Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)
Volume 2 - Issue 1 - 2026 - Pages 40-49

Physicochemical Parameters of Drinking Water Produced by Small-Scale Desalination Plants and Their Impact on Consumer Safety in Sabratha, Libya.

Nuri Salem Alnaass [*1], Mohamed Bashir Ibrahim[2], Suad Eisa Abdulhamid[3] and Hossean Khalifa Agil[4].
[1]Department of Environment and Natural Resources, Faculty of Agriculture, University of Azzaytuna, Libya.
[2]Department of Environmental science , Faculty of Science, Azzaytuna University, Libya.
[3]MSc Student in Environmental Sciences -The Libyan Academy for Graduate Studies – Janzour , Libya
[4]Higher Institute of Science and Technology - Al-khomes, Libya
***Email (for reference researcher):** n.alnaass@azu.edu.ly

الخصائص الفيزيوكيميائية لمياه الشرب المنتجة بواسطة محطات تحلية المياه الصغيرة وتأثيرها على سلامة المستهلك بمدينة صبراتة – ليبيا

نوري سالم النعاس [*1]، محمد بشير إبراهيم [2]، سعاد عبدالحميد عيسى [3]، حسين خليفة عقيل [4]
[1]قسم البيئة والموارد الطبيعية، كلية الزراعة، جامعة الزيتونة، ليبيا.
[2]قسم علوم البيئة، كلية العلوم، جامعة الزيتونة، ليبيا.
[3]طالبة ماجستير في العلوم البيئية - الأكاديمية الليبية للدراسات العليا - جنزور، ليبيا.
[4]المعهد العالي للعلوم والتكنولوجيا - الخمس، ليبيا.

Received: 04-12-2025; Accepted: 03-02-2026; Published: 25-02-2026

Abstract:

This study addresses the fundamental nexus between water security and environmental sustainability by examining the physicochemical properties of drinking water and evaluating the operational efficiency of small-scale desalination and filtration plants in Sabratha, Libya. Considering increasing groundwater salinity and deteriorating quality, these plants have emerged as a strategic solution to ensure the sustainability of water supplies. This field study aims to measure the capacity of these systems to remove salts and bacterial contaminants, providing drinking water with balanced physical, chemical, and biological characteristics.

The research scope includes analyzing water quality from multiple sources (shallow wells, groundwater, and public distribution networks), with a focus on assessing water used in vital facilities such as hospitals, medical laboratories, and food industries. Preliminary results indicate a wide proliferation of these technologies, accompanied by a noticeable disparity in quality standards and the technologies employed. The study seeks to provide a comprehensive scientific evaluation linking the performance of these plants with standard health criteria, thereby contributing to the enhancement of sustainable water management strategies and the reduction of health risks associated with water pollution in coastal areas.

Keywords: Water Security, Sustainability, Desalination Sustainability, Drinking Water Quality, Microbial Disinfection, Sabratha City.

الملخص

تتناول هذه الدراسة العلاقة الجوهرية بين الأمن المائي والاستدامة البيئية من خلال الخصائص الفيزيوكيميائية لمياه الشرب وتقييم الكفاءة التشغيلية لمحطات تحلية الصغيرة وفلترة المياه بمدينة صبراتة، ليبيا. في ظل تزايد معدلات تملح المياه الجوفية وتدهور جودتها، برزت هذه المحطات كحل استراتيجي لضمان استدامة الإمدادات المائية. تهدف الدراسة الميدانية إلى قياس قدرة هذه النظم على إزالة الأملاح والملوثات البكتيرية، وتوفير مياه شرب متزنة في خصائصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

يشمل النطاق البحثي تحليل جودة المياه من مصادر متعددة (الآبار السطحية، الجوفية، وشبكات التوزيع العام)، مع التركيز على تقييم المياه المستخدمة في المرافق الحيوية كالمستشفيات، والمختبرات الطبية، والصناعات الغذائية. تشير النتائج الأولية إلى انتشار واسع لهذه التقنيات مع وجود تفاوت ملحوظ في معايير الجودة والتكنولوجيا المستخدمة. تسعى الدراسة إلى تقديم تقييم علمي شامل يربط بين أداء هذه المحطات والمعايير الصحية القياسية، مما يساهم في تعزيز استراتيجيات إدارة المياه المستدامة والحد من المخاطر الصحية المرتبطة بتلوث المياه في المناطق الساحلية.

الكلمات المفتاحية :الأمن المائي، لاستدامة، استدامة التحلية، جودة مياه الشرب، التطهير الميكروبي، مدينة صبراتة.

المقدمة

الماء وأهميته البيولوجية والبيئية

يُشكّل الماء ما يقارب 60-70% من كتلة أجسام الكائنات الحية، ويؤدي دورًا محوريًا في معظم التفاعلات الكيميائية داخل الخلايا. فالماء ليس مجرد مذيب بيولوجي، بل هو وسط تفاعلي يسمح بحدوث العمليات الحيوية، مثل البناء الضوئي في النباتات، والتحلل المائي للمواد الغذائية في الجهاز الهضمي لدى الإنسان. كما ينظم درجة حرارة الجسم عبر عملية التعرق والتبخر، ويحافظ على توازن الأملاح والسوائل داخل الخلايا والأنسجة.

بيئيًا، يُعد الماء عنصرًا أساسيًا في استقرار النظم البيئية، حيث ترتبط معظم الأنشطة البيولوجية في البر والبحر بوفرة المياه ونقائها. وتُسهم دورة الماء الطبيعية (التبخر، التكاثف، الهطول، والجريان السطحي) في تجديد المياه السطحية والجوفية، مما يدعم التنوع البيولوجي والنشاط الزراعي(Lamma et al.,2018).

يُعد جزيء الماء مادة شفافة، عديمة اللون والرائحة في حالته النقية، ويتكوّن من اتحاد عنصري الهيدروجين والأكسجين. يوجد الماء في الحالات الفيزيائية الثلاث: السائلة، والصلبة، والغازية، ويمثّل عنصرًا أساسيًا في العمليات الحيوية مثل الهضم، النقل، والتنظيم الحراري. ومن هنا تنبع أهميته الجوهرية في دعم الحياة، إذ لا يمكن تصور الحياة بدون ماء.

ومع تطوّر الظروف المناخية، وازدياد وتيرة التقدّم الصناعي، وما يصاحبه من استنزاف متزايد للموارد المائية، أصبح الحصول على مياه عذبة ونقية تحديًا متناميًا. كما أدّى تلوّث مصادر المياه الطبيعية بالملوّثات الكيميائية والبيولوجية إلى تفاقم هذه الأزمة. في هذا السياق، برزت الحاجة إلى بدائل فعالة وآمنة، من خلال اللجوء إلى تقنيات حديثة مثل محطات الفلترة وتحلية المياه، التي تهدف إلى تنقية المياه من الشوائب والمواد الضارة، وتوفير مياه صالحة للشرب والاستخدامات السطحية المختلفة.(Lamma et al.,2021)

كما يمثّل الماء محورًا أساسيًا في استمرار الحياة والتوازن البيئي، غير أن التحديات المعاصرة المتعلقة بندرته وتلوّثه تدعو إلى تحرك عالمي يتضمن الإدارة المستدامة للموارد، وتبني التكنولوجيا الحديثة لمعالجة المياه، وتحسين وعي المجتمعات بأهمية الحفاظ على هذا المورد الحيوي.

أهمية التحليل الميكروبيولوجي لمياه الشرب والبكتريا القولونية

البكتريا القولونية(E. coli) ودورها في تقييم جودة مياه الشرب، هي نوع من البكتيريا التي تعيش بشكل طبيعي في أمعاء الإنسان والحيوان، معظم سلالاتها غير ضارة، ولكن وجودها في المياه يُعد مؤشراً خطيراً على تلوث المياه بالبراز، وقد يحتوي على سلالات ممرضة تسبب أمراضًا معوية خطيرة وبذلك تعتبر E. coli مهمة في تحليل مياه الشرب. وجود E. coliفي المياه يعني أن المياه ملوثة بمخلفات بشرية أو حيوانية.(Lamma et al.,2024)

يُعد وجودها دليلاً حيويًا (Biological Indicator) على احتمالية وجود مسببات مرضية أخرى مثل السالمونيلا، والفيروسات المعوية،لذلك فهي أداة تقييم أولى لصلاحية المياه من الناحية المكروبيولوجية.

وتترأس بكتريا الماء قائمة المسببات الممرضة حيث يوجد العديد من الأنواع البكتيرية الغير مرئية، ويموت حوالي خمسة ملايين شخص في العالم بسبب البكتيريا الممرضة في الماء (احصائيات منظمة الصحة العالمية) وهذا يعني ان نقاء مياه الشرب لا يعني صلاحيته للاستهلاك.

ويوجد حوالي اثنين ونصف بليون من سكان العالم لا يصلهم ماء نظيف وصالح للشرب نتيجة الى ميكروبيا الماء المجهرية (Water Microbiology) وهي كائنات مجهرية طفيليات وطحالب وفطريات عقدية توثر بشكل مباشر وتشكل خطورة على الصحة بشكل عام .

وبما ان البكتريا كائن مجهري عديم اللون والطعم والرائحة سريع الازدياد (منظمة الصحة العالمية) الأطفال تحت سن الخمس سنوات الفئة المستهدفة حيث يصاب حوالي 4,1%بسهولة بالأمراض البكتيرية المنقولة بواسطة مياه الشرب.

حيث لحت الحاجة الى معالجة المياه وترشيحها وفلترتها داخل محطات تحلية مزودة بأحدث التقنيات لضمان جودة المياه.

مراحل فلترة المياه واهميتها في تنقية مياه الشرب داخل محطات التحلية.

عملية فلتر ة المياه تعتمد على عدة مرشحات ولكل فلتر مميزات وخصائص وتقنية مختلفة، على مراحل متعددة منها

1. **مرحلة فلترة الجزئيات الكبيرة**: وفي هذه المرحلة يتم التخلص من كل الرواسب بواسطة الغشاء النفاذ المصمم بدقة (فلاتر سمار تلي) اما الشوائب الصغيرة فيتم التخلص منها في المرحلة الثانية وهي:
2. **مرحلة المرشح الحيوي**: حيث يتم إزالة 99% من الكلور والمواد الكيمائية، والتخلص كليا من الشوائب والكائنات الدقيقة،

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

3. **مرحلة التناضح العكسي**: تتميز باحتوائها على غشاء التعقيم المعتمد على الخصائص الفيزيائية، حيث يعمل هذا الغشاء على تغير تركيز الجزئيات العالقة وفصلها عن جزئيات النماء النقية، وبالتالي إزالة المواد العضوية والكيمائية بما في ذلك الفيروسات والبكتريا الضارة ومنع دخولها الي مياه المحطة، وتمنع مسام الاغشية بكتريا الماء والمعادن الثقيلة أيضًا.
4. **مرحلة المعالجة النهائية**: تشمل عمليات فيزيائية وكيمائية لتنتج محطات التحلية مياه امنة ونقية.

الإجراءات عند اكتشاف E. coli في الماء، إذا تم رصد E. coli في عينة مياه، يجب:

1.إعادة التحليل فورًا للتأكد.
2.تحديد مصدر التلوث (شبكة التوزيع، الآبار، خزانات.
3.وقف استخدام المصدر مؤقتًا حتى يتم معالجته.
4.إجراء تطهير شامل باستخدام الكلور أو الأوزون.
5.تحقيق شامل في نظام الصرف الصحي المحلي.

الهدف من الدراسة

الهدف من الدراسة دراسة الخصائص الفيزيوكيميائية لمياه الشرب المنتجة من محطات معالجة مياه الشرب ومدي توافقها مع المعايير الليبية ومعايير منظمة الصحة العالمية.

مشكلة الدراسة

تتجسد المشكلة البحثية في مواجهة المناطق الساحلية الليبية، لا سيما مدينة صبراتة، تحدياً هيدروجيولوجياً معقداً يتمثل في تدهور منظومة المياه الجوفية نتيجة ظاهرة تداخل مياه البحر .(Seawater Intrusion) هذا الاختلال، الذي يُعزى أساساً إلى الإجهاد المائي والاستنزاف الجائر للخزانات الجوفية، أدى إلى تملح مفرط وتغير جذري في الخصائص الفيزيوكيميائية للمياه، مما أخرجها عن نطاق المواصفات القياسية للاستهلاك البشري.
وفي ظل هذا التدهور البيئي، تسارع الاعتماد على محطات تحلية المياه الموضعية (Small-scale Desalination Units) كبديل استراتيجي في المرافق الحيوية (الصحية والخدمية). ومع ذلك، تبرز فجوة بحثية ورقابية حرجة تتمثل في عشوائية التشغيل وغياب المعايير التقنية الموحدة؛ حيث يسود غموض علمي حول كفاءة هذه الأنظمة في معالجة الأملاح الذائبة والمحتوى الميكروبي الناجم عن التلوث السطحي. إن التباين في كفاءة الأغشية (Membranes) والتقنيات المستخدمة يثير هواجس جدية بشأن المخاطر الصحية التراكمية على المستهلكين. علاوة على ذلك، يغيب المنظور البيئي المستدام في التعامل مع المحلول الملحي المركز (Brine) الناتج عن التحلية، والذي يمثل تهديداً ثانوياً للتربة والمحيط البيئي، مما يهدد بتحويل الحلول الآنية إلى أزمات بيئية مستدامة.

الدراسات السابقة

أزمة المياه في ظل التغيرات المناخية والنمو السكاني في العقود الأخيرة، ازدادت الضغوط على الموارد المائية نتيجة للتغير المناخي والنمو السكاني المتسارع. وتشير تقارير الأمم المتحدة إلى أن أكثر من ملياري شخص يعيشون في بلدان تعاني من نقص حاد في المياه، وأن عدد المناطق المتأثرة بجفاف متكرر في تزايد مستمر.[UN Water, 2023] ،التغير المناخي يغيّر أنماط الأمطار ويؤثر على مصادر المياه العذبة، سواء من خلال ذوبان الجليد، أو انخفاض منسوب المياه الجوفية. في الوقت ذاته، تؤدي الأنشطة الصناعية والزراعية إلى تلويث الأنهار والمسطحات المائية بملوثات عضوية وكيميائية خطرة، مما يفاقم أزمة المياه الصالحة للشرب.

التقنيات الحديثة في معالجة المياه :

1 - تحلية المياه(Desalination)

تُعد تحلية مياه البحر إحدى أبرز الحلول التقنية المستخدمة لتوفير المياه العذبة، وخصوصًا في المناطق القاحلة. وتُستخدم تقنيات مثل التحلية الحرارية (Multi-Stage Flash Distillation) والتحلية بالأغشية مثل التناضح العكسي(Reverse – Osmosis) لإزالة الأملاح والمعادن من مياه البحر.، تشير دراسة نُشرت في Journal of Water Process Engineering (2020)إلى أن التناضح العكسي أصبح أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة بفضل تحسين المواد المستخدمة في الأغشية وزيادة كفاءة المضخات.

2- الترشيح والفلترة(Filtration)

تشمل طرق الفلترة الحديثة استخدام الفلاتر الرملية، والفحم النشط، والأنظمة الغشائية الدقيقة لإزالة الجزيئات العالقة، والبكتيريا، والملوثات العضوية. كما تُستخدم تقنيات الأشعة فوق البنفسجية والأوزون لتعقيم المياه وقتل الكائنات الحية الدقيقة.
العناصر الكيمائية والفيزيائية للمياه : حيث تناولت دراسة تقييم جودة بعض أصناف مياه الشرب المعبأ المستهلكة بالسوق الليبي(يوليو2022) من خلال مقارنتها بالمواصفات الليبية والعالمية ،حققت بعض المعايير الكيمائية مستوى جيد لبعض العناصر في حين كانت بعض الاصناف تحت الحد الأدنى او المسموح به ، ومن خلال الدراسات لتقييم مياه الشرب من

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

حيث الخواص الفزيائية الكيمائية أظهرت دراسة الخواص الكيمائية والفيزيائية لمياه الشرب المعبأة من المنطقة الغربية (يناير 2019) والمطابقة للمواصفة الليبية ومواصفات منظمة الصحة العالمية WHO نتائجها التي كانت اقل بكثير من الحد الاعلى والادنى المسموح به وهذا يؤثر سلبا على صحة الانسان ، واظهرت ايضًا أن المواصفات المذكورة على العبوات لا تعكس المحتوى الداخلي.

واستهدفت دراسة تقييم جودة المياه الجوفية بمدينة صبراتة (مايو2016) بتطبيق مؤشر جودة المياه (WQI)واعتمادا على المواصفات الليبية القياسية (2011) من خلال معامل جودة المياه وكانت النتائج متفاوتة بين جيد ورديئة الى غير ملائمة

خطر التلوث الميكروبي على الصحة : ان وجود كائنات حية دقيقة في الماء يشكل خطرا حقيقيا على الحياة بشكل عام وعلى الانسان بشك خاص ، حيث إشارة دراسة بعنوان تقييم التلوث الفيزيائي والكيميائي والميكروبي لمياه الصرف الصحي ومياه البحر في خمس دول متوسطية (1يوليو- 2021)وافادت بان الأنشطة الصناعية والمنزلية والزراعية تشكل تلوثا كبيرا في الموارد المائية على مستوى العالم من خلال تصريفها مباشرة في الطبيعة وقد سمحت تقنية (DGGE) بتقييم مباشر للتنوع البكتيري الموجود بهذه المياه المستعملة وكذلك مياه البحر، وقد أثبتت هذه التحاليل شدة التنوع البكتيري في هذه المياه.

المحور الأول: تدهور جودة المياه الجوفية وتداخل مياه البحر

الدراسة الأولى: (عبد الله وآخرون، 2020)

تناولت هذه الدراسة تقييم جودة المياه الجوفية في المناطق الساحلية لشمال غرب ليبيا. ركز الباحثون على قياس أثر الزحف الملحي الناتج عن تداخل مياه البحر .(Seawater Intrusion) وأظهرت النتائج ارتفاعاً حاداً في مستويات الكلوريدات والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) التي تجاوزت 3000 ملجم/لتر في بعض المواقع، مما أدى إلى خروج هذه المياه عن المواصفات القياسية لمياه الشرب. تكمن أهمية هذه الدراسة في توضيح المسبب الرئيسي الذي دفع السكان للاعتماد على محطات التحلية الصغرى.

المحور الثاني: كفاءة محطات التحلية الصغرى(RO)

الدراسة الثانية: (صالح، 2022)

أُجريت هذه الدراسة الميدانية لتقييم كفاءة وحدات التناضح العكسي (RO) المستخدمة في المنشآت الخدمية (المخابز والمطاعم). استهدفت الدراسة قياس قدرة الأغشية على إزالة الأملاح والعناصر الكيميائية الثقيلة. وتوصلت النتائج إلى أن كفاءة المحطات تتفاوت بشكل كبير بناءً على جودة الصيانة الدورية ونوع الأغشية المستخدمة، حيث تبين أن بعض المحطات تعاني من تراجع في قدرة الرفض الملحى (Salt Rejection) لتصل إلى أقل من 85%، مما يؤثر على موازنة الخصائص الكيميائية للمياه المنتجة.

المحور الثالث: الملوثات البيولوجية وأثرها الصحي

الدراسة الثالثة: (الورفلي وشعت، 2021)

ركزت هذه الدراسة على الجانب الميكروبيولوجي لمياه الشرب المعالجة في المحطات الموضعية. هدفت الدراسة إلى الكشف عن مدى تلوث المياه بالبكتيريا القولونية (Coliforms) نتيجة سوء التخزين أو ضعف مراحل التطهير بالأشعة فوق البنفسجية .(UV) وأشارت النتائج إلى وجود تلوث بكتيري في 15% من العينات المختبرة، مما يشكل خطراً مباشراً على الصحة العامة، وأوصت الدراسة بضرورة فرض رقابة صحية دورية على هذه المحطات.

المحور الرابع: التقييم الفيزيوكيميائية الشامل للمياه المنتجة

الدراسة الرابعة: (الجديدي وآخرون، 2023)

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الخصائص الفيزيوكيميائية للمياه الناتجة عن محطات التحلية الصغرى في المناطق ذات الملوحة العالية. ركز البحث على قياس "العناصر النزرة" والأيونات الرئيسية بعد عملية التحلية. أظهرت النتائج أن بعض المحطات تقوم بإزالة مفرطة للأملاح الضرورية (مثل الكالسيوم والمغنيسيوم)، مما يؤدي إلى إنتاج مياه "عدوانية Aggressive) " (Waterقد تسبب تآكل الأنابيب وتفتقر للعناصر المعدنية المفيدة صحياً. أكدت الدراسة على ضرورة وجود مرحلة "إعادة التمعدن (Remineralization) "لضمان استدامة جودة المياه.

المحور الخامس: الأمن المائي والاستدامة في المناطق الساحلية

الدراسة الخامسة: (بن ناصر، 2019)

ناقشت هذه الدراسة مفهوم الأمن المائي في البلديات الساحلية الليبية التي تعاني من نضوب الخزان الجوفي. تناولت الدراسة مدينة صبراتة كنموذج للمناطق التي تعرضت لضغوط هيدرولوجية ناتجة عن التوسع العمراني والنشاط الزراعي. خلصت الدراسة إلى أن الاعتماد على محطات التحلية الخاصة هو "حل اضطراري" وليس مستداماً على المدى الطويل ما لم يتم تنظيم استغلال المياه الجوفية وتطوير محطات تحلية مركزية كبرى تخضع لرقابة صارمة.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

المحور السادس: الأثر الصحي للمياه منخفضة الأملاح والملوثات الكيميائية

الدراسة السادسة: (منظمة الصحة العالمية "تقرير إقليمي"، 2021)

على الرغم من أنها ليست دراسة محلية صرفة، إلا أن تقارير منظمة الصحة العالمية بشأن "المياه منخفضة المحتوى المعدني" تُعد مرجعاً أساسياً في هذا النوع من الأبحاث. يتناول التقرير المخاطر الصحية الناتجة عن استهلاك مياه التحلية التي تفتقر للمعادن الأساسية لفترات طويلة، مثل نقص الكالسيوم وزيادة مخاطر أمراض القلب والأوعية الدموية. كما شدد التقرير على أن كفاءة المحطات في إزالة النترات (Nitrates) المنقولة من مياه الصرف الصحي إلى الآبار السطحية تُعد معياراً حاسماً للصحة العامة.

المحور السابع: جودة الأغشية وتكنولوجيا المعالجة(Reverse Osmosis)

الدراسة السابعة: (أبوزيد، 2022)

ركزت هذه الدراسة على الجانب التقني لمحطات التحلية بنظام التناضح العكسي (RO). قامت الدراسة بمقارنة أداء أنواع مختلفة من الأغشية التجارية المستخدمة في السوق المحلي. وجدت الدراسة أن تراكم الأملاح (Scaling) والانسداد البيولوجي (Bio-fouling) للأغشية في المناطق الساحلية يُعد العائق الأكبر أمام كفاءة المحطات، مما يؤدي إلى انخفاض حاد في جودة المياه وزيادة في استهلاك الطاقة، وأوصت بضرورة استخدام وحدات معالجة أولية (Pre-treatment) متطورة.

المواد وطرق البحث

منطقة الدراسة

تُعد ليبيا من الدول التي تمتلك سواحل طويلة على البحر الأبيض المتوسط، ويتميز مناخها بالتدرج من مناخ شتوي ممطر إلى صيف جاف. وتُقدَّر الموارد المائية السطحية في البلاد بنحو 170 مليون متر مكعب سنويًا (1). ومع الزيادة المستمرة في عدد السكان، والنمو المتسارع في النشاطات الاقتصادية كالبناء والإنشاء، واستغلال المناطق الساحلية لاستخراج الأحجار الطبيعية من الشواطئ فيما يُعرف بـ"المقاطع"، بدأت تظهر آثار سلبية على الموارد المائية، منها زحف مياه البحر نحو المياه الجوفية و المياه السطحية الساحلية وارتفاع مستويات الملوحة.

وقد أسهمت هذه العوامل مجتمعة في تفاقم أزمة المياه العذبة، وزيادة الحاجة إلى مصادر بديلة، مما أدى إلى الاعتماد المتزايد على محطات التحلية، والتي أصبحت المصدر الرئيسي لتوفير المياه في أغلب المدن الساحلية .

وتُعد مدينة صبراتة مثالًا بارزًا على هذه الظاهرة؛ فهي مدينة ساحلية تقع على الشاطئ الشرقي للبحر الأبيض المتوسط، وتبعد حوالي 70 كيلومترًا غرب العاصمة طرابلس. وقد عانت المدينة من نقص واضح في المياه الصالحة للشرب نتيجة لتلك الظروف البيئية.

ونظرًا لتزايد الاعتماد على محطات التحلية والفلترة في صبراتة، وانتشارها الكبير، رأينا أهمية إجراء هذه الدراسة لتقييم كفاءة تلك المحطات، وجودة المياه المنتجة، ومدى الالتزام بمتابعتها وصيانتها بشكل منتظم. كما تُبرز الدراسة الطلب المرتفع على هذه المياه، خاصةً أن الكثير من هذه المحطات تُدار إما كمشاريع خيرية مجانية أو بأسعار رمزية، ما جعلها تحظى بإقبال واسع من السكان المحليين لتلبية احتياجاتهم اليومية من المياه.

تم جمع عينات المياه من ست محطات فلترة مياه شرب تُعد من أكثر المحطات ازدحامًا بالمستهلكين في مدينة صبراتة. وقد تم تحديد المواقع الجغرافية بدقة باستخدام جهاز تحديد المواقع العالمي(GPS) ، وتسجيل إحداثيات خطوط الطول والعرض (X, Y)لكل موقع على حدة.

بلغت سعة العينة لكل معاملة 7 لترات، وتم أخذ ثلاث مكررات لكل محطة، باستخدام قنينات معقّمة سعتها 600 ملليلتر، وذلك لضمان جودة العينة ودقتها عند إجراء التحاليل. وقد تم نقل العينات إلى مختبرات معتمدة رسميًا داخل الدولة الليبية لإجراء الفحوصات الكيميائية والبيولوجية اللازمة، وفقًا للمعايير المعتمدة في تحليل جودة مياه الشرب و الجدول التالي يبين تفاصيل المعاملات والمكررات المستخدمة في الدراسة:

جدول (1) يبين الإحداثيات الجغرافية لمواقع محطات التحلية لعينات مياه الشرب (مدينة صبراتة – ليبيا).

المعاملات	خط الطول(Longitude)	خط العرض(Latitude)
T0	12^0.03372	82536.32^0
T1	12^0.47227	32^0.79538
T2	12^0.46789	32^0.79565
T3	12^0.43317	32^0.74576
T4	12^0.44082	32^0.68355
T5	12^0.47916	32^0.71695
T6	12^0.50202	32^0.76437

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

حيث تم جمع عينات المياه من سبع معاملات مختلفة (T0 –T6)، وكل معاملة تحتوي على ثلاث قراءات متكررة. أُجريت التحاليل الكيميائية للمتغيرات التالية:

1. درجة الحموضة(pH)	2. التوصيل الكهربائي(EC)	3. المواد الصلبة الذائبة(TDS)
4. أيونات الصوديوم(Na^{+})	5. البوتاسيوم(K^{+})	6. الكالسيوم(Ca^{+2})
7. المغنيسيوم(Mg^{+2})	8. الكبريتات(SO_4^{-2})	9. النترات(NO_3^{-})

طرق القياس

1 .قياس درجة الحموضة(pH)

يتم تقدير أس الهيدروجيني أو درجة الحموضة باستخدام جهاز (pH Meter) المجهز بقطب زجاجي مدمج. تعتمد العملية على غمر القطب في عينة المياه بعد معايرة الجهاز باستخدام محاليل منظمة بقيمةpH تبلغ 4.0 و 7.0 و 10.0 لضمان دقة القراءات، مع مراعاة التصحيح الحراري التلقائي أثناء القياس لضمان ثبات النتائج .

2. التوصيل الكهربائي (EC)

يُقاس التوصيل الكهربائي النوعي للماء باستخدام جهاز مقياس التوصيلية (Conductivity Meter). تعتمد الطريقة على قدرة الأيونات الذائبة في الماء على نقل التيار الكهربائي بين قطبي الخلية. تُغسل الخلية بالماء المقطر قبل كل قياس لمنع التلوث المتبادل، وتُسجل النتائج بوحدة ميكروسيمنز/سم عند درجة حرارة مرجعية تبلغ 25°C.

3. المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)

تم قياسها بجهاز (TDS Meter)

4-5.الصوديوم (Na^{+}) والبوتاسيوم (K^{+})

يتم تقدير تركيز أيونات الصوديوم والبوتاسيوم باستخدام جهاز مطياف الانبعاث الذري اللهبي (Flame Photometer). تعتمد هذه التقنية على رش العينة داخل لهب غازي، مما يؤدي لإثارة الذرات وانبعاث ضوء بأطوال موجية مميزة لكل عنصر (الأصفر للصوديوم والأرجواني للبوتاسيوم). تُحدد التراكيز بمقارنة شدة الانبعاث مع منحنى قياسي (Standard Curve) تم تحضيره مسبقاً من محاليل معلومة التركيز.

6- 7. الكالسيوم (Ca^{+2}) والمغنيسيوم (Mg^{+2})

يتم تقدر أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم بطريقة المعايرة الحجمية باستخدام مادة EDTA. لتحليل الكالسيوم وحده، يُرفع الرقم الهيدروجيني للعينة إلى 12 باستخدام هيدروكسيد الصوديوم لترسيب المغنيسيوم، ثم يُستخدم كاشف الموريكسيد (Murexide) حتى يتغير اللون من الوردي إلى البنفسجي. أما المغنيسيوم، فيُحسب من خلال طرح قيمة الكالسيوم من قيمة "العسر الكلي" التي يتم الحصول عليها بالمعايرة عند pH يبلغ 10 باستخدام كاشف الإيريواكروم بلاك T.

8. الكبريتات (SO_4^{-2})

يتم تحليل أيونات الكبريتات باستخدام طريقة قياس العكارة (Turbidimetric Method). تضاف كمية مقننة من بلورات كلوريد الباريوم (Cl_2 Ba) إلى العينة في وسط حمضي، مما يؤدي لتكون معلق من كبريتات الباريوم. تُقاس درجة عتامة المحلول الناتجة باستخدام جهاز المطياف الضوئي (Spectrophotometer) عند طول موجي 420 nm، حيث تتناسب شدة العكارة طردياً مع تركيز الكبريتات.

9. النترات (NO_3^{-})

تُحلل النترات باستخدام جهاز المطياف الضوئي للأشعة فوق البنفسجية والمرئية (UV-Vis Spectrophotometer). يتم ذلك إما عن طريق قياس الامتصاص المباشر في منطقة الأشعة فوق البنفسجية

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Libyan Open University Journal of Applied Sciences (LOUJAS)
Volume 2 - Issue 1 - 2026 - Pages 40-49

تم تحليل العينات في معمل الاصحاح البيئي ببلدية الزاوية وكانت النتائج كالاتي:.

اسم المحطة	T \ R		pH	EC	Na^{+} mg/l	K^{+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	Ca^{2+} mg/l	T.D.S mg/l	So^{2-}_{4} mg/l	NO_3^- (mg/l)
النبع	$_0$**T**	$_1$**R**	6.9	161.4	16.5	2.2	4.2	5.5	105	29	**1.2**
		$_2$**R**	6.8	161.4	16.5	2.1	4.2	5.4	105	29	1.2
		$_3$**R**	6.8	161.5	16.5	2.2	4.3	5.5	105	29	1.2
الحمودى	$_1$**T**	$_1$**R**	6.9	112	4.6	0.5	3.3	4.6	73	0	2.1
		$_2$**R**	6.9	112.2	4.6	0.5	3.3	4.6	73	0	2.1
		$_3$**R**	6.8	112.2	4.6	0.4	3.4	4.8	73	0	2.1
الدباشي	$_2$**T**	$_1$**R**	6	278	32.3	0.1	7.6	6.1	180	10	3.2
		$_2$**R**	6.3	278	32.3	0.1	7.6	6.1	180	10	3.2
		$_3$**R**	6.3	279	32.3	0	7.7	6.1	180	10	3.2
الرشاح	$_3$**T**	$_1$**R**	6.4	137	20.2	0	0.23	1.22	89	20	3.8
		$_2$**R**	6.4	136	20.2	0.1	0.23	1.22	89	20	3.8
		$_3$**R**	6.3	136	20.3	0.1	0.23	1.22	89	19	3.8
المجد	$_4$**T**	$_1$**R**	6.2	7.6	3.7	0	1.81	0.23	31	1	1.8
		$_2$**R**	6.2	6.2	3.7	0	1.81	0.23	31	1	1.7
		$_3$**R**	6.2	6.2	3.8	0	1.81	0.23	33	1	1.7
المشتل	$_5$**T**	$_1$**R**	6.4	52	3.1	0	1.52	0.85	43	4	1.7
		$_2$**R**	6.4	53	3.9	0	1.52	0.85	43	4	1.7
		$_3$**R**	6.4	53	3.9	0	1.52	0.85	43	4	1.8
الخطاطبة	$_6$**T**	$_1$**R**	6.1	406	2.3	0	0.29	0.19	26	0	0.8
		$_2$**R**	6.1	406	2.3	0	0.29	0.19	26	0	0.8
		$_3$**R**	6.1	4.7	2.3	0	0.29	0.19	26	0	0.8

1. الأس الهيدروجيني

أظهرت النتائج أن قيم الأس الهيدروجيني (pH) لجميع المحطات تتراوح بين 6.0 و 6.9، مما يشير إلى أن المياه تميل إلى الحامضية الخفيفة (Slightly Acidic) ، يُعزى ذلك إلى كفاءة أغشية التناضح العكسي (RO) في إزالة الأيونات القلوية، بالإضافة إلى احتمالية ذوبان ثاني أكسيد الكربون الجوي في المياه المحلاة المنتجة، مما يؤدي إلى تكوين حمض الكربونيك الضعيف. وبالرغم من ذلك، تظل هذه القيم قريبة من النطاق المسموح به دولياً ومحلياً (6.5 - 8.5).

2. تحليل المحتوى الملحي (Salinity Indicators)

تعكس قيم التوصيل الكهربائي (EC) والمواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) كفاءة مرتفعة جداً لنظام المعالجة في إزالة الأملاح المنحلة:

محطة الدباشي (T2): سجلت أعلى محتوى ملحي بمتوسط TDS بلغ 180mg/l ، وهو ما يمنح المياه طعماً مستساغاً واستقراراً كيميائياً أفضل.

محطة الخطاطبة ومحطة المجد (T4, T6): سجلت تراكيز منخفضة للغاية (26 - 33 mg/L)، وهو ما يصنف أكاديمياً ضمن المياه شديدة العذوبة (Very Fresh Water). إلا أن هذا الانخفاض الشديد قد يؤدي إلى جعل المياه "عدوانية"

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

(Corrosive/Aggressive)، مما قد يتسبب في تآكل شبكات التوزيع أو فقدان القيمة الصحية الناتجة عن نقص المعادن الأساسية.

3. التوازن الأيوني (Ionic Balance) من خلال تتبع الأيونات الكبرى، نلاحظ الآتي:

أيونات الصوديوم (+Na): سجلت هيمنة واضحة كأكثر الأيونات الموجبة تركيزاً، خاصة في محطة الدباشي (32.3 mg/L)، وهو أمر متوقع في المياه الساحلية الليبية المتأثرة بتداخل مياه البحر.

الكالسيوم والمغنيسيوم (Ca^{+2}وMg^{+2}): أظهرت النتائج انخفاضاً حاداً في تراكيز أيونات العسر، حيث لم تتجاوز قيم الكالسيوم 6.1 mg/L والمغنيسيوم 7.7 mg/L.

هذا يشير إلى أن المياه الناتجة هي مياه "يسرة جداً" (Very Soft)، وهو ما يقلل من احتمالية تكون القشور الكلسية في الأنابيب ولكنه يتطلب مراعاة الجوانب التغذوية.

البوتاسيوم (K^{+}): سجلت أغلب العينات تراكيز تقترب من الصفر، مما يدل على الإزالة شبه الكاملة لهذا العنصر خلال عملية التحلية.

4. تقييم الملوثات غير العضوية (Nitrates & Sulfates)النترات :

كانت التراكيز في أدنى مستوياتها (0.8 mg/L - 3.8)، وهي أقل بكثير من الحد الأقصى لمنظمة الصحة العالمية (50 mg/L). هذا التقرير يؤكد سلامة مصادر المياه الخام المغذية لهذه المحطات من التلوث الزراعي أو تداخل مياه الصرف الصحي.

الكبريتات: سجلت المحطات تراكيز منخفضة جداً (تصل إلى الصفر في محطة الحمودي T1 والخطاطبة T6)، مما يعزز جودة المياه من الناحية الحسية (الطعم والرائحة).

كذلك أظهرت النتائج أن تراكيز النترات (NO_3^-) في جميع العينات تراوحت بينmg/L 1.13 - 3.80 ، وهي أقل بكثير من الحد الأقصى المسموح به وفق المعايير الليبية (10. l/ mg)

اما بالنسبة للصوديوم (Na^{+})، فقد تراوحت التراكيز بين 2.30، 32.30 mg/L ، وهي أقل بكثير من الحد الليبي المسموح به (100 mg/L)، مما يجعلها آمنة من حيث التأثيرات الصحية والملحية.

أما الكبريتات (SO_4^{-2}) فقد سجلت قيمًا تتراوح بين 0.0 و29.0 mg/L، وهي ضمن الحدود القياسية الليبية (150mg/L وسجل التوصيل الكهربائي (EC)تباين ملحوظًا بين العينات، مما يعكس الاختلاف في المحتوى الأيوني للمياه، دون وجود حد معياري محدد لها في المواصفة الليبية.

بالنسبة للعناصر الأخرى، فقد كانت تراكيز البوتاسيوم (K^{+}) منخفضة جدًا في جميع العينات، بينما بقيت تراكيز المغنيسيوم (Mg^{+2}) والكالسيوم (Ca^{+2}) ضمن المستويات المقبولة، وأقل من القيم التي قد تُسبب تأثيرات سلبية على جودة المياه.، وبناءً على ما سبق، يمكن الاستنتاج أن معظم العينات المدروسة تُظهر توافقًا جيدًا مع المعايير الليبية لمياه الشرب المُعباة من حيث الخصائص الكيميائية الأساسية، مع وجود بعض الاختلافات الطفيفة التي لا تؤثر بشكل جوهري على صلاحية المياه وفق المعايير المعتمدة.

بالنسبة للتحاليل الميكروبيولوجية لايوجد اي ثلوث ببكتريا القالونية.

الاستنتاج

- جميع عينات المياه محل الدراسة صالحة للشرب وفقًا للمواصفات الليبية.
- مستويات الملوثات في جميع العينات ضمن الحدود الآمنة.
- تشير النتائج إلى أن جودة المياه ممتازة، ولا توجد مؤشرات خطورة كيميائية في العينات.

التوصيات

1. الاستمرار في المراقبة الدورية لجودة المياه، خصوصاً في المناطق ذات التوصيل الكهربائي المرتفع (مثل T6).
2. توسيع التحليل ليشمل عناصر إضافية مثل الحديد، المنغنيز، والمعادن الثقيلة.
3. استخدام أدوات تحليل متقدمة لمطابقة النتائج مع النماذج الهيدرولوجية للمياه الجوفية.
4. يوصى بأن يتم تحليل E. coli بانتظام خاصة في المناطق ذات كثافة سكانية أو نشاط زراعي.

المراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية

1. أبوزيد، فاتن. (2022). دراسة تقييمية لأداء أغشية التناضح العكسي في محطات التحلية الصغرى. المجلة الدولية للعلوم والتقنية، 24(1)، 12–29.
2. بن ناصر، عبد الرؤوف. (2019). تحديات الأمن المائي في البلديات الساحلية الليبية: دراسة تحليلية للموارد والاحتياجات. منشورات المركز القومي للبحوث المائية.
3. الجديدي، خالد، وسالم، مريم، وعيسى، عمر. (2023). التوازن الأيوني وجودة مياه الشرب في محطات التحلية المنزلية والتجارية. مجلة تقنيات المياه والبيئة، 15(3)، 88–105.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

4. صالح، أحمد عمر. (2022). كفاءة أنظمة التحلية اللامركزية في تحسين جودة مياه الشرب: دراسة حالة. مجلة الدراسات البيئية المستدامة، 5(1)، 112–128.
5. عبد الله، محمد، والمهدي، سالم، وعلي، حسن. (2020). تقييم التغيرات الهيدروكيميائية للمياه الجوفية في حوض الجفارة الساحلي، ليبيا. المجلة الليبية للعلوم المائية، 12(2)، 45–60.
6. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية. (2020). المواصفات الليبية القياسية لمياه الشرب.
7. منظمة الصحة العالمية. (2021). المعايير الصحية لمياه الشرب المحلاة: التحديات والممارسات الفضلى في إقليم شرق المتوسط. المكتب الإقليمي لشرق المتوسط.
8. الورفلي، منى، وشعت، إبراهيم. (2021). المؤشرات البكتريولوجية لجودة مياه الشرب في المناطق الساحلية الليبية. مجلة الصحة العامة والبيئة، 8(4)، 200–215.

ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية

1. American Public Health Association (APHA). (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.). American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation.
2. Asanousi Lamma, O., Swamy, A. V. V. S., & Alhadad, A. A. (2018). Assessment of Heavy Metal Pollution in Ground Water and its Correlation with other Physical Parameters at Selected Industrial Areas of Guntur, AP, India. AP, India.
3. ALnaass, N. S., & Ibrahim, N. A. A. H. K. (2022). Remote sensing of water and soil environments. IJAR, 8(1), 381-388.
4. Belanović Simić, S., Beloica, J., Perović, V., Alnaass, N., Knežević, M., Kadović, R., & Mihajlović, B. (2014). Current State and Threats of Soil Resources in Rasina Catchment upstream from" Ćelije" Water Reservoir. Challenges: sustainable land management-climate change, 43, 25-38.
5. Lamma, O., Abubaker, M., & Lamma, S. (2015). Impact of reverse osmosis on purification of water. Journal of Pharmaceutical Biology, 5(2), 108-112.
6. Belanović, S., Beloica, J., Perović, V., Alnaass, N., Knežević, M., & Kadović, R. (2012). Current state and threats of soil resources in the catchment of the Rasina above the" Celije" water reservoir. In International Conference OnLand Conservation-Landcon (Vol. 1209, pp. 17-21).
7. Lamma, O. A., AVVS, S., & Alhadad, A. A. M. (2019). A study on Isolation and purification of Laccases from different fungal micro organisms and study the partial characterization.
8. Elimelech, M., & Phillip, W. A. (2011). The future of seawater desalination: Energy, technology, and the environment. Science, 333(6043), 712–717. https://doi.org/10.1126/science.1200488.
9. Lamma, O. A. (2024). Innovative Remediation Strategies for Tackling Groundwater Pollution: A Comparative Analysis. African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences, 90-98.
10. Environmental Protection Agency (EPA). (2022). Water reuse and recycling. https://www.epa.gov/waterreuse
11. Fayoum Journal of Agricultural Research & Development. (2009). 23.(2)
12. Gleick, P. H. (1993). Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources. Oxford University Press. Journal of Water Process Engineering. (2020). Advances in membrane technology for water treatment. Elsevier

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

13. United Nations. (2023). The United Nations world water development report 2023: Partnerships and cooperation for water. UNESCO. https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2023
14. World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organization. https://iris.who.int/handle/10665/254637
15. Lamma, O. A., & Swamy, A. V. V. S. (2018). Assessment of ground water quality at selected industrial areas of Guntur, AP, India. Int. J. Pure App. Biosci, 6(1), 452-460.
16. Lamma, O. A. (2021). Waste disposal and landfill: Potential hazards and their impact on groundwater. International Journal of Geography, Geology and Environment, 3(2), 133-141.

Disclaimer/Publisher's Note: The statements, opinions, and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of **LOUJAS** and/or the editor(s). **LOUJAS** and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions, or products referred to in the content.

(LOUJAS) **Copyright**: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and .conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)