



جامعة مدينة السادات
معهد الدراسات والبحوث البيئية
مجلة الدراسات والبحوث البيئية



Journal of Environmental Studies and Researches (2024), 14(4):551-580

تطوير نموذج تحليلي لمحاكاة الانسكابات النفطية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ولغة بايثون إسلام علي تركي¹ - إسماعيل علي إسماعيل¹ - صلاح عبد الجابر عيسى²

¹ قسم مسوح الموارد الطبيعية، معهد الدراسات والبحوث البيئية، جامعة مدينة السادات.

² قسم الجغرافيا - كلية الآداب - جامعة المنوفية.

ملخص:

يعتبر النفط هو أحد المصادر الرئيسة للطاقة في العالم حيث يستخدمه الإنسان بكميات كبيرة في العديد من المجالات هذا وقد تحدثت الانسكابات النفطية أثناء عمليات التخزين أو النقل وأحيانا نتيجة لأنشطة التنقيب وغيرها من الأنشطة المختلفة، وتهدف هذه الورقة البحثية إلى تطوير نموذج تحليلي لمحاكاة الانسكابات النفطية باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) التحليلية وتطبيقاتها مع لغة بايثون البرمجية والذي يهدف إلى تمكين متخذي القرار والمتخصصين في هذا المجال من تتبع حركة الانسكابات النفطية من لحظة وقع الحادث مروراً بكافة المناطق المعرضة لمرور البقعة النفطية لحظياً، وذلك تبعاً للمتغيرات الجوية والزمنية والتي يقوم بإدخالها المستخدم مع توفير نتائج تفصيلية لكل موقع تتواجد فيه البقعة النفطية بالإضافة إلى تحديد نطاق تواجد البقعة النفطية (على الشاطئ، في المياه الضحلة، في المياه العميقة) وقد توصل البحث إلى تطوير حل عددي لتأثير التيارات الناتجة عن الكثافة والتيارات السطحية الناتجة عن تأثير الرياح على سلوك بقعة الزيت عند سطح الماء ولمعايرة دقة نتائج النموذج المطور فقد تم عمل موازنة للبيانات المنتجة من النموذج والبيانات المقدمة من أحد أهم وأكثر النماذج استخداماً في العالم من قبل المنظمات والهيئات والشركات وهو برنامج (إس إل روس للأبحاث البيئية المحدودة - **SL Ross Environmental Research Ltd**) من خلال تنفيذ وتحليل سيناريوهات مختلفة لحوادث تسرب النفط بشروط جوية متفاوتة وأظهرت نتائج الموازنة توافقاً كبيراً بين نتائج النموذجين وبقدار انحرافا معياريا ما بين (-0,005) إلى (0.011) في موازنة إحداثي خط الطول ودائرة العرض لحركة البقعة النفطية بين النموذجين. وعلاوة على ذلك، تطابقت نتائج النموذج مع حادث حقيقي لتسرب النفط (دراسة حالة واقعية) داخل النموذجين.

الكلمات المفتاحية: نظم المعلومات الجغرافية، بايثون، نماذج الانسكابات النفطية، المياه الضحلة، المياه العميقة.

مقدمة:

يتكون النفط الخام من مجموعة كبيرة من المواد الهيدروكربونية بدأ من المركبات الخفيفة المتطايرة والوصول إلى المركبات الثقيلة الأكثر تعقيدا، وتتكون المنتجات النفطية المكررة من نطاقات أصغر وأكثر، تحديداً، من هذه المواد الهيدروكربونية، يعتبر النفط هو أحد المصادر الرئيسية للطاقة في العالم حيث يستخدمه الإنسان بكميات كبيرة في العديد من المجالات هذا وقد تحدث الانسكابات النفطية أثناء عمليات التخزين أو النقل وأحيانا نتيجة لأنشطة التنقيب وغيرها من الأنشطة المختلفة وغالبا ما يكون هناك قلق بشأن الآثار السلبية الناجمة عن الانسكابات النفطية على البيئة والثروة السمكية والأنشطة الصناعية والترفيهية فضلا عن اعتبارات الصحة والسلامة العامة.

ووضعت صحة البشر والحفاظ على نوعية البيئة ضمن أولويات واهتمامات المجتمع الدولي بأكمله لمواجهة الانسكابات النفطية؛ حيث يجب بذل كل جهد ممكن لمنع الانسكابات النفطية وتنظيفها فوراً بمجرد حدوثها.

ومنذ أن دخلت الاتفاقية الدولية للاستعداد والاستجابة والتعاون الدولي للتلوث النفطي (Singhota, 1995, p. 207) حيز التنفيذ في مايو 1995، أصبحت العناصر والمحاور مثل تقييم وإدارة المخاطر وإعداد وتطوير خطط الطوارئ الوطنية ونظم الاستجابة وخرائط مؤشر الحساسية البيئية وخطط التأهب الإقليمية من متطلبات تنفيذ الاتفاقية.

ويستخدم النظام التفاعلي لنمذجة النفط المتسرب والمنسكب كأداة (تدريب بحثية) فعالة لإعداد سيناريوهات الانسكاب النفطي المختلفة ودراسة أكثر الاحتمالات لحدوثها وذلك لتوفير الاستعدادات المناسبة للاستجابة. كما يُستخدم النموذج في اختبار مدى فاعلية خطط الطوارئ وطرق استجابة الأفراد لحوادث التسرب والانسكاب النفطي.

ومن هنا جاءت أهمية إنشاء نموذج تحليلي لمحاكاة النفط المتسرب والمنسكب لتقديم الدعم لمتخذي القرار أثناء إدارة أزمات التلوث البحري بالنفط اعتماداً على البيانات المكانية وتكاملها مع لغة بايثون والتي تتيح إدماج أدوات التحليلات الجغرافية وإنتاج نموذج مخصص لإدارة البيانات المكانية والوصفية المتعلقة بأداة بيانات وحالات تتبع النفط المنسكب.

مشكلة البحث وتساؤلاته:

عند تسرب أو انسكاب النفط في البيئة البحرية، تُطرح بعض الأسئلة الأساسية ذات الأهمية العملية لصناع ومتخذي القرارات بإدارة عمليات مكافحة التلوث النفطي وحماية البيئة، وتتمثل أهم التساؤلات فيما يلي:

- 1- ما هو المسار الذي سوف يتخذه الانسكاب النفطي؟
- 2- متى سيصل الانسكاب النفطي إلى أي مكان خلال مساره؟

أهداف البحث:

هذا البحث يهدف إلى إعداد نموذج لتتبع مسار حركة النفط المتسرب والمنسكب باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية ولغة بايثون لتحليل الانسكابات النفطية بغرض تحقيق مجموعة من الأهداف:

1. توقع حركة ومسار الانسكاب النفطي من خلال سيناريوهات محددة وتحت ظروف جومائية مختلفة مع مرور الوقت.
2. توضيح المناطق الجغرافية المعرضة لاحتمالية التأثر بالانسكاب النفطي في فترات زمنية محددة عن طريق إجراء سلسلة من السيناريوهات لمعرفة المسارات المتوقعة في ظل الظروف الجوية الجومائية المختلفة من السجلات التاريخية، مع توضيح المسطحات المائية والمناطق الساحلية الأكثر تعرضاً للخطر من هذه الانسكابات خلال المواسم المختلفة.
3. محاكاة السيناريوهات في الاتجاه المعاكس (Back Tracking) للتنبؤ بمصدر انسكابات وتسربات النفط تهدف إلى التعرف على والتحقق من أماكن الانسكابات غير المعروفة.

مناهج البحث:

اعتمدت الدراسة في تحقيق أهدافها على ثلاثة من مناهج البحث:

- **المنهج التحليلي:** هو أسلوب بحثي يعتمد على تحليل ودراسة الظواهر والمعلومات بطريقة عميقة ومفصلة من أجل فهم الأسباب والعوامل المؤثرة فيها، يركز هذا المنهج على تفكيك الظاهرة أو المشكلة إلى عناصرها الأساسية، ودراسة كل عنصر بشكل منفصل لفهم تأثيراته وعلاقاته ويستخدم لتفسير الظواهر والأحداث من خلال النقد والتفسير والتحليل المنطقي، ويعتمد على التفكير المجرد والقدرة على استنتاج الحقائق من الأدلة.

- **المنهج الكمي:** يعتمد على جمع وتحليل البيانات الرقمية أو الكمية، بهدف تفسير الظواهر واستخلاص النتائج بناءً على الأرقام والإحصاءات، يتميز هذا المنهج باستخدام أدوات مثل الاستبيانات، والاستطلاعات، والاختبارات التي تتيح جمع بيانات قابلة للقياس، والتي يمكن تحليلها إحصائياً لاختبار الفرضيات واكتشاف الأنماط. يُستخدم لدراسة العلاقات بين المتغيرات وتحديد الأسباب والنتائج

الدراسات السابقة:

- **دراسة محمد عمر وآخرون (2014م) بعنوان " دراسة نمذجة تأثيرات التسرب النفطي على الخط الساحلي في مصر " (Mehanna et al., 2014):** وظفت الدراسة نموذج SL-ROSS الرياضي لتسرب النفط للتنبؤ بمسار ومصير تسربات النفط في ميناء الإسكندرية بغرض تقييم المخاطر المرتبطة بتسربات النفط وتسليط الضوء على المناطق الضعيفة. كما قامت الدراسة بإجراء محاكاة شهرية آخذة في الاعتبار الحالات العادية والسيناريوهات الأسوأ بناءً على كمية النفط المسرب والظروف البيئية الجوية وعلى بيانات الوقت الفعلي كما أخذت الدراسة في الاعتبار عمليات التجوية والعمليات التي يتأثر بها النفط مثل الانتشار والتبخر والتشتت الطبيعي على فترات منتظمة وتمت مقارنتها بين الحالة

العادية والسيناريو الأسوأ لتوضيح الفرق في سلوك تسرب النفط ومن ثم تمت موازنة نتائج النمذجة مع العينات المخصصة من المنطقة المدروسة لتحديد نقاط التداخل بين المسار المتوقع لتسرب النفط، وبالإضافة إلى ما سبق ففي هذا البحث فقد تم إنشاء نموذج تحليلي جديد يعتمد على إمكانات نظم المعلومات الجغرافية التحليلية والربط بين البيانات الوصفية والمكانية.

- دراسة محمد عمر وآخرون (2014م) بعنوان "تقييم أخطار التسرب النفطي" (Omar et al., 2013): أظهرت الدراسة مسار النفط الخام الثقيل والخفيف المسرب ومصيره (المساحة الكلية للبقعة، حجم البقعة، محتوى الماء، معدل التبخر ومعدل التشتت الطبيعي) تحت الظروف الجوية في ميناء جدة الإسلامي. تمت دراسة الاستنتاجات والتوصيات المتعلقة بمخاطر تسرب النفط والاستعداد والاستجابة بناءً على مخرجات النموذج، والتي تعتبر مفيدة جداً لصناع القرار لتحسين خيارات الاستجابة المقابلة، مما يدعم ويحسن القرارات في حالة تسرب النفط الحقيقي.

- دراسة شحادة محمد وآخرون (2012م) بعنوان "سلوك التسرب النفطي من منصة بحرية في منطقة البحر الأحمر" (Shehadeh et al., 2012): أظهرت الدراسة نتائج المحاكاة باستخدام نموذج محاكاة لدراسة سلوك تسرب النفط من منصة بحرية في منطقة البحر الأحمر. النموذج يمتلك هيكلًا عامًا يمكنه استيعاب معظم عمليات التجوية المتبقية وتمت محاكاة عدد من السيناريوهات الافتراضية لمنطقة البحر الأحمر وأظهرت النتائج أن استخدام نماذج المحاكاة يمكن أن يحسن خطط الطوارئ لتسرب النفط لدعم قرار قائم على المخاطر، مما يمنع الحوادث القاتلة في المستقبل.

- دراسة س. إيدي وآخرون (2007م) بعنوان "منع تسرب النفط من الشحن عن طريق نمذجة المخاطر الديناميكية" (Eide et al., 2007): خرجت الدراسة بنموذج جديد لتقييم المخاطر البيئية الديناميكية، مع استخدام مقصود داخل نهج جديد ديناميكي لتحديد أولويات حركة السفن بناءً على المخاطر وقدر هذا النموذج المخاطر البيئية لحوادث انجراف الأرض لسفن النفط في الوقت الفعلي وفي وضع التنبؤ، مع الجمع بين احتمال الانجراف وتأثير تسرب النفط على الساحل؛ وأشارت نتائج الدراسة إلى أن النموذج مناسب بشكل جيد لتقييم المخاطر في الوقت الفعلي، ويفصل بفعالية بين الحالات ذات المخاطر المنخفضة والعالية.

- دراسة المالك، شاما (2007م) بعنوان "تقييم الأثر البيئي للتسرب النفطي البحري" (Al Malek & Mohamed, 2005): تعرضت الدراسة لتقييم الأثر البيئي من خلال تحديد وتقييم الأثر المحتمل الذي قد يؤثر بشكل غير مباشر أو مباشر على البيئة من تسرب النفط البحري بمحطات التحلية، أبو ظبي، الإمارات العربية المتحدة، وقد تم تطوير منهجية لتقييم الأثر البيئي لمحطات التحلية باستخدام نموذج هيدروديناميكي مصفوفة التقييم السريع للأثر (RIAM) للتنبؤ باتجاه وتركيز النفط حول المحطة.

- دراسة جوليان وآخرون (2004م) بعنوان "نهج سريع وبسيط باستخدام الأساليب الإحصائية متعددة المتغيرات المقترنة ونظم المعلومات الجغرافية ونماذج المسار لتحديد المناطق المعرضة

أولاً: النمذجة الحاسوبية (Computer Modeling):

تعدُّ واحدة من الأدوات الرئيسة في العلوم الحديثة (السامراني، 2019، ص 183)، حيث تسهم في تحليل وتصوير الظواهر المعقدة وفهمها من خلال بناء ملف برمجي خاص بالنمذجة (script) ويمثل هذا الملف لغة برمجية تعتمد على الحوسبة لتسهيل تمثيل ومحاكاة مجموعة متنوعة من العمليات والأحداث ويعد استخدام الملف البرمجي الخاص بالنمذجة خطوة حيوية نحو تحويل الأفكار والنظريات إلى بيئات افتراضية يمكن استكشافها وتحليلها بطريقة تفاعلية (الكبيسي، 2020، ص 173).

كما يتيح إنشاء الملف البرمجي الخاص بالنمذجة للباحثين والجغرافيين إجراء تجارب افتراضية تقترب من الواقع (حسين، 2021، ص 347)، مما يسهم في فهم عميق للعمليات المعقدة وتأثيرها ويُمكن للمستخدمين تحليل سيناريوهات معقدة وتحديد تأثير المتغيرات المختلفة ويمثل هذا الأسلوب إمكانية إعادة إنشاء ظروف تجريبية محكمة وتحليل تفاعل النظام تحت مجموعة معينة من الظروف للتأكد من دقة الخطوات عمليات الاختبار والتأكد من دقة النتائج (الصالح والسرياني، 2014، ص 546).

لغة بايثون (Python)

بايثون هي لغة برمجة تفسيرية، موجهة نحو الكائنات البرمجية، عالية المستوى، تتميز بدلالاتها الديناميكية القوية وتتميز بهياكل بياناتها المدمجة عالية المستوى، بالإضافة إلى الكتابة والربط الديناميكي، مما يجعلها جذابة للتطوير السريع للتطبيقات، فضلاً عن استخدامها كلفة نصية.

تعتمد لغة بايثون على قواعد القراءة البسيطة وسهلة التعلم، وبالتالي، يقلل من تكلفة صيانة البرنامج. تدعم بايثون الوحدات والحزم، مما يشجع على تقسيم البرنامج إلى وحدات وإعادة استخدام الشفرة. مترجم بايثون والمكتبة القياسية الواسعة متوفران بشكل مجاني بصيغة المصدر أو الثنائية لجميع المنصات الرئيسية، ويمكن توزيعهما بحرية. بالإضافة إلى ذلك، توفر بايثون واجهات للعديد من استدعاءات النظام والمكتبات، فضلاً عن الأنظمة النوافذية المختلفة، مثل X11، Motif، وMac. يمكن لأي شخص استخدام بايثون لكتابة وحدات مدمجة باللغتين C أو ++C، أو كلفة تمديد للتطبيقات التي تحتاج إلى واجهة قابلة للبرمجة. وأخيراً، تعمل بايثون على العديد من المنصات مثل Windows، Unix، OS/2، Mac، وAmiga، وتقريباً، أي منصة مع مكتبات C. وعلى الرغم من حقوق النشر لتنفيذ بايثون، يمكن استخدامها وتوزيعها بحرية، حتى للاستخدام التجاري.

ولقد تم اختيار لغة البرمجة Python في تحليل ونمذجة تسرب النفط حيث إنها تتميز بالعديد من الفوائد والتي يمكن أن تساعد بشكل كبير في الوصول إلى هدف البحث ومنها يتميز بايثون بنظام غني من المكتبات البرمجية والأطر التي تخدم الحوسبة العلمية وتحليل البيانات المكانية والصور الجوية وتعتبر مكتبات مثل NumPy وPandas وMatplotlib قيمة لمعالجة البيانات وإنتاج تصوير بياني في سيناريوهات تسرب النفط هذا إلى جانب مكتبات متخصصة للتحليلات المكانية مثل GeoPandas والتي تمكن من التكامل المباشر مع أدوات نظم المعلومات الجغرافية وتحليلاتها (محمد، 2016، ص 286).

ثانياً: بناء النموذج التحليلي باستخدام بايثون (Python Modeling Script):

باستخدام لغة بايثون تم إنشاء ملفات برمجية (Scripts)، والتي يتم تشغيلها مباشرة حيث تقوم بتنفيذ مهمة محددة ما حيث إنها تحتوي على أكواد تكتب خارج نطاق أي فئات أو وظائف تمكن من اختبار كل ملف برمجي للتأكد من النتائج لكل ملف وأيضا يمكن من تتبع الأخطاء من جميع الدرجات سواء كانت منطقية أو غير منطقية، هذا إلى جانب إمكانية استيراد هذه الملفات البرمجية إلى الوحدة البرمجية (Module) والتي تكون مهمتها في هذه المرحلة تكامل الملفات البرمجية المجزئة في لغة البرمجة بايثون بحيث يتم تشغيلها بتسلسل حتى يتم تنفيذ كامل الكود البرمجي والحصول على النتائج.

- نموذج التموج - Advection Model

يحدث التموج بعد تسرب النفط حيث إن التموج هو العملية الفيزيائية التي تنقل بقعة نفطية من موقع إلى آخر بفعل تأثير الرياح والأمواج والتيارات السطحية والذي يعني أن عملية التموج تعتمد في المقام الأول على الظروف الجوية والبيئية (شلوف، حاتم، 2015، ص 253).

بشكل عام، تعتمد تموجات النفط على تأثيرات الرياح والأمواج وحقل التيارات السطحية، وهناك ثلاث أدوات تحليلية أساسية مستخدمة في النماذج الموجودة لمحاكاة تسرب النفط لتوليد بيانات الرياح والتيارات المتغيرة في الزمان و/أو المكان: عملية التحرك العشوائي، وتقنية سلسلة ماركوف (Soulsby, 1983, p. 269)، وأخيراً، نماذج الأرصاد الجوية المحلولة عددياً التي تحتوي أيضاً على طريقة المجموع الاتجاهي (Spaulding, 1988, p. 40). من دليل تنبؤ البقع النفطية لمنظمة البحرية الوطنية NOSCP، يتنبأ بتحريك بقعة النفط باستخدام خرائط ملاحية ذات صلة من خلال مجموعة من الأدوات والمعلومات حول سرعة الرياح والتيار واتجاهها، مما يوفر تنبؤ تقريبي لحركة بقعة النفط عن طريق رسم الرسوم البيانية الاتجاهية يدوياً (Bashat, 2005, p. 560).

النموذج المقترح للتموج باستخدام طريقة المجموع الاتجاهي (مقداري واتجاهي) حيث يسيطر على البقع النفطية قوى الرياح والتيارات السطحية حيث تتجه حركات الأمواج على مدى مدة زمنية كافية نحو الصفر نتيجة لاعتمادها على حركة الرياح " يتم حساب الأمواج كدالة تعتمد على متغير سرعة الرياح بدءاً من سرعة الرياح 0.0015 على ارتفاع 10 أمتار فوق سطح الماء " (French-McCay, 2004, p. 2442). لذا، يمكن استبعاد حركة الأمواج من النموذج وهدف نموذج التموج هو العثور على مسار النفط على السطح دون النظر إلى النفط المتفرق المتبقي في العمود المائي أو الغارق في قاع البحر، لذا فإن الظروف البيئية الأساسية ذات الصلة بهذا النموذج هي: سرعة واتجاه الرياح والتيار السطحي ويمكن تجزئة مسار بقعة النفط كما يلي: استخدام طريقة المجموع الاتجاهي وطريقة التوازن الكتلي لتحديد حركة بقعة النفط على سطح الماء وهذا يعني أن النتائج المترتبة على قوى الرياح والتيارات يتم دمجها لإعطاء سرعة نقطة مركز البقعة النفطية من أجل تحديد الموقع الجديد للبقعة النفطية عندما يتم تسرب النفط على سطح البحر؛ وفيما يلي معادلة التيار لتحديد حركة بقعة النفط من الموقع الابتدائي إلى الموقع الآخر:

$$\vec{X}t = \vec{X}t_0 + \Delta t * \vec{V}_{oil}$$

حيث:

$\vec{X}t$: الموقع الجديد لجزء بقعة النفط على السطح في الزمن t ، حيث يُمثَّل $\vec{X}t$ بنقطتين من دائرة العرض وخط الطول: (Long، Lat).

$\vec{X}t_0$: الموقع الابتدائي لجزء بقعة النفط على السطح في وقت معين t ، حيث يُمثَّل $\vec{X}t_0$ أيضًا بنقطتين، النقطة الابتدائية (Long، Lat) و $t^0 = t - \Delta t$.
 Δt : خطوة الزمن (ثانية).

\vec{V}_{oil} : سرعة جزء سطح بقعة النفط (م/ث) والتي تُعتبر العامل الرئيس الذي يؤثر على حركة بقع النفط. مع الأخذ في الاعتبار أن سرعة جزء سطح بقعة النفط \vec{V}_{oil} تنقسم إلى سرعتين، الأولى هي مكونات السرعة بسبب الرياح، بينما الثانية هي مكونات السرعة بسبب التيارات السطحية. ويُشار إلى هاتين السرعتين، المكونتين من الرياح والتيارات السطحية، بحركة المياه.

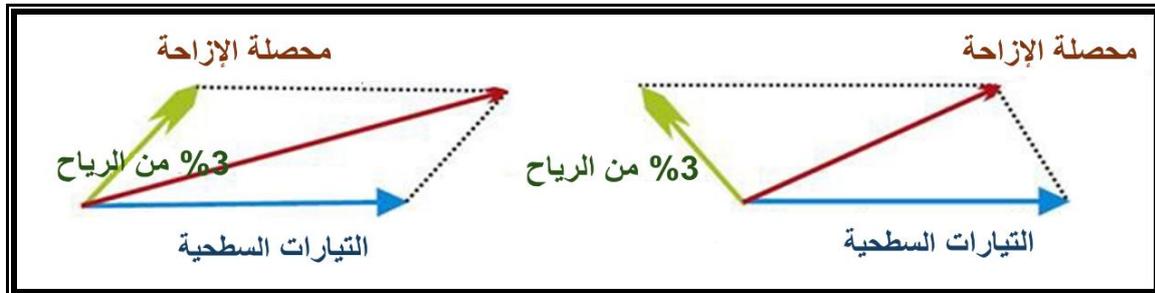
$$\vec{V}_{oil} = \vec{V}_w + \vec{V}_c$$

حيث:

\vec{V}_w : ناتج مكونات السرعة بسبب الرياح بوحدة (م/ث)

\vec{V}_c : ناتج مكونات السرعة بسبب التيارات السطحية بوحدة (م/ث)

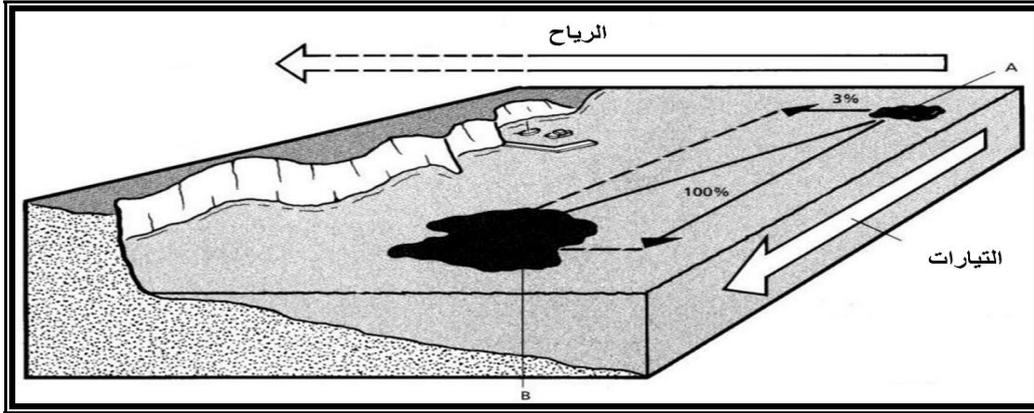
هذا ويمكن أن يتحرك الانسكاب النفطي في البيئة البحرية، سواء في المحيطات أو البحار أو الأنهار، لآلاف أو عشرات الكيلومترات، في سنوات، أو ساعات. تؤثر جميع هذه العوامل على نقل الانسكاب النفطي، وتعتمد على كمية ونوع تسرب النفط وحالة الطقس. كما ذكر سابقًا، يتم نقل الانسكاب النفطي على طول سطح الماء أساسًا بواسطة التيارات السطحية والرياح بالإضافة إلى ميله الطبيعي للانتشار، ويتحرك الانسكاب النفطي بشكل عام بمعدل يعادل 100% من سرعة التيار السطحي وحوالي 3% من سرعة الرياح، ومع ذلك، يكون الانسكاب النفطي إما في البحر المفتوح أو قرب اليابسة (Fingas, 2011, p. 177).



شكل (1) تأثير اتجاهات الرياح والتيارات المختلفة على الحركة الناتجة لانسكاب النفطي

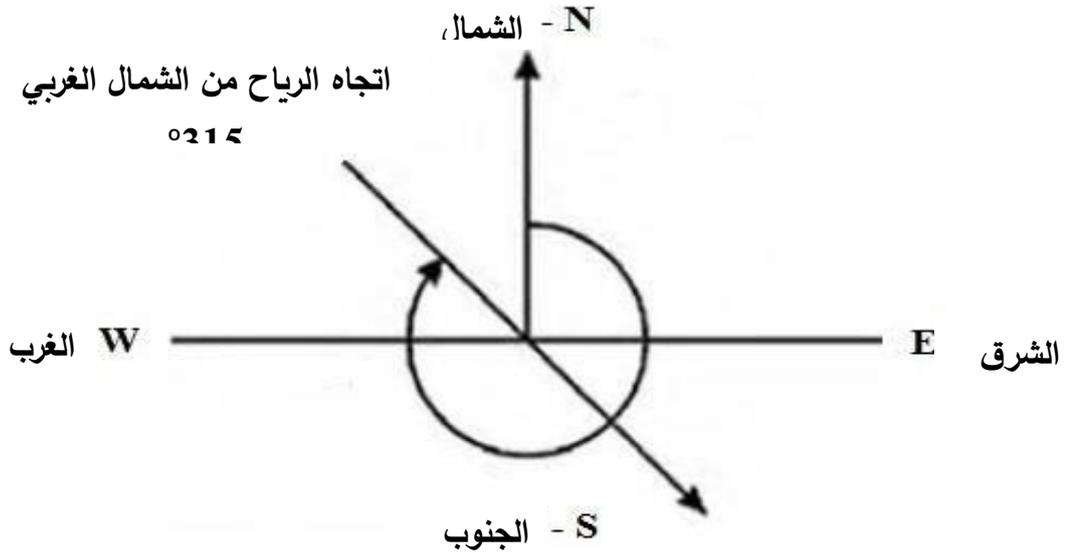
المصدر: (Fingas, 2017, p. 450) بتصريف الباحث.

ويتضح في الشكل (1)، الحركة الناتجة عن مدخلات الرياح والتيارات عند محاولة تحديد حركة الانسكاب النفطي. حيث يتم تحديد الحركة في النموذج المقترح من خلال جمع 100% من التيار المائي السطحي المحلي و3% من سرعة الرياح السائدة حيث يقوم المستخدم بإدخال توقعات الرياح والتيارات لكل سيناريو من سيناريوهات التسرب النفطي المهتم بها بناءً على أفضل البيانات الجوية المتاحة حيث يوضح الشكل (2) حركة تسرب النفط من النقطة A إلى النقطة B، وذلك وفقاً لنتيجة جمع سرعة الرياح مع سرعة التيار.



شكل (2) حركة البقعة النفطية الناتجة من الرياح والتيار.

المصدر: (Tohnain, 2021, p. 10) بتصريف الباحث.



شكل (3) مثال على اتجاه الرياح

المصدر: (Tohnain, 2021, p. 10) بتصريف الباحث.

- تأثيرات الرياح على جسيم السطح الزيتي

هناك ثلاثة عوامل رئيسية تؤثر على مسار تسرب النفط بسبب الرياح: التحلل الجوي للزيت، وتأثيرات السطح على الماء، والنقل المباشر ونظراً لأن الرياح تسبب انتقال السطح الزيتي، فإن نمذجة حقل الرياح لها دور كبير جداً في نجاح نمذجة مصير النفط حيث يتغير حقل الرياح بشكل أساسي في الزمن والمكان ويتم اعتماد نهج لتأثيرات الرياح على جسيم زيت السطح، حيث لا يتم تضمين الإجهاد الناتج عن الرياح في المعادلات التي تحكم حركة المياه.

يُطلب تقدير لحركة سطح الماء لسرعة واتجاه الرياح المعطاة لأغراض عملية مثل توقع حركة زيت السطح، وبالنظر في حلول لقوى الرياح التي تعمل على سطح الماء، وتحليل الرياح إلى مكونين لحل سرعات الرياح، u_w و v_w ، وهذه المكونات هي اتجاهات متعامدة على اتجاه x و y والتي تأخذ نحو الشمال والشرق على التوالي، يُظهر الشكل (3) أمثلة على اتجاه الرياح الذي يُحسب من الشمال (إيجابي نحو الشمال من خط الاستواء):

إحدى الخصائص المحددة لتحريك جسيم زيت السطح هو معدل الانجراف، وهناك مكونين للسرعة بسبب تأثير الرياح (سرعات الانجراف بسبب الرياح: u_{wc} و v_{wc}):

$$u_{wc} = C_1 * u_{wx}$$

$$v_{wc} = C_1 * v_{wx}$$

$$u_w = U_w * (\cos \alpha_w)$$

$$V_w = U_w * (\sin \alpha_w)$$

حيث:

u_{wc} : سرعة الانجراف بسبب الرياح في الاتجاه الأفقي X (م/ث)؛ يشير إلى عامل انجراف الرياح.

v_{wc} : سرعة الانجراف بسبب الرياح في الاتجاه الرأسي Y (م/ث)؛ يشير إلى عامل انجراف الرياح.

C_1 : عامل انجراف الرياح لفقاعة الزيت بنسبة مئوية معينة يُعتبر 3% من قيمة الزيادة لسرعة الرياح عند 10 أمتار فوق سطح الماء.

u_w : مكون سرعة الرياح في الاتجاه الأفقي X (م/ث) متغير بسبب U_w .

V_w : مكون سرعة الرياح في الاتجاه الرأسي Y (م/ث) متغير بسبب U_w .

U_w : قيمة سرعة الرياح بوحدات متر/ث، تُستخرج من البيانات الأرصادية عند 10 أمتار فوق سطح الماء.

α_w : قيمة اتجاه الرياح بالدرجات عند سرعة الرياح U_w ، يُستخرج من البيانات الأرصادية.

أخيراً ومن المعادلات السابقة يمكن العثور على قيمة مقدار مكونات السرعة بسبب الرياح \vec{V}_w واتجاهها θ_w من الصيغة التالية:

$$\vec{V}_w = \sqrt{(u_w)^2 + (v_w)^2} \quad \left(\frac{m}{sec} \right)$$

$$\theta_w = \tan^{-1} \left(\frac{v_w}{u_w} \right) \text{ degree}$$

حيث:

\vec{V}_w : مقدار سرعة الرياح (م/ث).

θ_w : اتجاه الرياح بالنسبة للشمال بالدرجات.

- تأثير التيارات السطحية على جزئيات البقع النفطية

التيار السطحي هو ظاهرة شائعة في البحار والمحيطات المفتوحة ويُقدم التيار على سطح البحر بشكل رئيس نتيجة لتأثير الرياح على الماء، ويطلق عليه "المحركات بواسطة الرياح" حيث يعتبر التيار السطحي ذا صلة مباشرة بانجراف المواد العائمة مثل جسيمات البقع النفطية، وهو آلية لنقل البقع النفطية ويعتبر التيار السطحي عاملاً مهماً في تحديد الطول والمقياس الزمني لتسرب النفط (نصري، 2012، ص 120).

بشكل عام، عند رسم التيارات في عمق مختلف في موقع محدد، قد تختلف القيم الاتجاهية للتيارات مع العمق، فضلاً عن قيم القوة وكما ذكر سابقاً، يتم استخدام طريقة جمع المتجهات لتحديد السرعة الناتجة للرياح والتيار السطحي حيث يبدو منطقيًا تحليل انجراف البقع النفطية بسبب التيارات السطحية استنادًا إلى فرضية الحركة على سطح الماء لحساب سرعات التيار السطحي وفيما يلي تحليل سرعة التيار السطحي إلى مكونين، u_c و v_c ، في اتجاهات متعامدة على اتجاه X, Y والتي تُعتبر عادة نحو الشمال والشرق على التوالي. تُدرج أدناه معادلات تحليل التيار السطحي:

$$u_c = U_c * (\cos \alpha_c)$$

$$v_c = U_c * (\sin \alpha_c)$$

حيث:

u_c : مكون سرعة التيار السطحي في اتجاه X (م/ث) المتغير نتيجة لـ U_c

v_c : مكون سرعة التيار السطحي في اتجاه Y (م/ث) المتغير نتيجة لـ U_c

U_c : قيمة سرعة التيار السطحي في مستوى الماء بوحدة متر/ثانية، والتي يتم أخذها من البيانات الأرصاد الجوية.

α_c : قيمة اتجاه التيار السطحي بزاوية درجات عند سرعة التيار السطحي (U_c) والتي يتم أخذها من البيانات الأرصاد الجوية.

وأخيرًا، يمكن العثور على قيمة مقدار مكونات السرعة نتيجة للتيار السطحي \vec{V}_c واتجاهه θ_c من الصيغة التالية:

$$\vec{V}_c = \sqrt{(u_c)^2 + (v_c)^2} \left(\frac{m}{sec} \right)$$

$$\theta_c = \tan^{-1} \left(\frac{v_c}{u_c} \right) \text{ degree}$$

حيث:

\vec{V}_c : الناتج من مكونات السرعة بسبب التيار السطحي بوحدة متر/ثانية.

θ_c : اتجاه الناتج من مكونات السرعة بسبب التيار السطحي بوحدة درجة.

وأخيراً، من المعادلات أعلاه، يمكن تحديد مكون سرعة جسيم زيت السطح وحساب القيمة لمقدار سرعة الزيت على سطح الماء تمثل بـ \vec{V}_{oil} ، واتجاهها بـ θ_{oil} من المعادلات التالية:

$$\vec{V}_{oil} = \sqrt{(u_w + u_c)^2 + (v_w + v_c)^2} \quad \left(\frac{m}{sec}\right)$$

$$\theta_{oil} = \tan^{-1} \left(\frac{v_w + v_c}{u_w + u_c}\right) \quad degree$$

- وجهة بقعة الزيت على سطح البحر

ويعد العامل الأكثر أهمية هو الحصول على سرعات الرياح والتيارات البحرية بدقة في وقت حدوث التسرب، بينما يُعد العامل الآخر، الذي يعتبر عاملاً ثانوياً للغاية، ظاهرة تعرف عادة بتأثير كوريوليس، حيث يلتف الجسم المتحرك قليلاً إلى اليمين في نصف الكرة الشمالي وإلى اليسار في نصف الكرة الجنوبي (البنائي، 2017، ص 153) ويُستخدم المعادلتين التاليتين للتعامل مع هذه الظاهرة لتحديد مسافة بقعة الزيت على سطح البحر من الموقع الأصلي إلى موقع آخر، ولا يؤخذ دور دوران الأرض في الاعتبار. لذا، قبل استخدام هذه المعادلات، يجب تحديد نقطة الوجهة على طول المدار الكبير (الأرض) ويمكن تحديد وجهة بقعة الزيت بعد تحديد مسافة سفر بقعة الزيت من الموقع الأصلي إلى موقع آخر نتيجة لتأثير التيار السطحي والرياح؛ حيث يمكن حساب هذه الوجهة عن طريق معرفة بعض المعلومات حول بقعة الزيت هي: النقطة الأولية، ومسافة السفر، واتجاهها "الاتجاه"؟ وتم اشتقاق الصيغ لاستخدامها في النموذج لتحديد نقطة وجهة بقعة الزيت لخطوط الطول ودوائر العرض الجديدة التي تسافر على أقصر مسافة.

$$\varphi_n = \sin^{-1} \left((\sin \varphi_{n-1} * \cos \delta) + (\cos \varphi_{n-1} * \sin \delta * \cos \theta) \right)$$

$$\lambda_n = \lambda_{n-1} + \tan^{-1} 2 \left((\sin \theta * \sin \delta * \cos \varphi_{n-1}), (\cos \delta - \sin \varphi_{n-1} * \sin \varphi_n) \right)$$

حيث:

φ : دائرة العرض للموقع.

λ : خط الطول للموقع.

θ : الاتجاه الناتج، أو الزاوية، لبقعة الزيت بالنسبة لتأثير الرياح والتيارات السطحية؛ حيث يتم القياس بشكل دائري عكس اتجاه عقارب الساعة ابتداءً من الشمال، مثلاً الشمال: $N = 0^\circ$ ، الشرق: $E = 90^\circ$ ، وهكذا، وعند استخدام الدرجات العشرية الموقعة، يكون الغرب بالسالب والجنوب بالسالب أيضاً، الاتجاه بالدرجات.

δ : المسافة المائلة؛ ($\delta = d/R$)

d : المسافة التي قطعها بقعة الزيت من الموقع الأولي إلى موقع آخر بالكيلومتر.

R : نصف قطر الأرض (الخط الأوسط = 6,371 كم).

ملحوظة: الأرض في الواقع مستديرة بشكل بسيط، وبينما الصيغ المذكورة أعلاه والتي تُستخدم في النموذج تعتمد على فرضية الأرض كشكل كروي وتعطي أخطاءً تتراوح عادة حتى 0.3%، (Movable Type) (Scripts, 2012).

- محاكاة البقع النفطية على سطح البحر

باستخدام نموذج تسرب النفط، يُمكن محاكاة حركة البقع النفطية على سطح الماء والتي تحدث نتيجة لحادث تسرب النفط بتعيين مجموعة من الإحداثيات المحلية السطحية لمنطقة الكمية الأولية والتي يتم تحديدها باستخدام طريقة جمع القوى الناجمة عن الرياح وسرعة التيار السطحي لتحديد المكون الناتج للبقعة النفطية على سطح الماء بوصفه مقداراً واتجاهاً حيث ستنقل البقعة النفطية إلى موقع جديد ويمكن تحديد تحركها باستخدام المعادلات \bar{V}_{oil} و θ_{oil} ثم يتم حساب الإحداثيات الجديدة للبقعة النفطية، نتيجة لتأثير الانتقال، عن طريق معرفة الموقع الأول للبقعة النفطية، ومسافة السفر، واتجاهها الذي يتم حسابه من خلال النموذج، ولا سيما من وحدة التدفق، وزمن المحاكاة باستخدام المعادلات λ_n و φ_n المضمنة في النموذج، يمكن تحديد مسار البقعة النفطية "خط المسار". إذا وصلت البقعة النفطية إلى جزيرة أو ساحل، فإنها تتمسك بجانبها، ومن ثم تُعاد إلى الماء ومن هنا تم تحقيق دراسة موازنة بين النموذج ونموذج SL-Ross لتأكيد صحة ودقة بيانات النموذج من خلال إجراء عدد من السيناريوهات المحاكاة ودراسة حالة حقيقية لحادث تسرب النفط الحقيقي باستخدام النموذج بشكل خاص عبر وحدة التدفق، وكذلك التحقق من النتائج مع SL-Ross.

- الافتراضات الأساسية لنموذج التدفق للتسرب النفطي

- يركز هذا النموذج ويقدم فقط لنقل البقع النفطية على سطح الماء ولا يقدم أي عملية أخرى لمصير النفط تحت سطح الماء. لذلك، فإن عمليات النموذج ثنائية الأبعاد ومتأثرة بقوى الرياح والتيار السطحي ولم يتم احتساب النقل الرأسي.
- يتم التركيز فقط على الإفراج الفوري لتسرب النفط بينما لم يتم احتساب الإفراج المستمر بشكل صريح وذلك بسبب التأثير الرئيس له على مصير تسرب النفط.

- تقسيمات والبناء الداخلي لنموذج التحليلي

تم بناء النموذج التحليلي باستخدام بايثون اعتماداً على تقسيم البيانات التي سوف يتم ادخلها من قبل المستخدم إلى سبعة أجزاء وهي المشروعات، الانسكابات، السيناريوهات كما يظهر من الشكل (4) وإلى الرياح والتيارات البحرية كما يظهر من الشكل (5) وإلى المعالجة والنتائج كما يظهر من الشكل (6) وذلك لتمكين المستخدم من إنشاء العديد من المشروعات وربط كل مشروع بجموعه من الانسكابات والسيناريوهات والبيانات الجوية والنتائج هذا بالإضافة إلى إمكانية استعادتها والتعديل على المدخلات وإعادة المعالجة للحصول على النتائج.

```

class Project (MosramBaseModel, models.Model):
    account = models.ForeignKey(
        settings.AUTH_USER_MODEL, null=True, blank=True, editable=False, on_delete=models.CASCADE)
    name = models.CharField(max_length=255)
    description = models.TextField(max_length=350, blank=True, null=True)

    def __str__(self):
        return self.name

class Release (MosramBaseModel, models.Model):
    account = models.ForeignKey(
        settings.AUTH_USER_MODEL, null=True, blank=True, editable=False, on_delete=models.CASCADE)
    project = models.ForeignKey(
        Project, on_delete=models.CASCADE, related_name="releases")
    name = models.CharField(max_length=255)
    release_date = models.DateField(blank=True, null=True)
    description = models.TextField(max_length=350, blank=True, null=True)
    volume = models.DecimalField(max_digits=10, decimal_places=2)
    location = models.PointField()
    latitude = models.CharField(max_length=16)
    longitude = models.CharField(max_length=16)

    def __str__(self):
        return self.name

class Scenario (MosramBaseModel, models.Model):
    account = models.ForeignKey(
        settings.AUTH_USER_MODEL, null=True, blank=True, editable=False, on_delete=models.CASCADE)
    release = models.ForeignKey(
        Release, on_delete=models.CASCADE, related_name="scenarios")
    name = models.CharField(max_length=255)
    description = models.TextField(max_length=350, blank=True, null=True)

    def __str__(self):
        return self.name

```

شكل (4) نموذج إدارة المشروعات، الانسكابات، السيناريوهات داخل بيئة عمل بايثون
المصدر: عمل الباحث من خلال كتابة أكواد بايثون البرمجية داخل برنامج Microsoft VSCODE

```

class Wind (MosramBaseModel, models.Model):
    account = models.ForeignKey(
        settings.AUTH_USER_MODEL, null=True, blank=True, editable=False, on_delete=models.CASCADE)
    scenario = models.ForeignKey(
        Scenario, on_delete=models.CASCADE, related_name="winds")
    wind_magnitude = models.DecimalField(max_digits=5, decimal_places=3)
    wind_direction = models.DecimalField(max_digits=5, decimal_places=2)
    wind_duration = models.DecimalField(validators=[
        MaxValueValidator(100),
        MinValueValidator(1)
    ], decimal_places=1, max_digits=3)

    def __str__(self):
        return str(self.id)

class Current (MosramBaseModel, models.Model):
    account = models.ForeignKey(
        settings.AUTH_USER_MODEL, null=True, blank=True, editable=False, on_delete=models.CASCADE)
    scenario = models.ForeignKey(
        Scenario, on_delete=models.CASCADE, related_name="currents")
    current_magnitude = models.DecimalField(max_digits=5, decimal_places=3)
    current_direction = models.DecimalField(max_digits=5, decimal_places=2)
    current_duration = models.DecimalField(validators=[
        MaxValueValidator(100),
        MinValueValidator(1)
    ], decimal_places=1, max_digits=3)

    # def __str__(self):
    #     return self.id

```

شكل (5) نموذج إدارة الرياح والتيارات البحرية داخل بيئة عمل بايثون.
المصدر: عمل الباحث من خلال كتابة أكواد بايثون البرمجية داخل برنامج Microsoft VSCODE.

```

class Solve (MosramBaseModel, models.Model):
    account = models.ForeignKey(
        settings.AUTH_USER_MODEL, null=True, blank=True, editable=False, on_delete=models.CASCADE)
    scenario = models.ForeignKey(
        Scenario, on_delete=models.CASCADE, related_name="solves")
    name = models.CharField(max_length=255, unique=True)
    time_step = models.IntegerField(validators=[
        MinValueValidator(1)
    ])
    tracking_type = models.CharField(max_length=16,
        choices=TRACKING_CHOICES, default="Tracking")

    def __str__(self):
        return self.name

class Result (MosramBaseModel, models.Model):
    account = models.ForeignKey(
        settings.AUTH_USER_MODEL, null=True, blank=True, editable=False, on_delete=models.CASCADE)
    solve = models.ForeignKey(
        Solve, on_delete=models.CASCADE, related_name="results")
    step = models.IntegerField(models.CharField(max_length=16))
    time_step = models.IntegerField(models.CharField(max_length=16))
    latitude = models.CharField(max_length=16)
    longitude = models.CharField(max_length=16)
    location = models.PointField()
    distance_to_shoreline = models.DecimalField(
        max_digits=10, decimal_places=2)
    water_type = models.TextField(max_length=350)

    def __str__(self):
        return self.id
    
```

شكل (6) نموذج إدارة بيانات المعالجة والنتائج داخل بيئة عمل بايثون.

المصدر: عمل الباحث من خلال كتابة أكواد بايثون البرمجية داخل برنامج Microsoft VSCODE

ثالثاً: سيناريوهات محاكاة تسرب النفط

يتطلب النموذج المدخلات التالية لإنشاء سيناريو تسرب نفط:

- الكمية الإجمالية لتسرب النفط المفرج عنه.
- إحداثيات مواقع التسرب الأولية للنفط على سطح البحر (دائرة العرض وخط الطول).
- تاريخ ووقت التسرب.
- نوع النفط.
- مدة المحاكاة.
- الظروف الجوية: بيانات الرياح والتيار السطحي (القوة والاتجاه).

تم تطبيق هذه السيناريوهات المحاكاة على منطقة سيدي كرير بالساحل الشمالي للبحر المتوسط بالقرب من الإسكندرية عند تقاطع (دائرة العرض 32° شمالاً وخط الطول 29° شرقاً). في الواقع، فإن السبب في اختيار منطقة سيدي كرير لتطوير طريقة سريعة وبسيطة هو أن هذه المنطقة تحتوي على محطة نقل النفط البحرية لشركة الأنابيب البترولية العربية (سوميد) مع خطر عالٍ من تسرب النفط ويمكن بسهولة تحضير رسوم بيانية مماثلة لأماكن أخرى ذات أخطار تلوث عالية (على سبيل المثال، رأس غارب، السخنة، ومواقع أخرى على البحر الأحمر وخليج السويس).

جدول (1) حالات محاكاة تسرب النفط من سيناريوهات محاكاة تسرب النفط

التيارات السطحية	الرياح	حالات محاكاة تسرب النفط	
		السرعة	الاتجاه
السرعة	الاتجاه	الحالة 2 - 48 ساعة	
السرعة	الاتجاه		الحالة 3 - 24 ساعة
منطقة جغرافية أخرى في البحر الأحمر تتمتع بقوة واتجاه ثابتين للرياح والتيارات السطحية			
دراسة حالة واقعية			

المصدر: من إعداد الباحث.

- الحالة "1" - 24 ساعة

جدول (2) الحالة "1" - 24 ساعة

التيارات السطحية		الرياح		الحالة "1" - 24 ساعة
السرعة	الاتجاه (الى)	السرعة	الاتجاه (من)	
متغير	ثابت	ثابت	ثابت	

المصدر: من إعداد الباحث

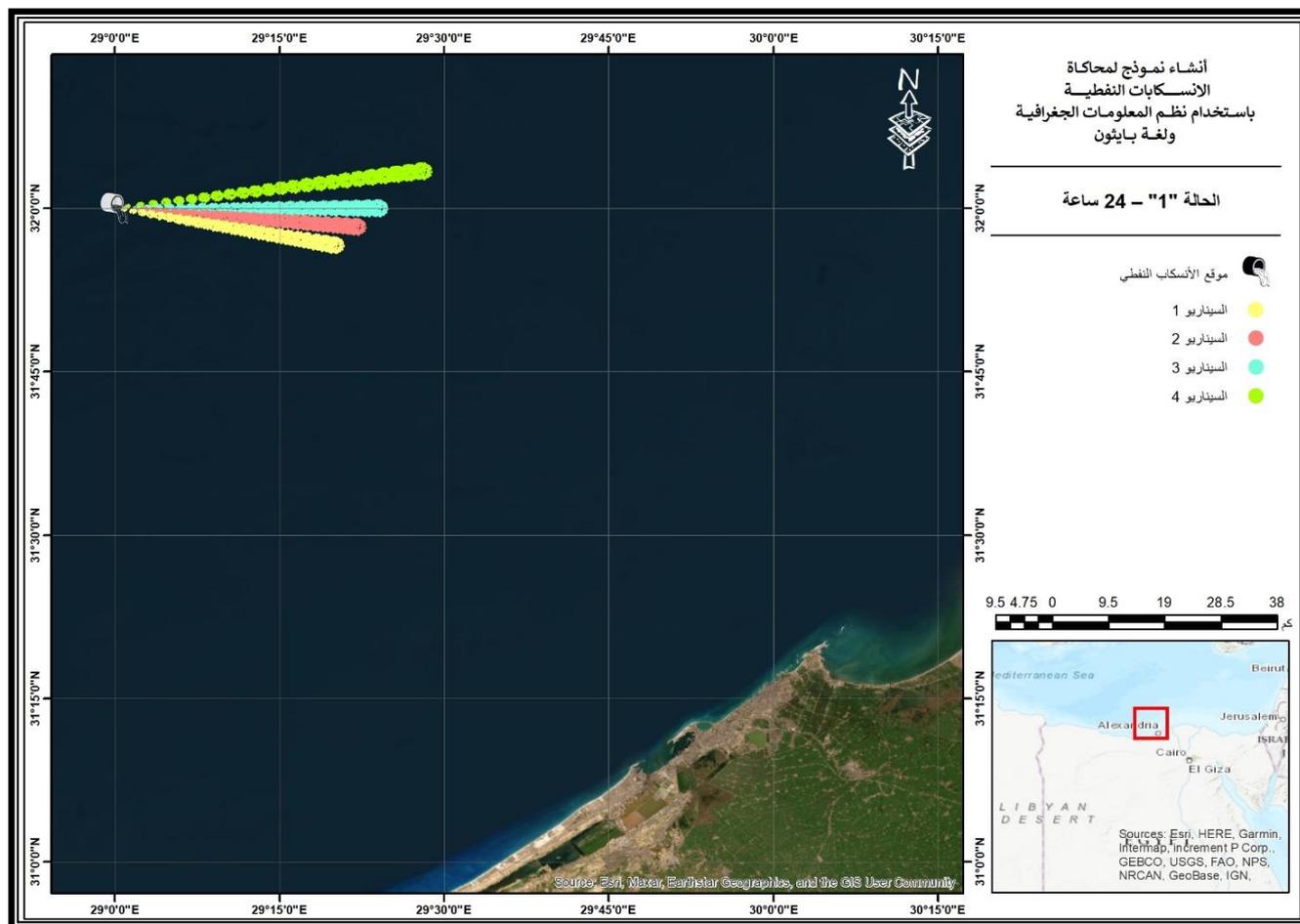
الجدول (3) يمثل الحالة 1 والذي يختبر تأثير مقدار التيار المتغير وكما يظهر من شكل (7) مسارات الزيت المنسكب لكل السيناريوهات وأن التغييرات الطفيفة في مقدار التيار تؤثر على مقدار واتجاه نتيجة مسار تسرب النفط والتي تتوافق مع نتائج نموذج تسرب النفط SL-ROSS.

من خلال الجدول (5) والذي يمثل الحالة 2 في النموذج والذي يختبر تأثير قوة الرياح المتغيرة ويوضح شكل (8) مسارات الزيت المنسكب لكل السيناريوهات والتغييرات الرئيسية في القوة والاتجاهات نتيجة للتغيير الطفيف في قوة الرياح حيث مع زيادة قوة الرياح، تتغير القوة الناتجة واتجاهها لنتيجة مسار تسرب النفط والتي تتوافق مع نتائج نموذج تسرب النفط SL-ROSS.

جدول (3) مدخلات ومخرجات حالة 1 من سيناريوهات محاكاة تسرب النفط

الانحراف المعياري (%)	المخرجات		المدخلات		المتغيرات	الفترة (الساعات)	السيناريو
	النموذج	SL-ROSS	التيارات السطحية	الرياح			
-0.026	0.72079	0.7206	0.4	20	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	1
N/A	101.3792	N/A	NE - 45	NW - 315	الاتجاه - الدرجات		
-0.004	31.94313 N	31.9445 N	32.0 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
-0.001	29.33296 E	29.3327 E	29.0 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
-0.072	0.78066	0.7801	0.5	20	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	2
N/A	95.26061	N/A	NE - 45	NW - 315	الاتجاه - الدرجات		
0.004	31.97137 N	31.9727 N	32.0 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
-0.002	29.36636 E	29.3657 E	29.0 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
-0.003	0.84813	0.8481	0.6	20	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	3
N/A	90.06337	N/A			الاتجاه - الدرجات		
-0.005	31.99960 N	32.0013 N	32.0 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
-0.002	29.39977 E	29.3992 E	29.0 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
0.016	0.99954	0.9997	0.8	20	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	4
N/A	81.85651	N/A	NE - 45	NW - 315	الاتجاه - الدرجات		
0.005	32.05656 N	32.0581 N	32.0 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
-0.003	29.46654 E	29.4658 E	29.0 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		

المصدر: من إعداد الباحث.



شكل (7) مسارات تسرب النفط للحالة 1 لجميع السيناريوهات.

المصدر: عمل الباحث باستخدام برنامج ESRI ARCGIS

الحالة "2" - 24 ساعة:

جدول (4) الحالة "2" - 24 ساعة

التيارات السطحية		الرياح		الحالة "2" - 24 ساعة
الاتجاه (الى)	السرعة	الاتجاه (من)	السرعة	
ثابت	ثابت	ثابت	متغير	

المصدر: من إعداد الباحث.

من خلال الجدول (7) والذي يمثل الحالة 9 في نموذج المحاكاة لتأثير اتجاهين متغيرين للرياح والتيار السطحي، وكما يظهر من الشكل (9) استجابات منطقية في مقدار واتجاه مسارات تسرب النفط التي تتطابق مع نموذج تسرب النفط SL-ROSS.

- دراسة حالة واقعية:

في تمام الساعة 16:00 مساءً يوم الأربعاء، 16 يونيو 2010، استلمت الغرفة الرئيسية للعمليات في الهيئة المصرية العامة للبيئة إخطارًا بوجود تسرب نفطي في منطقة البحر الأحمر شمال شرق الجونة، الغردقة. ويوضح الجدول (8) مواقع تسرب ورصد النفط التي تم رصدها في صباح يوم الخميس، 17 يونيو 2010: بعد إجراء مسح للشواطئ الملوثة في الغردقة.

في هذه الحالة تمت تغذية النموذج بالحالة الجوية المتأثرة بالتسرب النفطي في وقت الحادث من موقع "Weather Underground" (Tiffany, 2023). وتوضح بيانات الجدول (9) المتغيرات المدخلة والمخرجات للحادث المحاكى لتسرب النفط.

تُظهر نتيجة المحاكاة باستخدام النموذج أنه بعد مرور 24 ساعة وصل مسار تسرب النفط إلى الشاطئ عند دائرة عرض 27.27448 شمالاً وخط طول 33.82433 شرقاً؛ وقد تطابق موقع مخرجات النموذج مع تقرير المسح الفني للهيئة الوطنية للبيئة والمياه. يُظهر مسار تسرب النفط للحادث المحاكى بواسطة النموذج في الشكل (10،11).

جدول (5) مدخلات ومخرجات حالة 2 من سيناريوهات محاكاة تسرب النفط

الانحراف المعياري (%)	المخرجات		المدخلات		المتغيرات	الفترة (الساعات)	السيناريو
	النموذج	SL- ROSS	التيارات السطحية	الرياح			
-0.06	0.58285	0.5825	0.5	10	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	5
N/A	75.94757	N/A	NE - 45	NW - 315	الاتجاه - الدرجات		
0.004	32.05656 N	32.0578 N	32.0 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
-0.003	29.26659 E	29.2658 E	29.0 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
-0.072	0.78066	0.7801	0.5	20	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	6
N/A	95.26061	N/A	NE - 45	NW - 315	الاتجاه - الدرجات		
0.004	31.97137 N	31.9727 N	32.0 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
-0.002	29.36636 E	29.3657 E	29.0 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
-0.01	0.90099	0.9009	0.5	25	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	7
N/A	101.3792	N/A	NE - 45	NW - 315	الاتجاه - الدرجات		
0.003	31.92891 N	31.9300 N	32.0 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
-0.001	29.41617 E	29.4158 E	29.0 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
0.015	1.02915	1.0293	0.5	30	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	8
N/A	106.0167	N/A	NE - 45	NW - 315	الاتجاه - الدرجات		
0.004	31.88646 N	31.8878 N	32.0 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
0.000	29.46596 E	29.4659 E	29.0 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		

المصدر: من إعداد الباحث.

- الحالة "9" - 24 ساعة:

جدول (6) الحالة "9" - 24 ساعة

التيارات السطحية		الرياح		الحالة "9" - 24 ساعة
الاتجاه (الى)	السرعة	الاتجاه (من)	السرعة	
متغير	ثابت	متغير	ثابت	

المصدر: من إعداد الباحث.

جدول (7) مدخلات ومخرجات السيناريوهات المحاكاة لتسرب النفط في البحر الأحمر (الحالة 9)

الانحراف المعياري (%)	المخرجات		المدخلات		المتغيرات	الفترة (الساعات)	السيناريو
	النموذج	SL-ROSS	التيارات السطحية	الرياح			
0.000	1.40000	1.4	0.8	20	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	29
N/A	135.0413	N/A	SE - 135	NW - 315	الاتجاه - الدرجات		
-0.116	27.13697 N	27.1055	27.5 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
0.007	34.94497 E	34.9474	34.5 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
0.000	1.40000	1.4	0.8	20	السرعة - بالعقدة	24 ساعة	30
N/A	180.0310	N/A	S - 180 O	N - 0 O	الاتجاه - الدرجات		
-0.005	26.94038 N	26.939 N	27.5 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
0.011	34.49966 E	34.5036 E	34.5 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		

المصدر: من إعداد الباحث

جدول (8) بيانات موقع حادث تسرب النفط الحقيقي

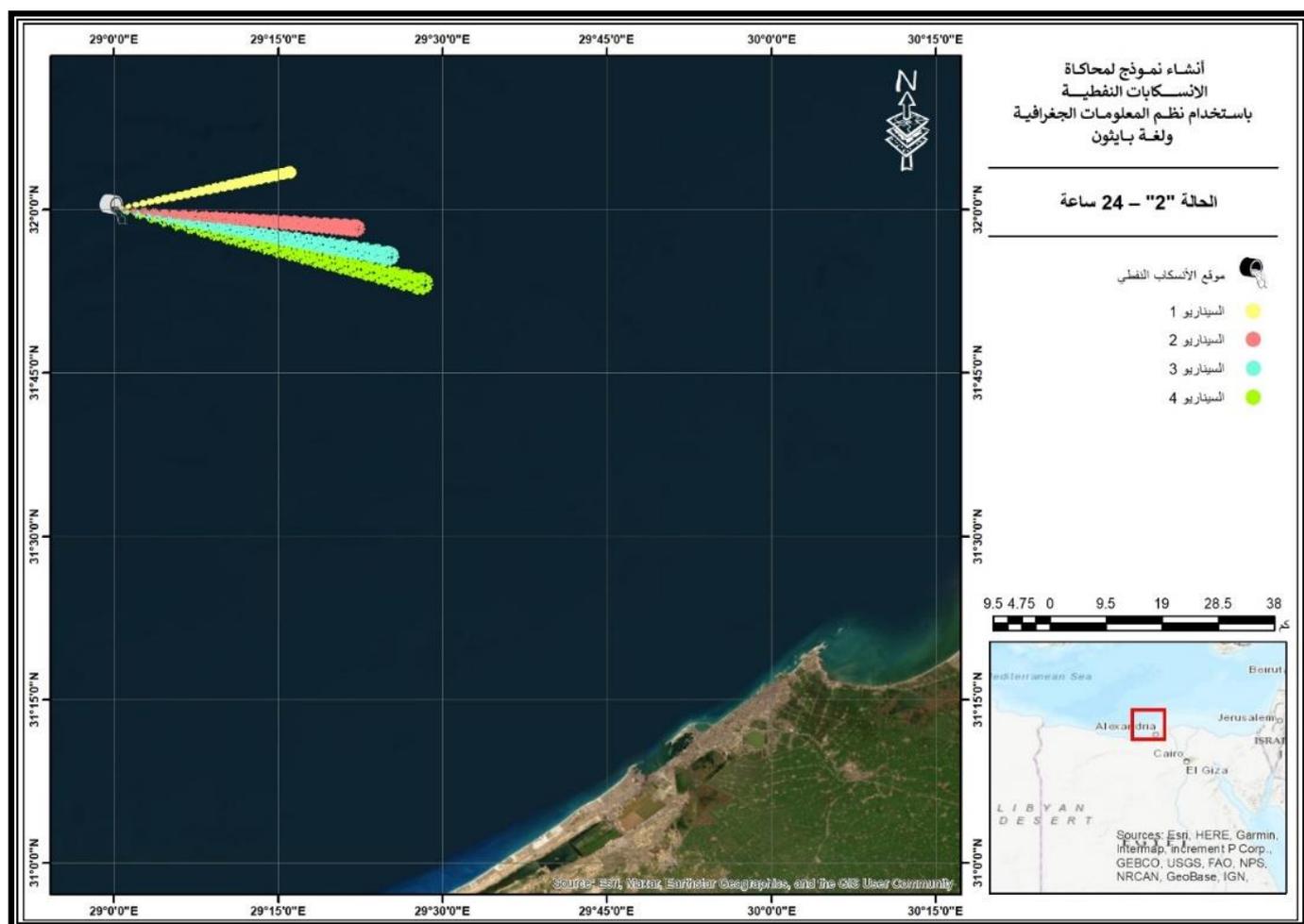
الموقع	احداثي دائرة العرض (Latitude)	احداثي خط الطول (Longitude)
نقطة البداية للتلوث	N "06.8 '38 °27	E "19.1 '42 °33
النقطة الأولى لتلوث النفط	N"23.87 '18°27	E "58.69 '46 °33
النقطة الثانية لتلوث النفط	N "42.61 '15 °27	E "13.72 '49 °33

المصدر: من إعداد الباحث.

جدول (9) مدخلات ومخرجات السيناريوهات المحاكاة لتسرب دراسة الحالة الواقعية.

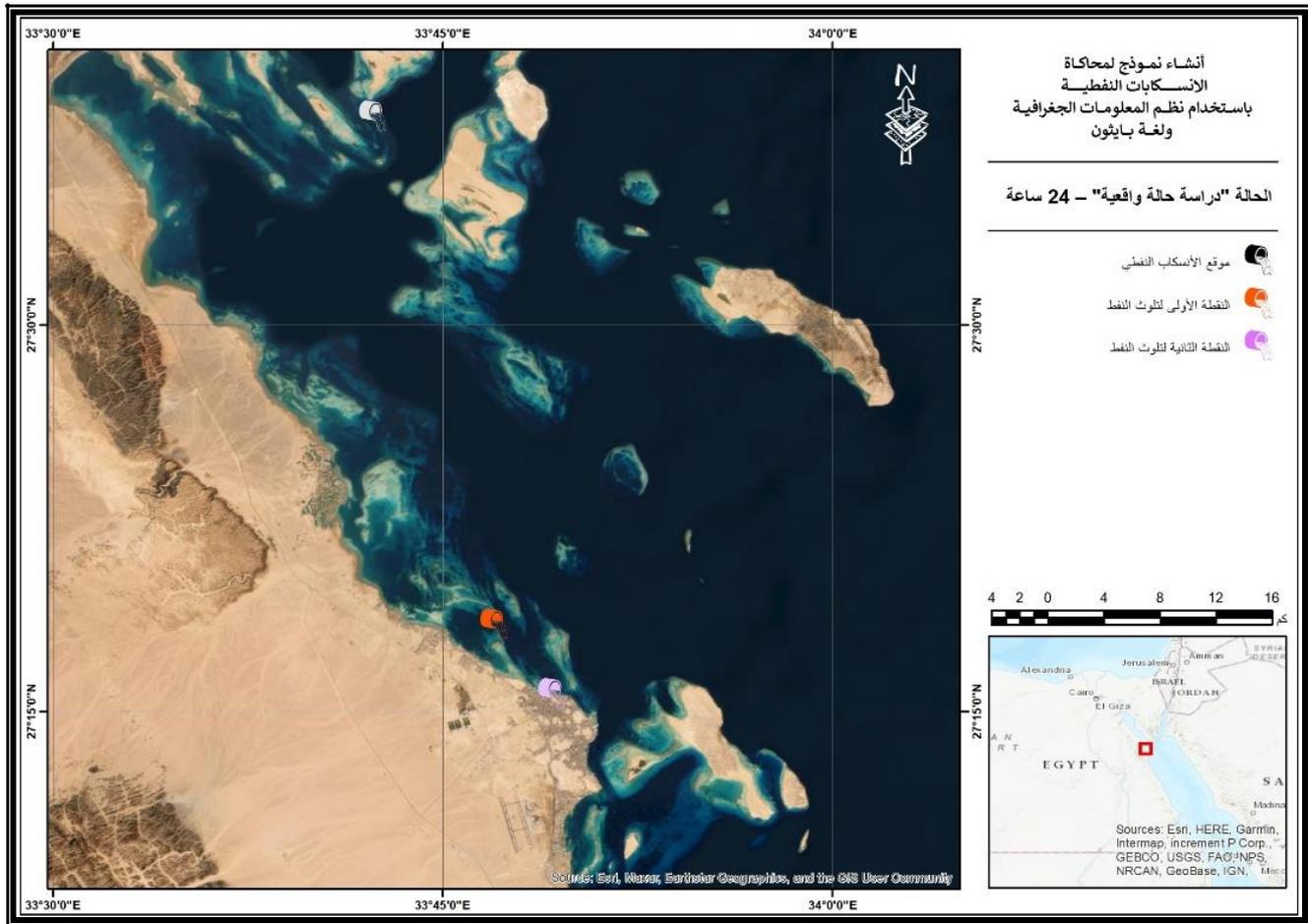
الانحراف المعياري (%)	المخرجات		المدخلات		المتغيرات	الفترة (الساعات)	السيناريو
	النموذج	SL-ROSS	التيارات السطحية	الرياح			
N/A	1.05000	N/A	0.57	16	السرعة - بالعقدة	6 ساعة	1
	180.03311		S - 180	N - 0	الاتجاه - الدرجات		
	27.53029 N		27.63522 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
	33.70521 E		33.70528 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
N/A	0.86000	N/A	0.47	13	السرعة - بالعقدة	6 ساعة	1
	157.53779		SSE - 157.5	NNW - 337.5	الاتجاه - الدرجات		
	27.45087 N		31.36235 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
	33.74223 E		29.76251 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
N/A	0.86000	N/A	0.47	13	السرعة - بالعقدة	6 ساعة	1
	157.53779		SSE - 157.5	NNW - 337.5	الاتجاه - الدرجات		
	27.37145 N		31.36235 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
	33.77921 E		29.76251 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		
N/A	1.05000	N/A	0.57	16	السرعة - بالعقدة	6 ساعة	1
N/A	180.03311	N/A	SSE - 157.5	NNW - 337.5	الاتجاه - الدرجات		
-0.046	27.27448 N	27.26184 N	31.36235 شمالاً		احداثي دائرة العرض (Latitude)		
-0.011	33.82433 E	33.82048 E	29.76251 شرقاً		احداثي خط الطول (Longitude)		

المصدر: من إعداد الباحث.



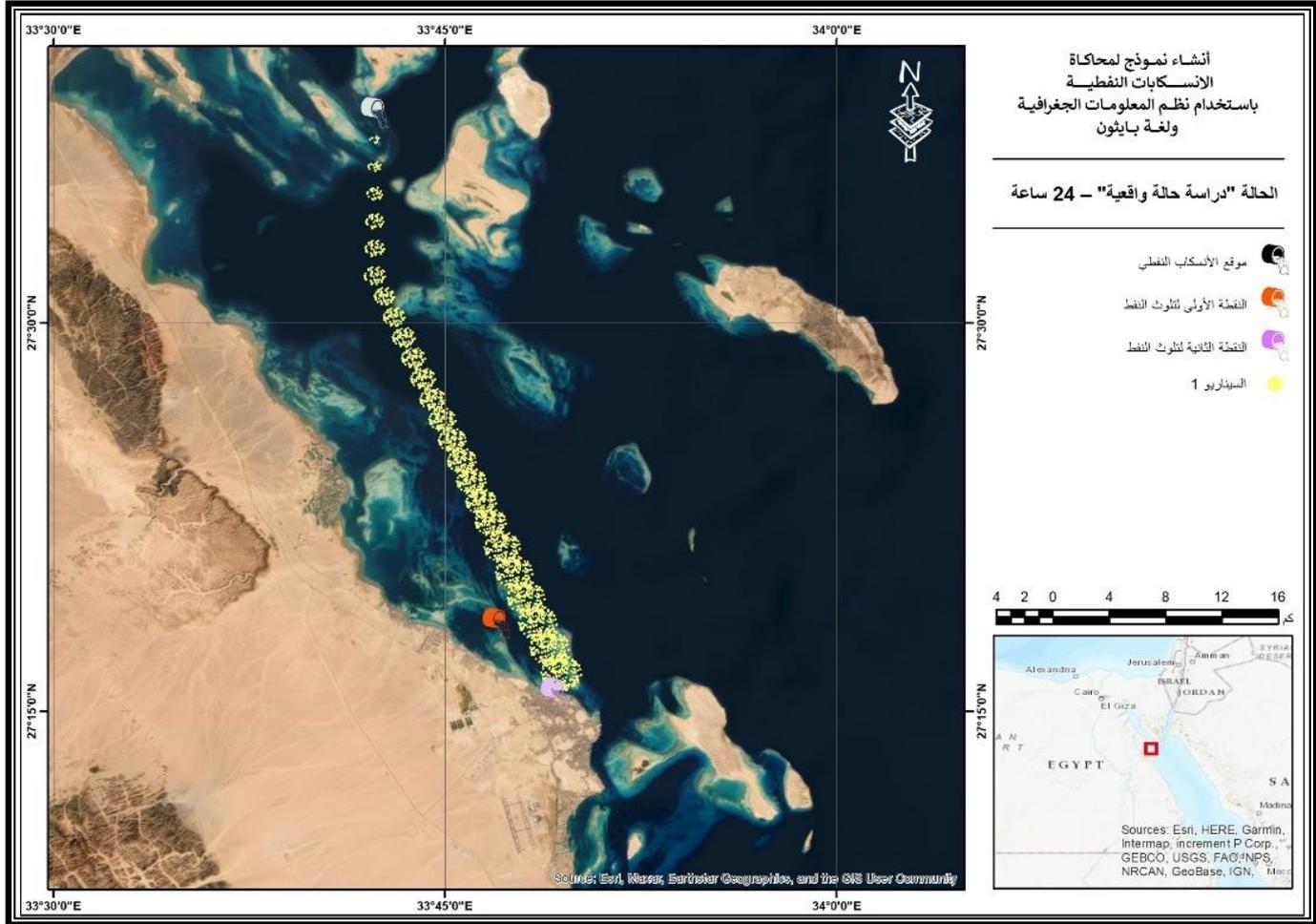
شكل (8) مسارات تسرب النفط للحالة 2 لجميع السيناريوهات.

المصدر: عمل الباحث باستخدام برنامج ESRI ARCGIS



شكل (10) المسار الفعلي لحادث تسرب النفط بواسطة النموذج

المصدر: عمل الباحث باستخدام برنامج ESRI ARCGIS Desktop



شكل (11) مسارات التسرب لدراسة الحالة الواقعية.

المصدر: عمل الباحث باستخدام برنامج ESRI ARCGIS Desktop.

النتائج والتوصيات

كشفت جميع سيناريوهات المحاكاة بواسطة النموذج المعد من قبل الدراسة خطأ لا يتجاوز 0.01% في الانحراف المعياري موازنة بنموذج تسرب النفط SL-ROSS المستخدم بالفعل.

استنادًا إلى نتائج البحث، يمكن اتخاذ الاستنتاجات التالية:

1. تم تطوير حل عددي لتأثير التيارات الناتجة عن الكثافة والتيارات السطحية الناتجة عن تأثير الرياح على سلوك بقعة الزيت عند سطح الماء ويشير الحل العددي إلى أن التيارات الناتجة عن الكثافة لها تأثيرات طفيفة (4% من سرعة الماء المفتوح) على حركة بقعة الزيت فوق الماء المفتوح، بينما تكتسب بقعة الزيت حوالي 100% من سرعة سطح البحر المفتوح وتظهر هذه النتائج تطابقًا وثيقًا مع القيم المستخدمة في معظم الدراسات السابقة.

2. من أجل تقليل الضرر البيئي والاقتصادي الناجم عن تسرب النفط، يجب أن يحتوي الجزء المهم من خطة الطوارئ على نموذج رقمي لتوقع موقع وتوزيع النفط بعد التسرب، تم تطوير نموذج نظام دعم القرار لتسرب النفط في هذا البحث لتحقيق هذا الهدف مع وحدتين متكاملتين للتنبؤ السريع بحركة تسرب النفط في أي مكان في البيئة البحرية لدعم التخطيط السريع والاستجابة.
3. تم تنفيذ وتحليل سيناريوهات مختلفة لحوادث تسرب النفط بشروط جوية متفاوتة ومن ثم تمت موازنة النتائج مع أحدث البرمجيات التجارية المستخدمة بشكل شائع: SL-ROSS وحيث أظهرت نتيجة الموازنة توافقًا كبيرًا للنتائج الكمية في كل حالات دراسة التسربات النفطية علاوة على ذلك، تطابقت نتائج النموذج بشكل كامل مع حادث حقيقي لتسرب النفط (دراسة حالة واقعية).
4. يتمتع النموذج بالمزايا والخصائص التالية المطورة حديثًا:
 - يمكن تحديد قوة واتجاه سرعة طبقة النفط في أي وقت بعد تسربها، بالإضافة إلى المسافة التي قطعتها خلال هذه المدة الزمنية. علاوة على ذلك، يظهر مسار طبقة النفط بعد أي مدة زمنية على نظام المعلومات الجغرافية (GIS) مباشرة.
 - أظهرت نتائج الدراسة أن واحدة من الميزات الرئيسية للنموذج هي القدرة على تحديد المصادر الأصلية (المشتبه فيها) التي وقع فيها تسرب النفط في منطقة معينة عن طريق التتبع العكسي.

المراجع:

أولاً: المراجع باللغة العربية

- السامرائي، (2019). *جغرافية النقل المعاصرة (وتطبيقاتها الحاسوبية)*. دار اليازوري للنشر والتوزيع.
- الصالح، عبد الله، والسرياني، محمود. (2014). *الجغرافيا الكمية والإحصائية: أسس وتطبيقات بالأساليب الحاسوبية الحديثة*. العبيكان للنشر.
- الكبيسي، أحمد. (2020). *النكاء المكاني والتقنيات الجغرافية*. دار اليازوري للنشر والتوزيع.
- حسين، ل. س. ا. (2021). *تحليل وتصميم نظم المعلومات مداخل ومنهجيات – أدوات وتقنيات*. دار الأكاديميون للنشر والتوزيع.
- خاطر، نصري. (2012). *الجغرافيا الطبيعية*. الجنادرية للنشر والتوزيع.
- محمد شلوف ووهاد حاتم. (2015). *نمذجة رقمية ثنائية البعد للانتشار السطحي للانسكابات النفطية من السفن على سطح البحر* *Journal for Research and Scientific Studies–Engineering Sciences Series, 37(6)*.
- ضياء، محمد. (2016). *دراسة في نظم المعلومات الجغرافية GIS المنهال*.

- محمود، توفيق. (2020). *منهجية البحث العلمي مع التطبيق على البحث الجغرافي*. دار الأنجلو المصرية.
- البناي، جاسم. (2017). *الأغلفة الأربعة: مقدمة في الجغرافيا الطبيعية والنظام الأرضي*. دار كلمات للنشر.

ثانيا:المراجع باللغة الإنجليزية

- Al Malek, S. A., & Mohamed, A. M. O. (2005). Environmental impact assessment of off shore oil spill on desalination plant. *Desalination*, 185(1–3). <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.02.073>
- Anderson, C. M. M., & LaBelle, R. P. (2000). Update of comparative occurrence rates for offshore oil spills. *Spill Science and Technology Bulletin*, 6(5–6). [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(01\)00049-4](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(01)00049-4)
- Bashat, H. (2005). Challenges of oil spill response in Egyptian coastal zone overlooking the mediterranean and the red sea. *2005 International Oil Spill Conference, IOSC 2005*, 559–565. <https://doi.org/10.7901/2169-3358-2005-1-559>
- Ditlevsen, O. (2003). Decision modeling and acceptance criteria. *Structural Safety*, 25(2). [https://doi.org/10.1016/S0167-4730\(02\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0167-4730(02)00048-6)
- Eide, M. S., Endresen, Ø., Breivik, Ø., Brude, O. W., Ellingsen, I. H., Røang, K., Hauge, J., & Brett, P. O. (2007). Prevention of oil spill from shipping by modelling of dynamic risk. *Marine Pollution Bulletin*, 54(10). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.06.013>
- Fingas, M. (2011). Oil Spill Science and Technology - Prevention, Response, and Cleanup. In *Oil Spill Science and Technology*. Elsevier/Gulf Professional Pub.
- Fingas, M. (2017). Introduction to Oil Spill Modeling. In *Oil Spill Science and Technology: Second Edition* (Second Edition, pp. 419–454). Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809413-6.00008-4>
- French-McCay, D. P. (2004). Oil spill impact modeling: Development and validation. In *Environmental Toxicology and Chemistry* (Vol. 23, Issue 10). <https://doi.org/10.1897/03-382>
- Ghalwash, G., & Elkawam, M. (2004). Updated oil spill risk assessment for the Gulf of Suez. *Management Information Systems*, 9.
- Guillen, G., Rainey, G., & Morin, M. (2004). A simple rapid approach using coupled multivariate statistical methods, GIS and trajectory models to delineate areas of common oil spill risk. *Journal of Marine Systems*, 45(3–4). <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2003.11.006>
- Mehanna, A., Omar, M., Hassan, A., & Turki, E. (2014). *Modelling of oil spill impacts on shoreline in Egypt*. 825–833.
- Movable Type Scripts. (2012). *Calculate distance, bearing and more between Latitude/Longitude points*. <https://movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>

- Omar, M. Y., Hassan, A. A., Alghami, M. A., & Hegazy, E. H. (2013). Oil spill risk assessment (case study). In *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources* (pp. 841–846). CRC Press.
- Shehadeh, M., Elsayed, T., Youssef, M., & Al Ashkar, G. (2012). A study of the behavior of oil spill from an offshore rig in Red Sea Region. *Society of Petroleum Engineers - North Africa Technical Conference and Exhibition 2012, NATC 2012: Managing Hydrocarbon Resources in a Changing Environment, 1*.
<https://doi.org/10.2118/149774-ms>
- Singhota, G. S. (1995). IMO's role in promoting oil spill preparedness. *Spill Science and Technology Bulletin*, 2(4), 207–215. [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(96\)00007-2](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(96)00007-2)
- Soulsby, R. L. (1983). The bottom boundary layer of shelf seas. *Elsevier Oceanography Series*, 35(C), 265–303. [https://doi.org/10.1016/S0422-9894\(08\)70503-8](https://doi.org/10.1016/S0422-9894(08)70503-8)
- Spaulding, M. L. (1988). A state-of-the-art review of oil spill trajectory and fate modeling. *Oil and Chemical Pollution*, 4(1), 39–55. [https://doi.org/10.1016/S0269-8579\(88\)80009-1](https://doi.org/10.1016/S0269-8579(88)80009-1)
- Tiffany, D. (2023). Weather Underground. In *Toy Medium*.
<https://doi.org/10.1525/9780520923072-012>
- Tohnain, F. (2021). TRAJECTORY ANALYSIS OF OIL SPILL AT THE GULF OF GUINEA: CASE OF CAMEROON – KRIBI. *American Journal of Environment Studies*, 4(1), 54–75. <https://doi.org/10.47672/ajes.756>

Developing an Analytical Model for Simulating Oil Spills Using Geographic Information Systems (GIS) and Python

Summary

Oil is one of the primary energy sources in the world, used extensively by humans across various fields. Oil spills may occur during storage, transportation, or sometimes because of exploration activities and other industrial operations. This research paper aims to develop an analytical model for simulating oil spills using Geographic Information System (GIS) analytical tools and their applications with the Python programming language. The model is designed to enable decision-makers and specialists in this field to track the movement of oil spills from the moment the incident occurs, following the slick's progression through all affected areas in real-time. This is based on atmospheric and temporal variables input by the user, providing detailed results for each location where the oil slick is present, in addition to determining the extent of the slick's presence (onshore, in shallow waters, or in deep waters). The research has developed a numerical solution to account for the effects of density-driven currents and wind-induced surface currents on the behavior of the oil slick at the water surface. To calibrate the accuracy of the developed model's results, a comparison was made between the data generated by the model and the data from one of the most widely used models globally by organizations, agencies, and companies - SL Ross Environmental Research Ltd. This was achieved through the execution and analysis of different oil spill scenarios under varying atmospheric conditions. The results of the

comparison showed a high degree of agreement, with a standard deviation ranging between (-0.005) to (0.011) in the latitude and longitude coordinates for the movement of the oil slick between the two models. Furthermore, the model's results were validated against an actual oil spill incident (a real-world case study).

Keywords: *Geographic Information Systems (GIS), Python, Oil Spill Models, Shallow Waters, Deep Waters.*