن إجراءات أخذ العينات من النفط المحتجز على الساحل أو داخل المنطقة الواقعة بين المد والجذر كشط النفط أو جمعه داخل وعاء لأخذ العينات (*الشكل* رقم *7*)، مع الحرص على تقليل المحتوى من الرمال وحطام السفن.

العينات البيئية

ينطوي أخذ العينات والرصد المقصود منه تحديد كمية التلوث بالهيدروكربونات على الانتقال من استهداف النفط المنسكب إلى أخذ العينات من الوسط والذي يمكن أن

▲ *الشكل رقم 4: صب عينة نفط من وقود السفن على سطح سفينة مصابة.*

▲ *الشكل رقم 5: يعتبر أخذ العينات من السفينة المصدر نشاطًا فنيًا معقدًا ويمكن أن يكون خطيرًا ويجب أن يتم بواسطة طاقم المركب أو المسّاحين البحريين أو طاقم الإنقاذ.*

▲ *الشكل رقم 6: التقاط النفط الطافي بواسطة وسادة ماصّة نظيفة.*

يكون قد تلوث. عادة ما يكون النهج المبدئي هو أخذ العينات من عمود المياه، نظرًا لأن هذا هو المسار الذي ينتقل من خلاله النفط حتى يصل إلى السواحل والترسبات والكائنات الحية. وطبقًا للأهداف التي تتقرر منذ بدء الرصد، فقد يوفر دليل ارتفاع تركيزات النفط في عمود المياه الدافع لمد نظام أخذ العينات إلى أهداف أخرى، مثل الكائنات الحية. وفي بعض الحالات الأخرى، قد يتم البدء في برنامج رصد بيئي مكثف (أي رصد للملوثات وتقييم للأثر البيولوجي)، مما يتطلب مجموعة من عينات المياه والكائنات الحية والرواسب، ولكن عادةً لا يكون هذا ضروريًا إلا إذا كان التلوث قد أصبح كثيفًا والآثار يمكن أن تكون كبيرة. ومن المهم ضمان الاتساق على مدار عملية أخذ العينات، وحيثما أمكن، لضمان استهداف عينات يمكن المقارنة بينها. فعلى سبيل المثال، عند رصد تلوث المحار من عددٍ من المواقع، فإنه يجب استهداف نفس السلالات من المحار، وفي الحالة المُثلى في نفس المرحلة من دورة حياتها، في جميع المواقع لتتيح مقارنات كميّة وذات معنى.

ويعتمد الحجم أو الكتلة المطلوبة لكل عينة على عدد التحليلات المخططة وأنواعها، وتركيز النفط في العينة، وعدد المنظمات المشاركة التي تطلب قِسمًا من العينات خاصًا بها وعدد النسخ المزدوجة أو المكررة المطلوبة لأغراض مراقبة الجودة. ولا تتطلب إجراءات الاختبار الحديثة إلا عينات صغيرة للغاية بالنسبة للنفط النقي نسبيًا (*الجدول رقم 4*).

أخذ عينات المياه

قد يتم رصد عمود المياه من خلال القياسات الميدانية في الموقع أو من خلال التجميع اليدوي للعينات التي يتم الحفاظ عليها ونقلها إلى المختبر لإجراء التحليلات. وتتضمن القياسات الميدانية جودة المياه الأساسية والكشف المحدد عن النفط سواء، وكلاهما يتطلب مستشعرات ميدانية محمولة تعطي مخرجات في الوقت الحقيقي:

- تقيس مستشعرات جودة المياه الإلكترونية المواد الكيميائية والمتغيرات المادية مثل درجة الحموضة (pH) أو درجة الملوحة أو التوصيلية الكهربية أو الطلب الكيميائي على الأكسجين (COD) أو الطلب البيولوجي على الأكسجين (BOD). وليس لهذه المتغيرات ارتباط مباشر برصد ملوثات النفط، ولكنها قد تفيد في دراسات الرصد الإيكولوجية المرتبطة.
- تعتبر تطبيقات المستشعرات الميدانية، وهي تختص بانسكابات النفط، مثل جهاز قياس الإشعاع الفلوري متعدد الأطوال الموجية المسحوب، في عمليات الاستجابة أكثر منها في عمليات الرصد البيئية، على سبيل المثال، لبيان تركيزات

▲ *الشكل رقم 7: أخذ عينات من النفط العالق على السواحل.*

النفط المنسكب.

ويمكن القيام بالتجميع اليدوي لعينات المياه باستخدام أجهزة خاصة لأخذ العينات والتي يتم إنزالها إلى عمق المياه المطلوب في الوضع المغلق (*الشكل رقم 8*). وبمجرد وصولها إلى هناك، يتم فتحها لأخذ العينة، ثم إغلاقها واستعادتها لتجنب التلوث بالطبقات الرقيقة من النفط التي قد توجد على سطح البحر. ويظل التجميع اليدوي تمهيدًا للتحليل في المختبر فيما بعد هو الممارسة السائدة لرصد الملوثات.

أخذ عينات الترسبات

عادة ما يكون القياس الكمّي للنفط الإجمالي، أو تغير تركيب النفط في الترسبات مع تحلله، جزءًا من برامج رصد الملوثات (*الشكل رقم 9*). وعادة ما يتم أخذ العينات من الترسبات الموجودة تحت مستوى الجذر من المراكب، ونظرًا لانخفاض معدل انتقال النفط إلى هذه الأنواع من الترسبات، فإنه يتم عادة استخدام أذرع الإمساك التي تستخدم في المياه الضحلة. وتتجنب أذرع الإمساك جيدة التصميم انجراف محتوياتها بفعل المياه أثناء استعادتها، ومن الممارسات الجيدة غسل ذراع الإمساك بمادة مذيبة بين عمليات تجميع العينات. كما تستخدم أحيانًا معدات استخراج العينات الجوفية التي يقوم الغواصون بتشغيلها إذا كان هناك شك في وجود تلوث قائم من قبل من مصادر أخرى. وعادة ما يتم أخذ العينات من الترسبات الموجودة بين مستوى المد والجذر إما من خلال أجهزة كشط للسطح أو من خلال معدات استخراج العينات الجوفية. وقد تستخدم النتائج، على سبيل المثال، للمساعدة في اتخاذ القرارات المتعلقة بتوقيت إنهاء عمليات التنظيف.

أخذ عينات الكائنات الحية

وتتباين إجراءات أخذ العينات للكائنات الحية وتعتمد على الكائنات والموائل التي يراد تضمينها، مثل الأنواع القاعية والسطحية (أي القريبة من قاع البحر أو في عمود المياه) والسلالات الحية القاعية (التي تعيش على قاع البحر أو داخل ترسبات التربة)، بالإضافة إلى الطيور والثدييات. ويجب أن تركز الدراسات على الاتجاهات الموجودة داخل النظام الإيكولوجي، بدلاً من محاولة توثيق كل تذبذب في المستويات المعتادة، وقد وجد أن استخدام السلالات الحية الرئيسية كمؤشرات هو أفضل نهج. وعادة ما تكون هذه السلالات الحية إمّا هامة من الناحية التجارية أو توفر بطبيعتها

▲ *الشكل رقم 8: صب عينات المياه من جهاز تجميع العينات إلى زجاجات زجاجية للحصول على عينات منقسمة.*

وتعرضها فرصًا جيدة لتوثيق التلوث (مثل بلح البحر وغيره من الكائنات ترشيحية التغذية). ويمكن أن تكون العينات إما محددة لعضو (أي نفس العضو من بين عدد من الأفراد) أو للكائن ككل، مع تحقيق التجانس بين جميع الأجزاء اللينة (*الشكل رقم 10*).

وقد تنطوي عينات الكائنات الحية على كلٍ من السلالات الحية البرية والمزروعة، مثل ما يوجد في مرافق الأحياء البحرية. ويجب أخذ العينات من الأحياء البحرية بمشاركة عامل تشغيل المرفق وفي الحالة المثلى يتم ذلك في أماكن يختارها فريق أخذ العينات لتمثل المرفق بالكامل. وبالنسبة للقطعان البرية من السلالات الحية المستغلة تجاريًا، يمكن شراء العينات من الصيادين، رغم أن هذا النهج قد يتعرض لمشاكل كثيرة تتعلق بمراقبة الجودة بالنسبة لمكان ووقت اصطياد الأسماك وخطر التلوث المتبادل. ويتجنب جمع العينات بمشاركة الصيادين هذه المشكلات وربما يكون هو الأنسب في مصيدة أسماك حرفية حيث تكون حصيلة الصيد محلية وتجلب إلى الشاطئ يوميًا. ولا تخضع الطيور أو الثدييات أو غيرها من الكائنات العليا للاختبارات في المعتاد عند رصد ملوثات النفط، نظرًا لأن التلوث يمكن عادة أن يُرى بالعين ويكون التفاوت فيه أكبر من السلالات الحية ذات المؤشرات الدنيا مثل بلح البحر. وعادة ما تؤخذ العينات من الحيوانات الملوثة بالنفط من الجثث أو بطريقة غير تداخلية من الحيوانات الحية، مثل الريش أو الفراء الملوث بالنفط.

تداول العينات

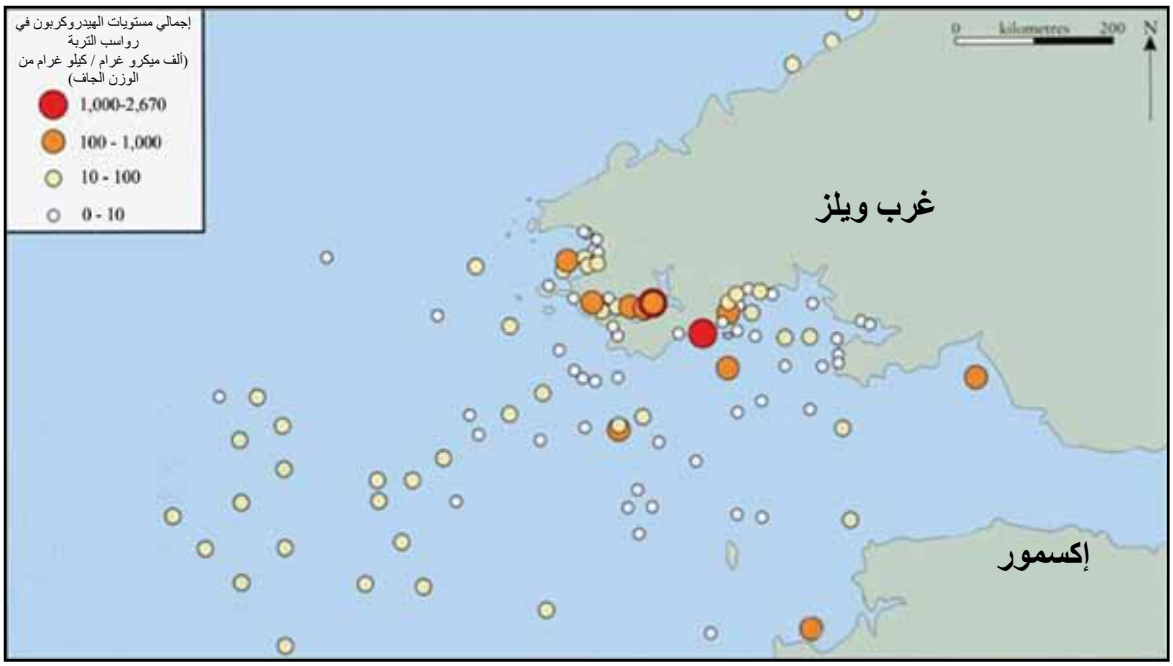
في العديد من الحالات، لا يكون الاستخدام النهائي للعينة ونتائج التحليل معروفين في وقت أخذ العينة. وللحفاظ على سلامة العينة حتى يمكن استخدامها بعد ذلك، يجب اتباع إجراءات التداول وبروتوكولات التخزين المناسبة. ويشمل تداول العينات في الميدان التخزين ووضع الملصقات والتثبيت قبل المختبر، والتعبئة والشحن وإدارة العملية. ويشار إلى التوثيق الزمني المرتبط بهذا باسم "تسلسل الحيازة".

التخزين

يعد التخزين جزءًا أصيلاً من عملية أخذ العينات، نظرًا لأن المادة توضع فورًا ومباشرة في وعاء التخزين لتقليل التلوث المتبادل والتحلل. وفي بعض الحالات، يستخدم الوعاء ذاته كأداة للتجميع، مثلما يحدث حين يتم كشط النفط الطافي أو نقل الرمال الملوثة بالنفط إلى وعاء زجاجي. ويجب التخطيط المسبق لضمان وجود إمداد من أوعية التخزين. ويجب تجنب استخدام الأوعية غير المتخصصة، مثل زجاجات المياه البلاستيكية، إلا إذا لم يتوافر وعاء آخر مناسب. وإذا كان هناك خطر التلوث من البلاستيك المتحلل، فإن الوعاء ذاته قد يخضع للتحليل ويستخدم كمرجع لمقارنة نتيجة التحليل. ويضم الجدول رقم 5 والشكلين رقم 11 ورقم 12 العديد من خصائص أوعية التخزين المناسبة.

وضع الملصقات

يجب التفكير في التخزين ووضع الملصقات بالتتالي، نظرًا لأن تسلسل الحيازة يبدأ من الناحية الفعلية بمجرد وضع العينة في وعاء. وسوف يتطلب برنامج لأخذ عينات مكانية أو زمنية أوعية عديدة، ويكون نطاق الارتباك والخلط غير المقصود للأوعية



▲ *الشكل رقم 9: أماكن محطات أخذ العينات المختارة لتقييم تلوث ترسبات قاع البحر بالنفط بعد الانسكاب النفطي الذي سببته "سي إمبرس" في ويلز بالمملكة المتحدة. في أعقاب هذا الانسكاب الكبيرة، يمكن رؤية أن تلوث ترسبات التربة بعد حوالي ستة أشهر من الانسكاب استمر أساسًا في المياه الضحلة بالقرب من الساحل. (المصدر: الأثر البيئي للانسكاب النفطي من "سي إمبرس"، لجنة التقييم البيئي للسفينة "سي إمبرس" 1998 (SEEEC)).*

كبيرًا. ولتجنب هذا، يجب إعداد ملصقات قياسية للعينات، مما يتيح للمستخدم تخصيص مرجع يحدد العينة بصورة فريدة، بالإضافة إلى معلومات تفصيلية عن مكان أخذ العينة ووقت أخذها والقائم بذلك. وإذا كانت العينة جزءًا من عملية مشتركة لأخذ العينات، فيجب تضمين اسم الشاهد على أخذ العينات ومعلومات الاتصال الخاصة به.

ويجب الاحتفاظ بسجلّ مخزون موازٍ للعينات، على سبيل المثال، في صورة جدول إلكتروني، تسجّل فيه نفس المعلومات، ويمكن إتاحة نسخ منه للأطراف المعنية ولمختبر التحليل. وبالإضافة إلى تسجيل المتغيرات العلمية المحضة، يجب أن توثّق فرق أخذ العينات الأسماء والتواريخ والأماكن وأي تفاصيل أخرى تتعلق بحيازة العينات أثناء نقلها من طرف إلى طرفٍ آخر. ويضمن حماية تسلسل الحيازة عدم تعرض العينات لأي خطر من العبث المادي أو التلوث المتبادل أو أي نوع آخر من التغيير سواء متعمد أو غير متعمد.

التثبيت

سوف تظل العديد من العينات ثابتة لبعض الوقت ويمكن الاحتفاظ بها في أوعية أخذ العينات الأصلية نظرًا لأنها ليست عرضة للتحلل بشكل خاص. وعلى سبيل المثال، كرات القطران المتعرضة لعوامل التجوية، أو نظرًا لأنها قد تم تبريدها أو تجميدها، مثل عينات نسيج الأسماك. وطبقًا لبروتوكول الرصد، قد تكون هناك حاجة إلى تثبيت عينات المياه والتربة في الميدان إذا كان هناك تأخير في تسليمها إلى المختبر لضمان استمرار سلامتها. ورغم أن بعض العينات قد يضاف إليها أحماض أو مبيدات حيوية، إلا أن الممارسة العامة تقضي بإجراء استخلاص للمذيب في نفس اليوم الذي يتم فيه جمع العينات. وحتى عند تجميدها، فهناك خطر من أن العينات قد تتحلل وأن المادة قد تمتص في جوانب الأوعية. وبالتالي، فإن وقت التخزين المسموح به بالنسبة للعينات قد يكون محددًا بصرامة في بعض البروتوكولات التحليلية. ويجب الاعتناء بشراء أكثر المذيبات نقاءً فقط لاستخدامها في الاستخلاص. ويمكن أن يسبب التلوث في المذيبات ارتباكًا أو أن يعيق الكشف عن المركبات موضع الاهتمام، وبخاصة حين تكون هذه المركبات ذات تركيزات منخفضة للغاية.

التعبئة والشحن

تخزّن العينات بصفة أساسية في الأواني الزجاجية ويجب تعبئتها بحرص قبل النقل لتجنب الكسر أو الضياع أو تدهور العينات. وتعتبر الصناديق المبطنة ذات الفواصل الداخلية مفيدة، وكذلك الحال بالنسبة للصناديق المُبرَّدة ذات الغطاء الخارجي الصلب، إذا تم تسليمها بصورة آمنة إلى مختبر التحليل. وفي جميع الحالات، تتضمن الممارسات الفُضلى تقليل المياه الحرة في عينات النفط، والمحافظة على درجات الحرارة المناسبة للمادة البيولوجية ووضع ملصقات على أي وعاء خارجي تحتوي على اسم الحادث وبداخلها سجل لمخزون العينات الذي تحتوي عليه العبوة. ونظرًا لاختلاف متطلبات الشحن الداخلي من بلدٍ إلى الآخر، فيجب السعي للحصول على النصيحة محليًا. وعادة ما يكون شحن العينات دوليًا أكثر تعقيدًا وقد يتطلب الالتزام بقواعد صارمة للتعبئة ووضع الملصقات حيث ستؤثر خصائص النفط، مثل نقطة الوميض، على التعبئة المطلوبة ونوع النقل.

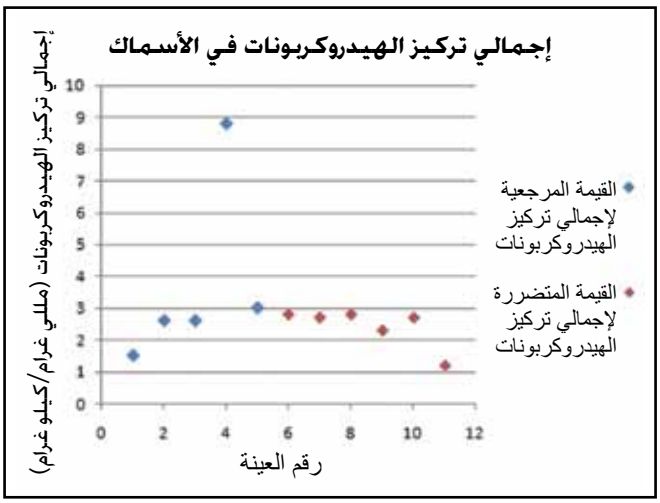
الأساليب التحليلية للتلوث النفطي

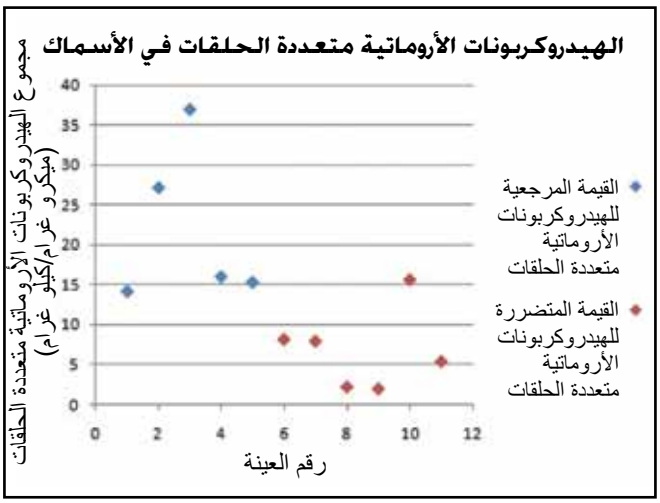
بمجرد اختيار مختبر مناسب وتجميع العينات في الميدان، يمكن أن يبدأ العمل في تحليل العينات لتحديد مصدر النفط أو مستوى التلوث. ورغم أنه من غير المتوقع أن يجري التحاليل غير المتخصصين، إلا أن فهم الأساليب التحليلية المختلفة والغرض من كلٍ منها يعتبر مفيدًا للمشاركين في تخطيط برامج الرصد وتنفيذها.

ولفهم الأساس المنطقي لاستخدام أسلوب تحليلي معين لتحديد مستوى التلوث بالنفط في العينات، والتأكد من مصدر نوع معين من النفط فإن معرفة التركيب الكيميائي للنفط يمكن أن تكون مفيدة، كما يوضح الملخص الموجود في المربع رقم 1، الموجود على الصفحة المقابلة.

ولا يغطي نظام قياسي دولي واحد، ولا مجموعة واحدة من المبادئ التوجيهية، تحليل عينات التلوث النفطي في جميع أنحاء العالم. ولكن، هناك عدد من البروتوكولات ذات الصلة على المستويين الدولي والمحلي يمكن اتباعها أثناء تحليل العينة وتشمل تلك المنشورة من قِبل:

- الجمعية الأمريكية للاختبارات والمواد (ASTM)؛
- المعهد الأمريكي للبترول (API)؛
- وكالة حماية البيئة في الولايات المتحدة (EPA)؛
- المجلس الوطني لوزراء البيئة (CCME)؛
- اللجنة الأوروبية لوضع النظم القياسية (CEN)؛
- المجلس الأوروبي الأسيوي لوضع النظم القياسية في روسيا (EASC).





▲ *الشكل رقم 10: نتائج اختبار أجري لقياس تركيز إجمالي الهيدروكربونات والهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات في الأسماك.*

وعند الوصول إلى المختبر وقبل أن يمكن بدء أعمال التحليل، يجب تنظيف العينات لإزالة المواد الخارجية وتركيز مركبات الهيدروكربون. وأكثر الأساليب شيوعًا هي استخلاص المذيب والاستشراب. وتعتمد طبيعة هذه الخطوة التحضيرية على أساليب التحليل النهائية التي سوف تستخدم وحالة العينة. وعلى سبيل المثال، سوف يلزم إزالة حطام السفن من عينات رواسب التربة وسوف يلزم تكسير المستحلبات (أي إخراج وتصفية المياه)، واستخلاص عينات النفط، حتى وإن كانت تبدو نقية في مظهرها (*الشكل رقم 13*).

وتعتبر الكروماتوغرافيا أحد الأساليب العديدة التي تمر فيها مرحلة متحركة (تحتوي على العينة المطلوب تنقيتها) من خلال مرحلة ثابتة. وأكثر أسلوبين شيوعًا في الاستخدام لتكسير وفصل مجموعات جزئيات الهيدروكربونات هما التحليل الطيفي بالغازات لعمود السيليكا (GC) والكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء (HPLC). وفي حين أن التحليل الطيفي بالغازات (GC) متاح على نطاق واسع نسبيًا، فإن الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء (HPLC) يتطلب معدات معقدة للغاية ومذيبات نقية إلى درجة كبيرة، وبالتالي فهو أقل شيوعًا. ولكن، الكروماتوغرافيا السائلة عالية الأداء (HPLC) توفر الحساسية الزائدة والقدرة على تحديد الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات بطريقة موثوقة.

ولتعزيز فعالية التكلفة والإسراع بالعملية بأسرها، عادة ما يتم فرز العينات لاختيار التي تستلزم تحقيقًا أكثر تفصيلاً، وبالتالي يتم تقليل عدد العينات المطلوب تحليلها بالكامل. وعادة ما يستخدم الأسلوب المدمج بين كروماتوغرافيا الغاز وكشف تأين اللهب (GC-FID) للفرز، ولكن قد يستخدم أيضًا المسح الطيفي عن طريق قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية (UVF) والاختبار بالحواس. وينطوي الاختبار بالحواس على استخدام لجنة مدربة من المقيِّمين بالحواس الذين يعملون في بيئة يمكن التحكم فيها لتقييم العينات المشتبه فيها والعينات المرجعية من ناحية الطعم والرائحة والمظهر.[4]

قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية (UVF)

يعتبر قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية طريقة تحليلية نوعية وكمية يمكن استخدامها للكشف عن وجود النفط إما في عمود المياه في *الموقع* باستخدام الأجهزة المحمولة المناسبة، أو في العينات التي يتم تجهيزها في المختبر. ويتم تعريض المادة الخاضعة للاختبار إلى ترددات محددة من الأشعة فوق البنفسجية، والتي تثير الجزيئات الأروماتية (أي تؤدي إلى انبعاث ضوء بطاقة أقل) ثم يتم الكشف عنها بواسطة محلل الطيف. ويؤدي التركيب الخاص للهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات طبقًا لنوع النفط إلى جعل قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية طريقة جيدة للتعرف على أنواع النفط المختلفة (الشكل رقم 14) وأيضًا لتحديد إجمالي الهيدروكربونات في عينة ما. كما أنه قادر على الكشف عن تركيزات منخفضة للغاية من النفط في المياه، والتي تصل عادة إلى 1.0 ميكرو غرام/لتر (أي جزء من المليار) في الميدان وإلى 0.1 ميكرو غرام/لتر في المختبر وإلى 1.0 مللي

▲ *الشكل رقم 11: عينات من ناقلة موضوع عليها ملصقات بصورة جيدة في زجاجات واسعة الفوهة (العينات في هذه الحالة عينات منقسمة من خزّان واحد).*

▲ *الشكل رقم 12: لا تعتبر الزجاجات الشفافة، ذات الفوهة الضيقة (يسارًا) ولا الزجاجات البلاستيكية (يمينًا) الأوعية المثالية لأغراض الرصد.*

إرشادات عامة	ملاحظات
يجب احتواء العينات في أوعية زجاجية نظيفة ذات أغطية مصنوعة من التفلون أو أغطية مبطنة برقائق الألومنيوم. ويمكن تجميع أنواع نفط ذات المصادر السائلة في أوعية من الفولاذ الذي لا يصدأ. ويمكن نقل العينات الصلبة أو نصف الصلبة باستخدام عصا "مصّاصة" أو الضاغط الخشبي المستخدم مع اللسان. ويجب ارتداء قفازات مصنوعة من النتريل (الشكل رقم 7).	يمكن أن تتسبب الأوعية البلاستيكية في تلوث العينة. يجب أن تغسل أوعية العينات أولاً بمذيب مناسب. يجب استخدام عصي جديدة لأخذ العينات مع كل عينة. يؤدي استخدام القفازات إلى تجنب خطر التلوث ببقايا النفط من البشرة أثناء التداول.
استخدم زجاجات صفراء اللون أو احتفظ بالعينات في الظلام أثناء النقل والتخزين.	الحماية من الأكسدة الضوئية والتحلل بالنسبة للعينات المأخوذة من عمود المياه، على وجه الخصوص.
استخدم أوعية عينات بسعة 30 مللي لتر أو أكبر للنفط الصافي والتربة الملوثة بالنفط. يوصى باستخدام زجاجات ذات عنق واسع وأغطية تربط بسن لولبي.	الزجاجات ضيقة الفوهة وذات الزجاج الرقيق أصعب في الملء وقد تنكسر أثناء النقل.
لا تملأ أوعية العينات بالكامل سواء بالسائل أو حطام السفن الملوث بالنفط.	اترك مساحة ما للتمدد الحراري، وخاصةً إذا كان هناك خطر من التجمّد.
يجب أن توضع ملصقات على قوارير العينات بصورة صحيحة مع استخدام رقم مرجعي خاص لكل قارورة بحيث يبين كل ملصق اسم موقع أخذ العينات، ونوع العينة، والمعلومات الاخرى ذات الصلة (كالأعماق مثلاً).	قم بإعداد ملصقات قياسية تحتوي على أكبر قدر من المعلومات عن العينات، وذلك قُبيل أخذ العينات. استخدم قلماً لا ينمحي حبره، وغط كل ملصق بغطاء من الشريط الشفاف ليظل مقروءاً.
ثبّت الغطاء لتجنب الانسكاب، ولإثبات عدم العبث بالعينة خلال تسلسل الحيازة.	استخدم الشريط اللاصق لضمان تثبيت الغطاء.
تجنب التلوّث.	قم بتنظيف أدوات أخذ العينات بين العينات المختلفة باستخدام مذيب. ممنوع التدخين! ابق بعيدًا عن عادم القارب أو ما شابهه.

▲ *الجدول رقم 5: إرشادات عامة لتخزين العينات.*

جرام/كيلو جرام (أي جزء من المليون) في رواسب التربة بشرط إجراء المعايرة باستخدام عينة من مصدر معروف. ويعتبر قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية أسلوبًا سريعًا وقيّما للفرز ولكنه لا يستخدم عادة لتأكيد مصدر العينة، نظرًا لأن هذا قد يتطلب تحليل مكونات النفط المنفردة مثل تلك المبينة في المربع رقم 1. ولا يعتبر قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية مناسبًا للتحليل الذي يكشف عن البصمة، نظرًا لأن الجزيئات غير الهيدروكربونية الموجودة قد تشع عند نفس الأطوال الموجية المستخدمة في الحث ويمكن أن تتداخل مع الإشارات الناتجة عن الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات.

كروماتوغرافيا الغاز - كشف تأين اللهب (GC-FID)

كروماتوغرافيا الغاز هي أسلوب تحليلي ينطوي على فصل الخليط المعقد من الهيدروكربونات في النفط إلى مكونات تتألف من مجموعات جزيئية. ويتم حقن عينة سائلة صغيرة إلى عمود معدني ضيق وطويل يتم تسخينه بمعدل خاضع للتحكم مرورًا بنطاق محدد مسبقًا من درجات الحرارة. ويتم غسل العمود بصورة مستمرة بغاز حامل، وعادة ما يكون الهيليوم. يتفاعل التبطين الخاص داخل العمود مع المركبات المتحولة إلى بخار أثناء مرورها، مما يفصل الجزيئات طبقًا لخصائصها الكيميائية،

4 انظر الورقة المنفصلة الصادرة عن الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث (ITOPF) بعنوان "آثار تلوث النفط على مصائد الأسماك وتربية الأحياء البحرية".

المربع رقم 1 تكوين النفط

النفط عبارة عن خليط معقد للغاية من المركبات التي تتراوح بين جزيئات الهيدروكربون البسيطة ذات الوزن الجزيئي المنخفض وصولاً إلى الشمع وغيره من المركبات ذات الجزيئات الكبيرة والكثافة العالية والتي تحتوي على معادن وغيرها من العناصر. وفي العديد من حوادث انسكاب النفط، يكون تركيز برنامج الرصد على إيجاد قيمة المحتوى الهيدروكربوني الإجمالي (THC) أو ما يطلق عليه أيضًا إجمالي الهيدروكربونات البترولية (TPH)، والتي تمثل مجموع المركبات الأليفاتية والعطرية. وعادة ما يصف المحتوى الكربوني الإجمالي الكمية التي يمكن قياسها من الهيدروكربونات الموجودة في العينة البيئية، ولكنه لا يعطي معلومات حول المكوّنات المنفردة. ونظراً لأن كمية المحتوى الهيدروكربوني الإجمالي المقاسة تعتمد على طرق الاستخلاص وامتصاص المادة المستخلصة لضوء الأشعة تحت الحمراء، فإن النتائج تعتمد على الطريقة المستخدمة. وحين تكون هناك تفاصيل أكثر مطلوبة عن طبيعة التلوث النفطي داخل العينة، مثلاً داخل الطعام البحري أو لتحديد مصدر الانسكاب النفطي، يمكن تحليل مكونات الهيدروكربون المنفردة.

الألكانات العادية (ألكانات-n): هي مكونات تتركب من سلاسل مستقيمة من ذرات الكربون وعادة ما تتألف من نسب كبيرة من النفط الخام الجديد أو المنتجات المقطرة. وتعتبر ألكانات-n ذات الوزن الجزيئي المنخفض حساسة بالنسبة للتبخر والتحلل الحيوي. وبالتالي، فإن أنواع النفط التي تعرضت لعوامل التجوية تميل إلى أن تحتوي على نسب أقل من ألكانات-n بالنسبة لنظيرتها الجديدة. والألكانات المتعددة، أو ما يطلق عليها اسم المركبات ذات السلسلة المتشعبة، توجد بوفرة في أنواع النفط الجديدة على حدٍ سواء وهي أيضًا حساسة بالنسبة للتحلل الحيوي. وقد تكون بعض الألكانات المتعددة مفيدة كمؤشرات على التحلل الحيوي.

المركبات الحلقية: هي هيدروكربونات حلقية مشبعة ذات مقاومة نسبية للتحلل الحيوي. ويشير مصطلح "مشبعة" إلى الجزيئات المهدرجة بالكامل والتي لها روابط أحادية بين ذرات الكربون-الكربون. وبفضل ثباتها النسبي فإن بعض المركبات الحلقية ذات الوزن الجزيئي المرتفع تعتبر مفيدة بالأخص نظرًا لخصائصها المميزة التي تمكنها من تمييز بعض أنواع النفط المنفردة. ويشار إلى بعض المركبات باسم "المؤشرات الحيوية*" نظرًا لأنها تحولت من مادة بيولوجية أثناء العملية الجيولوجية لتكون النفط.

الهيدروكربونات الأليفاتية: تتكون من سلاسل حلقية متشعبة أو حلقية (غير عطرية) من ذرات الكربون وتشمل كلاً من ألكانات-n والمركبات الحلقية.

المركبات العطرية: هي هيدروكربونات حلقية غير مشبعة، وعادة ما تتكون من روابط كربون-كربون مزدوجة وأحادية بالتبادل وحلقة واحدة أو أكثر من ست ذرات كربون (حلقات بنزين) وتشمل المركبات العضوية المتطايرة (VOC) والهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات (PAH). وتشمل المركبات العضوية المتطايرة المركبات ذات الوزن الجزيئي المنخفض، مثل البنزين والطولوين، والتي تتبخر بسرعة ولذلك فإن جمع العينات وتحليلها بالنسبة للمركبات العضوية المتطايرة يمثل تحديًا يتطلب أساليب متخصصة.

الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات (PAH): هي عبارة عن مركبات سامة ومسببة للسرطان ولذا فهي محور العديد من برامج الرصد البيئية. وبالأخص، هناك 16 مركبًا من الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات تم تحديدها من قِبل وكالة حماية البيئة "كملوثات ذات أولوية"، وهي عادة ما تقاس وسوف تناقش بمزيد من التفصيل في ورقة منفصلة صادرة عن الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث بعنوان "آثار تلوث النفط على مصايد الأسماك وتربية الأحياء البحرية". ويعني التغير الذي ينشأ في مخلوطات الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات (PAH) عند تكون النفط أن كل نوع من أنواع النفط له "بصمته" الخاصة أو تشكيل PAH الخاص به. وبسبب هذا، بالإضافة إلى المقاومة العالية لعوامل التجوية، فإن الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات تعتبر طريقة هامة لتحديد أنواع النفط المختلفة. ويجب أن تستخدم دراسة الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات للمساعدة على تحديد المصادر المحتملة لملوثات المياه نظرًا لأن التحليل يمكن أن يفرق بين مصادر النفط من مسببات الاشتعال (نواتج الاحتراق) أو البترولية (الناشئة من النفط الخام) أو الحيوية (الناتجة من العمليات البيولوجية).

** في الرصد البيئي، يمكن أن يشير مصطلح "المؤشر الحيوي"، كما هو الحال هنا، إلى مركبات تستخدم في تحديد بصمة أنواع النفط أو تشير إلى المركبات التي تبين مستويات نشاط الإنزيمات في الحيوانات. وبالنسبة للحالة الأخيرة، انظر من فضلك الورقة المنفصلة الصادرة عن الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث بعنوان "آثار تلوث النفط على البيئة البحرية".*

مثل التطاير، وبالتالي فإن كل مركب ينتزع من العمود في فترة زمنية مختلفة، أو أوقات احتفاظ مختلفة.

كاشف تأين اللهب عبارة عن مستشعر يستجيب للأيونات المنبعثة من احتراق جزيئات خارجة من عمود كروماتوغرافيا الغاز أثناء احتراقها في لهب الهيدروجين. وتمر الجزيئات الأخف أسرع عبر العمود من الجزيئات الأثقل، ولذلك يمكن الربط بين أوقات الاحتفاظ بالمركبات داخل العمود وبين الوزن الجزيئي، وباستخدام عينات المعايرة، يمكن التعرف على الهيدروكربونات المنفردة. وكلما ارتفع تركيز مركب معين، كانت إشارة كاشف تأين اللهب أقوى، والتي تعرض، بعد معالجتها على جهاز الحاسب، في صورة قِمّة في منحنى الكروماتوغرام الناتج. ويمكن استخدام كروماتوغرافيا الغاز عن طريق كشف تأين اللهب كطريقة فرز سريعة نسبيًا وأسلوب لتحديد البصمة وهي أيضًا أسلوب مناسب للقياس الكمّي للهيدروكربونات.

ونظرًا لأن كل نوع من أنواع النفط له توزيعه الخاص أو بصمته الخاصة، فإن العديد من عينات النفط يمكن تحديدها من خلال دراسة مقارنة لمنحنيات الكروماتوغرام الناتجة من كروماتوغرافيا الغاز - كشف تأين اللهب بين عينات الانسكاب وعينات المصدر. وفي بعض الحالات، قد يكفي استخدام كروماتوغرافيا الغاز - كشف تأين اللهب وحدها لتأكيد أن العينتين غير متطابقتين (مثلاً عينة الانسكاب لا تتطابق مع عينة المصدر)، وبخاصة بالنسبة لأنواع النفط الجديدة نسبيًا. وعندما تكون النتائج غير حاسمة ويكون هناك احتمال فقط للتطابق أو حين تكون هناك حاجة للتحليل الكمي لمركبات معينة، فإن الدراسات الأعمق قد تتطلب أسلوب كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة الأكثر دقة.

كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة (GC-MS)

تتألف عملية كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة المقترنة من كروماتوغرافيا الغاز مرتبطة مع مقياس طيفي للكتلة، والذي يكشف ويحلل كل جزيء بصورة منفصلة، مما يتيح الكشف الدقيق عالي الوضوح عن الجزيئات والتعرف عليها. وينطوي القياس الطيفي للكتلة على عملية مكونة من أربع خطوات، هي التأين والتفتيت والانحراف المغناطيسي والكشف عن الأيونات الموجبة. ومن خلال إحصاء أعداد شظايا الأيونات المختلفة وتمثيلها بيانيًا، يمكن الكشف عن التركيب الإجمالي للجزيء (*الشكل رقم 15*).

▲ *الشكل رقم 13: استخلاص عينات النفط باستخدام قمع للفصل (الصورة مهداة من CEFAS).*

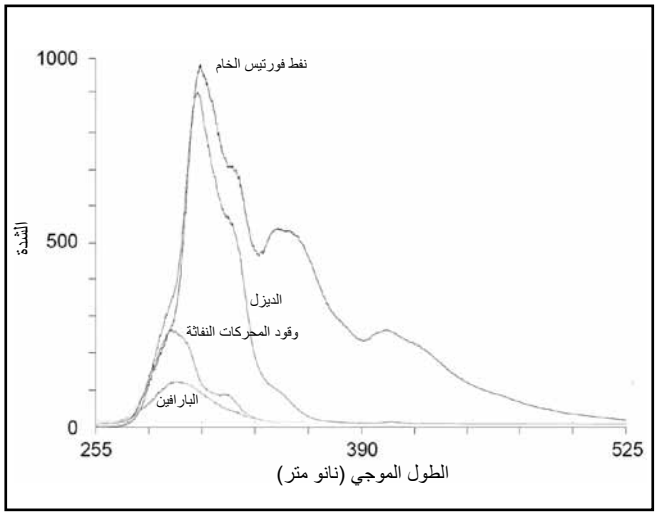
ونظرًا لدقتها العالية، فإن كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة هي الأسلوب الرئيسي في التعرف على المؤشرات الحيوية والمركبات العضوية المتطايرة وأنواع الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات المحددة. وعادة ما تتراوح حدود الكشف بالنسبة لأسلوب كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة حول 0.1 ميكرو جرام/كيلو جرام ولكن هناك أساليب متاحة يمكنها الكشف عن مستويات تصل إلى أجزاء من التريليون (أي نانو جرام /كيلو جرام)، رغم أن أهمية هذا المستوى من الكشف في سياق رصد التلوث البحري الناشئ من السفن تعتبر موضع جدل.

اختيار أسلوب التحليل

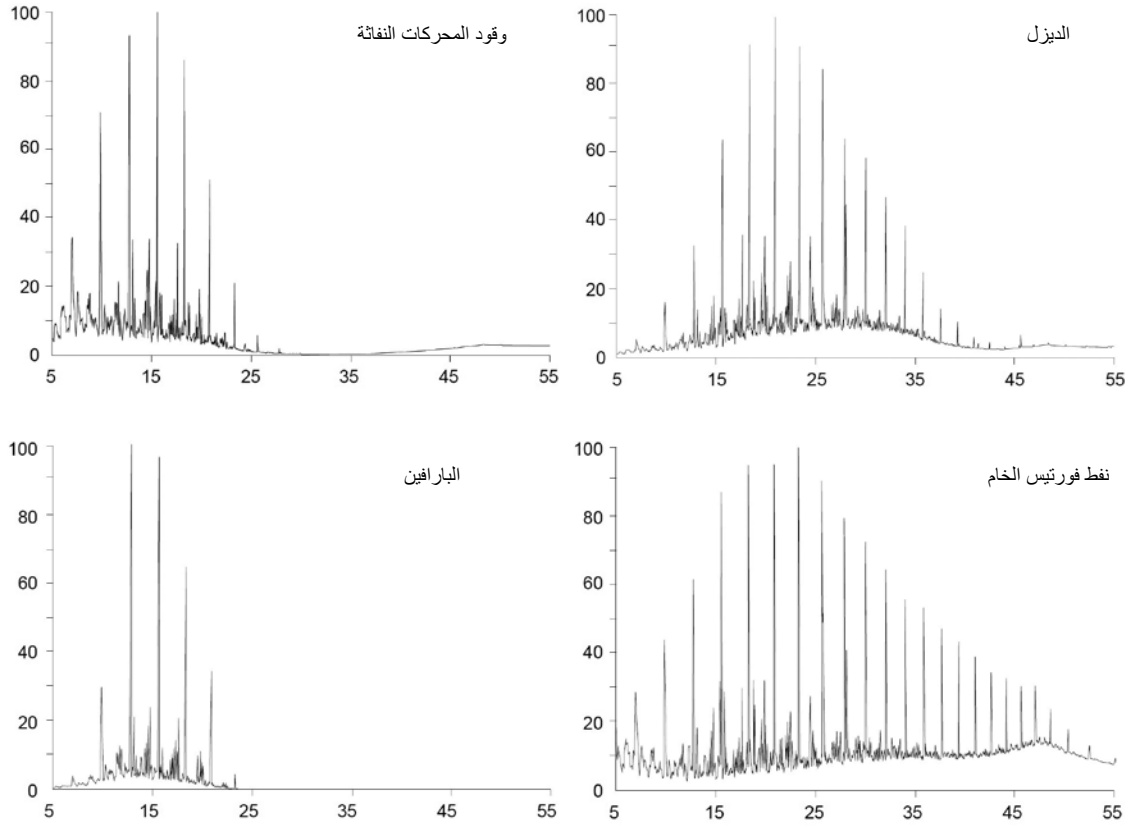
يتحدد اختيار الأسلوب المناسب من خلال أهاف برنامج الرصد (*الجدول رقم 6*). وإذا كان الهدف هو إثبات أن عينات الانسكاب جاءت من المصدر المشتبه فيه، فإن التحليل النوعي باستخدام الفرز عن طريق كروماتوغرافيا الغاز - كشف تأين اللهب وتحليل كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة للمؤشرات الحيوية هو النهج الذي يتبع عادة. وقد تستخدم أساليب قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية أو كروماتوغرافيا الغاز - كشف تأين اللهب إذا كان برنامج الرصد لا يهتم إلا بتتبع تركيزات الهيدروكربونات الإجمالية في العينات البيئية وتسجيل العودة إلى المستويات الطبيعية. وعادة ما يستخدم أسلوب كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة لتحليل الكائنات الحية وبخاصة في تحليل السلالات الحية المعدة للاستهلاك الآدمي، حين قد يتطلب الأمر قياس تركيزات الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات.

تفسير نتائج التحليل وإعداد التقارير بشأنها

يتطلب تفسير النتائج التي تم الحصول عليها من الأساليب التحليلية المشروحة أعلاه معرفة مستفيضة بالمنهجية المستخدمة وخبرة في استعراض مخرجات التحليل، ولذا فإنه خارج عن نطاق غير المتخصصين. وتشمل التحديات التي يمثلها تفسير النتائج عمليات التعرض لعوامل التجوية والتي يتعرض لها النفط قبل بدء أخذ العينات، بالإضافة إلى وجود مصادر أخرى بترولية وإحيائية لمركبات الهيدروكربون التي توجد عادة في النفط.



▲ *الشكل رقم 14: انبعاثات طيف قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية من دمج أربعة أنواع مختلفة من النفط. يمكن مقارنة ذلك مع الصور اللونية الناتجة من كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة لنفس أنواع النفط والمبينة على الصفحة المقابلة. (منقولة بتصرف من التقرير البيئي للمياه رقم 12 الصادر عن مركز البيئة ومصايد الأسماك وعلوم تربية الأحياء المائية (CEFAS) - أساليب تحليل الهيدروكربونات والهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات في العينات البحرية، 2000).*



▲ *الشكل رقم 15: أربعة أشكال معتادة للصورة اللونية الناتجة من الأيونات الكاملة (كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة) لوقود محرك نفاث، وديزل وبارافين ونفط فورتيس الخام. يُظهر وقود الديزل هيمنة النهايات الخفيفة. يُظهر نفط فورتيس الخام نمطًا مزدوجًا من النفط الخفيف والنفط الثقيل. (منقولة بتصرف من التقرير البيئي للمياه رقم 12 الصادر عن مركز البيئة ومصايد الأسماك وعلوم تربية الأحياء المائية (CEFAS) - أساليب تحليل الهيدروكربونات والهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات في العينات البحرية، 2000).*

ويجب تفسير نتائج تحليلات النفط واستنتاجاتها في سياق الملاحظات التي تمت في الموقع في أعقاب الحادث. ولتحقيق الفهم الكامل لمدى التلوث الناتج عن الانسكاب النفطي ومساراته، يجب تفسير نتائج العينات المأخوذة من رواسب التربة والكائنات الحية وعمود المياه في مواقع مختلفة في ضوء ربطها بمستويات الهيدروكربون العادية لكل موقع.

وعند إعداد التقارير بنتائج برنامج الرصد، من المهم تقديم تفاصيل عن عمليات أخذ العينات والبروتوكولات التحليلية المستخدمة. ويجب أن يكون تفسير النتائج مصحوبًا بالبيانات الخام الأولية التي تم تجميعها، وتشمل على سبيل المثال رسوم تحليل الطيف الاستشرابية التي تم الحصول عليها.

وعند وضع التقارير عن الملاحظات البصرية والبيانات الكمية الناتجة من تحليل عدد قليل نسبيًا من العينات، قد يكون من المناسب عرض جداول رقمية ومخططات ووصف نصي (الشكل رقم 16). ولكن، عندما يكون التلوث النفطي موزعًا على مواقع جغرافية معقدة فإنه يمكن تدعيم الجداول الرقمية بخرائط تشير إلى درجة التلوث التي تمت ملاحظتها أو نتائج محطات أخذ العينات المنفردة.

إنهاء أنشطة الرصد

أثناء مرحلة تصميم برنامج الرصد، يجب الاهتمام بالفترة الزمنية المتوقعة لأي عملية أخذ عينات ميدانية والمعايير المستخدمة لإنهاء البرنامج. وبالنظر إلى العوامل العديدة، والتي تحدث إمّا بصورة طبيعية، أو بصورة تتعلق بعملية الاستجابة، والتي تؤثر على استمرار وجود التلوث النفطي داخل البيئة البحرية، فقد يصعب التنبؤ بفترة زمنية مناسبة لعملية الرصد. ونتيجة لذلك، فإن برامج الرصد عادة ما تكون تكرارية، حيث تستخدم نتائج عمليات أخذ العينات السابقة كأساس لتحديد متطلبات عملية أخذ العينات القادمة ومداها وللمساعدة في صنع القرار المتعلق بتوقيت إنهاء برنامج الرصد.

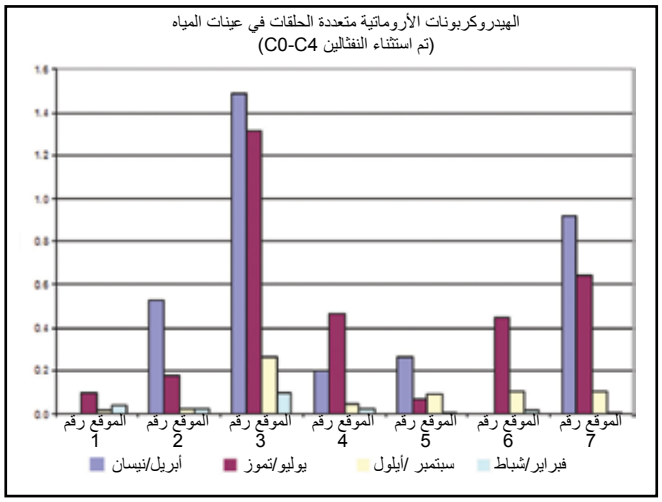
ولن تكون برامج الرصد للنفط في البيئة ضرورية في أعقاب جميع الانسكابات وهي عادة ما تكون أنسب في أعقاب الحوادث الكبيرة، حيث ينتشر النفط على مساحات جغرافية واسعة وحيث يكون النفط مصدرًا محتملاً لأضرار بيئية كبيرة، أو يمثل خطرًا على سلامة الأطعمة البحرية أو في الحالات التي يمكن أن تساعد فيها عملية الرصد بصورة مباشرة في أنشطة الاستجابة. ومن المهم أن تُجرى عملية الرصد بدقة علمية شديدة وموضوعية وتوازن وبهدف إعطاء معلومات موثوقة يمكن استخدامها لتقييم

المركبات	قياس الإشعاع الفلوري بالأشعة فوق البنفسجية	كروماتوغرافيا الغاز - كشف تأين اللهب	كروماتوغرافيا الغاز/القياس الطيفي للكتلة
ألكانات-n		X	X
الألكانات المتعددة		X	X
المؤشرات الحيوية		X	X
المركبات العضوية المتطايرة		X	X
الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات	X	X	X
إجمالي الهيدروكربونات	X	X	

▲ *الجدول رقم 6: الأساليب التحليلية المستخدمة لتحليل المجموعات الجزيئية*

مدى وامتداد التلوث النفطي. ويمكن، في بعض الحالات، أن تستخدم نتائج برنامج رصد الملوثات وأخذ عينات منها، جنبًا إلى جنب مع دراسة أطول زمنيًا وأكثر تعقيدًا للآثار البيئية، أو لتبرير نتائج مثل هذه الدراسة.

ورغم أنه قد تكون هناك ضغوط سياسية وجماهيرية لتنفيذ برامج رصد موسعة في أعقاب الحادث، فمن النادر أن يكون رصد جميع الموارد والأنظمة الإيكولوجية، التي قد تكون أو لا تكون متضررة، لازمًا أو عمليًا. وطبقًا لتجارب الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث ITOPF، فإن برامج الرصد ذات الأهداف الواضحة والتي ترتبط ارتباطًا مباشرًا بالحادث تكون هي الأكثر فعالية في الغالب.



▲ *الشكل رقم 16: نتائج دراسة عودة الهيدروكربونات الأروماتية متعددة الحلقات إلى مستوياتها العادية قبالة مياه الساحل أثناء عمليات تنظيف السواحل. الموقع رقم 1 والموقع رقم 6 هما موقعان مرجعيان.*

نقاط رئيسية

- قد لا يكون الرصد مطلوبًا دائمًا، إذا كان الانسكاب صغيرًا والموارد غير معرضة للتهديد، أو إذا كانت آثار النفط على مورد معين معروفة جيدًا.
- يوفر أخذ العينات والتحليل المشترك نهجًا تعاونيًا بناءً لعملية الرصد.
- يجب أن يحدد برنامج الرصد أهداف الدراسة بوضوح وأن يحدد المعلومات والبيانات اللازمة لتحقيق هذه الأهداف.
- تحدد الأهداف والعوامل المحددة الخاصة بالحادث أنسب مواقع محطات أخذ العينات وعددها.
- يجب وضع ميزانية واضحة لتكاليف البرنامج، ومناقشتها مع الجهة التي تدفع التعويض قبل بدء العمل، حيثما كان ذلك ذا صلة.
- يجب أن تكون المواقع المرجعية المختارة تمثل أنواع الموائل المتضررة والخاضعة للدراسة بصورة جيدة.
- يجب أن تعطى أولوية مرتفعة لتجميع عينات المصدر، ولكن قد يتطلب ذلك مشاركة أفراد مؤهلين للدخول إلى الأماكن المغلقة.
- يجب اتباع البروتوكولات المناسبة لتداول العينات وتخزينها لضمان سلامتها عند إجراء التحليل.
- يمكن أن تحدد نتائج تحليل العينات التي أخذت في وقتٍ سابق من برنامج الرصد مدى ومدة الرصد المتبقي.
- سوف تعتمد الأساليب المستخدمة في تحليل العينات على أهداف الرصد ولكن أساليب الفرز يمكن أن تكون مفيدة للحد من عدد العينات التي تتطلب تحليلاً معقدًا.

© 2012 ITOPF Ltd. Produced by Impact PR & Design Limited, Canterbury, UK

أوراق المعلومات الفنية

1 المراقبة الجوية لانسكابات النفط البحرية
2 مصير انسكابات النفط البحرية
3 استخدام حواجز التطويق الطافية في مواجهة تلوث النفط
4 استخدام المشتتات لمعالجة انسكابات النفط
5 استخدام أجهزة الكشط في مواجهة تلوث النفط
6 التعرف على النفط على السواحل
7 عمليات تنظيف النفط من السواحل
8 استخدام المواد الماصّة في مواجهة تلوث النفط
9 التخلص من النفط وحطام السفن
10 القيادة والسيطرة وإدارة الانسكابات النفطية
11 آثار تلوث النفط على مصائد الأسماك وتربية الأحياء البحرية
12 آثار تلوث النفط على الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية
13 آثار تلوث النفط على البيئة
14 أخذ العينات من انسكابات النفط البحرية ورصدها
15 إعداد المطالبات نتيجة تلوث النفط وتقديمها
16 التخطيط لحالات الطوارئ في انسكابات النفط البحرية
17 الاستجابة للحوادث الكيميائية البحرية

الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث هو منظمة لا تهدف إلى الربح ومنشأة بالنيابة عن مالكي السفن في العالم وشركات التأمين التي يتعاملون معها لتعزيز الاستجابة الفعّالة للانسكابات البحرية من النفط والمواد الكيميائية وغيرها من المواد الخطرة. وتشمل الخدمات الفنية الاستجابة لحالات الطوارئ، وتقديم النصح بشأن أساليب التنظيف، وتقييم أضرار التلوث، والمساعدة في التخطيط للاستجابة للانسكابات وتوفير التدريب. ويعدُّ الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث مصدرًا شاملاً للمعلومات حول التلوث النفطي البحري. وهذه الورقة هي واحدة من سلسلة تُبنى على تجربة خبرات طاقم العمل الفني في الاتحاد. ويمكن نسخ المعلومات التي تتضمنها هذه الورقة بناءً على تصريح مسبق من الاتحاد الدولي المحدود لمالكي الناقلات المعني بالتلوث. وللمزيد من المعلومات يرجى الاتصال بـ :

ITOPF Ltd

العنوان: 1 Oliver's Yard, 55 City Road, London EC1Y 1HQ, United Kingdom

الهاتف: +44 (0) 20 7566 6999

فاكس: +44 (0) 20 7566 6998

البريد الإلكتروني: central@itopf. org

الموقع: www. itopf. org