LJEEST
ISSN 2710-5237
www.srcest.org.ly/jou

المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة

Libyan Journal of Ecological & Environmental Sciences and Technology(LJEEST)

DOI: https://doi.org/10.63359/jexxah79

تقييم جودة مياه الشرب المعالجة بأجهزة التناضح العكسي المنزلية في مدينتي سبها ووادي الشاطئ جنوب ليبيا

عمر أحمد الشريف[1] علي محمد إمريمي[2]

ARTICLE INFO

Vol. 7 No.3 December,2025

Pages A (41- 47)

Article history:
Revised form 04 Novmber 2025
Accepted 20 Novmber 2025

Authors affiliation
1Faculty of Environment and Natural Resources, Wadi al-Shatti University. Wadi al-Shatti, Libya
2 Libyan Center for Studies, Researches in Environmental Science and Technology. Wadi al-Shatti, Libya
o.sharif@wau.edu.ly

Keywords:
Drinking water, Reverse osmosis, Water desalination , Deficiency of dissolved salts Remineralization.

© 2025
Content on this article is an open access licensed under creative commons CC BY-NC 4.0.

الملخص

أظهرت نتائج هذا البحث أن مياه الشرب المعالجة بأجهزة التناضح العكسي المنزلية كانت منخفضة الحموضة، حيث كان pH قبل المعالجة يتراوح بين (6.2 –7.3)، وبعد المعالجة انخفض حتى وصل إلى (5.2 – 5.8) حسب عمر الفلتر. كما لوحظ انخفاض كبير في الإيصالية الكهربائية (EC) بعد المعالجة (مثلا من 1592 إلى 202 µS/cm و من 811 إلى 31.4 µS/cm) ، مما يعكس فعالية إزالة الأملاح الذائبة. كما بلغت نسب إزالة المعادن الذائبة (الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم) والأملاح الذائبة الكلية (TDS)أعلى من 93.5%، مع تراجع في الكفاءة مع تقدم عمر الفلتر. في المقابل، زادت أعداد البكتيريا في المياه المعالجة بعد خمسة أشهر من التشغيل، مما يشير إلى تلوث ميكروبي متزايد عند تأخر تغيير الفلاتر. هذه النتائج تؤكد قدرة أجهزة التناضح العكسي على تنقية الماء من الملوثات والملوثات الذائبة، لكنها تثير قلقًا كبيراً بشأن النقص المحتمل في المعادن الأساسية في المياه المعالجة والآثار الصحية المترتبة على ذلك، خاصة فيما يتعلق بصحة العظام والأسنان والوظائف الحيوية للجسم.

Evaluation of Drinking Water Quality Treated with Reverse Osmosis System in the Cities of Sabha and Wadi Al-Shatti – Southern Libya

Omar Ahmed M. Sharif [1] Ali Mohammed Mremi[2] Ibrahim Almahdi Barka [1]

This study demonstrates that drinking water processed by household Reverse Osmosis (RO) systems exhibits reduced acidity, with pre-treatment pH values ranging from 6.2 to 7.3 and post-treatment values decreasing to 5.2–5.8, depending on the filter's lifespan. A notable decrease in Electrical Conductivity (EC) was recorded following treatment (for example, from 1592 to 202 µS/cm and from 811 to 31.4 µS/cm), underscoring the effectiveness of RO systems in removing dissolved salts. The removal efficiency for dissolved metals (calcium, magnesium, sodium, potassium) and total dissolved salts (TDS) exceeded 93.5%, although this efficacy diminished as filters aged. Conversely, a rise in bacterial counts was observed after five months of operation, suggesting increased microbial contamination due to delayed filter replacement. These results substantiate the capability of RO devices to eliminate contaminants and dissolved substances from water; however, they also highlight important concerns regarding the potential depletion of essential minerals in treated water and associated health risks, particularly concerning bone, dental health, and critical bodily functions.

المقدمة

تعاني ليبيا من نقص شديد في المياه، إذ يبلغ معدل هطول الأمطار نحو 56 ملم سنويًا وتعتبر موارد المياه العذبة المتجددة محدودة للغاية. تعتمد البلاد بصورة شبه كاملة على المياه الجوفية غير المتجددة، التي توفر حوالي 287 لترًا للفرد يوميًا، وهي بالكاد تكفي للاحتياجات الأساسية . يذهب أكثر من 80% من المياه إلى الزراعة، بينما تتفاقم مشاكل استنزاف المياه الجوفية وارتفاع الملوحة وتلوث الأنابيب والآبار بملوثات مختلفة، ما يجعل معالجة المياه أمر ضروري. (UNICEF 2022). تُعد تحلية المياه المورد المائي غير التقليدي الثاني من حيث الأهمية في

دولة ليبيا، حيث تم اعتماد هذه التقنية منذ أوائل ستينيات القرن الماضي بالرغم من محدودية عدد المنشآت المخصصة لهذا الغرض في ذلك الوقت. يبلغ عدد محطات التحلية العاملة حاليًا 21 محطة بإجمالي قدرة إنتاجية تصل إلى 525,680 متر مكعب يوميًا. حيث تمثل العمليات الحرارية نحو 95% من إجمالي المحطات القائمة، فيما تستحوذ تقنية التناضح العكسي الغشائي على نحو 5%. ووفقًا لبيانات عام 2002، بلغت نسبة مساهمة تحلية المياه في إجمالي إمدادات المياه المحلية 1.4% (Brika, 2018). تراوحت مستويات الأملاح الذائبة الكلية في عينات خمس آبار في مدينة سبها ما بين 1400 إلى 3704 ملغم/لتر، مما يشير إلى أن المياه مالحة نوعا ما، حسب الدراسة التي أجراها (Salem et al. 2022). هذا التدهور في جودة مياه الشرب في المنطقة أدى في الآونة الأخيرة إلى انتشار إستخدام أجهزة التحلية المنزلية بشكل كبير في مناطق مختلفة في الجنوب الليبي. ارتفاع تركيز الأملاح الذائبة في المياه جعلها غير سائغة الشرب للمواطن، ومع غياب دور الجهات المسؤولة عن توفير مياه الشرب للسكان، إضطر السكان لشراء أجهزة تحلية منزلية تجارية وتركيبها في منازلهم للحصول على مياه معالجة وأقل أملاح. انتشرت بعد ذلك الكثير من المحلات التجارية لغرض تحلية المياه بإستخدام فلاتر ومعدات أكثر تطورا وقدرة وكفاءة من تلك المستخدمة في المنازل.تقنية التناضح العكسي (Reverse Osmosis) هي تقنية متطورة ومعروفة عالميًا، تُمثل[1] حوالي 70% من استخدامات تحلية المياه عالميًا. يعتمد نظام التناضح العكسي على استخدام الماء تحت الضغط الاسموزي في الغشاء، مما يُقلل من استهلاك الطاقة مقارنةً بأنظمة تحلية المياه الأخرى وفقاً لـ Tayeh (2024) . تعمل أجهزة التناضح العكسي على إزالة المعادن المفيدة مثل الكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم والصوديوم بنسبة كبيرة، وشرب هذه المياه لفترات طويلة قد يؤدي إلى نقص هذه المعادن المهمة في الجسم خصوصا إذا لم يتم تعويضها بالنظام الغذائي. وبالتالي سوف يؤدي ذلك الى مشاكل صحية مثل ضعف العظام وغيرها من المشاكل والتأثيرات الصحية وخصوصا على الأطفال والرضع. ومن الممكن أن تؤثر البيكربونات والمغنيسيوم الموجودان في مياه الشرب على صحة العظام عن طريق خفض امتصاص العظام، كما أن نقص الكالسيوم يؤدي إلى نقصه في مستودعات العظام مما يؤدي إلى هشاشة العظام وزيادة خطر الإصابة بالكسور (Dahl . et al. 2013). كما أن إنخفاض نسبة الأملاح او المعادن في المياه يُعطل قدرة الجسم الحفاظ على التوازن مما يؤثر على إستقلاب الماء والمعادن، والذي بدوره يؤدي إلى اضطراب وزيادة في إفراز أيونات حيوية داخل الخلايا وخارجها مما إلى تغيرات في مستويات الماء في الجسم وتغيرات في النشاط الوظيفي للهرمونات المرتبطة بإدارة الماء في الجسم والذي يؤدي إلى زيادة إدرار البول (V K. et al. 2023)

غياب الوعي المائي والصحي لدى المواطنين وخطورة هذه الأجهزة المستخدمة بدون رقابة ومن دون دراسات وتحاليل للمياه المراد معالجتها، جعلنا نقوم بهذه الدراسة لغرض الحصول على نتائج دقيقة وعلمية ومشاركتها مع المجتمع والجهات ذات العلاقة حتى يتم وضع شروط وقيود لإستخدام هذه الأجهزة سواء في المنازل او في المحال التجارية، والتوعية بالمخاطر الصحية المحتملة لإستخدامها.

والجدول رقم (1) يوضح الحدود المثلي والقصوى لبعض العناصر المدروسة حسب المواصفات الليبية. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية (1992)

المادة	الحد الامثل مغ/لتر	الحد الأقصى المسموح به مغ/لتر
الكالسيوم	75	200
الماغنسيوم	30	150
الصوديوم	20	200
البوتاسيوم	10	40
الاملاح الذائبة الكلية	500	1000
الاس الهيدروجيني	6.5	8.5

طريقة عمل جهاز التناضح العكسي:

عند وضع محلول ملحي وماء عذب على جانبي غشاء شبه منفذ، ينتقل الماء العذب إلى المحلول الملحي لتحقيق التوازن، وتسمى هذه العملية بالتناضح (OSMOSIS). يستمر تدفق الماء حتى يعادل الضغط الأسموزي الفرق في التركيز. إذا طبقنا ضغطاً أسموزياً أعلى من الطبيعي على المحلول الملحي، يمكن عكس الاتجاه لينتقل الماء العذب من المحلول الملحي إلى جهة الماء العذب، وتسمى هذه العملية بالتناضح العكسي، وتستخدم للحصول على ماء عذب من ماء مالح. ومن ثم فعملية التناضح العكسي (RO) هي عملية فصل الماء العذب عن محلول ملحي من خلال غشاء نفاذ وذلك بضغط المحلول بضغط اعلي من الضغط الاسموزي. إن ميزة جهاز التناضح العكسي أنه يزيل جميع الأملاح المنحلة في الماء بنسب متفاوتة تصل الى 99% لبعض العناصر (Tayeh, 2024). كما أن غشاء ترشيح التناضح العكسي دقيق للغاية (حوالي 0.0001 ميكرون) لدرجة أنه يزيل تقريبًا جميع المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS)، وهذا يشمل مواد ضارة مثل الرصاص والزرنيخ والترسبات، بالإضافة إلى معادن مفيدة يحتاجها الجسم (Johnson, 2025). تعتمد فعالية تقنية التناضح العكسي على خصائص مياه التغذية ومعايير التشغيل وكذلك نوعية الغشاء المستخدم. رغم نجاح هذه التقنية في تطبيقات عديدة، إلا أنها تواجه تحديات تتعلق بتراكم الأوساخ بأنواعها المختلفة (الغروانية، العضوية، الحيوية) إضافة إلى الترسبات الكلسية الناتجة عن ارتفاع تركيز الأملاح والملوثات في مياه المصدر. إن تراكم هذه المواد يؤدي إلى زيادة استهلاك الطاقة وانخفاض العمر الافتراضي للأغشية وتراجع إنتاجية المحطات. لذا يتطلب الأمر إجراء عمليات تنظيف دورية باستخدام تقنيات كيميائية وفيزيائية لضمان استمرار كفاءة النظام (Tayeh, 2024).

الشكل رقم (1) يوضح جهاز التحلية المنزلية باستخدام تقنية التناضح العكسي

المواد والطرق:

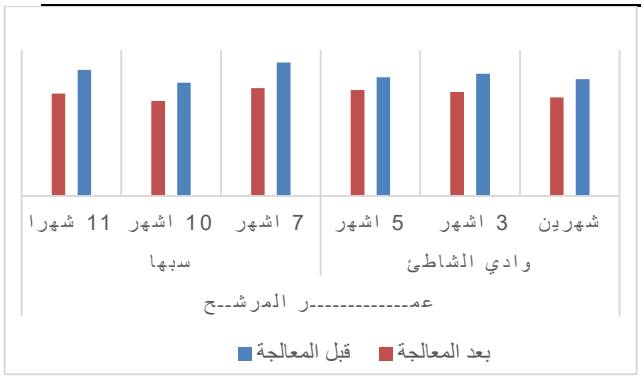
تم جمع ستة (6) عينات مياه شرب من المياه الداخلة (الخام) والمياه المنتجة او الخارجة (المعالجة) من أجهزة التحلية المنزلية (5 مراحل) والمستخدمة في مدينتي سبها ووادي الشاطئ، وتم أخذ العينات من أجهزة تحلية منزلية حسب عمر الفلاتر المستخدمة (شهرين، ثلاثة أشهر، خمسة أشهر، سبعة أشهر، عشرة أشهر، إحدى عشر شهراً). لإجراء التحاليل الكيميائية. تم جمع العينات بإستعمال قنينات بلاستيكية سعة 1.5 لتر وذلك بعد تنظيفها جيدا الماء الخالي من الايونات، وأخذ العينات المراد تحليلها ونقلها في ظروف مناسبة لإجراء التحاليل الكيميائية والفيزيائية عليها في معمل مراقبة جودة المياه – قسم علوم البيئة – كلية البيئة والموارد الطبيعية – جامعة وادي الشاطئ. وتم جمع العينات الخاصة بالتحاليل المكروبيولوجية وشملت المياه الداخلة والمياه المنتجة بعد مرحلة التنقية باستعمال قوارير زجاجية معقمة على عدة فترات حسب أعمار المرشحات وعمل الاختبارات اللازمة عليها في مدة لم تتجاوز 3 ساعات من جمع العينة. وشملت التحاليل عد البكتيريا وأشكالها في العينات المدروسة.

النتائج والمناقشة:

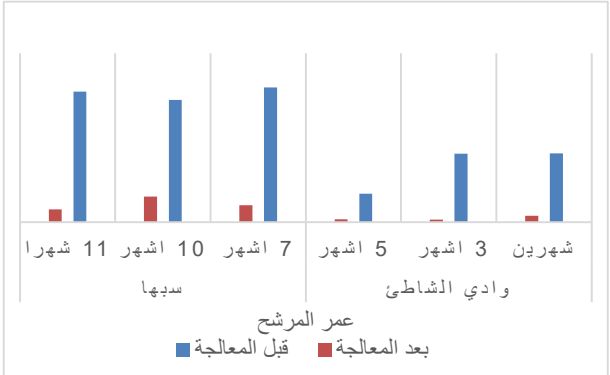
النتائج الكيميائية والفيزيائية

أقل قيمة للأس الهيدروجيني لعينات المياه الخام (قبل المعالجة) كانت 2.6 عند عمر المرشح (10 أشهر) وأعلى قيمة كانت عند عمر المرشح (7 أشهر) حيث بلغت 7.3 في مدينة سبها. بينما بلغت قيمة pH للعينات بعد المعالجة بين (5.2 -5.8) عند عمر المرشح (10 أشهر و 5 أشهر على التوالي). حيث أُستخدم جهاز (pH-Meter) (نوع PHIL موديل 9421) لقياس الأس الهيدروجيني للعينات. يمكن أن تؤثر الظروف الحامضية والقاعدية في الجسم أيضًا على توازن المعادن (Rylander . et al. 2009). حيث أظهرت إحدى الدراسات أن شرب الماء ذي الرقم الهيدروجيني المنخفض يزيد من خطر الإصابة بكسور الساعد (Dahl C. et al. 2013).كما كشفت دراستان أخريان أن المياه المعدنية الطبيعية تمثل حمولة قلوية كبيرة وقد تؤثر على توازن الكالسيوم وإعادة تشكيل العظام (Qiu Z. et al. 2015) .

بينما كانت أعلي قيمة للإيصالية الكهربائية (Ec) في العينات قبل المعالجة عند عمر المرشح سبعة أشهر وهي 1592 µs/cm واقل قيمة هي 336 µs/cm عند عمر المرشح خمسة أشهر، اما بالنسبة للمياه المنتجة بعد المعالجة كانت اعلي قيمة عند المرشح عشرة أشهر واقل قيمة عند عمر المرشح ثلاثة أشهر (303 و 31.4 ميكروسيمينز/سم على التوالي). تم استخدام جهاز JENWAY model 4310 لقياس الإيصالية.



شكل رقم (2) يوضح نتائج قياس الأس الهيدروجيني pH للعينات

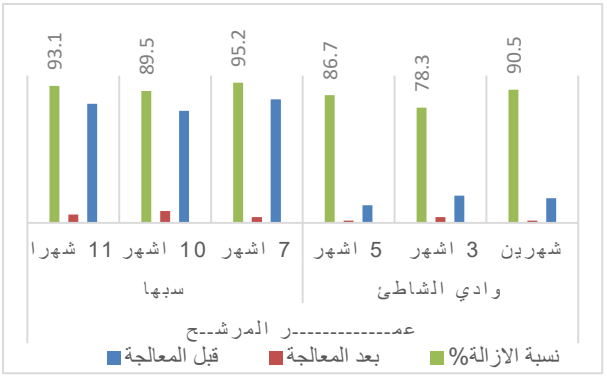


شكل رقم (3) يوضح نتائج قياس الإيصالية الكهربائية في العينات

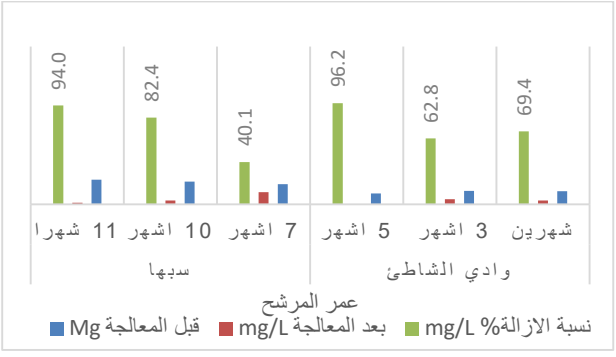
كما تم تقدير عنصري الكالسيوم والماغنسيوم بالمعايرة مع محلول EDTA مولا ريته M0.01 باستخدام كاشف Murexied وكاشف Eriochrome Black T وذلك حسب الطريقة المذكورة في Standard Methods (1978) رقم (313،303).

كان أعلى نسبة إزالة لعنصر الكالسيوم هي 95.2% وذلك في عينة السبعة (7) أشهر في مدينة سبها، حيث كان تركيز الكالسيوم قبل المعالجة هو 84 مليجرام لكل لتر، بينما التركيز بعد المعالجة كان فقط 4 مليجرام لكل لتر، ويعتبر تركيز ضعيف جدا مقارنة بالمواصفة الليبية القياسية (75 مليجرام لكل لتر)، جدول (1). وبشكل عام، كانت تراكيز عنصر الكالسيوم في جميع العينات بعد المعالجة تتراوح بين 1.6 – 8 مليجرام لكل لتر، وهو ضعيف جدا مقارنة بالمواصفة الليبية القياسية (75 – 200 مليجرام/لتر) وبالتأكيد سوف يكون له تأثير صحي سلبي على الصحة العامة، وهذا يتوافق مع ما وجده (Gani et al. 2023) حول النقص الشديد في الأملاح بعد المعالجة بطريقة RO، حيث وصلت نسبة الازالة في عنصر الفلوريد إلى 100%.

كانت نتائج عنصر الماغنيسيوم في المياه المدروسة اعلي تركيز في المياه قبل المعالجة عند عمر المرشح احدا عشر شهر واقل تركيز عند عمر المرشح خمسة أشهر (23.5 و 10.5 مليجرام/لتر على التوالي) ، وتراكيز الماغنيسيوم في المياه بعد المعالجة كانت اعلي تركيز عند عمر المرشح سبعة أشهر وأقل قيمة عند عمر المرشح خمسة أشهر (11.5 و 0.4 مليجرام/لتر على التوالي)، وهو لا يتوافق مع المواصفات القياسية الدولية والمحلية حيث الحدود الموصي بها لتركيز عنصر الماغنسيوم في مياه الشرب هي (30-150 مليجرام/لتر).



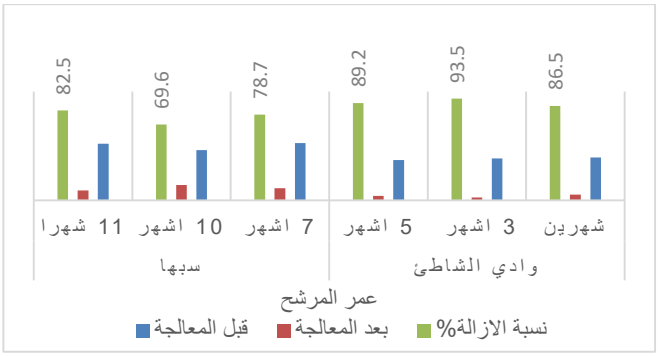
شكل رقم (4) يوضح تركيز عنصر الكالسيوم (ملج/لتر) في العينات وكذلك نسبة الإزالة



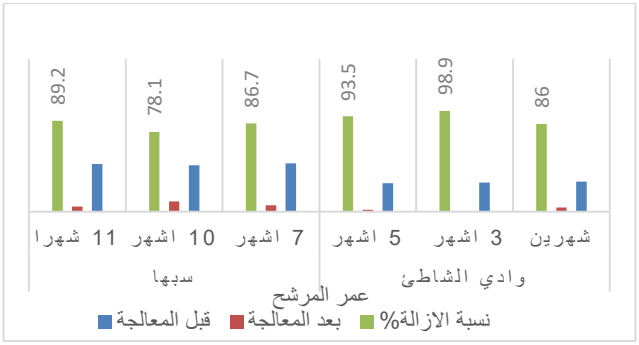
شكل رقم (5) يوضح تركيز عنصر الماغنسيوم (ملج/لتر) في العينات وكذلك نسبة الإزالة %

كانت نتائج تركيز عنصر الصوديوم في عينات المياه المدروسة اعلي تركيز في المياه قبل المعالجة عند عمر المرشح سبعة أشهر واقل تركيز عند عمر المرشح خمسة أشهر، وتراكيز الصوديوم في المياه بعد المعالجة كانت اعلي تركيز عند عمر المرشح عشرة أشهر وأقل قيمة عند عمر المرشح ثلاثة أشهر (14 و 2.5 مليجرام/لتر على التوالي). حيث يعتبر التركيز منخفض جدا ولا يتوافق مع المواصفات القياسية لمياه الشرب الموصي بها من قبل منظمة الصحة العالمية والمواصفة الوطنية الليبية 1992 وهي (20 – 200 مليجرام/لتر).

كما كان أعلي تركيز لعنصر البوتاسيوم في المياه قبل المعالجة عند عمر المرشح سبعة أشهر واقل تركيز عند عمر المرشح خمسة أشهر (47.5 و 27.9 مليجرام/لتر على التوالي)، وكان أعلى تركيز للبوتاسيوم في عينات المياه بعد المعالجة عند عمر المرشح عشرة أشهر واقل تركيز عند عمر المرشح ثلاثة أشهر (9.9 و 0.3 مليجرام/لتر على التوالي)، ويعتبر أقل من الحدود الموصي بها حسب المواصفة القياسية الليبية 1992 (10–40 مليجرام/لتر).



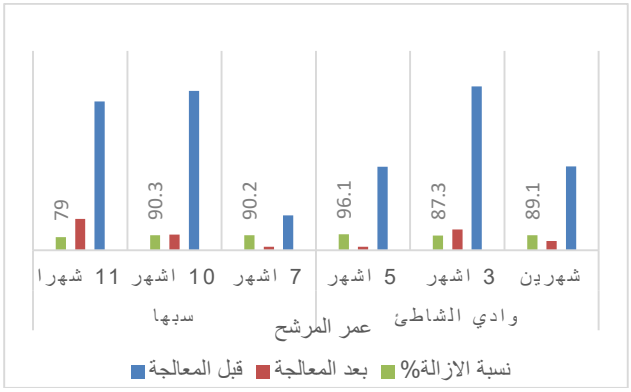
شكل رقم (6) يوضح تركيز عنصر الصوديوم (ملج/لتر) في العينات وكذلك نسبة الإزالة %



شكل رقم (7) يوضح تركيز عنصر البوتاسيوم (ملج/لتر) في العينات وكذلك نسبة الإزالة %

تراكيز الاملاح الذائبة الكلية كانت اعلي تراكيز في المياه قبل المعالجة عند عمر المرشح ثلاثة أشهر واقل قيمة عند عمر المرشح سبعة أشهر (987 و 209 مليجرام/لتر على التوالي)، أما في المياه بعد المعالجة كانت اعلي تراكيز عند المرشح احدا عشر شهر واقل تركيز عند عمر المرشح خمسة أشهر (187.8 و 19.4 مليجرام/لتر على التوالي). حيث يعتبر هذا التركيز منخفض أيضا ولا يلبي احتياجات الجسم من الأملاح، حيث أوصت المواصفة القياسية الليبية 1992 بأن يكون تركيز الأملاح الذائبة الكلية في حدود 500 مليجرام/لتر، وكما أوصت منظمة الصحة العالمية بأن يكون التركيز اقل من 600 مليجرام/لتر. GDWQ 2017 يمكن أن يؤدي انخفاض مستوى المعادن في المياه إلى العديد من الآثار الصحية التي تتجاوز تأثيرها على صحة العظام (Huang et al. 2018). علاوة على ذلك، تُعد كثافة المعادن في العظام (BMD) مؤشرًا رئيسيًا لصحة العظام وقابليتها للكسور. ومن المفارقات أن شرب مياه ذات محتوى معدني منخفض للغاية، مثل مياه التناضح العكسي، يمكن أن يقلل بشكل كبير من إجمالي تناول المعادن، مما قد يثير مخاوف صحية، بما في ذلك خطر الإصابة بهشاشة العظام (V K. et al. 2023). وللتحقق من الآثار طويلة المدى لاستهلاك مياه شرب منخفضة للغاية في المعادن على نمذجة العظام لدى الأطفال، أجرى هوانغ وآخرون دراسة شاملة على عينة من الأطفال امتدت لأربع سنوات. ورغم أن مياه التناضح العكسي لم تكن المصدر الوحيد للمياه في الدراسة، فقد وُجد أن استخدام مياه ذات محتوى معدني منخفض للغاية قلل بشكل كبير من تناول الأطفال اليومي للمعادن. (Huang et al. 2018).

كما أنه من الأفضل إعادة التمعدن بإضافة معادن أساسية مثل الكالسيوم والمغنيسيوم (وأحيانًا البوتاسيوم) إلى المياه بعد عمليات تنقية شديدة (مثل التناضح العكسي RO) التي تزيل نسبة كبيرة من الأملاح النافعة. لهذا السبب توصي منظمة الصحة العالمية بتعويض المعادن المفقودة؛ ففي تقريرها لعام 2017 يُشير الـ WHO إلى أن التحلية بالتناضح العكسي يقلص مستويات الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم في المياه إلى حدٍّ كبير، بل أوصت في 2011 بإعادة إضافة أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم عند انتقال مصدر الماء إلى ماء منخفض المعادن. تساهم إعادة التمعدن في رفع قيمة pH إلى المستويات القاعدية المطلوبة وتعويض العجز الكيميائي، مما يجعل الماء أكثر استقرارًا كيميائيًا وألذ طعمًا وقبولاً من المستهلك (Vingerhoeds et al. 2016) (GDWQ 2017).



شكل رقم (8) يوضح تركيز الأملاح الذائبة الكلية (ملج/لتر) في العينات وكذلك نسبة الإزالة %

النتائج الميكروبيولوجية

بينت التحاليل الميكروبيولوجية أن أعداد البكتيريا في المياه الخام كانت أعلى منها في المياه المعالجة عند أعمار مرشح الفلتر الصغيرة (2–5 أشهر)، مما يدل على نجاح الجهاز في إزالة الملوثات الحيوية في البداية. ومع ذلك، عند الأعمار الأكبر (7–11 شهرًا) لوحظ العكس، حيث تجاوزت أعداد البكتيريا في المياه الخارجة (المعالجة) عن تلك في المياه الداخلة. وهذا يتوافق مع دراسة أجراها ربيدة وأخرون حيث جُمعت حوالي 9 عينات من مياه الشرب المعبأة و18 عينة من مياه الشرب المعالجة بتقنية التناضح العكسي من مناطق مختلفة في طرابلس، وأظهرت اختبارات التحليل الميكروبيولوجي لهذه الدراسة أن إجمالي عدد البكتيريا في المياه المعبأة وعينة واحدة من مياه التناضح العكسي كان أقل من 10 وحدات تشكيل مستعمرة/100 مل. في 16 عينة من مياه التناضح العكسي، تراوح إجمالي عدد البكتيريا بين 10 و300,000 وحدة تشكيل مستعمرة/100 مل، ووُجد في عينة واحدة عدد بكتيري يزيد عن 300,000 وحدة تشكيل مستعمرة/100 مل. تحتوي مياه الشرب المعبأة والمباعة في أسواق ومتاجر طرابلس على محتوى بكتيري ضمن النطاقات المقبولة وفقًا لمعايير منظمة الصحة العالمية، بينما تحتوي جميع عينات مياه التناضح العكسي تقريبًا على عدد بكتيري مرتفع قد يمثل خطرا على الصحة العامة. (Rbeida et al. 2023). يشير ذلك إلى تكاثر بكتيري في جهاز RO نفسه بسبب التأخر في استبدال الفلاتر، مما يحول دون تعقيم كامل للمياه حتى بعد المرشح. تراوحت أشكال البكتيريا (كروية وعصوية) وغالبيتها كانت سالبة صبغة جرام في معظم الحالات، باستثناء عينة عمرها 3 أشهر التي شملت بكتيريا موجبة جرام. تؤكد هذه النتائج أهمية تغيير الفلاتر بشكل دوري قبل أن تصل إلى عمر خمسة أشهر، حفاظًا على الأداء الميكروبيولوجي لأجهزة التناضح العكسي.

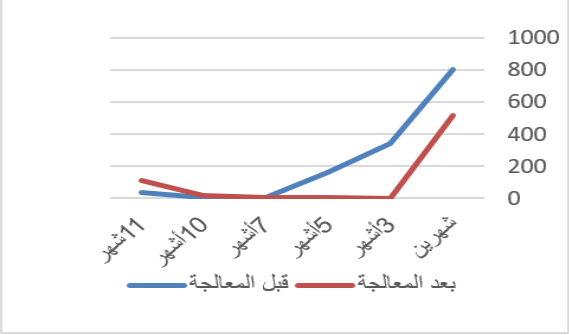
جدول رقم (2) يوضح تراكيز ونسب الازالة وبعض التحاليل الإحصائية للعناصر المقاسة في عينات المياه المدروسة

		Wadi Alshatti منطقة وادي الشاطئ			Sabha مدينة سبها			Min	Max	Mean	Standards	
		Filter Age/month عمر الفلتر بالشهر										
		2	3	5	7	10	11				WHO 2011	Libyan 1992*
pH	Before	6.4	6.7	6.5	7.3	6.2	6.9	6.2	7.3	6.6667	6.5–8	6.5–8
	After	5.4	5.7	5.8	5.9	5.2	5.6	5.2	5.9	**5.6**		
EC (µs/cm)	Before	814	811	336	1592	1445	1546	336	1592	1090.7	400	900
	After	74	31.4	33	202	303	150.6	31.4	303	**132.33**		
Ca (mg/l)	Before	16.8	18.4	12	84	76	80.8	12	84	48	200	75–200
	After	1.6	4	1.6	4	8	5.6	1.6	8	4.1333		
	% of removal	**90.5**	**78.2**	**86.6**	**95.2**	**89.4**	**93**	78.2	95.2	**88.817**		
Mg (mg/l)	After	12.4	12.9	10.5	19.2	21.6	23.5	10.5	23.5	16.683	200–250	30–150
	Before	3.8	4.8	0.4	11.5	3.8	1.4	0.4	11.5	4.2833		
	% of removal	**69.3**	**62.7**	**96.1**	**40.1**	**82.4**	**94**	40.1	96.1	**74.1**		
Na (mg/l)	Before	39.4	38.6	37.1	52.5	46	52.1	37.1	52.5	44.283	200	20–200
	After	5.3	2.5	4	11.2	14	9.1	2.5	14	7.6833		
	% of removal	**86.5**	**93.5**	**89.2**	**78.6**	**69.5**	**82.5**	69.5	93.5	**83.3**		
K (mg/l)	After	29.3	28.4	27.9	47.5	45.4	46.6	27.9	47.5	37.517	200	10–40
	Before	4.1	0.3	1.8	6.3	9.9	5	0.3	9.9	4.5667		
	% of removal	**86**	**98.9**	**93.5**	**86.7**	**78.1**	**89.2**	78.1	98.9	**88.733**		
TDS (mg/l)	Before	504.6	987	502.8	208.8	958.9	895.9	208.8	987	676.33	1000	500–1000
	After	54.8	125.2	19.4	20.4	93	187.8	19.4	187.8	83.433		
	% of removal	**89.1**	**87.3**	**96.1**	**90.2**	**90.3**	**79**	79	96.1	**88.667**		

- المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية (1992)

جدول رقم (3) يوضح اعداد واشكال البكتيريا ونوع صبغة جرام لكل نوع من البكتيريا الموجود في عينات المياه المدروسة

عمر المرشح	العدد الكلي للبكتيريا/1مل		شكل البكتيريا	صبغة جرام
	قبل المعالجة	بعد المعالجة		
شهرين	800	516	عصوية	سالبة
3أشهر	340	1	كروية	موجبة
5أشهر	158	6	عصوية	سالبة
7أشهر	3	6	كروية	سالبة
10أشهر	4	17	عصوية	سالبة
11شهر	37	111	عصوية	سالبة



شكل رقم (9) يوضح أعدد البكتيريا في العينات المدروسة

الخلاصة

1. تشير نتائج البحث بوضوح إلى الأهمية الكبيرة لدراسة جودة المياه بعد معالجتها عبر أجهزة التحلية المنزلية، خاصة في ظل ارتفاع العمر التشغيلي للمرشحات أو الفلاتر المستخدمة، إذ أظهرت النتائج أن المرشحات التي تجاوزت مدة استخدامها الخمسة أشهر تحتوي على أعداد مرتفعة من البكتيريا، مما قد يشكل خطرًا صحيًا على المستهلكين. كما لوحظ من خلال التحليل الكيميائي لعينات المياه أن هناك تراكماً ملحوظاً لأملاح الكالسيوم والماغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم في منطقة سبها قبل عملية المعالجة، الأمر الذي يعكس طبيعة المياه الجوفية في المنطقة ويبرز الحاجة إلى تحسين عمليات المعالجة.
2. وقد تم دراسة التغيرات في أعداد البكتيريا من خلال استخدام جداول إحصائية ورسومات بيانية توضح المنحنى التصاعدي للعد الكلي للبكتيريا في المياه المعالجة مقارنة بالمياه قبل المعالجة، وتمت ملاحظة وجود أنواع مختلفة من البكتيريا سالبة الجرام وخاصة العصويات، وهو ما قد يشير إلى احتمالية تكاثر بعض الأنواع الممرضة إذا لم يتم الالتزام بتغيير الفلاتر في الوقت المناسب.
3. أظهرت النتائج أن جودة مياه أجهزة التحلية المنزلية تتغير بمرور الوقت، حيث يقل محتواها من الأملاح الضرورية وتزداد احتمالية التلوث البكتيري. ويوصي البحث بخلط المياه المحلاة بمياه عادية لتعويض المعادن في المناطق المعتمدة كليًا على التحلية، كما يدعو إلى تطوير تقنيات لإعادة تمعدن مياه التناضح العكسي.
4. من خلال تحليل البيانات والمقارنة بين نتائج الفحوصات المختلفة، يتضح أن هناك ارتباطاً وثيقاً بين مدة استخدام الفلاتر وارتفاع العد البكتيري، وأيضاً بين طبيعة المياه الجوفية قبل المعالجة وفعالية أجهزة التحلية. كما أن غياب التحليل الدوري وعدم توفر الأجهزة المناسبة في بعض المعامل يشكل عائقاً أمام ضمان جودة المياه وسلامتها الصحية.
5. تُعدّ معرفة محتوى المعادن في مياه الشرب أمرًا بالغ الأهمية لكل من المستهلكين ومقدمي الرعاية الصحية. ويمكن للبحوث المستقبلية في هذا المجال أن تساعدنا في التغلب على المخاطر الصحية لاستهلاك المياه قليلة المعادن، بالإضافة إلى تطوير تقنيات جديدة توفر مياه شرب آمنة مع الحفاظ على معادنها.

التوصيات

1. تحسين البنية التحتية لمياه الشرب في الجنوب الليبي. فمن المهم أن تتضمن السياسات المستقبلية تحديث أنظمة المعالجة، وبناء صهاريج وخزانات مركزية لمعالجة وتخزين المياه، وتوفير أدوات الفحص والمتابعة في المختبرات المحلية، بجانب حملات توعية للمواطنين حول صيانة أجهزة التحلية وأهمية تغيير فلاترها في الوقت المناسب.
2. كشفت النتائج انخفاضًا كبيرًا في المعادن الأساسية بعد المعالجة (معظم النسب تجاوزت 90%)، مما يضعف جودة المياه من ناحية التغذية المعدنية. يحذر الخبراء من أن شرب مياه منخفضة الأملاح قد يسبب هشاشة العظام وتسوس الأسنان ونقص معادن الجسم، لذا ينبغي تعويضها من مصادر أخرى.
3. إعادة تمعدن المياه بمصادر مثل خلطها بمياه غنية بالمعادن او كما تسمى "مياه صلبة" أو إضافة أملاح آمنة كالكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم بعد عملية المعالجة وهو مايعرف بعملية Remineralization أو إعادة التمعدن، يعد أمرا ضروريا لتعويض المعادن المفقودة وكما أوصت به منظمة الصحة العالمية في تقريرها 2011.

المراجع:

المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية. 1992. المواصفة الليبية القياسية رقم (82) الخاصة بمياه الشرب عامة. طرابلس. ليبيا.

Brika, B. 2018. Water Resources and Desalination in Libya: A Review. Proceedings, 2(11), 586. https://doi.org/10.3390/proceedings2110586

Dahl C, Søgaard AJ, Tell GS, Flaten TP, Krogh T, Aamodt G, et al. 2013. Is the quality of drinking water a risk factor for self-reported forearm fractures? Cohort of Norway. Osteoporos Int.;24: 541–551. 10.1007/s00198-012-1989-7.

Gani, Khalid & Rather, Sohaib & Chandra, Amit & Arshid, Mubashir. 2023. A case study of comparative techno-economic and life cycle assessment of tap water versus household reverse osmosis-based drinking water systems in a North Indian city. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development. 13.

Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first addendum (GDWQ). 2017. ISBN 978-92-4-154995-0. retrieved on 19- 06-2025 from: https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

Huang Y, Wang J, Tan Y, et al. 2018. Low-mineral direct drinking water in school may retard height growth and increase dental caries in schoolchildren in China.

Geosciences, 15(18), Article1519. doi:10.1007/s12517-022-10812-0

Tayeh, Y. A. 2024. A Comprehensive Review of Reverse Osmosis Desalination: Technology, Water Sources, Membrane Processes, Fouling, and Cleaning. Desalination and Water Treatment, 320(4), 100882. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100882

UNICEF Libya. 2022. Water Scarcity and Climate Change: an analysis on WASH enabling environment in Libya. https://www.unicef.org/mena/media/19321/file/Libya%20water%20scarcity%20analysis%20and%20recommendations_%20UNICEF%20Sep%202022.pdf

V K, Mani R, Venkatesh V, Kunhikannan S, Ganesh V S. 2023. The Role of Low Mineral Water Consumption in Reducing the Mineral Density of Bones and Teeth: A Narrative Review. Cureus. 2023 Nov 20;15(11):e49119. doi: 10.7759/cureus.49119.

Vingerhoeds MH, Nijenhuis-de Vries MA, Ruepert N, van der Laan H, Bredie WLP, Kremer S. 2016. Sensory quality of drinking water produced by reverse osmosis membrane filtration followed by remineralisation. Water Res. 2016 May 1;94:42-51. doi: 10.1016/j.watres.2016.02.043.

World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for drinking water quality, 4th ed. Geneva, Switzerland

https://doi.org/10.2471/b09247

Environ Int. ;115:104–109. doi: 10.1016/j.envint.2018.02.021.

Johnson S. (July 23, 2025). Reverse Osmosis Filter with Remineralization: RO Water Guide retrieved on 03- 08-2025 from: https://www.frizzlife.com/blogs/guide/reverse-osmosis-filter-with-remineralization-ro-water-guide?srsltid=AfmBOorFTlPLZskFhaWLcYsDSmq0hWcwy-v3Sh9n8C8bFdfZ0oXaX9RE

Omar Rbeida, Shahrazad Eteer. 2023. Quality Control Evaluation of the Microbial Contamination of Bottled Drinking Water and House Hold Reverse Osmosis Water in Tripoli, Libya. Alq J Med App Sci, 6(2), 867–872. https://doi.org/10.5281/zenodo.10436416

Qiu Z, Tan Y, Zeng H, Wang L, Wang D, Luo J, Zhang L, Huang Y, Chen JA, Shu W. 2015. Multi-generational drinking of bottled low mineral water impairs bone quality in female rats. doi: 10.1371/journal.pone.0121995. PMID: 25803851; PMCID: PMC4372292.

Rylander R, Tallheden T, Vormann J. Acid-base conditions regulate calcium and magnesium homeostasis. 2009. Magnes Res. 2009;22: 262–265. 10.1684/mrh.0182

Salem, M. A., Sharif, O. A., Alshofeir, A. A., & Assad, M. E. H. (2022). An evaluation of drinking water quality in five wells in Sebha city, Libya, using a water quality index and multivariate analysis. Arabian Journal of