

The Status and Challenges of Drinking Water Quality in Sabratha, Libya: A Comprehensive Review of Hydrogeological and Hydrochemical studies

Nada N. Abd El Latief *

Libyan Center for Studies and Research in Environmental Science and Technology
Sabratha, Libya, Libya.

*Email: nada.94nada@gmail.com

واقع وتحديات جودة مياه الشرب في مدينة صبراتة، ليبيا: مراجعة شاملة للدراسات
الهيدروجيولوجية والكيميائية المائية

ندى نجم الدين الغرابلي *

المركز الليبي لدراسات وبحوث علوم وتكنولوجيا البيئة، صبراتة، ليبيا.

Received: 05-06-2026	Accepted: 20-08-2026	Published: 04-09-2026
		
Copyright: © 2026 by the authors. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).		

Abstract

Sabratha city, located on the western coast of Libya, faces a severe groundwater quality crisis due to over-extraction, saltwater intrusion, and untreated sewage leakage. This review paper comprehensively analyzes all scientific studies on water quality in Sabratha, comparing raw groundwater with commercially purified drinking water. Eighteen published studies (1996-2025) were compiled, analyzed, and re-evaluated against World Health Organization (WHO) standards. Raw groundwater exhibited extremely high concentrations of Total Dissolved Solids (TDS) reaching 16,510 mg/L, and nitrates (NO_3^-) reaching 407 mg/L, far exceeding permissible limits. In contrast, commercial purification systems showed 93% efficiency in removing chemical contaminants but demonstrated bacteriological contamination (Coliform bacteria) in 20% of samples (one out of five stations). Commercial purification systems are the only currently available technical solution to the salinity crisis, but they pose a genuine epidemic risk due to the absence of health monitoring and distribution quality.

Keywords: Sabratha, Groundwater, Water Purification Systems, Saltwater Intrusion, Nitrate.

المخلص

تعاين مدينة صبراتة الواقعة على الساحل الغربي لليبيا من أزمة حادة في نوعية المياه الجوفية نتيجة السحب الجائر وتقدم المياه المالحة وتسرب مياه الصرف الصحي الغير معالجة. تهدف هذه الورقة تقديم مراجعيه شاملة لجميع الدراسات العلمية التي تناولت جودة المياه في صبراتة، مع مقارنة المياه الجوفية الخام بمياه الشرب المنتجة من أنظمة التنقية التجارية. تم تجميع وتحليل 18 دراسة علمية منشورة بين عامي 1996

و2025، وأعيد تحليل بياناتها ومقارنتها بمعايير منظمة الصحة العالمية (WHO). أظهرت المياه الجوفية الخام تراكيز عالية جداً من المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) وصلت إلى 16,510 ملغم/لتر، والنترات (NO_3^-) وصلت إلى 407 ملغم/لتر، متجاوزة بكثير الحدود المسموحة. بالمقابل، أظهرت أنظمة التنقية التجارية كفاءة 93% في إزالة الملوحة والملوثات الكيميائية، ولكنها بالمقابل أظهرت تلوثاً بكتيرياً (بكتيريا قولونية) في 20% من العينات (محطة واحدة من أصل خمس). تعتبر هي الحل التقني الوحيد المتاح حالياً لأزمة الملوحة، لكنها تشكل خطراً وبائياً حقيقياً بسبب غياب الرقابة الصحية وجودة التوزيع.

الكلمات المفتاحية: صبراته، المياه الجوفية، أنظمة تنقية المياه، تقدم المياه المالحة، النترات.

1. المقدمة:

1.1 الخلفية (Background)

تقع مدينة صبراتة على الساحل الشمالي الغربي لليبيا (خط الطول $12^\circ 29'$ شرقاً، خط العرض $32^\circ 48'$ شمالاً)، ضمن الحوض الرسوبي لسهل جفارة الذي يمتد لمسافة تزيد عن ثلاثمائة كيلومتر من الحدود التونسية غرباً إلى مدينة الخمس شرقاً (Alfarrah & Walraevens, 2017; Alfarrak et al., 2016). تشتهر صبراتة بموقعها الأثري الروماني المدرج على قائمة اليونسكو للتراث العالمي، مما يضاعف الضغط على الموارد المائية بسبب الأنشطة السياحية والتنمية (الغرابلي وآخرون، 2021). تعتمد مدينة صبراتة بشكل شبه كلي على المياه الجوفية كمصدر لمياه الشرب والري والاستخدامات المنزلية والصناعية (الغرابلي وآخرون، 2021؛ أوشاح وآخرون، 2022) حيث يبلغ عرض الحوض حوالي 30-40 كيلو متراً، ويحده من الجنوب جبل نفوسة ومن الشمال البحر المتوسط يتكون النظام المائي في المنطقة بشكل رئيسي من خزان جوفي ساحلي ضحل يتكون من رواسب رملية وحجر رملي يعود تاريخها إلى عصر البليوسين والرباعي يتراوح سمك الخزن بين 50 و 150 متراً ويتميز بمسامية عالية (20-30%) ونفاذية متوسطة إلى عالية (Elmabrok et al., 2019). تعاني ليبيا بشكل عام من ندرة حادة في الموارد المائية، حيث تعتمد بشكل تقريباً على المياه الجوفية الغير متجددة والمياه الجوفية الساحلية المهددة بالتملح (Elmabrok et al., 2019).

تتميز المنطقة بمناخ شبه جاف، حيث يبلغ متوسط هطول الأمطار السنوي 250-300 ملم/سنة، بينما يتجاوز معدل التبخر 2000 ملم سنوياً وفقاً لتقرير منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة الصادر عام 2002. يُعد هذا العجز الهيدرولوجي سبباً كبيراً في تدني معدل التغذية الطبيعية للخزان الجوفي، والتي لا تتجاوز 5% من معدل الهطول السنوي (Alfarrah et al., 2017).

1.2 مشكلة الدراسة (Problem statement)

تشير الدراسات السابقة إلى أن المدينة تعاني من أزمة حادة في مواردها المائية الجوفية حيث تتمثل في ثلاثة تهديدات رئيسية مترابطة: يتمثل التهديد الأول في تقدم المياه المالحة الناتج عن الإفراط في الضخ الجوفي، مما أدى إلى انخفاض منسوب المياه الجوفية إلى ثلاثين متراً تحت مستوى سطح البحر (Alfarrah et al., 2017). أما التهديد الثاني فيتمثل في تلوث النترات الناتج عن تسرب الأسمدة الزراعية ومياه الصرف الصحي من البيارات إلى الخزان الجوفي (خترش وشكشم، 2023؛ Ammar 2025). وأخيراً التهديد الثالث في ارتفاع تركيزات الكبريتات نتيجة تداخل مياه البحر وإذابة الرواسب الجبسية من تكوين الميوسين العلوي (Alfarrah, 2016 & Walraevens).

تهدف هذه الورقة المنهجية إلى تجميع جميع الدراسات العلمية المتاحة حول الموارد المائية في صبراتة في مرجع واحد شامل، وتحليل التغيرات الزمنية والمكانية في جودة المياه، وكذلك توثيق مصادر التلوث الرئيسية والآليات الهيدروجيولوجية المؤثرة، إضافة إلى تقديم توصيات مبنية على الأدلة للإدارة المستدامة للموارد المائية.

2. المنهجية (Methodology)

اتبعت هذه المراجعة المنهجية إرشادات PRISMA لتحديد الدراسات. تم إجراء بحث شامل في قواعد البيانات العلمية (Google Scholar، Research Gate، Scopus) والمجلات العلمية المحكمة، وقائع المؤتمرات والتقارير الدولية. شملت معايير الإدراج الدراسات المنشورة باللغتين العربية والإنجليزية بين عامي 1996 و2025، والتي تركز على مدينة صبراتة كموقع جغرافي للدراسة، وتتناول موضوع جودة المياه الجوفية أو الهيدروجيولوجية أو التلوث. عدد الدراسات التي تم تحليلها: 18 دراسة (1S إلى 18S).

2.1 قائمة الدراسات التي تم تحليلها

الرمز	المراجع	السنة	عدد العينات	المصدر
S1	ختريش وشكشم	2023	10 آبار	المؤتمر الهندسي الرابع
S2	الغرابلي وآخرون	2021	48 بئراً	المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة
S3	Aldeeb	2022	10 عينات	المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة
S4	Imneisi & Albadri	2022	10 عينات	المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة
S5	الناجح وآخرون	2022	97 مؤسسة	مجلة الريادة للبحوث
S6	&Aldeeb Aldabusi	2023	10 عينات	Journal of Sebha University
S7	Flafil et al.	2020	5 محطات	المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة
S8	Alfarrah et al.	2017	50 عينة	Environmental Earth Sciences
S9	Alfarrah & Walraevens	2016	134 بئراً	Environmental Earth Sciences
S10	Muhammad al- Mabruk Ammar	2025	-	Comprehensive Journal of Science
S11	حسن وحسن	2024	-	مجلة آفاق المعرفة
S12	ختريش وآخرون	2025	10 بئراً	المجلة الدولية للعلوم والتقنية
S13	Aboshaala	2024	-	Journal of Zawia University
S14	Huwaysh & El Ahmar	2023	26 بئراً	مؤتمر 2023IRC
S15	Elmabrok et al.	2019	35 عينة	Journal of African Earth Sciences
S16	زاروق والغالي	2015	28 عينة	جامعة المرقب

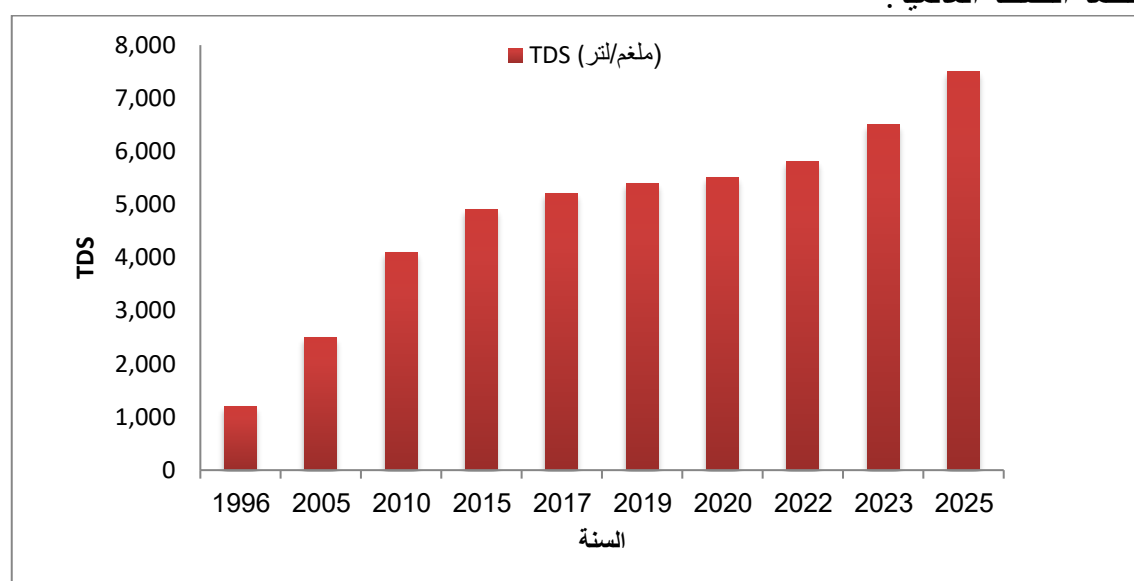
S17	أوشاح وآخرون	2022	6 عينات	African Journal of Advanced Science
S18	العماري	2009	-	مجلة الفيوم للبحوث

3. النتائج (Results)

3.1 التغيرات الزمنية في جودة المياه

3.1.1 الملوحة الكلية (TDS)

كشفت الدراسات المجمعّة عن تدهور في جميع مؤشرات جودة المياه، حيث أظهرت دراسة (Alfarrah et al., 2017)، حيث ارتفاع متوسط الملوحة الكلية من 1200 ملغم/لتر عام 1996 إلى 2500 ملغم/لتر عام 2005، ثم إلى 4100 ملغم/لتر عام 2010، وإلى 5200 ملغم/لتر عام 2017. وأكدت دراسة (زاروق والغالي، 2015) استمرار هذا الاتجاه التصاعدي، حيث سجلت الملوحة إلى 4900 ملغم/لتر. كما سجلت دراسة (Elmabrok et al 2019)، سجلت الملوحة 5400 ملغم/لتر، بينما سجلت دراسة (Flafil 2020) 5500 ملغم/لتر. وفي دراسات (Aldeeb, 2022) و (Imneisi & Albadri, 2022)، سجلت الملوحة 5800 ملغم/لتر. وأظهرت دراسة (خترش وشكشم، 2023) ارتفاع الملوحة إلى 6500 ملغم/لتر، وصولاً إلى دراسة (Ammar, 2025) التي سجلت متوسط 7500 ملغم/لتر. وبذلك، بلغت الزيادة الإجمالية في الملوحة الكلية نحو 525% خلال ثلاثين عاماً، مرتفعة من 1,200 إلى 7,500 ملغم/لتر. يشير هذا الارتفاع إلى تدهور واضح في جودة المياه الجوفية، إذ أصبحت قيم الملوحة الكلية تتجاوز بشكل كبير الحد الموصى به لمياه الشرب والبالغ 1000 ملغم/لتر وفقاً لمعايير منظمة الصحة العالمية.

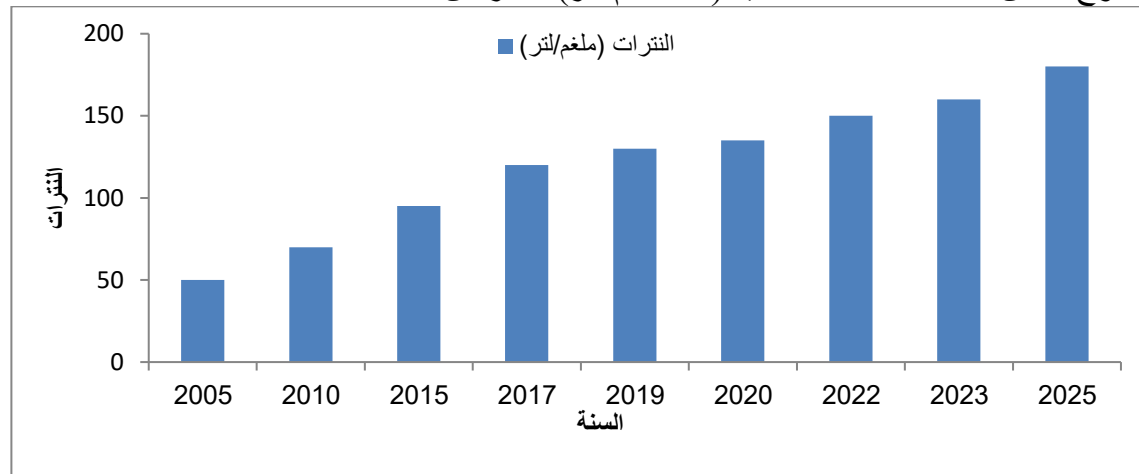


الشكل (1): تطور متوسط الملوحة الكلية (TDS) في صبراتة (1996-2025).

3.1.2 تركيز النترات

أظهرت الدراسات ارتفاعاً حاداً في تركيز النترات. ففي دراسة (Alfarrah et al., 2017)، ارتفع متوسط النترات من 50 ملغم/لتر عام 2005 إلى 70 ملغم/لتر عام 2010، ثم إلى 120 ملغم/لتر عام 2017. وسجلت دراسة (زاروق والغالي، 2015) قيمة 95 ملغم/لتر، بينما سجلت دراسة (Elmabrok et al 2019) قيمة 130 ملغم/لتر. وفي دراسة (الناجح وآخرون، 2022)، سجلت

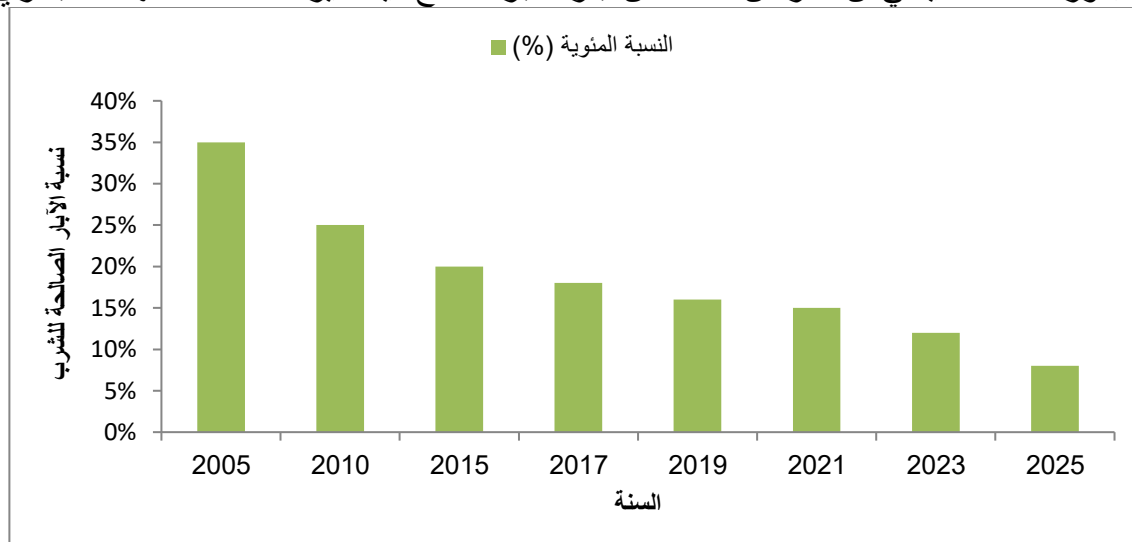
النترات 135 ملغم/لتر، بينما سجلت دراسات (Aldeeb, 2022) و (Imneisi & Albadri, 2022) قيمة 150 ملغم/لتر. وأظهرت دراسة (ختريش وشكشم, 2023) ارتفاع النترات إلى 160 ملغم/لتر، وصولاً إلى دراسة (Ammar, 2025) التي سجلت 180 ملغم/لتر. ارتفع تركيز النترات بنسبة 260% خلال 20 سنة، من 50 إلى 180 ملغم/لتر، حيث تجاوزت جميع العينات المسجلة عام 2025 الحد المسموح به من منظمة الصحة العالمية (50 ملغم/لتر) بأكثر من ثلاثة أضعاف.



الشكل (2): تطور متوسط تركيز النترات في صبراتة (2005-2025).

3.1.3 نسبة الآبار الصالحة للشرب

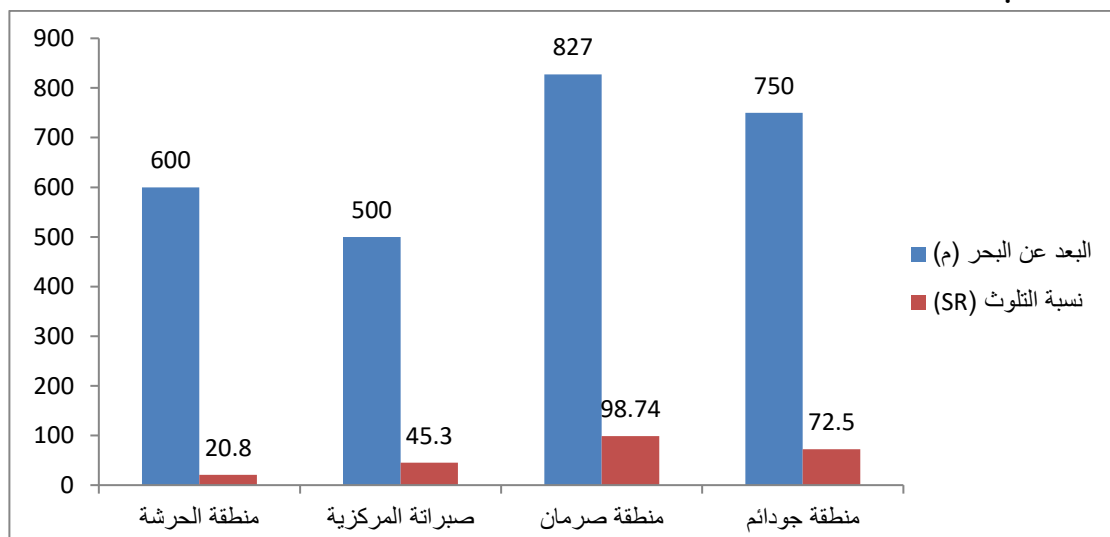
تناقصت نسبة الآبار الصالحة للشرب بشكل حاد. فقد أشارت دراسة (Alfarrah et al, 2017) إلى أن 35% فقط من الآبار كانت صالحة للشرب عام 2005، و تناقصت إلى 25% عام 2010، ثم إلى 18% عام 2017. وفي دراسة (الغرابلي وآخرون, 2021)، بلغت النسبة 15%، بينما سجلت دراسة (Ammar, 2025) نسبة 12%. ووصولاً إلى دراسة (Aldeeb & Aldabusi, 2025) التي أكدت أن النسبة لم تتجاوز 8%، مما يعني أن أكثر من 92% من آبار صبراتة تنتج مياه غير صالحة للاستهلاك البشري.



الشكل (3): تناقص نسبة الآبار الصالحة للشرب في صبراتة (2005-2025).

3.2 تقدم المياه المالحة

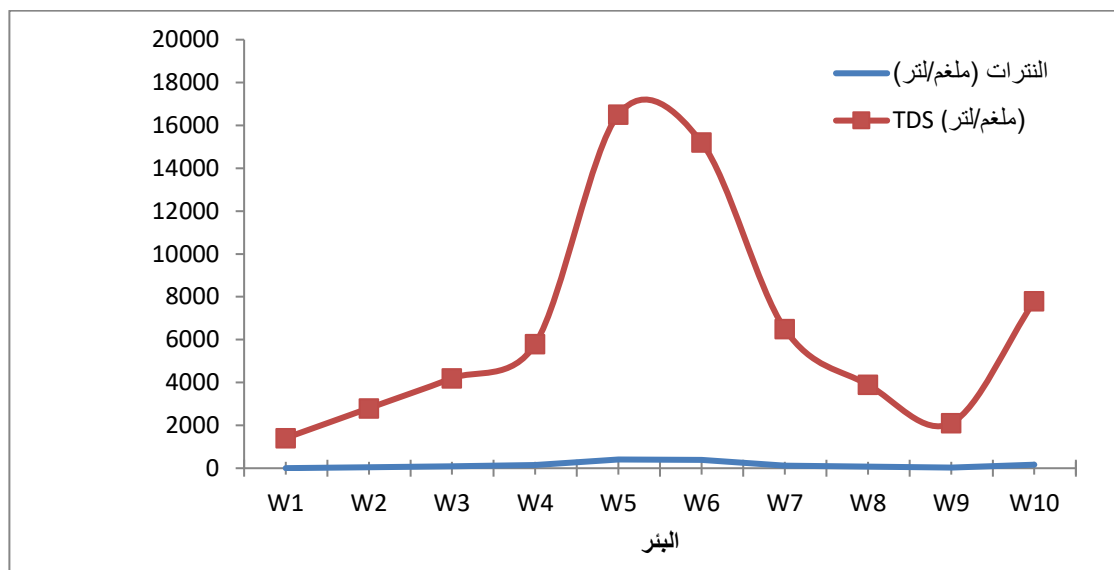
أكدت دراسة (Alfarrah et al, 2017) أن منطقة صبراتة تعاني من تلوث الخزان الجوفي في شكل تقدم المياه المالحة. أوضحت الدراسة أن الاستخراج المكثف للمياه الجوفية يقلل من تدفق المياه العذبة إلى البحر، ويخلق مخاريط سحب تؤدي إلى خفض منسوب المياه الجوفية إلى ثلاثين متراً تحت مستوى سطح البحر. كما أشارت دراسة (ختريش وآخرون, 2025) إلى تفاوت مكاني في نسبة التلوث بمياه البحر، حيث سجلت منطقة صرمان أعلى نسبة تلوث بلغت 98.74%، تلتها منطقة (ختريش وآخرون, 2025) بنسبة 72.5%، ثم المنطقة المركزية لصبراتة بنسبة 45.3%، وأخيراً منطقة الحرشة بنسبة 20.8%، هذا التفاوت المكاني يعكس تبايناً في شدة السحب الجوفي وقرب المناطق من الساحل. وفي هذا السياق أشارت دراسة (Aboshaala, 2024) إلى أن الخصائص الهيدروليكية للخزان الجوفي الرباعي في سهل جفارة تلعب دوراً مهماً في سرعة حركة الملوثات، حيث تراوحت قيم معامل النفاذية بين 6.36-7.150 م²/يوم، وقيم التوصيل الهيدروليكي بين 0.04-47.66 م/يوم مع زيادة في جزء الشمالي والشرقي، بينما تتناقص تدريجاً في الأجزاء الغربية والجنوبية من المنطقة مما يؤثر على سرعة حركة الملوثات وتقدم واجهة المياه المالحة.



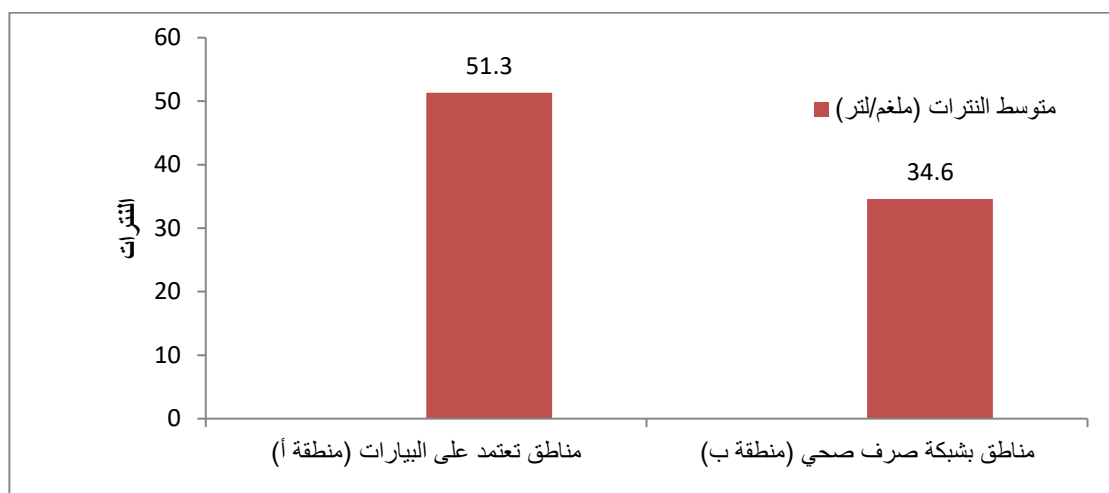
الشكل (4): التفاوت المكاني لنسبة التلوث الجوفي (ختريش وآخرون, 2025).

3.3 تلوث النترات ومصادره

قامت دراسة (ختريش وشكشم, 2023) تحليلاً مفصلاً لعينات المياه من عشرة آبار في المنطقة المجاورة لمحيط محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة صبراتة. أظهرت النتائج أن المياه غير صالحة للشرب في جميع الآبار، مع تسجيل تركيزات متفاوتة من النترات تراوحت بين 3.78 ملغم/لتر في البئر الأول و407 ملغم/لتر في البئر الخامس، كما تراوحت الملوحة الكلية بين 1410 ملغم/لتر و16510 ملغم/لتر، مما يؤكد التلوث الحاد الناتج عن تسرب مياه الصرف الصحي إلى الخزان الجوفي. وفي دراسة مقارنة أجراها (Ammar, 2025) بين منطقتين في صبراتة، تبين أن المناطق التي تعتمد على خزانات الصرف الصحي الأرضية (البيارات) تعاني من تلوث نترات أعلى بنسبة 48% مقارنة بالمناطق المزودة بشبكات صرف صحي حديثة. إذ سجلت المناطق المعتمدة على البيارات متوسط نترات بلغ 51.3 ملغم/لتر، بينما سجلت المناطق المزودة بشبكة صرف صحي بلدية متوسط 34.6 ملغم/لتر، مما يؤكد الدور الحاسم للبنية التحتية في حماية جودة المياه الجوفية.



الشكل (5): نتائج دراسة ختريش وشكشم.



الشكل (6): تأثير البنية التحتية على تلوث النترات (Ammar, 2025)

3.4 ارتفاع تركيزات الكبريتات

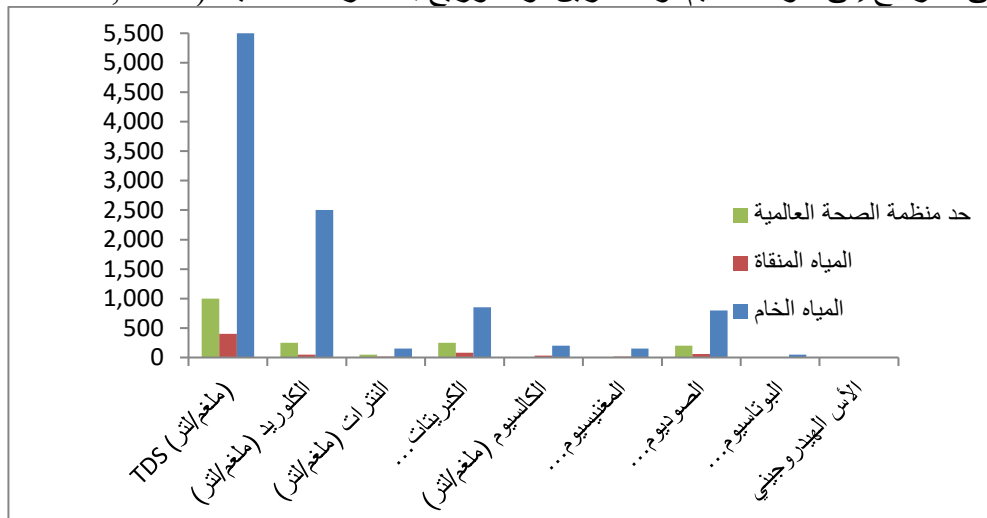
أوضحت دراسة (Alfarrah & Walraevens, 2016) حول المصادر المتعددة لارتفاع الكبريتات في سهل جفارة أنه تم تحديد ثلاثة مصادر رئيسية للكبريتات في منطقة صبراتة: يتمثل المصدر الأول في تقدم المياه المالحة بالقرب من الساحل، حيث يؤدي انخفاض منسوب المياه إلى تركيزات عالية من الكلوريد والكبريتات. أما المصدر الثاني فيتمثل في إذابة الجبس من تكوين الميوسين العلوي في المناطق الجنوبية، وهو مصدر جيولوجي عميق. ويتمثل المصدر الثالث في ترسبات السبخات بالقرب من المنخفضات المالحة، وهو تأثير موضعي محدود (Walraevens & Alfarrah, 2016). ويمتد تأثير ارتفاع الكبريتات ليشمل جوانب بيئية واقتصادية أوسع، حيث أن التركيزات العالية من الكبريتات والأملاح الذائبة في المياه الجوفية بمنطقة صبراتة وصرمان بانخفاض كفاءة الماشية ويعكس هذا التلوث الكيميائي للمياه والقطاع الحيواني ابعادا متشابهة للبيئة، حيث أن الكبريتات بتركيزاتها المرتفعة تؤثر مباشرة

علي جودة المياه المستخدمة في الشرب و الري , ومن ثم علي صحة الحيوان والانتاج الغذائي , مما يستدعي مقارنة متكاملة في معالجة تدهور الموارد المائية (العماري, 2009).

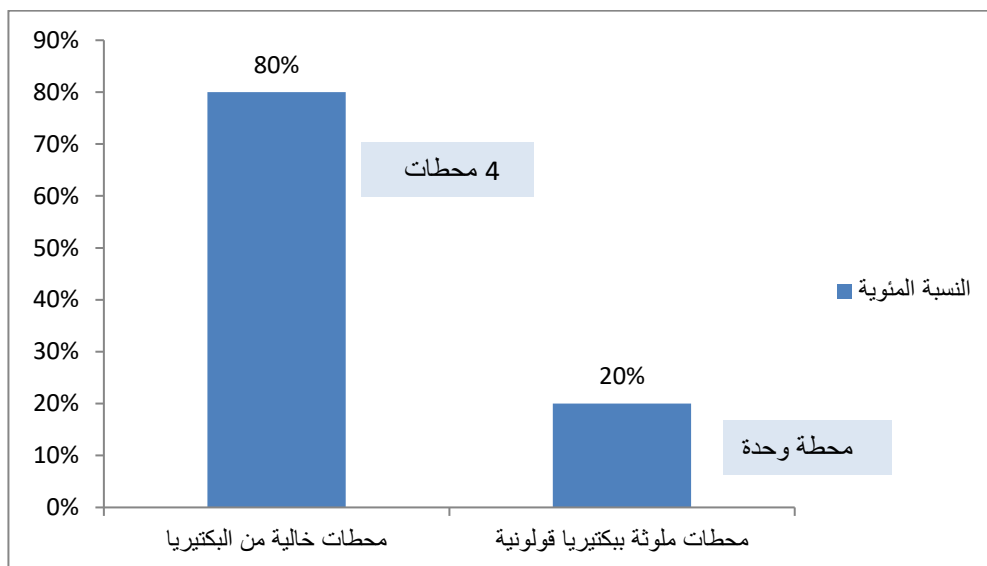
3.5 أنظمة التنقية التجارية

قدمت دراسة (Flafil et al, 2020). تقييم لجودة مياه الشرب المنتجة من أنظمة التنقية التجارية في صبراتة، حيث شملت الدراسة علي خمس محطات. أظهرت النتائج فعالية كيميائية عالية لهذه الأنظمة، حيث تزيل 93% من الملوحة الكلية، و98% من الكلوريد، و90% من النترات، و91% من الكبريتات. فقد انخفض متوسط الملوحة الكلية من 5500 ملغم/لتر في المياه الخام إلى 400 ملغم/لتر في المياه المنقاة، وانخفض الكلوريد من 2500 إلى 50 ملغم/لتر، والنترات من 150 إلى 15 ملغم/لتر، والكبريتات من 850 إلى 80 ملغم/لتر. وأصبحت جميع المتغيرات الكيميائية والفيزيائية في المياه المنقاة مطابقة لمعايير منظمة الصحة العالمية، مع بقاء الأس الهيدروجيني في المدى الآمن بين 6.5 و8.5.

غير أن الدراسة نفسها كشفت عن خطر بكتيري حقيقي، حيث تم اكتشاف بكتيريا قولونية في إحدى محطات التحلية بنسبة 20% من العينات، مما يشير إلى وجود تلوث بكتيري بعد مرحلة التنقية، ويعود سبب هذا التلوث على الأرجح إلى سوء التعقيم أو التخزين أو التوزيع بعد مرحلة التنقية (Flafil et al, 2020).



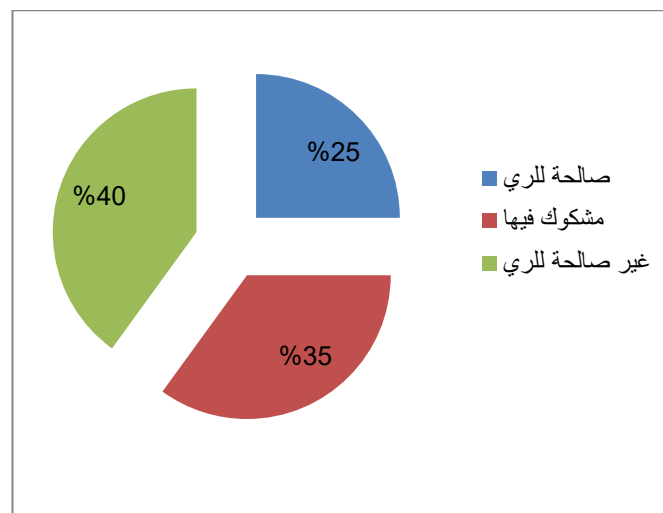
الشكل (7): مقارنة المياه الخام مقابل المياه المنقاة (Flafil et al, 2020).



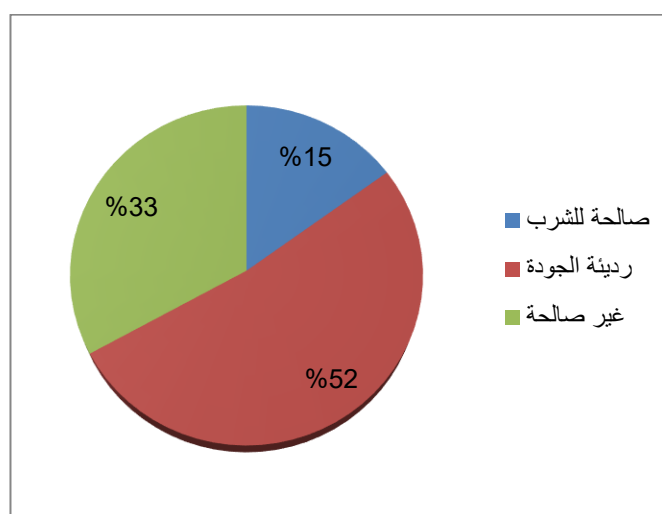
الشكل (8): التلوث البكتيري في محطات التنقية التجارية (Flafil .et al ,2020).

3.6 صلاحية المياه للاستخدامات المختلفة

فيما يتعلق بصلاحية المياه للشرب، أظهرت دراسة (الغرابي وآخرون, 2021) أن 15% فقط من الآبار كانت صالحة للشرب، بينما كانت 52% رديئة الجودة و33% غير صالحة تماماً. أما بالنسبة لصلاحية المياه للري، ففي دراستي (Aldeeb 2022) و (Imneisi & Albadri , 2022) ، تبين أن 25% من المياه صالحة للري، و35% مشكوك فيها، و40% غير صالحة للري. وأظهرت هذه الدراسات تفاوتاً مكانياً واضحاً، حيث كانت المناطق الشمالية القريبة من البحر غير صالحة للري بتصنيف C3-S3 وفقاً لمخطط ويلكوكس، بينما كانت المناطق الجنوبية صالحة جزئياً بتصنيف C3-S2.



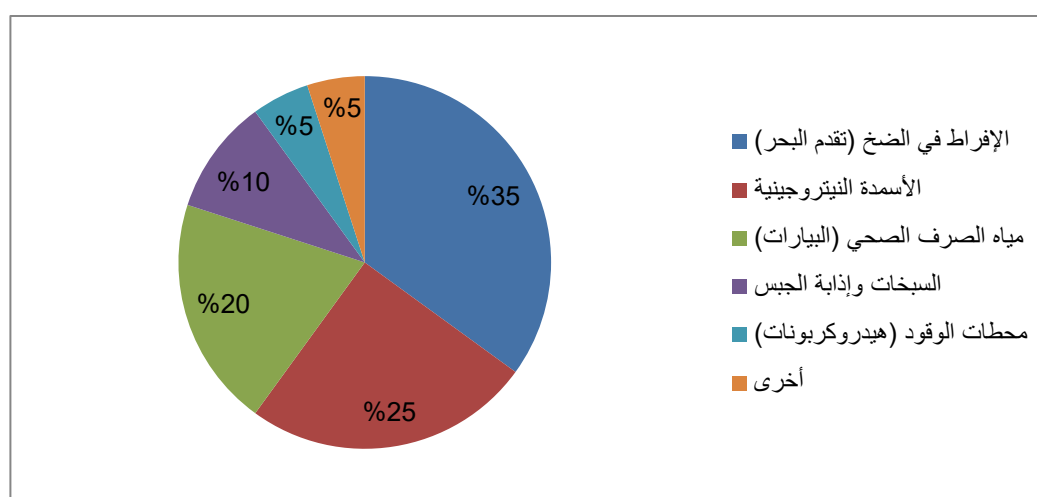
الشكل (9): توزيع صلاحية المياه للري (Aldeeb, 2022) و (Imneisi & Albadri , 2022).



الشكل (10): توزيع صلاحية المياه الجوفية للشرب (الغرابلي وآخرون, 2021).

3.7 مصادر التلوث

تتعدد مصادر تلوث المياه الجوفية في صبراتة , حيث يعد الإفراط في الضخ الجوفي المسؤول الأول عن تقدم المياه المالحة بنسبة 35% (Alfarrah & Walraevens, 2016; al, 2017), تليه الأسمدة النيتروجينية المستخدمة في الزراعة بنسبة 25% (Ammar, 2025) كما تساهم السبخات وإذابة الجبس بنسبة 10% (Alfarrah & Walraevens, 2016) وتأتي محطات الوقود كأحد مصادر التلوث بالهيدروكربونات بنسبة 5% (حسن وحسن, 2024), إلى جانب مصادر أخرى متنوعة تمثل 5%. ولم يقتصر تأثير هذا التلوث على جودة المياه فحسب, بل امتد ليشمل القطاع الحيواني؛ حيث إن تلوث المياه الجوفية في صبراتة و صرمان أثر سلباً على كفاءة الماشية , حيث ارتبطت بانخفاض الانتاج الحيواني وزيادة معدلات الإصابة بالأمراض, مما يعكس أبعاداً اقتصادية وبيئية أوسع لازمة المياه في المنطقة (العماري, 2009).



الشكل (11): التوزيع النسبي لمصادر تلوث المياه الجوفية في صبراتة

3.8 مقارنة إقليمية

بالمقارنة مع المدن المجاورة، تُظهر صبراته مستويات ملوحة أعلى 6,500 ملغم/لتر مقارنة بالعجيلات 3,800 ملغم/لتر وترهونة 2,200 ملغم/لتر، بينما تقترب من مستويات زوارة 6,800 ملغم/لتر (زاروق والغالي، 2015). كما تسجل صبراته نسبة آبار صالحة للشرب منخفضة 12% مقارنة بترهونة 35% والعجيلات 20%، مما يعكس شدة الأزمة في صبراته مقارنة ببعض المدن الداخلية، لكنها مشابهة للوضع في زوارة الساحلية. ويعزى ذلك إلى أن المدن الساحلية صبراته وزوارة تتأثر بشكل مباشر بتقدم المياه المالحة، بينما المدن الداخلية ترهونة والعجيلات تعاني بدرجة أكبر من تلوث النترات الزراعي ولكن بملوحة أقل (زاروق والغالي، 2015). وفي السياق نفسه توصل (Huwaysh & El Ahmar 2023) في دراسة مقارنة لمنطقة تاجوراء إلى أن الخزان الجوفي في تلك المنطقة يعاني أيضاً من تقدم المياه المالحة بنسبة تراوحت بين 40 و 85% حسب بعد الآبار عن الساحل، مما يؤكد أن مشكلة تقدم المياه المالحة ليست مقتصرة على صبراته وحدها، بل تمتد لتشمل معظم المدن الساحلية في الشمال الغربي لليبيا مما يستدعي تنسيقاً إقليمياً في إدارة أزمة الموارد المائية.

4. المناقشة (Discussion)

تُظهر النتائج المجمعة من الدراسات الثماني عشرة إلى اتجاه واضح نحو تدهور جودة المياه الجوفية بصبراته على مدى ثلاثة عقود، حيث تجاوزت معدلات التدهور جميع المؤشرات البيئية والاقتصادية والصحية المتوقعة. ويعود ذلك إلى تضافر عوامل بشرية وطبيعية، أبرزها زيادة السحب من الخزان الجوفي، والقرب من الساحل، وتسرب مياه الصرف الصحي، والتوسع في الأنشطة الزراعية.

يعد الارتفاع الحاد في الملوحة الكلية من نحو 1200 إلى 7500 ملغم/لتر هذا الارتفاع يفوق بكثير المعدلات الطبيعية لتقدم المياه المالحة في الخزانات الجوفية الساحلية، مما يؤكد أن العامل البشري هو المحرك الرئيسي لهذه الظاهرة. فالإفراط في الضخ الجوفي (Ammar, Alfarrah et al 2025) أدى إلى انخفاض منسوب المياه الجوفية إلى 30 متراً تحت مستوى سطح البحر، مما خلق ظروفاً مثالية لتقدم المياه المالحة إلى عمق الخزان الجوفي (Alfarrah et al, 2017). وهذا ما يفسر التفاوت المكاني في نسب التلوث بمياه البحر، حيث كانت المناطق الأقرب إلى الساحل والأقل عمقاً هي الأكثر تضرراً. إن الخصائص الهيدروليكية للخزان الجوفي في سهل جفارة تساعد على انتقال المياه والملوثات الأمر الذي قد يساهم في اتساع نطاق الملوحة (Aboshaala, 2024).

بالتوازي مع الملوحة، يمثل ارتفاع النترات من نحو 50 إلى 180 ملغم/لتر تأثير الأنشطة البشرية المتنامية في المنطقة. فقد أظهرت النتائج أن المناطق التي تعتمد على البيارات تعاني من تلوث نترات أعلى بنسبة 48% مقارنة بالمناطق المزودة بشبكات صرف صحي حديثة، مما يؤكد دور البنية التحتية في حماية المياه الجوفية كما ارتبط ارتفاع النترات في المناطق الجنوبية بالنشاط الزراعي والاستخدام المكثف للأسمدة النيتروجينية (Ammar, Alfarrah et al 2025). يضاف إلى ذلك أن الآبار القريبة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي سجلت تركيزات خطيرة من النترات تجاوزت 400 ملغم/لتر في بعض الحالات، مما يؤكد تسرب مياه الصرف الصحي إلى الخزان الجوفي (ختريش وشكشم، 2023).

كشفت النتائج عن نمط واضح من التفاوت المكاني في جودة المياه الجوفية بصبراته حيث تختلف شدة التلوث باختلاف المسافة عن البحر ونوع النشاط السائد. ففي المناطق الشمالية القريبة من الساحل (على بعد 0-2 كم)، بلغت قيم الملوحة الكلية (7,000-8,000 ملغم/لتر) والنترات (50-100 ملغم/لتر)، وتتميز

بتقدم مالح حاد نتيجة لقربها من البحر وتأثرها المباشر بتداخل مياه البحر (ختريش وشكشم, 2023؛ Alfarrah et al, 2017؛ دراسة (ختريش وآخرون, 2025)). وفي المناطق الوسطى (على بعد 2-5 كم)، تراوحت الملوحة بين 5,000 و7,000 ملغم/لتر والنترات بين 100 و200 ملغم/لتر، وتتميز بمزيج من تأثير التقدم المالح من الشمال وتلوث النترات من الجنوب (ختريش وشكشم, 2023؛ 2022، Aldeeb Imneisi & (Albadri, 2022؛ أما في المناطق الجنوبية (على بعد 5-10 كم)، فقد انخفضت الملوحة إلى 3,000-5,000 ملغم/لتر، بينما ارتفعت النترات إلى مستويات عالية (200-400 ملغم/لتر)، وذلك بسبب الأنشطة الزراعية المكثفة واستخدام الأسمدة (ختريش وشكشم, 2023؛ 2025، Ammar). تشير التقديرات إلى أن العمر المتبقي للخران الجوفي في المناطق الشمالية لا يتجاوز 5-8 سنوات، مع توقع وصول TDS إلى 9200 ملغم / لتر بحلول عام 2030 (Alfarrah & Walraevens, 2016). إلى جانب التدهور الكمي والنوعي للمياه الجوفية فإن لتلوث المياه أثراً اقتصادياً وبيئياً فقد ارتبطت التركيزات العالية من الأملاح الذائبة (الكبريتات و الكلوريدات) والملوثات الكيميائية (كالنترات) بانخفاض ملحوظ في إنتاج الحليب واللحوم وزيادة الأمراض المعوية في الحيوانات مما يستدعي وضع استراتيجيات متكاملة لأدراه الموارد المائية تراعي الجوانب البيئية والاقتصادية والاجتماعية معاً (العماري, 2009). وكذلك تسرب محطات الوقود في صبراتة تساهم في تلوث المياه الجوفية بالهيدروكربونات مما يضيف بعداً آخر للأثار البيئية والصحية لهذه الازمة (حسن وحسن, 2024). أما فيما يتعلق بحلول معالجة المياه، تعتبر أنظمة التنقية التجارية المستخدمة في صبراتة قادرة على خفض الملوحة الكلية بنسبة 93%، والكلوريد بنسبة 98%، والنترات بنسبة 90%، والكبريتات بنسبة 91%، مما يجعل المياه المنتجة مطابقة تماماً للمعايير الكيميائية لمنظمة الصحة العالمية. غير أن هذه الفعالية الكيميائية تواجه تحدياً كبيراً تمثل في اكتشاف بكتيريا قولونية في 20% من المحطات التي تم تحليلها، مما يشير إلى وجود خلل في عمليات التعقيم أو التخزين أو التوزيع، ويحول المشكلة من تسمم كيميائي مزمّن إلى خطر وبائي حاد، الأمر الذي يستدعي وضع معايير رقابية صارمة (Flafil et al, 2020). تشير هذه الورقة إلى وجود فجوات بحثية واضحة، أبرزها: ندرة الدراسات البكتريولوجية، حيث ركزت معظم الأبحاث على الجوانب الكيميائية باستثناء دراسة واحدة (Flafil et al, 2020)؛ وغياب تام للدراسات المتعلقة بالملوثات الناشئة مثل الأدوية والمبيدات والمعادن الثقيلة؛ وقلة الدراسات الهيدروولوجية المتقدمة التي تستخدم النمذجة الرياضية لتوقع تطور التلوث اقتصر على (Alfarrah et al, 2017؛ Elmabrok et al, 2019). كما تبرز الحاجة إلى دراسات تقييم فعالية السياسات المائية وتأثيرها على المدى البعيد.

5. الاستنتاجات (Conclusions)

بناءً على تجميع وتحليل ثماني عشرة دراسة علمية، يمكن استخلاص الاستنتاجات التالية: أولاً، تعاني مدينة صبراتة من تدهور متسارع في جودة المياه الجوفية، حيث انخفضت نسبة الآبار الصالحة للشرب من 35% إلى 8% عام 2025، وارتفعت الملوحة الكلية وارتفعت النترات. ثانياً، يشكل تقدم المياه المالحة تهديداً متزايداً لاستدامة الخزان الجوفي وجودة المياه، حيث انخفض منسوب المياه إلى ثلاثين متراً تحت سطح البحر. ثالثاً، يعاني الخزان الجوفي من تلوث واسع بالنترات، حيث تجاوزت 100% من الآبار حد منظمة الصحة العالمية بحلول عام 2025، مع تفاوت مكاني يعكس تأثير الأنشطة الزراعية واستخدام الأسمدة النيتروجينية في المناطق الجنوبية، وتأثير مياه الصرف الصحي من البيارات في المناطق الوسطى. رابعاً، أثبتت أنظمة التنقية التجارية فعالية كيميائية عالية، حيث تجعل المياه مطابقة لمعايير منظمة الصحة العالمية من الناحية الكيميائية والفيزيائية. خامساً، يكمن الخطر الأكبر في الفجوة الرقابية،

حيث تنتج من محطات التنقية التجارية مياهاً ملوثة بكتيريا مما يستدعي تدخلاً عاجلاً من السلطات الصحية والبلدية. سادساً، تشير جميع المؤشرات إلى أن الوضع يتجه نحو الأسوأ بشكل متسارع ما لم تتخذ إجراءات جذرية وفورية من قبل السلطات المحلية والوطنية.

6. التوصيات (Recommendations)

أولاً: الإدارة المستدامة للموارد المائية والحماية الجوفية

1. الإسراع في تغطية كافة المناطق بشبكات صرف صحي الحديثة والالغاء التدريجي لاستخدام البيارات السوداء لمنع تسرب النترات إلى الخزان الجوفي .
2. تنظيم حفر الابار و إلزام القطاعات الزراعية والصناعية بعدادات مائية لتحديد كميات السحب الجائر .

ثانياً: الرقابة الصحية والبيئة

3. فرض برامج تفتيش دورية وإلزامية على محطات التحلية الخاصة ومحلات بيع المياه للتأكد من سلامة مراحل التعقيم والتخزين والتوزيع .
4. توعية المزارعين وتقنين استخدام الاسمدة النيتروجينية والمبيدات الكيماوية لتفادي ترشحها إلى طبقات المائية السطحية والعميقة .
5. وضع اشتراطات عزل صارمة لمحطات الوقود لمنع تسرب الهيدروكربونات والزيوت إلى تربة المياه الجوفية .

ثالثاً: البحث العلمي والنمذجة المستقبلية

6. تشجيع الابحاث الميدانية المتركة علي التلوث البكتريولوجي والملوثات الناشئة
7. تطوير النمذجة الهيدرولوجية بدعم استخدام البرامج الرياضية للتنبؤ بحركة تداخل المياه و اتساع نطاق الملوحة علي المدى البعيد.

7.المراجع

أولاً: المراجع العربية

1. أوشاح، محمد ضوء، الزهاني، عبد الناصر أبو عجيبة، فليفل، حمزة محمد، والمجدوب، أسامة حسين. (2022). تقييم جودة مياه الأمطار المجمعة في الخزانات الأرضية بمدينة صبراتة. *African Journal of Advanced Pure and Applied Sciences*, 1(4)، 157–162.
2. الغرابلي، آلاء البشير، بن والي، حنين عبد المجيد، الزهاني، عبد الناصر أبو عجيبة، فليفل، حمزة محمد، والحمودي، العاقلة عبدالله. (2021). تقييم جودة المياه الجوفية لأغراض الشرب باستخدام مؤشر جودة المياه في مدينة صبراتة-ليبيا. *المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة* .
<https://doi.org/10.63359/jk74a380>
3. العماري، خيرى محمد. (2009). تأثير تلوث المياه الجوفية على كفاءة الماشية في منطقة صبراتة وصرمان. *مجلة الفيوم للبحوث والتنمية الزراعية*، 23، 89–101. (2)
4. حسن، رويدة مفتاح، وحسن، طارق مفتاح. (2024). تلوث المياه الجوفية في مدينة صبراتة بالهيدروكربونات الناتج عن تسريب محطات الوقود. *مجلة آفاق المعرفة*، 6، 78–89. (2)
5. ختريش، مجيد الهادي، شكشم، ناجي محمد، أبوصلوة، علي، وأرحومة، طارق. (2025). دراسة تأثير مياه البحر على المياه الجوفية بالمنطقة الساحلية (جودائم صبراتة). *المجلة الدولية للعلوم والتقنية*، 12، <https://doi.org/10.62341/gatw0643> (2).
6. ختريش، مجيد الهادي، وشكشم، ناجي محمد. (2023). الأثر البيئي لتصريف المياه العادمة على المياه الجوفية بمدينة صبراتة-ليبيا. *أعمال المؤتمر الهندسي الرابع لنقابة المهن الهندسية الزاوية*. ليبيا.

7. زاروق، م، والغالي، م. (2015). تقييم جودة المياه الجوفية لأغراض الري في مدينتي صبراتة وزوارة. *مجلة جامعة المرقب للعلوم*, 7. 55–70. (2)
 8. الناجح، نجوى المبروك، المدهوني، عيسى محمد، الذهبي، عبدالسلام، الشبلي، محمد، واللافي، علي. (2022). تقييم جودة المياه الجوفية للمؤسسات التعليمية بجميع المناطق التابعة لمدينة صبراتة-ليبيا. *مجلة الريادة للبحوث والأنشطة العلمية*, 2. 112–125. (3)
- ثانياً: المراجع الإنجليزية

9. Aboshaala, N. E. H. A. (2024). Assessment of hydraulic parameters of the Quaternary aquifer using pumping test, Jifarah Plain, NW Libya. *Journal of Zawia University for Sciences*, 8(1), 45–60.
10. Aldeeb, W. A., & Aldabusi, B. M. (2023). Evaluation of groundwater quality for drinking purposes in Sabratha, Libya. *Journal of Sebha University for Sciences*. <https://doi.org/10.37375/sjfssu.v3i1.102>
11. Aldeeb, W. A. (2022). Assessment of groundwater salinity and suitability for irrigation in Sabratha, Libya. *Libyan Journal of Ecological & Sciences and Technology*, 4(2), 27–32. <https://doi.org/10.63359/k9eh6h44>
12. Alfarrak, N., & Walraevens, K. (2016). The origin of high sulfate concentrations and hydrochemistry of the Upper Miocene–Pliocene–Quaternary aquifer complex of Jifarah Plain, NW Libya. *Environmental Earth Sciences*, 75(20), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6209-x>
13. Alfarrak, N., Berhane, G., Mjemah, I. C., Van Camp, M., & Walraevens, K. (2017). Degradation of groundwater quality in coastal aquifer of Sabratha area, NW Libya. *Environmental Earth Sciences*, 76(19), 664. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6999-5>
14. Ammar, M. A. (2025). The impact of infrastructure on nitrate concentration in groundwater: A comparative study in the city of Sabratha. *Comprehensive Journal of Science*, 9(36), 1238–1248. <https://doi.org/10.65405/wgf4be12>
15. Elmabrok, M., Zargouni, F., & Elkhaleefa, A. (2019). Hydrochemical characterization and groundwater quality assessment in the Jifarah Plain, NW Libya. *Journal of African Earth Sciences*, 158, 103550. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103550>
16. Flafil, H. M., Kuaybah, A., Fadl, M., & AlNajar, A. T. (2020). Quality of drinking water purification systems in Sabratha area, Libya. *Libyan Journal of Ecological & Sciences and Technology*, 2(2), 1–5. <https://doi.org/10.63359/0442nh82>
17. Huwaysh, A. M., & El Ahmar, Y. A. (2023). Evaluation of groundwater and seawater intrusion at Tajoura area, NW Libya. In *Proceedings of the International Research Conference (IRC2023)* (pp. 112–125). Tripoli, Libya.
18. Imneisi, I. B., & Albadri, S. A. (2022). Using some physicochemical variables to evaluate groundwater in the Al-Militaniya area in Northeast Libya. *Libyan Journal of Ecological and Environmental Sciences and Technology*. <https://doi.org/10.63359/0a9kba23>

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

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 JLABW and/or the editor(s). JLABW 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.