International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 37 العدد
Part 2 المجلد
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
International Science and Technology Journal
ISTJ

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

Received	2025/12/01	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2025/12/26	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2025/12/28	تم نشر الورقة العلمية في

التحديات الاستراتيجية والتقنية لمكافحة التسربات النفطية

خليفة الصادق شعبان

كليــة التربيــة جنـزور – جـامعة طرابلس – ليبيا

khalifashabaan7@gmail.com

الملخص:

تتمحور هذه الدراسة حول تقييم أسباب وآليات التلوث النفطي في البيئة البحرية وتبحث في مدى فاعلية تقنيات الاستجابة الحالية لمواجهة هذه الظاهرة وتداعياتها. وقد كشفت أن النفط المتسرب لا يظل مستقراً أو استاتيكياً في المياه، بل هو ملوث "تحولي" يتغير تركيباً وسلوكاً بفعل عمليات التجوية الطبيعية كالاستحلاب وتؤدي هذه العمليات الفيزيائية والكيميائية إلى مضاعفة حجم النفط ميكانيكياً بمرور الوقت، من وقوع الحادثة مما يسهم في إحباط جهود المكافحة التقليدية وبالتوازي مع الحوادث الفجائية، بينت الدراسة أن تلوث الموانئ النفطية يعود في جانب كبير منه إلى ممارسات تشغيلية يومية خاطئة وغير قانونية، وفي مقدمتها تصريف مياه الصابورة من السفن الناقلة؛ مما يتسبب في تدهور بيئي تراكمي ومستمر للنظم الإيكولوجية في المناطق الساحلية، وهي مناطق تصنف بأنها ذات حساسية بيئية واقتصادية عالية نظراً لكثافة الأنشطة البشرية والنفطية فيها ان نقص النمذجة التنبؤية ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) في تقييم المخاطر البيئية، والتنبؤ بحركة البقع النفطية واعتراضها وتطويقها في عرض البحر ان القصور في منظومة المكافحة لا يهدد السلامة البيئية البحرية فحسب، بل يمتد ليكون تهديداً مباشراً للأمن المائي والغذائي وبناءً على هذه المعطيات، تبرز أهمية تقدم وتطوير استراتيجيات مكافحة متكاملة تدمج بين الوسائل الميكانيكية والمعالجة البيولوجية(Bioremediation) هذا ما يدعم صناع القرار في وضع خطط طوارئ وتحديث التشريعات البيئية وانتقال إدارة التلوث النفطي من السياسة التقليدية إلى الاستجابة التنبؤية الاستباقية، و فرض رقابة صارمة على العمليات التشغيلية اليومية في الموانئ النفطية لحماية الموارد البحرية وتحقيق إدارتها المستدامة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 37 العدد
Part 2 المجلد
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
International Science and Technology Journal
ISTJ

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

الكلمات المفتاحية :التلوث النفطي، التحديات الاستراتيجية، نظم المعلومات الجغرافية (GIS) الاستشعار عن بُعد(RS) ، مكافحة التسربات النفطية: المعالجة البيولوجية.

Strategic and Technical Challenges in Oil Spill Response

Khalifa Al-Sadeq Shabaan
Faculty of Education Janzur - University of Tripoli - Libya
khalifashabaan7@gmail.com

Abstract

This study centers on evaluating the causes and mechanisms of oil pollution in the marine environment, while examining the effectiveness of current response techniques in addressing this phenomenon and its repercussions. The findings reveal that spilled oil does not remain stable or static in water; rather, it acts as a "transformative" pollutant that changes in composition and behavior due to natural weathering processes, such as emulsification. These physical and chemical processes mechanically multiply the volume of the oil over time from the onset of the incident, thereby frustrating conventional control efforts. In parallel with accidental spills, the study demonstrates that pollution in oil ports is largely attributed to daily improper and illegal operational practices, most notably the discharge of ballast water from tankers. This generates cumulative and continuous environmental degradation of coastal ecosystems—areas classified as highly ecologically and economically sensitive due to the density of human and oil-related activities .Furthermore, the lack of predictive modeling tools and Geographic Information Systems (GIS) in environmental risk assessment hinders the ability to forecast the movement of oil slicks, as well as intercept and contain them at open sea. This deficiency in the response system not only threatens marine environmental safety but also extends to pose a direct threat to water and food security. Based on these data, the significance of this work lies in proposing and developing integrated response strategies that combine mechanical methods with bioremediation. This, in turn, supports decision-makers in formulating emergency plans, updating environmental legislation,

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

and transitioning oil pollution management from traditional reactive policies to proactive predictive response, alongside enforcing strict monitoring over daily operational activities at oil ports to protect marine resources and achieve their sustainable management.
Keywords: Oil Pollution; Strategic Challenges; Geographic Information Systems (GIS); Remote Sensing (RS); Oil Spill Control; Bioremediation.

المقدمة

تُعد التسربات النفطية من أخطر الكوارث البيئية التي تواجه العالم المعاصر، إذ يتحول النفط من مورد اقتصادي حيوي إلى ملوث متنقل يهدد النظم البيئية البحرية والساحلية. فالنفط، بما يحتويه من خليط معقد من الهيدروكربونات، يمتلك خصائص فيزيائية وكيميائية تجعله شديد الخطورة عند تسربه، حيث يتفاعل مع الرياح والتيارات البحرية لينتشر لمسافات شاسعة، محدثًا آثارًا بيئية واقتصادية واجتماعية لقد شهدت العقود الأخيرة تزايدًا ملحوظًا في حوادث التسرب النفطي، سواء الناتجة عن عمليات تشغيلية في الموانئ أو عن حوادث كبرى مرتبطة بالناقلات والمنصات البحرية. وقد أكدت تقارير دولية أن معظم هذه الحوادث تعود إلى عمليات تشغيلية، مما يبرز الحاجة إلى رقابة صارمة، كما أوضحت بعض الدراسات وجود فجوة بين البحث الأكاديمي والتطبيق الميداني، ما يعكس تحديًا إضافيًا في إدارة الكوارث وتبرز أهمية هذه الدراسة في كونها تسعى إلى فهم شامل لآليات انتشار النفط في البيئة البحرية، والخصائص التي تحدد سلوكه عند التسرب، إضافة إلى استعراض النظريات العلمية التي تقوم عليها طرق المكافحة المختلفة. كما تستند الدراسة إلى شواهد محلية وإقليمية ودولية توضح حجم المشكلة وتبرز الحاجة إلى استراتيجية متكاملة تجمع بين المكافحة الميكانيكية والكيميائية والبيولوجية، مع الاستفادة من الخبرة المحلية والتعاون الإقليمي والابتكارات الحديثة.

مشكلة الدراسة

تكمن مشكلة الدراسة في التقصي عن تحديد المصادر الرئيسية للتسربات النفطية في المناطق الساحلية، وفهم ديناميكية سلوك الملوثات ومخاطرها؛ حيث تتفاقم هذه المشكلة بسبب التغيرات السريعة في خصائص النفط نتيجة عمليات التجوية(Weathering) ، مما يجعل الحلول التقليدية غير فعالة بمرور الوقت. وفي هذا السياق، يواجه المختصون

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

تحدي المفاضلة بين سرعة الاستجابة وبين تجنب التلوث الثانوي الناتج عن مواد المكافحة الكيميائية، ومدى كفاءة تقنيات المكافحة المتاحة عند وقوع التسرب النفطي. كما يبرز التحدي محلياً في غياب الرقابة على التسربات التشغيلية المتكررة ونقص الاعتماد على التقنيات الحديثة مثل(GIS) ، مما يؤدي إلى استجابات متأخرة تضاعف الأضرار البيئية والاقتصادية، ويحتم تحليل المعوقات التقنية والاستراتيجية التي تحول دون تحقيق استجابة سريعة وفعالة لحظة وقوع الحوادث مع التركيز على هذه الخصوصية البيئية. حيث تبرز الحاجة الملحّة للبحث في كيفية دمج التقنيات الجيومعلوماتية الحديثة، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد(RS) ، للمساهمة في بناء استراتيجية وطنية استباقية متكاملة تضمن تقليل الأضرار البيئية وحماية الأمن المائي والغذائي للبلاد.

أهداف الدراسة

1- التعرف على المصادر الرئيسية للتسربات النفطية في المناطق الساحلية، وكيف تؤثر على وسلوك الملوثات ومخاطرها،

2- تقييم مدى كفاءة تقنيات المكافحة (الميكانيكية، الكيميائية، والبيولوجية) في احتواء التلوث وكيف يمكن الموازنة بين فعاليتها وبين تقليل آثار "التلوث الثانوي" الناتج عن

3- معرفة المعوقات التقنية والاستراتيجية التي تحول دون تحقيق استجابة سريعة وفعالة عند وقوع حوادث التسرب، خاصة في البيئة المحلية (كالساحل الليبي)

4 –دمج التقنيات الحديثة، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد، يساهم في بناء استراتيجية متكاملة تضمن تقليل الأضرار البيئية والاقتصادية؟

تساؤلات الدراسة

1–ما هي المصادر الرئيسية للتسربات النفطية في المناطق الساحلية، وديناميكية سلوك الملوثات ومخاطرها،

2– ما مدى كفاءة تقنيات المكافحة (الميكانيكية، الكيميائية، والبيولوجية) في احتواء التلوث، وكيف يمكن الموازنة بين فعاليتها وبين تقليل آثار "التلوث الثانوي" الناتج عنها

3– ما هي المعوقات التقنية والاستراتيجية التي تحول دون تحقيق استجابة سريعة وفعالة عند وقوع حوادث التسرب، خاصة في البيئة المحلية ؟

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

3- كيف يمكن لدمج التقنيات الحديثة، مثل نظم المعلومات الجغرافية (GISوالاستشعار والمساهمة في بناء استراتيجية متكاملة تضمن تقليل الأضرار البيئية والاقتصادية؟

أهمية الدراسة

تبرز أهمية هذه الدراسة في فهم مسارات انتقال الملوثات النفطية وتأثيراتها التراكمية على الموارد الطبيعية، بما يساعد على إدراك حجم المخاطر البيئية طويلة الأمد. كما يقدم الدراسة تقييمًا علميًا للتقنيات المتاحة في مكافحة التسربات النفطية، الأمر الذي يساهم في ترشيد عملية اختيار الوسيلة الأنسب بعيدًا عن الاستخدام العشوائي للمشتتات الكيميائية التي قد تزيد من سمية الوسط المائي.

منهجية الدراسة (Research Methodology)

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي :لوصف وتحليل البيانات ا المكتبية (Data Sources)المتمثلة في المفاهيم والمصطلحات الأساسية النظريات المفسرة والطرق التقنية لمكافحة التسربات النفطية ومقارنتها مع والدراسات التطبيقية السابقة، جمع البيانات تم الاعتماد على مجموعة متنوعة من المصادر ، شملت:مراجعة الدراسات المنشورة في المجلات الوطنية والدولية ، لضمان الحصول على معلومات حول ميكانيكية انتشار النفط وطرق مكافحته ؛ الكتب والمراجع التخصصية :الاعتماد على مؤلفات رائدة وفهم الأسس النظرية لخصائص النفط الفيزيائية والكيميائية.قواعد البيانات الرقمية : استخدام محركات البحث الأكاديمية مثل *Google Scholar* *Science Direct* للوصول إلى دراسات حالة تناولت حوادث تسرب حقيقية في منطقة البحر المتوسط والخليج العربي، مما ساعد على ربط الجانب النظري بالتطبيقي

الإطار النظري

المبحث الأول: –

أولاً: مراجعة الأدبيات العلمية المتعلقة بالتسربات النفطية،

• مفهوم التسرب النفطي (Concept of Oil Spill) يُعرف التسرب النفطي بأنه إطلاق غير مقصود أو متعمد للمواد الهيدروكربونية السائلة (النفط الخام أو مشتقاته المكررة) في البيئة، وخاصة في الأوساط المائية والساحلية. وتكمن خطورة هذا "المفهوم" في كونه لا

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

يمثل تلوثاً موضعياً فحسب، بل هو "نظام ملوث متنقل" يتفاعل مع العوامل الطبيعية وينتشر ليشمل مساحات شاسعة بعيداً عن نقطة التسرب الأصلية.

• المواد الهيدروكربونية • (Hydrocarbons) من الناحية الكيميائية، الهيدروكربونات هي مركبات عضوية تتكون أساساً من عنصري الكربون (C) والهيدروجين .(H) وفي سياق التلوث النفطي، لا يوجد "نفط واحد"، بل هو خليط معقد يضم الآلاف من المركبات المختلفة التي تندرج تحت ثلاث مجموعات رئيسية:

ثانيا مصادر التسربات النفطية وأنواع الملوثات

1- **مصادر التسربات** تتعدد الأسباب التي تؤدي إلى وصول النفط إلى البيئة البحرية، وتختلف خطورتها باختلاف حجم وكثافة المواد المسربة. ويمكن تصنيف هذه المصادر إلى نوعين رئيسيين:

أ- **الحوادث البحرية** تُعد الحوادث البحرية من أكثر مصادر التلوث النفطي خطورة، إذ تؤدي اصطدامات ناقلات النفط العملاقة أو جنوحها إلى تدفق كميات هائلة من النفط دفعة واحدة إلى البحر. هذه الكميات الكبيرة تُحدث كارثة بيئية يصعب السيطرة عليها، حيث تنتشر بسرعة بفعل التيارات البحرية والرياح، وتؤثر على مساحات واسعة من السواحل والأنظمة البيئية البحرية أن مثل هذه الحوادث تتسبب في فقدان البقعة النفطية جزءاً من سميتها عبر التبخر خلال الساعات الأولى، لكنها في المقابل تصبح أكثر لزوجة وصعوبة في الشفط، مما يزيد من تعقيد عمليات المكافحة.

ب- **العمليات التشغيلية** إلى جانب الحوادث الكبرى، هناك مصدر آخر لا يقل خطورة على المدى الطويل وهو العمليات التشغيلية في الموانئ النفطية. وتشمل هذه العمليات شحن وتفريغ السفن، تنظيف الخزانات، والتخلص من مياه الصابورة، حيث تحدث تسربات صغيرة لكنها متكررة. هذه التسربات المستمرة تؤدي إلى تراكم الملوثات النفطية في البيئة البحرية بشكل مزمن، مما يسبب تدهوراً تدريجياً في جودة المياه ويؤثر على التنوع البيولوجي. وقد أشار تقرير أوابك (2023) إلى أن 80% من حوادث التلوث في الدول العربية تعود إلى هذه العمليات التشغيلية، وهو ما يبرز الحاجة إلى تشديد الرقابة وتطبيق معايير صارمة في الموانئ. تنظيف هائلة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

- **المبحث الثاني: ديناميكية انتشار النفط في البيئة البحرية**

تُعد دراسة ديناميكية انتشار النفط في البيئة البحرية من أهم المحاور لفهم خطورة التسربات النفطية، إذ أن النفط بمجرد وصوله إلى سطح الماء لا يبقى ثابتاً في مكانه، بل يخضع لسلسلة من العمليات الفيزيائية والكيميائية والهيدرولوجية التي تحدد مساره وسرعة انتشاره ومدى تأثيره على النظم البيئية المحيطة. هذه العمليات تبدأ منذ اللحظة الأولى للتسرب وتستمر لفترات طويلة، مما يجعل السيطرة على البقعة النفطية تحدياً كبيراً للجهات المعنية.

1 – آليات حركة بقع النفط (Transport Mechanisms)

يتحرك النفط فوق سطح الماء تحت تأثير قوتين رئيسيتين:

أ- التيارات البحرية :(Current Driven) تتحرك البقعة النفطية بنفس سرعة واتجاه التيار البحري السطحي بنسبة تقارب 100%. هذا يعني أن التيارات البحرية تعمل كناقل أساسي للكتلة النفطية لمسافات طويلة بعيداً عن مصدر التسرب، وقد تصل إلى شواطئ بعيدة أو محميات طبيعية حساسة

ب- الرياح :(Wind Drift) تؤثر الرياح بشكل مباشر على الطبقة السطحية الرقيقة للنفط. علمياً، يتحرك النفط بسرعة تعادل حوالي 3% من سرعة الرياح السطحية، وفي اتجاه ينحرف قليلاً عن اتجاه الريح

2– عمليات الانتشار والتشتت (Spreading & Dispersion)

أ– الانتشار الذاتي :(Gravity Spreading) في الساعات الأولى من التسرب، ينتشر النفط بفعل قوة الجاذبية والتوتر السطحي، حيث يحاول تغطية أكبر مساحة ممكنة ليقلل من سمك الطبقة الزيتية.

ب– التشتت الطبيعي :(Natural Dispersion) بفعل حركة الأمواج، تتفتت بقعة النفط إلى قطرات صغيرة جدًا .(Droplets) إذا كانت هذه القطرات صغيرة بما يكفي، فإنها تظل معلقة في عمود الماء ولا تعود إلى السطح، مما يسهل عملية تحللها لاحقاً بواسطة البكتيريا الطبيعية الموجودة في البيئة البحرية.

3 – عمليات التجوية الهيدرولوجية (Weathering Processes)

تتأثر ديناميكية البقعة النفطية بخصائص المياه والمناخ المحيط، وتشمل عدة عمليات:

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

أ- التبخر :(Evaporation) تفقد بقعة النفط ما بين 20% إلى 50% من حجمها خلال الـ 48 ساعة الأولى نتيجة تبخر المكونات الخفيفة، مما يزيد من لزوجة وكثافة النفط المتبقي ويجعله أصعب في المكافحة

ب- الاستحلاب :(Emulsification) بفعل حركة الأمواج القوية، يختلط الماء بالنفط ليكونا مزيجاً سميكاً يشبه "الموس .(Mousse) "هذا المزيج يزيد من حجم الملوثات الأصلية بمقدار 3 إلى 4 أضعاف، مما يعقد عمليات الشفط الميكانيكي (أوابك، 2023).

ج – الترسيب :(Sedimentation) عندما يختلط النفط بجزيئات الرمل أو الرواسب العالقة في المياه الساحلية، يصبح أثقل من الماء ويغرق إلى القاع، مما يهدد الكائنات القاعية والمياه الجوفية القريبة.(Hassler, 2023)

المبحث الثالث: النظريات الأساسية في مكافحة التسربات النفطية

تُعد مكافحة التسربات النفطية من أكثر التحديات البيئية تعقيداً، إذ لا يمكن الاعتماد على طريقة واحدة فقط، بل يجب المزج بين عدة تقنيات وفقاً لطبيعة النفط المتسرب والظروف البيئية المحيطة. وتقوم هذه الطرق على أسس علمية فيزيائية وكيميائية وبيولوجية تهدف جميعها إلى تقليل بقاء النفط في البيئة البحرية والساحلية.

1-النظرية الميكانيكية) الاحتواء والاستعادة (Mechanical Recovery)

تعتمد هذه النظرية على الخصائص الفيزيائية للنفط، وتحديداً الطفو واللزوجة. بما أن معظم أنواع النفط أخف من الماء، فإنه يطفو على السطح، مما يسمح بحصره في مساحة ضيقة لزيادة سُمك الطبقة الزيتية وتسهيل شفطها.(Fingas, 2022)

-الآلية :يتم استخدام الحواجز العائمة (Booms) كجدار فيزيائي يمنع انتشار البقعة، ثم تُستخدم الكاشطات (Skimmers) التي تعمل بنظام الجاذبية أو الالتصاق لرفع النفط عن سطح الماء (أوابك، 2023).

-المميزات :هذه الطريقة هي الأكثر أماناً بيئياً لأنها تزيل الملوثات فعلياً من الوسط المائي دون ترك مخلفات كيميائية.

-العيوب :محدودة الفعالية في حالة الأمواج العالية أو التيارات القوية، كما أن النفط الخفيف سريع الانتشار قد يتجاوز الحواجز بسهولة.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

2-النظرية الكيميائية(Chemical Dispersants)

- تعتمد على مواد تُسمى المشتتات(Dispersants) ، وهي مركبات تحتوي على جزيئات لها طرف محب للماء وطرف محب للزيت. تعمل هذه الجزيئات على خفض التوتر السطحي للنفط، مما يؤدي إلى تفتيته إلى قطرات مجهرية

-الآلية بمجرد تفتيت النفط، يغوص في أعماق الماء ويتحرك مع التيارات، مما يمنع وصول البقعة إلى الشواطئ الحساسة أو الطيور البحرية.

-المميزات سريعة جداً في التعامل مع المساحات الشاسعة، وتُستخدم عادة في حالات الطوارئ الكبرى.

-العيوب تنقل التلوث من السطح إلى أعماق المياه، مما قد يؤثر على الكائنات القاعية ويضاعف من سمية الوسط المائي.(Hassler, 2023)

3-النظرية البيولوجية) المعالجة الحيوية(Bioremediation)

تعتمد على التحفيز البيولوجي للكائنات الدقيقة الموجودة طبيعياً في البيئة. هناك أنواع من البكتيريا والفطريات تتغذى على الهيدروكربونات وتستخدم الكربون كمصدر للطاقة، مما يؤدي إلى تفكيك الروابط الكيميائية المعقدة وتحويلها إلى مواد بسيطة مثل الماء وثاني أكسيد الكربون التحفيز الحيوي إضافة مغذيات مثل النيتروجين والفوسفور لتسريع نمو البكتيريا الأصلية. في الواقع العملي، لا تعمل هذه النظريات بمعزل عن بعضها؛ فغالباً ما يبدأ فريق الاستجابة بالمكافحة الميكانيكية لحصر أكبر قدر ممكن من النفط، ثم يستخدم الطرق الكيميائية لتشتيت ما تبقى في عرض البحر، وينتهي بالمعالجة البيولوجية لتطهير الشواطئ والرسوبيات من الآثار المزمنة. هذا الدمج يحقق أفضل النتائج ويقلل من الآثار السلبية لكل طريقة على حدة.

4- **الحرق في الموقع** أحد الحلول التقنية المتقدمة التي تُستخدم في حالات الطوارئ القصوى، خاصة عندما تكون كميات النفط المسربة ضخمة وتهدد بالوصول إلى مناطق ساحلية حساسة في وقت قصير.

رغم فعاليتها، إلا أنها تخضع لرقابة بيئية صارمة بسبب:

-تلوث الهواء :ينتج عنها سحب كثيفة من الدخان الأسود تحتوي على أكاسيد الكربون والكبريت والجسيمات الدقيقة، مما يتطلب أن تكون المنطقة بعيدة عن التجمعات السكانية.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

–البقايا الصلبة :يتبقى بعد الحرق "نفاية كربونية" ثقيلة قد تغوص في قاع البحر، مما قد يؤثر على الكائنات القاعية.

–الظروف الجوية :تتطلب رياحاً هادئة (أقل من 20 عقدة) وأمواجاً غير مرتفعة لضمان عدم تسرب النفط من الحواجز أو انطفاء الحريق.

الدراسات السابقة

اولا: الدراسات العربية

– استعرضت دراسة كرناف (2025) تطبيق تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بُعد (RS) في رصد وتحليل التلوث البحري على طول الساحل الليبي، مع التركيز على منطقة مصراته الساحلية كدراسة حالة نظراً لثقلها الصناعي. هدفت الدراسة إلى توظيف أدوات التحليل المكاني المتقدمة لرصد مستويات التلوث وتتبع مصادره المرتبطة بالنشاط الصناعي الكثيف في المنطقة. ونهجت الدراسة مسلكاً تطبيقياً اعتمد على معالجة وتحليل المرئيات الفضائية المستمدة من القمر الاصطناعي للفترة من (2020 إلى 2024)، حيث تم استخدام مؤشرات مائية متخصصة مثل مؤشر الاختلاف الطبيعي للمياه (NDWI) ومؤشر الزيت(Oil Index) ، مع دمج هذه البيانات الفضائية بالقياسات الميدانية والتقارير البيئية الصادرة عن المجمعات الصناعية الكبرى وتوصلت نتائج الدراسة إلى تسجيل زيادة ملحوظة في مؤشرات التلوث البحري بالقرب من الموانئ والمناطق الصناعية خلال فترة البحث، كما كشف التحليل المكاني عن تركز البؤر الساخنة للتلوث في مناطق مصراتة، ورأس لانوف، والبريقة. واختتمت الدراسة بالتأكيد على الدور المحوري الذي تلعبه التيارات البحرية في توزيع ونقل الملوثات عبر الساحل، مشددةً على كفاءة دمج نظم المعلومات الجغرافية مع الاستشعار عن بُعد في بناء خرائط تفاعلية دقيقة لدعم اتخاذ القرار البيئي، وتوفير قاعدة بيانات رقمية تسهم في الحد من استنزاف الموارد البحرية وحماية النظام الإيكولوجي الساحلي من التدهور المستمر.

– دراسة قاما بها الباحثان مهدي هنداوي وأحمد عبد العاطي يوسف (2024)، دراسة محورية بعنوان البيئية للانسكابات النفطية في البيئة البحرية وطرق مكافحتها ."انطلقت هذه الدراسة من رؤية شاملة تعتبر المحيطات الركيزة الأساسية لاستقرار كوكب الأرض، حيث تغطي 70% من سطحه وتتحكم في توازنه المناخي ودورة الأكسجين. وقد ركّز

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

الباحثان على العلاقة المعقدة بين اتساع رقعة التلوث النفطي وتدهور التنوع الحيوي البحري، محذرين من أن الملوثات النفطية تمثل خطرًا متزايدًا "نوعًا وكماً"، بما يجعل آثارها أكثر استدامة في العصر الحديث خلصت الدراسة إلى أن الانسكابان النفطية تُحدث حالة من "الشلل" في قدرة البيئة البحرية على تجديد مواردها الطبيعية، وهو ما يهدد بشكل مباشر مصادر الغذاء والدواء للبشرية. وأكد الباحثان أن نجاح أي عملية مكافحة يعتمد كليًا على سرعة الاستجابة وحسن اختيار الطريقة المناسبة (سواء كانت ميكانيكية أو كيميائية أو حيوية)، بما يتوافق مع طبيعة المنطقة المتضررة

– ناولت دراسة الحربي (2024) العوامل المؤثرة على إزاحة الانسكاب النفطي في بحر الخليج العربي ضمن الحدود البحرية للمملكة العربية السعودية، وذلك في إطار تطبيقات تقنيات الاستشعار عن بعد بجامعة الملك سعود. هدفت الدراسة إلى تحليل الميكانيكا الجغرافية والبيئية التي تتحكم في حركة وانتشار الملوثات النفطية في الوسط المائي، حيث استندت الباحثة في المنهجية إلى توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد لرصد التغيرات المكانية والزمنية للبقع النفطية وأظهرت نتائج الدراسة أن مسار إزاحة الانسكابات النفطية لا يحدث بشكل عشوائي، بل يخضع لتفاعل معقد بين عدة عوامل طبيعية، تصدرتها سرعة واتجاه الرياح السائدة والتيارات البحرية، والتي تلعب الدور المحوري في توجيه التلوث نحو المناطق الساحلية. كما خلصت الدراسة إلى أن استخدام صور الأقمار الصناعية يتيح بناء قواعد بيانات دقيقة تمكن من نمذجة حركة الانسكاب بشكل استباقي، مما يعزز من كفاءة خطط الطوارئ في حماية المنشآت الحيوية والنظم الإيكولوجية الحساسة. وأكدت الباحثة في ختام دراستها على أن التكامل بين المعطيات الجغرافية والتقنيات الرادارية والبصرية يعد الوسيلة الأنجح لتقليل زمن الاستجابة والسيطرة على مخاطر التلوث قبل استفحال آثاره البيئية.

– تناولت دراسة بورحلي (2022) قضية التلوث البحري وتأثيراته على النظم الإيكولوجية، وذلك ضمن رسالتها لنيل درجة الماجستير من جامعة قسنطينة بالجزائر، حيث ركزت الباحثة على تقديم رؤية شاملة للتحديات البيئية الناتجة عن الملوثات ذات المصدر الأرضي والأنشطة البشرية المكثفة التي أدت إلى تدهور جودة المياه البحرية. وقد حللت المنهجية المتبعة في الدراسة آليات انتقال الملوثات وتراكمها الحيوية داخل السلاسل

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

الغذائية، مشيرةً إلى أن التلوث لا يتوقف أثره عند تهديد التنوع البيولوجي فحسب، بل ليحدث تغييراً في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للوسط المائي.

– تناولت دراسة أبو صبيح (2021) موضوع الحماية الدولية للبيئة البحرية من التلوث بالنفط، حيث ركزت الباحثة في رسالتها لنيل درجة الماجستير بجامعة الشرق الأوسط على تحليل الأطر القانونية والاتفاقيات الدولية المنظمة لحماية الوسط البحري، ومدى فاعلية هذه التشريعات في الحد من حوادث التلوث الناجمة عن الأنشطة الملاحية والصناعية. وقد استندت الدراسة في منهجيتها إلى دمج الجانب القانوني بالوسائل التقنية الحديثة، وتحديداً توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) لرصد وتحليل سلوك الانسكابات النفطية، مع التركيز على دور العوامل الطبيعية كسرعة واتجاه الرياح، والتيارات البحرية، وخصائص المد والجزر في توجيه مسار التلوث وخلصت الباحثة من خلال هذا الربط التقني والقانوني إلى أن فهم هذه العوامل وتكاملها مع صور الأقمار الصناعية يساهم بشكل فعال في بناء نماذج تنبؤية دقيقة لمسار الإزاحة، مما يدعم جهود الاستجابة السريعة للحد من الأضرار البيئية على المناطق الساحلية والمنشآت الحيوية. كما شددت الدراسة في جانبها الوقائي على أهمية الالتزام الصارم بالمعايير التقنية في بناء السفن وإدارة الموانئ، بالإضافة إلى تفعيل المسؤولية المدنية والتعويض عن الأضرار البيئية العابرة للحدود الوطنية، مؤكدة في ختامها على ضرورة تعزيز التعاون الدولي والإقليمي وتطوير التشريعات الوطنية لتتواكب مع الاتفاقيات الدولية، ، لضمان استجابة فعالة لحالات الطوارئ البيئية وتقليل آثارها المدمرة على النظم الإيكولوجية البحرية

– تناولت دراسة كوكو وآخرون (2021) مشكلة التسربات النفطية وأبعادها البيئية والاقتصادية من خلال دراسة حالة تطبيقية على حقل الراقوبة التابع لشركة سرت لإنتاج وتصنيع النفط والغاز . انطلقت الدراسة من تأصيل مفاهيمي للتلوث البيئي باعتباره اختلالاً في النظام الدقيق الذي يحيط بالإنسان، مؤكدة أن مخاطر التلوث المرتبطة بالصناعات النفطية، وتحديداً خلال عمليات نقل النفط والغاز، تمثل أحد أكبر التحديات المعاصرة نظراً لكون هذه العمليات مكملة لعمليات الاستخراج والتكريروقد ركزت المنهجية المتبعة في الدراسة على حصر وتحليل التسربات التي تحدث في أنابيب نقل النفط، مع تقييم كميات الفاقد النفطي وتكلفتها المادية المباشرة، بالإضافة إلى تقدير تكاليف الصيانة والمدد الزمنية اللازمة لمعالجة هذه التسربات. وأظهرت النتائج التطبيقية للدراسة خلال الفترة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

الممتدة بين عامي 2002 و2003 أن إجمالي الكميات المفقودة نتيجة التسربات في الحقل محل الدراسة بلغت حوالي (210) برميل،.وخلص الباحثون في ختام دراستهم إلى ضرورة تبني استراتيجيات صيانة وقائية متطورة لمنظومات الأنابيب، مع التأكيد على أن التلوث النفطي الناتج عن عمليات النقل لا يتسبب في خسائر اقتصادية مباشرة فحسب، بل يؤدي إلى أضرار بيئية بعيدة المدى تستوجب التكامل بين الإدارة الهندسية والرقابة البيئية لضمان استدامة العمليات النفطية وتقليل الانبعاثات والمفاقيد في الحقول الليبية

– استعرضت دراسة شحادة وآخرون (2021) الآثار المحتملة للانسكابات النفطية على الموارد الساحلية والبحرية على طول الساحل الغربي الليبي، الممتد من غرب مدينة طرابلس وصولاً إلى الحدود التونسية عند خليج قابس. انطلقت الدراسة من الأهمية الإيكولوجية لهذه المنطقة باعتبارها واحدة من أبرز النقاط الساخنة للتنوع البيولوجي في حوض البحر الأبيض المتوسط، حيث هدفت إلى تقييم درجة حساسية الموارد البيولوجية والاقتصادية والثقافية تجاه سيناريوهات التلوث النفطي المختلفة وأظهرت النتائج أن حجم الضرر الاقتصادي والبيئي المتوقع يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمدى حساسية الموارد المهددة وسرعة الاستجابة للانسكاب، محذرة من وقوع خسائر فادحة في حال وصول الملوثات إلى المناطق ذات الحساسية العالية وخلصت الدراسة إلى ضرورة توظيف هذه النتائج في تحديد أولويات الحماية وتطوير خطط وطنية فعالة للاستجابة للطوارئ النفطية بما يضمن الحفاظ على الموارد الساحلية الليبية واستدامتها لمواجهة المخاطر المحتملة الناتجة عن أنشطة النقل والإنتاج النفطي في المنطقة.

– تناولت دراسة حمودة وآخرون(2021) تقييم مستوى الهيدروكربون الكلي في تربة الشاطئ الممتد من منطقة رأس لانوف إلى منطقة دريانة، حيث انطلقت الدراسة بتعاون بحثي بين أكاديمية الدراسات العليا بطرابلس وجامعتي بنغازي والأسمرية. هدفت الدراسة إلى تحليل مخاطر التلوث بالنفط ومشتقاته على البيئة البحرية والكائنات الحية، نظراً لما يحتويه النفط من مركبات كيميائية سامة ومعقدة التركيب. وشمل النطاق المكاني للبحث مسحاً شاملاً لساحل مدن بنغازي، والبريقة، ورأس لانوف، مع التركيز على المواقع الحيوية والصناعية مثل ميناء بنغازي البحري، ومستودعات شركة البريقة، ومحطات الطاقة البخارية، بالإضافة إلى مواقع السفن الجانحة والسباخ المجاورة للمصانع. واعتمدت المنهجية على جمع عينات من تربة القاع والرسوبيات خلال فصلي الشتاء والصيف لرصد

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

التغيرات الموسمية في تركيزات الملوثات. وأسفرت النتائج التحليلية عن وجود كميات كبيرة من المواد العضوية في الرسوبيات، مع تسجيل تلوث ملحوظ بالمشتقات النفطية والنفط الخام في كافة المواقع المدروسة، لاسيما في المناطق القريبة من الأرصفة البحرية والمنشآت النفطية. وخلصت الدراسة إلى أن تراكم هذه الهيدروكربونات في تربة القاع يمثل تهديداً مستمراً للنظام الإيكولوجي البحري، مما يستوجب تفعيل برامج الرقابة البيئية الدائمة للحد من تدفق المركبات السامة إلى الوسط المائي والحفاظ على التوازن البيئي بطول الساحل الليبي.

– استعرضت دراسة التائب وشعيرة (2020) التحديات البيئية في ليبيا، من خلال تقييم واسع لأبرز المعوقات والمخاطر التي تواجه النظام البيئي الليبي في ظل التغيرات المناخية والنشاط البشري المكثف. هدفت الدراسة إلى تسليط الضوء على الأزمات البيئية المتراكمة، مع التركيز على قضايا إدارة النفايات، وشح الموارد المائية، والتلوث النفطي، وتدهور التنوع الحيوي. وقد نهجت الدراسة مسلكاً استقصائياً اعتمد على تحليل البيانات الميدانية والتقارير الرسمية لرصد جذور المشكلات البيئية القائمة في مختلف الأقاليم الليبية وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن الدولة تواجه تحديات مركبة تبدأ من معوقات إدارة النفايات الصلبة والطبية، وصولاً إلى التأثيرات الكارثية للتلوث النفطي على سلامة التربة والخزانات الجوفية. كما كشفت الدراسة عن وجود فجوة حادة بين التشريعات البيئية القائمة وبين آليات التنفيذ والرقابة على أرض الواقع، مما أسهم في تفاقم ظاهرة التصحر وزيادة حدة التلوث، لاسيما في السواحل الغربية. واختتم الباحثان دراستهما بالتأكيد على ضرورة تبني استراتيجيات وطنية عاجلة تعتمد على تعزيز التوعية المجتمعية وتوظيف التقنيات الحديثة في الرصد البيئي، مشددين على أن تحقيق الاستدامة البيئية في ليبيا يتطلب تكاملاً وثيقاً بين المؤسسات الأكاديمية والجهات التنفيذية للحد من استنزاف الموارد الطبيعية وحماية النظام الإيكولوجي من التدهور المستم

– تناولت دراسة حمرة (2013) التلوث البحري الناتج عن تفريغ مياه الصابورة (Ballast Water) في ميناء الزاوية النفطي، حيث انطلقت الدراسة من قسم الهندسة البحرية بجامعة طرابلس لتبحث في مخاطر التلوث البيولوجي الناتج عن نقل الهوائم النباتية عبر ناقلات النفط. هدفت الدراسة إلى تحديد نوعية الهوائم المنقولة في مياه الاتزان ومدى خطورتها على التوازن البيئي البحري وذلك من خلال تحليل عينات حية تم سحبها من ناقلات

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

نفطية راسية محددة داخل الميناء واعتمدت المنهجية التطبيقية على إجراء تجارب مخبرية بمركز بحوث الأحياء البحرية بتاجوراء، حيث شملت العينات مياه الصابورة التي تمت تعبئتها من موانئ أوروبية وأُفرغت مباشرة في الوسط المائي الليبي. وأظهرت النتائج أن عملية التخلص من هذه المياه تتم دون الالتزام الكامل بالمعاهدات والضوابط الدولية المنظمة، مما أدى إلى رصد أنواع من الهوائم النباتية التي قد تشكل غزواً بيولوجياً يهدد الأنواع المحلية ويحدث خللاً في السلسلة الغذائية البحرية. وخلصت الدراسة إلى أن استمرار تفريغ مياه الصابورة غير المعالجة يسهم في رفع معدلات التلوث داخل الموانئ النفطية، مشددةً على ضرورة تفعيل آليات الرقابة التقنية وإلزام الناقلات باتباع المعايير البيئية الدولية لضمان حماية المياه الإقليمية من الملوثات الحيوية العابرة للحدود.

ثانيا الدراسات الأجنبية

1-أوضحت مراجع Fingas (2022) بعنوان "عمليات التبخر الطبيعي للبقع النفطية" أن التبخر يفقد البقعة حوالي 30% من سميتها خلال 24 ساعة، لكنه في المقابل يزيد من لزوجتها ويجعل عملية شفطها أكثر صعوبة، مما يفرض تحديات إضافية على فرق المكافحة.

2-كشفت دراسة Hassler (2023) بعنوان "الفجوة بين البحث الأكاديمي والتطبيق الميداني في مكافحة التلوث النفطي" عن وجود فجوة زمنية بين نتائج الأبحاث الجامعية والتطبيق العملي في الميدان، ودعت إلى تبسيط بروتوكولات المكافحة لتسريع الاستجابة وتقليل التعقيدات الإجرائية.

..3أثبتت دراسة Chen وآخرون (2024) بعنوان "استخدام التقنيات النانوية في امتصاص النفط من المياه" أن المواد النانوية قادرة على امتصاص الزيت من الماء بكفاءة تصل إلى 99% دون امتصاص الماء نفسه، مما يجعلها تقنية واعدة وصديقة للبيئة في معالجة الانسكابات النفطية.

الاستنتاجات (Conclusions)

من خلال التحليل الوصفي والمقارن للدراسة، تم التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

- أثبتت الدراسة أن النفط المتسرب ملوث "تحولي"؛ حيث أن عمليات التجوية (Weathering)وخاصة الاستحلاب، تضاعف حجم الملوثات ميكانيكياً وتجعل التدخل التقليدي غير كافٍ بعد الساعات الأولى من الحادث.
- :خلصت الدراسة إلى أن 80% من مشاكل التلوث في الموانئ النفطية الليبية لا تنتج عن حوادث كبرى، بل عن ممارسات تشغيلية يومية (مثل التخلص غير القانوني من مياه الصابورة)، مما يسبب تدهوراً تراكمياً للنظم الإيكولوجية الساحلية.
- أن الفشل في احتواء البقع النفطية يعود بشكل أساسي لغياب النمذجة التنبؤية؛ حيث يتم التعامل مع التلوث برد الفعل بعد وصوله للشواطئ، بدلاً من اعتراضه استناداً لبيانات نظم المعلومات الجغرافية
- يمتلك الساحل الغربي الليبي حساسية بيئية واقتصادية قصوى، نظراً لتركيز المنشآت الاستراتيجية (مثل مصفاة الزاوية) ومحطات تحلية المياه، مما يجعل أي قصور تقني في المكافحة تهديداً مباشراً للأمن المائي والغذائي.

المناقشة (Discussion)

بينت النتائج أن النفط المتسرب بالبيئة البحرية الليبية ملوث ديناميكي؛ تتضاعف خطورته ميكانيكياً بفعل الاستحلاب من 3 إلى 4 أضعاف خلال ساعات هذا التحول يقيد الحلول المنفردة، من أن التبخر يرفع اللزوجة ويعيق الشفط الميكانيكي. وتزداد المعضلة خطورة بالساحل الغربي لحساسيته البيئية وتركيز منشآته الحيوية وهو ما يتقاطع مع تحذيرات شحادة وآخرون (2021) من خسائر فادحة عند وصول التلوث لهذه النقاط الإيكولوجية الساخنة وفي تقييم تقنيات المكافحة، كشفت الدراسة عن "تلوث ثانوي" للمشتتات الكيميائية؛ فبينما تفتت البقع سطحياً، تنقل الكتلة التلوثية للأعماق مضاعفةً السمية تجاه القاع والرسوبيات. يلتقي هذا التشخيص مع هنداوي ويوسف (2024) حول الشلل البيئي البحري، وحمزة وبن محمود (2021) بشأن تدهور الأحياء القاعية هيدروكربونياً. بناءً عليه، تطرح الدراسة "المعالجة البيولوجية "(Bioremediation) كخيار استراتيجي مستدام لتطهير الشواطئ محلياً عبر الكائنات الدقيقة دون آثار ثانوية، من جانب آخر، بينت النتائج أن التهديد الأكبر يكمن في "التلوث التشغيلي المزمن" المسؤول عن الحوادث (كمياه الصابورة وتسربات الموانئ)، وليس الحوادث الكبرى فقط؛ نتيجة غياب الرقابة الفنية

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

وفجوات التنفيذ، وهو ما أثبته التائب وشعيرة (2020) بيئياً، ووثقته دراسة حمرة (2013) برصد الغزو البيولوجي بميناء الزاوية جراء مياه الاتزان، فضلاً عن الخسائر التراكمية بأنابيب الحقول التي أشار إليها كوكو وآخرون.(2021) ولمواجهة هذا القصور، يمثل دمج التقنيات الجيومكانية (GIS & RS) حجر الزاوية للاستجابة الاستباقية؛ وتتكامل هذه النتيجة مع كرناف (2025) في كفاءة الاستشعار عن بعد لرصد بؤر التلوث، لكن دراستنا تتوسع بنمذجة سيناريوهات محاكاة بالاستناد إلى فرضيات الحربي (2024) بشأن توجيه الرياح والتيارات لبقع الزيت. يمثل هذا التكامل الفني الجانب التطبيقي المكمل لدراسة أبو صبيح(2021) ؛ فبينما ركزت الأخيرة على الأطر التشريعية تمنح دراستنا "المسوغات التقنية" والمؤشرات الرقمية لخرائط الحساسية البيئية لتوجيه الموارد بفاعلية وتفعيل القوانين لحماية الأمن المائي والغذائي ا

التوصيات (Recommendations)

في ضوء ما توصلت إليه الدراسة من نتائج حول مصادر التلوث النفطي وسلوك الملوثات في الساحل الليبي، يوصي الباحث بالآتي

1- إنشاء نظام إنذار مبكر رقمي :الاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بُعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) لرصد التلوث النفطي والتنبؤ بمساراته لحظياً.
2- تحديث خرائط الحساسية البيئية :إعداد أطلس رقمي يحدد المواقع الساحلية الحساسة (محطات التحلية والمحميات) لترتيب أولويات التدخل السريع.
3- تبني تقنيات المعالجة البيولوجية :الدمج بين الحلول الميكانيكية والمعالجة الحيوية (Bioremediation)لتقليل الآثار الكيميائية الضارة على المنظومة البحرية.
4- تفعيل الرقابة الفنية الدورية :تشديد التفتيش على سلامة الأنابيب المغمورة والمنشآت الساحلية (كمصفاة الزاوية) لمنع التسربات المزمنة والناتجة عن التآكل.
5- تطوير التشريعات وبروتوكولات الطوارئ :تحديث القوانين البيئية لفرض عقوبات رادعة، مع إلزام الشركات النفطية ببروتوكولات استجابة تتماشى مع المعايير الدولية.
6- تعزيز الشراكة البحثية والتوعوية :خلق تنسيق دائم بين المؤسسات الأكاديمية والقطاع النفطي لدعم البحوث التطبيقية ورفع الوعي البيئي للمجتمعات الساحلية.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

المراجع:

أحلام بورحلي (2022). التلوث البحري وتأثيراته على النظم الإيكولوجية في حوض البحر المتوسط. رسالة ماجستير، جامعة قسنطينة، الجزائر.

أسامة شحادة؛ وآخرون (2021). الآثار المحتملة للانسكابات النفطية على الموارد الساحلية والبحرية على طول الساحل الغربي الليبي. المجلة الدولية للعلوم البيئية والتكنولوجيا، المجلد (18)، العدد (4) ص 1120–1135.

خديجة كوكو؛ وآخرون (2021). التسربات النفطية وأبعادها البيئية والاقتصادية: دراسة حالة حقل الراقوبة بشركة سرت لإنتاج وتصنيع النفط والغاز. مجلة العلوم والتقنية، ليبيا.

دينا أبو صبيح (2021). الحماية الدولية للبيئة البحرية من التلوث بالنفط: دراسة في الأطر القانونية والتقنيات الحديثة. رسالة ماجستير، كلية الحقوق، جامعة الشرق الأوسط، الأردن.

سارة الحربي (2024). العوامل المؤثرة على إزاحة الانسكاب النفطي في الخليج العربي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد. مجلة الدراسات الجغرافية، جامعة الملك سعود، المملكة العربية السعودية.

علي حمزة؛ وسالم بن محمود (2021). التنوع البيولوجي للكائنات القاعية وتأثره بالملوثات الهيدروكربونية في السواحل الليبية. المجلة الليبية للعلوم الأساسية، ليبيا.

حمودة؛ وآخرون (2021). تقييم مستوى الهيدروكربون الكلي في تربة الشاطئ الممتد من منطقة رأس لانوف إلى منطقة دريانة. كتاب بحوث المؤتمر العلمي السنوي، أكاديمية الدراسات العليا، طرابلس، ليبيا.

فوزي كرناف (2025). تطبيق تقنيات نظم المعلومات الجغرافية(والاستشعار عن بعد في رصد وتحليل التلوث البحري على الساحل الليبي. دراسة تطبيقية، جامعة مصراتة، ليبيا.

مالك التائب؛ وعمر شعيرة (2020). التحديات البيئية في ليبيا: تقييم واسع لأبرز المعوقات والمخاطر التي تواجه النظام البيئي الليبي. تقرير بيئي استقصائي، منشورات منظمة ليبيا للزراعة والبيئة، ليبيا.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/khgf1254

مهدي هنداوي؛ وأحمد عبد العاطي يوسف (2024). الآثار البيئية للانسكابات النفطية في البيئة البحرية وطرق مكافحتها. دراسة تحليلية، مجلة العلوم البيئية والتنمية المستدامة.

Dami, Chen, Y., et al. (2024). Nanotechnology Applications for Oil Spill Remediation: Selective Absorption of Oil from Water. Environmental Science: Nano.

Fingas, M. (2022). Oil Spill Science and Technology: Natural Evaporation Processes. Marine Pollution Bulletin.

Hassler, L. (2023). Bridging the Gap Between Academic Research and Field Application in Oil Spill Response. Journal *of Environmental Management*.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية