Al-Farouk journal of sciences
Volume (2), Issue (3) (JUNE, 2026)
ISSN: 3135-2359

مجلة الفاروق للعلوم
المجلد (2) ملحق العدد 3 يونيو 2026
ردمد: 3135-2359

تقييم أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية: دراسة تحليلية مقارنة للمؤشرات الكيميائية والبيولوجية

اميمة البشير الهادي الشائبي
قسم الهندسة المدنية – شعبة الموارد المائية – كلية الهندسة – جامعة الزاوية
am.alshaebi@zu.edu.ly
https://orcid.org/0009-0004-2195-4302
سنية عبدالسلام إسماعيل التركي
قسم الهندسة المدنية – شعبة الموارد المائية – كلية الهندسة – جامعة الزاوية
s.eltuki@zu.edu.ly
https://orcid.org/0009-0007-2759-1217

Assessing the Impact of Wastewater Discharge on Seawater Quality in the Asban Area of Zawiya City: A Comparative Analytical Study of Chemical and Biological Indicators

Omaima Al-Bashir Al-Hadi Al-Shaibi
Department of Civil Engineering - Water Resources Division - Faculty of Engineering - University of Zawiya
Sonia Abdel Salam Ismail Al-Turki
Department of Civil Engineering - Water Resources Division - Faculty of Engineering – University of Zawiya

تاريخ الاستلام: 2026/05/21 تاريخ المراجعة 06/16/ 2026 تاريخ القبول:2026/06/28- تاريخ النشر: 10/07/ 2026

الملخص: تهدف هذه الدراسة بصفة رئيسية إلى تقييم أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، وذلك من خلال تحليل بعض المؤشرات الكيميائية والبيولوجية ومقارنتها بين عينات الدراسة، من خلال قياس بعض المؤشرات الكيميائية والبيولوجية لجودة مياه البحر بمنطقة أسبان، والمتمثلة في الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، والعسر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين، وتحديد مستوى التغير في خصائص مياه البحر في منطقة الدراسة وفقًا لنتائج التحاليل المعملية للعينات المأخوذة من مواقع مختلفة فضلا عن مقارنة قيم المؤشرات الكيميائية والبيولوجية بين العينات القريبة والبعيدة من نقطة تصريف مياه الصرف الصحي، وتوصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج اهمها أن جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية تختلف بين العينات، مما يدل على وجود تباين مكاني في خصائص المياه وبينت نتائج سنة 2024 أن قيم الأس الهيدروجيني تراوحت بين 7.00 و7.75، وهي قيم قريبة من التعادل، مما يجعل هذا المؤشر أقل تعبيرًا عن التلوث مقارنة ببعض المؤشرات الأخرى وأظهرت قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية TDS تقاربًا بين العينات، حيث تراوحت بين 48.007 و50.007، وهو ما يشير إلى محدودية التباين في هذا المؤشر خلال سنة 2024 وسجل مؤشر العسر الكلي T.H تباينًا واضحًا بين العينات، خاصة في العينة D والعينة A، مما يعكس وجود تغير في بعض الخصائص الكيميائية لمياه البحر.

الكلمات المفتاحية: الصرف الصحي-مياه البحر- الزاوية دراسة تحليلية – المؤشرات الكيميائية والبيولوجية.

Abstract: This study primarily aims to assess the impact of wastewater discharge on seawater quality in the Asban area of Zawiya city. This is achieved through the analysis and comparison of several chemical and biological indicators across the study samples. Specifically, the study measured various seawater quality indicators in the Asban area, including pH, total dissolved solids (TDS), total hardness, calcium,

magnesium, nitrates, and biochemical oxygen demand (BOD). The study also aimed to determine the degree of change in seawater properties within the study area based on laboratory analysis results from samples taken from different locations. Furthermore, the study compared the values of chemical and biological indicators between samples located near and far from the wastewater discharge point. The study concluded that seawater quality in the Asban area of Zawiya city varies among the samples, indicating spatial variations in water characteristics. The results from 2024 showed that pH values ranged between 7.00 and 7.75, values close to neutral, making this indicator less indicative of pollution compared to some other indicators. Total dissolved solids (TDS) values were also analyzed. The samples showed a convergence, ranging between 48.007 and 50.007, indicating limited variation in this indicator during 2024. The total hardness index (T.H.) showed a clear variation between the samples, particularly between samples D and A, reflecting a change in some of the chemical properties of the seawater

Keywords: Wastewater - Seawater – Angle Analytical Study - Chemical and Biological Indicators

المقدمة

تُعد المياه البحرية من المكونات الأساسية للبيئة الطبيعية، فهي ليست مجرد وسط مائي واسع، بل نظام بيئي متكامل تتفاعل داخله الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، وترى الباحثات أن المحافظة على جودة مياه البحر تمثل ضرورة بيئية وهندسية في الوقت نفسه، لأن أي خلل في خصائص المياه قد ينعكس على سلامة البيئة الساحلية، وعلى كفاءة إدارة شبكات الصرف والبنية التحتية المرتبطة بها، خاصة في المدن التي تتداخل فيها المناطق العمرانية مع الساحل.

وقد أصبحت البيئات الساحلية في العصر الحديث أكثر عرضة للتلوث نتيجة تزايد النمو السكاني والعمراني، واتساع الأنشطة الخدمية والصناعية، وارتفاع كميات المياه العادمة الناتجة عن الاستخدامات المنزلية والمرافق العامة، وتُعد مياه الصرف الصحي من أكثر مصادر التلوث تأثيرًا في جودة المياه البحرية، لأنها قد تحمل مواد عضوية ومغذيات وأملاحًا ومركبات ذائبة ومؤشرات ميكروبية، وعند تصريفها في البحر دون معالجة كافية فإنها قد تُحدث تغيرات واضحة في خصائص المياه وجودتها.

وتزداد خطورة تصريف مياه الصرف الصحي في المناطق الساحلية عندما تكون نقاط التصريف قريبة من الشاطئ أو من مناطق الاستخدام البشري، لأن الملوثات قد تتركز في مواضع معينة بحسب حركة التيارات واتجاه الرياح وطبيعة اختلاط المياه، وقد أوضحت دراسة أُجريت على شاطئ العودة بمدينة طبرق أن تصريف مياه الصرف المعالجة ثانويًا بكفاءة تشغيلية منخفضة أدى إلى تدهور ملحوظ في جودة المياه الساحلية، وارتفاع بعض المؤشرات الفيزيائية والكيميائية والميكروبية في المواقع القريبة من نقطة التصريف مقارنة بالمواقع الأبعد (Elbagrmi et al., 2026).

ويمثل تقييم جودة مياه البحر من خلال المؤشرات الكيميائية والبيولوجية مدخلًا علميًا مهمًا لفهم طبيعة التأثر البيئي، إذ تساعد مؤشرات مثل الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، والعسر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين في تكوين صورة أكثر وضوحًا عن حالة المياه، كما أن الاعتماد على أكثر من مؤشر يسمح بتفسير التغيرات بصورة أدق، لأن تلوث المياه لا يظهر دائمًا في مؤشر واحد، بل يتضح غالبًا من خلال مجموعة متداخلة من المؤشرات.

وقد أكدت الدراسات الحديثة أن تصريف المياه العادمة ومخارج الصرف الساحلية يمكن أن يؤدي إلى ارتفاع تركيزات بعض المغذيات مثل النترات والفوسفات، وأن استخدام القياس الميداني أو تقنيات الرصد الحديثة يساعد في تتبع أثر هذه التصريفات على جودة المياه، فقد بينت دراسة Alrashed وآخرين أن مخارج التصريف الساحلية في خليج الكويت ارتبطت بارتفاع تركيزات النترات والفوسفات فوق القيم المعيارية لجودة مياه البحر في مواقع التصريف، وهو ما يعكس حساسية البيئات الساحلية تجاه مصادر الصرف المختلفة (Alrashed et al., 2025).

وفي السياق الليبي، تبرز الحاجة إلى دراسة جودة مياه البحر في المدن الساحلية، نظرًا لامتداد العمران والأنشطة البشرية بمحاذاة البحر، ووجود مناطق قد تتأثر بتصريف مياه الصرف الصحي بصورة مباشرة أو غير مباشرة، وتُعد مدينة الزاوية من المدن الساحلية التي تجمع بين النشاط العمراني والخدمي والصناعي والبيئة البحرية، الأمر الذي يجعل دراسة جودة مياه البحر في بعض مناطقها مجالًا مهمًا للبحث العلمي التطبيقي.

ومن هذا المنطلق، يأتي البحث الحالي بعنوان: **تقييم أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية: دراسة تحليلية مقارنة للمؤشرات الكيميائية والبيولوجية**، وذلك من خلال تحليل عدد من المؤشرات التي تعكس حالة المياه، ومقارنة نتائج العينات المأخوذة من مواقع مختلفة، بما يساعد على تقديم قراءة علمية لحالة مياه البحر في منطقة الدراسة ضمن إطار بيئي وهندسي تطبيقي.

مشكلة البحث

تمثل مشكلة تصريف مياه الصرف الصحي في البيئة البحرية إحدى القضايا البيئية التي لا يمكن التعامل معها بوصفها مشكلة خدمية فقط، بل هي مشكلة هندسية وبيئية ترتبط بكفاءة شبكات الصرف، وطرق المعالجة، ومواقع التصريف، وقدرة البيئة البحرية على استيعاب الملوثات، ومن خلال طبيعة تخصص الباحثات في الهندسة المدنية، وما يرتبط به من اهتمام بالبنية التحتية وشبكات الصرف الصحي وإدارة المياه، تبرز الحاجة إلى دراسة هذه المشكلة بصورة تطبيقية قائمة على القياس والتحليل، لا على الملاحظة العامة فقط.

وتكمن خطورة مياه الصرف الصحي في أنها قد تحمل ملوثات متعددة، منها المواد العضوية، والمغذيات، والأملاح الذائبة، وبعض العناصر الكيميائية، فضلًا عن المؤشرات البيولوجية والميكروبية التي قد تؤثر في خصائص المياه، وعند وصول هذه المياه إلى البحر دون معالجة كافية أو من خلال معالجة محدودة الكفاءة، فإنها قد تؤدي إلى ارتفاع الحمل العضوي، وتغير بعض الخصائص الكيميائية، وزيادة بعض الملوثات المرتبطة بالصرف، بما ينعكس على جودة المياه القريبة من مناطق التصريف.

وقد أوضحت دراسة حديثة على شواطئ مصراتة أن التلوث البكتيري في المياه البحرية يرتبط في كثير من الحالات بمصادر مثل مياه الصرف الصحي غير المعالجة، وأن المواقع القريبة من مصادر التلوث سجلت مستويات أعلى من التلوث مقارنة بالمواقع الأبعد، مما يعكس أهمية دراسة جودة مياه البحر في المدن الساحلية الليبية من خلال مؤشرات قابلة للقياس (Al-Ghobeini & Murad, 2025)، وهذا يعزز الحاجة إلى عدم الاكتفاء بالمعاينة البصرية للمياه، لأن كثيرًا من مظاهر التلوث لا تظهر إلا من خلال الفحص المعملي.

وتزداد المشكلة تعقيدًا في المناطق الساحلية التي تتأثر بعوامل متداخلة مثل قرب نقطة التصريف، وحركة التيارات، واتجاه الرياح، ووقت أخذ العينات، ودرجة اختلاط مياه الصرف بمياه البحر، فقد بينت دراسات حديثة أن المؤشرات المائية قد تختلف مكانيًا وزمنيًا حسب نوع مصدر الصرف وموقعه، وأن المياه الواقعة أسفل أو قرب نقاط التصريف يمكن أن تسجل ارتفاعًا في عدة مؤشرات مقارنة بالمواقع المرجعية أو الأقل تأثرًا (Bian et al., 2025)، وهذا يعني أن تقييم المشكلة يحتاج إلى عينات متعددة ومقارنة بين المواقع، بدلًا من الاعتماد على عينة واحدة أو ملاحظة عامة.

وفي منطقة أسبان بمدينة الزاوية، تظهر الحاجة إلى دراسة أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر، خاصة في ظل وجود بيئة بحرية قريبة من مصادر محتملة للتصريف، وتتمثل المشكلة في عدم وضوح حجم التأثر الفعلي لمياه البحر في هذه المنطقة، وعدم كفاية الملاحظة الظاهرية للحكم على جودة المياه، مما يستدعي الاعتماد على

مؤشرات كيميائية وبيولوجية مثل الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، والعسر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين.

كما أن المشكلة لا تقف عند معرفة ما إذا كانت مياه البحر متأثرة بالصرف الصحي أم لا، بل تمتد إلى تحديد طبيعة هذا التأثر، ومدى اختلافه بين العينات المأخوذة من مواقع مختلفة، ومعرفة المؤشرات الأكثر تعبيرًا عن التغير في جودة المياه، ويزداد هذا الأمر أهمية عند وجود مقارنة زمنية بين نتائج سنة 2024 ونتائج سابقة لسنة 2021، لأن المقارنة تساعد على فهم اتجاه التغير في بعض المؤشرات عبر الزمن.

ومن هنا تتحدد مشكلة البحث في الحاجة إلى تقييم علمي ومعملي لأثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، من خلال تحليل المؤشرات الكيميائية والبيولوجية ومقارنتها مكانيًا وزمنيًا، وصولًا إلى الإجابة عن التساؤل الرئيس والتساؤلات الفرعية الآتية:

تساؤلات الدراسة

التساؤل الرئيسي:

ما أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية في ضوء المؤشرات الكيميائية والبيولوجية محل الدراسة؟

التساؤلات الفرعية:

1. ما مستوى جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية وفقًا لنتائج المؤشرات الكيميائية والبيولوجية المقاسة؟
2. ما مدى اختلاف قيم المؤشرات الكيميائية والبيولوجية بين عينات مياه البحر المأخوذة من مسافات مختلفة عن نقطة تصريف مياه الصرف الصحي؟
3. ما أكثر المؤشرات الكيميائية والبيولوجية تعبيرًا عن تأثر مياه البحر بتصريف مياه الصرف الصحي في منطقة الدراسة؟
4. ما طبيعة الفروق بين نتائج تحاليل مياه البحر لسنة 2024 ونتائج سنة 2021 في المؤشرات محل الدراسة؟

فروض الدراسة

تنطلق الدراسة من الفرض الرئيسي الآتي:

الفرض الرئيسي:

يوجد أثر لتصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، يظهر من خلال تغير بعض المؤشرات الكيميائية والبيولوجية محل الدراسة.

ونتفرع عنه الفروض الآتية:

1. توجد اختلافات في قيم المؤشرات الكيميائية والبيولوجية لجودة مياه البحر بين العينات المأخوذة من مواقع مختلفة بمنطقة الدراسة.
2. تسهم المسافة عن نقطة تصريف مياه الصرف الصحي في تفسير التباين المكاني لبعض مؤشرات جودة مياه البحر، دون أن تكون العامل الوحيد المؤثر.
3. تعكس بعض المؤشرات، مثل المواد الصلبة الذائبة الكلية، والعسر الكلي، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين، وجود تغيرات في خصائص مياه البحر بمنطقة الدراسة.
4. توجد فروق واضحة بين نتائج تحاليل مياه البحر لسنة 2024 ونتائج سنة 2021 في بعض المؤشرات الكيميائية والبيولوجية محل الدراسة.

أهمية الدراسة

تستمد هذه الدراسة أهميتها من طبيعة الموضوع الذي تتناوله، إذ يرتبط تلوث مياه البحر بمياه الصرف الصحي بواحدة من القضايا البيئية المهمة في المدن الساحلية، خاصة في المناطق التي تشهد تداخلًا بين النشاط السكاني والعمراني والبيئة البحرية، ويمكن توضيح أهمية الدراسة من خلال جانبين رئيسيين:

أولًا: الأهمية العلمية

تتمثل الأهمية العلمية للدراسة في تناولها موضوع جودة مياه البحر من خلال مؤشرات كيميائية وبيولوجية قابلة للقياس، بما يساعد على تقديم قراءة علمية لحالة المياه في منطقة أسبان بمدينة الزاوية، كما تسهم الدراسة في إثراء الدراسات البيئية المحلية المتعلقة بتلوث البيئة البحرية، خاصة أن هذا النوع من الدراسات الميدانية لا يزال بحاجة إلى مزيد من الاهتمام في المناطق الساحلية الليبية.

وتبرز أهمية الدراسة كذلك في اعتمادها على مقارنة نتائج التحاليل بين أكثر من عينة مأخوذة من مسافات مختلفة عن نقطة تصريف مياه الصرف الصحي، الأمر الذي يساعد على فهم طبيعة التغير في خصائص المياه بحسب القرب أو البعد عن مصدر التلوث، كما أن إدخال المقارنة بين نتائج سنة 2024 ونتائج سنة 2021 يمنح الدراسة بعدًا تحليليًا يساعد على ملاحظة اتجاه التغير في بعض مؤشرات جودة المياه عبر الزمن.

ثانيًا: الأهمية العملية

تتمثل الأهمية العملية للدراسة في إمكانية الاستفادة من نتائجها في دعم جهود الجهات المختصة بمجال حماية البيئة وإدارة مياه الصرف الصحي بمدينة الزاوية، وذلك من خلال تقديم بيانات ميدانية حول حالة مياه البحر بمنطقة أسبان، فقياس مؤشرات مثل الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة، والعسر الكلي، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين يمكن أن يساعد في تحديد مستوى التأثر البيئي الناتج عن تصريف مياه الصرف الصحي.

كما يمكن أن تسهم الدراسة في توجيه الانتباه إلى ضرورة تحسين نظم معالجة مياه الصرف الصحي، وتعزيز برامج الرصد الدوري لجودة المياه البحرية، والحد من التصريف غير الآمن في المناطق الساحلية، ومن الناحية التطبيقية، يمكن أن تمثل نتائج الدراسة أساسًا أوليًا لاتخاذ إجراءات وقائية أو علاجية تساعد في حماية البيئة البحرية، والمحافظة على الموارد المائية، وتقليل المخاطر البيئية والصحية المرتبطة بتدهور جودة مياه البحر.

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة بصفة رئيسية إلى تقييم أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، وذلك من خلال تحليل بعض المؤشرات الكيميائية والبيولوجية ومقارنتها بين عينات الدراسة.

وتسعى الدراسة إلى تحقيق الأهداف الفرعية الآتية:

1. قياس بعض المؤشرات الكيميائية والبيولوجية لجودة مياه البحر بمنطقة أسبان، والمتمثلة في الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، والعسر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين.
2. تحديد مستوى التغير في خصائص مياه البحر في منطقة الدراسة وفقًا لنتائج التحاليل المعملية للعينات المأخوذة من مواقع مختلفة.
3. مقارنة قيم المؤشرات الكيميائية والبيولوجية بين العينات القريبة والبعيدة من نقطة تصريف مياه الصرف الصحي.
4. مقارنة نتائج تحاليل مياه البحر لسنة 2024 بنتائج سنة 2021 للكشف عن طبيعة التغير في جودة المياه خلال الفترتين.

5. تحديد أكثر المؤشـرات الكيميائية والبيولوجية تعبيرًا عن تأثر جودة مياه البحر بتصـريف مياه الصـرف الصـحي في منطقة أسبان.
6. تقديم مقترحات علمية وتطبيقية يمكن أن تساعد في الحد من آثار تصريف مياه الصرف الصحي على البيئة البحرية بمدينة الزاوية.

حدود الدراسة

تتمثل حدود الدراسة في الآتي:

1. **الحدود الموضوعية:** تقتصر الدراسة على تقييم أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر من خلال بعض المؤشـرات الكيميائية والبيولوجية، وهي: الأس الهيدروجيني، المواد الصـلبة الذائبة الكلية، العسـر الكلي، الكالسيوم، الماغنيسيوم، النترات، والطلب الحيوي على الأكسجين.
2. **الحدود المكانية:** أُجريت الدراسة في منطقة أسبان بمدينة الزاوية، بالقرب من موضع تصريف مياه الصرف الصحي في البحر.
3. **الحدود الزمنية:** اعتمدت الدراسة على نتائج التحاليل الخاصة بسنة 2024، مع مقارنتها بنتائج سابقة لسنة 2021.
4. **الحدود التحليلية:** اقتصرت الدراسة على تحليل عينات مياه البحر المأخوذة من مسافات مختلفة عن نقطة التصريف، دون التوسع في تحليل الرواسب أو الكائنات البحرية أو المعادن الثقيلة.

الدراسات السابقة

1. **دراسـة كريم وآخرين (2025)، بعنوان: تأثير مياه الصـرف الصـحي غير المعالجة على الخواص البيولوجية والكيميائية لمياه البحر: مدينة طرابلس نموذجًا**

هدفت الدراسـة إلى تقييم تأثير تصـريف مياه الصـرف الصـحي غير المعالجة على جودة مياه البحر في مدينة طرابلس، وذلك من خلال تحليل عدد من المؤشـرات الكيميائية والبيولوجية في مواقع قريبة من مصـبات الصـرف الصـحي ومقارنتها بموقع أقل تعرضًـا للتلوث، واعتمدت الدراسـة على المنهج التحليلي المعملي، حيث تم قياس مؤشـرات مثل الأس الهيدروجيني، والمواد الصـلبة الذائبة الكلية، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسـجين، وبعض المؤشـرات البكتيرية، وتوصلت الدراسة إلى أن المناطق القريبة من مصبات الصرف سجلت ارتفاعًا في مؤشرات التلوث العضوي والبكتيري، مما يدل على تأثر جودة مياه البحر بتصريف مياه الصرف الصحي غير المعالجة.

2. **دراسة موسى وآخرين (2021)، بعنوان: دراسة تأثير صرف مياه الصرف الصحي غير المعالجة على خصائص مياه ورسوبيات شاطئ مدينة زليتن**

هدفت الدراسـة إلى التعرف على تأثير تصـريف مياه الصـرف الصـحي غير المعالجة على مياه البحر والرواسـب الشـاطئية بمدينة زليتن، وذلك من خلال تحليل عينات مياه ورسـوبيات مأخوذة بالقرب من مخرج التصـريف ومن مسـافات مختلفة داخل البحر، واعتمدت الدراسـة على التحاليل المعملية لبعض الخصـائص الفيزيائية والكيميائية، مثل الأملاح الذائبة الكلية والتوصـيل الكهربائي وبعض مؤشـرات الرواسـب، وتوصـلت الدراسـة إلى وجود تغير في خصـائص المياه والرواسـب بالقرب من موضع التصريف، مع اختلاف درجات التأثر بحسب المسافة من مصدر التلوث.

3. **دراسـة Alkhalidi وآخرين (2024)، بعنوان: Assessing Coastal Outfall Impact on Shallow Enclosed Bays Water Quality: Field and Statistical Analysis**

هدفت الدراسـة إلى تقييم أثر مخارج التصـريف السـاحلية على جودة المياه في خليج سـاحلي ضـحل، من خلال تحليل بيانات ميدانية وإحصـائية لعدد من مؤشـرات جودة المياه، واعتمدت الدراسـة على قياس مؤشـرات مثل التوصـيل

الكهربائي، والمواد العالقة، والطلب الكيميائي على الأكسجين، والطلب الحيوي على الأكسجين، ومؤشرات التلوث البرازي، وتوصلت الدراسة إلى أن بعض المؤشرات تجاوزت الحدود المسموح بها في نسب واضحة من العينات، بما يعكس تأثير مخارج الصرف على جودة المياه الساحلية وضرورة التوسع في الرصد البيئي.

4. **دراسة Zaghloul وآخرين (2023)، بعنوان: A Comprehensive Evaluation of Water Quality and Its Potential Health Risks Using Physicochemical Indices in Coastal Areas of the Gulf of Suez, Red Sea**

هدفت الدراسة إلى تقييم جودة المياه في المناطق الساحلية لخليج السويس بالبحر الأحمر، اعتمادًا على مؤشرات فيزيائية وكيميائية ومؤشرات جودة المياه، واستخدمت الدراسة مؤشرات مثل النترات وبعض الأملاح والمقاييس الدالة على الحالة الغذائية والتلوث العضوي، إلى جانب تطبيق مؤشر جودة المياه، وتوصلت الدراسة إلى أن تقييم المياه الساحلية لا يعتمد على مؤشر واحد فقط، بل يحتاج إلى تحليل مجموعة من المؤشرات المتكاملة التي توضح مستوى التلوث وتأثيره المحتمل على البيئة والصحة العامة.

5. **دراسة Ajtai وآخرين (2025)، بعنوان: Wastewater Impact on Surface Water Quality and Suitability of Water Reuse in Agriculture Using a Comprehensive Methodology Based on PCA and Specific Indices**

هدفت الدراسة إلى تحليل أثر تصريف مياه الصرف على جودة المياه السطحية، وتقييم مدى صلاحية المياه لإعادة الاستخدام، من خلال مجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية والإحصائية، واعتمدت الدراسة على قياس مؤشرات مثل الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، والعكارة، والأيونات الذائبة، والطلب الحيوي على الأكسجين، مع المقارنة بين مواقع أعلى وأسفل نقطة التصريف، وتوصلت الدراسة إلى أن تصريف مياه الصرف قد يؤدي إلى تغيرات واضحة في بعض خصائص المياه، وأن استخدام الأساليب الإحصائية يساعد في تفسير مصادر التغير وتحديد المؤشرات الأكثر تأثيرًا.

التعقيب على الدراسات السابقة

يتضح من خلال عرض الدراسات السابقة أن موضوع تلوث المياه الناتج عن تصريف مياه الصرف الصحي يحظى باهتمام بحثي واضح، نظرًا لما يسببه من تغيرات في خصائص المياه، سواء في البيئات البحرية أو السطحية أو الساحلية، وقد اتفقت معظم الدراسات على أن مياه الصرف الصحي غير المعالجة أو المعالجة بصورة غير كافية تُعد من المصادر الرئيسية المؤثرة في جودة المياه، لما تحتويه من مواد عضوية وأملاح ومغذيات ومؤشرات بيولوجية قد تؤثر في خصائص الوسط المائي.

كما يتضح أن الدراسات السابقة اعتمدت بدرجة كبيرة على التحاليل المعملية للمؤشرات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية، مثل الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين، والطلب الكيميائي على الأكسجين، وبعض المؤشرات البكتيرية، وهذا يؤكد أن قياس جودة المياه لا يتم من خلال الملاحظة العامة فقط، بل يحتاج إلى مؤشرات كمية قابلة للقياس والمقارنة.

وقد أفادت الدراسات السابقة البحث الحالي في تحديد طبيعة المؤشرات المناسبة لتقييم جودة المياه، وفي دعم الاتجاه نحو المقارنة بين المواقع القريبة والبعيدة عن مصادر التصريف، كما ساعدت في توضيح أن التلوث الناتج عن مياه الصرف الصحي لا يظهر دائمًا في مؤشر واحد فقط، بل قد يظهر من خلال مجموعة مؤشرات مترابطة تعكس تغيرًا في الخصائص الكيميائية والبيولوجية للمياه.

ورغم استفادة البحث الحالي من الدراسات السابقة، فإن معظم هذه الدراسات تناولت مناطق جغرافية مختلفة، مثل طرابلس، زليتن، وبعض البيئات الساحلية أو السطحية خارج ليبيا، كما أن بعضها توسع في مؤشرات لم يتم قياسها في الدراسة الحالية، أما البحث الحالي فيركز على منطقة أسبان بمدينة الزاوية، ويعتمد على تحليل عينات مأخوذة من مسافات مختلفة عن نقطة تصريف مياه الصرف الصحي، مع مقارنة نتائج سنة 2024 بنتائج سنة 2021، وهو ما يمنحه خصوصية مكانية وتحليلية.

الفجوة البحثية

تتمثل الفجوة البحثية في قلة الدراسات التطبيقية الحديثة التي تناولت أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر في منطقة أسبان بمدينة الزاوية تحديدًا، رغم أن هذه المنطقة تقع ضمن نطاق ساحلي قد يتأثر بالتصريفات البشرية والخدمية، كما أن كثيرًا من الدراسات السابقة ركزت على مناطق ساحلية أخرى أو على مياه سطحية ورواسب، بينما لم تتناول بصورة مباشرة مقارنة مؤشرات جودة مياه البحر في منطقة أسبان وفق عينات مأخوذة من مسافات مختلفة عن نقطة التصريف.

وتظهر الفجوة كذلك في الحاجة إلى دراسة تعتمد على مؤشرات كيميائية وبيولوجية محددة، مثل الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، والعسر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين، وربط هذه المؤشرات بموقع العينة وقربها أو بعدها عن نقطة تصريف مياه الصرف الصحي، كما تبرز الحاجة إلى المقارنة الزمنية بين نتائج حديثة ونتائج سابقة، بما يساعد على تكوين تصور أوضح عن طبيعة التغير في جودة المياه عبر الزمن.

ومن هنا تأتي الدراسة الحالية لسد جزء من هذه الفجوة من خلال تقديم تحليل ميداني ومعملي لجودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، مع التركيز على المقارنة بين العينات المختلفة والمقارنة بين سنتي 2024 و2021.

ما يميز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة

تتميز الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة بعدة جوانب، أهمها أنها تتناول منطقة أسبان بمدينة الزاوية بوصفها مجالًا مكانيًا محددًا لم يحظَ بقدر كافٍ من الدراسة في موضوع تلوث مياه البحر بمياه الصرف الصحي، كما أنها لا تكتفي بالعرض النظري لمشكلة التلوث، بل تعتمد على بيانات ميدانية ناتجة عن جمع عينات فعلية من مياه البحر وتحليلها معمليًا.

وتتميز الدراسة كذلك بأنها تقارن بين عينات مأخوذة من مسافات مختلفة عن نقطة التصريف، مما يساعد على فهم العلاقة بين القرب من مصدر التلوث ومستوى التغير في خصائص المياه، كما أن إدخال المقارنة بين نتائج سنة 2024 ونتائج سنة 2021 يمنح الدراسة بعدًا تحليليًا إضافيًا، لأنها لا تقف عند وصف الوضع الحالي فقط، بل تحاول تتبع التغير في بعض المؤشرات عبر فترتين زمنيتين.

كما أن الدراسة الحالية تركز على مجموعة من المؤشرات الكيميائية والبيولوجية التي تتناسب مع طبيعة البحث وإمكانات التحليل المتاحة، وهي مؤشرات تسمح بتقديم قراءة علمية مباشرة لحالة مياه البحر في منطقة الدراسة، وبذلك تجمع الدراسة بين البعد البيئي والبعد الهندسي التطبيقي، بحكم ارتباط موضوعها بشبكات الصرف الصحي وجودة المياه وحماية البيئة البحرية في مدينة الزاوية.

الإطار النظري للدراسة

أولًا: تلوث البيئة المائية ومصادره

تُعد البيئة المائية من أكثر البيئات الطبيعية حساسية للتغيرات الناتجة عن الأنشطة البشرية، إذ إن أي تغير في خصائص المياه قد ينعكس بصورة مباشرة على الكائنات الحية والنظم البيئية المحيطة بها، ويحدث تلوث المياه عندما تدخل إلى الوسط المائي مواد أو ملوثات تؤدي إلى تغير في خصائصه الطبيعية أو الكيميائية أو البيولوجية، بما يجعله أقل ملاءمة للاستخدامات البيئية أو الصحية أو الاقتصادية، ويزداد هذا التلوث في المناطق الساحلية التي تتداخل فيها الأنشطة السكانية والصناعية والخدمية مع البيئة البحرية، حيث تصبح مياه البحر أكثر عرضة لاستقبال الملوثات الناتجة عن الصرف الصحي والمخلفات الصناعية والجريان السطحي ومخلفات الأنشطة العمرانية (Zaghloul et al., 2023).

وتتعدد مصادر تلوث المياه بين مصادر منزلية وصناعية وزراعية، غير أن مياه الصرف الصحي تُعد من أبرز المصادر المؤثرة في جودة المياه، لأنها تحمل مزيجًا معقدًا من المواد العضوية والأملاح والمغذيات والمركبات الكيميائية والكائنات الدقيقة، وقد بينت الدراسات الحديثة أن تدهور جودة المياه لا يرتبط دائمًا بوجود ملوث واحد، بل ينتج غالبًا عن تداخل مجموعة من المؤشرات التي تكشف عن طبيعة الضغط الواقع على البيئة المائية، مثل ارتفاع المواد الصلبة الذائبة، وتغير درجة الحموضة، وزيادة المغذيات، وارتفاع الطلب الحيوي على الأكسجين (Samaraweera et al., 2024).

ثانيًا: مياه الصرف الصحي كمصدر لتلوث مياه البحر

تمثل مياه الصرف الصحي أحد أخطر مصادر تلوث البيئة البحرية عندما يتم تصريفها مباشرة أو بعد معالجة غير كافية، لأنها تحمل ملوثات عضوية وبيولوجية وكيميائية قادرة على إحداث تغيرات واضحة في جودة المياه، وتتكون مياه الصرف الصحي غالبًا من مخلفات منزلية وخدمية، وقد تختلط أحيانًا بمخلفات صناعية أو زراعية، الأمر الذي يجعل تأثيرها أكثر تعقيدًا عند وصولها إلى المسطحات المائية، وعند دخول هذه المياه إلى البحر فإنها تؤثر في الخصائص الكيميائية والبيولوجية للمياه، وتزيد من احتمالية ارتفاع الحمل العضوي والمغذيات، خاصة في المناطق القريبة من نقاط التصريف (كريم وآخرون، 2025).

وقد أوضحت دراسة كريم وآخرين على شواطئ مدينة طرابلس أن تصريف مياه الصرف الصحي غير المعالجة يؤدي إلى تدهور جودة مياه البحر وارتفاع بعض مؤشرات التلوث العضوي والبكتيري، وهو ما يعكس خطورة التصريف المباشر في المناطق الساحلية الليبية (كريم وآخرون، 2025)، كما بينت دراسة Alkhalidi et al. أن مخارج الصرف الساحلية قد تؤدي إلى ارتفاع مؤشرات مثل BOD وCOD والمواد العالقة والمؤشرات البكتيرية، بما يدل على وجود علاقة مباشرة بين الصرف الساحلي وتراجع جودة المياه البحرية (Alkhalidi et al., 2024).

ثالثًا: المؤشرات الكيميائية والبيولوجية لجودة مياه البحر

يعتمد تقييم جودة المياه على مجموعة من المؤشرات التي تساعد في فهم طبيعة التغيرات التي تحدث داخل الوسط المائي، ويُعد الأس الهيدروجيني pH من المؤشرات الأساسية التي توضح درجة حموضة أو قاعدية المياه، وأي تغير ملحوظ فيه قد يعكس وجود تأثيرات ناتجة عن ملوثات أو تفاعلات كيميائية داخل المياه، كما تُعد المواد الصلبة الذائبة الكلية TDS من المؤشرات المهمة في تقييم مستوى الأملاح والمواد الذائبة، حيث إن ارتفاعها قد يشير إلى زيادة تركيز الأملاح أو تأثر المياه بمصادر تصريف مختلفة (Samaraweera et al., 2024).

أما العسر الكلي T.H فيرتبط بتركيز بعض الأيونات، خاصة الكالسيوم والماغنيسيوم، وهما من العناصر التي يمكن أن تتغير نسبتها في المياه نتيجة اختلاطها بمصادر تصريف أو تأثرها بخصائص جيولوجية وبيئية معينة، ومن ثم

فإن قياس الكالسيوم والماغنيسيوم يساعد على تفسير جزء من التغير في الخصائص الكيميائية للمياه، خاصة عند المقارنة بين عينات مأخوذة من مواقع مختلفة حول نقطة التصريف.

وتُعد النترات NO3 من أهم المؤشرات المرتبطة بتلوث المياه بالمغذيات، إذ قد يؤدي ارتفاعها إلى زيادة نمو الطحالب وحدوث تغيرات في التوازن البيئي داخل الوسط البحري، وقد أشارت دراسة Zaghloul et al، إلى أن قياس النترات ضمن مؤشرات جودة المياه الساحلية يساعد في تقدير مستوى التأثر البيئي واحتمالات المخاطر الناتجة عن التلوث الغذائي والعضوي (Zaghloul et al., 2023)، وبذلك فإن إدراج النترات ضمن مؤشرات الدراسة الحالية يعد مناسبًا لطبيعة الموضوع، خاصة أن مياه الصرف الصحي قد تكون مصدرًا مباشرًا لزيادة المركبات النيتروجينية في المياه.

ويُعد الطلب الحيوي على الأكسجين BOD من أكثر المؤشرات تعبيرًا عن التلوث العضوي، لأنه يوضح كمية الأكسجين اللازمة لتحلل المواد العضوية بواسطة الكائنات الدقيقة، وكلما ارتفعت قيمة BOD دل ذلك على زيادة الحمل العضوي في المياه، وقد يؤدي ذلك إلى نقص الأكسجين الذائب، مما ينعكس على قدرة البيئة البحرية على دعم الحياة المائية، وقد أكدت دراسات حديثة أن ارتفاع قيم BOD بالقرب من مواقع التصريف يعد مؤشرًا مهمًا على تأثر المياه بمياه الصرف الصحي، خاصة في البيئات الساحلية محدودة التبادل المائي (Alkhalidi et al., 2024).

رابعًا: أثر تلوث مياه البحر بمياه الصرف الصحي

لا يقتصر أثر تصريف مياه الصرف الصحي على تغير الأرقام المعملية للمؤشرات فقط، بل يمتد إلى النظام البيئي البحري كله، فارتفاع المواد العضوية والمغذيات قد يؤدي إلى اضطراب التوازن البيئي، وزيادة نمو بعض الكائنات الدقيقة أو الطحالب، وانخفاض جودة المياه في المناطق القريبة من التصريف، كما أن انخفاض الأكسجين الذائب الناتج عن ارتفاع الطلب الحيوي على الأكسجين قد يضعف قدرة الكائنات البحرية على النمو والبقاء، خاصة في المناطق التي تتراكم فيها الملوثات ولا تتجدد مياهها بصورة كافية (Samaraweera et al., 2024).

ومن الناحية الصحية، قد تشكل مياه الصرف الصحي خطرًا غير مباشر على الإنسان، خصوصًا في المناطق الساحلية التي تُستخدم للصيد أو السباحة أو الأنشطة البحرية، فوجود الملوثات العضوية والبيولوجية في المياه قد يزيد احتمالات انتقال بعض الملوثات إلى السلسلة الغذائية البحرية، أو يرفع مخاطر التعرض للمياه الملوثة، ولذلك تؤكد الدراسات البيئية الحديثة ضرورة مراقبة مياه البحر بصورة دورية، وعدم الاكتفاء بالمعاينة البصرية، لأن كثيرًا من مؤشرات التلوث لا يمكن تحديدها إلا بالتحليل المعملي (كريم وآخرون، 2025).

خامسًا: أهمية المقارنة المكانية والزمنية في تقييم جودة المياه

تساعد المقارنة بين عينات مأخوذة من مسافات مختلفة عن نقطة التصريف في تحديد العلاقة بين مصدر التلوث ومستوى تأثر المياه، فإذا كانت العينات القريبة من نقطة التصريف تسجل قيمًا أعلى لبعض المؤشرات مقارنة بالعينات البعيدة، فإن ذلك قد يشير إلى تأثير مباشر أو محتمل لمصدر التصريف، ولهذا تعتمد كثير من الدراسات البيئية الحديثة على المقارنة المكانية بين مواقع قريبة وبعيدة من مصادر التلوث، لأنها تساعد في تفسير نمط انتشار الملوثات داخل الوسط المائي (Alkhalidi et al., 2024).

كما أن المقارنة الزمنية بين نتائج سنوات مختلفة تُعد من الأدوات المهمة في فهم اتجاه التغير في جودة المياه، لأنها توضح ما إذا كانت المؤشرات تميل إلى التحسن أو التدهور أو الاستقرار، وفي الدراسة الحالية، تمثل المقارنة بين نتائج سنة 2024 ونتائج سنة 2021 مدخلًا مهمًا لتقييم تطور حالة المياه بمنطقة أسبان، خاصة أن التحاليل شملت مؤشرات كيميائية وبيولوجية متعددة، وبذلك فإن الجمع بين المقارنة المكانية والزمنية يمنح البحث قدرة أفضل على تفسير أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر.

ومن خلال ما سبق، يتضح أن دراسة أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية تستند إلى أساس علمي يرتبط بمفهوم تلوث البيئة المائية، وطبيعة مياه الصرف الصحي، ومؤشرات جودة المياه، وآثار التلوث على البيئة البحرية، كما أن اعتماد الدراسة على مؤشرات كيميائية وبيولوجية قابلة للقياس يجعلها أقرب إلى الدراسات التطبيقية التي يمكن أن تقدم نتائج مباشرة قابلة للمقارنة والتحليل، بما يخدم الجانب العملي من البحث.

إجراءات الدراسة الميدانية والمعملية

يتناول هذا الجزء الإجراءات المنهجية التي اعتمدت عليها الدراسة في تقييم أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، وذلك من خلال توضيح منهج الدراسة، ومجتمعها، وعينتها، وأدوات جمع البيانات، وطريقة أخذ العينات، والمؤشرات الكيميائية والبيولوجية التي تم تحليلها، والأساليب المستخدمة في عرض النتائج ومقارنتها، وقد جاءت هذه الإجراءات بما يتناسب مع طبيعة الدراسة بوصفها دراسة بيئية ميدانية ومعملية تعتمد على القياس والتحليل والمقارنة.

منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، باعتباره المنهج الأنسب لدراسة الظواهر البيئية كما هي في الواقع، ووصف خصائصها، وتحليل نتائجها، وتفسير دلالاتها، كما اعتمدت الدراسة على الأسلوب الميداني المعملي، من خلال جمع عينات من مياه البحر في منطقة أسبان، ثم تحليلها كيميائيًا وبيولوجيًا، ومقارنة نتائجها وفقًا لمواقع أخذ العينات والمسافات المختلفة عن نقطة تصريف مياه الصرف الصحي.

مجتمع الدراسة

يتمثل مجتمع الدراسة في مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، باعتبارها المنطقة التي جرى اختيارها لدراسة أثر تصريف مياه الصرف الصحي على جودة المياه البحرية، ويشمل هذا المجتمع نطاق المياه القريبة من نقطة التصريف والمياه الواقعة على مسافات مختلفة منها، بما يسمح بتكوين صورة أولية عن مدى تغير خصائص المياه في منطقة الدراسة.

عينة الدراسة

تكونت عينة الدراسة من أربع عينات من مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، تم اختيارها من مواقع مختلفة حول نقطة تصريف مياه الصرف الصحي، بهدف المقارنة بين خصائص المياه بحسب القرب أو البعد عن مصدر التصريف، وقد رُمز لهذه العينات بالرموز الآتية:

1. **العينة (A):** تمثل مياه البحر المأخوذة من ضفة البحر بالقرب من منطقة التصريف.
2. **العينة (B):** تمثل مياه البحر المأخوذة على مسافة نحو 3 أمتار من ضفة البحر.
3. **العينة (C):** تمثل مياه البحر المأخوذة على مسافة نحو 30 مترًا من ضفة البحر.
4. **العينة (D):** تمثل مياه البحر المأخوذة على مسافة نحو 200 متر من ضفة البحر.

وقد ساعد هذا التوزيع المكاني للعينات في إجراء مقارنة بين المواقع المختلفة، والكشف عن مدى اختلاف قيم المؤشرات الكيميائية والبيولوجية باختلاف المسافة عن نقطة تصريف مياه الصرف الصحي.

أدوات الدراسة

اعتمدت الدراسة على التحاليل المعملية بوصفها الأداة الأساسية لجمع البيانات، حيث تم استخدام مجموعة من الأجهزة والمواد اللازمة لفحص خصائص مياه البحر، وتمثلت أهم أدوات وأجهزة القياس في جهاز قياس الأس الهيدروجيني،

وجهاز قياس الموصـــــلية، وجهاز قياس العســـــر والعكارة، وجهاز تحليل النترات، إلى جانب الزجاجات المعايرة والأدوات المعملية والمحاليل المستخدمة في تجهيز العينات وإجراء الفحوصات.

وقد ركزت الدراســة على قياس مجموعة من المؤشــرات الكيميائية والبيولوجية المرتبطة بجودة المياه، وهي: الأس الهيدروجيني، والمواد الصـــلبة الذائبة الكلية، والعســـر الكلي، والكالســـيوم، والماغنيســـيوم، والنترات، والطلب الحيوي على الأكسجين.

إجراءات جمع العينات وتحليلها

تم جمع عينات مياه البحر من منطقة أسـبان بمدينة الزاوية من مواقع مختلفة حول نقطة تصـريف مياه الصـرف الصـحي، مع مراعاة اختلاف المسـافة بين العينات ومصـدر التصـريف، وقد وُضـعت العينات في زجاجات نظيفة ومناسـبة للتحليل، مع الحرص على تقليل احتمالات تلوث العينات أثناء الجمع أو النقل.

وبعد جمع العينات، تم نقلها إلى المعمل لإجراء القياســـــات المطلوبة، حيث تم قياس الأس الهيدروجيني لتحديد درجة حموضـــــة أو قاعدية المياه، وقياس المواد الصـــلبة الذائبة الكلية لتقدير كمية الأملاح والمواد الذائبة، وقياس العســـر الكلي والكالسيوم والماغنيسيوم لتحديد بعض الخصائص الكيميائية للمياه، بالإضافة إلى قياس النترات بوصفها مؤشرًا على التلوث بالمغذيات، وقياس الطلب الحيوي على الأكسجين بوصفه مؤشرًا على الحمل العضوي في المياه.

الأساليب الإحصائية المستخدمة

اعتمدت الدراسـة في تحليل البيانات على الأسـاليب الإحصـائية الوصـفية المناسبة لطبيعة البيانات وعدد العينات، وتمثلت في عرض القيم في جداول، واســـــتخدام الرســـــوم البيانية للمقارنة بين العينات، وتحليل الفروق الظاهرة بين القيم المقاسـة، كما تم الاعتماد على المقارنة المكانية بين العينات المأخوذة من مسـافات مختلفة عن نقطة التصـريف، والمقارنة الزمنية بين نتائج سـنة 2024 ونتائج سـنة 2021، بهدف التعرف على اتجاه التغير في المؤشـرات الكيميائية والبيولوجية محل الدراسة.

ونظرًا لطبيعة الدراسـة وعدد العينات المحدود، فإن التحليل اعتمد على المقارنة الوصـفية والتحليلية المباشـرة، دون التوسع في الاختبارات الإحصائية الاستدلالية التي تتطلب عددًا أكبر من العينات وتكرارًا أوسع للقياسات.

عرض وتحليل نتائج الدراسة

يتناول هذا الجزء عرضًــا وتحليلًا لنتائج الدراســة الميدانية والمعملية الخاصــة بتقييم أثر تصـريف مياه الصـرف الصـــحي على جودة مياه البحر بمنطقة أســبان بمدينة الزاوية، وذلك في ضــوء المؤشــرات الكيميائية والبيولوجية التي تم قياسها، وقد اعتمد التحليل على نتائج سنة 2024 باعتبارها السنة الأساسية للدراسة، مع مقارنتها بنتائج سابقة لسنة 2021 في المؤشـرات المشـتركة بين السـنتين، ويهدف هذا التحليل إلى الإجابة عن تسـاؤلات الدراسـة، ومناقشـة فروضـها بصـورة وصفية تحليلية تتناسب مع طبيعة البيانات وعدد العينات.

تم عرض نتائج التحاليل كما وردت في سجلات الدراسة المعملية، وتُقرأ قيم المؤشرات الكيميائية والبيولوجية بوحدة ملجم/لتر أو جزء في المليون، ما عدا مؤشـــر الأس الهيدروجيني pH الذي لا تُســـتخدم له وحدة قياس، ونظرًا لاختلاف طبيعة المؤشرات ووحداتها، فقد تم تحليل كل مؤشر على حدة، دون جمع القيم المختلفة في متوسط واحد، وذلك حتى لا يتم الخلط بين مؤشرات ذات طبيعة كيميائية وبيولوجية مختلفة.

أولًا: عرض نتائج التحاليل الكيميائية والبيولوجية لسنة 2024

يوضح الجدول الآتي نتائج التحاليل المعملية لعينات مياه البحر بمنطقة أسبان لسنة 2024:

جدول رقم (1): نتائج التحاليل الكيميائية والبيولوجية لعينات مياه البحر بمنطقة أسبان لسنة 2024

العينة	pH	TDS	T.H	Mg	Ca	NO3	BOD
A	7.75	50.007	5307.2	1098.014	200.159	1.5	5.1
B	7.50	49.024	705.5	666.4	39	1.4	5.7
C	7.00	50.000	1458	1318	140	1.6	11.9
D	7.30	48.007	7387	719.4	193	1.6	6.9

يتضح من الجدول أن نتائج سنة 2024 أظهرت اختلافًا واضحًا بين العينات الأربع في عدد من المؤشرات، خاصة العسر الكلي، والماغنيسيوم، والكالسيوم، والطلب الحيوي على الأكسجين، أما قيم الأس الهيدروجيني والمواد الصلبة الذائبة الكلية والنترات فقد جاءت متقاربة نسبيًا بين العينات، وإن كانت لا تخلو من فروق محدودة، ويعني ذلك أن أثر التلوث لا يظهر بنفس الدرجة في جميع المؤشرات، بل يتضح بدرجة أكبر في المؤشرات المرتبطة بالحمل العضوي والتركيب الأيوني للمياه.

ثانيًا: عرض نتائج التحاليل الكيميائية لسنة 2021

يوضح الجدول الآتي نتائج التحاليل المتاحة لسنة 2021، والتي تم استخدامها للمقارنة مع نتائج سنة 2024:

جدول رقم (2): نتائج التحاليل الكيميائية المتاحة لعينات مياه البحر بمنطقة أسبان لسنة 2021

العينة	pH	TDS	T.H	Mg	Ca	NO3
A	8.40	50.007	5432.4	400	5678	1.4
B	8.30	1045	295	44.8	300	1.3
C	7.90	1190.6	279	6789	36.6	1.5
D	8.10	245	215	78	70	1.5

يتضح من الجدول أن نتائج سنة 2021 تضمنت المؤشرات الكيميائية فقط، ولم تتضمن مؤشر الطلب الحيوي على الأكسجين BOD، ولذلك فإن المقارنة الزمنية بين سنتي 2021 و2024 ستقتصر على المؤشرات المشتركة، وهي: الأس الهيدروجيني، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، والعسر الكلي، والماغنيسيوم، والكالسيوم، والنترات، أما مؤشر BOD فسيتم تحليله ضمن نتائج سنة 2024 فقط بوصفه مؤشرًا بيولوجيًا مهمًا للتلوث العضوي.

ثالثًا: تحليل مستوى جودة مياه البحر وفق نتائج سنة 2024

تشير نتائج سنة 2024 إلى أن جودة مياه البحر بمنطقة أسبان تتأثر بدرجات متفاوتة بحسب نوع المؤشر المقاس، فقد تراوحت قيم الأس الهيدروجيني بين 7.00 و7.75، وهي قيم قريبة من التعادل وتميل في بعض العينات إلى القاعدية الخفيفة، مما يدل على أن هذا المؤشر لم يسجل تغيرًا حادًا في مياه البحر، كما أن قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية تراوحت بين 48.007 و50.007، وهي قيم متقاربة بين العينات، مما يدل على أن هذا المؤشر لم يكن الأكثر تعبيرًا عن التباين بين مواقع الدراسة.

أما العسر الكلي فقد أظهر تباينًا كبيرًا بين العينات، حيث سجلت العينة D أعلى قيمة، تلتها العينة A، بينما سجلت العينة B أقل قيمة، ويدل ذلك على وجود اختلاف واضح في التركيب الكيميائي للمياه بين مواقع أخذ العينات، كما أظهرت قيم الكالسيوم والماغنيسيوم تباينًا بين العينات، وهو ما يعكس اختلافًا في التركيب الأيوني للمياه، وقد يكون مرتبطًا بتأثير موضعي ناتج عن اختلاط مياه البحر بمصادر تصريف أو بعوامل بيئية محلية.

أما النترات فقد تراوحت بين 1.4 و1.6، وهي قيم متقاربة، مع ارتفاع بسيط في العينتين C وD، ورغم أن الفروق في هذا المؤشر محدودة، فإن وجود النترات ضمن التحليل مهم لأنها ترتبط غالبًا بمصادر الصرف والمغذيات، ويُعد مؤشر

BOD من أكثر المؤشـرات دلالة في نتائج سـنة 2024، حيث سـجلت جميع العينات قيمًا ملحوظة، وبلغت أعلى قيمة في العينة C، مما يدل على وجود حمل عضوي واضح في مياه البحر بمنطقة الدراسة.

وبناءً على ذلك، فإن الإجابة عن التساؤل الأول للدراسة، والمتعلق بمستوى جودة مياه البحر بمنطقة أسبان، تشير إلى أن جودة المياه ليسـت متجانسـة تمامًا بين العينات، وأن هناك مؤشـرات تدل على تأثر المياه، خاصـة العسـر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والطلب الحيوي على الأكسجين.

رابعًا: تحليل اختلاف القيم بين العينات بحسب مواقع أخذها

أظهرت النتائج أن قيم المؤشـرات الكيميائية والبيولوجية تختلف بين العينات A وB وC وD، إلا أن هذا الاختلاف لا يسير دائمًا في اتجاه خطي ثابت من الأقرب إلى الأبعد عن نقطة التصريف، فقد سجلت العينة D أعلى قيمة للعسر الكلي، بينما سجلت العينة A قيمة مرتفعة كذلك، في حين جاءت العينة B أقل بكثير في هذا المؤشر، كما سجلت العينة C أعلى قيمة للماغنيسيوم وأعلى قيمة للطلب الحيوي على الأكسجين.

هذا التباين يدل على أن تأثير تصريف مياه الصرف الصحي لا يمكن تفسيره من خلال المسافة وحدها، بل قد تتدخل عوامل أخرى مثل حركة المياه، واتجاه التيارات، وطبيعة الاختلاط بين مياه الصرف ومياه البحر، ووقت أخذ العينة، ودرجة تراكم الملوثات في الموقع، ولذلك فإن النتائج تدعم فكرة وجود اختلافات مكانية بين العينات، لكنها لا تؤكد أن العينة الأقرب دائمًا هي الأعلى تلوثًا في جميع المؤشرات.

ومن ثم، فإن الإجابة عن التساؤل الثاني للدراسة تؤكد وجود اختلافات واضحة بين العينات المأخوذة من مواقع مختلفة، غير أن نمط هذه الاختلافات يتغير من مؤشر إلى آخر، الأمر الذي يجعل التقييم المعملي المتعدد المؤشرات أكثر دقة من الاعتماد على مؤشر واحد فقط.

خامسًا: المؤشرات الأكثر تعبيرًا عن تأثر مياه البحر بتصريف مياه الصرف الصحي

من خلال نتائج التحليل، يُعد مؤشر الطلب الحيوي على الأكسجين BOD من أكثر المؤشرات تعبيرًا عن تأثر مياه البحر بمياه الصرف الصحي، لأنه يرتبط بوجود مواد عضوية قابلة للتحلل داخل المياه، وقد سجلت العينة C أعلى قيمة لهذا المؤشر، وهو ما يعكس وجود حمل عضوي واضح في هذه النقطة مقارنة ببقية العينات.

كما يُعد العسر الكلي من المؤشرات المهمة في تفسير تغير جودة المياه، نظرًا للتباين الكبير بين العينات، خاصة ارتفاعه في العينة D والعينة A، كذلك أظهرت قيم الماغنيسيوم والكالسيوم اختلافات واضحة بين المواقع، مما يجعلها مؤشرات مساعدة في تفسير التغير الكيميائي في مياه البحر، أما النترات فقد أظهرت تغيرًا محدودًا، لكنها تظل مؤشرًا مهمًا لأنها ترتبط بالمغذيات ومصادر الصرف.

وبذلك فإن الإجابة عن التساؤل الثالث توضح أن أكثر المؤشرات تعبيرًا عن التأثر في هذه الدراسة هي: BOD أولًا بوصفه مؤشرًا على التلوث العضوي، ثم العسر الكلي، ثم الماغنيسيوم والكالسيوم بوصفها مؤشرات على التغير الكيميائي في المياه، بينما جاءت النترات والمواد الصلبة الذائبة الكلية بدرجة أقل من حيث التباين بين العينات.

سادسًا: المقارنة بين نتائج سنة 2024 ونتائج سنة 2021

توضح المقارنة بين نتائج سنتي 2021 و2024 وجود تغيرات في عدد من المؤشرات المشتركة، فقد انخفضت قيم الأس الهيدروجيني في سنة 2024 مقارنة بسنة 2021 في جميع العينات تقريبًا، إذ كانت قيم سنة 2021 تميل إلى القاعدية بدرجة أكبر، بينما اقتربت قيم سنة 2024 من التعادل، وهذا يدل على حدوث تغير في درجة تفاعل المياه بين الفترتين.

أما المواد الصلبة الذائبة الكلية فقد أظهرت تباينًا واضحًا بين السنتين، حيث جاءت قيم سنة 2024 متقاربة بين العينات، بينما ظهرت في سنة 2021 قيم مرتفعة في بعض العينات، خاصة B وC، وقد يعكس ذلك تغيرًا في ظروف أخذ العينات أو في طبيعة اختلاط مياه البحر بمصادر التصريف.

وبالنسبة للعسر الكلي، فقد أظهرت سنة 2024 ارتفاعًا واضحًا في بعض العينات، خاصة العينة D والعينة A، مقارنة بسنة 2021، ويدل ذلك على وجود تغير كيميائي واضح في مياه البحر خلال سنة 2024، كما أظهرت قيم الماغنيسيوم والكالسيوم تباينًا بين السنتين، إلا أن هذا التباين لم يكن في اتجاه واحد في جميع العينات؛ ففي بعض المواقع ارتفعت القيم، وفي مواقع أخرى انخفضت، مما يدل على أن التأثير الكيميائي متغير ومكاني.

أما النترات فقد سجلت زيادة طفيفة في سنة 2024 مقارنة بسنة 2021 في بعض العينات، حيث بلغت 1.5 في العينة A مقابل 1.4 في سنة 2021، و1.4 في العينة B مقابل 1.3، و1.6 في العينتين C وD مقابل 1.5 في سنة 2021، ورغم أن هذه الزيادة محدودة، فإنها تشير إلى وجود تغير بسيط في مؤشر مرتبط بالمغذيات ومصادر الصرف.

وبذلك فإن الإجابة عن التساؤل الرابع تشير إلى وجود فروق وصفية بين نتائج سنتي 2021 و2024، خاصة في الأس الهيدروجيني، والعسر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والنترات، مع ملاحظة أن هذه الفروق لا تسير كلها في اتجاه واحد، بل تختلف بحسب العينة والمؤشر.

فيما يتعلق بالفرض الرئيسي الذي ينص على وجود أثر لتصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، فإن نتائج الدراسة تدعم هذا الفرض وصفيًا، خاصة من خلال ارتفاع قيم BOD، وتباين العسر الكلي، وظهور اختلافات في الكالسيوم والماغنيسيوم والنترات بين العينات، وهذه المؤشرات تعكس وجود تغير في الخصائص الكيميائية والبيولوجية لمياه البحر في منطقة الدراسة.

أما الفرض الفرعي الأول، والذي يشير إلى وجود اختلافات في قيم المؤشرات الكيميائية والبيولوجية بين العينات المأخوذة من مواقع مختلفة، فقد دعمته النتائج بوضوح، إذ لم تكن القيم متساوية بين العينات A وB وC وD، بل ظهرت فروق واضحة في العسر الكلي، والماغنيسيوم، والكالسيوم، وBOD.

وبالنسبة للفرض المتعلق باختلاف جودة المياه باختلاف موقع العينة والمسافة عن نقطة التصريف، فإن النتائج تدعمه جزئيًا، حيث ثبت وجود اختلاف بين المواقع، لكن دون أن يكون هناك اتجاه ثابت يؤكد أن الأقرب إلى نقطة التصريف هو الأعلى تلوثًا في كل المؤشرات، وهذا يعني أن المسافة عامل مهم، لكنه ليس العامل الوحيد المؤثر في جودة المياه.

أما الفرض المتعلق بوجود فروق بين نتائج سنة 2024 ونتائج سنة 2021 في بعض المؤشرات، فقد أظهر التحليل وجود فروق وصفية واضحة بين السنتين، خاصة في pH وT.H وCa وMg وNO3، غير أن هذه الفروق تحتاج إلى دراسات لاحقة بعينات أكثر وتكرارات زمنية متعددة إذا أريد اختبارها إحصائيًا بدرجة أعلى من الدقة.

تكشف نتائج الدراسة أن مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية أظهرت تغيرات في بعض المؤشرات الكيميائية والبيولوجية المرتبطة بجودة المياه، وقد كان مؤشر BOD من أكثر المؤشرات دلالة على وجود حمل عضوي، بينما عكست مؤشرات العسر الكلي والكالسيوم والماغنيسيوم تغيرًا واضحًا في الخصائص الكيميائية للمياه، كما أوضحت المقارنة بين سنتي 2021 و2024 وجود تغيرات زمنية في عدد من المؤشرات، وإن كانت بدرجات واتجاهات مختلفة.

وبناءً على ذلك، يمكن القول إن تصريف مياه الصرف الصحي يمثل عاملًا مؤثرًا في جودة مياه البحر بمنطقة الدراسة، غير أن حجم هذا التأثير يختلف من مؤشر إلى آخر ومن عينة إلى أخرى، وتؤكد هذه النتائج ضرورة الاعتماد

على الرصـــــد الدوري والتحليل المعملي المتعدد المؤشـــرات عند تقييم تلوث المياه البحرية، بدلًا من الاكتفاء بالملاحظة المباشرة أو بعينة واحدة.

مناقشة نتائج الدراسة في ضوء التساؤلات والفروض

أظهرت نتائج الدراســة أن جودة مياه البحر بمنطقة أســبان بمدينة الزاوية تتأثر بدرجات متفاوتة بتصــريف مياه الصـرف الصـحي، وذلك من خلال التغير الملحوظ في بعض المؤشـرات الكيميائية والبيولوجية التي تم قياسـها، فقد بينت النتائج أن مؤشرات مثل الطلب الحيوي على الأكسجين، والعسر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والنترات، لم تكن ثابتة بين العينات المختلفة، وهو ما يعكس وجود تباين في خصــائص المياه بحسـب موقع العينة وظروفها البيئية، وتتسـجم هذه النتيجة مع طبيعة الدراسة التي اعتمدت على عينات مأخوذة من مسافات مختلفة عن موضع التصريف، الأمر الذي يجعل المقارنة المكانية عنصرًا مهمًا في تفسير حالة المياه.

وفيما يتعلق بالتساؤل الأول الخاص بمستوى جودة مياه البحر بمنطقة أسبان وفق المؤشرات المقاسة، فقد أظهرت النتائج أن جودة المياه لا يمكن وصفها بأنها مستقرة أو متجانسة في جميع العينات، إذ كشفت بعض المؤشرات عن تغيرات واضحة، خاصة مؤشر الطلب الحيوي على الأكسجين BOD، الذي يعد من أهم المؤشرات الدالة على وجود حمل عضوي في المياه، ويشـير ارتفاع هذا المؤشـر في بعض العينات إلى احتمال تأثر المياه بمواد عضـوية ناتجة عن تصـريف مياه الصـرف الصـحي، وهو ما يتفق مع ما توصـلت إليه دراسـة كريم وآخرين (2025)، التي بينت أن تصـريف مياه الصـرف الصـــحي غير المعالجة يؤثر في الخواص الكيميائية والبيولوجية لمياه البحر، ويرفع بعض مؤشـــرات التلوث العضـــوي والبكتيري.

أما التســاؤل الثاني المتعلق بمدى اختلاف قيم المؤشــرات بين العينات المأخوذة من مســافات مختلفة عن نقطة التصريف، فقد أوضحت النتائج وجود فروق واضحة بين العينات A وB وC وD، خاصة في العسر الكلي، والماغنيسيوم، والكالسيوم، والطلب الحيوي على الأكسجين، غير أن هذه الفروق لم تظهر في صورة اتجاه ثابت يؤكد أن العينة الأقرب إلى نقطة التصريف هي الأعلى تلوثًا في كل المؤشرات، بل ظهر أن بعض القيم الأعلى سُجلت في عينات أبعد نسبيًا، ويمكن تفسير ذلك بأن انتشار الملوثات في مياه البحر لا يتوقف على المسافة وحدها، وإنما يتأثر بعوامل أخرى مثل حركة التيارات البحرية، واتجاه الرياح، ودرجة اختلاط مياه الصـــرف بمياه البحر، ووقت أخذ العينة، وتتفق هذه النتيجة مع دراســـة Alkhalidi وآخرين (2024)، التي أوضـــحت أن تأثير مخارج الصـــرف الســـاحلية على جودة المياه يتغير تبعًا للموقع والظروف الهيدروديناميكية المحيطة، وليس فقط تبعًا للقرب المباشر من نقطة التصريف.

وفيما يخص التساؤل الثالث المتعلق بأكثر المؤشرات تعبيرًا عن تأثر مياه البحر بتصريف مياه الصرف الصحي، فقد تبين من النتائج أن مؤشر BOD جاء في مقدمة المؤشرات الدالة على التأثر، نظرًا لارتباطه المباشر بالحمل العضوي في المياه، كما ظهر أن العسـر الكلي، والكالسـيوم، والماغنيسـيوم من المؤشـرات الكيميائية المهمة التي عكسـت تغيرًا في التركيب الأيوني للمياه، أما النترات فقد أظهرت ارتفاعًا محدودًا، لكنها تظل مؤشـرًا ذا دلالة لأنها ترتبط بمصـادر المغذيات ومياه الصرف، وتتفق هذه النتيجة مع ما أشارت إليه دراسة Samaraweera وآخرين (2024)، التي أكدت أهمية الاعتماد على مجموعة من المؤشرات الكيميائية والبيولوجية في تقييم أثر مياه الصرف على جودة المياه، وعدم الاكتفاء بمؤشر واحد.

أما التساؤل الرابع الخاص بطبيعة الفروق بين نتائج سنة 2024 ونتائج سنة 2021، فقد أوضحت المقارنة وجود تغيرات وصفية في عدد من المؤشرات المشتركة بين السنتين، فقد اتجه الأس الهيدروجيني في سنة 2024 نحو الانخفاض مقارنة بسـنة 2021، بينما ظهرت تغيرات واضــحة في العسـر الكلي وبعض الأيونات مثل الكالسـيوم والماغنيسـيوم، كما سجلت النترات ارتفاعًا طفيفًا في بعض العينات سنة 2024 مقارنة بسنة 2021، وتدل هذه الفروق على أن خصائص مياه

البحر بمنطقة الدراسة شهدت تغيرًا عبر الزمن، إلا أن هذا التغير لم يكن في اتجاه واحد لجميع المؤشرات، مما يؤكد الحاجة إلى استمرار الرصد الدوري لجودة المياه.

وبالنسبة للفرض الرئيسي الذي ينص على وجود أثر لتصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، فإن نتائج الدراسة تدعمه وصفيًا، خاصة من خلال ارتفاع مؤشر BOD وتباين المؤشرات الكيميائية بين العينات، ويعني ذلك أن تصريف مياه الصرف الصحي يمثل عاملًا مؤثرًا في جودة المياه، وإن كان حجم هذا التأثير يختلف من مؤشر إلى آخر ومن موقع إلى آخر، وتتفق هذه النتيجة مع دراسة موسى وآخرين (2021)، التي بينت وجود تأثير لمياه الصرف الصحي غير المعالجة على خصائص مياه البحر والرواسب في بيئة ساحلية ليبية.

أما الفرض الفرعي المتعلق بوجود اختلافات بين العينات حسب مواقع أخذها، فقد دعمته النتائج بوضوح، إذ أظهرت العينات تفاوتًا في القيم الكيميائية والبيولوجية، خاصة في العسر الكلي، والماغنيسيوم، والكالسيوم، وBOD، وهذا يؤكد أن موقع العينة له دور في تفسير مستوى التغير في جودة المياه، حتى وإن لم يكن القرب من نقطة التصريف هو العامل الوحيد المؤثر، وتتفق هذه النتيجة مع ما أوضحته دراسة Zaghloul وآخرين (2023)، التي أكدت أن تقييم جودة المياه الساحلية يحتاج إلى قراءة مكانية متعددة المؤشرات، لأن التلوث قد يظهر بدرجات مختلفة بين المواقع.

وفيما يتعلق بالفرض الخاص بوجود فروق بين نتائج سنة 2024 ونتائج سنة 2021، فقد أظهرت الدراسة وجود فروق وصفية بين السنتين في عدد من المؤشرات، لكنها لا تكفي وحدها لإثبات دلالة إحصائية؛ نظرًا لمحدودية عدد العينات وعدم توافر تكرارات كافية للاختبارات الإحصائية الاستدلالية، لذلك يمكن القول إن النتائج تدعم هذا الفرض من الناحية الوصفية والتحليلية، لكنها تحتاج إلى دراسات لاحقة أكثر اتساعًا من حيث عدد العينات وتكرار القياسات الزمنية.

وبوجه عام فإن نتائج الدراسة الحالية تتفق مع الاتجاه العام للدراسات السابقة التي أكدت أن تصريف مياه الصرف الصحي في البيئات البحرية والساحلية يؤدي إلى تغيرات في جودة المياه، خاصة في المؤشرات المرتبطة بالحمل العضوي والمغذيات والتركيب الكيميائي، غير أن ما يميز الدراسة الحالية أنها طبقت هذا التوجه على منطقة أسبان بمدينة الزاوية، واعتمدت على مقارنة مكانية بين العينات ومقارنة زمنية بين سنتي 2021 و2024، مما يمنح نتائجها قيمة تطبيقية مرتبطة بالسياق المحلي لمنطقة الدراسة.

نتائج الدراسة

توصلت الدراسة إلى النتائج الآتية:

1. أظهرت نتائج التحاليل أن جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية تختلف بين العينات، مما يدل على وجود تباين مكاني في خصائص المياه.
2. بينت نتائج سنة 2024 أن قيم الأس الهيدروجيني تراوحت بين 7.00 و7.75، وهي قيم قريبة من التعادل، مما يجعل هذا المؤشر أقل تعبيرًا عن التلوث مقارنة ببعض المؤشرات الأخرى.
3. أظهرت قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية TDS تقاربًا بين العينات، حيث تراوحت بين 48.007 و50.007، وهو ما يشير إلى محدودية التباين في هذا المؤشر خلال سنة 2024.
4. سجل مؤشر العسر الكلي T.H تباينًا واضحًا بين العينات، خاصة في العينة D والعينة A، مما يعكس وجود تغير في بعض الخصائص الكيميائية لمياه البحر.
5. أظهرت قيم الكالسيوم والماغنيسيوم اختلافًا بين العينات، وهو ما يدل على تباين في التركيب الأيوني للمياه بين مواقع أخذ العينات.

6. جاءت قيم النترات متقاربة نسبيًا بين العينات، مع ارتفاع بسيط في بعض المواقع، مما يشير إلى وجود تغير محدود في هذا المؤشر المرتبط بالمغذيات ومصادر الصرف.
7. عُد مؤشر الطلب الحيوي على الأكسجين BOD من أكثر المؤشرات تعبيرًا عن تأثر مياه البحر بتصريف مياه الصرف الصحي، حيث سجلت العينة C أعلى قيمة بلغت 11.9، بما يدل على وجود حمل عضوي واضح في مياه البحر.
8. أوضحت المقارنة بين نتائج سنة 2024 ونتائج سنة 2021 وجود تغيرات وصفية في عدد من المؤشرات، خاصة الأس الهيدروجيني، والعسر الكلي، والكالسيوم، والماغنيسيوم، والنترات، مما يؤكد أن جودة المياه قابلة للتغير زمنيًا ومكانيًا.
9. بينت الدراسة أن القرب من نقطة التصريف ليس العامل الوحيد المحدد لمستوى التلوث، إذ قد تتدخل عوامل أخرى مثل حركة التيارات البحرية، واتجاه الرياح، ووقت أخذ العينات، وطبيعة اختلاط مياه الصرف بمياه البحر.
10. تدعم النتائج الفرض الرئيسي للدراسة القائل بوجود أثر لتصريف مياه الصرف الصحي على جودة مياه البحر بمنطقة أسبان بمدينة الزاوية، خاصة من خلال مؤشرات BOD والعسر الكلي وبعض الأيونات الذائبة.

توصيات الدراسة

في ضوء النتائج السابقة، توصي الدراسة بما يأتي:

1. ضرورة تنفيذ برنامج رصد دوري لجودة مياه البحر بمنطقة أسبان، يعتمد على قياس المؤشرات الكيميائية والبيولوجية الأساسية، مثل pH وTDS وT.H وCa وMg وNO3 وBOD.
2. الحد من تصريف مياه الصرف الصحي في البحر دون معالجة كافية، والعمل على تحسين كفاءة منظومة المعالجة قبل وصول المياه إلى البيئة البحرية.
3. زيادة عدد نقاط أخذ العينات في برامج المتابعة المستقبلية، مع مراعاة المسافة من نقطة التصريف، وحركة التيارات البحرية، واتجاه الرياح، ووقت أخذ العينات.
4. إلزام الجهات المختصة بتطبيق معايير بيئية واضحة لمراقبة تصريف مياه الصرف الصحي في المناطق الساحلية بمدينة الزاوية.
5. توعية السكان والجهات الخدمية بخطورة تصريف مياه الصرف والمخلفات في البيئة البحرية، وبيان أثر ذلك في جودة المياه والصحة العامة.
6. دعم التعاون بين المؤسسات الأكاديمية والجهات البيئية والبلدية لإجراء دراسات ميدانية مستمرة حول جودة المياه الساحلية، وبناء قاعدة بيانات بيئية لمنطقة أسبان والمناطق الساحلية المجاورة.

مقترحات لبحوث مستقبلية

1. إجراء دراسة موسعة حول جودة مياه البحر بمنطقة أسبان تشمل عددًا أكبر من العينات وتغطي فصول السنة المختلفة.
2. دراسة تأثير تصريف مياه الصرف الصحي على الرواسب البحرية والكائنات الحية الدقيقة في منطقة أسبان بمدينة الزاوية.
3. إجراء دراسة مقارنة بين منطقة أسبان ومناطق ساحلية أخرى بمدينة الزاوية لتحديد أكثر المناطق تأثرًا بتصريف مياه الصرف الصحي.
4. استخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية GIS في رسم خريطة مكانية لتوزيع ملوثات مياه البحر في المناطق الساحلية بمدينة الزاوية.

قائمة المصادر والمراجع

أولًا: المراجع العربية

1. الرويمي، حنين عبدالله؛ القدار، همام مصطفى؛ الكادع، مسرة أحمد.(2024) ، دراسة بحثية عن تلوث البيئة المائية بمياه الصرف الصحي بمدينة الزاوية: منطقة أسبان، مشروع تخرج غير منشور، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة/ديلة، جامعة الزاوية، ليبيا.
2. أ. علي عمار عمر أبورقيبة، أحمد محمد علي الطنازفتي. ابراهيم محمد علي الطنازفتي. (2025). التلوث البئي بالنفايات الصلبة في ظل غياب الادارة الهندسية. *مجلة العلوم الشاملة*, *10*(37), 254–276.
3. كريم، حمزة عمران؛ الربع، عبد اللطيف محمد؛ الصغير، علي الهادي.(2025) ، تأثير مياه الصرف الصحي غير المعالجة على الخواص البيولوجية والكيميائية لمياه البحر : مدينة طرابلس نموذجًا، *Comprehensive Journal of Science*، *9*(ملحق 36)، 252–263. https://doi.org/10.65405/6c497v57
4. موسى، رمضان علي.(2021) ، دراسة تأثير صرف مياه الصرف الصحي غير المعالجة على خصائص مياه ورسوبيات شاطئ البحر بمدينة زليتن، غرب ليبيا، *مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية*، *7*(2)، 21–37. https://doi.org/10.59743/jmset.v7i2.23

ثانيًا: المراجع الأجنبية

4. Ajtai, I., Anton, A., Roba, C., Botezan, C., Piştea, I., Oprea, M., & Baciu, C. (2025)، Wastewater Impact on Surface Water Quality and Suitability of Water Reuse in Agriculture Using a Comprehensive Methodology Based on PCA and Specific Indices، *Water*, *17*(13), 2011. https://doi.org/10.3390/w17132011
5. Al-Ghobeini, A. S., & Murad, S. K. (2025)، Microbiological Assessment of Seawater Quality at Misurata Beaches, Libya، Misurata Medical Sciences Journal, 7(2), 48-57.
6. Alkhalidi, M. A., Hasan, S. M., & Almarshed, B. F. (2024)، Assessing coastal outfall impact on shallow enclosed bays water quality: Field and statistical analysis، *Journal of Engineering Research*, *12*, 704-718. https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.09.031
7. Alrashed, R. M., Hasan, S. M., Al-Mutairi, N. Z., & Al-Attar, I. (2025)، Analyzing the impacts of discharges from coastal outfalls on water quality of Kuwait Bay via Landsat monitoring، Journal of Engineering Research, 13(4), 2950-2964.
8. Bian, R., Su, T., Cao, X., Peng, J., Qi, W., & Qu, J. (2025)، Identification of characteristic factors for water quality indicators and development of a wastewater source signature system for receiving rivers، Water Research X, 29, 100408.
9. Elbagrmi, T., Al-Haen, I., & Al-Mabrouk, M. (2026)، Environmental Impacts of Secondarily Treated Wastewater Discharge on the Coastal Water Quality of Al-Awda Beach, Tobruk, Libya، Asian Journal of Environment & Ecology, 25(1), 63-70.
10. Tantoush, J. A. M. (2025). Environmental Pollution Assessment of Some Heavy Metals in the Western Coast of Tripoli, Libya. *Al-Farooq Journal of Sciences*, *1*(1), 161-175.
11. Samaraweera, S. A. P. T., Najim, M. M. M., Alotaibi, B. A., & Traore, A. (2024)، Impacts of a partially connected wastewater treatment plant on the water quality of stormwater

مجلة الفاروق للعلوم مجلد2 العدد 3 ـــ

drains used as an irrigation source، *Frontiers in Environmental Science*, *12*, 1412717. https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1412717

12. Zaghloul, G. Y., El-Sawy, M. A., Kelany, M. S., Elgendy, A. R., Abdel Halim, A. M., Sabrah, M. M., & Ezz El-Din, H. M. (2023). A comprehensive evaluation of water quality and its potential health risks using physicochemical indices in coastal areas of the Gulf of Suez, Red Sea، *Ocean & Coastal Management*, *243*, 106717. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106717