Comprehensive Journal of Science
Volume (10), Issue (39), (March, 2026)
ISSN: 3014-6266

مجلة العلوم الشاملة
المجلد (10) العدد 39 مارس 2026
ردمد: 3014-6266

التقييم الكيميائي والفيزيائي لجودة مياه الشرب بوحدات التنقية في المحلات التجارية دراسة حالة: (بلدية العزيزية – ليبيا)

الهادي مفتاح عبدالسلام المرغني
المعهد العالي لتقنيات السلامة والصحة المهنية - اسبيعة
Elhadi7300@gmail.com

ماجدة محمد عيسى بالنور
المعهد العالي لتقنيات السلامة والصحة المهنية - اسبيعة
Mbn01238@gmail.com

عبدالستار صالح مولود كريم
المعهد العالي للعلوم والتقنية - العزيزية
abdulsatarkareem5@gmail.com

تاريخ الاستلام:2026/01/03 –تاريخ المراجعة: 2026/01/21– تاريخ القبول: 2026/01/31– تاريخ للنشر :2026/02/23

الملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم جودة مياه الشرب المنتجة من محطات التحلية المعتمدة على المياه الجوفية في منطقة الدراسة، وذلك من خلال تحليل عدد من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية، شملت المواد الصلبة الذائبة الكلية(TDS) ، والموصلية الكهربائية(EC) ، والأس الهيدروجيني(pH) ، إضافة إلى الأيونات الرئيسة مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والكلوريدات والكبريتات والبيكربونات.

تم جمع عشر عينات من محال تعبئة مياه الشرب، وأجريت عليها التحاليل المخبرية وفق الإجراءات القياسية المعتمدة. أظهرت النتائج أن معظم العينات تقع ضمن الحدود القصوى المسموح بها للمواصفات القياسية، إلا أنها سجلت انخفاضاً ملحوظاً في محتواها المعدني، حيث جاءت قيم TDS والعناصر المعدنية الأساسية أقل من الحد الأدنى المعتمد في بعض الحالات. كما تبين انخفاض متوسط الأس الهيدروجيني عن المجال القياسي، مما يعكس ضعف القدرة التنظيمية للمياه نتيجة المعالجة بالتناضح العكسي دون إعادة تمعدن.

وأشارت المقارنة مع الدراسات الليبية السابقة إلى وجود نمط متكرر يتمثل في انخفاض التمعدن في مياه التحلية والمياه المعبأة. وتوصي الدراسة بضرورة إضافة مرحلة إعادة التمعدن وضبط الأس الهيدروجيني، وتعزيز الرقابة الدورية لضمان تحقيق التوازن المعدني للمياه بما يضمن جودتها وسلامتها الصحية.

الكلمات المفتاحية:جودة مياه الشرب؛ التحلية؛ التناضح العكسي؛ المواد الصلبة الذائبة الكلية؛ الأس الهيدروجيني؛ إعادة التمعدن؛ المياه الجوفية؛ المواصفة القياسية الليبية

Abstract:

This study aimed to evaluate the quality of drinking water produced by desalination stations relying on groundwater sources in the study area. A set of physico-chemical parameters was analyzed, including Total Dissolved Solids (TDS), Electrical Conductivity (EC), pH, and major ions such as calcium, magnesium, sodium, chlorides, sulfates, and bicarbonates.

Ten water samples were collected from local drinking water filling shops and analyzed using standard laboratory procedures. The results indicated that most samples complied with the maximum permissible limits of national standards. However, a noticeable reduction in mineral content was observed, as TDS and essential mineral concentrations were below the minimum recommended levels in several cases. The average pH value was also found to be lower than the acceptable range, reflecting reduced buffering capacity due to reverse osmosis treatment without remineralization.

Comparison with previous Libyan studies revealed a recurring pattern of low mineralization in desalinated and bottled drinking water. The study recommends the implementation of a

remineralization stage and pH adjustment processes, along with strengthened regulatory monitoring, to ensure balanced mineral composition and sustainable drinking water quality.
Keywords: Drinking water quality; Desalination; Reverse osmosis; Total dissolved solids; pH; Remineralization; Groundwater; Libyan standards.

المقدمة:

تُعدّ ندرة المياه من أبرز التحديات البيئية والتنموية التي تواجه دول شمال أفريقيا والشرق الأوسط، حيث تعتمد العديد من هذه الدول – ومن بينها ليبيا – اعتماداً كبيراً على المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها من مياه الشرب والاستخدامات المنزلية والزراعية. ويؤدي هذا الاعتماد المتزايد، خاصة في المناطق ذات الكثافة السكانية المرتفعة، إلى استنزاف المخزون الجوفي وانخفاض منسوب المياه، فضلاً عن احتمالية تدهور نوعيتها نتيجة الضخ المفرط أو العوامل الطبيعية مثل قلة الأمطار.

وتُعد العزيزية إحدى المناطق التي تعاني من هذه الإشكالية، حيث يتراوح عمق الآبار الجوفية فيها بين (200–350) متراً، الأمر الذي يعكس الضغط المتزايد على الموارد المائية الجوفية. وفي ظل هذه الظروف، ظهرت خلال السنوات الأخيرة محال تجارية صغيرة تقوم بتحلية المياه باستخدام تقنيات حديثة – أبرزها تقنية التناضح العكسي (RO) – وبيعها للمواطنين كمياه صالحة للشرب.

ورغم الانتشار الواسع لهذه المحطات واعتماد شريحة كبيرة من السكان عليها كمصدر رئيسي لمياه الشرب، إلا أن المعلومات المتوفرة حول جودة المياه المنتجة منها ومدى مطابقتها للمعايير القياسية المحلية والدولية لا تزال محدودة. ونظراً للأهمية الحيوية لمياه الشرب بوصفها أحد المقومات الأساسية للحياة، تبرز الحاجة إلى تقييم علمي دقيق لخصائص هذه المياه الكيميائية والفيزيائية للتحقق من مدى صلاحيتها للاستهلاك البشري.

مشكلة البحث

شهدت مياه الشرب المنتجة من محال وحدات التنقية الصغيرة التابعة للقطاع الخاص انتشاراً ملحوظاً في مختلف مناطق ليبيا، ومنها منطقة الدراسة، وذلك نتيجة سهولة الحصول عليها وانخفاض تكلفتها مقارنة بالبدائل الأخرى. وقد أصبحت هذه المياه تمثل المصدر الأساسي لمياه الشرب لدى العديد من الأسر.

وتتمحور مشكلة البحث حول تقييم جودة مياه الشرب المنتجة في هذه المحال ببلدية العزيزية – وعددها (10) محال – والتي تعتمد جميعها على المياه الجوفية كمصدر أساسي، وذلك من خلال تحليل بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية ومقارنتها بالمعايير والمواصفات القياسية الليبية والدولية.

وعليه، يمكن صياغة سؤال البحث الرئيسي على النحو الآتي:

ما مدى صلاحية مياه الشرب المنتجة بوحدات التنقية التجارية الصغيرة في بلدية العزيزية، ومدى مطابقتها للمعايير والمواصفات القياسية المحلية والدولية؟

ويتفرع عن هذا السؤال عدد من التساؤلات الفرعية:

1. ما قيم المواد الذائبة الكلية (TDS) في العينات المدروسة؟
2. ما مستوى الموصلية الكهربائية (EC) ودرجة الحموضة (pH) ودرجة الحرارة؟
3. هل تقع القيم المقاسة ضمن الحدود المسموح بها في المواصفات القياسية المعتمدة؟

أهداف البحث

الهدف الرئيسي

تقييم الجودة الكيميائية والفيزيائية لمياه الشرب المنتجة بوحدات التنقية التجارية الصغيرة في بلدية العزيزية ومدى مطابقتها للمعايير القياسية.

الأهداف الفرعية

1. قياس بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الشرب المنتجة (TDS، EC، pH، درجة الحرارة).
2. مقارنة النتائج المتحصل عليها بالمواصفات القياسية الليبية والدولية لمياه الشرب.
3. تحديد مدى كفاءة وحدات التنقية العاملة بتقنية التناضح العكسي في تحسين جودة المياه الجوفية.
4. تقديم توصيات علمية تسهم في تعزيز الرقابة على هذه المحطات وضمان جودة المياه المنتجة.

أهمية البحث

تكمن أهمية هذه الدراسة في الجوانب الآتية:

1. **الأهمية العلمية :** توفير بيانات ميدانية حديثة حول جودة مياه الشرب المنتجة بوحدات التنقية التجارية في منطقة الدراسة.
2. **الأهمية الصحية :** الإسهام في حماية الصحة العامة من خلال التحقق من سلامة المياه المستهلكة يومياً.
3. **الأهمية التطبيقية :** دعم الجهات الرقابية وصناع القرار بنتائج علمية تساعد في وضع آليات فعالة لمراقبة جودة المياه.
4. **الأهمية المجتمعية :** تعزيز وعي المواطنين بأهمية الالتزام بالمعايير القياسية لمياه الشرب.

حدود البحث

1. الحدود المكانية

اقتصرت الدراسة على محطات تنقية المياه التجارية الصغيرة الواقعة ضمن النطاق الإداري لبلدية العزيزية.

2. الحدود الزمنية: تم إجراء الدراسة خلال فترة 2025/11/13 إلى 2025/12/07م.

3. الحدود الموضوعية

اقتصرت الدراسة على تقييم بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية (TDS، EC، pH، درجة الحرارة)، دون التوسع في التحاليل الميكروبيولوجية أو العناصر الثقيلة.

منهجية البحث وأدواته

اعتمدت الدراسة على **المنهج الوصفي التحليلي** القائم على جمع البيانات ميدانياً وتحليلها ومقارنتها بالمعايير القياسية.

إجراءات الدراسة:

1. حصر عدد (10) محطات تنقية مياه عاملة بتقنية التناضح العكسي (RO).
2. جمع عينات من المياه المنتجة في كل محطة.
3. قياس الخصائص الآتية:
   - المواد الذائبة الكلية (TDS) .
   - الموصلية الكهربائية (EC) .
   - درجة الحموضة (pH) .
   - درجة الحرارة.

أداة القياس

تم استخدام جهاز قياس الموصلية الكهربائية والمواد الذائبة الكلية نوع (HQ40d) من شركةHach ، وهو جهاز معتمد في قياسات جودة المياه.

أسلوب تحليل البيانات

تم تسجيل النتائج في جداول إحصائية ومقارنتها بالقيم القياسية المعتمدة في المواصفات الليبية والدولية لمياه الشرب، وتحليل مدى الانحراف عن الحدود المسموح بها.

مصطلحات البحث

1. **المواد الذائبة الكلية :(TDS)** مجموع الأملاح والمعادن الذائبة في الماء، ويُعد مؤشراً على جودة المياه وملاءمتها للشرب.
2. **الموصلية الكهربائية :(EC)** قدرة الماء على توصيل التيار الكهربائي، وترتبط بتركيز الأيونات الذائبة فيه.
3. **الأس الهيدروجيني :(pH)** مقياس يحدد درجة حموضة أو قلوية الماء.
4. **التناضح العكسي :(RO)** تقنية معالجة مياه تعتمد على غشاء شبه نافذ لإزالة الأملاح والشوائب من الماء.
5. **جودة مياه الشرب :** مدى مطابقة الخصائص الفيزيائية والكيميائية والميكروبيولوجية للمياه للمعايير الصحية المعتمدة.

الدراسات السابقة

1. الكيلاني، أحمد كمال؛ حسن، طارق مفتاح؛ المودي، فرج عبد الجليل (2020)، تقييم جودة مياه محطات التحلية التجارية بمدينة صبراتة وضواحيها، مجلة القرطاس – ليبيا، العدد 11، نوفمبر 2020.

ركزت هذه الدراسة على تقييم جودة مياه التحلية التجارية المنتشرة في مدينة صبراتة وضواحيها، في ظل تنامي الاعتماد على مياه التحلية كمصدر رئيسي لمياه الشرب، وذلك عبر قياس الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمياه المنتجة.

هدفت الدراسة إلى تحديد مدى مطابقة مياه التحلية التجارية في صبراتة للمعايير القياسية الليبية والدولية، وتقييم المخاطر الصحية المحتملة المرتبطة بجودة هذه المياه.

حيث أظهرت التحاليل أن بعض المؤشرات الكيميائية كانت ضمن الحدود المسموح بها، بينما أظهرت أخرى مستويات غير مستقرة تتباين بين مواقع التحلية.

لوحظ وجود تفاوت في جودة المياه بين المحطات المختلفة، مما يعكس اختلاف طرق التشغيل والصيانة.

أوصت الدراسة بضرورة وضع آليات رقابة دورية على محطات التحلية التجارية من قبل الجهات المختصة، وإجراء دراسات مكثفة تشمل الخصائص الميكروبيولوجية للعناصر المحتملة للتلوث.

2. الغرابلي، آلاء البشير وآخرون (2021)، تقييم جودة المياه الجوفية لأغراض الشرب باستخدام مؤشر جودة المياه في مدينة صبراتة – ليبيا، المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة، المجلد 3، العدد 2، 2021.

ركزت الدراسة على تحليل جودة المياه الجوفية في مدينة صبراتة، باستخدام مؤشر جودة المياه(WQI) ، كأداة لتحديد مدى صلاحية هذه المياه للاستخدام الشرب، بناءً على معايير قياسية وطنية ودولية.

هدفت قياس جودة المياه الجوفية في مواقع متعددة داخل مدينة صبراتة وتحديد مدى قابليتها للصرف كمياه شرب آمنة.

حيث توصلت الدراسة إلى وصول مؤشر جودة المياه في بعض المواقع إلى مستويات غير ملائمة للشرب، لوحظ تفاوت كبير في جودة المياه بين المناطق المختلفة، خاصة في القيم المتعلقة بالعناصر الذائبة والمعادن.

أوصت الدراسة بضرورة اتخاذ إجراءات تدخل سريع لتحسين جودة المياه في المناطق ذات المؤشرات المنخفضة، وإجراء مراقبة دورية للتغيرات الموسمية في الخصائص الكيميائية.

3. Abolgasem, F., et al. (2025). Evaluation of physico-chemical and microbial quality of bottled drinking water marketed in Tripoli city, Libya. Egyptian Journal of Nutrition, 40(1), 1–15.

قامت هذه الدراسة بتحليل جودة مياه الشرب المعبأة المتاحة في الأسواق بمدينة طرابلس، مع مقارنة النتائج بالمعايير القياسية الليبية ومعايير منظمة الصحة العالمية.

هدفت الدراسة إلى تقييم الجوانب الكيميائية والفيزيائية والميكروبيولوجية لعينات المياه المعبأة في السوق الليبي، وتحديد مدى مطابقتها لمعايير الجودة.

وتوصلت إلى أن معظم العينات أثبتت التزامها بحدود pH والمعايير الميكروبيولوجية، ولوحظ انخفاض في بعض عينات TDSعن الحد الأدنى المسموح به وفق المواصفة الليبية، وهو ما له دلالة على فقدان الأملاح المعدنية الضرورية.

أوصت الدراسة بضرورة تعزيز الرقابة على مصانع تعبئة المياه المعبأة لضمان التوازن المعدني المطلوب، وتشجيع إجراء فحوصات دورية لضمان استمرارية الجودة.

4. Ali, S., et al. (2024). Chemical and microbial analysis of commercial bottled drinking water available in Surman city markets. Libyan Medical Journal, 19(2), 45–58.

هدفت الدراسة إلى تحليل الخصائص الكيميائية والميكروبيولوجية لمياه الشرب المعبأة المتداولة في سوق مدينة صرمان، كجزءٍ من جهود تقييم جودة مياه الشرب المباعة للمستهلكين، كلك التأكد من مطابقة مياه الشرب المعبأة مع المواصفات القياسية الليبية والدولية، مع التركيز على المؤشرات الميكروبيولوجية والعناصر النزرة.

توصلت الدراسة إلى أن جميع العينات كانت خالية من التلوث الميكروبي، ومعظم العناصر الكيميائية والمقاييس الفيزيائية كانت ضمن الحدود القياسية.

أوصت الدراسة بمواصلة الفحص الدوري لضمان الحفاظ على جودة المياه، وتشجيع الجهات الرقابية على فرض إجراءات صارمة على المصانع والتعبئة.

5. صالح، فوزي عبدالسلام، وآخرون (2022)، تقييم جودة بعض أنواع مياه الشرب المتداولة في مدينة صبراتة. مجلة الريادة للبحوث والأنشطة العلمية، العدد الرابع، ليبيا.

بحثت هذه الدراسة في جودة مياه الشرب المعبأة محلياً في صبراتة، مع مقارنة النتائج بالقيم المعلنة على العبوة والمواصفات القياسية.

حيث هدفت لتحديد مدى مطابقة المياه المعبأة محلياً للمواصفات الليبية والدولية، وتقييم المخاطر الصحية المرتبطة بالاستهلاك.

توصلت هذه الدراسة إلى أن معظم الخصائص الكيميائية كانت ضمن الحدود المسموح بها، مع وجود بعض الفروقات بين القيم المخبرية والقياسات المدونة على الأعباء.

أوصت الدراسة بضرورة التحقق من دقة البيانات المعلنة على العبوات وتحديث إجراءات مراقبة الجودة.

المناقشة:

الجدول رقم (1) قيم المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) المتحصل عليها من تحليل العينات قيد الدراسة

رقم العينة	القراءات	الحد الأدنى	الحد الأعلى
1	38.0	100	500
2	174.5	100	500
3	49.0	100	500
4	48.5	100	500
5	15.59	100	500
6	99.33	100	500
7	82.0	100	500
8	52.0	100	500
9	37.0	100	500
10	60.0	100	500
	المتوسط العام: 68:6 Mg/L		

أظهرت نتائج تحليل المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) في العينات العشر المدروسة أن القيم تراوحت بين (15.59–174.5 ملغم/لتر) عند درجة حرارة (22°م)، حيث سجلت العينة رقم (2) أعلى قيمة بلغت (174.5 ملغم/لتر)، في حين سجلت العينة رقم (5) أدنى قيمة بلغت (15.59 ملغم/لتر). وبلغ المتوسط العام للعينات (68.6 ملغم/لتر).

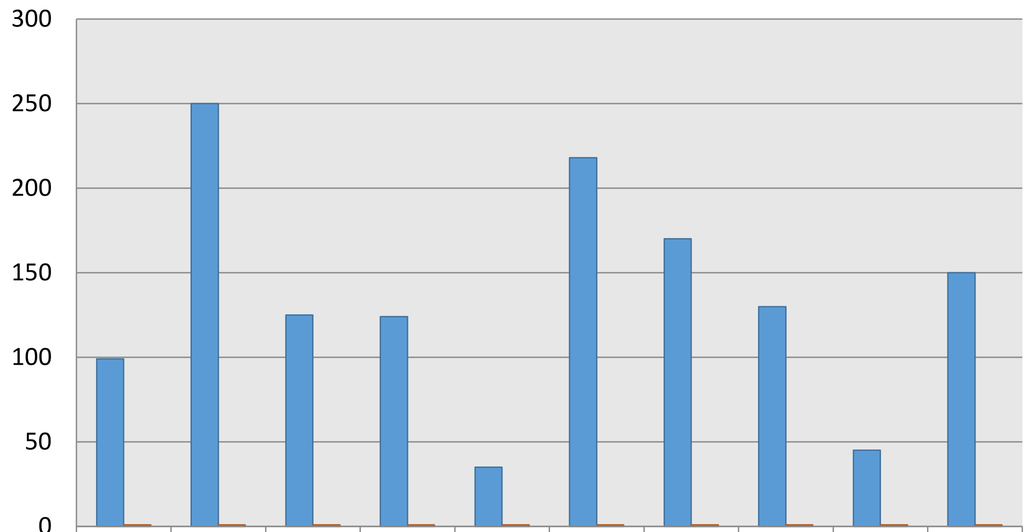
بمقارنة هذه النتائج بالمواصفة القياسية الليبية رقم (10) لسنة 2020م، والتي تحدد الحد الأدنى المقبول لتركيز TDS عند (100 ملغم/لتر) والحد الأعلى عند (500 ملغم/لتر)، يتضح أن غالبية العينات (باستثناء العينة رقم 2) جاءت أقل من الحد الأدنى المسموح به. ويشير ذلك إلى انخفاض كبير في المحتوى المعدني للمياه المنتجة من محطات التحلية محل الدراسة.

هذا الانخفاض يعكس الكفاءة العالية لتقنية التناضح العكسي (RO) في إزالة الأملاح، إلا أنه قد يؤدي إلى فقدان بعض العناصر المعدنية الضرورية للصحة العامة عند الاستهلاك طويل المدى، وهو ما أكدته العديد من الدراسات السابقة في البيئة الليبية.

الموصلية الكهربائية (Ec) :

وتُعد الموصلية الكهربائية مؤشراً غير مباشر لمحتوى الماء من الأيونات الذائبة، إذ ترتبط طردياً بتركيز الأملاح الكلية. وقد أظهرت النتائج وجود انخفاض عام في قيمEC ، وهو ما يتماشى مع انخفاض قيم TDS المسجلة في نفس العينات.

الشكل رقم (1) قيم الموصلية الكهربائية (EC) (µS/Cm) المتحصل عليها من تحليل العينات قيد الدراسة

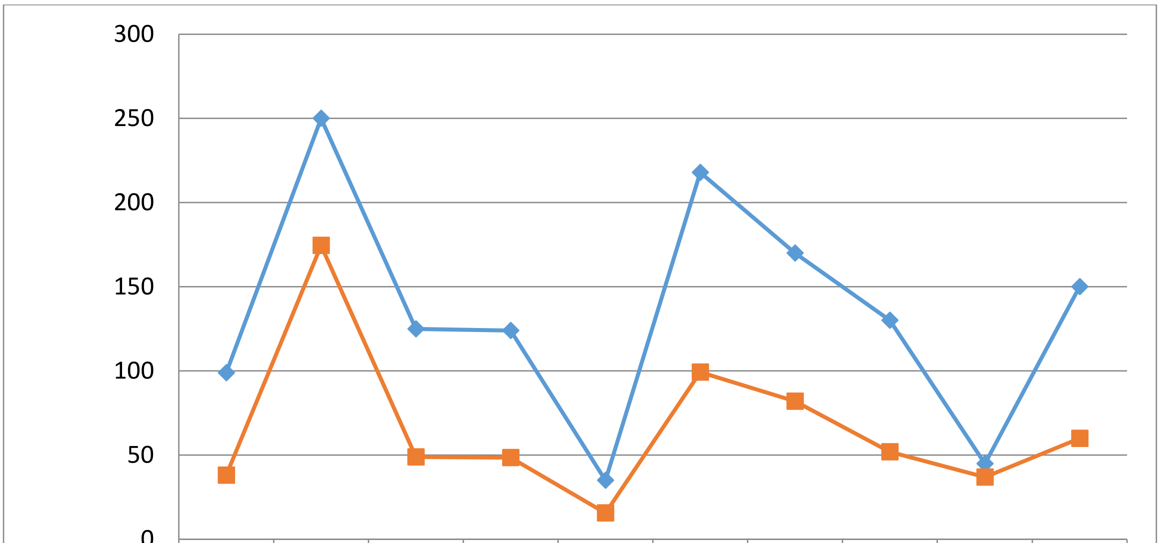


	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150	99	250	125	124	35	218	170	130	45	150
T	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

تراوحت قيم الموصلية الكهربائية في العينات المدروسة بين (35–250 µS/cm)، حيث سجلت العينة رقم (2) أعلى قيمة (µS/cm250)، بينما سجلت العينة رقم (5) أدنى قيمة (µS/cm35).

وبمقارنة القيم بالمواصفات الدولية (450–µS/cm1500)، يتضح أن جميع العينات تقع ضمن الحدود المقبولة، بل وأقل بكثير من الحد الأعلى، مما يشير إلى انخفاض الحمل الأيوني للمياه. كما أظهرت العلاقة البيانية بين TDS و ECتوافقاً عالياً، ما يؤكد دقة القياسات المخبرية ويعكس الارتباط الطردي القوي بين المؤشرين.

الشكل رقم (2) يوضح مقارنة بين قيم الموصلية الكهربائية (EC) (µS/Cm) والاملاح الذائبة الكلية (TDS)المتحصل عليها من تحليل العينات قيد الدراسة



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(EC)	99	250	125	124	35	218	170	130	45	150
(TDS)	38	174.5	49	48.5	15.59	99.33	82	52	37	60

يوضح الشكل (2) العلاقة بين مقارنة بين قيم الموصلية الكهربائية قيم الأملاح الذائبة الكلية للعينات التي تم تجميعها في هذه الدراسة، حيث نلاحظ من خلال الشكل وجود توافق كبير جدا في القراءات التي تم الحصول عليها، يدل هذا التوافق على أن الموصلية الكهربائية تسلك سلوكا مشابها لسلوك الأملاح الذائبة الكلية وهذا يعكس قوة الترابط بين هاتين الخاصيتين ودقة القراءات التي تم الحصول عليها.

الأس الهيدروجيني (PH) :

الجدول رقم (3) حساب متوسط قراءات الأس الهيدروجيني (PH)

رقم العينة	القراءات	الحد الأدنى	الحد الأعلى
1	5.51	6.5	8.5
2	6.82	6.5	8.5
3	4.91	6.5	8.5
4	5.61	6.5	8.5
5	4.74	6.5	8.5
6	5.8	6.5	8.5
7	5.77	6.5	8.5
8	5.70	6.5	8.5
9	5.58	6.5	8.5
10	5.24	6.5	8.5
المتوسط العام: 5.6			

تراوحت قيم الأس الهيدروجيني في العينات المدروسة بين (4.74–6.82)، بمتوسط عام بلغ (5.6).وباستثناء العينة رقم (2) التي سجلت قيمة (6.82) ضمن المجال المقبول، فإن جميع العينات الأخرى كانت أقل من الحد الأدنى المعتمد في المواصفة القياسية الليبية ومعايير منظمة الصحة العالمية (6.5–8.5).

تشير هذه النتائج إلى أن المياه المنتجة تميل إلى الحموضة الخفيفة، وهو أمر شائع في المياه المعالجة بتقنية التناضح العكسي نتيجة إزالة الأملاح القاعدية والبيكربونات. وقد يؤدي انخفاض pH إلى زيادة قابلية الماء للتآكل داخل الأنابيب والخزانات، كما قد يؤثر على الطعم العام للمياه.

من الشروط اللازمة عند تعبئة مياه الشرب أن تكون نقية وغير ملوثة عند تعبئيها من مصادرها حفاظاً على صحة الانسان وسلامته من الامراض، وهنا لابد من الاشارة إلى إن مياه الشرب يجب أن تكون مطابقة للشروط والمواصفات القياسية المحلية والعالمية كما هي مبينة في الجدول الاتي:

الجدول رقم (4) بعض العناصر الكيميائية المعتمدة بالمواصفات القياسية المحلية والدولية

ت	العناصر الكيميائية والفيزيائية	الرمز الكيميائي	الوحدة	المواصفات القياسية المعتمدة	
				المواصفات القياسية الليبية	المواصفات القياسية الدولية
1	الأس الهيدروجيني	PH	/	8.5 – 6.5	8.5 – 6.5
2	الاملاح الذائبة الكلية	T.D.S	Mg/L	1000–500	800–500
3	الموصلية الكهربائية	EC	µS/Cm	--	1500--450
4	الكالسيوم	Ca^{+2}	Mg/L	75	200–30
5	الماغنسيوم	Mg^{+2}	Mg/L	30	50–10
6	الكلوريدات	CL	Mg/L	250	600–200
7	الكبريتات	So_4^{-2}	Mg/L	150	400–200
8	الصوديوم	Na^{++}	Mg/L	100	400–200
9	الكربونات	Co_3	Mg/L	--	--
10	البيكربونات	HCO_3	Mg/L	150	200
11	البوتاسيوم	K^+	Mg/L	12	12

المصدر : المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية الليبية ، طرابلس ، ليبيا (2008). مياه الشرب المعبأة الاصدار الاول: م ق ل (10)، 2008م

منظمة الصحة العالمية (WHO) جودة مياه الشرب، المنشورات الدورية ، المكتب الاقليمي لشرق الاوسط، 1998م

- محطات التحلية جميعها تقوم على المياه الجوفية في منطقة الدراسة :

تم اختيار عدد (10) عينات من محال مياه الشرب التي تقوم على المياه الجوفية من آبار خاصة يتراوح أعماقها بين (200–300) متراً ، وجاءت نتائج التحاليل على بعض العناصر الكيميائية كما هي مبينة بالجدول (5).

الجدول رقم (5) نتائج تحاليل مياه الشرب بمحال التعبئة بمنطقة الدراسة

العينة	الكربونات Co^3	البيكربونات HCO_3	الكبريتات So_4^{-2}	الكلوريدات CL	الكالسيوم Ca^{+2}	الماغنسيوم Mg^{+2}	الصوديوم Na^+	البوتاسيوم K^+
1	0	15.25	0	13.89	2.0	0.72	11.6	0.8
2	0	24.4	58.0	41.689	14.4	6.24	31.0	1.4
3	0	15.25	3.0	13.896	2.4	0.96	11.8	0.4
4	0	18.3	6.0	16.67	3.6	2.16	11.6	0.6
5	0	6.1	8.0	4.16	3.2	0.72	3.6	0.2
6	0	18.3	3.0	12.5	4.0	1.92	8.6	0.4
7	0	18.3	9.0	10.4	41.4	2.4	7.4	0.4
8	0	21.35	25.0	23.62	9.6	4.56	14.4	1.6
9	0	18.3	8.0	15.286	3.2	1.44	14.2	0.6
10	0	24.4	8.0	17.37	5.6	2.4	17.0	0.6
المتوسط العام	0	17.995	12.8	16.9481	8.94	2.352	13.12	0.7

-البيكربونات: (HCO3)

تراوحت قيم البيكربونات بين (6.1–24.4 ملغم/لتر)، بمتوسط عام (17.99 ملغم/لتر)، وهي جميعها أقل من الحد الأقصى المسموح به في المواصفات المحلية والدولية. ويعكس انخفاض البيكربونات انخفاض القدرة التنظيمية (Buffering capacity)للمياه، مما يفسر جزئياً انخفاض قيم pH المسجلة.

- الكبريتات: $(SO4)^{-2}$

بلغ متوسط تركيز الكبريتات (12.8 ملغم/لتر)، وهي قيمة منخفضة مقارنة بالحد الأقصى المسموح به (150–250 ملغم/لتر). ورغم أن هذه القيم لا تمثل خطراً صحياً، فإن انخفاضها يعزز مؤشر انخفاض التمعدن العام للمياه.

-الكلوريدات: (CL^{-})

تراوحت القيم بين (4.16–41.69 ملغم/لتر)، وهي جميعها أقل بكثير من الحد الأقصى المسموح به (250 ملغم/لتر). وتشير هذه النتائج إلى غياب التأثيرات الملحية المرتفعة في المياه المنتجة.

-الكالسيوم: (Ca^{++})

بلغ متوسط تركيز الكالسيوم (8.94 ملغم/لتر)، وهو أقل بكثير من القيمة المرجعية الليبية (75 ملغم/لتر). ويُعد الكالسيوم من العناصر المهمة لصحة العظام والأسنان، وبالتالي فإن انخفاضه يعكس تدني مستوى العسرة الكلية للمياه.

- الماغنسيوم: (Mg^{+})

تراوحت القيم بين (0.72–6.24 ملغم/لتر)، بمتوسط (2.35 ملغم/لتر)، وهي أقل من الحدود الموصى بها (10–30 ملغم/لتر). ويُعد المغنيسيوم عنصراً أساسياً في العديد من العمليات الأيضية الحيوية، مما يعزز الإشارة إلى انخفاض القيمة الغذائية للمياه المنتجة.

-الصوديوم: (Na)

بلغ متوسط تركيز الصوديوم (13.12 ملغم/لتر)، وهي قيمة أقل من الحد الأقصى المسموح به (100 ملغم/لتر)، مما يجعلها آمنة من ناحية التأثيرات المرتبطة بارتفاع ضغط الدم

البوتاسيوم: K^{+}.

جاءت تراكيز البوتاسيوم منخفضة، بمتوسط (0.7 ملغم/لتر)، وهي ضمن الحدود المقبولة (≤12 ملغم/لتر)، ولا تشكل خطراً صحياً.

تشير النتائج الإجمالية إلى أن المياه المنتجة من محطات التحلية بمنطقة الدراسة:

- منخفضة جداً في محتواها المعدني.(Low mineralized water)
- مطابقة للحدود القصوى للمواصفات القياسية من حيث عدم تجاوز الحدود العليا.

- غير مطابقة في بعض المؤشرات المتعلقة بالحدود الدنيا، خاصة TDS و pH وبعض العناصر المعدنية الأساسية.

ويعكس ذلك التأثير المباشر لتقنية التناضح العكسي في إزالة معظم الأملاح والعناصر الذائبة، دون وجود مرحلة لاحقة لإعادة التمعدن(Remineralization) ، وهو ما يؤدي إلى إنتاج مياه ذات نقاء عالٍ لكنها فقيرة معدنيًا.

وعليه، فإن الإشكالية الأساسية لا تكمن في وجود ملوثات مرتفعة، بل في انخفاض التوازن المعدني للمياه المنتجة، وهو ما يستدعي تدخل الجهات الرقابية لإلزام المحطات بإضافة مرحلة ضبط الأس الهيدروجيني وإعادة التمعدن لضمان مطابقة المياه للمواصفات القياسية المحلية والدولية بصورة متكاملة.

المناقشة والاستنتاجات:

أولاً. مناقشة النتائج

1. المواد الصلبة الذائبة الكلية(TDS)

أظهرت نتائج الدراسة الحالية أن متوسط TDS بلغ (68.6 ملغم/لتر)، وهو أقل من الحد الأدنى المعتمد في المواصفة القياسية الليبية (100 ملغم/لتر)، مع تسجيل عينة واحدة فقط ضمن المجال المقبول.

- تتفق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه دراسة **الكيلاني وآخرون (2020)** المنشورة في مجلة القرطاس، والتي أشارت إلى وجود تفاوت واضح في قيم الأملاح الذائبة بين محطات التحلية، مع انخفاض ملحوظ في بعض المواقع نتيجة كفاءة وحدات التناضح العكسي.

- كما تتطابق النتائج مع دراسة **Abolgasem et al. (2025)** والتي سجلت انخفاض بعض عينات المياه المعبأة في طرابلس عن الحد الأدنى لـTDS ، وأرجعت ذلك إلى غياب مرحلة إعادة التمعدن.

- كذلك تتقاطع مع نتائج **صالح وآخرون (2022)** حيث لوحظ انخفاض بعض المؤشرات المعدنية مقارنة بالقيم القياسية.

تشير هذه المقارنة إلى أن مشكلة انخفاض التمعدن ليست حالة فردية في منطقة الدراسة، بل تمثل نمطاً متكرراً في عدد من المدن الليبية، ويرتبط ذلك بغياب أنظمة إعادة التوازن المعدني بعد المعالجة بالتناضح العكسي.

2. الموصلية الكهربائية(EC)

سجلت الدراسة الحالية انخفاضاً واضحاً في قيم(35–250 µS/cm) EC ، وهي أقل من الحدود الدولية الإرشادية.

- تتفق هذه النتيجة مع دراسة **Ali et al. (2024)** والتي أكدت انخفاض الموصلية الكهربائية في المياه المعبأة نتيجة إزالة الأيونات الذائبة.

- كما دعمت دراسة الغرابلي وآخرون (2021) وجود تفاوت مكاني في تراكيز الأملاح، مع تسجيل مستويات منخفضة في بعض المواقع.

الانخفاض المتوازي بين TDS و ECيؤكد الارتباط الطردي بين المؤشرين ويعكس إزالة شبه كاملة للأملاح، مما يعزز فرضية غياب إعادة التمعدن.

3. الأس الهيدروجيني(pH)

بلغ المتوسط (5.6)، وهو أقل من الحد الأدنى (6.5)، مما يدل على ميل المياه إلى الحموضة الخفيفة.

- دراسة **Abolgasem et al. (2025)** أشارت إلى التزام معظم عينات طرابلس بالمدى القياسي لـpH ، وهو ما يختلف جزئياً مع نتائج الدراسة الحالية.
- دراسة **الكيلاني وآخرون (2020)** سجلت تذبذباً في قيم pH بين المحطات، وهو ما يتوافق مع ما تم رصده في هذه الدراسة.

الاختلاف بين النتائج قد يعزى إلى اختلاف سياسات التشغيل، أو وجود مرحلة ضبط pH في بعض مصانع التعبئة، مقابل غيابها في محطات التحلية محل الدراسة.

4. العناصر الكيميائية الرئيسية

أظهرت النتائج انخفاضاً عاماً في الكالسيوم، المغنيسيوم، البيكربونات، والكبريتات مقارنة بالقيم المرجعية.

- دراسة الغرابلي وآخرون (2021) سجلت ارتفاعاً نسبياً في بعض المعادن بالمياه الجوفية، وهو ما يختلف عن الدراسة الحالية، ويعكس تأثير المعالجة بالـ RO في إزالة هذه المعادن.
- دراسة صالح وآخرون (2022) أشارت إلى فروق بين القيم المدونة على العبوات والقيم المخبرية، وهو ما يبرز إشكالية الرقابة وضبط الجودة.

توضح المقارنة أن المياه الجوفية قبل المعالجة غالباً ما تحتوي على نسب معدنية أعلى، لكن المعالجة المفرطة دون إعادة تمعدن تؤدي إلى إنتاج مياه منخفضة العسرة وضعيفة القدرة التنظيمية.

ثانياً: الاستنتاجات

1. توجد مشكلة واضحة في انخفاض التمعدن العام.(Low mineralization)
2. انخفاض pH مرتبط بانخفاض البيكربونات والقدرة التنظيمية.
3. النتائج تتسق مع اتجاه عام رصدته الدراسات الليبية الحديثة.
4. الإشكالية ليست في التلوث، بل في اختلال التوازن المعدني.

ثالثاً: التوصيات

1. إلزام محطات التحلية بإضافة مرحلة إعادة التمعدن (Remineralization) بعد التناضح العكسي.

2. ضبط الأس الهيدروجيني ليكون ضمن المجال (6.5–8.5).
3. إجراء فحوصات دورية شاملة تشمل الجوانب الكيميائية والميكروبيولوجية.
4. تحديث المواصفة الليبية لتشمل حدًا أدنى إلزاميًا لبعض العناصر المعدنية الأساسية.
5. إنشاء قاعدة بيانات وطنية لمراقبة جودة مياه التحلية في مختلف المدن الليبية.
6. تعزيز دور الجهات الرقابية في التفتيش الميداني المنتظم.

رابعاً: المقترحات

1. إجراء دراسة طويلة المدى حول التأثير الصحي لاستهلاك المياه منخفضة التمعدن.
2. دراسة مقارنة بين المياه الجوفية قبل المعالجة وبعدها لتحديد نسبة الفاقد المعدني.
3. تقييم تقنيات إعادة التمعدن الأنسب للبيئة الليبية من حيث التكلفة والكفاءة.
4. إدراج عنصر العسرة الكلية كمؤشر رئيسي في الدراسات المستقبلية.
5. إجراء دراسة على رضا المستهلكين ومدى وعيهم بجودة المياه المعدنية.

الخاتمة

خلصت هذه الدراسة إلى تقييم جودة مياه الشرب المنتجة من محطات التحلية المعتمدة على المياه الجوفية في منطقة الدراسة، وذلك من خلال تحليل مجموعة من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية، شملت المواد الصلبة الذائبة الكلية(TDS) ، والموصلية الكهربائية(EC) ، والأس الهيدروجيني(pH) ، إضافة إلى عدد من الأيونات الرئيسة مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والكلوريدات والكبريتات والبيكربونات.

وأظهرت النتائج أن المياه المنتجة تتسم بانخفاض واضح في محتواها المعدني، حيث سجلت معظم العينات قيماً أقل من الحد الأدنى المعتمد لبعض المؤشرات وفق المواصفة القياسية الليبية، في حين لم تُسجل أي تجاوزات للحدود العليا المسموح بها. كما تبين وجود انخفاض ملحوظ في قيم الأس الهيدروجيني، الأمر الذي يعكس ضعف القدرة التنظيمية للمياه نتيجة إزالة الأملاح القاعدية خلال عملية التناضح العكسي.

وبمقارنة النتائج بالدراسات الليبية السابقة، اتضح أن انخفاض التمعدن يمثل نمطاً متكرراً في مياه التحلية والمياه المعبأة في عدد من المدن الليبية، مما يشير إلى غياب مرحلة إعادة التمعدن في العديد من المحطات. وعليه، فإن الإشكالية الأساسية لا تتمثل في وجود تلوث كيميائي مرتفع، بل في اختلال التوازن المعدني للمياه المنتجة.

وتؤكد الدراسة أهمية إعادة النظر في آليات ضبط جودة مياه التحلية، مع ضرورة إدراج مرحلة إعادة التمعدن وضبط الأس الهيدروجيني ضمن العمليات التشغيلية القياسية، بما يضمن تحقيق التوازن بين نقاء المياه وقيمتها الصحية، وبما يتوافق مع متطلبات المواصفات القياسية الوطنية ومعايير منظمة الصحة العالمية.

المصادر والمراجع:

1. الغرابلي، آلاء البشير، وآخرون. (2021). تقييم جودة المياه الجوفية لأغراض الشرب باستخدام مؤشر جودة المياه في مدينة صبراتة – ليبيا. المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة، 3(2)، 1–15.
2. الكيلاني، أحمد كمال، حسن، طارق مفتاح، والمودي، فرج عبد الجليل. (2020). تقييم جودة مياه محطات التحلية التجارية بمدينة صبراتة وضواحيها. مجلة القرطاس، (11)، 1–20.
3. المركز الوطني الليبي للمواصفات والمعايير القياسية الليبية ، طرابلس ، ليبيا (2008). مياه الشرب المعبأة الاصدار الاول: م ق ل (10)، 2008م
4. صالح، فوزي عبدالسلام، وآخرون (2022)، تقييم جودة بعض أنواع مياه الشرب المتداولة في مدينة صبراتة. مجلة الريادة للبحوث والأنشطة العلمية، العدد الرابع، ليبيا.
5. منظمة الصحة العالمية (WHO) جودة مياه الشرب، المنشورات الدورية، المكتب الاقليمي لشرق الاوسط، 1998م.
6. Abolgasem, F., et al. (2025). Evaluation of physico-chemical and microbial quality of bottled drinking water marketed in Tripoli city, Libya. Egyptian Journal of Nutrition, 40(1), 1–15.
7. Ali, S., et al. (2024). Chemical and microbial analysis of commercial bottled drinking water available in Surman city markets. Libyan Medical Journal, 19(2), 45–58.