Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR

تأثير الهيدروكربونات البترولية على جودة المياه الجوفية المحيطة بمحطات الوقود

صفاء فرج الخذري[1]، وفاء الهادي الذيب[2]، عادل عاشور بنانه*[1]، بسمة الهادي الذيب[3،1]، ناصر ميلود [1]

[1]قسم الهندسة البيئية والموارد الطبيعية، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا

[2]القسم العام ، كلية الهندسة صبراتة، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا

[3]قسم الفيزياء، كلية التربية أبوعيسى، جامعة الزاوية، الزاوية، ليبيا

adel.banana@sabu.edu.ly

الملخص

يهدف هذا البحث إلى تقييم جودة المياه الجوفية المحيطة بمحطات الوقود في صبراتة بليبيا، من خلال تحليل عينات من محطتي الوقود الشرقية والغربية لمجموعة من المؤشرات الكيميائية والفيزيائية الرئيسية. شمل التحليل الشامل قياس مؤشرات حرجة تشمل إجمالي الهيدروكربونات البترولية (TPH)، والطلب الكيميائي على الأكسجين (COD)، وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS)، ودرجة الحموضة (pH)، والكبريتات (SO_4^{2-})، والنترات (NO_3^-). كشفت النتائج عن تلوث حاد، حيث تجاوزت مستويات الهيدروكربونات البترولية (9.4 مجم/لتر في الشرقية و8.0 مجم/لتر في الغربية) المعيار المسموح به (0.01 مجم/لتر) بأكثر من 800 مرة، مما يؤكد وجود تلوث بترولي حاد ناتج عن تسرب من الخزانات الأرضية. يدعم هذا التلوث الهيدروكربوني مستويات مرتفعة بشكل خطير للطلب الكيميائي على الأكسجين (1032 مجم/لتر و791 مجم/لتر) وقراءات مرتفعة لإجمالي المواد الصلبة الذائبة (3155 مجم/لتر و1880 مجم/لتر)، مما يشير إلى حمولة عضوية كبيرة وتدهور عام في جودة المياه. في المقابل، بقيت مستويات الحموضة (6.68–6.85) وتركيزات الكبريتات (122–148 مجم/لتر) ومستويات النترات (4.0–4.6 مجم/لتر) جميعها ضمن الحدود المسموح بها، مما يستبعد بشكل فعال المصادر الزراعية أو الجيولوجية الطبيعية كمصادر مساهمة رئيسية ويحدد بشكل قاطع محطات الوقود كمصدر التلوث الأساسي. تُظهر هذه النتائج تهديداً بيئياً وصحياً عاماً واضحاً وعاجلاً يستدعي استراتيجيات تدخل فورية تشمل احتواء المصدر، ومعالجة متقدمة للخزان الجوفي، وتنفيذ حلول بديلة لمياه الشرب الآمنة للمجتمع المتأثر.

الكلمات المفتاحية: تلوث المياه الجوفية، محطات الوقود، الخزانات الأرضية، الهيدروكربونات البترولية، الصحة العامة.

Abstract

This study aims to assess the quality of groundwater surrounding fuel stations in Sabratha, Libya, by analyzing samples from the eastern and western stations for a set of key chemical and physical indicators. The comprehensive analysis included measurements of total petroleum hydrocarbons (TPH), chemical oxygen demand (COD), total dissolved solids (TDS), pH, sulfates (SO_4^{2-}), and nitrates (NO_3^-). The results revealed severe contamination, with TPH levels (9.4 mg/L at the eastern station and 8.0 mg/L at the western station) exceeding the permissible limit (0.01 mg/L) by more than 800 times, confirming significant petroleum pollution due to leakage from underground storage tanks. This hydrocarbon contamination is further supported by dangerously high COD levels (1032 mg/L and 791 mg/L) and elevated TDS readings (3155 mg/L and 1880 mg/L), indicating a substantial organic load and overall degradation of water quality. In contrast, pH levels (6.68–6.85), sulfate concentrations (122–148 mg/L), and nitrate levels (4.0–4.6 mg/L) remained within acceptable limits, effectively ruling out agricultural or natural geological sources and conclusively identifying fuel stations as the primary source of contamination. These findings highlight a clear and urgent environmental and public health threat, necessitating immediate intervention strategies, including source containment, advanced aquifer remediation, and the implementation of alternative safe drinking water solutions for the affected community.

Keywords: *Groundwater contamination, Underground storage tanks, Fuel stations, Petroleum hydrocarbons, public health.*

المقدمة

تمثل المياه الجوفية مصدرًا حيويًا للمياه العذبة على مستوى العالم، حيث يعتمد عليها الملايين لتلبية احتياجات الشرب والاستخدامات اليومية. إلا أن هذا المورد الثمين يواجه تهديدات متزايدة بسبب الملوثات الناجمة عن الأنشطة البشرية، يأتي في مقدمتها تسرب المشتقات البترولية من محطات الوقود.

Copyright *Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0*
Received*: 20-06-2025 -* ***Accepted****: 23-08-2025 -* ***Published****: 30-08-2025*

Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR

وعلى الرغم من الدور الأساسي الذي تلعبه محطات الوقود في تلبية متطلبات النقل والطاقة داخل المناطق الحضرية، إلا أنها تشكل مصدرًا للمخاطر البيئية والصحية، خاصة في ظل غياب معايير السلامة الكافية للعاملين والمجتمعات المحيطة [1]. وقد أدى التوسع العمراني المصحوب بزيادة أعداد هذه المحطات إلى ارتفاع احتمالية حدوث تسربات من الخزانات الأرضية للوقود، مما ينعكس سلبًا على البيئة ويتجلى أثره الأبرز في تلوث المياه الجوفية. تُعد المركبات الهيدروكربونية؛ كالبنزين والديزل والزيوت المستعملة؛ مصدر تلوث بالغ الخطورة عند تسربها من الخزانات الأرضية القديمة [2]. وقد حظيت الآثار البيئية الناجمة عن أنشطة محطات الوقود باهتمام بحثي كبير، نظراً لتأثيرها المباشر على جودة المياه الجوفية التي تمثل المصدر الأساسي لمياه الشرب في العديد من المناطق الجافة وشبه الجافة، كما هو الحال في ليبيا. تشكل الخزانات المدفونة تحت الأرض مصدرًا رئيسيًا لهذا التلوث، حيث إن عمرها الافتراضي لا يتجاوز 15–20 عامًا، مما يزيد من احتمالية التسرب مع تقادمها [3]. وحال حدوث التسرب، يمر الوقود عبر التربة ليصل إلى طبقات المياه الجوفية، مسببًا مشكلات بيئية وصحية جسيمة. حيث تشير دراسة [4] إلى أن تسربًا بسيطًا بمعدل قطرتين في الثانية يمكن أن يلوث ما يقارب نصف مليار جالون من المياه، مما يجعلها غير صالحة للشرب بسبب مشاكل الطعم والرائحة. ولا تقتصر الآثار على تلوث المياه فحسب، بل تمتد لتشمل تلوث الهواء بالمواد الصلبة العالقة، بالإضافة إلى الأبخرة المتطايرة من الهيدروكربونات [5]. وإن تواجد المحطات داخل الأحياء السكنية يزيد من حجم هذه المخاطر، مما يستلزم تطبيق أنظمة وتشريعات صارمة لضمان الالتزام بالمعايير البيئية. وفي هذا الصدد، تؤكد منظمة الصحة العالمية [6] أن الوصول إلى مياه شرب آمنة هو حق أساسي من حقوق الإنسان وأمر بالغ الأهمية للصحة العامة، خاصة للأطفال الأكثر عرضة للمخاطر. ومع ذلك، وفي العديد من البلدان النامية مثل ليبيا، تتعرض هذه المصادر لخطر التلوث نتيجة غياب البنية التحتية الملائمة. وعلى ضوء ما سبق، تتضح الحاجة إلى إجراء دراسات تقييمية متعمقة لجودة المياه الجوفية في محيط محطات الوقود بمدينة صبراتة، وذلك للمقارنة مع المعايير الدولية وتحديد مستويات الخطورة الصحية والبيئية، ومن ثم اقتراح إجراءات معالجة وحماية.

بناءً عليه، يهدف هذا البحث إلى دراسة مدى تلوث المياه الجوفية بالهيدروكربونات في منطقة الدراسة، وتقييم الأثر البيئي لأنشطة محطات الوقود، مع التركيز على مشكلة تسرب الخزانات الأرضية وآثارها على جودة المياه والبيئة المحيطة والصحة العامة. كما يطمح إلى تقديم توصيات عملية للتخفيف من هذه المخاطر وتعزيز إجراءات السلامة البيئية في محطات الوقود.

المواد والطرق

تم تنفيذ الدراسة وفق منهج تحليلي مخبري يهدف إلى تقييم جودة المياه الجوفية في محيط محطتي "شيل الشرقي" و"شيل الغربي" بمدينة صبراتة، بالاعتماد على سلسلة من الإجراءات الميدانية والمخبرية المتكاملة، وبما يتوافق مع المعايير الدولية المعتمدة. اختيرت مواقع أخذ العينات بناءً على قربها من مناطق تخزين الوقود، حيث تم تحديد بئرين لكل محطة: أحدهما يقع على مسافة 10 أمتار والآخر على بعد 50 مترًا، وذلك لدراسة تأثير المسافة على درجة التلوث وانتشاره في الطبقات الجوفية.

تم جمع العينات باستخدام زجاجات معقمة، مع الالتزام الصارم بإجراءات السلامة والدقة في النقل والتخزين، لضمان عدم حدوث أي تلوث خارجي قد يؤثر على النتائج. وقد تم اتباع بروتوكولات منظمة الصحة العالمية (WHO) والجمعية الأمريكية للصحة العامة (APHA) في جميع مراحل جمع العينات. أُجريت التحاليل الفيزيائية والكيميائية داخل مختبرات مجهزة، باستخدام تقنيات معتمدة شملت قياس الهيدروكربونات البترولية الكلية (TPH) عبر الاستخلاص والكروماتوغرافيا الغازية (GC)، وتحديد الطلب الكيميائي للأكسجين (COD) بطريقة الأكسدة بالديكرومات، بالإضافة إلى قياس إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) باستخدام التوصيلية الكهربائية، وتحديد الرقم الهيدروجيني (pH)، وقياس تركيز الكبريتات (SO_4^{2-}) والنترات (NO_3^-) باستخدام الطرق الطيفية والمعايرات الكيميائية. تم تحليل النتائج ومقارنتها بالحدود المسموح بها عالميًا لتحديد مدى صلاحية المياه الجوفية للاستخدام البشري، مع إجراء مقارنة بين العينات المأخوذة من المحطتين لتوضيح الفروقات المرتبطة بالبنية التحتية والمسافة من مصدر التلوث، مما ساعد في رسم صورة دقيقة لطبيعة التلوث السائد في المنطقة.

Copyright *Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0*
Received*: 20-06-2025 -* ***Accepted****: 23-08-2025 -* ***Published****: 30-08-2025*

Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR

النتائج والمناقشة

لتقديم صورة واضحة ومفصلة عن مدى تأثر جودة المياه الجوفية بالأنشطة المتعلقة بمحطات الوقود تم عرض وتحليل النتائج التي تم التوصل إليها من خلال التحاليل المخبرية لعينات مياه جوفية مأخوذة من محيط محطتي وقود شيل الشرقي والغربي في مدينة صبراتة. حيث تم مقارنة النتائج بالمعايير الدولية المعتمدة لجودة مياه الشرب عن طريق البيانات المتحصل عليها على هيئة جداول وأشكال بيانية لتسهيل فهمها. وبعد ذلك ثم مناقشة كل معيار من المعايير التي تم قياسها على حدة، مع التركيز على تفسير أسباب التباين في النتائج بين الموقعين، ومناقشة الآثار الصحية والبيئية المحتملة لهذه النتائج. الجدول التالي رقم 1 يتضمن القيم المقاسة للمعايير الكيميائية والفيزيائية في عينات المياه الجوفية مقارنة بالمعايير الدولية.

الجدول (1): القيم المقاسة للمعايير الكيميائية والفيزيائية في عينات المياه الجوفية مقارنة بالمعايير الدولية.

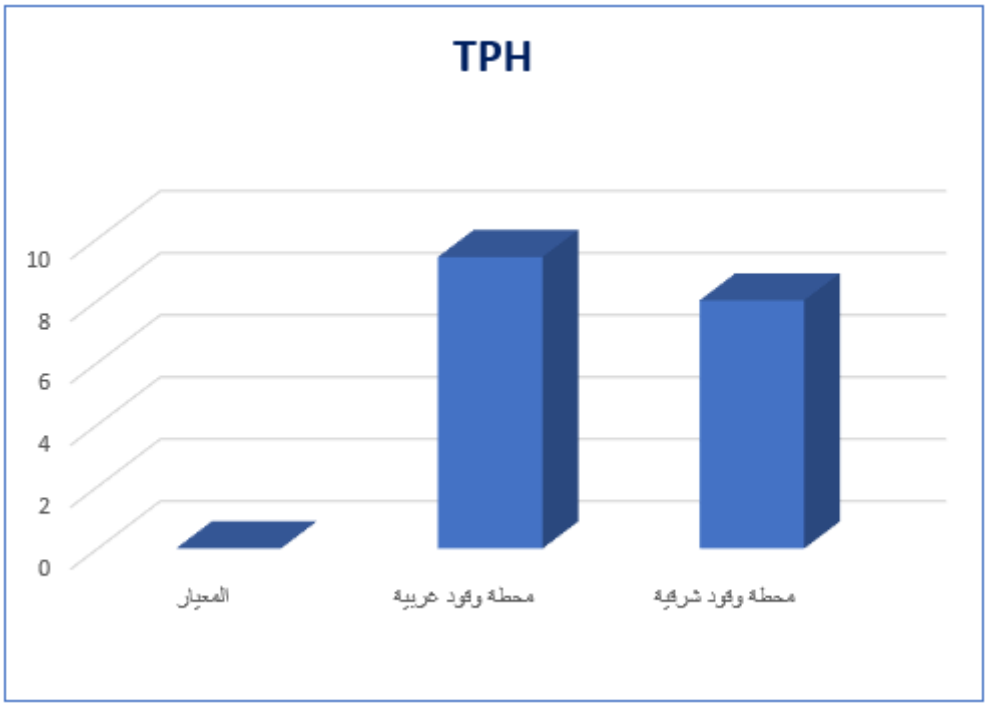
العنصر	شيل الشرقي	شيل الغربي	المعيار(WHO / EPA)
TPH (mg/L)	9.4	8.0	0.01
COD (mg/L)	1032	791	≤ 250
TDS (mg/L)	1880	3155	≤ 1000
pH	6.85	6.68	6.5 – 8.5
SO_4^{2-} (mg/L)	122	148	≤ 250
NO_3^- (mg/L)	4.6	4.0	≤ 50
Pb (mg/L)	0.05	0.05	≤ 0.01
Ni (mg/L)	0.005	0.005	≤ 0.07
Zn (mg/L)	0.05	0.05	≤ 3

1. الهيدروكربونات البترولية الكلية (TPH)

تُعد الهيدروكربونات البترولية الكلية (TPH) مؤشراً حاسماً للتلوث النفطي في البيئة المائية. المعيار الدولي المعتمد لـ TPH في مياه الشرب هو 0.01 مجم/لتر، وهو حد صارم يعكس خطورة هذه الملوثات حتى عند التركيزات المنخفضة جداً. أظهرت النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة الشكل (1) أن مستويات تركيزات الهيدروكربونات البترولية الكلية (TPH) في المياه مقلقة للغاية في كلا الموقعين. في محطة شيل الشرقي، بلغت قيمة TPH 9.4 مجم/لتر، بينما في محطة شيل الغربي كانت القيمة 8.0 مجم/لتر. عند مقارنة هذه القيم بالحد المسموح به دولياً (0.01 مجم/لتر)، يتضح أن المستويات المسجلة تفوق المعيار بأكثر من 800 إلى 900 ضعف. هذا التجاوز الهائل للحدود المسموح بها يؤكد وجود تلوث نفطي واسع النطاق وشديد الخطورة في المياه الجوفية بمنطقة الدراسة. إن مثل هذه التركيزات المرتفعة من TPH يمكن أن تؤدي إلى مشاكل صحية خطيرة للإنسان عند التعرض لها، بما في ذلك تلف الكبد والكلى، واضطرابات الجهاز العصبي، وزيادة خطر الإصابة بالسرطان على المدى الطويل [3]. تؤكد هذه النتائج ما توصلت إليه دراسات سابقة أُجريت في مناطق مشابهة. على سبيل المثال، أظهرت دراسة بحثية في مدينة Kumasi بغانا، والتي تناولت تلوث المياه الجوفية بالقرب من محطات الوقود، تسجيل قيم TPH تصل إلى 9.5 مجم/لتر في آبار المراقبة القريبة من مصادر التسرب، خاصة عند مسافات تقل عن 30 متراً من المحطة [1].

Copyright Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0
Received: 20-06-2025 - **Accepted**: 23-08-2025 - **Published**: 30-08-2025

Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR



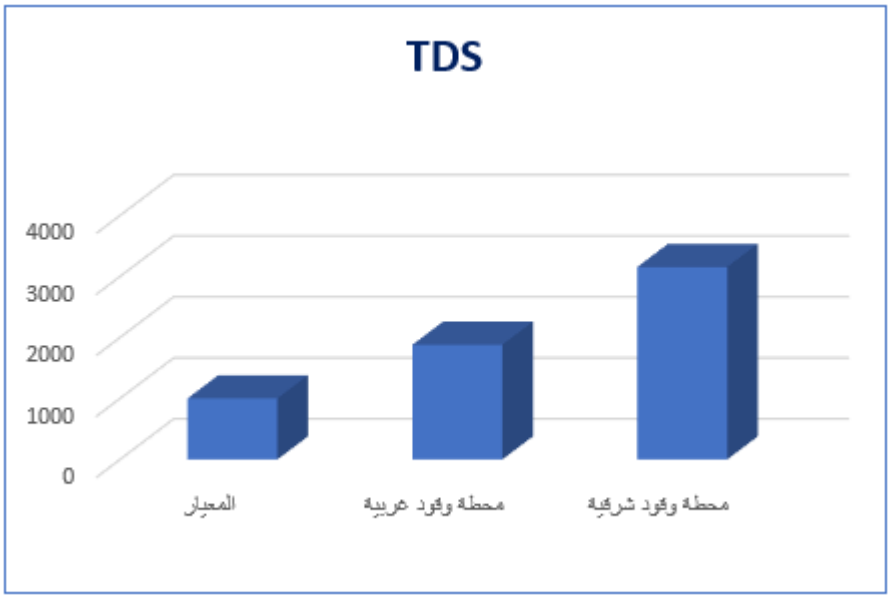
الشكل (1): مقارنة قيم TPH في محطتي شيل الشرقي والغربي مع المعيار الدولي.

2. إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS)

تُعد إجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS) مقياساً لمجموع تركيز جميع المواد العضوية وغير العضوية الذائبة في الماء، والتي قد تكون على شكل جزيئات، أيونات، أو جسيمات دقيقة جداً. على الرغم من أن TDS بحد ذاته لا يعتبر ملوثاً ساماً في معظم الحالات، إلا أن المستويات المرتفعة منه يمكن أن تؤثر بشكل كبير على الخصائص الحسية للمياه، مثل الطعم والرائحة، مما يجعلها غير صالحة للشرب. والأهم من ذلك، أن ارتفاع تركيزTDS يمكن أن يكون مؤشراً قوياً على وجود ملوثات أخرى خطيرة، بما في ذلك تلك الناتجة عن الأنشطة الصناعية، أو الجريان السطحي الزراعي، أو مياه الصرف الصحي، أو، في سياق هذه الدراسة، التلوث الناجم عن التسربات النفطية من محطات الوقود. مقارنة قيم TDS في الشكل (2) لمحطتي شيل الشرقي والغربي مع الحد المسموح به لمنظمة الصحة العالمية. حددت منظمة الصحة العالمية (WHO) حداً مسموحاً به لـ TDS في مياه الشرب يبلغ 1000 مجم/لتر، وهو معيار يهدف أساساً إلى ضمان مقبولية المياه من الناحية الحسية، ويُستخدم أيضاً كمؤشر عام لجودة المياه. مقارنة بهذا الحد الحرج الذي وضعته منظمة الصحة العالمية. تُظهر البيانات بشكل قاطع أن كلا المحطتين تسجلان مستويات TDS تتجاوز بكثير الحد المسموح به. ففي محطة شيل الشرقي، سُجلت قيمة TDS مرتفعة بشكل مقلق

Copyright Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0
Received: 20-06-2025 - **Accepted**: 23-08-2025 - **Published**: 30-08-2025

Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR



الشكل (2): مقارنة قيم TDS في محطتي شيل الشرقي والغربي بالحد المسموح به لمنظمة الصحة العالمية.

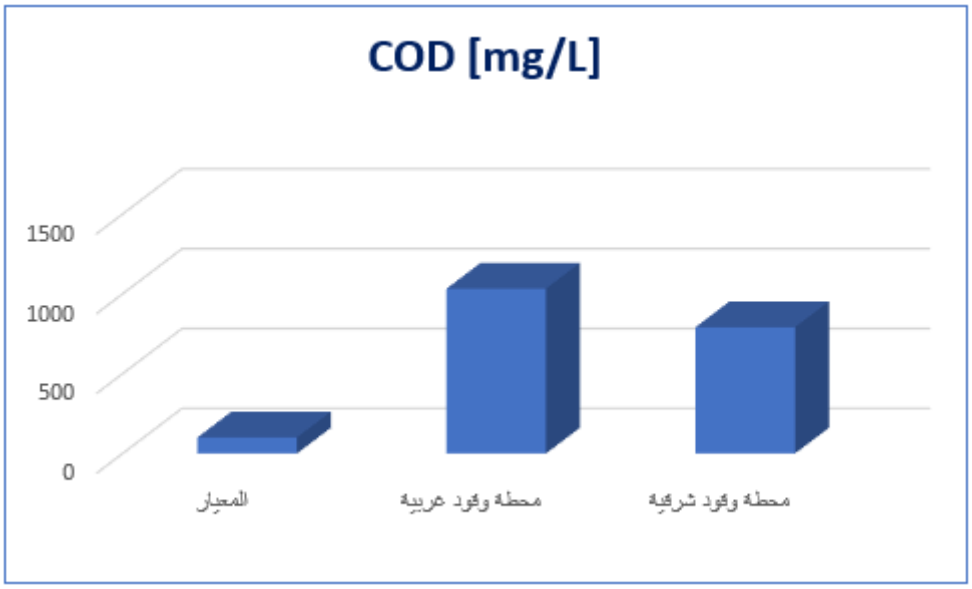
بلغت 3155 مجم/لتر، وهو ما يزيد عن ثلاثة أضعاف الحد المسموح به. أما في محطة شيل الغربي، فقد بلغت القيمة 1880 مجم/لتر، وهي أيضاً أعلى بن المعيار الدولي، حيث تقارب ضعف الحد المسموح به. إن وجود الهيدروكربونات البترولية ومنتجات تحللها يمكن أن يزيد من قابلية ذوبان بعض المعادن ويُدخل مركبات عضوية ذائبة جديدة، مما يساهم بشكل مباشر في ارتفاع TDS. حقيقة أن كِلا المحطتين تتجاوزان إرشادات منظمة الصحة العالمية تشير إلى وجود مشكلة بيئية واسعة النطاق في هذه المناطق، مما يستلزم أن المياه الجوفية قد لا تكون صالحة للشرب دون عمليات معالجة مكثفة ومتخصصة. إن الارتفاع الكبير في TDS في محطة شيل الشرقي، على وجه الخصوص، يتطلب تحقيقاً فورياً وشاملاً لتحديد المصادر الدقيقة للتلوث. يجب أن يشمل هذا التحقيق دراسات هيدروجيولوجية مفصلة، وتحديد البصمة الكيميائية للملوثات، ومراجعة شاملة للممارسات التشغيلية في المحطة.

3. الطلب الكيميائي للأكسجين (COD)

الطلب الكيميائي للأكسجين (COD) هو معيار يستخدم لقياس كمية الأكسجين المستهلكة بواسطة المواد العضوية وغير العضوية الموجودة في الماء أثناء عملية الأكسدة الكيميائية. يعد مؤشر قوي للحمل الكلي للتلوث في المسطح المائي، لا سيما من التصريفات الصناعية، ومياه الصرف الصحي، والملوثات العضوية الأخرى. تشير قيم COD المرتفعة إلى وجود كمية كبيرة من المواد القابلة للأكسدة، والتي عند التحلل، يمكن أن تستنفد الأكسجين المذاب الضروري للحياة المائية وتجعل المياه غير صالحة للاستخدامات المختلفة، بما في ذلك الشرب. يعرض الشكل (6) صورة واضحة ومثيرة للقلق لمستويات COD التي تم

Copyright Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0
Received: 20-06-2025 - **Accepted**: 23-08-2025 - **Published**: 30-08-2025

Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR



الشكل (3): مقارنة قيم COD في محطتي شيل الشرقي والغربي بالحد المسموح به لمنظمة الصحة العالمية.

الكشف عنها في عينات المياه الجوفية من محطتي شيل الشرقي والغربي. سجلت محطة شيل الشرقي قيمة COD بلغت 791مجم/لتر، بينما أظهرت محطة شيل الغربي قيمة أعلى بلغت 1032 مجم/لتر. يشير هذا التجاوز الكبير إلى تلوث عضوي شديد في المياه الجوفية في كلا الموقعين. تشير مستويات COD العالية بشكل استثنائي إلى وجود كمية كبيرة من المركبات العضوية القابلة للأكسدة، والتي يمكن أن تنشأ من مصادر مختلفة. في سياق محطات الوقود، تُعد هذه المستويات المرتفعة مؤشراً قوياً على التلوث من المنتجات البترولية، بما في ذلك البنزين والديزل ومكوناتها المختلفة، والتي تعد غنية بالمركبات العضوية. تُعد التسربات من خزانات التخزين تحت الأرض، والانسكابات أثناء عمليات نقل الوقود، والجريان السطحي من الأسطح الملوثة، مسارات محتملة لدخول هذه الملوثات إلى نظام المياه الجوفية. يساهم وجود هذه الهيدروكربونات ومنتجات تحللها بشكل مباشر في ارتفاع الطلب الكيميائي للأكسجين. يمكن أن يؤدي استنفاد الأكسجين المذاب إلى خلق ظروف لاهوائية، مما يعزز نمو الكائنات الدقيقة الضارة ويؤثر على بقاء الكائنات المائية الأصلية من النباتات والحيوانات. يؤكد هذا الوضع على وجود مشكلة بيئية حرجة تتطلب تدخلاً فورياً وشاملاً. تُعد جهود المعالجة العاجلة والقوية ضرورية للتخفيف من التلوث المستمر، ومنع المزيد من التدهور البيئي، وحماية الصحة والسلامة على المدى الطويل للمجتمع المحلي. يشمل ذلك تحديد وإغلاق جميع مصادر التسرب، وتطبيق تقنيات معالجة متقدمة للمياه الجوفية الملوثة، وإنشاء برامج مراقبة صارمة لتتبع فعالية تدابير المعالجة ومنع الحوادث المستقبلية.

3. الرقم الهيدروجيني (pH)

يعتبر pH للمياه عاملاً حاسماً في تحديد جودتها، حيث يؤثر على العديد من العمليات الكيميائية والبيولوجية، بما في ذلك قابلية ذوبان المعادن، وفعالية المطهرات، وبقاء الكائنات المائية. بالنسبة لمياه الشرب، وضعت منظمة الصحة العالمية (WHO) نطاقاً موصى به لـ pH يتراوح بين 6.5 و8.5، وهو معيار معتمد على نطاق واسع عالمياً لضمان أن تكون المياه مستساغة، وغير مسببة للتآكل في أنابيب السباكة، وآمنة للاستهلاك البشري. كما هو موضح في الجدول (1) سجلت محطة شيل الشرقي قيمة pH بلغت 6.68، بينما سجلت محطة شيل الغربي قيمة pH أعلى قليلاً بلغت 6.85. المياه الجوفية في كلا العينتين تقع ضمن الحدود المسموح بها حسب منظمة الصحة العالمية، وهو أمر إيجابي لصلاحيتها للشرب ويقلل من خطر التآكل في أنظمة توزيع المياه. توفر هذه النتيجة الإيجابية درجة من الطمأنينة فيما يتعلق بالسلامة الفورية للمياه الجوفية من حيث توازن pH، على الرغم من أن المراقبة المستمرة تظل ضرورية للكشف عن أي تحولات مستقبلية قد تشير إلى إجهاد بيئي أو تلوث.

Copyright Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0
Received: 20-06-2025 - **Accepted**: 23-08-2025 - **Published**: 30-08-2025

Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR

4. الكبريتات (SO_4^{2-})

الكبريتات (SO_4^{2-}) هي مركبات كيميائية طبيعية توجد عادة في مصادر المياه المختلفة، بما في ذلك المياه الجوفية. يُعزى وجودها غالباً إلى ذوبان المعادن المحتوية على الكبريتات، مثل الجبس والأنهيدريت، من التكوينات الجيولوجية التي تتخللها المياه. وضعت منظمة الصحة العالمية (WHO) قيمة إرشادية تبلغ 250 مجم/لتر للكبريتات في مياه الشرب، بناءً على اعتبارات جمالية (الطعم) وتأثيرات فسيولوجية محتملة. يوضح الجدول (1) تركيزات الكبريتات التي تم الكشف عنها في عينات المياه الجوفية التي تم جمعها من محطتي شيل الشرقي والغربي. سجلت محطة شيل الشرقي تركيز كبريتات بلغ 148 مجم/لتر، بينما أظهرت محطة شيل الغربي تركيزاً أقل قليلاً بلغ 122 مجم/لتر. كلتا القيمتين تقعان في الحد المسموح به لمنظمة الصحة العالمية.

5. النترات (NO_3^-)

النترات (NO_3^-) هي مركبات كيميائية شديدة الذوبان في الماء ويمكن أن تدخل أنظمة المياه الجوفية من مجموعة متنوعة من المصادر، سواء الطبيعية أو البشرية. تشمل المصادر الشائعة الجريان السطحي الزراعي، وخاصة من الاستخدام المفرط للأسمدة القائمة على النيتروجين، وتصريف أنظمة الصرف الصحي، ومياه الصرف الصناعي. بينما تُعد النترات مكوناً طبيعياً لدورة النيتروجين، فإن التركيزات المرتفعة في مياه الشرب يمكن أن تشكل مخاطر صحية كبيرة، خاصة على الفئات السكانية الضعيفة. أكثر المخاوف الصحية المعروفة المرتبطة بمستويات النترات العالية هي الميثيموغلوبينميا، والتي يشار إليها غالباً باسم "متلازمة الطفل الأزرق"، وهي حالة تؤثر بشكل أساسي على الرضع عن طريق إضعاف قدرة الدم على حمل الأكسجين. لقد وضعت منظمة الصحة العالمية (WHO) حدًا صارماً مسموحاً به يبلغ 50 مجم/لتر للنترات في مياه الشرب لحماية الصحة العامة. حسب الجدول (1) سجلت محطة شيل الشرقي تركيز نترات بلغ 4.0 مجم/لتر، بينما أظهرت محطة شيل الغربي تركيزاً أعلى قليلاً بلغ 4.6 مجم/لتر. كلتا القيمتين تقعان بشكل كبير دون الحد المسموح به لمنظمة الصحة العالمية. تُعد تركيزات النترات المنخفضة مؤشراً إيجابياً على الصحة العامة لنظام المياه الجوفية من حيث حمل المغذيات، وتسلط الضوء على فعالية عمليات التخفيف الطبيعية أو غياب المصادر الهامة المساهمة في النترات. ومع ذلك، تظل المراقبة المستمرة ممارسة حكيمة لضمان استمرار هذه الظروف المواتية والكشف عن أي تغييرات مستقبلية قد تنشأ عن أنماط استخدام الأراضي المتغيرة أو مصادر تلوث جديدة.

6. التأثيرات الصحية والبيئية

إن المستويات المرتفعة من TPH، COD، وTDS التي تم الكشف عنها في المياه الجوفية بمنطقة الدراسة تشير إلى وجود خطر حقيقي ووشيك على الصحة العامة والبيئة. يرتبط التعرض للهيدروكربونات البترولية(TPH) بمجموعة واسعة من المشاكل الصحية الخطيرة، بما في ذلك تلف الكبد والكلى، واضطرابات الجهاز العصبي المركزي، ومشاكل الجهاز التنفسي، وحتى زيادة خطر الإصابة بأنواع معينة من السرطان عند التعرض المزمن [3]. أما ارتفاع مستويات TDS، فبالإضافة إلى تأثيره على طعم المياه وجعلها غير مستساغة، يمكن أن يكون له تأثيرات فسيولوجية مباشرة. على سبيل المثال، أشارت بعض الدراسات إلى أن استهلاك مياه ذات مستويات TDS مرتفعة جداً قد يرتبط بارتفاع ضغط الدم ومشاكل في الجهاز الهضم [5]. فيما يتعلق بـ COD المرتفع، فإنه يشير إلى وجود كمية كبيرة من المواد العضوية القابلة للأكسدة في الماء. هذه المواد تستهلك الأكسجين المذاب في الماء أثناء تحللها، مما يؤدي إلى نقص حاد في الأكسجين الضروري لبقاء الكائنات الحية المائية. هذا النقص في الأكسجين يمكن أن يؤدي إلى اختلال كبير في النظام البيئي للمياه الجوفية، مما يؤثر على الكائنات الدقيقة والنباتات والحيوانات التي تعتمد على هذا الأكسجين. كما أن وجود كميات كبيرة من المواد العضوية يمكن أن يعزز نمو البكتيريا الضارة ويؤثر على جودة المياه بشكل عام [4]. بشكل عام، فإن هذه المستويات المرتفعة من الملوثات تؤكد على أن المياه الجوفية في هذه المناطق غير صالحة للاستهلاك البشري المباشر أو للاستخدامات التي تتطلب مياه ذات جودة عالية، وتستدعي تدخلاً عاجلاً لحماية صحة السكان والنظام البيئي.

Copyright Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0
Received: 20-06-2025 - **Accepted**: 23-08-2025 - **Published**: 30-08-2025

Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR

7. الخلاصة

توصلت هذه الدراسة إلى استنتاجات واضحة ومقلقة بشأن جودة المياه الجوفية في منطقتي محطتي الوقود الشرقي والغربي بمدينة صبراتة. لقد أظهرت النتائج بشكل قاطع أن المياه الجوفية في هاتين المنطقتين تعاني من تلوث بيئي كبير وواضح، والذي يُعزى بشكل رئيسي إلى تسرب المشتقات البترولية من محطات الوقود. تم تأكيد هذا التلوث من خلال مقارنة دقيقة للنتائج المخبرية المتحصل عليها مع المعايير الدولية الصارمة لجودة مياه الشرب، بالإضافة إلى دعم هذه الاستنتاجات بدراسات سابقة ذات صلة، سواء على المستوى المحلي أو الدولي. لقد برزت ثلاثة معايير رئيسية كمصادر رئيسية للخطورة والتلوث؛ المستويات المرتفعة بشكل غير مقبول من الهيدروكربونات البترولية الكلية (TPH)، والطلب الكيميائي للأكسجين (COD)، وإجمالي المواد الصلبة الذائبة (TDS). هذه القيم تتجاوز بكثير الحدود المسموح بها دولياً، مما يشير إلى تدهور كبير في جودة المياه الجوفية، ويشكل تهديداً مباشراً للصحة العامة والأنظمة البيئية المحلية. في المقابل، أظهرت المعايير الأخرى مثل الرقم الهيدروجيني (pH)، والكبريتات (SO_4^{2-})، والنترات (NO_3^-) أنها ضمن الحدود المسموح بها، مما يشير إلى أن التلوث الأساسي في هذه المناطق هو ذو طبيعة بترولية بالدرجة الأولى، وليس ناتجاً عن مصادر تلوث أخرى مثل الزراعة أو الصرف الصحي. إن هذه النتائج تدق ناقوس الخطر وتؤكد على الضرورة القصوى للتدخل السريع والفعال لمعالجة هذا الوضع البيئي الحرج.

8. التوصيات

بناءً على النتائج والاستنتاجات المتحصل عليها من هذه الدراسة، يوصى بالآتي:

1. يجب إنشاء برنامج مراقبة بيئية صارمة ودوري لجودة المياه الجوفية حول جميع محطات الوقود في مدينة صبراتة والمناطق المجاورة.
2. ضرورة إجراء فحص شامل وصيانة فورية لجميع خزانات الوقود تحت الأرض وخطوط الأنابيب وأنظمة التوزيع
3. يجب تزويد محطات الوقود بأنظمة كشف تسرب آلية ومتطورة، والتي يمكنها تنبيه المشغلين فور حدوث أي تسرب، مما يتيح الاستجابة السريعة والحد من انتشار التلوث.
4. يوصى بتطبيق تقنيات المعالجة البيولوجية (Bioremediation) مياه الجوفية والتربة الملوثة.
5. يجب تنظيم حملات توعية مكثفة للعاملين في محطات الوقود والمجتمع المحلي حول مخاطر التلوث النفطي للمياه الجوفية وأهمية الممارسات البيئية السليمة.
6. يجب توفير تدريب متخصص للعاملين على أفضل الممارسات في التعامل مع الوقود، وكيفية الاستجابة السريعة والفعالة في حالات الانسكاب أو التسرب.

المراجع

1. نجوى عبد العزيز الشامس، ابوبكر ابراهيم الحاجي، منى محمد ابراهيم (2021)، تأثير تسرب المشتقات النفطية من بعض محطات الوقود علي جودة المياه الجوفية مجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية، العدد الأول، الإصدار التاسع سبتمبر.

2. J. Whetzel, Underground Fuel Storage Tank Spills and Leaks, Published by Joan W.Z., Article Ecology Category, 2012.

3. B. Xiong, M.A. Soriano, K.M. Gutchess, N. Hoffman, C.J. Clark, H.G. Siegel, D.L. Plata, Groundwaters in Northeastern Pennsylvania near intense hydraulic fracturing activities exhibit few organic chemical impacts, Environ. Sci. J. Integr. Environ. Res.: Process. Impacts 24 (2) (2022) 252–264.

4. B.L. Harris, D.W. Hoffman, F.J. Mazac Jr. (2008), Reducing the Risk of Groundwater Contamination by Improving Petroleum Product Storage, A&M University System, Texas.

Copyright *Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0*
Received*: 20-06-2025 -* ***Accepted****: 23-08-2025 -* ***Published****: 30-08-2025*

Alq J Sci. 2025;1(2):125-133
https://doi.org/10.69667/ajs.25202
Alqalam Journal of Science
مجلـــة القلم للعلـوم
https://alqalam.utripoli.edu.ly/index.php/AR

5. محمد، مصباح احمد (2018)، تقييم التلوث البيئي الناجم من محطات الوقود في مدينة بني وليد، المؤتمر السنوي الثاني حول نظريات وتطبيقات العلوم الأساسية والحيوية، مصراتة.

6. World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for Drinking-water Quality, Fourth Edition, incorporating the First Addendum. Geneva: World Health Organization.

7. Osei, G. (2018), Assessment of Groundwater Contamination by Petroleum Hydrocarbons from Filling Stations in Kumasi, Ghana. Journal of Environmental Protection, 9(03), 297-308.

8. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (2019). Toxicological Profile for Total Petroleum Hydrocarbons (TPH). U.S. Department of Health and Human Services.

Copyright *Author (s) 2025. Distributed under Creative Commons CC-BY 4.0*
Received*: 20-06-2025 -* ***Accepted****: 23-08-2025 -* ***Published****: 30-08-2025*