

تقييم نوعية المياه الجوفية باستخدام الطريقة الحسابية الموزونة لمؤشر نوعية المياه (WAWQI) في مديريات شعوب وأزال والصابية- بأمانة العاصمة صنعاء

أ.نبيلة محمد حمود السنيدار

باحث دكتوراه في جامعة صنعاء كلية الآداب والعلوم الإنسانية قسم الجغرافيا

والجيو انفورماتكس

Nabilaalsunidar4@gmail.com

مستخلص البحث:

هدف البحث إلى تقييم نوعية المياه الجوفية لكل بئر ومدى صلاحيتها للاستخدامات البشرية في منطقة البحث باستخدام الطريقة الحسابية الموزونة لمؤشر نوعية المياه الجوفية (WAWQI)، ولتحقيق أهداف البحث تم استخدام المنهج الكمي التحليلي لعمل التحليلات المكانية والإحصائية لبيانات البحث الميدانية والتحليلات المختبرية، وإنتاج الخرائط والأشكال البيانية باستخدام البرامج التقنية لتحديد نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث، وقد اعتمد هذا البحث على جمع العينات من (51) بئراً لتحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية في المختبر، واستخدمت نتائج التحليل المختبري لتحديد نوعية المياه الجوفية ودراسة علاقة الارتباط بين العناصر التي تم تحليلها وتحديد العناصر الأكثر تأثيراً على نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث، وقد توصل البحث إلى أن (28) بئراً، بنسبة 55% من العينات غير صالحة للاستخدام، بينما 4% من العينات ذات نوعية متدنية وتظهر في بئرين، وبئرين آخرين ذات نوعية متدنية جداً بنسبة 4%، بينما وجد أن (13) بئراً، بنسبة 25% من العينات نوعيتها ممتازة، وعدد الآبار ذات النوعية الجيدة (6) آبار وتمثل 12% من عينات البحث. كما أظهرت نتائج تحليل معامل بيرسون وجود علاقة ارتباط طردية تامة بين كل من ($\text{HCO}_3\text{-TH}$) و(FC-TC)، وقوية جداً بين (Ca-TH) و(TDS-EC)، وقوية بين (Ca-EC) و(C-T) و(Ca-) و(TDS) و(EC-TH) و(TDS-TH) و($\text{SO}_4\text{-Mg}$) و(CL-EC)، وأن أكثر العناصر المؤثرة في تلوث المياه الجوفية هي القلويات البرازية، القلويات الكلية، القلوية الكلية، اللون، العكارة، العسر الكلي، الحديد، الماغنسيوم، الأملاح الكلية الذائبة، التوصيلية الكهربائية، الكبريتات، الأس الهيدروجيني، الكالسيوم، وأوصى البحث بإجراء تحاليل مختبرية دورية لمياه الآبار لمعرفة المناطق متدنية النوعية وإجراء المعالجات المناسبة لرفع كفاءة نوعية المياه الجوفية والحد من مصادر التلوث.

الكلمات المفتاحية: الطريقة الحسابية الموزونة لمؤشر نوعية المياه (WAWQI)، حساب وحدة الوزن (wn)، حساب قيم المؤشر الفرعي لنوعية المياه (Qn)، حساب مؤشر نوعية المياه (WQI)، تحليل علاقة الارتباط بين معايير نوعية المياه الجوفية.

الإطار المنهجي للبحث

المقدمة:

تعد المياه الصالحة للاستخدامات البشرية أهم الموارد الطبيعية وعنصرًا أساسيًا لحياة الإنسان وتطوره في جميع المجالات، وتعد المياه الجوفية المصدر الرئيس للمياه الصالحة للاستخدامات البشرية، لاسيما في الدول الواقعة في الأقاليم الجافة وشبه الجافة؛ ونظرًا لازدياد المشاكل المتعلقة بالمياه الجوفية وزيادة حاجة السكان للحصول على المياه النقية الصالحة للشرب، فقد اتجه عدد من الباحثين إلى تطوير واستخدام الطرق الحسابية المختلفة لتحديد نوعية المياه الجوفية، ومع تطور وتقدم التقنيات التكنولوجية والبرمجية المتمثلة في نظم المعلومات الجغرافية، اتجه عدد من الباحثين والمراكز البحثية في مختلف دول العالم إلى تركيز الاهتمام على عمل البحوث والدراسات العلمية لمعالجة قضايا ومشاكل المياه الجوفية باستخدام التقنيات الجغرافية الحديثة التي ساعدت على دراسة وتحليل وتقييم نوعية المياه وتدني جودتها وتحديد مناطق تلوثها باستخدام الطرق الرياضية المختلفة. وتعد المياه الجوفية في منطقة البحث المتمثلة بمديريات شعوب وأزال والصافية في أمانة العاصمة صنعاء المصدر الرئيس للسكان وأنشطتهم الاقتصادية المختلفة، وهذا أدى إلى زيادة حفر الآبار العشوائية وزيادة الطلب عليها؛ ما نتج عنه تدني نوعية المياه الجوفية، ومما زاد من تفاقم هذه المشكلة عدم وجود شبكة مياه صرف صحي في معظم منطقة البحث، بالإضافة إلى المخلفات الصناعية والزراعية والمخلفات الصلبة، التي تؤدي جميعها إلى حدوث تغير في الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه الجوفية؛ بسبب تسربها إلى المياه الجوفية، الأمر الذي دعا إلى دراسة نوعية المياه في هذه المنطقة باستخدام الطريقة الحسابية الموزونة لمؤشر نوعية المياه الجوفية (WAWQI)، التي اعتمدت على المعادلات الرياضية لتحديد مدى صلاحية كل بئر للاستخدام، واستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (Arc GIS 10.6) لإنتاج خريطة رقمية مكانية تحدد مواقع الآبار في منطقة البحث ونوعية مياهها الجوفية.

الموقع الجغرافي لمنطقة البحث

تقع منطقة البحث في شرق أمانة العاصمة صنعاء بين خطي طول ($44^{\circ} 12' 32''$ و $44^{\circ} 20'$ و دائرتي عرض ($15^{\circ} 18' 21''$ و $15^{\circ} 31' 23''$) وتشمل مديريات شعوب وأزال والصافية حيث تقع مديرية شعوب في الجزء الشمالي من منطقة البحث، وتقدر مساحتها بـ (151) كم² ويبلغ عدد السكان فيها (470,006) نسمة حسب اسقاطات 2021م، بينما تقع مديرية أزال في وسط منطقة البحث وتقدر مساحتها بـ (22) كم² ويبلغ عدد السكان فيها (257,745) نسمة حسب اسقاطات 2021م، وتقع مديرية الصافية في الجزء الجنوبي من منطقة البحث وتقدر مساحتها بـ (20) كم² ويبلغ عدد السكان فيها (226,121) حسب اسقاطات 2021م، ويحد منطقة البحث من جهة الشمال مديرية بني الحارث ومن الشرق مديرية بني حشيش وسنحان وبني بهلول ومن الجنوب مديرية بني سنحان وبني بهلول والسبعين ومن الغرب مديريات الوحدة وصنعاء القديمة والثورة وبني الحارث، خريطة (1).

مشكلة البحث:

- 1- تعد منطقة البحث من المناطق الحضرية في أمانة العاصمة التي شهدت زيادة كبيرة في عدد السكان ومساحة العمران وتنوع الأنشطة الاقتصادية المختلفة.
- 2- تعاني منطقة البحث من عدم وجود شبكة كافية للمياه والصرف الصحي، وهذا أدى إلى انتشار عدد كبير من الآبار الجوفية العشوائية كمصدر رئيسي لتلبية حاجة السكان للاستخدامات المنزلية وممارسة الأنشطة الاقتصادية المختلفة.
- 3- يتم سحب المياه بكميات كبيرة من هذه الآبار العشوائية، كما تتعرض إلى العديد من الملوثات منها مخلفات الصرف الصحي المنزلي (الحفر الامتصاصية).
- 4- يساهم النشاط الزراعي والصناعي الذي يمارسه السكان في التأثير على نوعية المياه الجوفية، بالإضافة إلى تراكم كميات كبيرة من النفايات الصلبة خاصة أثناء موسم هطول الأمطار.
- 5- يؤثر استخدام المزارعين للأسمدة والمبيدات والمخلفات الكيميائية بشكل عشوائي، وكذلك تزايد مخلفات الأنشطة الصناعية على نوعية المياه الجوفية.

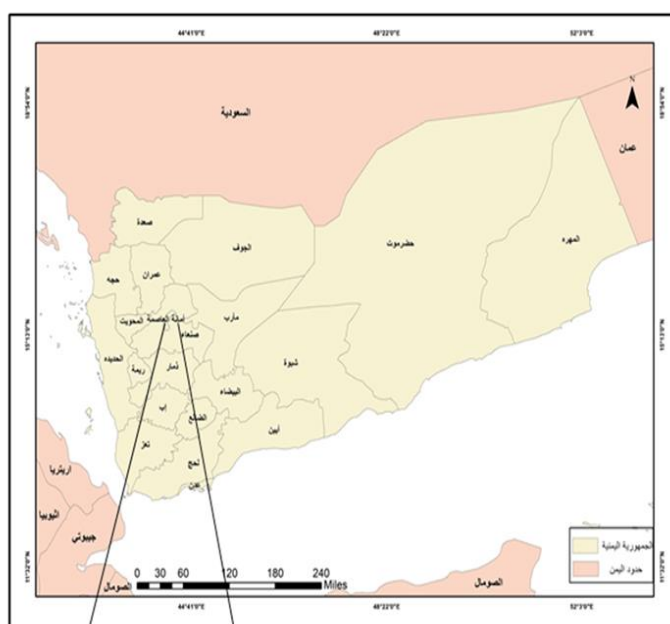
أهداف البحث:

الهدف الرئيس لهذا البحث: تقييم نوعية المياه الجوفية لكل بئر ومدى صلاحيتها للاستخدامات البشرية في منطقة البحث باستخدام الطريقة الحسابية الموزونة لمؤشر نوعية المياه الجوفية (WAWQI).

وتتفرع من الهدف الرئيس الأهداف الثانوية الآتية:

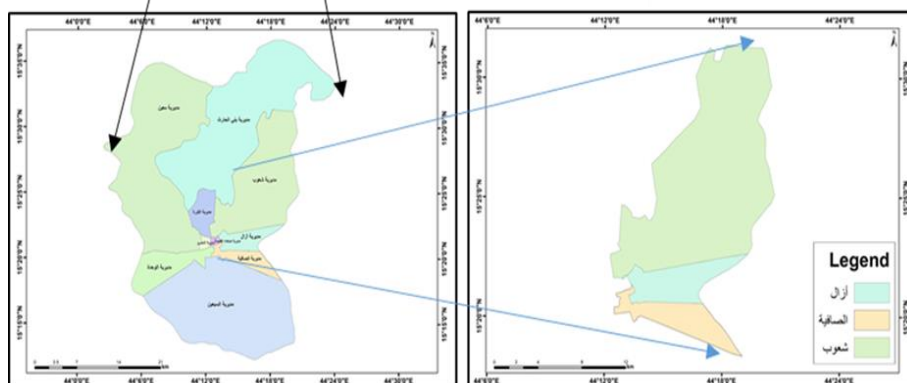
- 1- تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه الجوفية في منطقة البحث.
- 2- إنتاج خريطة رقمية توضح نوعية المياه الجوفية لكل بئر ومدى صلاحيتها للاستخدامات البشرية في منطقة البحث باستخدام الطريقة الحسابية الموزونة لحساب مؤشر نوعية المياه الجوفية (WAWQI) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.
- 3- تحليل علاقة الارتباط بين معايير نوعية المياه الجوفية وتأثيرها على نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث.

خريطة (1) الموقع الجغرافي لمنطقة
الجمهورية اليمنية



أمانة العاصمة

منطقة البحث



المصدر: أمانة العاصمة، (2020): التقسيم الإداري لمديريات أمانة العاصمة،

أهمية البحث:

تكمُن أهمية هذا البحث في النقاط الآتية:

- 1- توعية سكان منطقة البحث بخطورة استخدام المياه الجوفية غير الصالحة للاستخدامات البشرية.
- 2- تساعد الجهات المعنية على معرفة الآبار غير الصالحة للاستخدام البشري، وعمل الإجراءات اللازمة للحد من استخدامها والحد من انتشار الأمراض المرتبطة بالمياه في منطقة البحث.
- 3- تساعد صناع القرار في إعداد خطط ومشاريع التنمية المائية وتنفيذها في منطقة البحث.
- 4- يعد هذا البحث إضافة علمية؛ لكونه أول بحث علمي في قسم الجغرافيا عن نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث باستخدام الطريقة الحسابية الموزونة لمؤشر نوعية المياه الجوفية (WAWQI)، ومرجع علمي يستفيد منه الباحثون والمهتمون بقضايا المياه الجوفية.

منهجية البحث

اعتمد هذا البحث على المنهج الكمي-التحليلي:

تم استخدام المنهج الكمي التحليلي لعمل التحليلات المكانية والإحصائية لبيانات البحث الميدانية والتحليلات المختبرية، وإنتاج الخرائط والأشكال البيانية باستخدام البرامج التقنية لتحديد نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث، حيث مر البحث بمراحل متعددة كالآتي:

المرحلة الأولى: تضمنت عملية جمع المراجع والأبحاث العلمية والبيانات الإحصائية والخرائط الخاصة بمنطقة البحث، وتم عمل الدراسة المكتبية.

المرحلة الثانية: مرحلة الدراسة الميدانية التي كان فيها إجراء المقابلات مع بعض السكان وتوثيق الملاحظات المباشرة وجمع بيانات آبار عينات البحث وأخذها إلى المختبر لعمل التحليلات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية.

المرحلة الثالثة: حصلنا في هذه المرحلة على نتائج التحاليل المختبرية واستخدمت الطريقة الحسابية الموزونة (WAWQI) لتحديد نوعية المياه الجوفية لكل بئر، بالإضافة إلى عمل التحاليل الإحصائية وإنتاج خريطة التباين المكاني لنوعية آبار المياه الجوفية في منطقة البحث في برنامج (ArcGIS 10.6).

الإطار الميداني للبحث

الطريقة الحسابية الموزونة لمؤشر نوعية المياه (WAWQI)

عرف Ashwani (2009, p52) مؤشر نوعية المياه (Water Quality Index) أنه عبارة عن مجموعة من المحددات أو المعايير التي يمكن استخدامها لتحديد نوعية المياه الكلية، ومؤشر نوعية المياه أساساً عبارة عن صيغة رياضية لحساب قيمة مفردة لقياسات واختبارات متعددة تعطي في النهاية معامل يحدد نوعية المياه الجوفية في منطقة ما، كما أشار Swarna (2010, p200) إلى أنه يُحسب مؤشر نوعية المياه لاختصار العدد الكبير من محددات ومعايير نوعية المياه إلى قيمة عددية واحدة، كما يعكس الأثر المركب لمحددات نوعية المياه في نوعية المياه الكلية لتحديد نوعية المياه الجوفية لكل بئر من آبار المياه الجوفية لعينات البحث استخدمت الطريقة الحسابية الموزونة لمؤشر نوعية المياه الجوفية لتحديد مدى صلاحية كل بئر للشرب في منطقة البحث بناء على حساب قيم معايير نوعية المياه، حيث استخدم (19) معياراً، وهي (القولونيات البرازية، القلوية الكلية، القولونيات الكلية، اللون، الحديد، الأملاح الذائبة، العكارة، الماغنيسيوم، التوصيلية الكهربائية، العسر الكلي، الكبريتات، الأس الهيدروجيني، النترات، الكلوريد، الكالسيوم، الفلوريد،

البوتاسيوم، الصوديوم، البيكربونات) جدول (1)، لعدد (51) بئراً، موزعة على معظم منطقة البحث خريطة (2)، التي خللت خصائصها الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية في المختبر، وبواسطة النتائج التي حصلنا عليها من المختبر لكل المعايير حسب مؤشر نوعية المياه حسب المواصفات القياسية العالمية والمحلية لمياه الشرب بواسطة المعادلة (1):

$$WQI = \frac{\sum (wn * Qn)}{\sum wn} \quad (1)$$

المصدر: (Ashwani, 2009, p53)

للحصول على مؤشر نوعية المياه الجوفية اعتماداً على استخدام المعادلة رقم (1) أتبع الخطوات الآتية:

1-1-4 حساب وحدة الوزن (wn):

عرف G. Achuthan (2006, p696) وحدة الوزن أنها الأهمية النسبية لكل معيار محدد من معايير نوعية المياه بناء على الحدود القياسية المسموح بها لمياه الشرب، ولحساب وحدة الوزن يجب أن يكون مجموع وحدة الوزن لكل المعايير يساوي واحداً صحيحاً جدول (2)، ولحساب وحدة الوزن لكل معيار من المعايير الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية استخدمت المعادلة (2):

$$Wn = \frac{k}{sn} \quad (2)$$

المصدر: (Ashwani, 2009, p53)

وللحصول على قيمة ثابت التناسب (k) تم استخدام المعادلة (3):

$$K = \frac{1}{\sum 1/sn} \quad (3)$$

المصدر: (Ashwani, 2009, p53)

حيث أن: Sn = الحدود القياسية المسموحة

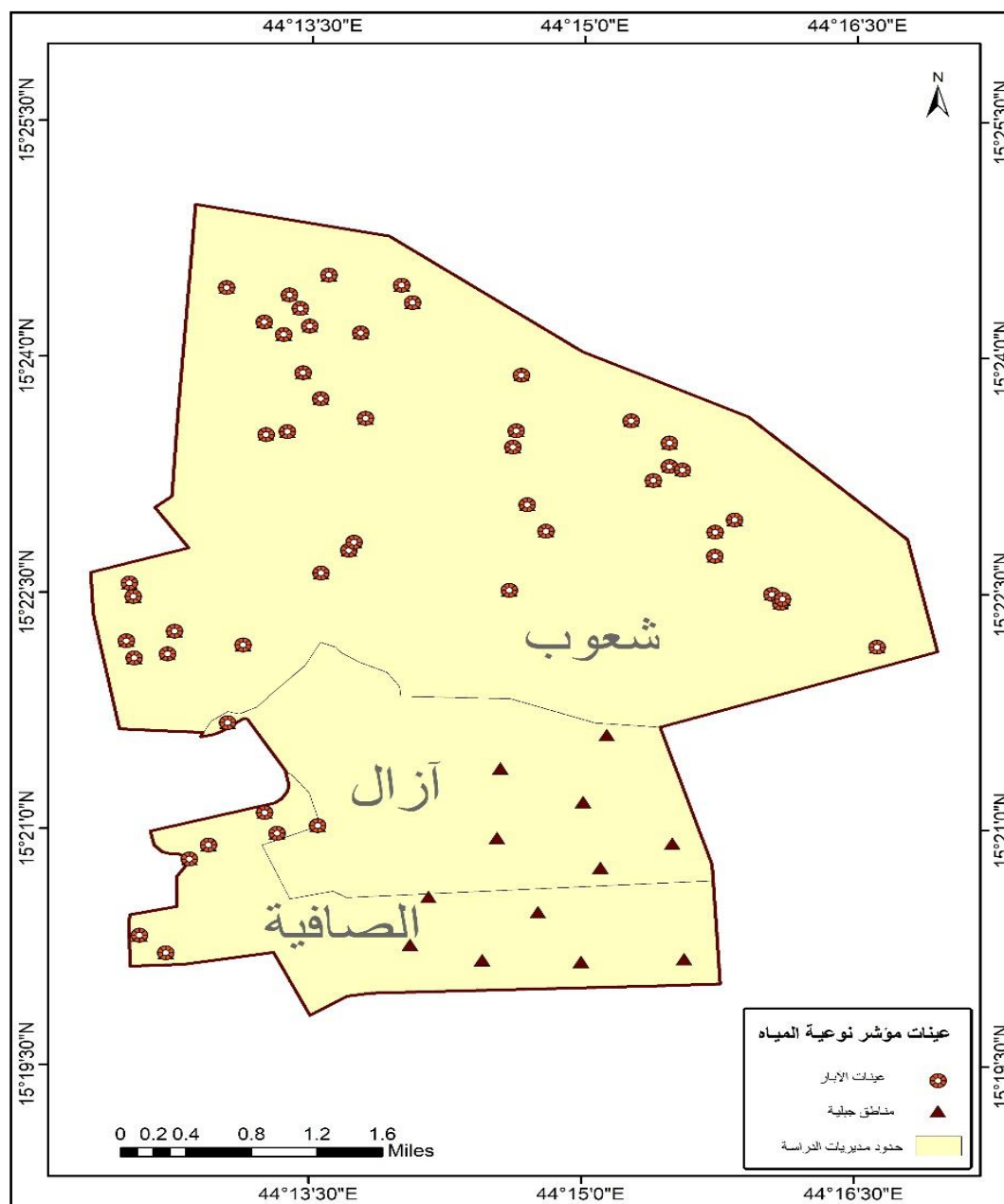
$$\sum \frac{1}{s_n} = \frac{1}{s_{n1}} + \frac{1}{s_{n2}} + \frac{1}{s_{n3}} + \dots \frac{1}{s_{n19}}$$

جدول (1) معايير نوعية المياه الجوفية

م	نوع المعيار	المعيار	المصطلح الإنجليزي	الرمز
1	المعايير الفيزيائية	اللون	Color	C
2		العكارة	Turbidity	T
3		التوصيلية الكهربائية	Electrical Conductivity	EC
4		الأس الهيدروجيني	Point hydrogen	pH
5		الأملاح الكلية الذائبة	Total Dissolved Solids	TDS
6	المعايير الكيميائية	القلوية الكلية	Total Alkalinity	TA
7		العسر الكلي	Total Hardness	TH
8		الكربونات	Carbonate	CO ₃
9		البكربونات	Bicarbonate	HCO ₃
10		الكلوريد	Chloride	CL
11		الكبريتات	Sulphide	So ₄
12		النترات	Nitrate	No ₃
13		الفلوريد	Fluoride	F
14		الحديد	Ferrous iron	Fe
15		الكالسيوم	Calcium	Ca
16		الماغنسيوم	Magnesium	Mg
17		الصوديوم	Sodium	Na
18		البوتاسيوم	Potassium	K
19	المعايير البيولوجية	القولونيات الكلية	T0tal coliform	TC
20		القولونيات البرازية	Fecal coliform	FC

المصدر: الباحثة

خريطة (2) عينات آبار المياه الجوفية بمنطقة البحث



المصدر: النزول الميداني للباحثة وبرنامج ArcGIS 10.6.

4-1-2 حساب قيم المؤشر الفرعي لنوعية المياه (Qn):

حُسبت قيم المؤشر الفرعي لكل معيار على حده للمعايير الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية الموضحة في ملحق (1) و(2) و(3) و(4)، اعتماداً على استخدام المعادلة (4):

$$Q_n = \frac{[(v_n - v_o)]}{[(s_n - v_o)]} * 100 \quad (4)$$

المصدر: (Ashwani, 2009, p53)

حيث إن:

V_n = تركيز معايير مياه عينات البحث

S_n = الحدود القياسية المسموحة

V_o = القيم الواقعي للمعايير في المياه الصافية

جدول (2) وحدة وزن معايير نوعية المياه الجوفية

العنصر	sn	1/sn	k	wn
القولونيات البرازية	10	0.1000	0.42	0.0421
القلوية الكلية	200	0.0050	0.42	0.0021
القولونيات الكلية	10	0.1000	0.42	0.0421
اللون	15	0.0667	0.42	0.0281
الحديد	1	1.0000	0.42	0.4208
الأملاح الذائبة	1500	0.0007	0.42	0.0003
العكارة	5	0.2000	0.42	0.0842
الماغنيسيوم	150	0.0100	0.42	0.0028
التوصيلية الكهربائية	2500	0.0025	0.42	0.0002
العسر الكلي	500	0.0020	0.42	0.0008
الكبريتات	400	0.0004	0.42	0.0011
الأس الهيدروجيني	9	0.1111	0.42	0.0468
النترات	50	0.0200	0.42	0.0084
الكلوريد	600	0.0017	0.42	0.0007
الكالسيوم	200	0.0050	0.42	0.0021
الفلوريد	1.5	0.6667	0.42	0.2806
البوتاسيوم	12	0.0833	0.42	0.0351
الصوديوم	400	0.0020	0.42	0.0011
البكربونات	500	0.0025	0.42	0.0008
Σ	-	2.38	-	1.00

المصدر: الباحثة اعتماداً على معادلة (2)

كما حُسبت قيمة المؤشر الفرعي لنوعية المياه الخاص بالأس الهيدروجيني بواسطة المعادلة (5):

$$Q Ph = \frac{[(vPH - 7)]}{[(8.5 - 7)]} * 100 \quad (5)$$

4-1-3 حساب مؤشر نوعية المياه (WQI):

حُسبت نوعية المياه الكلي لكل بئر لتحديد مدى صلاحيتها للاستخدام بواسطة القيمة التي سبق التوصل لها في مؤشر نوعية المياه وربطها بمؤشرات نوعية المياه الذي طوره براون وآخرون سنة 1972م جدول (5) واعتماداً على المعادلة (1)، حيث أوجدت قيمة كل معيار في مؤشر نوعية المياه الجوفية جدول (3)، ثم حُسبت القيمة الإجمالية للمعايير لكل بئر وتعد هذه القيمة هي مؤشر نوعية المياه (WQI) التي تحدد نوعية المياه للعينات، جدول (4)، وقد وجد أن (28) بئراً، بنسبة 55% من العينات غير صالحة للاستخدام، بينما 4% من العينات ذات نوعية متدنية وتظهر في بئرين، وبئرين آخرين ذات نوعية متدنية جداً بنسبة 4%، ويعود تدني نوعية المياه الجوفية في هذه الآبار إلى الكثافة السكانية العالية غرب مديرتي أزال والصفافية؛ مما يؤدي إلى السحب الجائر للمياه الجوفية وبالتالي تركيز بعض العناصر المكونة للمياه، هذا فضلاً عن عدم التزام ملاك الآبار بإجراءات السلامة مما يؤدي إلى وصول بعض الملوثات إلى البئر، وقد لوحظ عدم وجود شبكة صرف صحي في مديرية شعوب عدا جنوبها الغربي، بالإضافة إلى وجود عدد من الصدوع والفواصل والشقوق في المديرية عينها، كل ذلك أدى إلى سهولة تسرب الصرف الصحي ومياه الأمطار المختلطة مع عصارة مخلفات النفايات الصلبة ومياه ومخلفات الأنشطة الزراعية والصناعية وانسيابها مع اتجاه الانحدار إلى غرب منطقة البحث وتسربها إلى الخزانات الجوفية دون أن يحدث لها تنقية (فلتر) عبر طبقات التربة ومما يساعد على ذلك طبيعة التكوينات الجيولوجية للإرسابات الرباعية ذات النفاذية العالية. بينما وُجد أن (13) بئراً، بنسبة 25% من العينات نوعيتها ممتازة، وعدد الآبار ذات النوعية الجيدة (6) آبار وتمثل 12% من عينات البحث، جدول (5)، وشكل (1)، وتوضح خريطة (2) مؤشر نوعية آبار المياه الجوفية لعينات البحث.

4-1-4 تحليل علاقة الارتباط بين معايير نوعية المياه الجوفية:

لتحليل علاقة الارتباط بين معايير نوعية المياه الجوفية المتمثلة بالمعايير الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية لعينات آبار المياه الجوفية في منطقة البحث استخدم معامل ارتباط بيرسون (Pearson) لتحليل علاقة الارتباط إحصائياً، وقد أشار العتبي والطائي (العتبي والطائي، 2012، ص102) إلى أن تحليل معامل الارتباط يستخدم لتحديد نوع وقوة العلاقة بين متغيرين، ويرمز له بالرمز R وتقع قيم معامل الارتباط في المدى (-1 < R < 1)، وتكون العلاقة بين المتغيرين طردية عندما تكون قيمة R أكبر من (0) وتكون العلاقة عكسية عندما تكون قيمة R أصغر من (0)، وتنعقد العلاقة بين المتغيرين إذا كانت R تساوي (0)، وتتدرج قوة علاقة الارتباط بحسب درجة قربها أو بعدها عن (1)، جدول (6)، وتدل قوة علاقة الارتباط بين المعايير على مدى التأثير بين كل معيار وآخر في نوعية المياه الجوفية، فكلما كانت علاقة الارتباط قوية كان تأثيرها أقوى في تدني نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث.

جدول (3) قيمة كل معيار في مؤشر نوعية المياه الجوفية بمنطقة البحث

FC	TC	Fe	No3	K	Na	Mg	Ca	F	So4	CL	HCO3	TA	TH	TDS	EC	pH	T	C	id
0	0	6	1.12	1.44	0.23	0.15	0.09	3.2	0.02	0.05	0.02	0.10	0.06	0.02	0.01	3.30	5.05	0.4	1
0	0	1	0.02	1.23	0.14	0.12	0.07	6.0	0.01	0.01	0.04	0.12	0.04	0.01	0.01	2.40	3.37	12.9	2
0	0	157	0.01	0.82	0.44	0.03	0.05	1.9	0.03	0.04	0.01	0.06	0.03	0.02	0.01	0.62	13.47	0.0	3
0	0	0	0.24	0.98	0.26	0.13	0.08	2.6	0.00	0.02	0.04	0.19	0.05	0.02	0.01	1.25	0.00	0.0	4
0	0	21	0.01	1.23	0.20	0.10	0.08	0.9	0.03	0.02	0.03	0.16	0.04	0.01	0.01	-0.62	0.00	2.6	5
0	0	11	0.07	1.40	0.19	0.17	0.08	202.0	0.03	0.02	0.04	0.20	0.05	0.02	0.01	2.18	0.00	0.0	6
0	0	3	0.22	1.02	0.19	0.13	0.10	4.5	0.03	0.02	0.04	0.22	0.06	0.02	0.01	1.71	0.00	1.1	7
0	0	6	0.07	1.93	0.24	0.11	0.10	5.2	0.02	0.02	0.04	0.20	0.05	0.02	0.01	4.36	0.00	1.5	8
0	0	0	0.17	1.16	0.21	0.15	0.09	30.5	0.02	0.02	0.04	0.21	0.05	0.02	0.01	1.25	1.68	0.0	9
0	0	0	0.04	1.09	0.32	0.17	0.12	0.0	0.05	0.04	0.04	0.18	0.07	0.02	0.01	2.90	0.00	9.5	10
0	0	62	0.01	1.02	0.22	0.12	0.09	13.3	0.02	0.02	0.04	0.20	0.05	0.01	0.01	3.80	8.42	0.4	11
0	0	6	0.07	0.82	0.21	0.14	0.11	4.5	0.03	0.03	0.05	0.24	0.06	0.02	0.01	-0.56	0.00	0.0	12
0	0	6	0.04	0.81	0.17	0.12	0.10	6.0	0.03	0.02	0.04	0.22	0.05	0.01	0.01	0.28	3.37	0.7	13
0	0	1	0.06	0.95	0.21	0.16	0.09	5.8	0.03	0.02	0.04	0.23	0.06	0.01	0.01	1.87	0.00	0.0	14
0	0	3	0.07	0.88	0.13	0.15	0.07	0.0	0.01	0.01	0.04	0.21	0.05	0.01	0.01	3.12	0.00	2.8	15
0	0	8	0.08	1.54	0.16	0.11	0.07	5.6	0.01	0.01	0.05	0.25	0.04	0.01	0.01	0.94	0.00	0.2	16
0	0	4	0.04	0.76	0.13	0.15	0.07	0.9	0.02	0.01	0.05	0.24	0.05	0.01	0.01	3.12	0.00	0.0	17
0	0	13	0.04	0.88	0.13	0.17	0.07	4.3	0.01	0.01	0.05	0.03	0.05	0.01	0.01	5.92	6.73	0.0	18
0	0	8	0.04	1.09	0.19	0.12	0.07	0.0	0.02	0.01	0.04	0.21	0.04	0.01	0.01	1.84	0.00	0.0	19
0	0	6	0.13	0.80	0.17	0.19	0.07	0.9	0.02	0.01	0.06	0.29	0.05	0.01	0.01	3.12	1.68	2.8	20
0	0	102	0.07	0.91	0.17	0.11	0.08	9.2	0.02	0.01	0.04	0.23	0.04	0.01	0.01	-0.12	8.42	0.6	21
0	0	41	0.01	0.88	0.25	0.08	0.08	5.1	0.02	0.02	0.04	0.19	0.04	0.01	0.01	0.53	0.00	0.0	22
8	4	13	0.01	0.91	0.18	0.12	0.10	0.0	0.03	0.02	0.04	0.21	0.05	0.01	0.01	3.12	1.68	9.4	23
25	13	15	2.36	1.75	0.48	0.20	0.19	6.9	0.03	0.11	0.01	0.07	0.10	0.03	0.02	2.12	20.20	0.4	24
25	17	4	0.16	0.74	0.18	0.12	0.08	6.5	0.02	0.01	0.06	0.28	0.05	0.01	0.01	2.43	3.37	2.8	25
29	21	41	0.04	1.05	0.17	0.12	0.09	6.0	0.02	0.02	0.04	0.25	0.05	0.01	0.01	3.12	8.42	2.4	26
29	21	121	0.01	0.88	0.19	0.11	0.07	8.6	0.02	0.01	0.04	0.21	0.04	0.01	0.01	0.25	6.73	0.2	27
34	21	1	0.13	0.88	0.23	0.15	0.10	9.2	0.02	0.02	0.05	0.25	0.06	0.02	0.01	-0.12	0.00	0.0	28
46	34	6	0.19	1.47	0.27	0.12	0.13	48.6	0.03	0.05	0.03	0.16	0.07	0.02	0.01	-0.62	6.73	0.0	29
84	55	17	0.15	0.88	0.23	0.13	0.10	8.8	0.03	0.02	0.05	0.24	0.06	0.02	0.01	1.28	0.00	0.7	30
93	67	7	0.07	1.05	0.12	0.13	0.07	9.9	0.02	0.01	0.04	0.21	0.04	0.01	0.01	2.59	0.00	1.1	31
109	34	11	0.08	1.27	0.20	0.09	0.05	20.6	0.01	0.01	0.04	0.21	0.03	0.01	0.01	-0.94	1.68	0.6	32
122	72	13	0.86	1.66	0.37	0.18	0.14	2.2	0.03	0.04	0.05	0.26	0.08	0.02	0.01	2.49	6.73	0.0	33
135	67	22	0.10	0.63	0.29	0.10	0.08	6.9	0.02	0.04	0.02	0.12	0.04	0.02	0.01	2.62	0.00	7.5	34
139	105	0	0.15	0.91	0.29	0.10	0.08	1.7	0.03	0.02	0.04	0.19	0.04	0.01	0.01	-1.56	10.10	0.0	35
173	143	7	0.31	0.70	0.21	0.36	0.18	5.1	0.04	0.08	0.03	0.15	0.12	0.03	0.02	2.81	1.68	0.0	36
185	135	13	0.37	1.23	0.21	0.20	0.25	82.3	0.05	0.08	0.03	0.17	0.12	0.03	0.02	0.62	13.47	8.2	37
202	156	7	0.18	1.16	0.23	0.20	0.14	0.2	0.04	0.05	0.03	0.17	0.08	0.02	0.01	2.15	0.00	3.2	38
210	139	22	0.03	1.33	0.35	0.15	0.10	5.1	0.04	0.05	0.02	0.12	0.06	0.02	0.01	1.68	1.68	1.7	39
231	194	74	0.03	0.91	0.18	0.16	0.08	8.4	0.02	0.02	0.05	0.27	0.05	0.01	0.01	1.75	3.37	0.0	40
286	244	6	0.38	0.53	0.14	0.05	0.07	5.2	0.01	0.01	0.04	0.18	0.03	0.01	0.01	0.90	3.37	1.7	41
303	236	147	0.33	0.81	0.13	0.11	0.05	11.4	0.01	0.01	0.03	0.16	0.03	0.01	0.01	2.18	3.37	0.0	42
400	337	3	0.20	0.70	0.24	0.08	0.10	3.0	0.01	0.04	0.03	0.17	0.05	0.02	0.01	2.24	0.00	0.0	43
429	341	7	0.06	1.25	0.17	0.11	0.06	8.2	0.01	0.01	0.05	0.25	0.04	0.01	0.01	2.37	0.00	0.0	44
450	412	3	0.14	0.70	0.25	0.12	0.09	7.7	0.01	0.04	0.03	0.16	0.05	0.02	0.01	0.90	3.37	0.0	45
471	404	31	0.16	1.06	0.19	0.09	0.07	3.9	0.02	0.01	0.05	0.23	0.04	0.01	0.01	3.12	0.00	0.7	46
1052	631	4	0.00	1.40	0.21	0.15	0.11	3.2	0.02	0.05	0.02	0.12	0.06	0.02	0.01	2.18	1.68	2.4	47
1263	459	6	1.15	1.65	0.40	0.32	0.18	8.6	0.03	0.07	0.07	0.36	0.11	0.03	0.02	-0.47	8.42	0.0	48
1515	960	6	0.16	0.67	0.19	0.05	0.08	3.0	0.02	0.01	0.04	0.19	0.04	0.01	0.01	-0.31	0.00	0.0	49
1662	1178.4	5.6	0.3	1.4	0.2	0.1	0.1	3.6	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	2.2	0.0	2.6	50
1692	1178.4	22.4	0.0	1.2	0.2	0.1	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	2.2	1.7	0.0	51

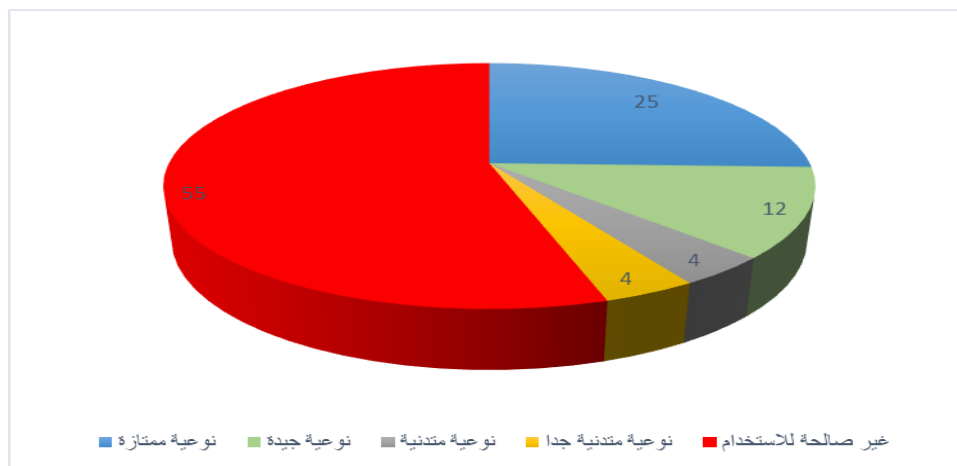
المصدر: الباحثة اعتماداً على معادلة (1)

جدول (4) نوعية مياه آبار عينات البحث

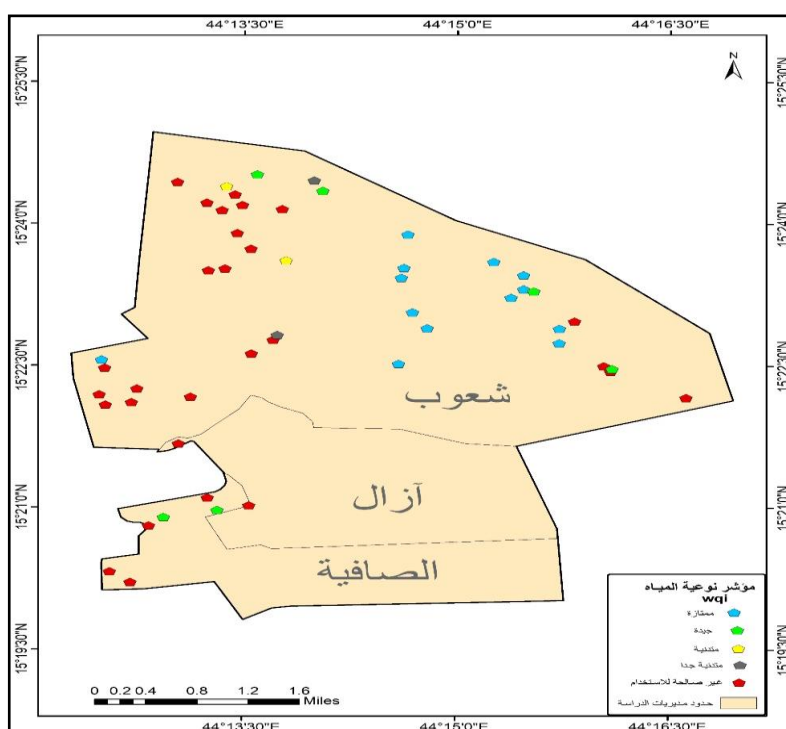
نوعية المياه	WQI	id	نوعية المياه	WQI	id
غير صالحة للاستخدام	188.52	27	ممتازة	20.81	1
متدنية	67.07	28	جيدة	27.89	2
غير صالحة للاستخدام	142.88	29	غير صالحة للاستخدام	174.63	3
غير صالحة للاستخدام	168.43	30	ممتازة	5.87	4
غير صالحة للاستخدام	182.34	31	جيدة	25.90	5
غير صالحة للاستخدام	178.20	32	غير صالحة للاستخدام	217.70	6
غير صالحة للاستخدام	221.39	33	ممتازة	12.19	7
غير صالحة للاستخدام	242.95	34	ممتازة	19.52	8
غير صالحة للاستخدام	256.17	35	جيدة	35.57	9
غير صالحة للاستخدام	334.40	36	ممتازة	14.60	10
غير صالحة للاستخدام	439.84	37	متدنية جدا	89.41	11
غير صالحة للاستخدام	372.56	38	ممتازة	11.31	12
غير صالحة للاستخدام	384.12	39	ممتازة	17.62	13
غير صالحة للاستخدام	514.71	40	ممتازة	10.94	14
غير صالحة للاستخدام	548.51	41	ممتازة	10.35	15
غير صالحة للاستخدام	704.61	42	ممتازة	17.50	16
غير صالحة للاستخدام	746.17	43	ممتازة	9.82	17
غير صالحة للاستخدام	789.78	44	جيدة	31.04	18
غير صالحة للاستخدام	879.09	45	ممتازة	12.11	19
غير صالحة للاستخدام	915.95	46	ممتازة	15.95	20
غير صالحة للاستخدام	1699.23	47	غير صالحة للاستخدام	122.13	21
غير صالحة للاستخدام	1747.78	48	جيدة	47.89	22
غير صالحة للاستخدام	2484.28	49	جيدة	41.09	23
غير صالحة للاستخدام	2857.12	50	متدنية جدا	88.28	24
غير صالحة للاستخدام	2902.91	51	متدنية	63.17	25
—	—	—	غير صالحة للاستخدام	113.01	26

المصدر: الباحثة اعتماداً على معادلة WQI ومقياس التصنيف

خريطة (2) مؤشر نوعية المياه الجوفية بمنطقة البحث



المصدر: الباحثة اعتماداً على جدول (4)



المصدر: الباحثة اعتماداً على برنامج ArcGIS 10.6 و جدول (4)

جدول (5)

النسبة المئوية	عدد الآبار	نوعية المياه	مؤشر نوعية المياه
25	13	نوعية ممتازة	25 - 0
12	6	نوعية جيدة	50 - 26
4	2	نوعية متدنية	75 - 51
4	2	نوعية متدنية جدا	100 - 76
55	28	غير صالحة للاستخدام	>100
100	51	—	Σ

عن طريق تحليل علاقة الارتباط بين معايير نوعية المياه تم حساب مصفوفة الارتباط للمعايير، جدول (7)، ويتضح وجود علاقة طردية تامة بلغت 100% بين كل من (HCO₃-TH) و (FC-TC) وهذا يدل على أنه كلما زادت البيكربونات زاد العسر الكلي بشكل كبير جداً، وكلما زاد عدد القلويات الكلية زاد عدد القلويات البرازية، إضافة إلى ذلك توجد علاقة ارتباط طردية قوية جداً بين (Ca-TH) و (TDS-EC) وبنسبة تأثير (96%) و (94%) على التوالي، حيث إنه كلما زاد الكالسيوم زاد العسر الكلي وكلما زادت الأملاح الكلية الذائبة زادت التوصيلية الكهربائية، ما يؤدي إلى تدني نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث، ومن ناحية أخرى لوحظ وجود علاقة ارتباط طردية قوية بين كل من (Ca-EC) و (C-T) و (Ca-TDS) و (EC-TH) و (TDS-TH) و (SO₄-Mg) و (CL-EC)، وبنسبة تأثير (81%) و (81%) و (79%) و (75%) و (74%) و (72%) و (70%) على التوالي، كما توضح مصفوفة مقارنة علاقة الارتباط وجود علاقة ارتباط طردية متوسطة بين كل من (Na-PH) و (K-C) و (Ca-CL) و (Ca-SO₄) و (CL-TDS) و (SO₄-TH) و (SO₄-TDS) وبنسبة تأثير تراوحت بين (50%-67%)، بالإضافة إلى وجود علاقة ارتباط ضعيفة إلى ضعيفة جداً بين معظم المعايير التي تراوحت بين (1%-49%) وهذه العناصر تأثيرها محدود في نوعية المياه الجوفية، كما توجد علاقة ارتباط عكسية متوسطة بين (PH-Mg) و (PH-TH) نسبة تأثيرهما (-57%) و (-50%) على التوالي، إضافة إلى وجود علاقة ارتباط عكسية ضعيفة إلى ضعيفة جداً تراوحت نسبة تأثيرها بين (1%-41%).

جدول (6) درجات قوة معامل الارتباط

ارتباط عكسي					ارتباط طردي					
قوي جداً	قوي	متوسط	ضعيف	ضعيف جداً	ضعيف جداً	ضعيف	متوسط	قوي	قوي جداً	
1-	0.9-	0.7-	0.5-	0.3-	0	0.3	0.5	0.7	0.9	1
← تام					منعدمة					تام →

المصدر: العتبي والطائي، 2012، ص102

جدول (7) مصفوفة معامل الارتباط بين المعايير

HCO ₃	Na	K	F	Ca	CL	NO ₃	pH	SO ₄	EC	Fe	TDS	TC	Mg	FC	C	TA	T	TH	المعايير
0.35	-0.09	-0.22	-0.26	0.96	0.55	0.31	-0.50	0.56	0.07	0.15	0.74	0.07	0.64	0.75	0.10	0.33	0.05	1.00	TH
0.26	-0.18	0.05	0.02	0.02	-0.08	-0.24	-0.26	-0.04	0.19	-0.02	0.02	0.20	0.32	0.03	0.81	0.26	1.00		T
1.00	0.29	0.28	-0.04	0.26	0.11	-0.01	-0.22	0.01	0.22	0.21	0.45	0.22	0.40	0.42	0.19	1.00			TA
0.19	-0.33	0.00	-0.04	0.05	0.15	-0.30	-0.30	-0.16	0.35	-0.01	0.03	0.36	0.44	0.05	1.00				C
0.42	0.49	0.19	0.06	0.81	0.70	0.25	-0.11	-0.05	0.01	-0.01	0.94	0.01	0.35	1.00					EC
0.42	-0.35	-0.19	-0.27	0.49	0.21	-0.02	-0.57	0.72	0.45	-0.01	0.34	0.46	1.00						Mg
0.23	-0.12	-0.02	-0.09	-0.02	-0.06	-0.16	-0.13	-0.05	1.00	0.02	-0.01	1.00							TC
0.44	0.44	0.17	0.04	0.79	0.67	0.25	-0.12	-0.05	-0.01	0.19	1.00								TDS
0.22	0.24	-0.12	-0.05	0.16	0.07	-0.09	-0.06	0.19	0.03	1.00									Fe
0.23	-0.11	-0.03	-0.05	-0.02	-0.06	-0.16	-0.13	-0.05	1.00										FC
0.01	0.46	0.10	0.16	0.62	0.19	0.04	-0.02	1.00											SO ₄
-0.25	0.50	0.38	0.31	-0.41	-0.06	0.09	1.00												pH
-0.02	0.14	-0.07	-0.05	0.40	0.46	1.00													NO ₃
0.12	0.15	-0.01	-0.10	0.64	1.00														CL
0.27	0.01	-0.20	-0.21	1.00															Ca
-0.06	0.39	0.52	1.00																F
0.24	0.49	1.00																	K
0.26	1.00																		Na
1.00																			HCO ₃

المصدر: الباحثة اعتماداً على ملحق (4,3,2,1)

نتائج البحث:

- توصل البحث إلى عدد من النتائج، يمكن تلخيص أهمها كالآتي:
- أظهرت نتائج تحليل معامل بيرسون وجود علاقة ارتباط طردية تامة بين كل من (HCO₃-TH) و (FC-TC)، وقوية جداً بين (Ca-TH) و (TDS-EC)، وقوية بين (Ca-EC) و (C-T) و (Ca- TDS) و (EC-TH) و (TDS-TH) و (SO₄-Mg) و (CL-EC)، وأن أكثر العناصر المؤثرة في تلوث المياه الجوفية هي القلويات البرازية، القلويات الكلية، القلوية الكلية، اللون، العكارة، العسر الكلي، الحديد، الماغنسيوم، الأملاح الكلية الذائبة، التوصيلية الكهربائية، الكبريتات، الأس الهيدروجيني، الكالسيوم.
- بينت نتائج تحليل خصائص نوعية المياه الجوفية أن أكثر العناصر الفيزيائية التي تؤثر في تدني نوعية المياه الجوفية هي اللون والعكارة، تليها الأملاح الكلية الذائبة والتوصيلية الكهربائية والأس الهيدروجيني.

- وأكثر العناصر الكيميائية المؤثرة في تدني نوعية المياه الجوفية هي القلوية الكلية والعسر الكلي والحديد والماغنسيوم والكبريتات والكالسيوم.
- أظهرت نتائج تحليل الخصائص البيولوجية أنها تحتل المرتبة الأولى من حيث تأثيرها في تدني نوعية المياه الجوفية في منطقة البحث.
- بينت الطريقة الحسابية الموزونة لحساب مؤشر نوعية المياه الجوفية ان عدد الآبار الممتازة للاستخدامات البشرية (13) بئراً، بنسبة (25%)، وعدد الآبار الجيدة (6) آبار، بنسبة (12%).
- عدد الآبار المتدنية (2) بئر، وكذلك (2) بئر للمتدنية جداً، بنسبة (4%) لكل منهما.
- وصل عدد الآبار غير الصالحة للاستخدامات البشرية (28) بئراً، بنسبة (55%) من إجمالي عينات البحث.
- تتركز الآبار غير الصالحة للاستخدامات البشرية غرب وشمال غرب منطقة البحث.

التوصيات

- استخدام نتائج البحث من قبل الجهات الحكومية والجهات المختصة والاستفادة منها للحد من مشكلة تدني نوعية المياه في منطقة البحث.
- توسيع خدمات شبكة المياه والصرف الصحي لتخدم كل منطقة البحث بدلاً عن اعتماد السكان على الآبار العشوائية مصدرًا للمياه، والحفر الامتصاصية لتصرف مخلفاتهم.
- جعل الحفر الامتصاصية أسمنتية في المناطق التي لا تصلها شبكة الصرف الصحي لمنع تسربها إلى المياه الجوفية.
- إجراء تحاليل مختبرية دورية لمياه الآبار لمعرفة المناطق متدنية النوعية وإجراء المعالجات المناسبة.
- تفعيل دور البلدية في مجال التخلص من المخلفات الصلبة بشكل سليم لا يؤثر في نوعية المياه الجوفية.
- تقنين استخدام المزارعين للأسمدة والمبيدات وترشيدها.
- توعية أصحاب الآبار بأهمية الالتزام باشتراطات السلامة، وتشكيل لجان مختصة لمتابعتهم.
- تشكيل لجان تتبنى نشر الثقافة الصحية بين المواطنين وتحذيرهم من مضار استخدام المياه الملوثة على صحتهم.
- تشكيل لجان مشتركة بين وزارة الصحة ووزارة المياه والبيئة لمتابعة المناطق التي تنتشر فيها الأمراض المتعلقة بتلوث المياه والبحث عن مصادر وأسباب التلوث وإجراء الحلول المناسبة.

المراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية:
1. الكتب:

- العتبي، سامي، والطائي، إياد، (2012): الإحصاء والنمذجة في الجغرافيا، مكتبة ومطبعة أكرم للطباعة والاستنساخ، بغداد، العراق.

2- التقارير:

- أمانة العاصمة، (2020): التقسيم الإداري لمديريات أمانة العاصمة، مكتب نظم المعلومات بأمانة العاصمة، صنعاء.

- الجهاز المركزي للإحصاء، (2020): النتائج النهائية لإسقاطات السكان والمساكن والمنشآت، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، التقرير الأول، أمانة العاصمة.

References in English Language

ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية:

- Achuthan, Nair, et al, (2006): "Groundwater Quality of North-East Libya", Journal of Environmental Biology, 27(4), p695-700.

- Ashwani, Kumar, &Dua, Anish, (2009): "Water Quality Index for Assessment of Water Quality of Ravi at Madhopur- India", Global Journal of Environmental Sciences, 8(1), p49-57.

- Swarna, Latha, & Rao, Nageswara, (2010): "Assessment and spatial Distribution of Quality of Groundwater in Zone-II and III, Greater Visakhapatnam, India Using Water Quality Index (WQI) and GIS", International Journal of Environmental Sciences, 1(2), p198-212.

ملحق (1) قيم المؤشر الفرعي (C,T,PH,EC,TDS)

Qn	vn/sn	TDS	Qn	vn/sn	EC	Qn	vn-7/sn-7	vn-7	PH	Qn	vn/sn	Turbidity	Qn	vn/sn	COLOR	id
60	1	604	62	1	929	71	1	1	8	60	1	3	40	0	6	1
38	0	381	39	0	586	51	1	1	8	40	0	2	13	0	2	2
54	1	540	55	1	831	13	0	0	7	160	2	8	460	5	69	3
57	1	569	58	1	875	27	0	0	7	0	0	0	0	0	0	4
49	0	485	50	0	746	-13	0	0	7	0	0	0	0	0	0	5
55	1	551	57	1	848	47	0	1	8	0	0	0	93	1	14	6
53	1	534	55	1	821	37	0	1	8	0	0	0	0	0	0	7
54	1	544	56	1	837	93	1	1	8	0	0	0	40	0	6	8
53	1	534	55	1	821	27	0	0	7	20	0	1	53	1	8	9
72	1	723	74	1	1112	62	1	1	8	0	0	0	0	0	0	10
48	0	481	49	0	740	81	1	1	8	100	1	5	340	3	51	11
56	1	558	57	1	859	-12	0	0	7	0	0	0	13	0	2	12
52	1	517	53	1	795	6	0	0	7	40	0	2	0	0	0	13
53	1	528	54	1	813	40	0	1	8	0	0	0	27	0	4	14
40	0	404	41	0	622	67	1	1	8	0	0	0	0	0	0	15
39	0	386	40	0	594	20	0	0	7	0	0	0	100	1	15	16
43	0	434	45	0	668	67	1	1	8	0	0	0	7	0	1	17

41	0	408	42	0	627	127	1	2	9	80	1	4	0	0	0	18
39	0	386	40	0	594	39	0	1	8	0	0	0	0	0	0	19
46	0	459	47	0	706	67	1	1	8	20	0	1	0	0	0	20
42	0	421	43	0	647	-3	0	0	7	100	1	5	100	1	15	21
45	0	451	46	0	694	11	0	0	7	0	0	0	20	0	3	22
53	1	529	54	1	814	67	1	1	8	20	0	1	0	0	0	23
106	1	1063	109	1	1636	45	0	1	8	240	2	12	333	3	50	24
47	0	467	48	0	718	52	1	1	8	40	0	2	13	0	2	25
47	0	469	48	0	721	67	1	1	8	100	1	5	100	1	15	26
43	0	430	44	0	662	5	0	0	7	80	1	4	87	1	13	27
57	1	574	59	1	883	-3	0	0	7	0	0	0	7	0	1	28
77	1	766	79	1	1179	-13	0	0	7	80	1	4	0	0	0	29
56	1	556	57	1	856	27	0	0	7	0	0	0	0	0	0	30
41	0	409	42	0	629	55	1	1	8	0	0	0	27	0	4	31
37	0	365	37	0	562	-20	0	0	7	20	0	1	40	0	6	32
78	1	779	80	1	1199	53	1	1	8	80	1	4	20	0	3	33
54	1	544	56	1	837	56	1	1	8	0	0	0	0	0	0	34
53	1	533	55	1	820	-33	0	-1	7	120	1	6	267	3	40	35
97	1	966	99	1	1486	60	1	1	8	20	0	1	0	0	0	36
112	1	1117	115	1	1718	13	0	0	7	160	2	8	0	0	0	37
76	1	761	78	1	1171	46	0	1	8	0	0	0	293	3	44	38
63	1	625	64	1	961	36	0	1	8	20	0	1	113	1	17	39
45	0	450	46	0	692	37	0	1	8	40	0	2	60	1	9	40
34	0	344	35	0	529	19	0	0	7	40	0	2	0	0	0	41
31	0	307	32	0	473	47	0	1	8	40	0	2	60	1	9	42
56	1	558	57	1	858	48	0	1	8	0	0	0	0	0	0	43
38	0	380	39	0	584	51	1	1	8	0	0	0	0	0	0	44
55	1	545	56	1	839	19	0	0	7	40	0	2	0	0	0	45
43	0	425	44	0	654	67	1	1	8	0	0	0	0	0	0	46
70	1	700	72	1	1077	47	0	1	8	20	0	1	27	0	4	47
100	1	998	102	1	1536	-10	0	0	7	100	1	5	87	1	13	48
45	0	450	46	0	692	-7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	49
65	1	647	66	1	995	46	0	1	8	0	0	0	0	0	0	50
34	0	337	35	0	518	47	0	1	8	20	0	1	93	1	14	51

المصدر: الباحثة اعتماداً على معادلة (4) و(5)

ملحق (2) قيم المؤشر الفرعي (TH,TA,HCO3,CL,SO4)

Qn	vn/sn	SO4	Qn	vn/sn	Cl	Qn	vn/sn	HCO3	Qn	vn/sn	TA	Qn	vn/sn	TH	id
15	0	60	68	1	171	22	0	112	46	0	92	66	1	332	1
11	0	45	20	0	50	51	1	253	59	1	117	49	0	245	2
30	0	120	59	1	148	15	0	73	30	0	60	30	0	152	3
0	0	0	29	0	72	43	0	217	89	1	178	57	1	285	4
33	0	130	30	0	76	37	0	185	76	1	152	51	1	256	5
25	0	100	32	0	81	47	0	233	96	1	191	63	1	316	6
24	0	96	32	0	79	52	1	259	107	1	213	66	1	330	7
23	0	90	35	0	87	47	0	237	97	1	194	63	1	313	8
19	0	75	34	0	84	48	0	240	99	1	197	65	1	323	9
44	0	176	59	1	148	42	0	209	86	1	172	84	1	418	10
22	0	88	30	0	74	46	0	228	94	1	187	61	1	303	11
26	0	104	36	0	90	55	1	275	113	1	226	70	1	351	12
25	0	98	32	0	81	50	1	251	103	1	206	65	1	324	13
24	0	96	32	0	81	52	1	261	107	1	214	66	1	329	14
12	0	46	18	0	46	48	0	240	99	1	197	55	1	277	15
8	0	33	13	0	32	58	1	289	119	1	237	51	1	257	16
16	0	64	16	0	40	57	1	283	116	1	232	57	1	287	17
14	0	56	15	0	37	59	1	295	15	0	29	57	1	286	18
15	0	58	20	0	49	49	0	244	100	1	200	52	1	260	19
16	0	64	20	0	49	67	1	335	138	1	275	58	1	292	20
16	0	62	17	0	43	52	1	262	108	1	215	52	1	261	21
20	0	78	27	0	67	45	0	223	92	1	183	48	0	240	22
27	0	106	34	0	84	48	0	242	100	1	199	63	1	316	23
28	0	110	159	2	398	17	0	85	35	0	70	120	1	602	24
18	0	72	17	0	43	65	1	327	134	1	268	57	1	283	25
18	0	70	28	0	69	49	0	247	121	1	242	59	1	297	26
17	0	66	20	0	51	50	0	249	102	1	204	51	1	254	27
19	0	77	36	0	89	59	1	293	120	1	240	68	1	342	28
28	0	110	71	1	178	37	0	183	75	1	150	81	1	404	29
27	0	106	34	0	86	55	1	273	112	1	224	67	1	334	30
18	0	72	17	0	43	49	0	244	100	1	200	53	1	264	31
12	0	46	16	0	39	49	0	244	100	1	200	37	0	185	32
28	0	110	62	1	156	61	1	305	125	1	250	92	1	461	33
22	0	86	62	1	155	28	0	139	57	1	114	52	1	259	34
25	0	100	26	0	66	44	0	220	90	1	180	52	1	262	35
40	0	160	113	1	283	34	0	171	70	1	140	137	1	686	36
45	0	180	117	1	293	39	0	197	81	1	161	146	1	732	37
38	0	150	69	1	173	39	0	193	80	1	159	97	1	483	38
38	0	150	69	1	172	22	0	110	58	1	116	69	1	343	39
17	0	68	25	0	63	62	1	311	128	1	255	62	1	311	40
8	0	30	13	0	33	42	0	209	86	1	172	39	0	197	41
7	0	29	16	0	41	36	0	180	74	1	148	41	0	203	42
11	0	45	57	1	142	40	0	199	82	1	163	61	1	305	43

12	0	48	13	0	33	59	1	295	121	1	242	45	0	227	44
13	0	52	54	1	135	37	0	187	77	1	154	60	1	298	45
16	0	64	21	0	52	54	1	270	111	1	222	48	0	242	46
20	0	80	72	1	180	28	0	142	58	1	117	75	1	375	47
31	0	125	96	1	240	83	1	415	170	2	340	132	1	662	48
16	0	62	16	0	40	44	0	222	91	1	182	43	0	215	49
26	0	105	59	1	148	35	0	176	72	1	144	77	1	384	50
14	0	55	15	0	37	37	0	183	75	1	150	28	0	141	51

المصدر: الباحثة اعتماداً على معادلة (4)

ملحق (3) قيم المؤشر الفرعي (F,Ca,Mg,Na,K)

Qn	vn/sn	K	Qn	vn/sn	Na	Qn	vn/sn	Mg	Qn	vn/sn	Ca	Qn	vn/sn	F	id
41	0	4	28	0	55	52	1	26	45	0	90	11	0	0	1
35	0	4	17	0	33	44	0	22	31	0	62	21	0	0	2
23	0	2	53	1	105	12	0	6	25	0	50	7	0	0	3
28	0	3	31	0	61	46	0	23	38	0	76	9	0	0	4
35	0	4	24	0	47	34	0	17	37	0	74	3	0	0	5
40	0	4	23	0	45	62	1	31	38	0	75	720	7	11	6
29	0	3	22	0	45	48	0	24	47	0	93	16	0	0	7
55	1	6	29	0	58	38	0	19	47	0	94	19	0	0	8
33	0	3	25	0	50	54	1	27	42	0	84	109	1	2	9
31	0	3	39	0	77	62	1	31	58	1	116	0	0	0	10
29	0	3	27	0	53	44	0	22	43	0	85	47	0	1	11
23	0	2	25	0	51	50	1	25	50	1	100	16	0	0	12
23	0	2	20	0	40	42	0	21	47	0	94	21	0	0	13
27	0	3	26	0	51	56	1	28	43	0	86	21	0	0	14
25	0	3	15	0	30	52	1	26	34	0	68	0	0	0	15
44	0	4	20	0	39	38	0	19	36	0	71	20	0	0	16
22	0	2	16	0	32	54	1	27	36	0	71	3	0	0	17
25	0	3	16	0	32	62	1	31	32	0	63	15	0	0	18
31	0	3	23	0	45	44	0	22	35	0	69	0	0	0	19
23	0	2	20	0	40	66	1	33	32	0	63	3	0	0	20
26	0	3	20	0	40	40	0	20	36	0	72	33	0	0	21
25	0	3	30	0	60	28	0	14	37	0	73	18	0	0	22
26	0	3	21	0	42	42	0	21	46	0	92	0	0	0	23
50	1	5	58	1	115	70	1	35	92	1	184	25	0	0	24
21	0	2	22	0	43	42	0	21	40	0	79	23	0	0	25
30	0	3	20	0	40	44	0	22	42	0	83	21	0	0	26
25	0	3	22	0	44	40	0	20	35	0	69	31	0	0	27
25	0	3	27	0	54	52	1	26	48	0	95	33	0	0	28
42	0	4	33	0	65	44	0	22	63	1	125	173	2	3	29
25	0	3	27	0	54	48	0	24	47	0	94	31	0	0	30
30	0	3	14	0	28	48	0	24	33	0	66	35	0	1	31
36	0	4	23	0	47	32	0	16	24	0	47	73	1	1	32
47	0	5	44	0	87	64	1	32	66	1	131	8	0	0	33
18	0	2	35	0	70	36	0	18	37	0	73	25	0	0	34
26	0	3	34	0	68	34	0	17	39	0	77	6	0	0	35

20	0	2	25	0	50	128	1	64	85	1	169	18	0	0	36
35	0	4	25	0	50	72	1	36	117	1	233	293	3	4	37
33	0	3	27	0	54	72	1	36	68	1	135	1	0	0	38
38	0	4	42	0	83	54	1	27	47	0	93	18	0	0	39
26	0	3	21	0	42	56	1	28	40	0	79	30	0	0	40
15	0	2	17	0	34	18	0	9	33	0	65	19	0	0	41
23	0	2	15	0	30	40	0	20	24	0	48	41	0	1	42
20	0	2	29	0	57	30	0	15	49	0	97	11	0	0	43
36	0	4	20	0	40	38	0	19	30	0	60	29	0	0	44
20	0	2	30	0	60	42	0	21	42	0	84	27	0	0	45
30	0	3	23	0	46	32	0	16	36	0	71	14	0	0	46
40	0	4	25	0	50	53	1	27	53	1	106	11	0	0	47
47	0	5	48	0	95	114	1	57	86	1	171	31	0	0	48
19	0	2	23	0	45	18	0	9	36	0	72	11	0	0	49
40	0	4	25	0	50	50	1	25	57	1	113	13	0	0	50
34	0	3	25	0	50	24	0	12	18	0	36	17	0	0	51

المصدر: الباحثة اعتماداً على معادلة (4)

ملحق (4) قيم المؤشر الفرعي (no3,Fe,TC,FC)

Qn	vn/sn	FC	Qn	vn/sn	TC	Qn	vn/sn	fe	Qn	vn/sn	no3	id
0	0	0	0	0	0	13	0	0	133	1	66	1
0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	0	1	2
0	0	0	0	0	0	373	4	1	2	0	1	3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	14	4
0	0	0	0	0	0	50	1	0	2	0	1	5
0	0	0	0	0	0	27	0	0	9	0	4	6
0	0	0	0	0	0	7	0	0	26	0	13	7
0	0	0	0	0	0	13	0	0	8	0	4	8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	10	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	3	10
0	0	0	0	0	0	147	1	0	1	0	0	11
0	0	0	0	0	0	13	0	0	8	0	4	12
0	0	0	0	0	0	13	0	0	5	0	3	13
0	0	0	0	0	0	3	0	0	7	0	4	14
0	0	0	0	0	0	7	0	0	8	0	4	15
0	0	0	0	0	0	20	0	0	10	0	5	16
0	0	0	0	0	0	10	0	0	5	0	3	17
0	0	0	0	0	0	30	0	0	4	0	2	18
0	0	0	0	0	0	20	0	0	5	0	3	19
0	0	0	0	0	0	13	0	0	16	0	8	20
0	0	0	0	0	0	243	2	1	9	0	4	21
0	0	0	0	0	0	97	1	0	2	0	1	22
200	2	2	100	1	1	30	0	0	1	0	0	23
600	6	6	300	3	3	37	0	0	280	3	140	24
600	6	6	400	4	4	10	0	0	19	0	10	25
700	7	7	500	5	5	97	1	0	4	0	2	26

700	7	7	500	5	5	287	3	1	1	0	0	27
800	8	8	500	5	5	3	0	0	16	0	8	28
1100	11	11	800	8	8	13	0	0	23	0	11	29
2000	20	20	1300	13	13	40	0	0	18	0	9	30
2200	22	22	1600	16	16	17	0	0	8	0	4	31
2600	26	26	800	8	8	27	0	0	10	0	5	32
2900	29	29	1700	17	17	30	0	0	102	1	51	33
3200	32	32	1600	16	16	53	1	0	12	0	6	34
3300	33	33	2500	25	25	0	0	0	18	0	9	35
4100	41	41	3400	34	34	17	0	0	37	0	18	36
4400	44	44	3200	32	32	30	0	0	44	0	22	37
4800	48	48	3700	37	37	17	0	0	21	0	11	38
5000	50	50	3300	33	33	53	1	0	4	0	2	39
5500	55	55	4600	46	46	177	2	1	4	0	2	40
6800	68	68	5800	58	58	13	0	0	45	0	22	41
7200	72	72	5600	56	56	350	4	1	40	0	20	42
9500	95	95	8000	80	80	7	0	0	24	0	12	43
10200	102	102	8100	81	81	17	0	0	7	0	4	44
10700	107	107	9800	98	98	7	0	0	17	0	8	45
11200	112	112	9600	96	96	73	1	0	18	0	9	46
25000	250	250	15000	150	150	10	0	0	0	0	0	47
30000	300	300	10900	109	109	13	0	0	136	1	68	48
36000	360	360	22800	228	228	13	0	0	18	0	9	49
39500	395	395	28000	280	280	13	0	0	36	0	18	50
40200	402	402	28000	280	280	53	1	0	3	0	1	51

المصدر: الباحثة اعتماداً على معادلة (4)

Assessment of groundwater quality using the weighted arithmetic method for the water quality index (WAWQI) in the districts of Shu'ub, Azal and Al-Safia - Sana'a

Abstract

The study aimed to assess the quality of groundwater for each well and its suitability for human uses in the study area using the weighted arithmetic method of the groundwater quality index (WAWQI). To achieve the objectives of the study, the quantitative analytical approach was used to perform spatial and statistical analyzes of field study data and laboratory analyses, and to produce maps and graphic figures using technical programs to determine the quality of groundwater in the study area. This study relied on collecting samples from (51) wells to analyze the physical, chemical and biological properties in the laboratory, and the results of the laboratory analysis were used to determine the quality of groundwater and to study the correlation between the analyzed elements and to identify the most influential elements on the quality of groundwater in the study area. The study concluded that (28) wells, with a rate of 55% of the samples, are unfit for use, while 4% of the samples are of low quality and appear in two wells, and two other wells of very low quality by 4%, while it was found that (13) wells, with a rate of 25%. The quality of the samples is excellent, and the number of wells of good quality is (6) wells, representing 12% of the study samples. The results of the Pearson coefficient analysis also showed that there is a complete direct correlation between (HCO₃-TH) and (FC-TC), and a very strong correlation between (Ca-TH) and (TDS-EC), and a strong correlation between (Ca-EC) and (Ca-EC). (C-T), (Ca- TDS), (EC-TH), (TDS-TH), (SO₄-Mg) and (CL-EC), and that the most effective elements in groundwater pollution are fecal coliforms, total coliforms, and total alkalinity, color, turbidity, total hardness, ferrous iron, magnesium, total dissolved salts, electrical conductivity, sulfates, pH, calcium. The study recommended conducting periodic laboratory analyzes of well water to identify areas of low quality and conducting appropriate treatments to raise the efficiency of groundwater quality and reduce pollution sources.