الفصل الرابع

التلـوث البتـرولي

Petroleum Pollution

شكل يوضح الأدخنة المتصاعدة عن بعض معدات التكرير

إن تقدم الصناعة وتطور الحياة البشرية يؤديان يومًا بعد يـوم إلى زيـادة أنـواع وكميـات المواد الكيميائية، وإن كانت بعض هذه المواد ذات نفع مؤكد حيث يستفيد منها الإنـسان، إلَّا أنَّ البعض الآخر منها ضار بالبيئة بـشكلٍ أو بـآخر، ومـن الـصناعات الكيميائيـة المهمـة في عصرنا الحاضر هي البترول والصناعات البتروكيميائية.

عرف الإنسان البترول منذ زمن بعيد؛ فقد وجد منتشرًا على سـطح الأرض، وفي بعـض البقاع على هيئة برك صغيرة ممتلئة بسائل أسود كثيـف حيـث كـان يخـرج تلقائيًّـا مـن بـاطن الأرض، وأحيانًا كان يوجد على هيئة طبقة رقيقة عائمة على سطح الماء في بعـض البحـيرات، وعلى مياه البحار أمام بعض الشواطئ، أو مختلطًا بالماء الذي يخرج مـن بـاطن الأرض، وقـد استخدم البترول منذ زمن بعيد في الكثير من الأغراض مثل: الطـب والبنـاء والإنـارة وغـير ذلك.

ازداد تأثير النفط في الاقتصاد العالمي في العـصر الحـديث؛ إذ بـدأت مرحلـة جديـدة في تاريخ تطور النفط واستعمالاته، وقد تميزت هذه المرحلة بزيـادة في إنتـاج الـنفط لاسـتخدامه كوقود لمحركات الاحتراق الداخلي ومحركات الديزل.

كما ازدادت أهمية النفط الخام زيادة عظيمة عندما أصبح المـادة الخـام الأساسـية لإنتـاج وقود المحركات النفاثة.

ومن مشتقات النفط يتم الحصول على آلاف المركبات الكيميائية، مثل: أنواع عديدة من البلاستيك والمطاط الصناعي والأسمدة والألياف الصناعية ومواد التنظيف والأحماض العضوية والمذيبات المختلفة.

أي أن النفط مصدر أساسي للطاقة والمواد الأولية اللازمة للصناعات البتروكيميائية، ولكن مشكلاته البيئية كبيرة خاصة مع ازدياد الاحتياج العالمي للبترول؛ لاعتماد العمليات الصناعية الكبرى عليه، والتي بدورها ينتج عنها تلوث بيئي مختلف على طبقات البيئة سواء كانت غلافًا جويًّا أو مسطحات مائية أو حتى اليابس.

وأوضح مثال للتلوث النفطي هو تلوث البحار والمحيطات، وتلوث مياه البحار بالنفط هو أخطر الملوثات وأكثرها شيوعًا، والمشاكل المتعلقة به ظهرت منذ اكتشافه، وامتدت خلال جميع مراحل الإنتاج والنقل والتكرير والتصنيع والتخزين والتسويق وحتى التخلص من المنتجات المستعملة، وأدت الزيادة المستمرة في كل هذه الأنشطة إلى ظهور كميات متزايدة من الملوثات النفطية بمياه الشواطئ والبحار والمحيطات، خاصةً وأن معظم المصانع البتروكيميائية مقامة بمحاذاة الشواطئ، الأمر الذي بات يهدد وينذر بمشاكل بيئية خطيرة تؤثر على التوازن البيئي في البحر واليابسة على حد سواء. ومن العجيب أن التلوث البترولي أصبح ظاهرة طبيعية حيث أصبح من الصعب تقدير المخلفات البترولية السنوية والتي تتسرب إلى مياه البحر.

بدايةً نعطى فكرة عن النفط ومكوناته؛ لأن النفط الخام تختلف أنواعه من حيث تركيبه وخواصه الطبيعية كالمظهر والتماسك باختلاف مصدره.

ما هو النفط؟

يعد النفط من أهم مصادر الطاقة غير المتجددة المستخدمة على المستوى العالمي في الوقت الحاضر، فبالإضافة إلى أنه ثروة اقتصادية هائلة، حيث يعتبر فتحًا اقتصاديًّا كبيرًا لاقتصاد كثير من البلاد، فهو أيضًا يدخل في كثير من الصناعات المعتمدة على البتروكيميائيات. والنفط عبارة عن مخلوط من المركبات الهيدروكربونية الصلبة والسائلة والغازية التي تكونت في الطبيعة وتجمعت في مسام الصخور وشقوقها في بعض المناطق من القشرة الأرضية. وينتج البترول من البقايا النباتية والحيوانية التي تتحول إلى حفريات تحت ظروف بحرية حيث

تترسب وتتراكم في قيعان تلك البحار مما يؤدي إلى طمرها تحت الماء ومع مرور الزمن تتحول إلى المواد الهيدروكربونية، ومن المركبات الهيدروكربونية الشائعة في تركيب النفط : البارافينات والأوليفينات والنافثينات والبنزين العطري ومشتقاته.

أنواع النفط :

1- النفط الخفيف ذو الوزن النوعي المنخفض :

ويتميز بلونه المخضر ولزوجته المنخفضة "سيولته العالية"؛ لأنه يحتوي على نسبة عالية من البارافينات، ويطلق عليه اسم "النفط البارافيني".

2- النفط الثقيل ذو الوزن النوعي المرتفع :

ويتميز بلونه الأسود ولزوجته العالية " قليل السيولة " لاحتوائه على نسبة عالية من الغاز أو الأسفلت؛ لذا يسمى "بالنفط الأسفلتي".

وكلما كان النفط أكثر سيولة (النفط الخفيف) كان أسهل في الإنتاج؛ لسهولة تدفقه من مسامات الصخور إلى البئر. والنفط خليط غير نقي من الهيدروكربونات؛ إذ إنه يذيب معه العديد من المركبات العضوية التي تكسبه لونه، كما يذيب نسبًا متفاوتة من الكبريت؛ لذا فإن نوعية النفط تختلف باختلاف الشوائب المذابة فيه كالمواد العضوية والكبريت، والنفط الجيد هو النفط الذي تقل فيه نسبة هذه الشوائب وبخاصةً نسبة الكبريت لأنه يكون أسهل في عمليات التكرير والتصنيع. وعلي ذلك فالنفط الخام تختلف أنواعه من حيث خواصه الطبيعية، كالمظهر والتماسك باختلاف مصدره، فتتفاوت من سوائل رجراجة ذات لون بني يميل إلى الصفرة إلى سوائل سوداء مرتفعة اللزوجة وشبه صلبة، ويرجع هذا الاختلاف إلى نسب مكونات النفط من الهيدروكربونات المختلفة خاصة نسبة البارافينات والنفثينات، وسواء أكان النفط محتويًا على بارافينات بنسبة عالية، أو نفثينات بنسبة عالية، فقد تكون نسبة الهيدروكربونات الخفيفة مرتفعة، ويكون النفط عندئذ رجراجًا أو محتويًا على مقدار كبير من الغازات الذائبة فيه، كما قد تكون المركبات الهيدروكربونية التي يتألف منها هي مركبات ثقيلة ويكون النفط عندئذ مرتفع اللزوجة وخاليًا من الغازات الذائبة أو محتويًا على كمية ضئيلة منها.

وبسبب اختلاف مكونات البترول في التركيب الكيميائي ولكونه مزيجًا من مركبات

مختلفة، فتتغير تبعًا لذلك خواصه الفيزيائية كاللون والوزن النوعي واللزوجة وغيرهم، وكذلك خواصه الاحتراقية مثل درجة الاشتعال ودرجة الوميض ونسب مكوناته؛ لذلك فإن البترول الخام يخضع إلى فحوصات تقييمية مهمة جدًا للتعامل مع البترول ومشتقاته أثناء عمليات التصفية أو النقل أو التخزين في تحديد العمليات الكيميائية الواجب استعمالها مع البترول الخام لتحويله إلى مشتقات مفيدة للاستخدامات المناطة بها.

التركيب الكيميائي للبترول:

البترول عبارة عن مزيج من الهيدروكربونات المختلفة، حيث تمثل السواد الأعظم في تكوينه . ويحتوي أيضًا على بعض العناصر مثل الكبريت والنيتروجين والأكسجين مندمجة مع جزيئات الهيدروكربونات ، ويتراوح التركيب العنصري لخامت البترول كما هو واضح من الجدول رقم (5) :

جدول رقم (5): يوضح نسب العناصر الكيميائية المكونة للبترول

العنصر	النسبة المئوية
C	84 – 87 %
H	11 – 14 %
O	0 – 1 %
N	0 – 1 %
S	0 – 6 %

أي أن التركيب الكيميائي للبترول معظمه (ما يقرب من 55-99 ٪) مركبات هيدروكربونية بأنواعها المختلفة سواء أكانت المشبعة وغير المشبعة مع وجود بعض المركبات الأخرى المحتوية على أكسجين أو نيتروجين أو كبريت .

أهم مكونات النفط :

1- البرافينات : **Paraffin's**:

هي مركبات هيدروكربونية مشبعة قليلة النشاط، مثل: الميثان والبروبان والإيثان والبنتان، وهي غازات في درجة الحرارة العادية، أما البرافينات كبيرة الجزيئات فهي مواد صلبة مثل شمع البرافين . والتسمية العلمية لها هي عبارة عن الألكانات، **والصيغة العامة لها:**

CnH2n+2، وهي عبارة عن سلسلة مفتوحة وأبسط مركب فيها الميثان ومكوناتها كالتالي:

C1	**C4**	**gases**	(غاز)
C5	**C10**	**Liquids**	(سائل)
C11	**C15**	**Semisolid**	(زيتي)
C15 < أكثر		**Solid**	(صلب)

2- النافثيانات : Naphthenes

هي عبارة عن مركبات هيدروكربونية مشبعة ذات حلقة مقفولة وتسمى بالألكانات الحلقية (Cyclo alkane) ، والصيغة العامة لها: CnH2n ، مع ملاحظة أنها لا تحتوي على روابط مزدوجة، وأن أهم مكون صناعي فيها هو البنتان الحلقي والهكسان الحلقي، اللذان يدخلان في صناعة النايلون، وهما سوائل في درجة الحرارة العادية.

3- الأوليفينات: Olefins

هي عبارة عن مركبات هيدروكربونية غير مشبعة (تحتوي على روابط مزدوجة)، والاسم العلمي لها ألكينات (alkenes)، والصيغة العامة لها: CnH2n، ذات سلاسل مفتوحة. وتتميز هذه المركبات بنشاطها الكيميائي، وبذلك فإن لها أهمية خاصة في صناعة البتروكيميائيات، ومن أمثلتها الإيثلين والبروبلين والبيوتادايين ، كما يمكن تكوينها بعمليات تحويلية كيميائية من البرافينات .

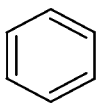
أبسط المركبات الأوليفينة المفتوحة هو الايثلين ($CH_2 = CH_2$)، حيث يتمتع بأهمية صناعية قصوى كمادة أساسية في تخليط منتجات صناعية مهمة بالإضافة إلى البروبلين والبيوتادايين وإيزوبيوتين فهي مركبات ذات أهمية صناعية كبرى.

4- الأستيلينات : Acetylenes

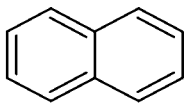
هي عبارة عن مركبات تتميز بوجود رابطة ثلاثية، والاسم العلمي لها الألكاينات (alkynes)، والصيغة العامة: CnH2n-2، وأبسط مركب لها الأستلين ($CH \equiv CH$) حيث كان يستخدم قبل الحرب العالمية الثانية في التخليق العضوي ثم حلت محله الآن الأوليفينات.

5- الهيدروكربونات العطرية : Aromatic Hydrocarbons

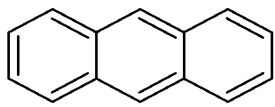
تعرف الهيدروكربونات العطرية بأنها المركبات الأروماتية، وهي مركبات حلقية سداسية غير مشبعة، وأبسطها البنزين ومشتقاته. والعطريات ذات الأوزان الجزيئية العالية توجد في قطفات السولار والديزل والمازوت والأسفلت، وأشهر المركبات العطرية الموجودة هي البنزين والنفتالين والأنثراسين وغيرهم.



Benzene



Naphthalene



Anthracene

6- المركبات الكبريتية :

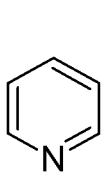
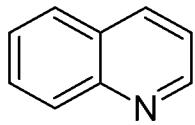
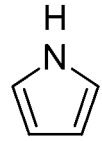
هذه المركبات توجد على هيئة مركبتان (mercaptans)، والصيغة العامة لهذه المركبات: R-S- R, R-SH, ، وأيضًا توجد على هذا الشكل: R-S-S-R (ثنائي الكبريت). توجد هذه المركبات في القطفات الثقيلة مثل: الأسفلت والبيوتيمين، ووجود مثل هذا المركبات في البترول تسبب انبعاث ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) المعروف بسُميته. وعندما يتفاعل في الجو مع ماء المطر يعطي الحمض الكبريتي مما يؤدي إلى تلوث خطير يعرف بالمطر الحمضي، ولذلك يجب نزع المركبات الكبريتية خلال عملية التكرير.

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3$$

7- المركبات النيتروجينية والأكسجينية :

أ- المركبات النيتروجينية :

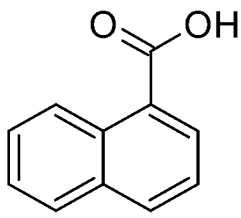
هذه المركبات قليلة التواجد قياسًا مع الكبريت، وتوجد المركبات النيتروجينية في القطفات الثقيلة، وأهم مركبات النيتروجين هي بعض مشتقات البيريدين والكينولين وكذلك مركبات البيرول. ووجود مركبات النيتروجين في البترول يقلل كثيرًا من كفاءة الحوافز المستخدمة في عملية التكرير.

Pyridine **Quinoline** **Pyrrole**

ب- المركبات الأكسجينية :

هذه المركبات أيضًا قليلة بالنسبة إلى مركبات الكبريت، وهي تتواجد على هيئة أحماض كربوكسيلية (RCOOH) وفينولات (PhOH) وكيتونات (RCOR)، وتتواجد مركبات الأكسجين وخاصة الأحماض النفثية (Naphthoic Acids) في قطفة الكيروسين والسولار والديزل.



α- Naphthoic Acid

8 - المركبات المحتوية على عناصر معدنية:

يحتوي البترول على أثار العديد من المعادن، أهمها النيكل والفانديوم، ويعطي الحديد والزنك والنحاس والكروم والمنجنيز والكوبلت، ويتراوح تركيبها ما بين 10– 1000 جزء من المليون .

ويرجع التفسير العلمي لوجود مثل هذه المركبات كما في بعض النظريات إلى أن:

1 - الصخور التي تكون فيها البترول أو المجاورة لها هي التي تحتوي على هذه المعادن.

2- بعض النظريات تشير إلى أن هذه المعادن كانت جزء من الطحالب والكائنات الحية التي تكون منها البترول في العصور القديمة.

9- الأسفلت :

هي عبارة عن المركبات الصلبة غير الطيارة ذات الوزن الجزئي المرتفع حيث تبقى عادة

من مخلفات التقطير، أهم مكوناتها :

الزيوت الأسفلتية الراتنجات Resins

وتتحكم طبيعة النفط الخام إلى حد ما في نوع المنتجات المستخلصة منه وملائمتها للاستعمال في مجالات معينة. ويوضح الجدول رقم (6) أجزاء الهيدروكربونات المتحصل عليها من البترول بعد تكريره.

جدول رقم (6): أنواع الهيدروكربونات المتحصل عليها من النفط الخام بعد التكرير

الجزء	مدى طول سلسلة الكربون	مدى نقطة الغليان °C	الاستخدامات
الغازات البترولية	C_1 - C_2	30 – 14	وقود غازي، إنتاج أسود الكربون، هيدروجين أو جازولين.
إيثر البترول	$C_5 – C_7$	90 – 30	مذيب وللتنظيف الجاف
جازولين	$C_5 – C_{12}$	200 – 90	وقود للسيارات
كيروسين	$C_{12} – C_{16}$	275 – 175	وقود- مادة مضيئة للوقود
زيت غازي وزيت وقود وزيت ديزل	$C_{15} – C_{18}$	400 – 250	وقود فرن – وقود ماكينات ديزل
زيوت تشحيم وشحوم البترول	فوق C_{16}	فوق 350	تشحيم
برافين " شمع "	فوق C_{20}	ينصهر 52– 75	شموع - أنسجة مضادة للماء
زيت وقار		مخلفات	أسفلت صناعي
بترول فحم الكوك		مخلفات	وقود ، أقطاب

***

التلوث البترولي

تعد صناعة النفط من المصادر الرئيسية لدخل البلاد؛ لأن لها تأثيرًا إيجابيًّا واضحًا على اقتصاد بعض الدول، تتمثل في خلق قاعدة صناعية ودخول عالم التقنية وتحويل المجتمع، من ريفي إلى مدني متحضر مستقر، ولكن لها آثار سلبية كبيرة على البيئة والمجتمع وقد تنوعت مخلفات هذه الصناعة وملوثاتها ، وأهم هذه الملوثات هي الملوثات الغازية والسائلة والصلبة والتي لها أخطارها على البيئة.

* **تلوث الهواء**: الذي ينتج عن تصاعد الغازات السامة الناتجة عن عمليات تكرير النفط، مثل: أكاسيد كل من الكربون والكبريت والنيتروجين وبعض الهيدروكربونات، كما سبق الحديث عنها فى التلوث بالغازات.

* **أما تلوث الماء**: فينتج عن تسرب الكميات الهائلة من النفط داخل البحر بسبب تصادم الناقلات، أو بسبب الحوادث التي تتعرض لها أثناء الشحن أو التفريغ وغير ذلك، وهي غالبًا تحتوي على مركبات عضوية مثل الفينولات والكحولات والمركبات الأروماتية والدهون والزيوت، وغير عضوية مثل الفلزات أو المعادن الثقيلة كالرصاص وغيره، وكذلك على الأيونات السالبة مثل الكبريتيد وغيره.

* **أما تلوث التربة**: فيحدث عن طريق إلقاء المخلفات السائلة والصلبة والتي تؤثر بدورها على التربة ثم على النبات ، كما تؤثر الغازات المتصاعدة على الغطاء النباتي ومن ثم على الإنسان والكائنات الحية الأخرى.

وعلي كل حال تعد الزيوت البترولية من أخطر الملوثات النفطية للماء؛ وذلك نظرًا لقدرتها على الانتشار السريع على سطح الماء؛ حيث يصل معدل انتشارها إلى مسافة تزيد عن 300 كيلو متر من مصدر التلوث. والتلوث البحري بالزيوت البترولية أصبح مثار اهتمام عالمي كبير خاصةً في السنوات الأخيرة؛ نظرًا لآثاره الواضحة على البيئة بكافة مكوناتها إضافة إلى وضوح آثاره السياحية، حيث يمكن مشاهدة مياه البحار والأنهار الملوثة بالزيوت البترولية. ومن الجدير بالذكر أن أكثر البحار تلوث بالنفط هو البحر المتوسط الذي يمر عبره حوالي 30 ٪ من النفط العالمي أو أكثر، وخاصة بعد إعادة افتتاح قناة السويس للملاحة البحرية، مما زاد من خطر التلوث في هذا البحر، وكذلك مستوى الرواسب في خليج سرت

وصلت إلى حوالي 500 لتر في كل كيلو متر مربع وهو مستوى خطير للغاية. وهناك الكثير من الحوادث العالمية في مجال التلوث البترولي والتي تصل تقريبًا إلى مائة حادثة سنويًا.

مصادر التلوث بالزيوت البترولية:

يعتبر التلوث بالزيوت والشحوم البترولية من أكثر أنواع تلوث البيئة البحرية شيوعًا، وذلك بسبب تلويثه لشواطئ الاستحمام، وظهوره على سطح المياه، أو وصوله للشواطئ على شكل كرات بترولية، كما أنه يتسبب في تلويث معدات صيد الأسماك بل والأسماك ذاتها. إن التلوث بالزيوت والشحوم البترولية يعد من أهم مصادر التلوث البحري وأخطرها على البيئة، حيث إن هذه الظاهرة تعتبر ظاهرة حديثة لم يعرفها الإنسان إلا في النصف الثاني من القرن الماضي بعد أن انتشر استخراج البترول وتم استخدامه في مجالات عديدة وأصبح واحدًا من أهم مصادر الطاقة على الإطلاق. وتتعدد الأسباب التي تؤدي إلى تلوث مياه البحار والمحيطات بزيت البترول ومن أهمها:

1- حوادث الحرائق والانفجار والاشتعال :

هذا النوع يعد من أخطر مصادر التلوث البترولي؛ لأنه ينتج عن هذه الحوادث اندلاع الغاز واللهب، وحيث إن بعض هذه الغازات والأبخرة المتحررة سامة وضارة بالإنسان والبيئة فضلًا عن الآثار التدميرية التى تسببها هذه الحرائق وربما فقد عناصر بشرية ذات خبرة فيها، وحيث إن نقل النفط يكون بناقلات كبيرة وهى تحمل مواد قابلة للاشتعال فقد ينتج عن الضغط العالي اندلاع الغاز واللهب، وللوقاية من الأخطار الناتجة عن عمليات نقل البترول يجب عزل أنابيب التوصيل ذات القطر الصغير والتي يمر فيها البخار وتطلى أنابيب التوصيل بهاده خاصة لوقايتها من الصدأ وذلك تبعًا لمكان امتدادها، مع وجوب مراقبتها لضمان عدم وقوع أي ضرر في أي وقت.

كما أن الأبخرة والغازات المنطلقة أثناء التفريغ قد تؤدي إلى الحريق أو الانفجار، ولذلك لابد من تجنب التدخين تمامًا بجانب أنابيب تدفق النفط أو أثناء التفريغ. وقد تكون أيضًا الكهرباء الإستاتيكية هي أحد أسباب اندلاع الحريق مما يتطلب تزويد مثل هذه المواقع بالوسائل الموضعية لإطفاء الحرائق. وأن أفضل طريقة لمنع الاشتعال، الناتج عن الكهرباء هو جعل كل الأجهزة المعدنية والخزانات وأنابيب النقل وأجهزة الشحن والتفريغ التي تستخدم

لتخزين ونقل السوائل سهلة الاشتعال جعل ذلك كله تحت الأرض. وهناك حالات أخرى تحدث فيها الحرائق في أقسام التشغيل (أثناء عملية تكرير البترول) حيث إن اختلاط الهواء بالمواد الهيدروكربونية، واختلاط الماء بالمواد البترولية ذات درجات الحرارة العالية، ووجود بقايا الماء داخل الأنابيب والأجهزة الأخرى قد تحدث خطورة فجائية مثل الحريق أو الانفجار.

2- التنقيب عن البترول تحت مياه البحر: Oil Production Under Sea Water

إنتاج الزيت في الأرصفة أو الحقول البترولية الموجودة في البحر يؤدي إلى فقد كميات كبيرة من الزيت في البحر، إضافة إلى غسيل بعض الزيوت الموجودة على سطح الحقل بماء المطر، ومعظم الأرصفة البترولية العائمة تحتوي على مصائد تمنع الزيوت من التسرب، وعند استخراج الزيت من الحقول البحرية يلاحظ احتوائه على نسبة من الماء والذى يلزم التخلص منه قبل نقل البترول إلى مصافي التكرير، وتستخدم أجهزة فصل الزيت الموجودة في الحقول البترولية لهذا الغرض. يصل تركيز الزيت في الماء المستخلص منه حوالي 40 جزء من المليون (40 ppm) وتجمع مثل هذه الكميات بمستوى عالٍ يمثل مشكلة كبيرة لا يمكن تجاهلها.

ويؤدي إنتاج الزيت في بعض الآبار البحرية إلى انفجاره أو انطلاقه دون التحكم فيه، مما يؤدي إلى كوارث، ولابد من إجراء كثير من الاحتياطات لتجنب ذلك، وهناك كثير من الزيوت التي تصل إلى البحر مثل ما حدث في انفجارت إيكوفيسك، وكذلك كثير من حوادث ناقلات البترول، وهذه الانفجارات لا يمكن توقعها، وبالتالي فإن حجم الضرر الناتج عن هذه الحوادث لا يمكن تقديره.

3- ناقلات البترول : Tanker Operations

تتسبب ناقلات النفط وحدها في تسرب الزيت الخام إلى مياه البحار والمحيطات بمعدل يصل إلى 2 مليون طن سنويًّا، بالرغم من أن الحوادث البحرية الواقعة لناقلات النفط لا تساهم في هذا التلوث إلَّا بـ 10 ٪ فقط . تقوم ناقلات البترول بنقل الزيت الخام من مناطق الإنتاج في الشرق الأوسط ونيجيريا وفنزويلا وإندونسيا إلى مناطق التكرير في الدول المستهلكة الرئيسية في شمال أمريكا وأوروبا واليابان، حيث تمتلئ الناقلات بالزيت الخام في رحلة الذهاب وبماء البحر في رحلة العودة، ويعمل الماء كثقل يحافظ على اتزان الناقلة ، حيث

يعبأ ماء البحر في الحجرات (Compartments) التي كانت مملوءة بالزيت الخام في رحلة الذهاب، فضلًا عن إنه بعد تفريغ الزيت الخام يتم تنظيف الحجرات من الزيت الملتصق بالجدران بواسطة خراطيم قوية يندفع منها ماء البحر بضغوط قوية مما يؤدي إلى احتواء الثقل (Ballast) على كمية لا بأس بها من الزيت مما يسبب حدوث تلوث واضح للمياه، وفي العادة يتم التخلص من ماء البحر الزيتي ويحل محله ثقل من ماء البحر مرة أخرى وهكذا، ويمكن تقليل هذه المشكلة بتحديد مستوى الزيت الذي يتم التخلص منه بتركيز 100 جزء من المليون (100 ppm) على أن تكون كمية الزيت التي يقذف بها في ماء البحر في حدود 10 لتر / ميل من رحلة الناقلة، وفي ظل هذه الظروف ينتشر الزيت لمستوى جيد في عرض البحر مما يحد من التلوث ولا يسبب في هذه الحالة أي مشاكل حادة .

ويمكن القول: أن هذه الطريقة تحقق قدر محدود من النجاح، حيث إنها تقلل من كمية الزيت الذي يمكن التخلص منه في البحر، وقد تم تحسين هذه الوسيلة بما يسمى الثقل على قمة الخزانات (the Load on-Top) حيث يحتفظ بالماء الزيتي لفترة من الوقت، وذلك بعد تنظيف وغسيل الخزانات الفارغة، وذلك بغرض السماح للزيت بالطفو على سطح الماء، وبذلك يحتوي الماء الموجود بأسفل على مستوى منخفض من الزيت يمكن ضخه، كما يمكن نقل الزيت إلى خزان الفضلات، ومن هنا بعد تنظيف جميع الخزانات بالماء النظيف الذي يمثل (ballast water) في خزانات أخرى، وتعتبر هذه الوسيلة غير مناسبة للبحر الأبيض المتوسط حيث تكون الرحلة قصيرة بحيث لا تسمح بفصل كمية كافية من الزيت الموجود في الخزانات بعد تنظيفها، ومن المناسب لحل هذه المشكلة عمل خزانات بأثقال منفصلة (Segregated ballast) بحيث لا يلامس الثقل المائي الزيت وبذلك يمكن تقليل قدرة حمولة الخزانات ولكن ترتفع تكاليف نقل الزيت.

4- مصافي تكرير البترول الساحلية : Costal Oil Refineries

تستخدم المصافي القديمة البخار في عمليات تقطير أو تحليل نواتج البترول ويعاد تجميع الماء مرة ثانية، ويتم التخلص منه، وفي العادة يحتوي هذا الماء على نسبة من الزيوت قد تصل إلى 100 جزء من المليون (100 ppm) ، أما في المصافي الحديثة لا يلامس الزيت الماء وبالتالي يمكن تقليل تركيز الزيت الموجود في الماء إلى 25 جزء من المليون (25 ppm) وتحتاج هذه المصافي إلى كميات كبيرة من الماء وفي جميع الأحوال لا يمكن تجاهل نسبة الزيت الموجودة في الماء الذي يتم التخلص منه.

5- حوادث شاحنات البترول : Tanker accidents

تحدث الكثير من الحوادث في شاحنات البترول سنويًا ولعل أخطر هذه الحوادث ما حدث في ناقلة البترول أموكو كاديز (1978م) ، حيث إنه عند تحطم أي سفينة فإنها تفقد ما تحمله من النفط وكذلك وقودها في عرض البحر، وهذه الكميات تسبب تلوث كبير لمياه البحر. عادة تحدث معظم هذه الحوادث قرب مداخل الموانى حيث ترتفع كثافة السفن، ولذا فمن المؤكد أن مداخل هذه الموانى تتميز بارتفاع مستوى التلوث بالزيت.

ومن أمثلة هذه الحوادث :

- تفجر الزيت عام 1977 م عند استخراجه من قاع البحر الشمالي، وقد نتج عن هذا الحادث انسكاب نحو 25.000 طن من الزيت، الذي غطى مساحات شاسعة من هذه المياه، وقد حدث انفجار مماثل في بئر بترول في قناة (سانتا بربار) بكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية.

- غرق الناقلة العملاقة أموكو كاديز (Amoco cadiz) عام 1978م أمام الشاطئ الشمالي لفرنسا، وكانت تحمل نحو 20.000 طن من الزيت البترولي الخام، الذي تدفق أغلبه ليغطي مساحات هائلة فوق سطح البحر.

- غرق ناقلة البترول إكسون فالديز (Exxon Valdez) عام 1989م عندما اصطدمت ببعض الصخور أمام خليج برنس وليام بالأسكا أثناء تفاديها للارتطام بأحد جبال الجليد العائمة، وكانت تحمل 36.000 طن من النفط.

- حادثة **نوري كاينون** في مارس 1967م، والتي لفتت أنظار العالم إلى ضرورة الاهتمام بمشاكل التلوث البترولي؛ حيث كانت هذه الناقلة تحمل 117 ألف طن من الزيت الخام الكويتي تسرب منه حوالي ألف طن على الشواطئ البريطانية.

6- بعض عمليات الشحن البحري : Other Shipping Operations

تحتاج جميع عمليات الشحن عن طريق السفن إلى أثقال مائية، حيث تتحرك السفن غالبًا في ظروف جوية سيئة، أو قد لا توجد الحمولة الكافية لحفظ اتزانها، وتشغل خزانات الأثقال مكان العفش، وفي العادة فإن مكانها محدود، وعليه فإن إضافة خزانات الأثقال قد يحل محل

خزانات الوقود، وفي هذه الحالة يتم التخلص من الزيت في البحر، ويتم ضخ الماء المتجمع في قاع السفينة أو المركب ويحتوي على زيت تشغيل ماكينات السفن، وغالبًا ما تكون كمية الزيت التي يتم تصريفها صغيرة ولكن مع عمليات الشحن الهائلة في البحر تصبح هذه الكمية من الزيت التي يتم التخلص منها في البحر جديرة بالاهتمام ولا يمكن تجاهلها.

7- راحة السفن في الأرصفة البحرية : Dry Docking

إن شاحنات البترول، بل جميع السفن، تحتاج إلى فترات راحة وذلك للإصلاح والخدمة والتنظيف، وخاصة شاحنات البترول، حيث يلزم تمام التخلص من الزيوت الموجودة بجميع حجرات العفش " Cargo " ، وكذلك تنظيف خزانات الوقود لتجنب حوادث وخطر الغازات البترولية، وقد لا تتوفر هذه الأرصفة في كثير من الموانى مما يؤدي إلى إجراء هذه العمليات "خاصة التخلص من الزيت" في عرض البحر، وهذه العملية تتم في الرحلات القصيرة عند مناطق بناء السفن بالميناء النهائي، ولحل هذه المشكلة لابد من وجود تسهيلات خاصه في كثير من الموانى. وتظل صعوبة التخلص من الماء الزيتي مشكلة قائمة حيث لا يمكن استخدامه بواسطة مصافي البترول، إضافة إلى التكلفة العالية حيث إن مثل هذه العمليات تتم في الميناء في ظل قوانين مقيدة، أما في عرض البحر، فالتكلفة المالية تكاد تكون معدومة.

8- التحميل : Terminal Loading

الحوادث الناجمة من الأخطاء البشرية وتسرب أنابيب البترول إلى الناقلات وتفريغها في مصافي البترول.

9- التسرب الطبيعي : Natural Seeps

تتسرب متبقيات الزيت الموجودة بالقرب من سطح الأرض وقد تكون سببًا في تكوين بترول في منطقة ما بعد آلاف السنين، ولكن هناك الآن مخاطر عظيمة تتعرض لها الشواطئ نتيجة تسرب البترول، وقد يكون العائد الناتج من تسرب الزيت يعادل ضعف حوادث ناقلات البترول.

10- حوادث انسكاب النفط :

يحدث انسكاب النفط بسبب عدد من الحوادث، أهمها حوادث الناقلات، وكذلك

حوادث الخزانات وأنابيب نقل النفط، وتوضح الدراسات الحديثة أن كميات النفط المنسكبة من حوادث الناقلات قد انخفضت من متوسط 200.000 طن في السنة في بداية السبعينات إلى حوالي 110.000 طن في السنة في أواخر الثمانينات وأن الأمر في تحسن، ويعزى ذلك جزئيًا إلى انخفاض نقل النفط بحريًا وإلى التحسينات التي أدخلت في تدابير السلامة في عمليات النقل. ويتوقف مدى الضرر الذي تسببه حوادث الانسكابات النفطية على عوامل تشمل مكان وقوع الحادث (قرب الساحل أو بعيدًا عنه)، والأحوال الجوية السائدة، والتركيب الكيميائي للنفط.

والنفط المنسكب بالقرب من المناطق الساحلية له آثار بيئية مختلفة، ومعظم هذه الآثار تكون على الأحياء البحرية وبيئة المستنقعات والماء وغيرها. ولقد أوضحت دراسات مختلفة أن البيئات المتأثرة تستعيد حالتها الأولى بمرور الزمن، ولكن هناك قلق متزايد من الآثار طويلة الأجل التي تتعرض لها الأحياء البحرية لمستويات منخفضة من الهيدروكربونات – المكونات الأساسية للنفط. وغالبًا ما تكون حوادث ناقلات البترول – خاصة الحوداث الكبيرة – باهظة التكاليف.

فحادث **أموكو كاديز** الذي وقع في مارس 1978 م بالقرب من شاطئ بورتسال في فرنسا، تسبب في موت حوالي 4500 طائر، من 33 نوعًا، وكانت له تأثيرات مختلفة على الثروة السمكية في المنطقة. ولقد قدرت الخسارة الكلية الناجمة من الحادث بحوالي 400 مليون دولار (124 مليون تكلفة إزالة التلوث من الشاطئ والمياه الساحلية، و46 مليون دولار خسائر في مصائد الأسماك، و192 مليون دولار في السياحة في المنطقة).

ومن المعروف أن حادث الناقلة **إكسون فالديز** الذي وقع في مارس 1989م في ألاسكا، وترتب عليه انسكاب حوالي 36.000 طن من النفط قد تكلف قرابة المليارين من الدولارات لصعوبة عمليات تنظيف المنطقة، بالإضافة إلى التعويضات التي دفعتها الشركة للمتضررين.

وحادثة **نوري كاينون** في مارس 1967م، والتي سبق أن تم الإشارة إليها أيضًا وما ترتب عليها من آثار بيئية سيئة.

11- أنشطة نفطية أخرى:

وينشأ هذا النوع من التلوث نتيجة الفضلات الصناعية والبلدية (Industrial and

Municipal Waste)، وتعتمد على طبيعة الصناعات بالإضافة إلى محطات التشحيم، فمثلًا في محطات خدمة السيارات التي يتم فيها غسيل السيارات يتم التخلص من كميات كبيرة من الزيوت البترولية، وهي كميات لا يمكن تجاهلها، حيث قد تسلك هذه الزيوت طريقها إلى التربة والتي قد تحملها إلى الأنهار أو المياه الجوفية. كما تحتوي المخلفات السائلة لبعض الصناعات على كمية لا بأس بها من الزيوت، وأيضًا فإن فضلات المجاري (Urban Sewage) في المدن تحتوي على كميات من الزيوت والدهون بعضها في الفضلات الطينية (Sewage Sludge's). وكذلك يمكن أحيانًا رؤية الأمطار في الطرق والشوارع وعليها قطرات من الزيوت البترولية ويتم التخلص منها في الصرف الصحي. **وعموما يمكن القول:** إن أنشطة استخراج الزيوت البترولية وصناعة النفط مسئولة عن أقل من $\frac{1}{4}$ الكمية الهيدروكربونية التي تصل إلى البحر، أما استخدام المنتجات البترولية فهو مسئول عن الجزء الباقي.

ويمكن تقسيم النسبة المئوية لمصادر ملوثات النفط للمياه البحرية كما هو موضح في الجدول رقم (7) .

جدول رقم (7) : يبين مصادر النفط الملوثة لمياه البحر والنسبة المئوية لها

مصادر النفط	النسبة
من الناقلات	٪ 49.05
نتيجة حوادث الناقلات	٪ 4.70
من السفن	٪ 19.80
نتيجة حوادث السفن	٪ 0.80
نتيجة عمليات استخراج النفط من المناطق البحرية	٪ 5.80
من أنابيب البترول	٪ 0.40
من معامل التكرير (مصافي النفط)	٪ 11.90
تلوث نفطي نتيجة أنشطة متنوعة أخرى	٪18.00

ويمكن إجمال الأسباب الرئيسية لحدوث التلوث البحري بالنفط في الآتي:

1- الحوادث التي تحدث أثناء عمليات الحفر والتنقيب والتي تسبب تلوث المياه بكميات هائلة .

2- تسرب النفط إلى البحر أثناء عمليات التحميل والتفريغ بالموانئ النفطية .

3- اشتعال النيران والحرائق بناقلات النفط في عرض البحر .

4- تسرب النفط الخام بسبب حوادث التآكل في الجسم المعدني للناقلة .

5- إلقاء مياه غسل الخزانات بالناقلات بعد تفريغها في البحر .

6- إلقاء ما يعرف بمياه الموازنة الملوثة بالنفط في مياه البحر، حيث تملأ الناقلة بعد تفريغ شحنتها بالمياه بنسبة لا تقل عن 60٪ من حجمها للحفاظ على توازن أو اتزان الناقلة أثناء سيرها في عرض البحر خلال رحلة العودة إلى ميناء التصدير .

7- تسرب البترول من ناقلات النفط أثناء الحوادث أو من الآبار النفطية البحرية المجاورة للشواطئ، حيث يعتبر من أهم أسباب تلوث البيئة البرية بالمواد النفطية .

8- تسرب النفط إلى البحر أثناء الحروب، كما حدث في حرب الخليج الثانية.

9- الحوادث البحرية والتي من أهمها ارتطام هذه الناقلات بالشعاب المرجانية، أو بعضها ببعض، حيث تتسبب ناقلات النفط وحدها في تسرب الزيت الخام إلى مياه البحار والمحيطات بمعدل يصل إلى 2 مليون طن سنويًا بالرغم من أنه تبين أن الحوادث البحرية الواقعة لناقلات النفط لا تسهم في هذا التلوث بما لا يزيد على 10 ٪ فقط ، وهناك الكثير من الحوادث العالمية في مجال التلوث البترولي والتي قد تصل إلى 100 حادثة سنويًا.

انتشار التلوث البترولي : Fate of Spilled Oil

إنه من الصعب التحكم في التلوث البحري أو منع انتشاره، حيث إنه خطر عائم ومتحرك يتحكم فيه اتجاه الرياح وعوامل المد والجزر وشدة الأمواج وبذلك تصعب السيطرة

عليه ، كذلك فإن ملوثات منطقة ما تنتقل بعد فترة إلى مناطق أخرى إما مباشرة أو بطرق غير مباشرة عن طريق الأسماك الملوثة.

حينما يتسرب الزيت السائل إلى البحر ينتشر على سطح الماء مكونًا فيلمًا رقيقًا يطلق عليه زلق الزيت (Oil Shuck)، ويعتمد معدل انتشار وسمك فيلم الزيت على درجة حرارة البحر وطبيعة الزيت، حيث ينتشر الزيت الخفيف من وقت انسكابه "حيث تتطاير مكونات الزيت الخفيفة " ذو الوزن الجزيئي الصغير، فالمكونات القابلة للذوبان في الماء فإنها تذوب في الماء أما المكونات غير قابلة للذوبان فإنها تستحلب في صورة قطرات صغيرة، ويتوقف معدل استحلاب الزيت في الماء على الإثارة الناتجة من الموجات والدوامات المائية، ففي بعض الظروف البحرية ينتج مستحلب الزيت في الماء، وقد يحتوي على 70-80 ٪ من الماء ويتكون كتلة لزجة (Viscous Mass) تعرف من مظهرها باسم الشيكولاتة الهولامية (Chocolate Mucked) ويشبه هذا التكوين الفطيرة السميكة على سطح الماء، وهذه تكون كتل سميكة إذا وصلت إلى الشاطئ، وتكون المتبقيات الثقيلة من الزيت الخام كرات القار " الزفت " ويتراوح قطرها من 1 ملليمتر إلى 20 سم، والزيت المستحلب عبارة عن قطرات ميكروسكوبية ولذا يوجد على مساحات كبيرة وقد يتعرض لمهاجمة البكتريا، وتوجد كرات القار والشيكولاتة الهلامية بصفة دائمة في مسارات الشاحنات والسفن.

ومن الجدير بالذكر أن الزيت المنسكب أو بقع الزيت (Oil Slick) لا يبقى في مكانه ولكنه يتحرك بمعدل 3-4٪ من سرعة الريح، ماعدا في المياه المقفولة ومصبات الأنهار حيث إن التيارات المائية لها تأثير كبير على حركة الزيت الزلق. وبصفة عامة فإن الزيوت البترولية تعد من أخطر الملوثات المائية حيث يصل معدل انتشار الزيت إلى مسافة تزيد عن 300 كيلومتر من مصدر التلوث، كما تشكل قطرات الزيت طبقة رقيقة فوق سطح الماء، وتنتشر قطرة واحدة من الزيت على مساحة قد يصل قطرها فى بعض الأحيان إلى أكثر من 30 سم، كما يغطي الطن الواحد من البترول مساحة قد تصل إلى أكثر من 12 كيلو متر مربع، كما يكون الزيت البترولي طبقة فوق سطح الماء يصل سمكها ما بين أجزاء من الميكروميتر إلى 2 سم.

من المعروف أنه إذا حدث امتزاز للزيت على بعض الأجسام الصلبة فإنه يغوص معها إلى الأعماق، وبالتالي فإنه يؤثر على الكائنات الحية مباشرة سواء كانت الأسماك بأنواعها المختلفة أو حتى النباتات المائية، أما الزيت الطافي على سطح الماء فإنه يتأكسد بفعل البكتريا وأشعة الشمس ويساعد على ذلك وجود الأملاح المعدنية في مياه البحر كما يكون التأكسد أسرع كلما ارتفعت درجة الحرارة، وتكون الأكسدة بطيئة كلما انخفضت درجة الحرارة كما هو الحال فى المناطق القطبية، حيث يبقى الزيت كما هو لمدة أعوام عديدة، وفي المناطق الساحلية ذات درجة الحرارة المنخفضة قد يترسب الزيت على رمال الشاطئ.

* * *

أخطار التلوث البترولي

التلوث بالبترول يعد من الظواهر الحديثة نتيجة الاعتماد عليه كأحد المصادر الحيوية للطاقة، والمتأمل للكثير من الأماكن المطلة على البحار مثل: المدن الساحلية يجده على رمال الشاطئ في صورة مخلفات أو بقع سوداء فوق مياه البحار والمحيطات، مما يسبب الكثير من الأضرار لرواد هذه الشواطئ ومختلف الكائنات البحرية.

يؤثر التلوث بالبترول على الكائنات البحرية الحية حيث تتضرر الحيوانات البحرية من النفط عن طريق اتصاله بالأعضاء الحساسة مثل الخياشيم والعيون، فيؤذيها أو ينتقل إلى أجهزة الجسم الداخلية، وقد تدخل سموم النفط إلى أجسام الأسماك عند أكلها للطحالب الملوثة.

إن التلوث يؤدي إلى تغيير في طبيعة المياه، وزيادة تركيزه يؤثر على الأحياء البحرية، حيث يؤدي إلى أمراض وموت الأسماك وتغير أماكن تجميعها قرب الشواطئ، مما يمنع الصيد في منطقة التلوث ويقلل من معدل الصيد البحري.

ينشأ عن تسرب الزيت على سطح البحر تكوين غشاء زيتي ينتج عنه تلوث الممرات التنفسية لمعظم الحيوانات البحرية ومنع تبادل الأكسجين بين الهواء الجوي وكميات الأكسجين المذابة بالماء مما يؤدي إلى احتياجات الكائنات البحرية إلى الأكسجين وبالتالي إلى موتها وخاصة إذا كانت هذه الزيوت هي مخلفات الصناعات البتروكيميائية أو مصفاة النفط، وتحتوي على مركبات كيميائية مختزلة كالكبريت والمعادن المختزلة.

كما تمثل الحرارة إجهادًا بيئيًّا خاصة بالنسبة للأحياء البحرية، حيث تعتمد فترة ارتباط الماء بالأكسجين على درجة الحرارة، حيث تقل كميات الأكسجين بزيادة درجة الحرارة؛ لذلك فإن المياه الساخنة التي تتصرف من المنشات الصناعية الساحلية تسبب نقصًا في الأكسجين المتاح، الأمر الذي يؤثر على الكائنات الحية البحرية، أما بخصوص البحر المتوسط فهو مهدد باختلاف التقييمات والخبراء؛ لأن المشكلات الأساسية معترف بها اليوم من كل دول العالم تقريبًا.

وينتج عن التلوث البترولي عدة أخطار نذكر منها ما يلي:

1- انتشار حالات الحساسية الكثيرة في المجتمع، فمنها حساسية العين وحساسية الأنف

وحساسية الجلد (الحكة) بسبب الغازات البترولية المتصاعدة من مصافي التكرير ومحطات إسالة الغاز.

2- انتشار حالات الربو عند الكبار والصغار.

3- خطورة التلوث النفطي لا تقتصر على أبناء منطقة محدودة وإنما يتخطاه إلى الدول المجاورة.

4- انتشار حالات الوفاة مجهولة الأسباب أو هبوط حاد في عمل القلب أو ضيق حاد في التنفس.

5- انتشار مجموعة متنوعة من السرطانات لم تكن موجودة في السابق، ومع إيماننا بأن هناك مجموعة من الأسباب الأخرى إلَّا أنه بلا شك أن الغازات التي تنفثها هذه المصانع " المصانع البترولية النفطية " من أهم أسباب انتشار هذه الأمراض.

6- من النتائج المترتبة على ذلك هدر الكثير من ميزانية الدولة نتيجة لغلاء علاج المواطن الواحد عند استخدام العلاج الكيميائي والذي يكلف الآف الدولارات.

7- ومن الآثار الخطيرة غير المنظورة لتلوث المياه بزيت البترول أن تعمل بقعة الزيت البترولية كمذيب لبعض المواد الكيميائية التي تلقى في البحار، مثل: المبيدات الحشرية، والمنظفات الصناعية، وغيرهما؛ حيث يؤدي ذلك إلى زيادة تركيز هذه المواد في المنطقة الموجود بها بقعة الزيت وبالتالي زيادة التلوث.

8- كما تؤدي المكونات الثقيلة من زيت البترول إلى تكوين كتل متفاوتة الحجم، سوداء اللون، تعرف بالكرات القارية التي تحملها الأمواج وتيارات المياه وتلقيها على شواطئ البحار مسببة لها التلوث والضرر، والبعض الآخر يتحول بمضي الزمن إلى رواسب ثقيلة تهبط إلى قاع البحار والمحيطات. والأخطر من ذلك وصول هذه الكرات إلى الكائنات البحرية كالأسماك، حيث تتراكم في أنسجتها وتتسبب في كثير من الأضرار الصحية إذا تناولها الإنسان.

الأضرار المترتبة على التلوث النفطي:

1- الأضرار قصيرة المدى:

الأضرار قصيرة المدى للتلوث النفطي ربما تكون واضحة ومعروفة منذ زمن بعيد، وهي

تشمل اتساخ الشواطئ والإضرار بحياة الطيور والأسماك، ويتوقف ضرر هذا التأثير على نوع هذه الكائنات وعلي نوع الزيت أيضًا وعلى مدة التعرض له، فمثلًا زيت الوقود أكثر سمية من الزيت الخام، وتبقى الأسماك عديمة التأثير بالزيت الخام على المدى القصير وإن كان طعمها يصبح غير مقبول المذاق، أما زيت الوقود فأكثر سُمية حتى على المدى القصير، فضلًا عن إضراره بجمال الشواطئ والاستمتاع بها والأثر السلبي السياحي المترتب على ذلك.

2- الأضرار طويلة المدى:

أما فيما يخص الأضرار طويلة المدى فهي لم تتحدد تمامًا بعد، ويعتقد أنها أكثر خطورة على الإنسان، والسبب في ذلك يرجع إلى أن مسلسل الغذاء في النظام البحري من أكثر الأنظمة تعقيدًا، أضف إلى ذلك أن المواد الهيدروكربونية تمتاز بالاستقرار، أي ليس من السهل تحليلها إلى العناصر الأولية، كل هذا يؤدي إلى استفحال المشكلة، أما المسلسل الغذائي القاري الذي يحصل منه الإنسان على غذائه فيعتبر في غاية البساطة، فالإنسان يتغذى على مواد نباتية أو منتجات حيوانية هي الأخرى تتغذى على نباتات، علمًا بأن هذه النباتات قد تكون ملوثة بالمنتجات البترولية سواءٌ أكان هذا التلوث عن طريق الهواء أو الماء أو حتى التربة.

قد يحدث امتزاز للزيت على بعض الأجسام الصلبة ويغوص معها إلى الأعماق، وبالتالي فإنه يؤثر على الكائنات الحية مباشرة، سواء كانت الأسماك بأنواعها المختلفة أو حتى النباتات المائية، بينما يتأكسد الزيت الطافي على سطح الماء بفعل البكتريا وأشعة الشمس، وبالتالي تنتج الأضرار المزمنة من هنا، حيث إن الزيت عند تأكسده ينتزع الأكسجين الذائب في الماء، فمثلًا أكسدة لتر واحد من الزيت الطافي على سطح الماء ينتزع الأكسجين الذائب من 400 لتر من ماء البحر.

ويتوقف مدى الضرر على مقدار التلوث، فإذا كان مقدار التلوث بالزيت بسيط فإنه قد لا يتسبب فى موت الحيوانات البحرية، ولكن هذه الملوثات وخاصة المركبات الهيدروكربونية الأروماتية لها تأثير سرطاني. وحيث إننا نتحدث عن الأضرار طويلة المدى فإنه يحدث تراكم للزيت النفطي في لحوم الحيوانات البحرية والتي بدورها في النهاية يأكلها الإنسان سواء أكانت طازجة أو معلبة، حيث توجد الكثير من الدراسات التي تؤكد أنه لمجرد دخول المواد الهيدروكربونية جسم أي من الأحياء البحرية تبقى ثابتة بها ولا تتغير بصرف النظر عن نوع المركب وبإمكانها العبور عبر العديد من حلقات الغذاء بدون تغير. ونتيجة لخاصية الثبات

هذه استخدم التحليل الهيدروكربوني كوسيلة فعالة في دراسة مضار غـذاء الأحيـاء البحريـة، فالعناصر الهيدروكربونية ليست ثابتة فحسب، بل بإمكانها الزيادة في التركيز، وهـي في ذلـك تشبه المبيدات الحشرية المحتوية على الكلـورين، فهـذه المـواد تتركـز في الحلقـات المتقدمـة في مسلسل الغذاء البحري حتى تصل إلى المعدل السام الذي يؤدي إلى هلاك الحيـوان والاضرار بالمستهلك بما في ذلك الإنسان، وأول نتيجة يلاحظها الإنسان باعتباره في قمة الهـرم الغـذائي لهذه المواد الهيدروكربونية والمبيدات ذلك التركيز الكبير في الحيوانات البحرية.

وهناك خطر آخر غير مباشر للتلوث النفطي حيث يوجد احتمال كبـير عـلى أنـه يـسبب تغيرات في أحوال الطقس، فالطبقة النفطية الطافية فوق سطح البحر تؤدي إلى تضخم معامل الانعكاس الأرضي، مما يعني ضياع نسبة أكبر من أشعة الشمس ورجوعهـا إلى الفـضاء دون الاستفادة منها، ووجود هذه الطبقة النفطية يقلل أيضًا من عملية التبخر ويقلل مـن الرطوبـة الموجوده في الجو، وبالتالي انخفاض كمية الغيوم التي تتحرك مع الدورة الهوائية العامة باتجـاه الغازات، والتي قد تؤدي إلى انخفاض كمية التساقط فوق الغازات.

ويمكن إجمال الأضرار المترتبة على تسرب النفط في الآتي :

1- نظرًا لتصاعد وتسامي الكثير من الأبخرة المختلفة من بقعة النفط؛ لأن الزيت يطفـو على سطح الماء لكونه أخف وزنًا منه، فإن التيارات الهوائيـة تـدفع بهـذه الأبخـرة بعيـدًا عـن الموضع الذي تلوث بالنفط إلى الأماكن السكنية على الـشواطئ والمنـاطق الـساحلية بواسـطة الهواء الذي يصبح مشبعًا بها إلى درجة كبيرة وبتركيز عالٍ فوق المقبول، ممـا يـؤثر عـلى الـنظم البحرية والبيئية.

2- يحتوي زيت النفط على العديد من المواد العضوية، الكثير منها يعتبر سامًا للكائنـات الحيـة، ومـن أخطـر تلـك المركبـات مركـب البنـزوبيرين (Benzopyrene) ، وهـو مـن الهيدروكربونات المسببة للسرطان وتؤدي إلى موت الكائنات الحية المائيـة، ونظـرًا لأن كثافـة النفط أقل من كثافة الماء فهو يطفو على سطحه مكون طبقـة رقيقـة عازلـة بـين المـاء والهـواء الجوي، وهذه الطبقة تنتشر فوق مـساحة كبـيرة مـن سـطح المـاء (اللـتر الواحـد مـن الـنفط المتسرب في البحر يغطي بانتشاره مساحة تزيد عن 400 م^2 من المياه السطحية) تمنـع التبـادل الغازي بين الهواء والماء، فتمنع ذوبان الأكسجين في مياه البحر، مما يؤثر على التوازن الغازي.

3- انتشار الزيت فوق سطح الماء يمنع وصول الضوء إلى الأحياء المائية، فتمنع عمليات التمثيل التي تعتبر المصدر الرئيسي للأكسجين والتنقية الذاتية في الماء، مما يؤدي إلى موت عدد كبير من الكائنات البحرية واختلال في السلسلة الغذائية للكائنات الحية البحرية.

4- يتسبب النفط المتسرب في تلوث الشواطئ الساحلية نتيجة انتقاله لمسافات بعيدة بفعل التيارات البحرية وحركة المد والجزر، كما تتجمع بعض أجزائه على شكل كرات صغيرة سوداء تعيق حركة الزوارق وعمليات الصيد بالشباك، وتفسد جمال الشواطئ الرملية وتتلف الأصداف البحرية والشعاب المرجانية؛ مؤثرة على السياحة في تلك المناطق.

5- يختلط جزء صغير من النفط بالماء مكونًا مستحلب يختلط بالماء الأكثر عمقًا، ويركز الملوثات الأخرى كالمبيدات وبقايا المنظفات الصناعية والعناصر الثقيلة والمركبات الهيدروكربونية، فتزيد من آثارها السامة، فتهلك اليرقات والبويضات، مما يؤدي إلى هلاك الحياة البحرية إما جوعًا وإما تسممًا.

6- المركبات النفطية الأكثر ثباتًا تنتقل عن طريق السلسلة الغذائية، وتخزن في كبد ودهون الحيوانات البحرية، وهذه لها آثار بعيدة المدى، والتي لا تظهر على الجنس البشري إلَّا بعد عدة سنوات.

* * *

تأثير التلوث البترولي

أولاً : تلوث الهواء :

من المعروف أن المراحل التصنيعية لتكرير النفط ينتج عنها العديد من الملوثات الجوية التي تؤثر في صحة العاملين المتعرضين لها مباشرة، كما ينتج عن حرق النفط توليد كميات كبيرة من الأدخنة والغازات الضارة، مثل: أكاسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، وأكاسيد النيتروجين، وبالتالي يزيد تركيز المواد الملوثة في الجو عن الحد المسموح به، ويشكل خطرًا كبيرًا، ومن هذه الغازات:

1- غازات ثاني وثالث أكسيد الكبريت:

تعتبر أكاسيد الكبريت من ملوثات الهواء الجوي الخطرة بسبب طبيعتها السامة، وأثرها الحامضي الضار، ويؤدي انتشارها في الهواء الجوي إلى ظاهرة الأمطار الحامضية، والتي أدت إلى تلف مساحات كبيرة من الغابات والمزروعات في شمال أوروبا وكندا، وكذلك في بعض المناطق المجاورة لمصانع الأسمدة الكبريتية في مصر وبعض البلدان العربية، وتتكون الغازات الكبريتية نتيجة لاحتراق المركبات التي تحتوي على ذرات الكبريت.

2- غاز كبريتيد الهيدروجين:

يُعد أيضًا من الملوثات الخطيرة جدًّا بسبب آثاره السامة بالإضافة إلى رائحته الكريهة والنفاذة (رائحة البيض الفاسد) والتي تؤذي حاسة الشم وتبطل حساسيتها بعد فترة، كذلك تأثيره الحامضي، بالإضافة إلى أنه عند احتراقه يتحول إلى أكاسيد الكبريت.

3- غـــازات أكاسيد النيتروجين:

وتنتج أكاسيد النيتروجين نتيجة احتراق أي مركب عضوي أو أي وقود يحتوي على النيتروجين، بالإضافة إلى أنه ينتج عند احتراق الوقود في الهواء الجوي، وخاصةً كلما ارتفعت درجة حرارة اللهب وزادت نسبة الهواء الزائد.

4- غـــازات أكاسيد الكربون:

وتتمثل في غاز أول أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكربون، وينتج غاز أول أكسيد الكربون نتيجة الاحتراق غير الكامل، وهو من الغازات شديدة السمية على الإنسان

والحيوان حيث يتحد مع هيموجلوبين الدم مكونًا مركبًا شديد الثبات يسمى (كربوكسي هيموجلوبين) يعوق الدم من امتصاص الأكسجين ونقله لخلايا الجسم مما قد يؤدي إلى الوفاة في حالات التسمم الشديد. أما غاز ثاني أكسيد الكربون فتأثيره الضار أقل من أول أكسيد الكربون ولكنه يؤدي إلى تلوث البيئة وارتفاع درجة الحرارة على سطح الكرة الأرضية.

5- الجزيئات الصلبة المتطايرة في الجو:

وأهم هذه المكونات هي رقائق وحبيبات الفحم البترولي.

6- الغازات والأبخرة الهيدروكربونية:

وتنتج هذه الغازات إما نتيجة للتسرب من أجهزة النقل أوالخزانات، وإما أثناء تداول وإنتاج البترول الخام في مراحله المختلفة، وتؤدي إلى حدوث الانفجارات في حالة وصول نسبتها في الهواء الجوي إلى الحد الأدنى للانفجار.

ويجب التنويه هنا إلى أنه سبق الحديث عن هذه الغازات بنوع من التفصيل في الباب الثالث عند الحديث عن تلوث الهواء بالغارات.

ثانيًا : تلوث المياه :

يعد تلوث مياه البحار والمحيطات بالنفط من أخطر الملوثات وأكثرها شيوعًا في الوقت الذي تعد فيه البحار والمحيطات هما الثروة الطبيعية الكبرى في حياة البشر، والمشكلات المتعلقة بتلوث مياه البحار والمحيطات ظهرت منذ اكتشاف النفط وامتدت خلال جميع مراحل الإنتاج من النقل والتكرير والتصنيع وغير ذلك. ولقد أدت الزيادة المستمرة في كل هذه الأنشطة إلى ظهور كميات متزايدة من الملوثات النفطية بالبحار والمحيطات، وقد تبين أن مياه البحار والمحيطات تستهدف بالتلوث بعدة ملايين من الأطنان من النفط كل عام خاصةً وأن معظم المصانع والمصافي البتروكيميائية مقامة بمحاذاة الشواطئ؛ الأمر الذي بات يهدد وينذر بمشكلات بيئية خطيرة تؤثر على التوازن البيئي في البحر واليابسة على حدّ سواء.

ويُعد الزيوت البترولية من أخطر الملوثات المائية؛ وذلك لأنه يصعب التحكم في التلوث البحري أو منع انتشاره، نظرًا لقدرتها على الانتشار السريع؛ لأنه عائم ومتحرك، يتحكم فيه اتجاه الرياح وعوامل المد والجزر وشدة الأمواج، وبذلك تصعب السيطرة عليه بل تنتقل الملوثات من المنطقة الملوثة إلى مناطق أخرى إما بطريق مباشر أو بطريق غير مباشر عن طريق الأسماك الملوثة.

ومن المعلوم أن الزيت أخف وزنًا من الماء؛ لذلك فإنه يطفو على سطح ماء البحر وتتصاعد كثير من الأبخرة المختلفة من بقعة الزيت عند تعرضها لأشعة الشمس، وتدفع التيارات الهوائية هذه الأبخرة إلى مسافات طويلة مما يزيد من خطورتها . إن انتشار بقعة الزيت على سطح الماء يؤدي أيضًا إلى منع التبادل الغازي بين الهواء والماء، فتمنع ذوبان الأكسجين في مياه البحر مما يؤثر على التوازن الغازي للأحياء البحرية، سواء أكانت نباتية أو حيوانية، بالإضافة إلى أن بقعة الزيت تحول دون وصول الضوء إلى الأحياء المائية فتعيق عمليات التمثيل الضوئي، والتي تعتبر المصدر الرئيسي للأكسجين والتنقية الذاتية للماء مما يؤدي إلى موت كثير من الكائنات البحرية واختلال في السلسلة الغذائية للكائنات الحية.

كما تحتوي المياه المستخدمة في صناعة واستخراج البترول أيضًا على مركبات عضوية مثل الفينولات والكحولات والمركبات الأروماتية والدهون والزيوت، وغير العضوية مثل: الفلزات، وكذلك على الأيونات السالبة (الأيونات) كبريت / نترات/ كربونات / كلوريدات، وهذه المركبات بعضها سام جدًّا، وبعضها له تأثير سلبي على المياه والكائنات البحرية؛ لأنه يذوب في الماء، والبعض الآخر له تأثير طويل المدى.

والبحار والمحيطات تعتبر ثروة طبيعية كبرى في حياة البشرية، لاسيما أنها تغطي ما يزيد عن ثلثي مساحة الكرة الأرضية تقريبًا ولها استخدامات مختلفة كبيرة ومتنوعة تتضمن الاستخدامات التقليدية، مثل: إنتاج الأغذية ومصدر الطاقة في الوطن العربي. ففي الوطن العربي أصبحت مشكلة التلوث للشواطئ والبحار تسبب خطرًا داهمًا على النشاط البشري والاقتصادي، بل أصبح يؤرق المهتمين بشئون البيئة حيث إن أكثر من نصف السكان العرب يعيشون على امتداد المناطق الساحلية والبحرية وهم بذلك يعتمدون على مياه البحر في مجالات السياحة والاصطياف وتحلية مياه البحر نتيجة لندرة المياه العذبة بالإضافة إلى استخدام البحر كمصدر للغذاء واستخراج بعض المعادن، وتُعد البحار التي يطل عليها الوطن العربي (البحر المتوسط، البحر الأحمر، الخليج العربي) أكثر البحار تلوثًا؛ وذلك لأنها بحار شبه مغلقة حيث إن مياهها لا تتجدد إلا بعد حوالي مائة سنة أو يزيد، بالإضافة إلى كثافة حركة الملاحة واستخدام هذه البحار كمستودعات للملوثات الأخرى مثل القمامة ومياه الصرف الصحي.

ثالثًا : تلوث التربة :

يمكن تعريف تلوث التربة على أنه أي تغيير في الأرض يجعلها غير صالحة للاستعمال المفيد، وهذا التلوث ناتج من تصريف فضلات كيميائية صلبة أو سائلة بدون معالجة بصورة مباشرة أو غير مباشرة أو حتى غازية بصورة غير مباشرة (الأكاسيد التي تتحول إلى الأمطار الحامضية)، وهذا يؤثر على نوعية التربة ويجعلها غير صالحة للزراعة.

والمخلفات البترولية الصلبة غالبًا تحتوي على حوالي 75٪ هيدروكربونات (برافين – شمع)، 13٪ ماء، 12٪ ترسبات ترابية. ويتم جمع المخلفات الصلبة خاصة من أماكن التكرير، وذلك عند عمل صيانة للخزانات وتنظيف أحواض الفصل والترسيب والخزانات الأخرى المستعملة في تصنيع وفصل وتكرير المنتجات النفطية ، وبعد تجمع هذه الترسبات يتم استخدامها في تعبيد الطرق الزراعية الترابية من قبل الجهات المختصة أو من قبل المزارعين أو قد يتم التخلص منها بحرقها أو إعدامها.

رابعًا : التلوث بالمعادن الثقيلة :

وتعد من الملوثات النفطية الخطرة، وتعرف المعادن الثقيلة بأنها تلك العناصر التي تزيد كثافتها على خمسة أضعاف كثافة الماء ($5mg/cm^3$) ، وهذه المعادن لها تأثيرات سلبية على البيئة كما تؤثر على صحة الإنسان والحيوان والنبات. ولقد وجد أن الزيت الخام يحتوي على نسب بدرجات متفاوتة من الزرنيخ والفانديوم والرصاص، فضلًا على أنه يتم إضافة رابع إثيل الرصاص إلى البنزين لرفع الرقم الأوكتيني له، ولهذه المعادن آثار ضارة كثيرة. وقد تحدثنا في الباب الثاني من هذا الكتاب عن التلوث بالمعادن الثقيلة وعن مصادرها وآثارها بالتفصيل.

* * *

طرق معالجة التلوث البترولي

Treatment of crippled oil

تنظيف الشواطئ من الزيت عملية صعبة ومعقدة للغاية، إضافة إلى أنها في حاجة إلى وقت طويل وتكلفة عالية، بالإضافة إلى أن معالجة التلوث النفطي للبيئة الساحلية والبحرية يختلف من منطقة إلى أخرى ومن شهر إلى آخر ويعتمد على عوامل كثيرة ومتشابكة، كما أنه يمكن في بعض الحالات الاستعانة بأكثر من طريقة أو أسلوب لمعالجة التلوث النفطي في النطاق الساحلي أو البحري، وهناك الكثير من الوسائل المتبعة في إزالة بقعة الزيت، ويمكن تقسيمها إلى الآتي:

1- طرق كيميائية:

(أ) المستحلبات الناشرة : **Emulsifier dispersant**

يمكن الإسراع بالعملية الطبيعية لاستحلاب وتشتت الزيت في الماء بمعالجته بمواد كيميائية تفتت الزيت إلى جزيئات متناهية الصغر، ويلزم أن توجد طاقة كافية للإثارة حتى يمكن استحلاب وانتشار قطرات الزيت بحيث تفشل في التجمع والالتحام مرة ثانية، ويتم رش المستحلب على بقعة الزيت خلال رشاشات قوية، كما تتم الإثارة بواسطة مضخات هوائية، وفي النهاية يتم انتشار بقعة الزيت على مساحة أكبر الأمر الذي يسهل تحليله بفعل البكتريا الموجودة في البحر.

وقد استخدمت الناشرات في حادثة توري كانيون (1967)، وكان لهذه الناشرات تأثير أكثر سمية من الزيت على الكائنات البحرية، ولذلك فإنه يوجد الآن قيود شديدة في استخدام هذه المواد في كثير من الدول، ويشترط لاستخدام هذه الطريقة أن تستخدم مع البترول الخام وليس المنتجات البترولية، وأن يزيد عمق الماء عن 500 قدم، ولا تستخدم بالقرب من الشواطئ، أو في مياه بها تجمعات أسماك بكميات كبيرة، أو فيها رياح وتأثيرات بحرية قوية.

وقد ظهر حديثًا كثير من المنتجات الناشرة، ولكن يجب توخي الحذر في استخدامها إلا إذا تأكد أن الأثر السام لمخلوط الزيت: المادة المستحلبة أقل من الزيت منفردًا، أو حتى على الأقل مساوية له.

وهذه الناشرات قد تكون أنواع معينة من المذيبات أو المنظفات الصناعية والمساحيق عالية الكثافة أو بعض أنواع من الرمال الناعمة. وتستخدم هذه الناشرات رشًا على بقعة الزيت (على سطح البقعة النفطية) في البحر مما يسهل الالتصاق بها، أو تقوم بتفتيتها ثم تحويلها إلى ما يشابه المستحلب فينتشر في الماء ويذوب فيه ويتسرب إلى القاع نتيجة ارتفاع كثافته، ويعتبر هذا علاجًا ظاهريًّا للمشكلة؛ لأن هذه الطريقة تتطلب كميات كبيرة من المنظفات والمذيبات تساوي أحيانًا كمية البترول المراد التخلص منه، بالاضافة إلى أن استخدام قدر كبير من المنظفات الصناعية يضيف الكثير من التلوث العام لمياه البحر والبيئة؛ وذلك لأن وصول المواد المستخدمة في التنظيف وجزيئات النفط بعد تفتيتها إلى قاع البحر يسبب إبادة للأسماك والديدان والقواقع الرملية التي تعيش فيها. وبذلك تعتبر هذه الطريقة زيادة في تعقيد مشكلة التلوث وليس حلًّا نهائيًّا لها.

(ب) المواد الماصة : Sucking agents

وهي مواد كيميائية لها قابلية للامتصاص وطرد الماء مثل بودرة الفلين والفحم ونشارة الخشب ، وتتشابه المواد الماصة مع المواد الغامرة فى الخواص ولكنها لا تغمر في القاع بل تبقى فوق السطح فيسهل بعد ذلك جمعها وإزالتها، ومن أهم هذه المواد القش الذي يمتص خمسة أمثال وزنه، ومنها رغوي مركب البولي يورثيان (Poly Urethane) وتمتص 30 ضعف حجمها ويمكن عصرها واسخدامها مرة أخرى.

(ج) الحرق : Burning

وفي هذه الطريقة تستخدم مواد كيميائية متنوعة تساعد على اشتعال النفط، وهذه المواد تتفاعل مع الماء لينتج هيدروجين وحرارة، وتستخدم معها أحيانًا شرائط ماصة تقوم بشرب الماء بداخلها للمساعدة على الاحتراق فينتج عن هذه الطريقة، تلوث الجو نتيجة عدم اكتمال اشتعال الخام وينتشر غاز أول أكسيد الكربون، وأحيانًا يحدث انطفاء بسبب الأمواج، وتسبب نواتج الاحتراق تلوث للبيئة، وقد استخدمت طريقة الحرق للحد من التلوث الزيتي في حادثة توري كانيون التي تتمثل في احتراق طبقة الزيت باللهب بعد حصرها وإضرام النيران فيها بالرغم من أنها ليست صالحة في جميع الأحوال، ولا يستحب استخدامها لخطورتها على البيئة وتلوث الهواء فيها وتسبب أضررًا بالغةً لكثير من الكائنات الحية.

(د) مواد مكونة للجيلي: Gelling agents

هي مواد كيميائية تغطي الزيت وتحوله من سائل إلى مادة جيلاتينية، ويمكن رش هذه المواد على بقعة الزيت بحيث تكون ما يشبه السجادة وبالتالي يسهل جمعها وإزالتها .

وإن كنا نرى أن استعمال بعض المواد الكيميائية في معالجة بقعة الزيت لها تأثير ضار على الحيوانات البحرية ربما يفوق تأثير الزيت نفسه، وخاصة تلك التى تكون مستحلبات نظرًا لثباتها، وذلك لأن معظم هذه المركبات عبارة عن مشتتات (Emulsifiers)، وهذه المركبات لها تأثيرات ضارة هي الأخرى على الحياة البحرية. ولذلك فإن أفضل طريقة لمكافحة تلوث ما هي منع هذا التلوث أو الحد منه طبقًا لمبدأ الوقاية خير من العلاج.

2- طرق فيزيائية :

أ- التغطيس : Clinking

تتمثل هذه الطريقة في توزيع أو نشر مادة محبة للزيت مثل الرمل المغطى بالإستياريت على بقعة الزيت، حيث تقوم بحمل الزيت قاع البحر، كما يمكن استخدام الطباشير لأن له قابلية للامتصاص وطرد الماء ويمتزج بالخام ويغوص به، ويستخدم حوالي 150 طن من هذه المواد لكل ألف برميل من الخام.

(ب) جاذبات لزيت البترول:

وتظهر فاعلية هذه الجاذبات بمجرد رشها على البقع الزيتية، حيث إنها تمتص بقع الزيت وتجذبه إليها كما يجذب المغناطيس الحديد. وتستخدم هذه الطريقة للسرعة في معالجة التلوث فور حدوثه، فعنصر الزمن مهم جدًّا في الحفاظ على حياة الكائنات الحية البحرية في المناطق المعرضة للتلوث.

(ج) شفط الزيت المتسرب :

شفط الزيت المتسرب إلى مياه البحر بواسطة مضخات إلى خزانات على الشاطئ أو على ظهر السفن ثم إعادة فصل النفط عن الماء.

(د) إقامة الحواجز:

تتم إقامة الحواجز العائمة فوق سطح الماء باستخدام أجهزة خاصة مع الاستعانة بالجرافات والكانسات لحصر بقع الزيت العائمة ومنع انتشارها. وهذه الطريقة تساعد على

زيادة سمك طبقة الزيت وتقليل المساحة التي تغطيها، وبذلك يمكن امتصاصه تدريجيًّا وشفطه بواسطة مضخات إلى خزانات على الشاطئ أو على ظهر السفن ثم إعادة فصل النفط من الماء، وهذه التقنية تستغرق وقتًا طويلًا قد تتعرض أثناءه البقع النفطية لعوامل المناخ والتيارات البحرية حيث تتشتت وتتحطم بفعل الضوء مما يزيد صعوبة عملية المكافحة.

(هـ) تنظيف الشاطئ : Beach cleaning

تستخدم الطرق السابقة عند ظهور بقعة الزيت داخل البحر، أما إذا فشلت هذه الطرق في السيطرة أو الحد من تحرك بقعة الزيت فإنه قد يصل الزيت إلى الشاطئ، وفي هذه الحالة لابد من تنظيف الشاطئ تمامًا. وإذا تواجدت كميات كبيرة من الزيت على الشاطئ فيمكن ضخه في خزانات وبالتالي يقلل من فرص التلوث، وقد تظل بعد ذلك كميات من الزيت على الشاطئ قليلة. وتعتمد مدى دقة التنظيف على قيمة موقع الشاطئ، فالأماكن السياحية لها أولوية خاصة.

(و) عدم اتخاذ أي إجراء : Do nothing

قد يكون ضمن الاحتمالات المطروحة ترك بقعة الزيت في البحر كما هي تنتشر طبيعيًّا، وهذا ما حدث بالفعل حيث أمكن التخلص طبيعيًّا من 20-30 ألف طن من الزيوت البترولية في الشمال وذلك بعد انفجار حقل إيكوفسك وذلك دون أن تصل إلى الشاطئ.

3- طرق بيولوجية : (المحللات البيولوجية- Biology Degradation)

تعتمد هذه الطريقة على استخدام أنواع خاصة من الخمائر والبكتريا تساعد على سرعة التحلل البيولوجي لطبقة الزيت الخام، وتحدث هذه العملية طبيعيًّا ولكن بدرجة أقل، كما تساعد درجة الحرارة على زيادة هذا التحلل. وطريقة المعالجة البيولوجية التي تستخدم أنواعًا من البكتريا في مقدورها استخلاص الملوثات التي ارتبطت بالتربة أو الماء ويتعذر جرفها أو فصلها، كما أن بإمكانها تحويل مادة كيميائية ضارة إلى مادة غير ضارة بل مفيدة. والبكتريا قادرة على تجزئة العديد من الملوثات الموجودة في التربة والماء، حيث تقوم البكتريا بتحليل المواد الهيدروكربونية "مخلفات الزيوت النفطية" إلى جزيئات أصغر وأقل وزنًا مما يقلل من خطورتها وتلوثها لسهولة ذوبانها أو امتزاجها بالماء ولكن أعدادها القليلة طبيعيًّا تجعلها أقل كفاءة في معالجة التلوث.

وقد استخدم علماء الهندسة الوراثية تقنياتهم في تخليق أنواع معينة من البكتريا لها القدرة على تحمل سمية المواد النفطية، ويتم ذلك عن طريق تهجين أكثر من نوع من أنواع البكتريا الموجودة في الطبيعة وإحداث عدد كبير من التبادل بين جيناتها المختلفة للوصول إلى الصفات المطلوبة وإنتاج نوع جديد من البكتريا لا وجود لها في الطبيعة لها القدرة على استعمال النفط كغذاء، حيث تقوم البكتريا بتكسير المركبات البترولية الثقيلة إلى مركبات أقل كثافة وذات وزن جزيئي صغير، وهذا يتطلب وجود عنصر الأكسجين مع الإنزيمات التي تفرزها البكتريا لتتم عملية التمثيل كاملة حيث يستخدم الكائن الحي الدقيق عنصر الكربون الموجود في البترول كمصدر للغذاء والنمو والتكاثر في ظروف بيئية مناسبة. بالإضافة إلى عنصري الكربون والأكسجين فإن البكتريا تحتاج إلى عناصر أخرى ولكن بكميات ضئيلة جدًّا مثل النيتروجين والفسفور والكالسيوم والماغنيسيوم والزنك والحديد والصوديوم والكبريت والنيكل، وقد تحتوي بعض البيئات على هذه العناصر أو قد تضاف كعناصر غذائية للبكتريا.

لقد استطاعت تقنية الجينات من عزل وتنقية وتعديل لبعض أنواع من البكتريا التي تعيش في مخلفات وشحوم البترول ومعدة الحيتان للاستفادة من قدرتها على التهام وتحليل جزيئات المركبات المعقدة في البترول الخام وتحويلها إلى مواد كبريتية يمكن استخدامها كغذاء للأسماك والحيوانات البحرية، وهو ما يعني تحقيق هدف آخر هو القضاء على بقع التلوث البترولي في صورته الخام.

وتتم عملية التخلص من البقع الزيتية بواسطة هذا النوع من البكتريا عن طريق استخدام المنظفات الصناعية أولًا حيث تُكوِّن مع طبقة الزيت مستحلبًا على درجة عالية من الثبات ينتشر تدريجيًّا في مياه البحر، فيتم بذلك تخفيف تركيز الزيت، حيث تستطيع البكتريا أن تقوم بتحليل المخلفات البترولية وبالتالي تختفي بقعة الزيت في مدة زمنية قصيرة وقد استُخْدِمَت هذه الطريقة على نطاق واسع، كما توجد بعض الدراسات والأبحاث للاستفادة من القدرة على عمل طفرات من هذه البكتريا لها القدرة على مهاجمة الكبريت دون مهاجمة المكونات الأخرى من الزيت الخام للبترول، وهذا بالطبع يؤدي إلى رفع سعر البترول الخالي من الكبريت؛ لأن الكبريت يتحول مع آلة الاحتراق الداخلي إلى أكاسيد كبريتية تتحول في وجود الماء إلى أحماض تؤدي لتلف هذه الآلات في السيارات وكافة مركبات النقل، فضلًا عن وجود هذه الأكاسيد في عوادم السيارات مسببة تلوث بيئي خطير.

وقد استخدمت هذه الطريقة لمعالجة مشكلة بحيرات النفط التي خلفتها حرب الخليج الثانية وحققت نتائج جيدة. ولكن لهذه الطريقة مساوئها ، إذ لو تسربت هذه الكائنات الدقيقة (البكتريا) بطريقة ما إلى أي حقل نفطي- خصوصًا إذا كان بالقريب من استخدامها- فإنها تؤدي إلى كارثة حقيقة لا يمكن تحمل تبعاتها؛ لأن النتيجة المتوقعة هي فناء النفط في هذا الحقل، بالإضافة إلى بطء آليتها في حالة الكوارث النفطية الكبيرة، كما أن هذه الأحياء لها آثار جانبية ضارة تتمثل في استهلاكها لكميات كبيرة من الأكسجين أثناء قيامها بعملية التحليل، وهو ما يؤدي إلى اختناق الأحياء المائية الأخرى الموجودة تحت البقع النفطية.

* * *

طرق مكافحة التلوث البترولي

بعد أن تناولنا أهم مصادر التلوث النفطي وبعض أخطاره وطرق المعالجة بأنواعها، نتحدث عن أهم طرق مكافحة التلوث البترولي مع الأخذ في الاعتبار أنه يمكن استخدام طريقة أو أكثر معًا لمكافحة التلوث النفطي في النطاق الساحلي والبحري، وأهم الطرق المستخدمة هي :

1- إقامة الحواجز العائمة لمحاصرة البقعة النفطية للحيلولة دون انتشار أو منع انتشارها بفعل الأمواج والرياح والتيارات البحرية.

2- ضرورة الحصول على تصاريح خاصة لإلقاء النفايات النفطية مع وجوب إعلام برنامج الأمم المتحدة للبيئة بكافة هذه التصاريح.

3- استخدام طرق حديثة لمعالجة مخلفات الحفر البري وخاصة الوحل وذلك بجمع المخلفات ومزجها بمواد تعمل على تثبيتها كيميائيًا وفيزيائيًا مما يقلل من آثارها.

4- وضع برامج لمراقبة وفحص نوعية مياه البحر والرواسب والكائنات البحرية الحية الموجودة في المنطقة، وكذلك تبادل الخبرات بين بلدان العالم المختلفة وإنشاء وتدعيم المراكز الإقليمية لمكافحة تلوث النفط، خاصة في البحار شبه المغلقة مثل الخليج العربي وغيره.

5- التشدد في مراقبة السفن التي لا تستوفي مقاييس السلامة، وخير مثال على ذلك اعتزام الاتحاد الأوروبي على منع السفن التي يزيد عمرها عن 15 سنة من دخول موانى بلدان الاتحاد الأوروبي ونشر لائحة سوداء بهذه السفن كل ستة أشهر، ويجدر الإشارة هنا إلى أن الاتحاد الأوروبي استنكر استعمال الأعلام الأجنبية على ناقلات النفط التي تستأجرها شركات أوروبية لأسباب حربية.

6- أما في منطقة البحر الأحمر وخليج عدن فقد وافقت عام 1982 م ستة من دول المنطقة على الاتفاقية الإقليمية لحماية بيئة البحر وخليج عدن وعلى بروتوكول مكافحة التلوث بالنفط، وفي عام 1995 م أعلن عن قيام الهيئة الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن، وفي عام 1998 م تم التوقيع على وثيقة لتنفيذ برنامج العمل الإستراتيجي للبحر الأحمر وخليج عدن.

7- شفط النفط المتسرب لمياه البحر بواسطة مضخات إلى خزانات على الشاطئ أو على ظهر السفن ثم إعادة فصل النفط عن الماء.

8- رش مواد ماصة على البقع النفطية حتى تتشبع بالنفط ثم استعادته منها، مثل: الصوف الزجاجي، وترش هذه المواد من قوارب صغيرة ثم يتم جمعها بواسطة شبكات رقيقة وتنتقل حيث يمكن التخلص منها إما حرقًا في أفران خاصة أو يتم استخلاص النفط الموجود فيها ويعاد استعماله من جديد.

9- تُعد المكافحة الطبيعية أو البيولوجية إحدى وسائل مقاومة التلوث البحري لبقع النفط حيث يتم استخدام أنواع من البكتريا التي تقوم بتحليل هذه المواد الهيدروكربونية من مخلفات الزيوت النفطية إلى جزيئات أصغر منها وزنًا وتركيبًا وأقل خطورةً وتلوثًا؛ لسهولة ذوبانها في الماء، أي يمكن مكافحة التلوث النفطي بواسطة البكتريا التي تستطيع تحويل البقع النفطية إلى قطرات دقيقة جدًا في الماء.

10- توصل علماء الهندسة الوراثية إلى تخليق أنواع من البكتريا لها القدرة على تحمل سمية هذه المواد النفطية وتحويلها إلى مادة غذائية لها، وقد تم ذلك عن طريق تهجين أكثر من نوع من أنواع البكتريا الموجودة في الطبيعة، وإحداث عدد كبير من التبادل بين جيناتها المختلفة للوصول إلى الصفات المطلوبة، وإنتاج أنوع جديدة من البكتريا التي لا وجود لها في الطبيعة لها القدرة على استعمال النفط كغذاء، وقد استخدمت هذه الطريقة على نطاق واسع لمعالجة مشكلة بحيرات النفط التي خلفتها حرب الخليج الثانية وحققت نتائج مدهشة.

11- استخدام أجهزة الحزام الناقل الفني، حيث يمدد حزامًا معدنيًّا عبر طبقة النفط اللزجة فيلتصق النفط بالحزام، ويمكن التخلص منها لاحقًا، إلَّا أن استخدام المواد الكيميائية في تجميع النفط كما مر في بعض الطرق السابقة قد يزيد المشكلة سوءًا، لأنه يساهم في تسمم مياهه المعلقة، وآثار هذه المواد على البيئة البحرية أسوء من آثار النفط عليها، ولذلك فإن الأفضل منها استعمال الطرق الميكانيكية.

12- حرق البقعة النفطية الملوثة باللهب، حيث يعتمد الإنسان إلى حصر هذه البقعة وإضرام النيران فيها بالرغم من أن طريقة الإحراق هذه ليست مثالية وغير مرغوبة في كل الأحوال.

13- تنظيف الشواطئ بجرف كميات كبيرة من الرمال والتخلص منها بعيدًا عن شاطئ البحر.

14- محاصرة التلوث البحري باستخدام أجهزة ومعدات خاصة مع الاستعانة بالجرافات والكانسات، ولكن هذه التقنية تستغرق وقتًا طويلًا تتعرض أثناءه هذه البقع النفطية لعوامل المناخ والتيارات البحرية؛ حيث تتشتت وتتحطم بفعل الضوء مما يزيد من صعوبة عملية المكافحة.

15- إن الطريقة الكيميائية الاستحلابية لعلاج تلك المشكلة باستخدام أنواع معينة من المذيبات والمنظفات الصناعية أو المساحيق عالية الكثافة والتي تتم برشها على سطح البقع النفطية في البحار الملوثة للالتصاق بها، ومن ثم تحويلها بعد تفتيتها إلى ما يشبه المستحلب، فتنتشر في الماء أو تذوب فيه أو تترسب في القاع، ويعتبر هذا الأخير علاجًا ظاهريًّا للمشكلة؛ لأن وصول تلك المواد إلى قاع البحر يسبب إبادة الأسماك والقواقع. وبذلك تعتبر هذه الطريقة زيادة في تعقيد مشكلة التلوث وليست حلًا نهائيًّا لها.

* * *

طرق الحماية من التلوث النفطي

يعتبر **تلوث النفط** جرس إنذار كبير وخطير لما هو حاصل في المنطقة العربية، ولذلك فإنه يجب حماية البيئة من باب الوقاية خير من العلاج، ومن أجل ذلك يجب أن تنتبه الجهات المسئولة حرصًا منها على أرواح المواطنين وسلامتهم، على أن تعمل بالتالي:

1- إبعاد هذه المصانع عن التجمعات السكانية من أجل الحفاظ على أرواح الناس وسلامتهم، أو على الأقل العمل على تخفيض ما تنتجه هذه المصانع من الملوثات.

2- العمل على زيادة الرقابة الحكومية على هذه المصانع.

3- القيام بدراسات ميدانية وفقًا للمنهج العلمي للوقوف قدمًا على هذه المشاكل أولًا بأول، ومحاولة علاجها رحمة بالناس ورحمة بالبشرية، مع الحرص على مسألة الحيادية في الجهات التي تدرس هذه الخروقات لضمان عدم مجاملة الشركات العاملة في البلاد.

4- زيادة المسطحات الخضراء مع الأخذ بعين الاعتبار أن ما ينفق لزيادة المسطحات الخضراء قليل في مقابل ما تتعرض له هذه المناطق من أخطار.

5- زيادة معاشات العاملين والمواطنين المجاورين لهذه المخاطر زيادة مجزية بمسمى بدل خطر.

6- إيجاد الضمان الصحي لكل مواطن يسكن قريب من هذه المناطق الصناعية وعدم اقتصارها على العاملين في هذه الشركات الصناعية فقط.

7- يعد موضوع التلوث البترولي من أهم مسئوليات الجهات المدافعة عن حقوق الإنسان .

8- لابد أن يكون للمؤسسات العلمية والمراكز البحثية، وبالذات المتخصصة منها، دور فعال وإيجابي، فعلى سبيل المثال نجح مركز بحوث البترول التابع لوزارة البحث العلمي في مصر إلى التوصل لمادة جديدة تساعد في تشتيت بقع الزيت الخام الملوثة لمياه البحار والمحيطات، والمتسربة من ناقلات أو خطوط البترول، بالإضافة إلى عدة مواد أخرى منها مادة **استحلابية** تستخدم في فصل الماء المصاحب لزيت النفط المستخرج من باطن الأرض ويستخدمها أيضًا قطاع البترول المصري.

ويمكن الإشارة هنا إلى أن البقعة الزيتية التي تسربت من الناقلة الكويتية "الصامدون" قد أمكن التحكم بها من خلال المواد المصرية الجديدة التي ينتجها معهد البترول، وإنقاذ مياه قناة السويس والمياه المواجهة لميناء بورسعيد البحري، حيث كانت البقعة تتحرك تجاه سواحل المدينة، وكان يمكن أن تحدث خسائر كبيرة بالمنتجعات والقرى السياحية.

ومن الجدير بالذكر أيضًا أن معهد البترول يزود هيئة قناة السويس بحوالي 40 طن من المواد المشتته للبقع الزيتية، والتي أمكن الاعتماد عليها بنجاح في التخلص من بعض الملوثات البترولية لمياه البحر المتوسط والمجرى الملاحي لقناة السويس.

9- يمكن القضاء على التلوث البترولي في البحار عن طريق إذابة الزيت في الماء، وذلك بطريقة التحلل الميكروبي للزيت عن طريق تغذية البكتريا ببعض المواد مثل المولاس والسكروز والجلوكوز، والتي تحتوي على مواد كيميائية مثل بوليمرات والقلويات وبعض المواد التي لها نشاط سطحي، أي تنقص من قوة التوتر السطحي بين الماء والزيت، وهذه الطريقة تتيح استغلال مخلفات القصب الرخيصة من المولاس في القضاء على التلوث البحري، خاصة التلوث بزيت البترول لما يسببه من أضرار على البيئة البحرية.

* * *