



التقييم الهيدروكيميائي والميكروبيولوجي لجودة المياه الجوفية في بعض آبار نالوت وكاباو وتندميرة والرحبيات وجادو

سعيد احمد سعيد السيفاو¹، موسى احمد قايد²، محمد مصباح الهرامة³

^{1,2,3} قسم التقنية الكيميائية-كلية العلوم والتقنية جادو

Hydrochemical and Microbiological Assessment of Groundwater Quality in Selected Wells in Nalut,

Kabaw, Tandmira, Al-Rahbiyat, and Jadu

Said A.S, Sifau¹, Musa Gaied², MOHAMED ALI³

^{1,3,2} Department of Chemical Technology – Faculty of Science and Technology, Jadu

Corresponding Author's Email: ghaleb_said@yahoo.com

تاريخ الاستلام: 2026/09/02 - تاريخ المراجعة: 2026/09/03 - تاريخ القبول: 2026/10/02 - تاريخ النشر: 2026/10/08

المخلص :

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الهيدروكيميائية والميكروبيولوجية للمياه الجوفية في بعض الآبار الواقعة بمناطق نالوت وكاباو وتندميرة والرحبيات وجادو في ليبيا، وتحديد مدى ملائمتها للاستهلاك البشري من خلال مقارنة نتائج التحاليل بالمواصفات القياسية الليبية ذات الصلة وإرشادات منظمة الصحة العالمية لجودة مياه الشرب. جُمعت خمس عينات مياه جوفية خلال فصل الربيع من عام 2025، وأجريت عليها مجموعة من التحاليل الفيزيائية والكيميائية شملت الأس الهيدروجيني (pH)، والتوصيل الكهربائي (EC)، ومجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS)، والكالسيوم (Ca^{2+})، والمغنيسيوم (Mg^{2+})، والصوديوم (Na)، والبوتاسيوم (K)، والبيكربونات (HCO_3^-)، والكلوريد (Cl)، والكبريتات (SO_4^{2-})، والنترات (NO_3^-)، والفلوريد (F)، إلى جانب الفحص الميكروبيولوجي للعينات.

أظهرت النتائج تبايناً مكانياً في الخصائص الكيميائية للمياه المدروسة. تراوحت قيم الأس الهيدروجيني بين 6.7 و 7.3، في حين تراوحت قيم التوصيل الكهربائي بين 1299 و 3440 ميكروسيمنز/سم، ومجموع المواد الصلبة الذائبة بين 844 و 2236 ملغم/لتر، مما يشير إلى ارتفاع نسبي في المحتوى الملحي لعدد من الآبار. كما تراوحت تراكيز الصوديوم بين 205 و 912.2 ملغم/لتر، والكلوريد بين 348 و 607 ملغم/لتر، والكبريتات بين 195 و 470 ملغم/لتر. وسجلت النترات تراكيز تراوحت بين أقل من حد الكشف و 18 ملغم/لتر، بينما تراوحت تراكيز الفلوريد بين 0.76 و 1.55 ملغم/لتر، مع تجاوز طفيف للقيمة الإرشادية لمنظمة الصحة العالمية في إحدى العينات.

أظهرت نتائج الفحوصات الميكروبيولوجية عدم تسجيل نمو بكتيري وفق الاختبار المستخدم في الدراسة. وبصورة عامة، تشير النتائج إلى أن التباين في جودة المياه الجوفية المدروسة يرتبط بصورة رئيسية بارتفاع الملوحة وبعض الأيونات الرئيسية، ولا سيما مجموع المواد الصلبة الذائبة والتوصيل الكهربائي والصوديوم والكلوريد والكبريتات. وتبين أن بعض العينات لا تحقق متطلبات الجودة الكيميائية المناسبة للاستخدام المباشر كمياه شرب، رغم عدم تسجيل نمو بكتيري في الفحص الميكروبيولوجي المستخدم. وتوصي الدراسة بتعزيز برامج المراقبة الدورية للمياه الجوفية، وإجراء تحاليل موسمية وهيدروكيميائية وميكروبيولوجية أكثر شمولاً، مع تقييم الحاجة إلى المعالجة المناسبة قبل استخدامها لأغراض الشرب.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، التقييم الهيدروكيميائي، جودة المياه، التحاليل الميكروبيولوجية

1-المقدمة:

يُعد الماء أحد أهم الموارد الطبيعية التي تقوم عليها الحياة، وهو عنصر أساسي لاستمرار الأنظمة البيئية وصحة الإنسان والتنمية الاقتصادية والاجتماعية. وتزداد أهمية الموارد المائية في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تتسم بارتفاع معدلات التبخر وانخفاض معدلات هطول الأمطار وعدم انتظامها، الأمر الذي يجعل الاعتماد على المياه الجوفية ضرورة أساسية لتلبية جزء كبير من الاحتياجات المائية. وتُستخدم المياه الجوفية في العديد من المناطق لأغراض الشرب والزراعة والاستخدامات المنزلية والصناعية، ولذلك فإن المحافظة على نوعيتها تمثل جزءاً مهماً من الإدارة المستدامة للموارد المائية [1-3].

وتوجد المياه الجوفية داخل المسامات والشقوق والفراغات الموجودة في التكوينات الصخرية تحت سطح الأرض، وتتحرك بصورة بطيئة من مناطق التغذية إلى مناطق التصريف وفق الخصائص الهيدروجيولوجية للخرانات الجوفية. وتبدأ دورة المياه الجوفية بصورة رئيسية بتسرب جزء من مياه الأمطار والمياه السطحية إلى باطن الأرض، حيث تمر المياه خلال طبقات التربة والصخور وتتفاعل معها قبل وصولها إلى الخزانات الجوفية. وتختلف كمية المياه التي تصل إلى الخزان الجوفي وخصائصها تبعاً لنفاذية التربة والصخور ومساميتها، وكمية الأمطار، وطبيعة التضاريس، والظروف المناخية والجيولوجية للمنطقة [2,3].

ولا يمكن اعتبار المياه الجوفية مياهاً نقية بصورة مطلقة لمجرد وجودها تحت سطح الأرض؛ إذ إن تركيبها الكيميائي يتغير باستمرار نتيجة التفاعل بين المياه والصخور والمعادن التي تمر خلالها. وخلال حركة المياه الجوفية يمكن أن تذوب بعض المعادن والأملاح، مما يؤدي إلى زيادة تركيز مجموعة من الأيونات والعناصر الكيميائية في المياه. ومن أهم هذه المكونات الكالسيوم (Ca^{2+})، والمغنيسيوم (Mg^{2+})، والصوديوم (Na)، والبوتاسيوم (K)، والكلوريد (Cl)، والكبريتات (SO_4^{2-})، والبيكربونات (HCO_3^-)، إضافة إلى النترات (NO_3^-) والفلوريد (F). وتُستخدم دراسة هذه المكونات في التعرف على الخصائص الهيدروكيميائية للمياه وفهم بعض العمليات الطبيعية التي تتحكم في تركيبها الكيميائي [3-5].

وتتأثر جودة المياه الجوفية بعوامل طبيعية وأخرى بشرية. فمن العوامل الطبيعية طبيعة الصخور والتكوينات الجيولوجية، ودرجة تجوية المعادن، وزمن مكوث المياه داخل الخزان، وعمليات التبخر، والتبادل الأيوني، ودرجة الحموضة، ومعدل التغذية الجوفية. أما العوامل البشرية فتشمل الاستخدام المكثف للمياه الجوفية، وتسرب مياه الصرف الصحي، والتخلص غير المنظم من المخلفات، والاستخدام المفرط للأسمدة والمبيدات الزراعية، إضافة إلى بعض الأنشطة الصناعية. وقد يؤدي تداخل هذه العوامل إلى تغير الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه وزيادة تركيز بعض العناصر والأملاح فيها [4-6].

وتُعد الملوحة من أبرز المشكلات التي تواجه جودة المياه الجوفية، وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة. ويُعد كل من التوصيل الكهربائي (EC) ومجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS) من أهم المؤشرات المستخدمة في تقدير مستوى الأملاح الذائبة في المياه. ويرتبط ارتفاع التوصيل الكهربائي بصورة عامة بزيادة كمية الأيونات الذائبة، بينما يعبر مجموع المواد الصلبة الذائبة عن كمية المواد الذائبة الموجودة في المياه. ولذلك تستخدم هذه المؤشرات على نطاق واسع في تقييم نوعية المياه وتحديد مدى ملائمتها لمختلف الاستخدامات [5,6].

ويُعد الأس الهيدروجيني (pH) من المؤشرات المهمة في تقييم المياه، لأنه يؤثر في ذوبانية العديد من العناصر والتفاعلات الكيميائية داخل الوسط المائي. كما أن تغير قيمة الأس الهيدروجيني يمكن أن يؤثر في طبيعة بعض العمليات الكيميائية وفي كفاءة عمليات معالجة المياه. ولذلك فإن قياس pH يمثل جزءاً أساسياً من برامج مراقبة جودة مياه الشرب والمياه الجوفية [7].

ومن ناحية أخرى، يمثل الكالسيوم والمغنيسيوم جزءًا مهمًا من التركيب الكيميائي للمياه الجوفية، ويرتبط وجودهما بصورة رئيسية بالتفاعل مع الصخور والمعادن الحاوية على الكربونات والكبريتات وغيرها. ويسهم ارتفاع تركيز الكالسيوم والمغنيسيوم في زيادة عسر المياه، كما يمكن أن يؤثر في خصائصها التشغيلية واستخدامها المنزلي. أما الصوديوم والكلوريد فيمكن أن يرتبط ارتفاعهما بعمليات طبيعية مثل ذوبان المعادن والتبادل الأيوني، كما قد يتأثران بظروف التغذية والاستغلال الجائر للمياه الجوفية والتغيرات الهيدروكيميائية داخل الخزان [3-6].

وتحظى الكبريتات والبيكربونات كذلك بأهمية في تحديد طبيعة المياه الجوفية، حيث يمكن أن تنتج البيكربونات بصورة رئيسية من ذوبان المعادن الكربوناتية والتفاعلات المرتبطة بثاني أكسيد الكربون في التربة والمياه، في حين قد ترتبط الكبريتات بذوبان المعادن الحاوية على الكبريتات أو بمصادر أخرى طبيعية وبشرية. ولذلك فإن دراسة هذه الأيونات مجتمعة توفر صورة أكثر شمولًا للتركيب الهيدروكيميائي للمياه بدل الاعتماد على عنصر واحد عند تقييم جودتها [3،5].

وتُعد النترات من المؤشرات المهمة عند تقييم تأثير الأنشطة البشرية في المياه الجوفية، إذ يمكن أن تصل إلى الخزانات الجوفية من مصادر مختلفة، من بينها الأسمدة الزراعية وتسرب مياه الصرف الصحي والمخلفات العضوية. ولهذا فإن قياس تركيز النترات يمثل جزءًا مهمًا من تقييم سلامة مصادر مياه الشرب، وخاصة في المناطق التي توجد فيها أنشطة زراعية أو تجمعات سكانية بالقرب من الآبار [6،7]. كما يمثل الفلوريد عنصرًا يحتاج إلى مراقبة دقيقة؛ إذ إن تركيزه في المياه الجوفية يرتبط بدرجة كبيرة بطبيعة الصخور والتكوينات الجيولوجية، وقد تختلف تراكيزه بصورة واضحة بين المناطق تبعًا للظروف الجيوكيميائية المحلية.

ولا تقتصر عملية تقييم جودة المياه على الخصائص الفيزيائية والكيميائية، بل تشمل كذلك الجانب الميكروبيولوجي. فقد تتعرض المياه الجوفية للتلوث الميكروبي نتيجة تسرب مياه الصرف الصحي أو وجود مصادر تلوث قريبة من الآبار، ولا سيما عندما تكون حماية الآبار غير كافية. ويُعد وجود الكائنات الدقيقة الممرضة أو المؤشرات البكتيرية للتلوث من أهم المخاطر المرتبطة بمياه الشرب، ولذلك فإن الفحوصات الميكروبيولوجية تعد عنصرًا أساسيًا في تقييم سلامة مصادر المياه المستخدمة للاستهلاك البشري [7،8].

وتؤكد منظمة الصحة العالمية أن ضمان سلامة مياه الشرب ينبغي ألا يعتمد فقط على فحص المياه النهائية، بل يجب أن يقوم على منهج وقائي لإدارة المخاطر يبدأ من حماية مصدر المياه ويمتد إلى عمليات المعالجة والنقل والتخزين وحتى نقطة الاستخدام. وتوفر إرشادات منظمة الصحة العالمية لجودة مياه الشرب إطارًا علميًا لتقييم المخاطر الصحية المرتبطة بمياه الشرب وتحديد التدابير اللازمة للحد منها [8]. كما تؤكد الإصدارات الحديثة من هذه الإرشادات أهمية خطط سلامة المياه والمراقبة المستمرة للمصادر المائية، باعتبار أن جودة المياه قد تتغير مع الزمن نتيجة التغيرات الطبيعية والأنشطة البشرية.

وتكتسب دراسة جودة المياه الجوفية أهمية خاصة في ليبيا بسبب الظروف المناخية الجافة ومحدودية الموارد المائية السطحية، الأمر الذي جعل المياه الجوفية موردًا أساسيًا تعتمد عليه مناطق عديدة في تلبية احتياجاتها المائية. وقد أدى تزايد الطلب على المياه خلال العقود الماضية إلى زيادة الاعتماد على الآبار الجوفية، وفي بعض المناطق أدى الاستغلال المستمر للخزانات الجوفية إلى تغيرات في مستوى المياه ونوعيتها. كما أن محدودية التغذية الطبيعية لبعض الخزانات مقارنة بمعدلات السحب قد تزيد من احتمالية حدوث تغيرات هيدروكيميائية وارتفاع تركيز الأملاح في بعض المصادر [9،10].

وقد تناولت دراسات سابقة جودة المياه الجوفية في عدد من المناطق الليبية، وأظهرت اختلافًا واضحًا في الخصائص الفيزيائية والكيميائية بين المناطق والآبار. وأشارت بعض الدراسات إلى ارتفاع قيم التوصيل الكهربائي ومجموع المواد الصلبة الذائبة وبعض

الأيونات الرئيسية في عدد من مصادر المياه، مما يعكس تأثير الظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية المحلية، إلى جانب احتمالية تأثير الأنشطة البشرية والاستغلال المكثف للمياه الجوفية [9-12]. كما أظهرت دراسات حديثة استخدام مؤشرات جودة المياه والتقييم الهيدروكيميائي في تحديد مدى ملاءمة المياه الجوفية للاستهلاك البشري، وأكدت أهمية دمج مجموعة من المؤشرات بدل الاعتماد على متغير منفرد في الحكم على جودة المياه.

وقد أشارت دراسة أجريت على المياه الجوفية في منطقة المرج بليبيا إلى وجود اختلاف في الخصائص الكيميائية للمياه بين الآبار المدروسة، مع وجود بعض المؤشرات التي تحتاج إلى مراقبة مستمرة لضمان ملاءمة المياه للاستخدامات المختلفة [11]. كما تناولت دراسات أخرى جودة المياه الجوفية في مدينة طرابلس ومناطق مختلفة من ليبيا باستخدام مجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية، وأكدت أهمية المراقبة المستمرة لمصادر المياه الجوفية التي يعتمد عليها السكان [12]. كذلك أظهرت دراسة حديثة لتقييم المياه الجوفية في جنوب غرب ليبيا أن استخدام مؤشرات جودة المياه إلى جانب التحليل الهيدروكيميائي يوفر وسيلة أكثر شمولاً لتقييم درجة ملاءمة المياه للشرب وتحديد المناطق التي تحتاج إلى مزيد من الدراسة أو المعالجة [13].

وعلى الرغم من وجود عدد من الدراسات المتعلقة بجودة المياه الجوفية في ليبيا، فإن المعلومات المنشورة عن الخصائص الهيدروكيميائية والميكروبيولوجية للمياه الجوفية في بعض مناطق غرب ليبيا، وبصفة خاصة المواقع المختارة في هذه الدراسة، ما تزال محدودة. كما أن الاختلاف في الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية من منطقة إلى أخرى يجعل من الصعب تعميم نتائج دراسة منطقة معينة على مناطق أخرى، الأمر الذي يؤكد الحاجة إلى إجراء دراسات محلية تعتمد على عينات ميدانية وتحاليل مخبرية مباشرة.

وتكتسب مناطق نالوت وكاباو وتندميرة والرحبيات وجادو أهمية خاصة في هذا السياق، نظراً لاعتماد السكان في هذه المناطق بدرجات مختلفة على مصادر المياه الجوفية لتلبية احتياجاتهم اليومية. ومن ثم فإن معرفة الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لهذه المياه تعد أمراً ضرورياً لتقييم وضعها الحالي وتحديد المؤشرات التي قد تؤثر في جودتها. كما يمكن أن توفر نتائج هذا النوع من الدراسات بيانات مرجعية يمكن الاستفادة منها في عمليات المراقبة المستقبلية ومقارنة التغيرات التي قد تحدث في نوعية المياه مع مرور الزمن.

2- التجارب العملية :

تحديد منطقة الدراسة وتجميع العينات :

أجريت الدراسة على عدد من آبار المياه الجوفية الواقعة في مناطق نالوت وكاباو وتندميرة والرحبيات وجادو في غرب ليبيا، حيث تمتد مواقع الدراسة على طول الطريق الرابط بين مدينة طرابلس ومدينة نالوت. وتبعد منطقة الدراسة مسافة تقارب 220 كم عن العاصمة الليبية طرابلس

وقد تم اختيار المواقع الخمسة بهدف تمثيل مصادر مختلفة للمياه الجوفية في المنطقة، وهي: نالوت، وكاباو، وتندميرة، والرحبيات، وجادو. وتم تحديد مواقع الآبار وإعطائها رموزاً مختصرة (A-E) لتسهيل عرض النتائج ومناقشتها. ويبين الجدول (1) أسماء مواقع أخذ العينات ورموز الآبار والإحداثيات الجغرافية الخاصة بها.

أجريت عملية جمع عينات المياه الجوفية خلال فصل الربيع من عام 2025، وشملت الدراسة خمس عينات ممثلة لخمس آبار موزعة على مواقع الدراسة. وتم جمع عينات التحليل الكيميائي في عبوات بلاستيكية نظيفة ومحكمة الغلق، بعد غسلها جيداً بالماء المقطر

التقييم الهيدروكيميائي والميكروبيولوجي لجودة المياه الجوفية في بعض آبار نالوت وكاباو وتندميرة والرحبيات وجادو

عدة مرات، ثم شطفها بماء العينة قبل تعبئتها، وذلك لتقليل احتمالية حدوث تلوث أو تغير في تركيب العينة نتيجة بقاء المواد الموجودة في العبوات.

وبالنسبة للعينات المخصصة للتحليلات الكيميائية للعناصر، تم تحميضها عند الحاجة باستخدام حمض النيتريك بكمية مناسبة وفق طريقة التحليل المعتمدة، بهدف المحافظة على العناصر الذائبة والحد من امتزاجها على جدران العبوة أو ترسيبها أثناء التخزين. أما العينات المخصصة للفحوصات الميكروبيولوجية، فقد جُمعت في عبوات معقمة ومخصصة لهذا الغرض دون إضافة مواد حافظة أو أحماض، وذلك للحفاظ على الحالة الميكروبيولوجية الأصلية للعينة.

تم ترميز العينات مباشرة بعد جمعها، ونقلت إلى المختبر لإجراء التحاليل المطلوبة، مع مراعاة ظروف الحفظ والنقل المناسبة لكل نوع من أنواع التحاليل، وذلك للحد من حدوث أي تغيرات في الخصائص الفيزيائية والكيميائية أو الميكروبيولوجية للعينات قبل إجراء القياسات.

أقتصرت الحدود المكانية للدراسة على خمسة آبار للمياه الجوفية موزعة على مناطق نالوت وكاباو وتندميرة والرحبيات وجادو، كما هـ و موضح في الجدول رقم (1)

م	اسم البئر	رمز البئر	الاحداثيات		حجم العبوة
			X	Y	
1	نالوت	A	11.03	31.88	1 لتر
2	كاباو	B	11.31	31.93	1 لتر
3	الورشفاني تندميرة	C	11.47	31.89	1 لتر
4	الرحبيات	D	11.47	31.54	1 لتر
5	بأغلان جادو	E	11.52	31.59	1 لتر

المواد الكيميائية والأجهزة المستخدمة::

أُجريت الفحوصات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية لعينات المياه الجوفية في مختبرات قسم المختبرات الكيميائية والفيزيائية بمصفأة الزاوية، التابعة لشركة الزاوية لتكرير النفط - المؤسسة الوطنية للنفط، ليبيا. وقد شملت الفحوصات مجموعة من المؤشرات التي تستخدم في تقييم جودة المياه الجوفية ومدى ملاءمتها للاستخدام البشري.

تم قياس الأس الهيدروجيني (pH) مباشرة باستخدام جهاز **Waterproof pH Meter**، وذلك لتحديد طبيعة المياه من حيث الحموضة والقاعدية.

كما تم قياس مجموع المواد الصلبة الذائبة (TDS) باستخدام جهاز **Waterproof TDS Meter**، وتم التعبير عن النتائج بوحدة ملغم/لتر (mg/L). كما تم قياس التوصيل الكهربائي (EC) والتعبير عنه بوحدة ميكروسيمنز/سم (μS/cm).

التقييم الهيدروكيميائي والميكروبيولوجي لجودة المياه الجوفية في بعض آبار نالوت وكاباو وتدميرة والرحيبات وجادو

تم تحديد تراكيز الأيونات والعناصر الكيميائية في عينات المياه باستخدام جهاز **Spectrophotometer** ووفق طرق التحليل القياسية المعتمدة لكل عنصر.

وشملت التحاليل الكيميائية العناصر والأيونات الآتية: الكالسيوم (Ca^{2+}).المغنيسيوم (Mg^{2+}).الصوديوم (Na).البوتاسيوم (K). الكلوريد (Cl).البكربونات (HCO).الكبريتات (SO_2).النترات (NO).الفلوريد (F).

وقد تم التعبير عن تراكيز العناصر والأيونات بوحدة ملغم/لتر (mg/L)، ثم تمت مقارنة القيم المتحصل عليها بالقيم الحدية الواردة في المواصفات القياسية المستخدمة في الدراسة.

أُجريت الفحوصات الميكروبيولوجية بهدف الكشف عن وجود التلوث البكتيري في عينات المياه المدروسة. وتم استخدام حاضنة بكتيرية (**Bacteria Incubator**) ضمن إجراءات الفحص المخبري المعتمدة.

وقد تم التعامل مع العينات المخصصة للتحليل الميكروبيولوجي بطريقة منفصلة عن العينات المخصصة للتحليل الكيميائي، مع مراعاة شروط التعقيم والحفظ المناسبة لتقليل احتمالية حدوث تلوث خارجي أو تغير في الحالة الميكروبية للعينة.

جدول (2). القيم المرجعية لبعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية المستخدمة في تقييم جودة مياه الشرب

الموصفات المعتمدة		الرمز الكيميائي	العناصر الفيزيائية و الكيميائية
الموصفات	الموصفات		
القياسية العالمية	القياسية الليبية		

التقييم الهيدروكيميائي والميكروبيولوجي لجودة المياه الجوفية في بعض آبار نالوت وكاباو وتدميرة والرحيبات وجادو

6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	pH	الأس الهيدروجيني
500 – 1000	500	STD	الأملاح الذائبة الكلية
450 – 1500	–	EC	التوصيل الكهربائي
200 – 400	100	Na	الصوديوم
12	12	k	البوتاسيوم
30 – 200	–	c_a	الكالسيوم
10 – 50	–	Mg	المغنيسيوم
200	150	HCO_3	البicarbonات
200 – 600	150	CL	الكلوريد
10 – 50	10	NO_3	النترات
200 – 400	150	SO_4	الكبريتات
0.8-1.5	1	F	الفلوريد

3- النتائج ومناقشتها:

يوضح الجدول رقم (3) نتائج الفحوصات الفيزيائية والكيميائية التي أُجريت على عينات مياه الشرب المعبأة المنتجة من مياه بعض الآبار الجوفية وقد تم تقييم جودة هذه المياه من خلال مقارنة القيم المقاسة بالحدود والمواصفات القياسية الليبية الخاصة بمياه الشرب، وكذلك بالقيم الإرشادية المعتمدة من منظمة الصحة العالمية (WHO)، وذلك بهدف تحديد مدى مطابقة العينات للمتطلبات القياسية لجودة مياه الشرب

أظهرت نتائج الفحوصات الفيزيائية والكيميائية تفاوتاً في قيم بعض المؤشرات بين العينات المدروسة، ويُعزى هذا التفاوت بصورة أساسية إلى الاختلاف في الخصائص الجيولوجية والهيدروكيميائية لمصادر المياه، إضافة إلى اختلاف الظروف المحيطة بالآبار. ودرجة تعرضها للعوامل الطبيعية والبشرية.

جدول (3) يوضح نتائج اختبار مياه الشرب المعبأة لجودة المياه الجوفية في بعض آبار نالوت وكاباو وتدميرة والرحيبات المقاسة بالمليجرام \ لتر (ppm)

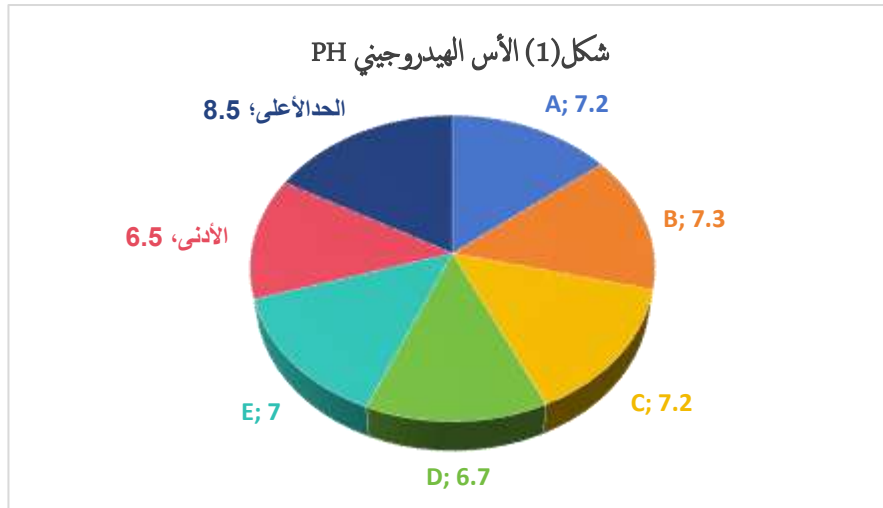
تسلسل	A	B	C	D	E
درجة الحموضة (pH)	7.2	7.3	7.2	6.7	7

التقييم الهيدروكيميائي والميكروبيولوجي لجودة المياه الجوفية في بعض آبار نالوت وكاباو وتندميرة والرحيبات وجادو

التوصيل الكهربائي (EC)	1299 $\mu\text{s/cm}$	1845 $\mu\text{s/cm}$	1865 $\mu\text{s/cm}$	2420 $\mu\text{s/cm}$	3440 $\mu\text{s/cm}$
مجموع الأملاح الذائبة (TDS)	844 mg/l	1199 mg/l	1212 mg/l	1573 mg/l	2236 mg/l
الكالسيوم (Ca)	120 mg/l	60mg/l	64 mg/l	160 mg/l	168 mg/l
الماغنيسيوم (Mg)	36.5 mg/l	58.3 mg/l	58.3 mg/l	72.8 mg/l	145.8 mg/l
الصوديوم (Na)	205 MG/L	543	569	657	912.2
البوتاسيوم (K)	12.35	20.26	21.41	8.62	10.9
البكربونات (HCO_3)	427 Mg/l	396.5	366	305	549
الكلوريد (Cl)	607 mg/l	426 mg/l	362 mg/l	348 mg/l	369 mg/l
الكبريتات (SO_4)	195 mg/l	350 mg/l	470 mg/l	195 mg/l	410 mg/l
النترات (NO_3)	14 mg/l	1.3 mg/l	0.0 mg/l	2.1mg/l	18 mg/l
الفلوريد (F)	0.76 mg/l	0.78 mg/l	0.84 mg/l	1.55 mg/l	0.97 mg/l

الأس الهيدروجيني (pH)

من النتائج المتحصل عليها من الشكل رقم (1)، يتضح أن قيم الأس الهيدروجيني (pH) للعينات الخمس تراوحت بين (6.7-7.3)، وهي تقع ضمن الحدود الموصى بها لمياه الشرب. وتشير منظمة الصحة العالمية (WHO) إلى أن المجال المناسب بصورة عامة للأس الهيدروجيني في مياه الشرب يتراوح بين (6.5-8.5)، كما تشير إلى أن قيمة pH الأقل من 8 تساعد على فعالية عملية الكلورة [6]. وتتفق النتائج الحالية مع هذه التوصيات، مما يدل على أن قيم pH للعينات المدروسة تقع ضمن المستوى المقبول.



مجموع الأملاح الذائبة الكلية (TDS)

أوضحت النتائج المبينة في الشكل (2) أن قيم مجموع الأملاح الذائبة الكلية (TDS) تراوحت بين 844 و 2236 ملغم/لتر. وبمقارنتها بالموصفة القياسية الليبية، تبين أن معظم العينات سجلت قيمًا أعلى من الحد المسموح به، باستثناء العينة (A) التي سجلت قيمة بلغت 844 ملغم/لتر.

وتشير منظمة الصحة العالمية إلى أن ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة الكلية يؤثر بصورة أساسية في طعم المياه واستساغتها، إذ تكون المياه ذات التركيزات المنخفضة أكثر قبولًا، بينما قد تقل الاستساغة مع ارتفاع التركيز [1]. وقد يُعزى ارتفاع قيم (TDS) في العينات المدروسة إلى طبيعة التكوينات الجيولوجية للمنطقة، وما يصاحب حركة المياه الجوفية من عمليات إذابة وتجوية للمعادن والأملاح [2].

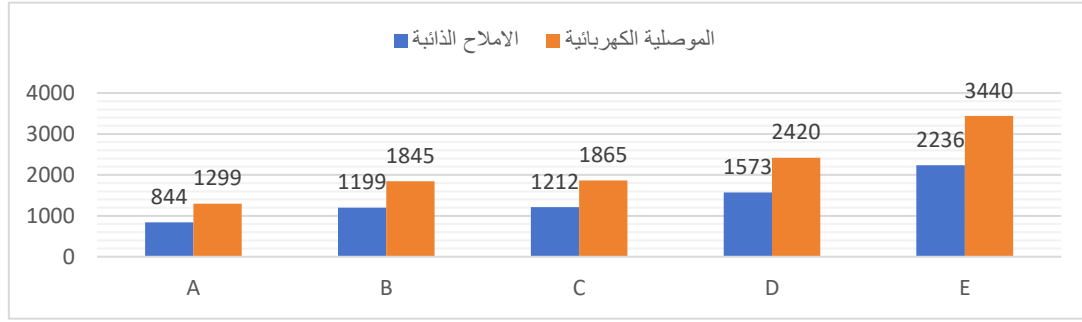
وعليه، فإن ارتفاع قيم (TDS) في معظم العينات يشير إلى زيادة محتوى المياه من الأملاح الذائبة، مما يستدعي متابعة جودة هذه المياه وربط هذه النتائج بتركيز الأيونات الرئيسية، مثل الكلوريد والكبريتات والكالسيوم والمغنيسيوم، لتقييم جودة المياه بصورة أكثر شمولًا.

الموصلية الكهربائية (EC)

يتضح من الشكل (2) أن قيم الموصلية الكهربائية في العينات المدروسة تراوحت بين 1299 و 3440 $\mu\text{S}/\text{cm}$. وبمقارنة النتائج المتحصل عليها مع الحدود المعتمدة في المواصفات القياسية المحلية ومواصفات منظمة الصحة العالمية، تبين أن معظم العينات تجاوزت القيم المسموح بها، باستثناء العينة (A) التي سجلت قيمة ضمن الحدود المعتمدة وفق مواصفات منظمة الصحة العالمية.

وتتوافق هذه النتيجة مع ارتفاع قيم مجموع الأملاح الذائبة الكلية (TDS) التي أظهرتها العينات، مما يشير إلى وجود علاقة بين زيادة تركيز الأملاح الذائبة وارتفاع الموصلية الكهربائية في مياه الآبار المدروسة.

شكل (2) قيم الاملاح الذائبة، الموصلية الكهربائية للعينات المدروسة



تركيز الصوديوم (Na)

أوضحت النتائج المتحصل عليها، والمبينة في الشكل (3)، أن تراكيز أيون الصوديوم (Na) في عينات المياه المعبأة المدروسة تراوحت بين 205 و 912.2 ملغم/لتر (mg/L). وبمقارنة القيم المسجلة بالحدود المسموح بها وفقاً للمواصفات القياسية المعتمدة في الدراسة، تبين أن تراكيز الصوديوم في العينات كانت مرتفعة، حيث تجاوزت معظم القيم الحدود المسموح بها وفق المواصفات القياسية الليبية ومعايير منظمة الصحة العالمية، والتي بلغت 200 و 400 ملغم/لتر، على التوالي.

كما يشير أن ارتفاع الصوديوم قد يكون مرتبطاً بارتفاع الملوحة الكلية للمياه، وهو ما يتفق مع النتائج المرتفعة التي سجلها كل من مجموع الأملاح الذائبة الكلية (TDS) والموصلية الكهربائية (EC) في العينات المدروسة.

تركيز الكالسيوم (Ca^{2+})

أظهرت النتائج الموضحة في الشكل (3) أن تراكيز أيون الكالسيوم (Ca^{2+}) في عينات المياه المعبأة تراوحت بين 60 و 168 ملغم/لتر، حيث سجلت العينة (E) أعلى تركيز، في حين سجلت العينة (B) أدنى تركيز.

وبمقارنة النتائج المتحصل عليها بالحدود المعتمدة في المواصفات القياسية الليبية والمواصفات الدولية المعتمدة في الدراسة، تبين أن جميع العينات كانت ضمن الحدود المسموح بها. وتشير هذه النتائج إلى أن تراكيز الكالسيوم في المياه المدروسة لا تمثل مشكلة من ناحية مطابقتها للحدود القياسية، كما أن وجود الكالسيوم في المياه الجوفية يرتبط بصورة طبيعية بتفاعل المياه مع الصخور والمعادن الحاملة للكالسيوم، ولا سيما الصخور الكربوناتها. تركيز المغنيسيوم (Mg^{2+})

أوضحت نتائج التحاليل، كما هو مبين في الشكل (3)، وجود اختلاف في تراكيز أيون المغنيسيوم (Mg^{2+}) بين العينات المدروسة، حيث سجلت العينة (D) أعلى تركيز، بينما سجلت العينة (A) أقل تركيز.

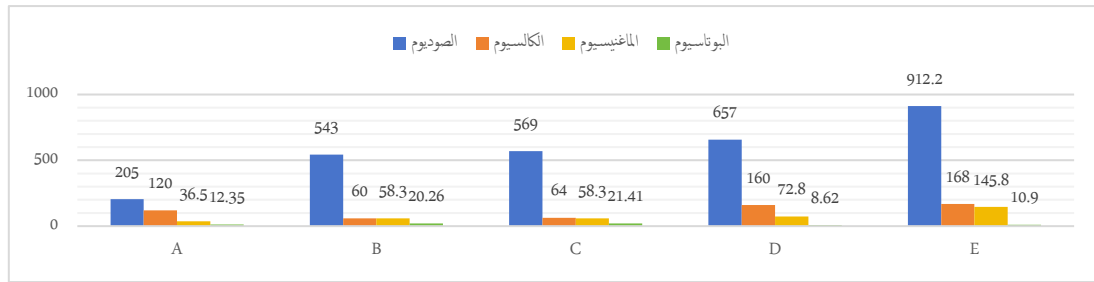
وبمقارنة القيم المسجلة بالحدود المسموح بها وفقاً للمواصفات القياسية الليبية ومعايير منظمة الصحة العالمية المعتمدة في الدراسة، تبين أن تراكيز المغنيسيوم في العينات تجاوزت الحدود العليا المسموح بها. وقد يسهم ارتفاع تركيز المغنيسيوم في زيادة عسر المياه، خاصة عند وجوده بالتزامن مع ارتفاع تركيز الكالسيوم، كما يمكن أن يؤثر ارتفاعه في الخصائص الحسية للمياه، ولا سيما الطعم. لذلك، فإن ارتفاع المغنيسيوم المسجل في العينات يستدعي أخذه في الاعتبار عند تقييم الجودة الكيميائية لمياه الآبار المدروسة.

تركيز البوتاسيوم (K)

يتضح من الشكل (3) أن تراكيز أيون البوتاسيوم (K) في العينات المدروسة تراوحت بين 12.0 و 16.8 ملغم/لتر (mg/L). وبمقارنة هذه النتائج بالحدود المسموح بها وفقاً للمواصفات القياسية الليبية ومعايير منظمة الصحة العالمية المعتمدة في الدراسة، تبين أن العينات (E، D، C، B) سجلت قيماً أعلى من الحد المسموح به، في حين سجلت العينة (A) قيمة تقع ضمن الحدود المسموح بها.

وقد يرتبط وجود البوتاسيوم في المياه الجوفية بعمليات التجوية وإذابة بعض المعادن والصخور، كما يمكن أن تتأثر تراكيزه بالمصادر الطبيعية والبشرية المحيطة بمصادر المياه. وتشير النتائج بصورة عامة إلى وجود تفاوت في تراكيز البوتاسيوم بين العينات، مع ارتفاع نسبي في معظمها مقارنة بالحدود المعتمدة في الدراسة.

شكل (3) الصوديوم ، الكالسيوم ، الماغنسيوم، البوتاسيوم للعينات المدروسة



-تركيز الكلوريد (Cl)

أظهرت النتائج الموضحة في الشكل (4) أن تراكيز أيون الكلوريد (Cl) في العينات المدروسة تراوحت بين 362 و 607 ملغم/لتر. وبمقارنة هذه النتائج بالحدود المسموح بها وفقاً للمواصفات القياسية الليبية ومنظمة الصحة العالمية، والبالغة 200 و 600 ملغم/لتر على التوالي، تبين أن معظم العينات كانت ضمن الحدود المسموح بها، مع تسجيل ارتفاع طفيف في بعض العينات مقارنة بالحد الأعلى المعتمد.

- تركيز الفلوريد (F)

يتضح من الشكل (4) أن تراكيز الفلوريد (F) تراوحت بين 0.76 و 1.55 ملغم/لتر. وبمقارنة النتائج بالحدود المعتمدة في الدراسة، والبالغة 0.8 و 1.5 ملغم/لتر وفقاً للمواصفات القياسية الليبية ومنظمة الصحة العالمية على التوالي، تبين أن العينتين (A) و (B) سجلتا قيماً أقل من الحد المسموح به، في حين تجاوزت العينة (D) الحد الأعلى، بينما كانت قيم العينتين (C) و (E) ضمن الحدود المسموح بها.

تركيز الكبريتات (SO²)

أوضحت النتائج المبينة في الشكل (4) أن تراكيز الكبريتات (SO²) تراوحت بين 195 و 470 ملغم/لتر. وتشير المقارنة مع الحدود المعتمدة في المواصفات القياسية الليبية ومعايير منظمة الصحة العالمية إلى وجود تفاوت بين العينات، حيث جاءت بعض القيم ضمن الحدود المسموح بها، في حين تجاوزت بعض العينات الحدود المعتمدة.

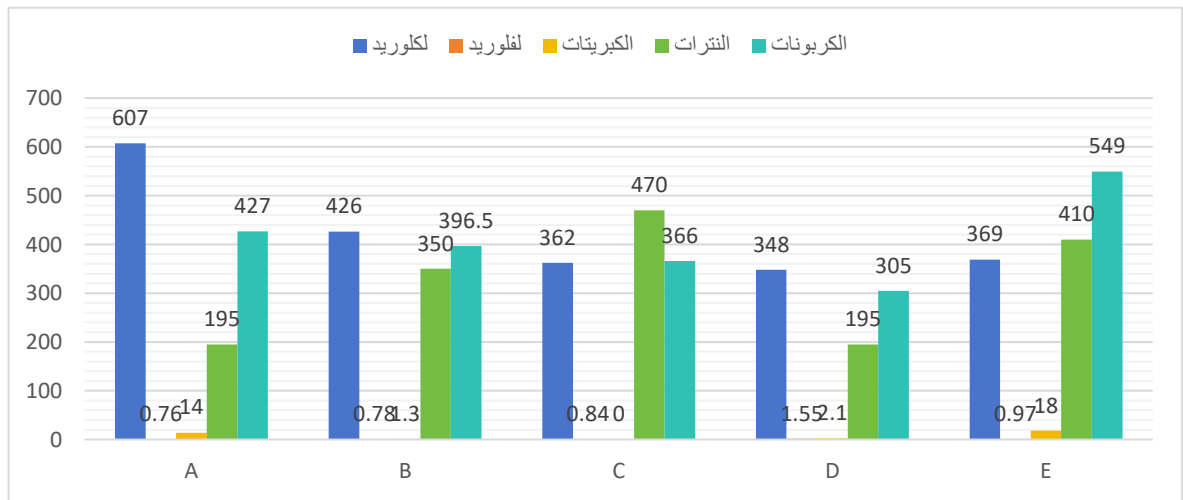
تركيز النترات (NO)

أظهرت النتائج في الشكل (4) أن تراكيز النترات (NO) تراوحت بين 0.0 و 18 ملغم/لتر. وبمقارنتها بالحدود المسموح بها وفق المواصفات الليبية ومنظمة الصحة العالمية، والبالغة 10 و 40 ملغم/لتر على التوالي، تبين أن جميع القيم المسجلة في العينات المدروسة كانت ضمن الحدود المعتمدة.

تركيز البيكربونات (HCO)

بينت النتائج الموضحة في الشكل (4) أن تراكيز البيكربونات (HCO) تراوحت بين 305 و 549 ملغم/لتر، وهي قيم تشير إلى ارتفاع تركيز البيكربونات في العينات مقارنة بالحدود المعتمدة وفق المواصفات القياسية الليبية ومعايير منظمة الصحة العالمية. وقد يرتبط ارتفاع البيكربونات بطبيعة التكوينات الجيولوجية للمنطقة، نتيجة تفاعل المياه الجوفية مع الصخور والمعادن الكربوناتية، الأمر الذي قد يسهم في زيادة قلوية المياه والعسر الكلي.

شكل (4) قيم الكربونات، النترات، الكبريتات، الفلور، الكلور للعينات



التحليل البيولوجية:

أُجريت الفحوصات البيولوجية على عينات المياه المدروسة بهدف الكشف عن مدى وجود التلوث الميكروبي والبكتيري، وتقييم سلامة المياه من الناحية البيولوجية. وأظهرت النتائج المتحصل عليها باستخدام اختبار التخمر أن جميع العينات المدروسة لم تُظهر وجودًا للكائنات الدقيقة المستهدفة في الاختبار، مما يشير إلى عدم وجود دليل على التلوث البكتيري في العينات وقت إجراء الفحوصات.

وتشير هذه النتائج إلى أن العينات المدروسة كانت سليمة من الناحية الميكروبيولوجية وفقًا للتحاليل التي أُجريت، مع التأكيد على أهمية إجراء الفحوصات الميكروبيولوجية بصورة دورية للتأكد من استمرار سلامة المياه، نظرًا لإمكانية تعرض مصادر المياه الجوفية للتلوث نتيجة العوامل البيئية والبشرية المختلفة.

4. الاستنتاجات

التقييم الهيدروكيميائي والميكروبيولوجي لجودة المياه الجوفية في بعض آبار نالوت وكاباو وتندميرة والرحيبات وجادو

استنادًا إلى نتائج الفحوصات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية التي أجريت على عينات مياه الآبار المدروسة، ومقارنتها بالموصفات القياسية الليبية والمعايير المعتمدة في الدراسة، يمكن استخلاص النتائج الآتية:

التحليل البيولوجية: أظهرت نتائج الفحوصات الميكروبيولوجية أن جميع العينات المدروسة كانت خالية من مؤشرات التلوث البكتيري التي تم الكشف عنها باستخدام الاختبارات المعتمدة في الدراسة، مما يشير إلى سلامتها من الناحية الميكروبيولوجية وقت إجراء التحليل.

التحليل الفيزيائية: أظهرت نتائج الرقم الهيدروجيني (pH) أن جميع العينات كانت ضمن المجال المسموح به، والذي يتراوح بين 6.5-8.5. في المقابل، سجل مجموع الأملاح الذائبة الكلية (TDS) قيمًا مرتفعة في معظم العينات مقارنة بالحدود المعتمدة في المواصفات المستخدمة في الدراسة، مما يشير إلى ارتفاع محتوى بعض العينات من الأملاح والمواد الذائبة.

التحليل الكيميائية: أظهرت النتائج وجود تفاوت في تراكيز العناصر والأيونات الكيميائية بين العينات الخمس المدروسة. وقد تجاوزت بعض العناصر، مثل الصوديوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والفلوريد في بعض العينات، الحدود المعتمدة وفق المواصفات المستخدمة في الدراسة، بينما جاءت بعض العناصر الأخرى ضمن الحدود المسموح بها. ويشير هذا التفاوت إلى اختلاف الخصائص الهيدروكيميائية لمصادر المياه الجوفية المدروسة.

بصورة عامة، تشير النتائج إلى أن جودة مياه الآبار المدروسة تختلف من عينة إلى أخرى، وأن بعض الخصائص الكيميائية تحتاج إلى مزيد من المتابعة والمعالجة قبل اعتماد المياه للاستهلاك البشري المباشر، في حين أظهرت النتائج البيولوجية عدم وجود تلوث بكتيري في العينات وقت إجراء التحليل.

5. التوصيات

بناءً على النتائج المتحصل عليها، يمكن تقديم التوصيات الآتية:

الاهتمام بتوفير أجهزة ومعدات حديثة لفحص ومعالجة وتقييم مياه الآبار، بما يضمن تحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية قبل استخدامها للشرب.

إجراء الفحوصات الدورية لمياه الآبار، وخاصة الفحوصات الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية، للتأكد من استمرار مطابقتها للمواصفات القياسية المعتمدة.

توعية السكان بأهمية التأكد من جودة مياه الشرب ومطابقتها للمواصفات القياسية المحلية والمعايير الصحية المعتمدة قبل استهلاكها، وخاصة المياه التي يتم الحصول عليها مباشرة من الآبار.

يُوصى بإجراء دراسات موسعة على عدد أكبر من الآبار المنتشرة في منطقة نالوت وكاباو وتندميرة والرحيبات وجادو ، وكذلك في مناطق أخرى من ليبيا، بهدف تحديد التباين في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للمياه وتقييم مدى صلاحيتها للاستهلاك البشري.

التقييم الهيدروكيميائي والميكروبيولوجي لجودة المياه الجوفية في بعض آبار نالوت وكاباو وتدميرة والرحيبات وجادو

إجراء دراسات مستقبلية تربط بين الخصائص الجيوكيميائية للمياه الجوفية وطبيعة التكوينات الجيولوجية في منطقة الدراسة، وذلك للمساعدة في تفسير ارتفاع بعض العناصر والأملاح الذائبة في عينات المياه.

عدم استخدام مياه الآبار للشرب بصورة مباشرة في الحالات التي تتجاوز فيها بعض المؤشرات الحدود المعتمدة، إلا بعد إجراء المعالجة المناسبة وإعادة الفحص المخبري للتأكد من مطابقة المياه لمتطلبات مياه الشرب

6-المراجع :

- [1] المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية. (2015). *المواصفة القياسية الليبية رقم 82:2015: مياه الشرب*. طرابلس، ليبيا.
- [2] البرشني، مسعود أحمد، وشكشم، ناجي محمد. (2025). *تقييم جودة المياه الجوفية باستخدام المؤشر الكندي (CWQI): دراسة حالة - مدينة نالوت (ليبيا)*. مجلة الجبل للعلوم الإنسانية والتطبيقية، 6(1)، 55-64.
- [3] الغرياني، ربيع الهادي، حريه، خالد الصغير، و خليل، عبدالعاطي احمد. (2018). *تقييم جودة مصادر المياه الجوفية في مدينة جنزور - ليبيا*. مجلة العلوم الإنسانية والتطبيقية.
- [4] شكشم، ناجي محمد، السامرائي، خليل إبراهيم، والبرشني، مسعود أحمد. (2020). *تقييم جودة المياه الجوفية باستخدام مؤشر جودة مياه الشرب (WQI) لبعض مناطق قدم الجبل في ليبيا*. International Science and Technology Journal، 23.
- [5] عبدالعزيز، الصادق مصباح، العماري، خيرى محمد، وصابر، علي خير. (2020). *تقييم جودة المياه الجوفية لأغراض الشرب باستخدام مؤشر جودة المياه في مدينة صرمان - ليبيا*. المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة.
- [6] ألدروجي، عائشة سليمان، أبوتارتور، أبوبكر، أبوهنيك، ميلود عمرو، المجذوب، لطيفة، البدة، عبدالسلام محمد، وغربال، هبة. (2025). *تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للمياه الجوفية في مناطق جنيون وشكشوك والمشروع الزراعي بمدينة جادو - ليبيا*. المجلة الليبية للبحوث الطبية، 19(2)، 237-254.
- [7] World Health Organization (WHO). (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda*. Geneva: World Health Organization.
- [8] American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24th ed.). Washington, DC: APHA.
- [9] Hem, J. D. (1985). *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water* (3rd ed.). U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254. Washington, DC: U.S. Geological Survey.
- [10] Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.