المجلة الليبية للدراسات الأكاديمية المعاصرة (Libyan Journal of Contemporary Academic Studies)
LJCAS، eISSN: 5970-3005
Volume 3، Issue 2 (Part II)، 2025، Pages: 178-186

Assessment of the Hydraulic Performance of Radial Collector Wells in the Sand Dunes of Northwestern Libya

Dr. Abdulsalam Mohamed Al-Rajhi *
Department of Geology, Faculty of Science, University of Sabratha, Sabratha, Libya
*Corresponding author: alrajhi2018.ly@gmail.com

تقييم الأداء الهيدروليكي لآبار الجمع الشعاعي في الكثبان الرملية بشمال غرب ليبيا

د. عبد السلام محمد الراجحي *
قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا

Received: 25-09-2025; **Accepted:** 11-12-2025; **Published:** 20-12-2025

Abstract:
This study aims to evaluate the hydraulic performance of radial collector wells constructed in sand dune formations in northwestern Libya during 1964–1965. These wells were designed to exploit rainwater lenses accumulated within the sands, whereas conventional vertical wells in the region often yield highly saline water. Field data indicated that the productivity of radial wells ranges between 20–25 m³/h, with total dissolved solids (TDS) concentrations between 2000–3000 mg/, compared to 17,000 mg/L recorded in adjacent vertical wells. The findings confirm that radial well technology provides a practical and economical alternative, offering better water quality, higher productivity, and longer operational lifespan. The study recommends expanding the application of this technique in sand dune areas to strengthen potable water supplies for domestic use.

Keywords: Radial collector wells, Sand dunes, Hydraulic performance, Water quality, Total Dissolved Solids (TDS).

الملخص :
تهدف هذه الدراسة إلى تقييم الأداء الهيدروليكي لآبار الجمع الشعاعي المنفذة في تكوينات الكثبان الرملية بشمال غرب ليبيا خلال سنتي (1964–1965) وقد صُممت هذه الآبار لاستغلال عدسات المياه المطرية المتجمعة داخل الرمال، في حين أن الآبار الرأسية التقليدية في المنطقة غالبًا ما تنتج مياهًا عالية الملوحة. أظهرت البيانات الميدانية أن إنتاجية الآبار الشعاعية تتراوح بين (20–25) م³/ساعة، مع تراكيز للأملاح الذائبة الكلية (TDS) بين (2000–3000) ملغم/لتر، مقارنة بتركيز بلغ (17000) ملغم/لتر في الآبار الرأسية المجاورة. وتؤكد النتائج أن تقنية الآبار الشعاعية توفر بديلًا عمليًا واقتصاديًا، إذ تتميز بنوعية مياه أفضل، وإنتاجية أعلى، وعمر تشغيلي أطول. وتوصي الدراسة بتوسيع تطبيق هذه التقنية في مناطق الكثبان الرملية لتعزيز إمدادات المياه الصالحة للشرب والاستخدام المنزلي.

الكلمات المفتاحية: الآبار الشعاعية، الكثبان الرملية، الأداء الهيدروليكي، نوعية المياه، الأملاح الذائبة الكلية (TDS).

المقدمة:

تُعدّ الموارد المائية في شمال غرب ليبيا، من أكثر القضايا البيئية والاقتصادية إلحاحاً، حيث يعتمد السكان على الخزان الجوفي الرباعي الذي تتسم مياهه بارتفاع الملوحة، مما يحد من صلاحيتها للشرب والاستخدام المنزلي (الراجحي، 2021)، وقد أظهرت الدراسات أن الآبار الرأسية التقليدية رغم انتشارها، لا توفر حلولاً فعّالة لمشكلة ندرة المياه العذبة، إذ غالباً ما تنتج مياهًا مالحة وغير ملائمة للاستهلاك البشري (International Drilling Company, 1994).

في المقابل، تمثل آبار الجمع الشعاعي تقنية بديلة ذات جدوى عالية، إذ تعتمد على مد مصافي أفقية شعاعياً من حوض مركزي، مما يزيد من مساحة استغلال الطبقة الحاملة للمياه، ويتيح استغلال عدسات المياه المطرية المتجمعة في تكوينات الكثبان الرملية (درادكة، 1987؛ كيث، 1979)، وقد نُفذت هذه التقنية لأول مرة في ليبيا خلال سنتي (1964–1965) في مناطق الجميل ورقدالين ورأس عطية وأم احبيش، ولا تزال بعض هذه الآبار قيد التشغيل حتى اليوم، مما يعكس متانتها وكفاءتها التشغيلية (الراجحي، 1996).

على الصعيد الدولي، أكدت دراسات حديثة، أن الآبار الأفقية والشعاعية تمثل خياراً فعالاً في تحسين نوعية المياه، وزيادة الإنتاجية في البيئات الجافة وشبه الجافة، مع إمكانية دمجها في استراتيجيات الإدارة المستدامة للمياه.(Houben et al ، (2022 ؛ Banihabib,2017) .

Copyright: © 2025 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/).

كما أظهرت النمذجة العددية الحديثة، أن هذه الآبار قادرة على تحقيق أداء هيدروليكي متفوق مقارنة بالآبار الرأسية، خاصة في المناطق ذات العدسات المائية المحدودة.(Zákányi, 2025)
على الرغم من الأهمية العملية لهذه التقنية، فإن الدراسات العلمية التي تناولتها في السياق الليبي ما تزال محدودة (الراجحي، 2016)، خصوصاً فيما يتعلق بتقييم أدائها ومقارنتها بالآبار الرأسية التقليدية، من هنا تنبع أهمية هذا البحث الذي يهدف، إلى دراسة الخصائص الهيدروليكية لآبار الجمع الشعاعي، في تكوينات الكثبان الرملية بشمال غرب ليبيا، مع التركيز على إنتاجيتها ونوعية مياهها، وتقديم توصيات عملية حول جدوى تعميم استخدامها كخيار استراتيجي لتعزيز الأمن المائي في المنطقة.

مشكلة البحث:

تعتمد منطقة شمال غرب ليبيا اعتماد شبه كلي على مياه الخزان الجوفي الرباعي، الذي تتسم مياهه بارتفاع الملوحة وعدم ملاءمتها للشرب، والاستخدام المنزلي (الراجحي، 2021). وقد أثبتت الآبار الرأسية التقليدية محدودية كفاءتها في استغلال الموارد المائية المتاحة، إذ غالباً ما تنتج مياهاً مالحة بتركيزات مرتفعة تصل إلى (17،000) ملغم/لتر (International Drilling Company, 1994)، في المقابل، وعلى الرغم من أن تقنية آبار الجمع الشعاعي قد نُفذت في المنطقة منذ ستينيات القرن الماضي، فإن الدراسات العلمية التي تناولت أداءها الهيدروليكي ونوعية مياهها ما تزال محدودة (الراجحي، 2016) .من هنا تبرز مشكلة البحث في غياب تقييم علمي حديث لجدوى آبار الجمع الشعاعي، في تكوينات الكثبان الرملية بشمال غرب ليبيا، ومقارنتها بالآبار الرأسية التقليدية من حيث الإنتاجية ونوعية المياه، وهو ما تسعى هذه الدراسة إلى معالجته.

فروض البحث:

1- تتميز آبار الجمع الشعاعي في تكوينات الكثبان الرملية بشمال غرب ليبيا بإنتاجية أعلى مقارنة بالآبار الرأسية التقليدية.
2- نوعية المياه المستخرجة من آبار الجمع الشعاعي من حيث تركيز الأملاح الذائبة الكلية (TDS) أفضل من نوعية المياه المستخرجة من الآبار الرأسية في نفس المنطقة.
3- تمثل تقنية آبار الجمع الشعاعي خيارًا عمليًا أكثر ملاءمة من الآبار الرأسية في استغلال عدسات المياه المطرية (مع مؤشرات أولية على جدواها الاقتصادية).

أهمية البحث:

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من كونها تسلط الضوء على تقنية آبار الجمع الشعاعي، التي لم تحظَ بدراسات كافية في السياق الليبي، رغم تنفيذها منذ ستينيات القرن الماضي، وتبرز أهمية البحث على ثلاثة مستويات:
- **علمياً**: يسد فجوة معرفية تتعلق بتقييم الأداء الهيدرولوجي لآبار الجمع الشعاعي في البيئات الرملية الجافة، ويضيف بيانات مقارنة مع الآبار الرأسية التقليدية.
- **عملياً** يقدم حلولًا واقعية لمشكلة ندرة المياه العذبة وارتفاع ملوحة الخزان الجوفي الرباعي، مما يعزز فرص استغلال عدسات المياه المطرية.
- **إقليمياً ودولياً** يساهم في إثراء الأدبيات المتعلقة بإدارة المياه في المناطق الجافة وشبه الجافة، ويضع التجربة الليبية في إطار مقارن مع تجارب دولية حديثة.

(Houben et al., 2022؛ Banihabib, 2017)

أهداف البحث:

1- تقييم إنتاجية آبار الجمع الشعاعي في تكوينات الكثبان الرملية بشمال غرب ليبيا.
2- مقارنة نوعية المياه) من حيث الأملاح الذائبة الكلية (TDS بين الآبار الشعاعية والآبار الرأسية التقليدية.
3- تحليل الجدوى العملية والاقتصادية لتقنية الآبار الشعاعية كخيار بديل في استغلال الموارد المائية.
4- تقديم توصيات علمية وعملية حول إمكانية تعميم استخدام هذه التقنية في مناطق مشابهة لتعزيز الأمن المائي.

Copyright: © 2025 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/).

حدود البحث:

حدود جغرافية:

تشمل هذه الدراسة مناطق الجميل، رأس عطية، أم احبيش، رقدالين، بالجزء الشمالي الغربي من سهل الجفارة، بشمال غرب ليبيا.

حدود زمنية:

جرت هذه الدراسة في الفترة (3 - 9) سنة 2024 م.

منهج البحث وأدواته:

اعتمدت هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وذلك من خلال جمع بيانات ميدانية من آبار الجمع الشعاعي والآبار الرأسية في تكوينات الكثبان الرملية بشمال غرب ليبيا. شملت البيانات قياسات الإنتاجية (م³/ساعة) وتحاليل نوعية المياه الأملاح الذائبة الكلية (TDS).

ولغرض إبراز الفروق بين النوعين من الآبار، تم توظيف المنهج المقارن عبر مقارنة النتائج في ظروف هيدرولوجية متشابهة، مع الاعتماد على التحليل الوصفي الكمي لإظهار الاختلافات. كما استُخدمت المؤشرات التشغيلية (مثل استمرارية تشغيل الآبار الشعاعية منذ ستينيات القرن الماضي وقلة الأعطال مقارنة بالآبار الرأسية) كدلائل أولية على الجدوى الاقتصادية، دون إجراء تحليل مالي تفصيلي.

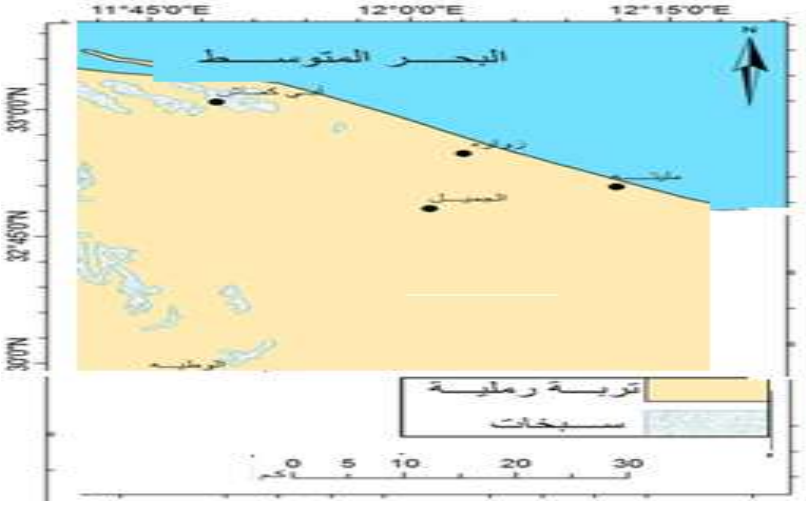
إضافة إلى ذلك، تمت مقارنة النتائج مع الأدبيات الدولية التي تناولت أداء الآبار الأفقية والشعاعية في البيئات الجافة , (Banihabib, 2017, Houben et al. , 2022) وذلك لتعزيز موثوقية النتائج وربطها بالسياق العلمي العالمي.

خصائص منطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة في الجزء الغربي من سهل الجفارة بشمال غرب ليبيا، تتميز بتضاريس مستوية تقريباً تميل ميلاً خفيفاً باتجاه الشمال، ويزيد الارتفاع تدريجيا نحو الجنوب ليصل الى حوالى (40) متراً عند الحافة الجنوبية، (فوزية شيحة، 2024) ونظراً لانتشار الأسباخ في معظم منطقة الدراسة، فكل الطبقات الحاملة للمياه مالحة جداً، عدا بعض العدسات المائية في مناطق الكثبان الرملية.

تكونت الكثبان الرملية بعوامل الرياح، حيث تقوم الرياح بنقل التربة الناتجة من عوامل التعرية من مكان إلى آخر، وعندما تنخفض سرعتها تتريب الرمال مكونة كومة صغيرة تنمو مع استمرار الترسيب، مكونة كثبان رملية، تمتد احياناً لعشرات كيلومترات، ويعتمد ذلك على سرعة الرياح واتجاهها، وتوفر كميات كبيرة من الرمل.

فالتربة التي كوَّنتها الرياح تظهر على هيئة شريط متقطع، يمتد من غرب المنطقة إلى شرقها، الشكل (2) يوضح توزيع الترب بمنطقة الدراسة. (أميرة قجام، 2025)

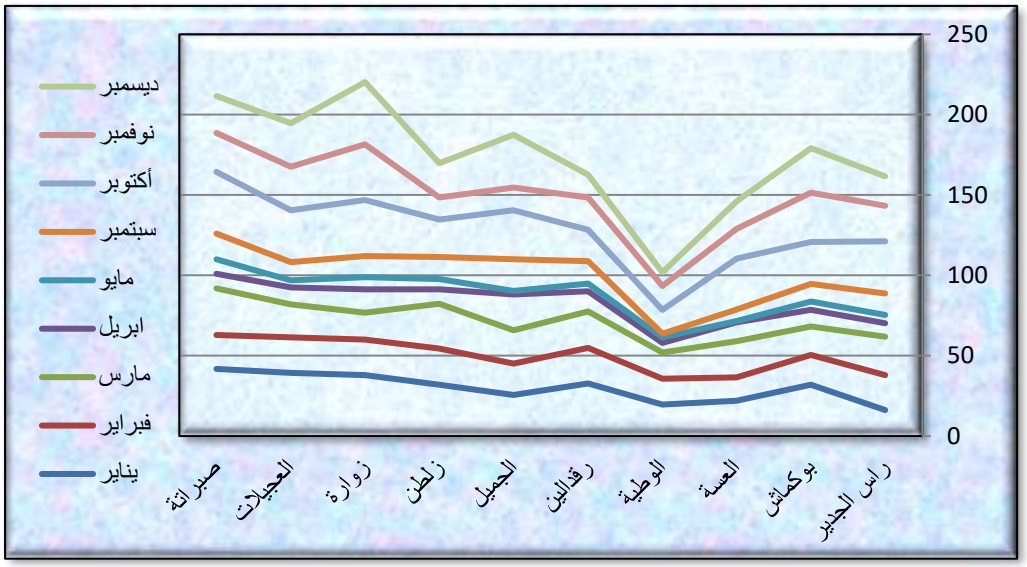


شكل (1) يوضح توزيع الترب بمنطقة الدراسة.

تتميز منطقة الدراسة بأمطار من النوع الإعصاري، حيث تسقط في فصل الشتاء غالباً ما تكون مصحوبة بعواصف رعدية، وتكثر هذه العواصف في شهري أكتوبر، ونوفمبر من كل سنة، بينما يقل حدوثها في الأشهر (يونيو، ويوليو، واغسطس)، الشكل (6) يوضح معدلات الأمطار الشهرية في اجزاء متفرقة من منطقة الدراسة، باستثناء الأشهر (يونيو، ويوليو، واغسطس) التي تنعدم فيهم الأمطار، وعلى

Copyright: © 2025 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/).

الرغم من المعدلات المطرية المتواضعة بمنطقة الدراسة، إلا انها تكون عدسات مائية داخل مناطق الكثبان الرملية يمكن الاستفادة منها. الراجحي وآخرون، 2024)



شكل (2) يبين معدلات الأمطار السنوية في منطقة الدراسة

تعد الأمطار من العناصر المناخية المهمة التي لها تأثير كبير على منسوب المياه الجوفية، وللأمطار أهمية كبيرة في الزراعات البعلية والنشاط الرعوي، تهطل الأمطار على منطقة الدراسة خلال فصلي الخريف والشتاء، وبمعدل سنوي عام (233.7) ملم / سنة. (أميرة قجام، 2025)

تلعب مياه الأمطار التي تسقط على مناطق الكثبان الرملية دورًا مهمًا في تغذية المياه الجوفية والمساعدة على استقرار الرمال، بل تُعد المصدر الطبيعي الوحيد للمياه العذبة في مناطق الكثبان الرملية.

نظراً لخشونة حبيبات التربة بالكثبان الرملية، والتي تتميز بنفاذيتها العالية، فتتسرب مياه الأمطار وتتغلغل بسرعة إلى الداخل، لتكُون عدسات مائية تحتفظ بمياه الأمطار، ومع مرور الوقت تتسرب هذه المياه إلى الطبقات الجوفية الأعمق وتساهم في تغذية الخزان الجوفي، وعادة ما تكون نوعية هذه المياه جيدة نسبياً، يمكن الاستفادة منها بحفر آبار الجمع الشعاعي لاستعلاها هذه المياه.

وللاستفادة من المياه الجوفية التي تجمعت اثناء المواسم المطيرة بالكثبان الرملية في منطقة الدراسة فقد تم خلال الفترة من 1964 الى 1995 حفر عدد من آبار الجمع الشعاعي، وهى لازالت صالحة حتى الآن.

الآبار بمنطقة الدراسة:

تنتشـر الآبار في الأجزاء المختلفة من منطقة الدراسـة، والتي منها القديم الذي يعتمد على الطرق البدائية القديمة، ومنها الحديث الذي يعتمد على التقنيات الحديثة في الحفر والاسـتغلال، وتنقسـم طرق حفرها إلى طرق الحفر الشعاعي، وطرق الحفر الرأسي.

1– طريقة الحفر الرأسي:

وهي الطريقة التي يتم فيها استخدام الحفر الرحوي، حيث تعد هذه الطريقة من أفضل طرق الحفر وأكثرها انتشاراً، لحفر الآبار العميق ومتوسطة العمق، وذلك لقدرتها على اختراق جميع أنواع الصخور وبأي عمق، والحصول على عينات فتاتية، وعينات أسطوانية لدراسة الطبقات المخترقة لتحديد الطبقة أو الخزان المطلوب بدقة، يتم استخدام سائل الحفر في عمليات الحف، ويغلف البئر كاملاً من السطح وحتى العمق النهائي، وتستخدم أنابيب التغليف والمصافي من الحديد المقاوم للصداء، ويتم وضع الزلط خلف المصافي، لتصفية المياه الداخلة للبئر، من شوائب والأتربة.

نفذت آبار الحفر الرأسي في منطقة الدراسة، من سبعينيات القرن الماضي، وتتراوح أعماقها ما بين (80 - 120) متراً، حفرت لاسـتغلال الخزان الجوفي الرباعي، وتتراوح إنتاجيتها من (10- 50) متراً مكعباً / سـاعة، ويشـمل هذا التصـميم الآبار الإنتاجية التابعة للبلدية، وعلى الرغم من ارتفاع ملوحة

Copyright: © 2025 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/).

مياهها، يعتمد عليها الاعتماد الكلي في إمداد المواطنين بمياه الاستخدام المنزلي، لعدم وجود البديل، الجدول رقم (1) يوضح بعض المعلومات عن آبار منطقة الدراسة التي تم تنفيذها بطرية الحفر الرأسي.

2- طريقة تصميم وحفر آبار الجمع الشعاعي:

لغرض توضيح الجانب العملي للتقنية التي اعتمدت عليها هذه الدراسة، يُعرض فيما يلي وصف موجز لطريقة تصميم وحفر آبار الجمع الشعاعي وآلية عملها.

تتميز الآبار الشعاعية بوجود حوض مركزي بقطر (4) أمتار، متصل بمصافي أفقية من (4 – 16) جامع أفقي، طول وعدد المصافي الشعاعية، يعتمد على نفاذية الطبقة المشبعة، تمتد هذه المصافي أو الجوامع بشكل شعاعي ومتماثل حول الحوض المركزي (البئر) مكونة من حجرة أو قيسون (خليفة درادكة، 1987، ص 163).

الجدول رقم (1) بعض المعلومات عن الآبار الرأسية بمنطقة الدراسة.

رقم البئر	الرقم الأصلي أو المنطقة	المنطقة	الإحداثيات		رقم الخريطة	العمق الكلي (م)	الارتفاع عن البحر (م)	مستوى سطح الماء (م)	الإنتاجية (م3/ س)	T D S
			س	ص						
1	77 / 72	الجميل	2 24585	36 38276	4 1790	33	14	10.50	7.9	5000
2	77 / 73	الجميل	2 24507	36 38294	4 1790	32	15	12	7.3	5000
3	على العيادي	الجميل	2 24534	36 38284	4 1790	90	14	12	45	6212
4	87 / 87	العقربية	7 80172	36 31135	4 1790	102	41	9.93	25.71	5200
5	/ 527 96	العقربية	7 79823	36 31467	1 1690	98	36	10.70	8.2	5000
6	/ 528 96	العقربية	7 79801	36 30921	1 1690	98	34	11.85	8.8	5000
7	/ 529 96	الجميل	2 30268	36 35948	4 1790	98	10	4.5	39.6	17920
8	بئر مهرج ثور	الجميل	2 23039	36 39294	4 1790	80	14	7.50	30	5600
9	1194 90/	رقدالين	7 77746	36 35501	1 1690	100	20	18	23	5872
10	1195 90/	رقدالين	7 76600	36 41800	1 1690	100	20	5.50	19	17250
11	87 / 86	العقربية	2 19953	36 29365	4 1790	85	41	17.45	9.73	6510

تترك من (6 - 8) فتحات أسفل منسوب المياه الجوفية بالمنطقة لوضع المصافي الأفقية (الجوامع)، ويبطن جداره بطبقة خرسانية مسلحة بسمك (45 – 60) سنتمتراً تقريباً، أنابيب المصافي مصنوعة من الصلب غير القابل للصدأ بقطر من (10 – 20) سنتمتراً، وفتحات سعة (1/4) مليمتراً، كما توضع بلاطة إسمنتية مسلحة في أسفل الحفرة حتى يصبح البئر على هيئة خزان مياه أرضي شكل (3) عبدالسلام محمد الراجحي، 2021، ص 298).

تدق أنابيب الجمع في التكوين المائي المطلوب، من الفتحات التي تركت في جدار الحجرة، لتكون معها ترتيبًا شعاعياً بطول (35 – 50) متراً، مما يوسع فعلياً مساحة سطح البئر في تلامسها مع طبقة المياه الجوفية، وتقوم هذه المصافي أو الجوامع بتصريف المياه من الطبقة المائية إلى **انتاجية آبار الجمع الشعاعي:**

تتراوح إنتاجية آبار الدراسة من (20 - 25) متراً مكعباً في الساعة، وتعتمد على الظروف المحلية ونوع التكوينات وقوة المضخة المستخدمة، وتكون جيدة في التكوينات المائية النفاذة، وتضخ لفترة زمنية مستمرة تصل إلى عدة أيام أحياناً، وبمعدل يصل إلى (12) ساعة في اليوم. (عبدالسلام محمد الراجحي، 2016)

Copyright: © 2025 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/).

تاريخ حفر آبار الجمع الشعاعي.

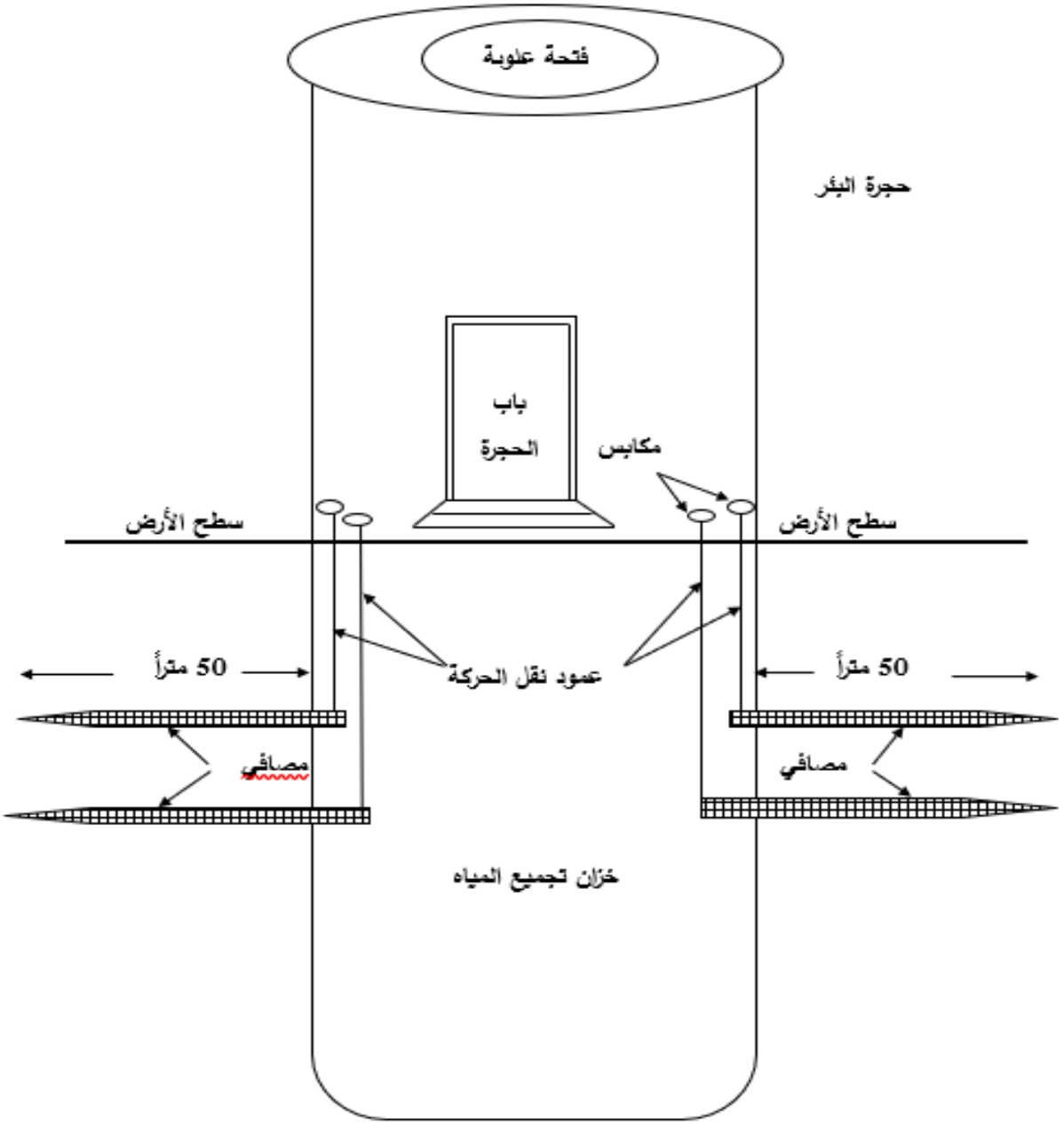
نفذت آبار الجمع الشعاعي المنتشرة بمنطقة الدراسة، في سنة (1964 ، 1965) وهى لازالت صالحة للاستخدام حتى الان.

الحجرة، التي توجد بها مكابس تحكم لفتح وقفل المصافي أو الجوامع، متصلة بعمود نقل الحركة العمودية، الذي ينقل حركة الفتح والقفل من طرف المصـــافي إلى الســطح العلوي للبئر، داخل حجرة التحكم.

الشكل الخارجي للبئر:

يوجد على سـطح الارض فوق البئر مباشـرة، حجرة دائرية بنفس قطر البئر بها باب وعدة نوافذ، ويوجد بالحجرة اجهزة التحكم الكهربائي ومكابس التحكم لفتح وقفل المصـــافي وكذلك المعدات اللازمة للصيانة.

تستخدم هذه الحجرة بالإضافة الى حماية البئر والاجهزة والادوات اللازمة لتشغيله، سكنا للشخص الذى يقوم بالإشراف على تشغيل البئر.



الشكل (3) تصميم لآبار الجمع الشعاعي بمنطقة الدراسة.

Copyright: © 2025 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/).

نوعية المياه:

يتراوح مجموع الاملاح الذائبة بالآبار المدروسة من (2000 - 3000) ملليجرام / لتر، وتعتبر نوعية هذه المياه جيدة مقارنة بمياه الآبار الرأسية (العمودية)، التي نفذت بالقرب من آبار منطقة رقدالين بعمق (90) متراً، لاستغلال الخزان الجوفي (السطحي) حيث وصل تركيز الاملاح الذائبة الى (17000) ملليجرام / لتر. الجدول رقم (2) يوضح بعض المعلومات الجيولوجية، والهيدروجيولوجية عن الآبار المدروسة. (International Drilling Company . - B.V. , 1994).

الجدول رقم (2) بعض المعلومات الجيولوجية، والهيدروجيولوجية عن الآبار المدروسة.

رقم البئر	أسم البئر	المنطقة	الإحداثيات		رقم الخريطة	العمق الكلي (م)	الارتفاع عن البحر (م)	مستوي سطح الماء (م)	الإنتاجية (م³/ س)	T D S
			س	ص						
17	بئر المعاوي	الجميل	2 23273	36 34422	4 1790	25	34	14.80	35.80	2520
18	بئر المريض	الجميل	2 23322	36 38176	4 1790	24	20	12.70	34	2200
19	بئر المريمي	رقدالين	7 200 80	36 400 41	1 1690	25	10	9	36.9	2459
20	بئر المجادبه	رقدالين	7 79950	36 42600	1 1690	25	10	10	39.5	3000
21	بئر الكل	رقدالين	2 20 100	36 40200	1 1690	25	13	10.60	39.5	3000
22	بئر الغابة	رقدالين	7 80400	36 42550	1 1690	25	10	9	38	3000

المناقشة:

أولا: مميزات آبار الجمع الشعاعي:

آبار الجمع الشـعاعي تتميّز بعدة خصـائص تجعلها أكثر كفاءة من الآبار العمودية (الرأسـية) التقليدية، أهمها:

1- زيادة الإنتاجية بفضل الامتداد الأفقي أو الشعاعي لأنابيب المصافي لاستغلال مساحات واسعة من الخزان الجوفي في مكان واح.

2- تتميز بنوعية مياه جيدة وأفضـل من مياه الآبار الرأسـية، لاسـتغلالها مياه الأمطار المتجمعة داخل العدسات المائية في مناطق الكثبان الرملية..

3- السـيطرة على تدفق المياه بفضـل التصـميم المتشـعب، فبالإمكان التحكم في معدلات المياه من كل المصافي بشكل مستقل.

4- تكاليف حفر وصـيانة الآبار الجمع الشـعاعي، أقل من حفر وصـيانة الآبار الرأسـية، حيث يمكن لبئر واحد استغلال مساحة واسعة بدلاً من حفر عدة آبار رأسية، كما يمكن التحكم واصلاح احدى المصافي وإغلاقها دون التوقف الكامل للبئر.

5- آبار الجمع الشـعاعي اطول عمراً من الآبار الرأسـية، حيث تسـمح المصـافي الأفقية بتوزيع معدل السحب وتقليل التآكل أو الانسدادات، ويستمر البئر في العطاء حتى لو خرجت بعض المصافي عن العمل.

ثانيا: مناقشة النتائج:

أظهرت النتائج أن آبار الجمع الشـعاعي حققت إنتاجية أعلى بكثير من الآبار الرأسـية المجاورة، حيث تراوحت إنتاجيتها بين (20 – 25 م³/ساعة) مقارنة بـ (5–7 م³/ساعة) للآبار الرأسية، هذه النتيجة تؤكد صحة الفرضية الأولى، التي افترضت تفوق الآبار الشعاعية من حيث القدرة الإنتاجية، ويُعزى ذلك إلى زيادة مساحة التلامس مع الخزان الرملي عبر المصـافي الأفقية، مما يسـمح باسـتغلال عدسـات المياه المطرية الضحلة بكفاءة أكبر.

Copyright: © 2025 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/).

أما فيما يتعلق بنوعية المياه، فقد بينت التحاليل أن تركيز الأملاح الذائبة الكلية (TDS) في مياه الآبار الشـــعاعية كان أقل بكثير (2000 – 3000 ملغم/لتر) مقارنة بالآبار الرأســـية (حتى 17،000 ملغم/لتر). هذه النتيجة تدعم الفرضـية الثانية التي أشـارت إلى أن الآبار الشـعاعية توفر مياهًا ذات نوعية أفضل، وهو ما يرتبط بقدرتها على تجنب السحب المباشر من الطبقات العميقة عالية الملوحة.

بالنسبة للفرضية الثالثة، فقد أظهرت الدراسة أن الآبار الشعاعية تتميز باستمرارية تشغيلها منذ ستينيات القرن الماضي، مع قلة الأعطال مقارنة بالآبار الرأسية، مما يمثل مؤشراً عملياً قوياً على جدواها التشغيلية، غير أن الجانب الاقتصادي لم يُدرس بصورة كمية تفصيلية، وبالتالي يمكن اعتبار ما توصلت إليه الدراسة مؤشرات أولية على الجدوى الاقتصادية، وهو ما يستدعي دراسات مستقبلية أكثر شمولًا في هذا الجانب.

تتفق هذه النتائج مع ما ورد في الأدبيات الدولية، حيث أشـــار (Houben et al.2002) إلى أن الآبار الأفقية والشـــعاعية تحقق إنتاجية أعلى في البيئات الجافة، كما أوضـــح (Banihabib 2017)، أن هذه التقنية تمثل خياراً واعداً لإدارة الموارد المائية في المناطق شـبه الجافة، هذا التوافق يعزز موثوقية النتائج ويضعها في سياق عالمي أوسع.

النتائج:

أظهرت الدراســـة أن آبار الجمع الشـــعاعي تمثل خياراً عملياً وفعالاً في اســـتغلال المياه الجوفية ضمن تكوينات الكثبان الرملية بشمال غرب ليبيا. فقد أثبتت النتائج تفوق هذه الآبار على الآبار الرأسية من حيث الإنتاجية ونوعية المياه، مما يؤكد تحقق الفرضـيتين الأولى والثانية. كما بينت المؤشـرات التشـغيلية اسـتمرارية عمل هذه الآبار لعقود مع قلة الأعطال، وهو ما يشـير إلى جدواها العملية، في حين أن الجانب الاقتصـادي ما زال بحاجة إلى دراسات كمية تفصيلية مستقبلية .تتسق هذه النتائج مع ما ورد في الأدبيات الدولية حول كفاءة الآبار الأفقية والشـــعاعية في البيئات الجافة، مما يعزز موثوقية البحث ويدعم إمكانية التوسع في تطبيق هذه التقنية ضمن استراتيجيات الأمن المائي في ليبيا.

التوصيات:

1- التوسـع في اسـتخدام آبار الجمع الشـعاعي في المناطق ذات التكوينات الرملية المشـابهة، نظرًا لتفوقها في الإنتاجية ونوعية المياه مقارنة بالآبار الرأسية.

2- إجراء دراسات اقتصـادية تفصـيلية لتقييم الجدوى المالية لهذه التقنية، بما يشمل تكاليف الحفر والصيانة مقابل العائد المائي.

3- تعزيز برامج المراقبة الدورية لمتابعة أداء الآبار الشـــعاعية على المدى الطويل، خاصـــة فيما يتعلق بجودة المياه واستمرارية التشغيل.

4- الاســـتفادة من التجارب الدولية وربطها بالواقع الليبي، من خلال تبادل الخبرات مع الدول التي طبقت هذه التقنية في البيئات الجافة.

5- إدماج التقنية في اســـتراتيجيات الأمن المائي الوطنية، باعتبارها خيارًا عمليًا لمواجهة تحديات ندرة المياه في ليبيا.

Compliance with ethical standards

Disclosure of conflict of interest

The author(s) declare that they have no conflict of interest.

المراجع:

1- المراجع العربية:

1- أميرة إبراهيم احمد قجام، التقييم الكمي والنوعي للمياه الجوفية في منطقة الجميل، رسالة ماجستير غير منشورة، 2025 م.

2- خليفة درادكه. هيدرولوجية المياه الجوفية. دار البشير للطباعة والنشر، عمان، الأردن، 1987.

3- دبفيد كيث نوود، هيدرولوجية المياه الجوفية (ترجمة رياض حامد الدباغ، حميد رفيق). جامعة الموصـــل، العراق، 1979.

Copyright: © 2025 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- عبد السلام محمد الراجحي .ملوحة مياه الخزانات المستغلة غرب مدينة صبراتة: الأسباب والحلول .مجلة القلم المبين، العدد الحادي عشر، الجزء الثاني، ديسمبر 2021.
5- عبد السلام محمد الراجحي .آبار الجمع الشعاعي .مؤتمر الموارد المائية في الوطن العربي، طرابلس، ليبيا، 1996.
6- عبد السلام محمد الراجحي .الآبار بشمال غرب سهل الجفارة .الهيئة العامة للمياه، طرابلس، ليبيا، 1996.
7- عبد السلام محمد الراجحي .الإمكانات المائية بمنطقة رقدالين .مجلة العلوم الشاكلة، العدد 2، سبتمبر 2016.
8- عبدالسلام الراجحي وآخرون، تقرير عن هيدروجيولوجية شمال غرب سهل الجفارة، بشمال غرب ليبيا. 2024 م.
9- فوزية المبروك شيحة، تلوث الخزانات مياه الجوفية المستغلة بمنطقة الجميل، رسالة ماجستير غير منشورة، 2024 م.
10- المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة(ACSAD) المجلة العربية للبيئات الجافة. أعداد مختلفة (2015–2023).

2- المراجع الإنجليزية:

11- Banihabib, M. E. (2017). *Radial Collector Well Empirical Equations Comparison*. ResearchGate.
12- Houben, G. J., Collins, S., Bakker, M., Daffner, T., Triller, F., & Kacimov, A. (2022). *Review: Horizontal, directionally drilled and radial collector wells*. Hydrogeology Journal, 30(1), 329–357.
13- International Drilling Company – B.V. *Final Report of Wells NO T/1/525–529/94*, 1994.
14- Zákán3yi, B. (2025, in press). *Analytically Supported Numerical Modeling of Horizontal and Radial Collector Wells*. Journal of Hydrologic Engineering.

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 **LJCAS** and/or the editor(s). **LJCAS** 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.

Copyright: © 2025 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/).