مصير انسكابات النفط البحرية

ITOPF
PROMOTING EFFECTIVE SPILL RESPONSE

ورقة المعلومات الفنية رقم 2

مقدمة

حين ينسكب النفط في البحر، فإنه يتعرض لعدد من التغيرات الفيزيائية والكيميائية، بعضها يؤدي إلى إزالته من سطح البحر، بينما يؤدي البعض الآخر إلى استقراره. ويعتمد مصير النفط المنسكب في البيئة البحرية على عوامل مثل الكمية المنسكبة، والخصائص الفيزيائية والكيميائية الابتدائية للنفط، والظروف الجوية والبحرية السائدة، وما إذا كان النفط قد بقي في البحر أو حملته الأمواج إلى الشاطئ.

ويعتبر فهم العمليات التي وكيفية تفاعلها لتغيير طبيعة النفط وتركيبه وسلوكه على مر الزمن أمرًا أساسيًا لجميع نواحي الاستجابة لانسكاب النفط. فقد يكون من الممكن، على سبيل المثال، التنبؤ بثقة بأن النفط لن يصل إلى الموارد المهددة بفعل التشتت الطبيعي، لذا فإنه لن يلزم إجراء عمليات التنظيف. وحين يتطلب الأمر استجابة نشطة، فسوف يحدد نوع النفط وسلوكه المحتمل خيارات الاستجابة التي يحتمل أن تكون أكثر فعالية.

وتصف هذه الورقة الآثار المشتركة للعمليات الطبيعية المتعددة التي تؤثر على النفط المنسكب، وهي تعرف معًا باسم "التجوية". وتوضع العوامل التي تحدد احتمال ثبات النفط في البيئة البحرية من عدمه في الاعتبار مع آثار عمليات الاستجابة. و مصير النفط المنسكب في البيئة البحرية له آثار هامة على جميع جوانب الاستجابة، وبالتالي، يجب قراءة هذه الورقة جنبًا إلى جنب مع مثيلاتها في هذه السلسلة من أوراق المعلومات الفنية.

خصائص النفط

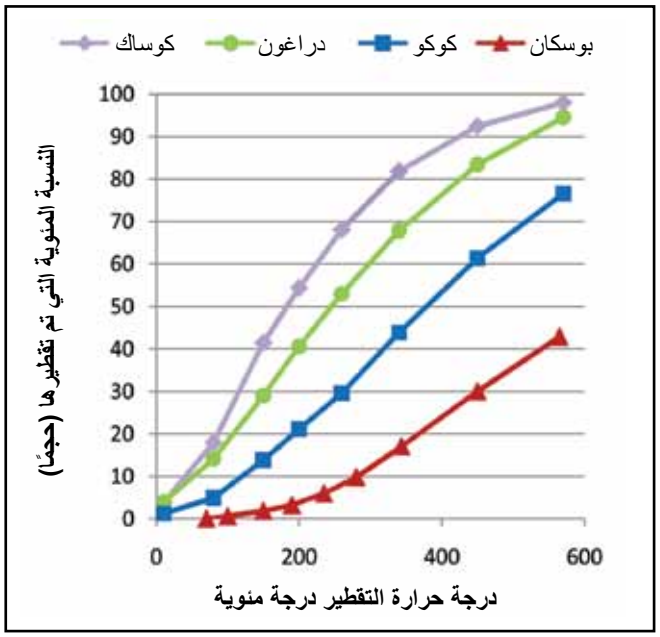
تتباين أنواع النفط الخام من المصادر المختلفة تباينًا كبيرًا في خصائصها الفيزيائية والكيميائية، حيث تميل العديد من المنتجات المكررة إلى أن تكون لها خصائص محددة بدقة بغض النظر عن نوع النفط الخام المشتقة منه. كما أن أنواع نفط الوقود المتوسطة والثقيلة، والتي تحتوي على نسب متفاوتة من رواسب عمليات التكرير مخلوطة بمنتجات مكررة أخف، تتباين خصائصها هي الأخرى بصورة ملحوظة.

والخصائص الفيزيائية الرئيسية التي تؤثر على سلوك وثبات النفط المنسكب في البحر هي الوزن النوعي وخصائص التقطير وضغط البخار واللزوجة ونقطة الانصباب. وجميعها تعتمد على التركيب الكيميائي، مثل نسبة المكونات المتطايرة ومحتوى المركبات الأسفلتية والراتنجات والشموع.

الوزن النوعي أو الكثافة النسبية للنفط: هي كثافته بالنسبة للماء الصافي، والذي له وزن نوعي يساوي 1. ومعظم أنواع النفط أقل كثافة أو أخف من مياه البحر والتي عادة ما يبلغ وزنها النوعي حوالي 1.025. ويستخدم مقياس الوزن الخاص بالمعهد الأمريكي للبترول، °API، عادة لوصف الوزن النوعي لأنواع النفط الخام والمنتجات البترولية طبقًا للآتي:

$$°API = \frac{141.5}{\text{الوزن النوعي}} - 131.5$$

وبالإضافة إلى تحديد ما إذا كان النفط سيطفو أم لا، يمكن للوزن النوعي أيضًا أن يعطي مؤشرًا عامًا على خصائص أخرى للنفط. على سبيل المثال، تميل أنواع النفط التي لها وزن نوعي منخفض (قيمة °API مرتفعة) إلى أن تحتوي على نسبة أعلى من المكونات المتطايرة وأن تكون منخفضة اللزوجة.

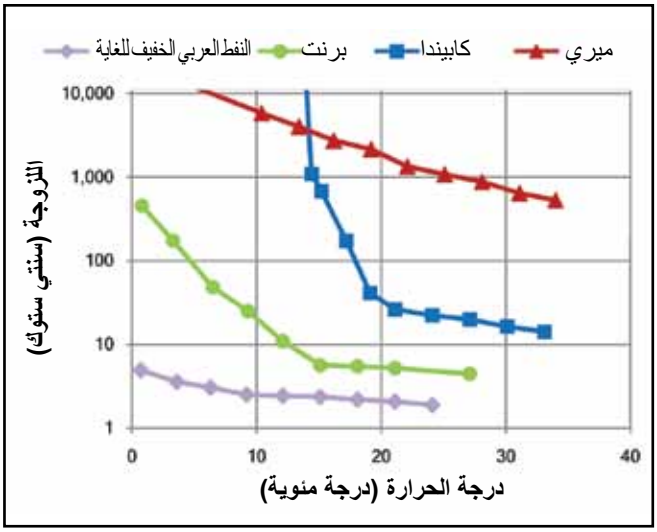


▲ *الشكل رقم 1: منحنيات التقطير لأربعة أنواع من النفط الخام. النفط المتبقي فوق درجة الحرارة القصوى المبينة يعتبر رواسب بصورة أساسية. البيانات من فحص النفط الخام.*

خصائص التقطير للنفط: وهي تصف مدى تطايره. وفي عملية التقطير، ومع رفع درجة حرارة النفط، تصل مكونات مختلفة إلى درجة غليانها بالتتابع، وتتبخر ثم يتم تبريدها وتكثيفها. ويُعبَّر عن خصائص التقطير بالنسب التي يتم تقطيرها من النفط الأساسي في درجات حرارة معينة (*الشكل رقم 1*). وتحتوي بعض أنواع النفط على رواسب من القطران أو الشمع أو الأسفلت، والتي لا يتم تقطيرها بسهولة حتى عند درجات الحرارة المرتفعة ويحتمل أيضًا أن تثبت في البيئة البحرية لفترات طويلة (مثل خام البوسكان في *الشكل رقم 1*).

	المجموعة رقم 1	المجموعة رقم 2	المجموعة رقم 3	المجموعة رقم 4
	النفط العربي الخفيف للغاية	برنت	كابيندا	ميري
الأصل	المملكة العربية السعودية	المملكة المتحدة	أنغولا	فنزويلا
قيمة API°	50.7	37.9	32.5	17.3
الوزن النوعي عند 15 درجة مئوية	0.79	0.83	0.86	0.96
محتوى الشمع	12%	لا يوجد بيانات	10.4%	10%
الأسفلت	7%	0.5	0.16	9%
نقطة الانصباب	39- درجة مئوية	3- درجة مئوية	12 درجة مئوية	21- درجة مئوية

▲ *الجدول رقم 1: الخصائص الفيزيائية لأربعة أنواع معتادة من النفط الخام الألوان والمجموعات تناظر التصنيفات في الجدول رقم 2 (الصفحة رقم 8).*



▲ *الشكل رقم 2: علاقة اللزوجة/درجة الحرارة للأنواع الأربعة من النفط الخام المبينة في الجدول رقم 1.*

ويعطي ضغط البخار مؤشرًا آخر على مدى تطاير النفط، وعادة ما يذكر في صورة "ضغط ريد البخاري" مُقاسًا عند 100 درجة فهرنهايت (37.8°مئوية). ويعتبر ضغط البخار الأعلى من 3 كيلو باسكال (23 مم زئبق) هو العامل المحدد لحدوث التبخر في معظم الظروف. وفوق 100 كيلو باسكال (760 مم زئبق)، تسلك المادة سلوك الغاز. والبنزين، على سبيل المثال، يبلغ ضغط البخار له بين 80-40 كيلو باسكال (600-300 مم زئبق). ويبلغ "ضغط ريد البخاري" لخام الكوساك 44 كيلو باسكال وهو متطاير للغاية ويحتوي على نسبة عالية من المكونات التي تغلي عند درجات حرارة منخفضة في حين أن خام البوسكان أقل تطايرًا بكثير ويبلغ "ضغط ريد البخاري" له 1.7 كيلو باسكال فقط.

لزوجة النفط: هي مدى مقاومته للتدفق. ولا تتدفق أنواع النفط عالية اللزوجة بسهولة بالمقارنة بالأنواع الأقل لزوجة. وتصبح جميع أنواع النفط أكثر لزوجة (أي يصعب تدفقها) مع انخفاض درجات الحرارة، وتتفاوت فيما بينها طبقًا لتركيبها. يبين الشكل رقم 2 العلاقات بين الحرارة واللزوجة لأربعة أنواع من النفط الخام. وتستخدم هذه الورقة وحدات اللزوجة الكيناماتيكية* معبرًا عنها بوحدات "السنتي

▲ *الشكل رقم 3: النفط المنسكب في البحر عند درجات حرارة أدنى من نقطة الانصباب يكوّن فتاتًا نصف صلب. تبين هذه الصورة خام خليط النيل، والذي تبلغ نقطة انصبابه 33+ درجة مئوية، في مياه البحر عند درجة حرارة 28 درجة مئوية. مثل هذه الأنواع من النفط تكون ثابتة إلى درجة كبيرة وقد تسير إلى مسافات بعيدة.*

ستوك"، (سنتي ستوك = مم2 /ث).

نقطة الانصباب: هي درجة الحرارة التي يتوقف النفط تحتها عن التدفق، وهي تعتمد على محتوى النفط من الشمع والأسفلت. وعند تبريد النفط، فإنه يصل إلى درجة حرارة تسمى **نقطة التغيُّم**، حيث تبدأ مكونات الشمع في التجمع لتكوين بلورات. وتزداد الإعاقة التي يسببها تكوّن البلورات للنفط حتى يسبب ازدياد التبريد إلى الوصول إلى نقطة الانصباب، حيث يتوقف التدفق ويتغير النفط من الحالة السائلة إلى نصف الصلبة (*الشكل رقم 3*). ويوضح الشكل رقم 2 أحد الأمثلة على هذا السلوك بالنسبة لخام كابيندا. مع انخفاض درجة حرارة هذا النفط من 30° مئوية، ترتفع اللزوجة ببطء ولكن بمجرد أن تنخفض درجة الحرارة تحت نقطة التغيُّم عند 20° مئوية، فإنه يصبح سميكًا بصورة مطردة. وعند نقطة الانصباب التي تساوي 12° مئوية، تكون اللزوجة قد زادت بما يكفي لإيقاف التدفق.

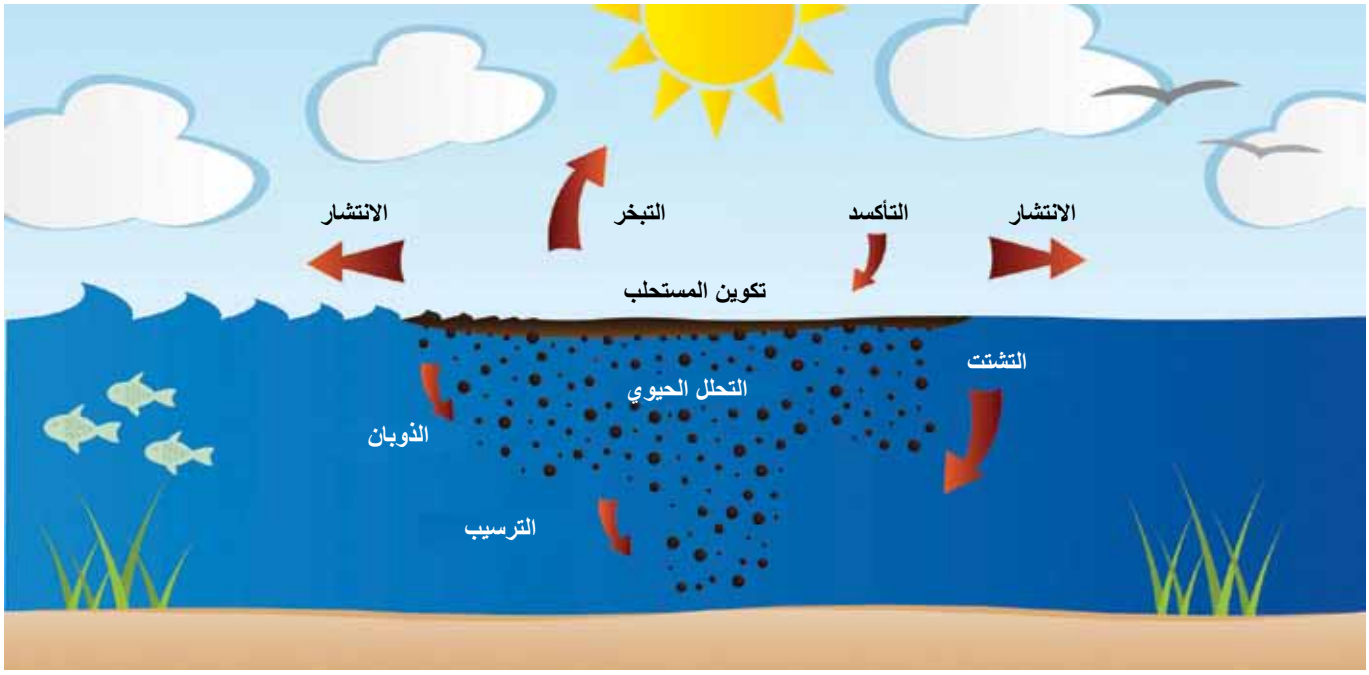
عمليات التعرض التجوية

تعمل العمليات المنفردة التي تمت مناقشتها في الأقسام السابقة معًا لإحداث تغيرات على النفط المنسكب بفعل عوامل التجوية (*الشكل رقم 4*). ولكن، تتباين الأهمية النسبية لكلٍ من هذه العمليات مع مرور الوقت. ويوضّح هذا الشكل رقم 6 الذي يبين انسكابًا لنفط خام متوسط يتعرض لظروف بحرية متوسطة. وبالإضافة إلى هذه العمليات، سوف تنجرف بقعة النفط طبقًا للرياح والتيارات المائية كما هو موصوف في ورقة منفصلة حول المراقبة الجوية لانسكابات النفط البحرية.

الانتشار

بمجرد انسكاب النفط، يبدأ هذا النفط على الفور في الانتشار فوق سطح البحر. وتعتمد السرعة التي يحدث بها هذا إلى حدٍ بعيد على لزوجة النفط والحجم المنسكب. فأنواع النفط المائعة منخفضة اللزوجة تنتشر أسرع كثيرًا من الأنواع عالية اللزوجة. وتنتشر أنواع النفط السائل في البداية كبقعة نفطية مترابطة، ولكنها سرعان ما تبدأ في التفكك. ومع انتشار النفط وانخفاض سُمكه، يتغير مظهره من اللون الأسود أو البني الغامق لبقع النفط السميكة إلى المناطق المتقزحة والبقع اللامعة الفضية على حواف البقع النفطية (*الشكل رقم 5*). وبدلاً من أن ينتشر

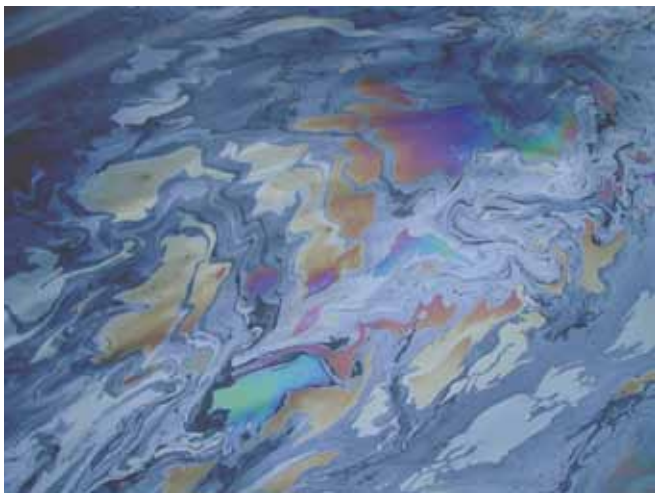
** اللزوجة الكيناماتيكية= اللزوجة الديناميكية + الكثافة. تقاس اللزوجة الديناميكية بالسنتي بواز أو بالوحدات المعيارية الدولية المكافئة المللي باسكال لكل ثانية.*



▲ *الشكل رقم 4: عمليات عوامل التجوية تؤثر على النفط الموجود في البحر. بمجرد أن يعلق النفط على السواحل فلن تنطبق بعض هذه العمليات.*

في صورة طبقات رقيقة السُمك، فإن أنواع النفط نصف الصلبة أو عالية اللزوجة تتكسر إلى مجموعة من البقع تتحرك بعيدًا عن بعضها البعض، ويمكن أن يبلغ سُمكها أحيانًا بضعة سنتيمترات. وفي المياه المفتوحة، تميل أنماط دوران الرياح إلى أن تجعل النفط يشكل نطاقات ضيقة أو "صفوف ريح" موازية لاتجاه الريح وتصبح خصائص النفط، مع مرور الوقت، أقل أهمية في تحديد حركة بقعة النفط.

كما يتأثر معدل انتشار أو تكسُّر النفط بالأمواج والاضطرابات المائية وتيارات المد والجذر والتيارات البحرية - وتزيد سرعة العملية مع زيادة محصلة القوى المُجتمعة. وهناك العديد من الأمثلة على انتشار النفط على مساحة بضع كيلومترات مربعة في بضع ساعات فقط وعلى مساحة بضع مئات من الكيلومترات المربعة في غضون أيام قلائل. وباستثناء حالات انسكاب بقع صغيرة من النفط منخفض اللزوجة، يكون الانتشار غير منتظم وتحدث تغيرات كبيرة في سُمك النفط تتراوح بين أقل من مايكرومتر إلى عدة ملليمترات أو أكثر.



▲ *الشكل رقم 5: حين تنتشر أنواع النفط المتوسطة والخفيفة دون عائق، عادة ما تتكون طبقات رقيقة في النهاية. وهي تظهر في صورة مناطق متقزحة (قوس قزح) ولمعات فضية، وهي تتلاشى بسرعة.*

التبخر

سوف تتبخر المكونات الأكثر تطايرًا من النفط إلى الغلاف الجوي. ويعتمد معدل التبخر على درجات الحرارة المحيطة وسرعة الرياح. وبوجه عام، تتبخر مكونات النفط التي تقل نقطة غليانها عن 200°م خلال فترة زمنية مقدارها 24 ساعة طبقًا لدرجات الحرارة. ولكما زادت نسبة هذه المكونات ذات نقاط الغليان المنخفضة، طبقًا لما توضحه خصائص تقطير النفط، تزيد درجة التبخر. وكما يبين الشكل رقم 1، يحتوي خام الكوساك، على سبيل المثال، على نسبة 55% من النفط الخام من مكونات تقل درجة غليانها عن 200°م في حين تبلغ هذه النسبة 4% فقط بالنسبة لخام البوسكان.

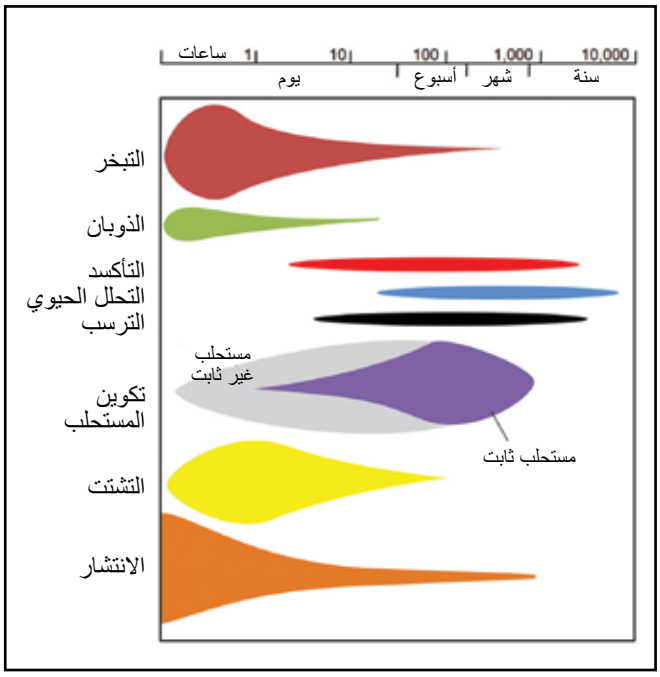
كما يؤثر معدل الانتشار الأولي للنفط على معدل التبخر، نظراً لأنه كلما زادت مساحة السطح، زادت سرعة تبخر المكونات الخفيفة. كما تزيد حركة البحار الهائجة وسرعات الرياح العالية ودرجات الحرارة الدافئة من سرعة التبخر.

وتزداد كثافة ولزوجة بقايا النفط المتبقية بعد التبخر، مما يؤثر على عمليات التجوية التالية بالإضافة إلى جهود عمليات التنظيف.

وقد تتبخر انسكابات المنتجات المكررة، مثل الكيروسين والبنزين، بالكامل في غضون بضعة ساعات، ويمكن أن تفقد أنواع النفط الخام الخفيفة مثل الكوساك، أكثر من 50% من حجمها في اليوم الأول. وحين تنسكب أنواع النفط المتطايرة للغاية في مساحات محدودة، قد يكون هناك خطر من حدوث حريق وانفجار أو أخطار على صحة الإنسان. وفي المقابل، تتعرض أنواع الوقود الثقيلة إلى درجة أقل من التبخر، وقد لا تتبخر على الإطلاق، ويكون خطر انفجارها ضئيلاً. ورغم ذلك، يمكن أن تمثل أنواع الوقود النفطية الثقيلة تهديدًا بحدوث حرائق. وإذا اشتعل حطام السفن في بقعة نفطية في ظروف هادئة، فإنه قد يشكّل فتيلة تكفي للتسبب في حريق هائل للوقود النفطي.

التشتت

يعتمد معدل التشتت إلى درجة كبيرة على طبيعة النفط وحالة البحر، حيث يحدث التشتت بأسرع معدل مع أنواع النفط منخفضة اللزوجة في وجود أمواج تقوم



▲ *الشكل رقم 6: مخطط يمثل مصير انسكاب نفط خام معتاد من المجموعتين 2 / 3 يبين التغيرات في الأهمية النسبية للعوامل الجوية مع مرور الزمن - يبين عرض كل نطاق أهمية العملية (المخطط يستند إلى رسم مقدم من SINTEF).*

بتكسير النفط. ويمكن أن تؤدي الأمواج والاضطرابات على سطح البحر إلى تكسّر البقعة النفطة أو جزءٍ منها إلى قطرات مختلفة الأحجام يمكن أن تختلط بالطبقات العليا من العمود المائي. وتظل القطرات الأصغر حجمًا معلقة فيما ترتفع القطرات الأكبر حجمًا عائدة إلى السطح حيث إما أن تتحد مع قطرات أخرى لتكون بقعة نفطية أو تنتشر في صورة طبقة رقيقة للغاية. وبالنسبة للقطرات التي يقل قطرها عن حوالي 70 ميكرو متراً، تتزن سرعة صعودها نحو السطح مع الاضطرابات البحرية مما يؤدي إلى تعليقها. ويختلط النفط المتشتت بكميات أكبر من مياه البحر، مما يؤدي إلى انخفاض سريع وكبير للغاية في تركيز النفط. كما تعزز زيادة سطح البحر الذي يمثله النفط المتشتت من علميات مثل التحلل الحيوي، والإذابة والترسيب.

وقد تنتشر أنواع النفط التي تحتفظ بميوعتها وتنتشر دون عائق من عوامل التجوية الأخرى في غضون بضعة أيام في ظروف البحر المعتدلة. ويمكن أن يزيد استخدام المُشتِّتات من سرعة هذه العملية الطبيعية. وبالعكس، تميل أنواع النفط اللزجة إلى تكوين كتل سميكة على سطح الماء لا تميل إلى التشتت، حتى بعد إضافة المُشتِّتات.

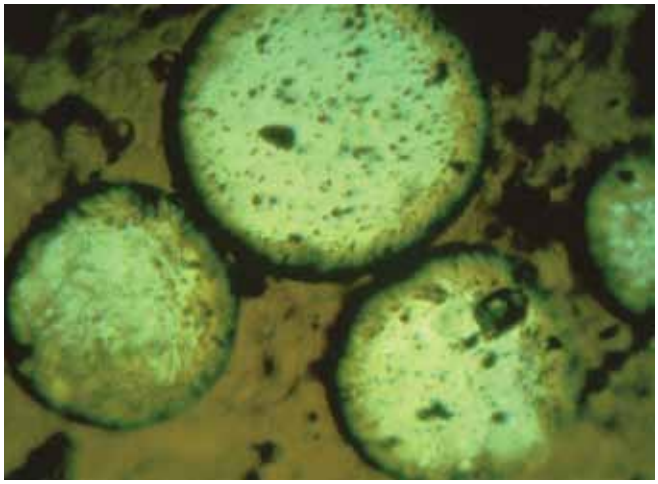
التحول إلى مستحلب

تمتص أنواع عديدة من النفط الماء وتتحول إلى مستحلبات من الماء في النفط. ويمكن أن يزيد هذا من حجم المواد الملوِّثة بمعامل قد يصل إلى خمسة أضعاف. وتتكون المستحلبات بسهولة أكثر بالنسبة لأنواع النفط التي، عند انسكابها، يكون تركيزها من النيكل/الفاناديوم أعلى من 15 جزء في المليون أو محتوى الأسفلت فيها يزيد عن 0.5%. ويحدد وجود هذه المُركبَات وحالات البحر التي تتجاوز الدرجة 3 من مقياس "بوفورت" (سرعة الريح من 5-3 متر لكل ثانية أو 10-7 عقدة) معدل تكوين المستحلب. وتميل أنواع النفط اللزجة، مثل أنواع نفط الوقود الثقيلة، إلى أن تمتص الماء ببطء أكثر من أنواع النفط المائعة. ومع تكوين المستحلب، تسبب حركة النفط في الماء انخفاضًا في حجم قطرات من الماء التي امتصت داخل النفط (*الشكل رقم 7*)، مما يزيد من لزوجة المستحلب بالتدريج. وفي نفس الوقت، يمكن أن تترسب مركبات الأسفلت من النفط لتشكل طبقة عازلة على قطرات المياه مما يزيد من ثبات المستحلب. ومع زيادة كمية المياه المتضمنة، تقترب كثافة المستحلب من كثافة مياه البحر، ولكن، بدون إضافة الجسيمات الصلبة، لا يحتمل أن تتجاوزها. وقد تحتوي المستحلبات الثابتة على ما يصل إلى 70% - 80% من المياه، وعادة ما تكون نصف صلبة، ولها لون أحمر/بني أو برتقالي أو أصفر قوي (*الشكل رقم 8*). وهي على درجة عالية من الثبات، وقد تظل في حالة المستحلب إلى ما لا نهاية. وقد تنفصل المستحلبات الأقل ثباتًا إلى نفط وماء عند تسخينها بفعل ضوء الشمس في الظروف الهادئة عندما تعلق بالشاطئ.

ويقلل تكون مستحلبات المياه في النفط من معدل تأثير عوامل التجوية الأخرى، ويعتبر السبب الأساسي لثبات أنواع النفط المتوسطة والخفيفة على سطح البحر وعلى السواحل. وعلى الرغم من أن مستحلبات المياه في النفط تتصرف بطريقة مشابهة لأنواع النفط عالية اللزوجة، إلا أن الفروق بين تكوينها لها تداعيات على الاستجابة الفعالة.

الإذابة

يعتمد معدل ومدى ذوبان النفط على تركيبه وانتشاره ودرجة حرارة المياه والاضطرابات الجوية ودرجة التشتت. والمكونات الثقيلة للنفط الخام تكون غير



▲ *الشكل رقم 7: صورة مكبرة للغاية (بنسبة x1000) لمستحلب من الماء في النفط تبين قطرات مائية منفصلة محاطة بالنفط.*

▲ *الشكل رقم 8: استعادة نفط الوقود الثقيل مكوّن لمستحلب ويظهر اللون المميز الأحمر/البني. يبين التحليل أن محتوى المياه في المستحلب يبلغ 50%.*

قابلة للذوبان في مياه البحر تقريبًا، في حين أن المركبات الأخف، وبخاصة الهيدروكربونات الأروماتية مثل البنزين والطولوين ذات قابلية محدودة للذوبان. ولكن، هذه المركبات تعتبر أيضًا الأكثر قابلية للتطاير، وهي تضيع بسرعة بفضل التبخر بسرعة تصل إلى 10 إلى 1,000 مرة أسرع من ذوبانها. ونتيجة لذلك، نادرًا ما تتجاوز تركيزات الهيدروكربونات في مياه البحر 1 جزء في المليون وبذلك لا تسهم الإذابة إسهامًا كبيرًا في إزالة النفط من سطح البحر.

الأكسدة الضوئية

يمكن أن تتفاعل الهيدروكربونات مع الأكسجين، مما يؤدي إما إلى تكوّن منتجات قابلة للذوبان أو أنواع ثابتة من القطران. ويساعد ضوء الشمس على التأكسد، وعلى الرغم من أنه يحدث على مدار فترة الانسكاب بالكامل، إلا أن أثره الإجمالي على التشتت يعتبر قليلاً بالمقارنة بأثر عوامل التجوية. حتى في ضوء الشمس الشديد، لا تتكسر طبقات النفط الرقيقة إلا ببطء، وعادة ما يحدث ذلك بمعدل أقل من 0.1% يوميًا. وتميل الطبقات الكثيفة من أنواع النفط عالية اللزوجة أو مستحلبات المياه في النفط إلى التأكسد لتصبح رواسب ثابتة بدلاً من مجرد التحلل، وذلك نظرًا لتكوُّن المركبات ذات الوزن الجزيئي الأعلى والتي تخلق طبقة سطحية واقية. ويمكن ملاحظة ذلك في كتل القطران التي تعلق على السواحل والتي عادة ما تتكون من قشرة خارجية صلبة من النفط المتأكسد وجزيئات مترسبة تحيط بجسم داخلي أكثر نعومة وأقل تعرضًا لعوامل التجوية.

الترسيب والغرق

يمكن أن تتفاعل المُشتِّتات مع جزئيات الرواسب والمواد العضوية المعلقة في العمود المائي حتى تصبح القطرات أكثر كثافة بما يكفي لهبوطها إلى قاع البحر. وعادةً ما تكون المناطق الساحلية الضحلة ومياه مصبات الأنهار مُحمّلة بالمواد الصلبة المعلقة التي يمكن أن تتحد مع قطرات النفط المعلقة، مما يعطي ظروفًا مناسبة لترسيب الجسيمات في المياه العكرة، حيث تخفف مياه الأنهار ملوحة مياه البحر، وبذلك تقلل من وزنها النوعي، وقد تهبط القطرات الطافية المتعادلة إلى القاع. وقد تبتلع الكائنات المجهرية البلانكتونية النفط وتحوله إلى كريات صغيرة من الفضلات تهبط فيما بعد إلى قاع البحر. وفي بعض الحالات النادرة، قد يصبح النفط محمولاً بمستويات مرتفعة على الأجسام الصلبة المعلقة أثناء العواصف ويهبط إلى قاع البحر. وبالمثل، قد تترسب الرمال التي تثيرها الرياح في بعض الأحيان على سطح النفط الطافي وتؤدي إلى غرقه.

ومعظم أنواع النفط لها أوزان نوعية منخفضة بما يكفي لبقائها طافية ما لم تتفاعل مع مواد أكثر كثافة وتلتصق بها. ولكن، بعض أنواع النفط الخام ومعظم أنواع نفط الوقود الثقيل ومستحلبات الماء في النفط لها أوزان نوعية قريبة من الوزن النوعي لمياه البحر، ولذا يمكن أن يؤدي أقل قدر من تفاعلها مع الرواسب إلى هبوطها إلى القاع. وليس هناك سوى أنواع قليلة من رواسب النفط لها أوزان نوعية أكبر من مياه البحر (<1.025)، مما يؤدي إلى هبوطها إلى القاع بمجرد انسكابها.

وبعض أنواع النفط يمكنها أن تهبط إلى القاع في أعقاب حريق، والذي لا يؤدي فقط إلى استهلاك المكونات الأخف ولكنه يؤدي أيضًا إلى تكوين منتجات بيروجينية أثقل كنتيجة لدرجات الحرارة المرتفعة المصاحبة له. ويجب أخذ هذا في الاعتبار إذا كان هناك تفكير في إجراء حرق في الموقع كأحد أساليب الاستجابة.

وفي ظروف البحر القاسية، يمكن أن تُغطى أنواع النفط الكثيفة وأن تظل تحت السطح لفترات طويلة- مما يجعل مراقبة النفط من الجو صعبة للغاية. وعادةً ما يحدث خلط بين هذه الظاهرة وبين هبوط النفط إلى القاع ولكن ما أن تهدأ حالة البحر، فإن النفط يعود مرة أخرى إلى السطح.

▲ *الشكل رقم 9: الاستعادة اليدوية لنفط الوقود الثقيل.*

ويعد الترسّب إحدى العمليات الرئيسية طويلة المدى التي تؤدي إلى تراكم النفط المنسكب في البيئة البحرية. ولكن، لا يحدث هبوط النفط السائب إلى القاع إلا نادرًا، فيما عدا المياه الضحلة، القريبة من الشاطئ، وبصفة أساسية، كنتيجة للتفاعل مع السواحل (*الشكل رقم 9*).

التفاعل مع السواحل

يعتمد تفاعل النفط العالق مع السواحل بصورة أساسية على مستويات الطاقة التي يتعرض لها الساحل وطبيعة ركيزة الشاطئ وحجمها.

وعادةً ما ينتج تفاعل الرواسب الذي يؤدي إلى إغراق البقعة النفطية من النفط العالق على السواحل الرملية. وعلى الشواطئ الرملية المعرضة، قد تؤدي الدورات الفصلية لتراكم الرواسب (التنامي) والتآكل إلى دفن طبقات النفط والكشف عنها بصورة متتابعة. وحتى على الشواطئ الرملية الأقل تعرضًا، يمكن أن يصبح النفط مغطى بالرمل الذي تذروه الرياح. وبمجرد اختلاط النفط مع الرمل، فسوف يهبط إلى القاع إذا انجرف إلى المياه القريبة من الشاطئ بفعل المد والجذر أو العواصف. وعادةً ما تحدث دورة متكررة ينجرف فيها مخلوط النفط/الرمل بعيدًا على الشاطئ إلى المياه القريبة من الشاطئ وتتفلت جزيئات الرمل الأكبر حجمًا مما يسمح للنفط بالطفو مرة أخرى إلى السطح. ثم يصبح النفط عالقًا مرة أخرى ليختلط بالرمل وتكرر الدورة نفسها. وقد يكون وجود لمعة ناتجة عن الشاطئ الرملي مؤشرًا على حدوث هذه العملية.

ويؤدي تفاعل النفط مع الجزيئات المعدنية متناهية الصغر (أقل من 4 ميكرون) (الجسيمات الدقيقة) داخل الشاطئ إلى تكوّن كتل متلبدة من النفط والزيوت المعدنية أو النفط والطمي. وطبقًا للزوجة النفط، يمكن أن تتسبب حركة المياه بقدرٍ كافٍ في تكوّن قطرات من النفط تنجذب إليها الجسيمات الدقيقة بفعل الكهرباء الاستاتيكية. وتحول الجسيمات الدقيقة التي تحيط بالقطرات دون اتحادها مع القطرات الأكبر حجمًا والتصاقها بركيزة أكبر حجمًا من الرواسب، مثل الرمال أو الحصى على سبيل المثال. وتكون الكتل الثابتة الناتجة قريبة من الطفو المتعادل وصغيرة إلى درجة تكفي لتصبح معلقة بفعل الاضطرابات المائية نظرًا لقيام المياه بجرفها على الشاطئ نتيجة المد والجذر أو العواصف. ويمكن أن تتشتت في النهاية على نطاق واسع في التيارات الساحلية وأن تسبب، على مدار فترة زمنية، نزع الكثير من النفط من السواحل المحمية (منخفضة الطاقة)، حيث يكون فعل الأمواج والتيارات أضعف بكثير من أن يسبب حدوث العمليات الأخرى، مثل صنفرة الرواسب.

ويشيع وجود الرواسب الطينية والأهوار على السواحل المحمية. وفي معظم الظروف لا يخترق النفط إلى داخل هذه الرواسب الدقيقة ويبقى على السطح. ولكن، أحيانًا تتيح عملية "التعكير"، وهي إعادة تحريك الرواسب بفعل الحيوانات التي تعيش في الجحور، لأنواع النفط الأقل لزوجة أن تخترق لمسافة ضئيلة في الرواسب من خلال انتقال النفط داخل جحور الدود و سيقان النباتات وما شابه ذلك. كما يمكن أن يتم تضمين النفط في هذه الرواسب الدقيقة أثناء ظروف العواصف الشديدة حين تصبح الجزيئات الدقيقة من الطمي معلقة في العمود المائي وتختلط بالنفط. ومع هدوء الظروف، يستقر الطمي، ويمكن أن يصبح النفط محبوسًا داخل الرواسب. وفي هذه المواقع المحمية قد تبقى الرواسب دون إثارة لفترات طويلة. ونظرًا لانخفاض مستويات الأكسجين في الرواسب، فلن يحدث التدهور إلا بقدرٍ ضئيل للغاية.

وعلى السواحل المحمية المغطاة بالحصباء أو الحصى، يمكن أن تكوّن أنواع النفط عالية اللزوجة، ما لم يتم نزعها أثناء عمليات التنظيف، "أرصفةً من الأسفلت"، ويرجع ذلك بصورة أساسية إلى تأكسد طبقة النفط السطحية (*الشكل رقم 10*). ويمكن أن يخترق النفط الطافي هذه الركائز المفتوحة بسهولة أكثر، ثم تقوم الركيزة ذاتها بحمايته من الإزالة بفعل البحر وغيره من عمليات التجوية. ويمكن أن تظل الأرصفة الإسفلتية لفترات تصل إلى عدة عقود إذا تُركت دون استثارة.

التحلل الحيوي

تحتوي مياه البحر على العديد من الكائنات المجهرية البحرية القادرة على التغذي على المركبات النفطية. وهي تشمل البكتيريا والعفن والخمائر والفطريات والطحالب وحيدة الخلية والبروتوزوا، والتي يمكنها أن تستخدم النفط كمصدر للكربون والطاقة. وهذه الكائنات المجهرية موزعة بصورة واسعة عبر محيطات العالم على الرغم من تواجدها بوفرة أكثر في المناطق التي تحتوي على تسربات طبيعية من النفط أو في المياه الساحلية الملوثة بصورة مزمنة، وعادة ما تكون هذه الأماكن بالقرب من المراكز الحضرية والتي تتلقى مياه الصرف الصناعية والصرف الصحي غير المعالج.

والعوامل الرئيسية التي تؤثر على معدل ومدى التحلل الحيوي هي خصائص النفط ومدى إتاحة الأكسجين والغذاء (مكونات النيتروجين والفوسفور بصفة أساسية) ودرجة الحرارة. ويتم إنتاج عدد من المركبات المتوسطة عند تكسّر المواد الهيدروكربونية ولكن النواتج النهائية لعملية التحلل الحيوي هي ثاني أكسيد الكربون والماء.

▲ *الشكل رقم 10: كجزء من تجربة في أعقاب انبعاث نفط خام، تركت مساحة من السواحل المتضررة عمدًا دون أن تُمَس. تبقى هذه البقعة النفطية، التي تبلغ مساحتها حوالي 1 م2 لأكثر من 15 عامًا في صورة رصيف أسفلتي.*

ويميل كل نوع من الكائنات المجهرية المرتبطة بالعملية إلى تحليل مجموعة محددة من المواد الهيدروكربونية، وبالتالي تكون هناك حاجة إلى أنواع متفاوتة من الكائنات المجهرية، تعمل معًا أو بالتتالي لاستمرار عملية التحلل الحيوي. ومع استمرار عملية التحلل، يتطور مجتمع معقد من الكائنات المجهرية. وتتواجد الكائنات المجهرية اللازمة لعملية التحلل الحيوي بأعداد قليلة نسبيًا بعيدًا عن السواحل في البحار المفتوحة ولكنها تتكاثر بسرعة حين يتوافر النفط وسوف تستمر عملية التحلل حتى يضع نقص الأكسجين أو المواد المغذية حدًا لها. وبالإضافة إلى ذلك، وبالرغم من قدرة الكائنات المجهرية على تحليل مكونات كثيرة في النفط الخام، إلا أن بعض الجزيئات الكبيرة والمعقدة تكون ذات مقاومة للهجوم، وتميل هذه الرواسب إلى أن تشمل المركبات التي تعطي النفط لونه الأسود.

وهناك منتجات متاحة معدّة لتحسين معدل التحلل الحيوي، لكن فعالية هذه المواد تعد موضع شك نظرًا لأنه من غير المحتمل أن تكون المواد المغذية شحيحة، وبخاصة في المياه الساحلية ولا يوجد شيء يمكن فعله لزيادة مستويات الأكسجين أو درجة حرارة المياه.

وتعيش الكائنات المجهرية في المياه، وتحصل منها على الأكسجين والمواد الغذائية الضرورية، وبالتالي لا يمكن أن يحدث التحلل الحيوي إلا عند الحد الفاصل بين النفط والمياه. وفي البحر، يزيد تكون قطرات النفط، سواء من خلال التشتت الطبيعي أو الكيميائي، من المساحة الفاصلة المتاحة للنشاط البيولوجي، لذا فإنه يحسِّن من عملية التحلل. وفي المقابل، فإن النفط العالق في الطبقات السميكة على السواحل أو فوق الحد الفاصل في المياه المرتفعة سوف تكون مساحته السطحية محدودة وسيكون اتصاله بالمياه محدودًا للغاية. وفي ظل هذه الظروف، سوف يمضي التحلل الحيوي ببطء شديد، مما يؤدي إلى ثبات النفط لعدة سنوات ما لم تتم إزالته.

وتؤدي العوامل المختلفة التي تؤثر على التحلل الحيوي إلى صعوبة التنبؤ بالمعدل الذي يمكن أن يزال به النفط. وعلى الرغم من أنه من الواضح أن التحلل الحيوي غير قادر على نزع تراكمات النفط السائب، إلا أنه أحد الآليات الرئيسية طويلة الأمد لنزع البقايا الأخيرة من النفط على السواحل بصورة طبيعية والتي عادة ما تنجرف بصورة زائدة من خلال حركة البحر بفعل المد والجذر أو بفعل الرياح.

العمليات المشتركة

يلخص الشكل رقم 13 التأثير المشترك للعمليات التي تمت مناقشتها آنفاً. وجميع هذه العمليات تؤدي دورها بمجرد انسكاب النفط، على الرغم من أن أهميتها النسبية تتفاوت مع مرور الزمن، كما هو موضح بالشكل رقم 6. وتعد عمليات الانتشار والتبخر والتشتت وتكوين المستحلب والإذابة هي الأهم في المراحل الأولى من الانسكاب، في حين تمثل عمليات الأكسدة الضوئية والترسّب والتحلل الحيوي عمليات طويلة الأمد تحدد المصير النهائي للنفط. والتشتت وتكوّن المستحلب عمليتان متنافستان، حيث ينزع التشتت إلى إزالة النفط من سطح البحر، في حين يؤدي تكوّن المستحلب إلى زيادة حجم المادة الملوِّثة وبقائها. وتتضمن العوامل التي تحدد ما إذا كان النفط سيتشتت أو يكوِّن مستحلباً ما يلي: ظروف الانبعاث (معدل الانسكاب والكمية المنسكبة، حدوث الانبعاث على السطح أو تحت المياه، وما إلى ذلك)، والظروف البيئية (درجة الحرارة وحالة البحر والتيارات البحرية وما إلى ذلك)؛ والخصائص الفيزيائية والكيميائية للنفط.

أنواع النفط من المجموعة رقم 1

A: قيمة API° > 45 (وزن نوعي < 0.8)
B: نقطة الانصباب° مئوية:
C: اللزوجة عند 10—°20 مئوية: أقل من 3 "سنتي ستوك"
D: % الغليان فوق °200مئوية: أعلى من 50%.
E: % الغليان فوق °370مئوية: بين 20 و 0%.

	A	B	C	D	E
آزغارد	49	-28	2 عند 10°م	58	14
النفط العربي الخفيف للغاية	51	-39	2 عند 20°م		
الكوساك	48	-18	2 عند 20°م	51	18
الكيرلو	47	-13	2 عند 20°م	57	17
F3 المكثّف	54	-63>	1 عند 10°م	81	0
الغيبسلاند	52	-13	1.5 عند 20°م	63	8
الهيدرا	52	-62	2.5 عند 10°م	60	11
تيرينغانو المكثّف	73	-36	0.5 عند 20°م	95<	0
الوليبت	49	-53	2 عند 20°م	55	4
البنزين	58		0.5 عند 15°م	100	0
الكيروسين	45	-55	2 عند 15°م	50	0
النفتا	55		0.5 عند 15°م	100	0

أنواع النفط من المجموعة رقم 2

A: قيمة API° من 35 — 45 (وزن نوعي 0.8—0.85)
B: نقطة الانصباب° مئوية:
C: اللزوجة عند 10—°20م: بين 4 سنتي ستوكس ونصف صلب
D: % الغليان تحت °200مئوية: بين 20 و50%.
E: % الغليان فوق °370مئوية: بين 15 و50%

نقطة انصباب منخفضة <6° مئوية

	A	B	C	D	E
النفط العربي الخفيف جدًا	38	-30	3 عند 15°م	26	39
آزري	37	-3	8 عند 20°م	29	46
برنت	38	-3	7 عند 10°م	37	33
دراوغن	40	-15	4 عند 20°م	37	32
دوكان	41	-49	9 عند 15°م	36	33
خليج ليفربول	45	-21	4 عند 20°م	42	28
سوكول (ساخالين)	37	-27	4 عند 20°م	45	21
ريو الأسود	35	-5	23 عند 10°م	29	41
أم الشيف	37	-24	10 عند 10 مئوية	34	31
زكم	40	-24	6 عند 10°م	36	33
نفط الغاز البحري (MGO)	37	-3	5 عند 15°م		

نقطة انصباب مرتفعة <5° مئوية

آمنا	36	19	نصف صلب	25	30
بياتريس	38	18	32 عند 15°م	25	35
بينتولو	37	19	نصف صلب	24	34
إسكرافوس	34	10	9 عند 15°م	35	15
سرير	38	24	نصف صلب	24	39
ستاتفيورد	40	6	7 عند 10°م	38	32

ملحوظة: أنواع النفط ذات نقاط الانصباب المرتفعة لا تتصرف مثل أنواع نفط من المجموعة رقم 2 إلا كانت درجة الحرارة المحيطة أعلى من نقطة الانصباب. أقل من ذلك، تعامل معاملة أنواع النفط من المجموعة رقم 4.

أنواع النفط من المجموعة رقم 3

A: قيمة من 17.5 — 35 (وزن نوعي 0.85—0.95)
B: نقطة الانصباب° مئوية:
C: اللزوجة عند 10—°20م: بين 8 سنتي ستوكس ونصف صلب
D: % الغليان تحت °200مئوية: بين 10 و 35%.
E: % الغليان فوق °370مئوية: بين 30 و 65%.

نقطة انصباب منخفضة <6° مئوية

	A	B	C	D	E
منحدر الاسكا الشمالي	28	-18	32 عند 15°م	32	41
العربي الثقيل	28	-40	55 عند 15°م	21	56
العربي المتوسط	30	-21	25 عند 15°م	22	51
العربي الخفيف	33	-40	14 عند 15°م	25	45
بوني الخفيف	35	-11	25 عند 15°م	26	30
الإيراني الثقيل	31	-36	25 عند 15°م	24	48
الإيراني الخفيف	34	-32	15 عند 15°م	26	43
خافجي	28	-57	80 عند 15°م	21	55
سيري	33	-12	18 عند 10°م	32	38
ثاندر هورس	35	-27	10 عند 10°م	32	39
تيا جوانا الخفيف	32	-42	500 عند 15°م	24	45
ترول	33	-9	14 عند 10°م	24	35
IFO 180	18– 20	10-30	1,500 -3,000 عند 15°م		

نقطة انصباب مرتفعة <5° مئوية

كابيندا	33	12	نصف صلب	18	56
كوكو	32	21	نصف صلب	21	46
غامبا	31	23	نصف صلب	11	54
ماندجي	30	9	70 عند 15°م	21	53
ميناس	35	18	نصف صلب	15	58

ملحوظة: أنواع النفط ذات نقاط الانصباب المرتفعة لا تتصرف مثل أنواع نفط من المجموعة رقم 3 إلا كانت درجة الحرارة المحيطة أعلى من نقطة الانصباب. أقل من ذلك، تعامل معاملة أنواع النفط من المجموعة رقم 4

أنواع النفط من المجموعة رقم 4

A: قيمة API° <17.5 (وزن نوعي >0.95) أو
B: نقطة انصباب >30° مئوية
C: اللزوجة عند 10—°20م: بين 1500 سنتي ستوكس ونصف صلب
D: % الغليان تحت °200مئوية: أقل من 25%.
E: % الغليان فوق °370مئوية: أقل من 30%.

	A	B	C	D	E
باتشاكويرو 17	16	-29	5000 عند 15°م	10	60
بوسكان	10	15	نصف صلب	4	80
سينتا	33	43	نصف صلب	10	54
هانديل	33	35	نصف صلب	23	33
ميري	17	-21	7,000 عند 15°م	7	70
خليط النيل	34	33	نصف صلب	13	59
بيلون	14	-3	نصف صلب	2	92
شينغلي	24	21	نصف صلب	9	70
تاكينغ	31	35	نصف صلب	12	49
تيا جوانا بيزادو	12	-1	نصف صلب	3	78
ويدوري	33	46	نصف صلب	7	70
IFO 380	11—15	10—30	5,000 - 30،000 عند 15°م		

▲ *الجدول رقم 2: أمثلة لأنواع النفط مصنّفة طبقًا لقيمة (وزن المعهد الأمريكي للبترول). ترتبط ألوان كل مجموعة بالجدول رقم 1 وبالأشكال أرقام 1 و2 و12 و13. بوجه عام، يزداد الثبات عند الانسكاب مع زيادة رقم المجموعة.*

▲ *الشكل رقم 11: نفط وقود ثقيل للغاية يرقد في قاع البحر بعد انبعاثه من صندل بحري تالف. كانت قيمة °API للنفط تبلغ 4، مما يعني أن الوزن النوعي كان 1.04 بالمقارنة بالوزن النوعي لمياه البحر البالغ 1.025 (الصورة مهداة من NOAA).*

ويعتبر فهم الطريقة التي تتفاعل بها عمليات التجوية أمرًا هامًا عند محاولة التنبؤ بالخصائص المتغيرة للنفط أثناء دورة حياة بقعة النفط في البحر. وتتيح التنبؤات بالتغيرات المحتملة في خصائص النفط مع مرور الوقت إجراء تقييم لاحتمال ثبات النفط المنسكب، والوقوف بالتالي على خيار الاستجابة الأكثر ملاءمة. وبهذا الصدد الأخير، كثيرًا ما تتم التفرقة بين أنواع النفط غير الثابتة، والتي تميل بسبب طبيعتها المتطايرة ولزوجتها المنخفضة إلى الاختفاء بسرعة من سطح البحر، وأنواع النفط الثابتة، والتي تتشتت ببطء أكثر وعادة ما تتطلب استجابة من خلال عمليات التنظيف. ومن أمثلة النوع الأول البنزين والنفتا والكيروسين، في حين أن معظم أنواع النفط الخام، وهي أنواع نفط الوقود المتوسطة والثقيلة، والبوتمين تصنف على أنها ثابتة.*

وهناك تصنيف بديل يخصص أنواع النفط التي يشيع نقلها إلى أربعة مجموعات طبقًا لقيمة API الخاصة بها (الجدول رقم 2). ويتمثل الغرض من هذا في تجميع أنواع النفط التي يحتمل أن تتصرف بطريقة متشابهة إذا انسكبت في البحر معًا. وكقاعدة عامة، كلما زادت قيمة API للنفط (وكلما قلّ الوزن النوعي)، كلما قل ثباته. ولكن، من المهم أن نفهم أن بعض أنواع النفط التي تبدو خفيفة تتصرف مثل الأنواع الثقيلة نظرًا لوجود الشمع. وتميل أنواع النفط التي يزيد محتوى الشمع فيها عن حوالي 10% إلى أن تكون لها نقطة انصباب مرتفعة، وعند انخفاض درجات الحرارة المحيطة، فإن النفط سيصبح إما نصف صلب أو سائلاً عالي اللزوجة، وسوف تصبح عمليات التجوية الطبيعية بطيئة.

وعادةً ما يشمل التقسيم مجموعة خامسة لأنواع النفط التي تزيد أوزانها النوعية عن 1 وتقل قيمة API لها عن 10. ويكون غرق مثل هذه الأنواع من النفط محتملاً، وبخاصة في المياه العكرة، ويشار إليها في بعض الأحيان بالاختصار LAPIO وهو يرمز إلى عبارة: أنواع النفط ذات قيمة API المنخفضة. وتضم هذه الفئة أنواع نفط الوقود الثقيلة للغاية وأنواع النفط الطينية المترسبة (*الشكل رقم 11*).

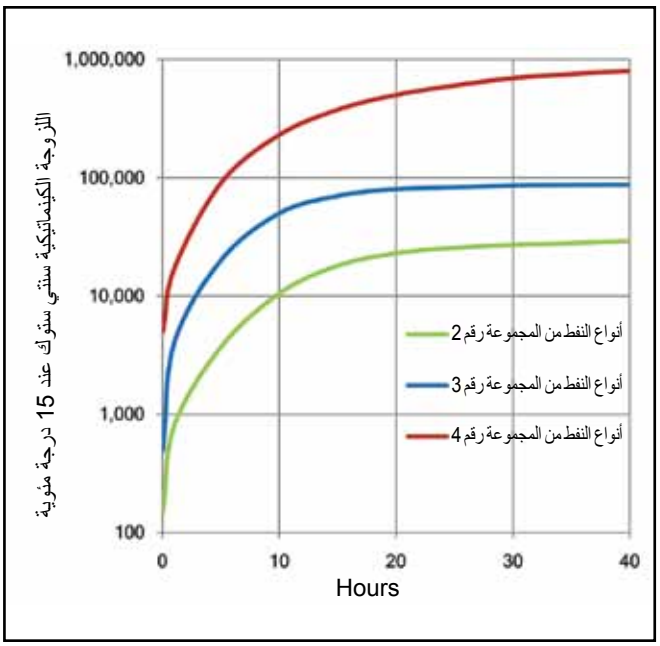
** يفرّق النظام الدولي للتعويضات والمسؤولية الجنائية لانسكابات الناقلات البحرية بين أنواع النفط الثابتة وغير الثابتة، حيث تعرّف الأخيرة على أنها تتكون من أجزاء صغيرة من الهيدروكربونات، (أ) يتم تقطير 50% منها، حجمًا، على الأقل عند درجة حرارة °340 مئوية، و (ب) يتم تقطير 95% منها على الأقل عند درجة حرارة °370 مئوية عند اختبارها بطريقة ASTM رقم D 86/78 أو أية مراجعة لهذه الطريقة.*

ويبين الشكل رقم 12 الزيادات المعتادة اللزوجة بمرور الوقت بعد انسكاب أنواع النفط من المجموعات 4-2 نتيجة للتبخر وتكوّن المستحلب، مما يبين أن تكوّن المستحلب له أكبر الأثر في زيادة اللزوجة.

ويبين الشكل رقم 13 مخططاً مبسطاً لمعدل الإزالة الطبيعية لمجموعات النفط الأربع، كما يضع في الاعتبار تأثير تكوّن مستحلبات المياه في النفط على حجم المادة الملوِّثة على مدار الزمن. وقد تم وضع المخطط بناءً على مشاهدات ميدانية، ويقصد منه إعطاء انطباع حول كيفية تغير خواص الثبات طبقًا للخصائص الفيزيائية للنفط. ويعتمد السلوك المحدد لنوع معين من النفط الخام على خصائصه وعلى الظروف في وقت الانسكاب. وسوف تؤثر الظروف الجوية والمناخية بصورة خاصة على ثبات بقعة النفط. وعلى سبيل المثال، في الأجواء الصعبة للغاية، يمكن أن ينتشر نفط من المجموعة رقم 3 في زمن يماثل الزمن المعتاد لنفط من المجموعة رقم 2. وبالعكس، في الظروف الجوية الباردة والهادئة، فقد يقترب من درجة ثبات أنواع النفط في المجموعة رقم 4. وأنواع النفط في المجموعة رقم 4، بما فيها أنواع نفط الوقود الثقيلة والتي تُحمّل في صورة وقود للسفن في الكثير من المراكب، عادة ما تكون عالية اللزوجة وذات درجة ثبات عالية، وهي من بين أكثر الأنواع صعوبة في التنظيف. وتعطيها درجة ثباتها إمكانية السير لمسافات كبيرة في البحر دون أن تسبب تلوثًا واسع النطاق.

النماذج الحاسوبية

هناك عدد من النماذج الحاسوبية المتاحة والتي تتنبأ بحركة الانسكاب النفطي ومساره. ويتضمن بعضها تنبؤات لعوامل التجوية تبين الأسلوب المحتمل لتغير النفط المنسكب مع مرور الوقت في ظل مجموعات معينة من الظروف. وعادةً ما تعتمد هذه النماذج على قواعد بيانات للخصائص الفيزيائية والكيميائية لأنواع النفط المختلفة، بالإضافة إلى نتائج البحوث العلمية وملاحظة سلوك النفط. ولكن، نظرًا لتعقيد عمليات التجوية ، وعدم اليقين المرتبط بحركة بقعة النفط، فإن التنبؤات المحددة للمصير النهائي تظل صعبة التحقيق.



▲ *الشكل رقم 12: المعدلات المعتادة لزيادة اللزوجة في ظل حالة البحر المتوسطة إلى القاسية. لا تتجاوز لزوجة أنواع النفط من المجموعة الأولى مطلقًا 100 سنتي ستوك في البيئة البحرية ولذا فهي غير مبينة في الشكل.*

لذا، فمن المهم فهم الافتراضات التي تُبنى عليها نماذج عوامل التجوية والمسارات، وأخذ هذه الافتراضات في الاعتبار عند استخدام النتائج. ففي عمليات الاستجابة، على سبيل المثال، يجب التحقق من تنبؤات النماذج من خلال ملاحظة التوزيع والسلوك الفعلي للنفط. وفي المقابل، تعطي هذه النماذج مؤشرًا مفيدًا للأماكن التي يجب تركيز عمليات المسح فيها، والمصير والسلوك المحتملين لنوعٍ معين من النفط. كما أنها تعتبر ذات قيمة أيضًا في سياق تقييم أساليب التنظيف المُثلى، وذلك بغرض التدريب وعملية التخطيط لحالات الطوارئ.

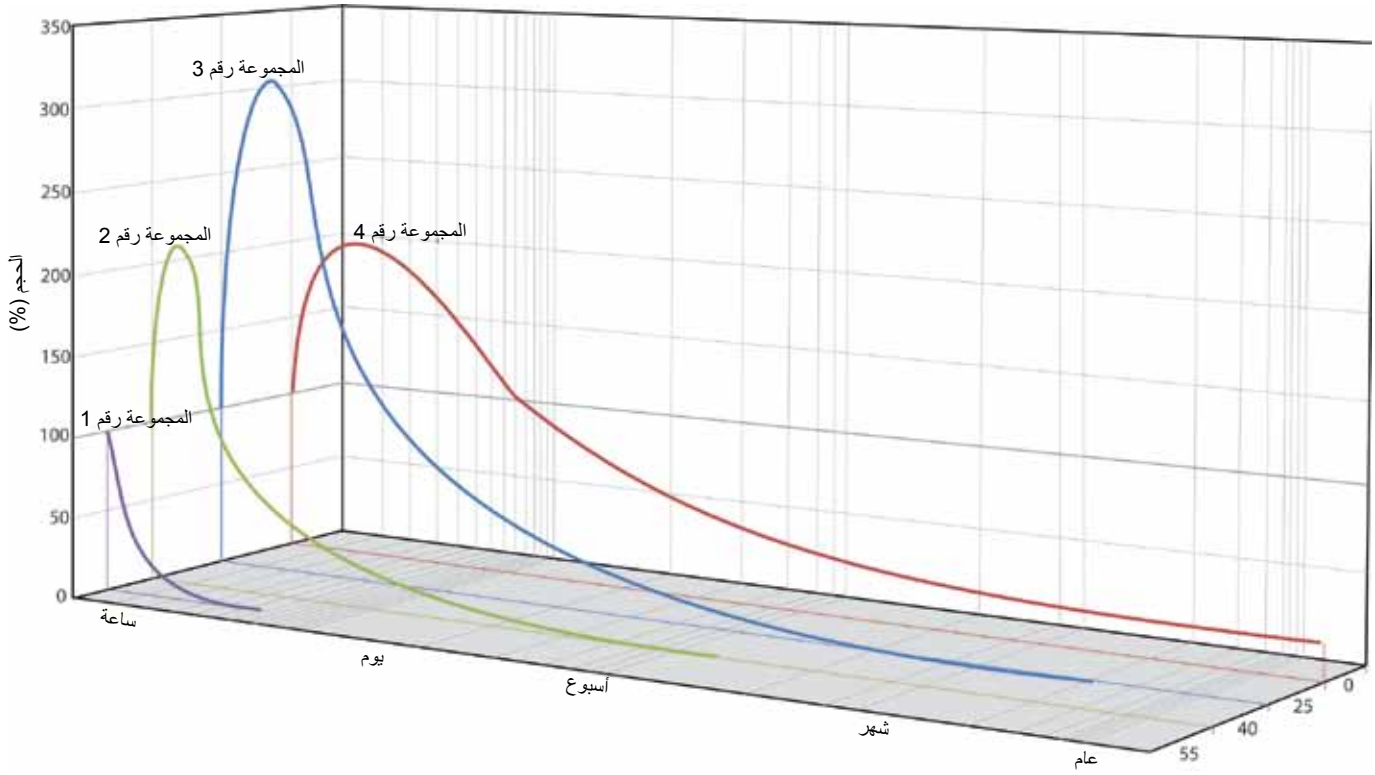
تبعات عمليات التنظيف والتخطيط للطوارئ

سوف يؤدي دائمًا ميل النفط إلى الانتشار والتكسّر بسرعة، وبخاصة في ظروف البحر القاسية، إلى وضع قيود على أي أسلوب للاستجابة ويجب ألا يستهان به. وعلى سبيل المثال، لن تتمكن أنظمة استعادة النفط المحمولة على السفن، والتي لا يتجاوز عرض نطاق عملها عادةً بضعة أمتار، من مواجهة أية كميات كبيرة من النفط بمجرد انتشاره وتشتته على مدار بضعة كيلومترات. وفي حالة أنواع النفط منخفضة الكثافة، فإن ذلك يمكن أن يحدث في غضون بضعة ساعات فقط. وهذا أحد الأسباب الرئيسية التي تجعل عمليات الاستعادة في البحر لا تتمكن من إزالة لا تتجاوز أكثر إلا أجزاء يسيرة من البقع النفطية الكبيرة.

ويمكن أن تحدد حركة البقع النفطية والطبيعة المتغيرة للنفط من خلال عملية التجوية ما إذا كانت هناك حاجة لأية استجابة، تتجاوز مجرد رصد تشتت البقعة النفطية. وحين يستدعى الأمر إجراء عملية استجابة نشطة، فسوف تتطلب عمليات التجوية إعادة تقييم مدى ملاءمة أساليب التنظيف المختارة وتعديلها مع تقدم عملية الاستجابة وتغير الظروف. وعلى سبيل المثال، تقل كفاءة المُشتتات التي توضع على البحر مع انتشار النفط وزيادة لزوجته. وطبقًا لخصائص أنواع محددة من النفط، يمكن أن تصبح المشتتات أقل فعالية بكثير مع اقتراب درجة اللزوجة من 10,000 "سنتي ستوك" ويتوقف معظمها عن العمل تمامًا عندما تزيد اللزوجة فوق هذه القيمة بكثير. ويمكن أن تزيد لزوجة النفط بسرعة كبيرة، مما يعني أن الوقت المتاح لاستخدام المشتتات يمكن أن يكون قصيرًا للغاية. وبالتالي، فإن وضع المشتتات يجب أن يتم رصده بانتظام، ولابد من إيقاف عمليات النثر بالرذاذ إذا أصبحت غير فعّالة (*الشكل رقم 14*).

وبالمثل، إذا تم استخدام أنظمة الاستعادة الميكانيكية، فلابد من تغيير نوع أجهزة الكشط والمضخات المستخدمة مع تعرض النفط لعوامل التجوية، وزيادة لزوجته وتكوّن المستحلب. وعلى سبيل المثال، فإن أجهزة الكشط الأسطوانية الجاذبة للنفط (التي تجتذب النفط) تعتمد في الاستعادة على التصاق النفط بالأسطوانة (*الشكل رقم 15*). ولكن، يقوم المستحلب بدور سائل "يصبح أخف عند التعرض للقص" بحيث تتحاذى قطرات المياه في المستحلب جميعها في نفس الاتجاه، عندما يوضع تحت تأثير حركة التفاف، مثل دوران الأسطوانة، مما يقلل من اللزوجة ويسبب القطع خلال المستحلب بدلاً من التصاقه بالأسطوانة. ويحدث نفس التأثير في مضخات القوة الطاردة المركزية، حيث قد يدور ذراع تحريك المضخة دون حركة فعّالة للمستحلب من خلال المضخة. ولهذا السبب، ينصح باستخدام مضخات الإزاحة الإيجابية لنقل المستحلب.

ويعد فهم المصير المحتمل لأنواع النفط المختلفة وسلوكها المتوقع والقيود التي يفرضها هذا السلوك على عمليات التنظيف أمرًا أساسيًا لإعداد خطط فعّالة لحالات الطوارئ. وبالإضافة إلى ذلك، سوف تشير المعلومات المتعلقة بالرياح والتيارات المائية السائدة على مدار العام إلى الحركة الأكثر احتمالاً للنفط والموارد الحساسة التي قد تخصص في موضع معين. ويمكن أن تتيح البيانات حول أنواع النفط التي يجري التعامل معها ونقلها إجراء تنبؤات فيما يتعلق بالعمر المحتمل لبقعة النفط



▲ *الشكل رقم 13: حجم النفط ومستحلب المياه في النفط المتبقي على سطح البحر مبينًا كنسبة مئوية من حجم الانسكاب الأصلي (100%) بالنسبة لنوع معتاد من النفط من كل مجموعة من المجموعات المبينة في الجدول رقم 1 والجدول رقم 2. تمثل المنحنيات السلوك "المتوسط" التقديري لكل مجموعة. ولكن، قد يختلف سلوك نوع معين من النفط الخام عن النمط العام طبقًا لخصائصه وللظروف البيئية في وقت الانسكاب.*

▲ *الشكل رقم 14: أدت لزوجة النفط المرتفعة إلى فشل إضافة المشتتات، والتي تظهر من خلال ظهور المسحة البيضاء المعتادة من المادة المشتتة المحيطة بالنفط.*

▲ *الشكل رقم 15: أداة كشط أسطوانية تعمل بنجاح في انسكاب حديث لنفط خام خفيف. ولكن، إذا قام النفط بتكوين مستحلب بصورة كبيرة، فقد تقل فعالية عملية الاستعادة نظرًا لعدم قدرة المستخدم على الالتصاق بالأسطوانات.*

وكمية النفط المتبقية وطبيعتها التي قد تتطلب استجابة لعملية تنظيف. كما سوف تساعد على تحديد اختيار أساليب ومعدات التنظيف المناسبة.

وبالنسبة للمنشآت الثابتة مثل محطات النفط والتحميل في البحر وعوامّات التفريغ، حيث قد لا ينطوي الأمر إلا على أعداد محدودة من أنواع النفط وتكون الظروف الجوية والبحرية السائدة معروفة جيدًا، يمكن إجراء تقديرات دقيقة إلى حدٍ بعيد. ويسهل هذا من وضع خطة الطوارئ الفعالة ويتيح وضع ترتيبات الاستجابة المناسبة. وفي مناطق مرور السفن الكثيفة، مع وجود العديد من السفن في الانتظار، أو عند وجود أنواع مختلفة من النفط يجري التعامل معها، لا يمكن أن تغطي الخطط جميع الاحتمالات الممكنة. ولذا يصبح تحديد نوع وسلوك النفط المنسكب في أقرب فرصة أكثر أهمية، وذلك حتى يمكن اختيار أنسب الأساليب المستخدمة عند الحاجة للاستجابة.

نقاط رئيسية

- بمجرد انسكابه، يبدأ النفط في التعرض لعوامل التجوية وتتغير خصائصه الفيزيائية والكيميائية بمرور الوقت.
- تعد عمليات الانتشار والتبخر والتشتت وتكوين المستحلب هامة في المراحل الأولى من الانسكاب في حين تمثل عمليات الأكسدة الضوئية و الترسّب والتحلل الحيوي عمليات طويلة الأمد تحدد المصير النهائي للنفط.
- تعتمد سرعة حدوث هذه العمليات على الظروف الجوية وخصائص النفط مثل الوزن النوعي وقابلية التطاير واللزوجة ونقطة الانصباب.
- تؤدي عمليات التبخر والتشتت إلى إزالة النفط من سطح البحر، في حين يؤدي تكوين المستحلب إلى بقائه وزيادة في حجم المنتج.
- يمكن أن تؤدي التفاعلات على الشواطئ إلى إزالة النفط من خلال تكوين كتل من النفط والطمي أو إلى ثباته في المواضع المحمية من خلال تضمينه ضمن الرواسب الناعمة أو تكوين الأرصفة الإسفلتية عند اختلاطه بالشواطئ التي تحتوي على الحصى أو الحصباء كبيرة الحجم.
- هناك عدد قليل من أنواع النفط المترسبة ذات كثافة عالية بدرجة تجعلها تسقط إلى القاع عند انسكابها. ولكن، معظم أنواع النفط سوف تطفو وقد لا تغرق إلا إذا اختلطت برواسب أكثر كثافة.
- يتيح فهم المصير المحتمل للنفط وسلوكه إلى تحقيق الاختيار الأمثل للاستجابة.

© 2011 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