Sana'a University Journal of Human Sciences
مجلة جامعة صنعاء للعلوم الإنسانية
Vol. 4 | No. 2| Page 404 – 431 | 2023 |
https://journals.su.edu.ye/index.php/jhs
ISSN : 2958-8677

التحليل المكاني لنوعية المياه الجوفية باستخدام التحليل الهرمي (AHP) في مديريات شعوب وآزال والصافية – بأمانة العاصمة

Spatial Analysis of Groundwater Quality by Analytical Hierarchy in Azal and Al-safia Districts in the Capital Sana'a،Shoob

نبيلة محمد حمود السنيدار

باحثة – قسم الجغرافيا والجيوانفورماتكس

كلية الآداب والعلوم الإنسانية – جامعة صنعاء ـ اليمن

Nabilah Mohammed Hamood Al-Sunaidar

Researcher -Department of Geographics
Faculty of *Arts & Humanities*
Sana'a University - Yemen

الملخص:

هدفت الدراسة إلى تحديد التباين المكاني لنوعية المياه الجوفية باستخدام طريقة التحليل الهرمي والمطابقة الموزونة في برنامج (ArcGIS)، ولتحقيق أهداف الدراسة استُخدم المنهج الكمي التحليلي لعمل التحليلات المكانية والإحصائية لبيانات الدراسة الميدانية والتحليلات المختبرية، وقد اعتمدت هذه الدراسة على جمع العينات من (75) بئرًا للفحوصات البيولوجية و(51) بئرًا للفحوصات الفيزيائية والكيميائية؛ لتحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية في المختبر، واستُخدمت نتائج التحليل المختبري لإنتاج خريطة رقمية تبين نوعية المياه الجوفية في منطقة الدراسة، وقد توصلت الدراسة إلى أن المياه ذات النوعية الخطرة والمتدنية جدًا تتركز غرب منطقة الدراسة في كلٍ من حي الصعدي في مديرية الصافية وحي مسيك وبني قشيب مديرية شعوب، وتغطي المياه ذات النوعية الخطرة نسبة (0.4%) والمياه المتدنية نسبة (4.5%) ومجموعهما (4.9%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة التي تعد مياه الآبار الجوفية فيها غير صالحة للاستخدام بسبب احتوائها تركزات عالية من (القولونيات الكلية والبرازية، القلوية الكلية، الحديد، الفلوريد، النترات، العسر الكلي، الكالسيوم، الأملاح الذائبة)، واحتلت نوعية المياه المتدنية نسبة (24.9%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتظهر بشكل كبير غرب منطقة الدراسة في الأحياء الآتية: (بيت مرهب وقرية الدجاج وبيت الصوفي وباب السلام وشارع تعز والتضامن الشمالية والفتح الشمالية)، وكذلك شمال مديرية شعوب حي رسلان وشمال شرق المديرية حي سعوان وقرية الغرزة والعشة والتواثر، وتعد هذه المياه غير صالحة للشرب، بسبب تركز عناصر (القولونيات الكلية والبرازية، اللون، العكارة، القلوية الكلية، العسر الكلي)، أما بقية منطقة الدراسة فقد تراوحت نوعية المياه فيها بين ممتازة إلى جيدة، وتعد مياه صالحة لمختلف الاستخدامات البشرية، وقد شكلت المياه الجوفية ذات النوعية الممتازة نسبة (27%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتوجد جنوب وجنوب شرق منطقة الدراسة وأجزاء أخرى متفرقة، وأما المناطق ذات النوعية الجيدة للمياه الجوفية فتغطي أكبر نسبة حيث بلغت (43.2%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة تتركز بشكل عام في النصف الشمالي من منطقة الدراسة مديرية شعوب وأجزاء وسط مديريتي آزال والصافية، وأوصت الدراسة بإجراء تحاليل مختبرية دورية لمياه الآبار لمعرفة المناطق متدنية النوعية، وإجراء المعالجات المناسبة لرفع كفاءة نوعية المياه الجوفية، والحد من مصادر التلوث.

الكلمات المفتاحية: تحليل معكوس المسافة الموزونة (Idw)، التحليل الهرمي (APH)، مصفوفة المقارنة الزوجية (PCM)، المصفوفة النسبية (NM)، نسبة الثبات (CR).

Abstract:

The study aimed to determine the spatial variation of groundwater quality using the hierarchical analysis method and weighted matching in the (ArcGIS) program. 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. This study relied on collecting samples from (75) wells for biological examinations and (51) wells for physical and chemical examinations; To analyze the physical، chemical and biological properties in the laboratory، and the results of the laboratory analysis were used to produce digital maps showing the quality of groundwater in the study area. The study

concluded that the water of hazardous and very low quality is concentrated the west of the study area in each of Al-Saadi neighborhood Al-Safia district and the neighborhood of Misik and Bani Qushayb Shu'ub district. ، fluoride، nitrates، total hardness، calcium، dissolved salts)، and the low water quality occupied (24.9%) of the total area of the study area، and appears largely the west of the study area in the following neighborhoods: (Horrible House، Chicken Village، Al-Sufi House، Bab Al-Salam، Taiz Street، Al-Tadamon Al-Shamaliya، and Al-Fatah Al-Shamalia)،As well as the north of the Directorate of Shu'ub the Raslan neighborhood and the north-east of the district the Sa'wan neighborhood and the villages of Al-Gharza، Al-Asha and Al-Tawather. This water is considered unfit for drinking، due to the concentration of elements (total and fecal coliforms، color، turbidity، total alkalinity، total hardness). As for the rest of the study area، the water quality ranged from excellent to good، and it is water suitable for various human uses. Groundwater of excellent quality constituted (27%) of the total area of the study area، and it is found the south and southeast of the study area and other parts As for the areas with good quality of groundwater، they cover the largest percentage، reaching (43.2%) of the total area of the study area. They are generally concentrated in the northern half of the study area the Directorate of Shaub and parts of the middle of the districts of Azal and Al-Safia. 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.

Keyword: Inverse Distance Weighted Analysis (Idw), Analysis Hierarchy (APH), Pairwise Comparison Matrix (PCM), Ratio Matrix (NM), Reliability Ratio (CR).

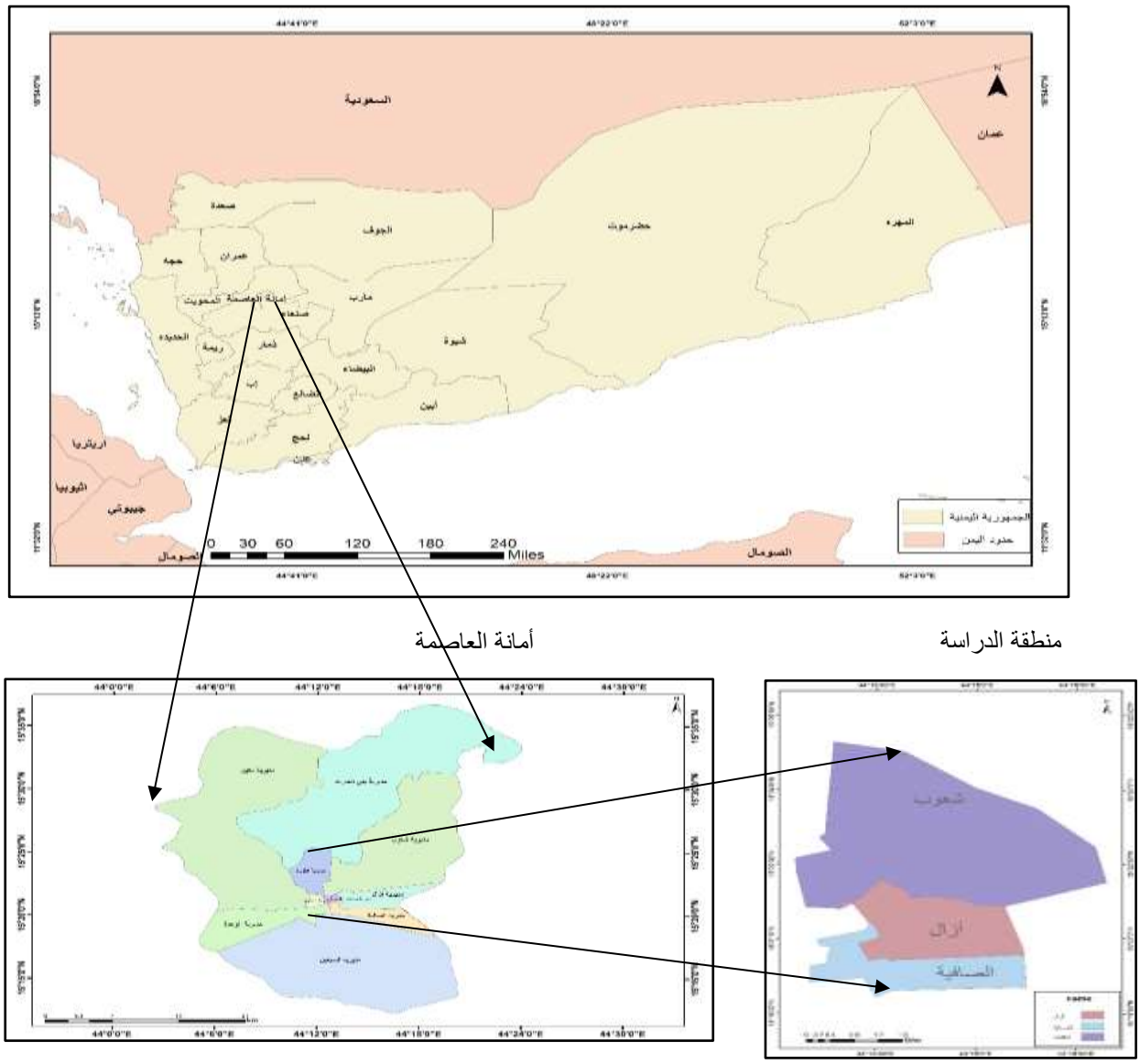
المقدمة:

تعد المياه الجوفية المصدر الرئيس لمعظم دول العالم، لاسيما دول الأقاليم الجافة وشبه الجافة، حيث إنَّ المياه الصالحة للاستخدامات البشرية من أهم العناصر الأساسية لنجاح مختلف مجالات التنمية وتحقيق سياسة الدولة في الحماية الصحية للسكان في المكان الجغرافي، ونظرًا لزيادة تفاقم مشكلة المياه وظهور عدد من الأمراض المتعلقة بالمياه اتجهت منظمة الصحة العالمية نحو الاهتمام بقضايا ومشاكل المياه، ومع تطور وتقدم التقنيات التكنولوجية والبرمجية خلال العشرين سنة الماضية حتى الآن، اتجهت عدد من المراكز البحثية في مختلف الجامعات العالمية، وكذلك الباحثون إلى تركز الاهتمام بعمل البحوث والدراسات العلمية لمعالجة قضايا ومشاكل المياه الجوفية باستخدام التقنيات الجغرافية الحديثة المتمثلة بنظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. وتعد المياه الجوفية في منطقة الدراسة المتمثلة بمديريات شعوب وأزال والصافية في أمانة العاصمة 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 الدراسة، 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 طريقة التحليل الهرمي (AHP) والمطابقة الموزونة في برنامج (ArcGIS 10.6) وإنتاج خريطة رقمية لنوعية المياه الجوفية ومدى صلاحيتها للشرب.

الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة:

تقع منطقة الدراسة شرق أمانة العاصمة صنعاء بين خطي طول ("32 '12 °44 و"12 '20 °44) ودائرتي عرض ("21 '18 °15 و '31 °15 "23) وتشمل مديريات شعوب وآزال والصافية، حيث تقع مديرية شعوب في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة، وتقدر مساحتها بـ(151)كم^2 ويبلغ عدد السكان فيها (470006) نسمة حسب اسقاطات 2021، بينما تقع مديرية آزال وسط منطقة الدراسة وتقدر مساحتها بـ (22)كم^2، ويبلغ عدد السكان فيها (257745) نسمة حسب اسقاطات 2021،وتقع مديرية الصافية في الجزء الجنوبي من منطقة الدراسة وتقدر مساحتها بـ (20) كم^2 ويبلغ عدد السكان فيها (226121) حسب اسقاطات 2021، ويحد منطقة الدراسة من جهة الشمال مديرية بني الحارث ومن الشرق مديرية بني حشيش وسنحان وبني بهلول ومن الجنوب مديريتي سنحان وبني بهلول والسبعين ومن الغرب مديريات الوحدة وصنعاء القديمة والثورة وبني الحارث، خريطة (1).

خريطة (1) منطقة الدراسة



المصدر: الباحثة اعتمادًا على بيانات مكتب أمانة العاصمة 2020

مشكلة الدراسة:

تعد منطقة الدراسة من المناطق الحضرية في أمانة العاصمة التي شهدت زيادة كبيرة في عدد السكان ومساحة العمران وتنوع الأنشطة الاقتصادية المختلفة، وتعاني منطقة الدراسة من عدم وجود شبكة كافية للمياه والصرف الصحي، وهذا أدى إلى انتشار عدد كبير من الآبار الجوفية العشوائية كمصدر رئيس لتلبية حاجة السكان للاستخدامات المنزلية، وممارسة الأنشطة الاقتصادية المختلفة، وتتعرض هذه الآبار العشوائية إلى العديد من الملوثات، منها مخلفات الصرف الصحي المنزلي (الحفر الامتصاصية)، بالإضافة إلى تراكم كميات كبيرة من النفايات الصلبة خاصة أثناء موسم هطول الأمطار، كما يساهم النشاط الزراعي والصناعي الذي يمارسه السكان في التأثير على نوعية المياه الجوفية من خلال استخدام المزارعين الأسمدة والمبيدات والمخصبات الكيميائية بشكل عشوائي، وكذلك تزايد مخلفات الأنشطة الصناعية.

أهداف الدراسة:

1- تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة.
2- تحليل التباين المكاني لخصائص نوعية المياه الجوفية وإنتاج خرائط رقمية لها.
3- استخدام طريقة التحليل الهرمي والمطابقة الموزونة في (GIS) لتحديد التباين المكاني لنوعية المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

منهجية الدراسة:

استُخدم المنهج الكمي التحليلي لعمل التحليلات المكانية والإحصائية لبيانات الدراسة الميدانية والتحليلات المختبرية، وإنتاج الخرائط، والأشكال البيانية باستخدام برامج التقنية الحديثة لتحديد نوعية المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

البيانات المستخدمة في الدراسة:

تم اخذ عينات المياه من الآبار الجوفية لعمل الفحوصات المخبرية وذلك بعد تجهيز أدوات الدراسة الميدانية بالتعاون مع مختبر الهيئة العامة للموارد المائية المتمثلة في عبوات زجاجية معقمة ومخصصة لجمع عينات المياه بسعة 500 مل، وصندوق خاص لحفظ العينات وتبريدها أثناء توصيلها للمختبر، بالإضافة إلى كفوف بلاستيكية وكمامات، وجهاز (GPS) لأخذ إحداثيات مواقع العينات، حيث بلغ عدد آبار الفحوصات البيولوجية (75) بئرًا، منها (62) بئرًا في مديرية شعوب، و (3 و10) آبار لمديريتي آزال والصافية على التوالي، بينما بلغ عدد الآبار الجوفية للفحوصات الفيزيائية والكيميائية في منطقة الدراسة (51) بئرًا توزعت على مديريات شعوب وآزال والصافية بعدد (43 و1 و7) لكل منها على التوالي، جدول (1)، ونظرًا لعدم توزيع عينات الآبار الجوفية على كل مساحة منطقة الدراسة تم وضع عينات افتراضية في برنامج (ArcGIS 10.6) على مساحة المنطقة الجبلية المتمثلة في جبل نقم جنوب وجنوب شرق منطقة الدراسة في مديريتي آزال والصافية وذلك أثناء [illegible] خ

جدول (1) آبار مديريات منطقة الدراسة:

المديرية	عدد الآبار	النسبة %	الفيزيائية والكيميائية	البايلوجية
شعوب	62	83	43	62
آزال	3	4	1	3
الصافية	10	13	7	10
الإجمالي	75	100	51	75

المصدر: الباحثة اعتماداً على بيانات الهيئة العامة للموارد المائية، مكتب نظم المعلومات

التحليل المكاني لتباين خصائص نوعية المياه الجوفية في برنامج (Arc GIS):

لتحليل التباين المكاني لخصائص نوعية المياه الجوفية استخدمت نتائج الفحوصات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية وربطت بإحداثيات مواقعها الجغرافية في برنامج (ArcGIS 10.6)، لإنتاج خرائط توضح تباين تركز كل عنصر من خصائص نوعية المياه الجوفية عن طريق تحليل الاستكمال المكاني (Interpolation)، حيث استُخدم معكوس المسافة الموزونة (Idw)، وذلك على النحو الآتي:

أولًا: تحليل التباين المكاني للخصائص الفيزيائية لنوعية المياه الجوفية:

لدراسة وتحليل التباين المكاني لعناصر الخصائص الفيزيائية لنوعية المياه الجوفية في منطقة الدراسة أنتجنا خرائط لها وحللناها وذلك كما يلي:

1- اللون:

الماء النقي شفاف لا لون له، وتلون المياه الجوفية يشير إلى احتوائها نوعًا معينًا من الشوائب، وقد أشار أحمد **(أحمد، 2010م، ص12)** إلى أن زيادة قيمة وحدة اللون عن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية تدل على تغير لون المياه بسبب احتواء المياه على أيون الحديد والمنجنيز الذائب أو بقايا عضوية، وأكد الشجاع **(الشجاع، 2018م، ص45)** أن تلون المياه الجوفية يشير – أيضًا – إلى وجود ملوثات صناعية تحوي أملاحًا ثقيلة كأملاح النحاس أو الكروم أو الحديد أو المنجنيز، كما أشار مجلس حماية البيئة **(مجلس حماية البيئة، 1998م، ص14)** إلى أن مخلفات المستشفيات والمخلفات الصناعية تمثل خطرًا على البيئة والمياه الجوفية في اليمن.

توضح خريطة (3) أن قيم لون المياه الجوفية في منطقة الدراسة متباينة من مكان إلى آخر، حيث تراوحت بين (0–69) وحدة لونية، التي صنفت بحسب المواصفات القياسية اليمنية والعالمية لمياه الشرب إلى أربع فئات، تمثل الفئة الأولى مياهًا لونها ذات نوعية ممتازة تقع قيمها ضمن الحد الأمثل للون مياه الشرب، وتتراوح بين (0–5) وحدة لونية ويبلغ عددها(32) بئرًا من إجمالي آبار عينات الدراسة (51بئرًا)، يليها مياه ذات نوعية جيدة تتراوح قيمها بين (5–15) وحدة لونية، وتمثل هذه القيمة أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية والمواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب وعددها (13) بئرًا وتنتشر هذه الفئتين على مساحة واسعة تغطي معظم منطقة الدراسة عدا المناطق الغربية من منطقة الدراسة وجزء من شمال مديرية شعوب، أما القيم التي تتراوح بين (15–40) وحدة لونية فهي مياه ذات نوعية متدنية تجاوزت أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية والمحلية، وبلغ عددها (6) آبار تراوحت قيمها بين (40–69) وحدة لونية، وتعد هذه المياه ذات نوعية خطرة، وتظهر الفئتين الأخيرة في منطقة رسلان شمال منطقة الدراسة، وكذلك في حي مسيك جنوب مديرية شعوب، وغرب مديريتي آزال والصافية في حي باب السلام وحي مستشفى الثورة والفتح الشمالية والتضامن الشمالية والصعدي وشارع تعز.

2- العكارة:

العكارة هي الخاصية البصرية للماء الناتجة عن انتشار الضوء وامتصاصه من قبل المواد العالقة، والماء العكر هو الماء الذي يحتوي على مسببات العكارة من المواد العالقة التي تحجب وتمنع مرور الضوء إلى جسم المياه (الردايدة، 2002، ص55)، والعكارة بشكل عام تنجم في المياه عن وجود مواد عالقة فيها، مثل ذرات التربة والرمل والطين والمواد العضوية واللاعضوية (حسين، 2011، ص113)، كما أن العكارة تعد مؤشرًا على تلوث المياه؛ بسبب مياه الصرف الصحي والصرف الصناعي (السروي، 2011، ص45).

توضح خريطة (4) أن قيم عكارة المياه الجوفية في منطقة الدراسة متباينة من مكان إلى آخر، حيث تراوحت بين (0-12)، التي صنفت بحسب المواصفات القياسية اليمنية والعالمية لمياه الشرب إلى فئة الحد الأمثل لمياه الشرب (0-1)، وقد بلغ عددها (31) بئرًا، وتمتد على مساحات كبيرة في منطقة الدراسة، وتعد مياه عكارتها ذات نوعية ممتازة، و16 بئرًا من عينات الدراسة تراوحت درجة العكارة فيها بين (1-5) وتعد ذات نوعية جيدة، حيث تمثل هذه القيمة أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية والمواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب، وتنتشر بشكل كبير غرب منطقة الدراسة وأجزاء أخرى متفرقة، أما الآبار التي فاقت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب فعددها 4 آبار، منها 3 آبار تراوحت قيمها بين (5-10)، وبئر واحدة وصلت قيمها إلى (12)، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية، وتظهر في حي مسيك وحي باب السلام.

3- التوصيلية الكهربية (EC):

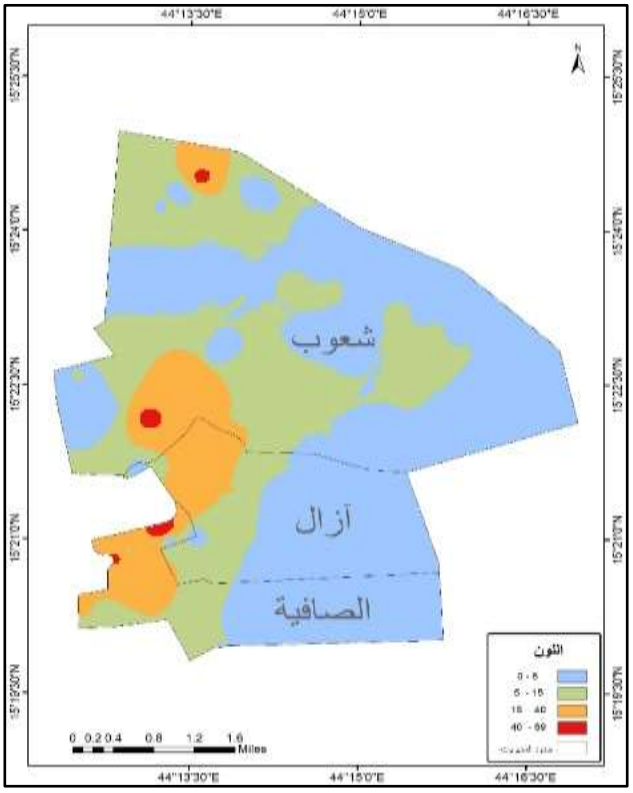
هي عبارة عن قدرة المادة على توصيل أو نقل التيار الكهربائي، ويحدث التوصيل الكهربي في المياه بسبب تفكك المواد المعدنية الذائبة فيه إلى أيونات موجبة وسالبة (إبراهيم، 2010، ص145)، وتزداد التوصيلية الكهربية بزيادة الأملاح الذائبة في الماء، وتعبر عن نسبة الأملاح الكلية الذائبة في المياه عن طريق العلاقة الطردية بينهما (السروي، 2011، ص46).

توضح خريطة (5) أن قيم التوصيلية الكهربية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة متباينة من مكان إلى آخر، حيث تراوحت بين (473-1،718) مايكروموز، التي صنفت بحسب المواصفات القياسية اليمنية والعالمية لمياه الشرب مياه ممتازة النوعية وهي فئة الحد الأمثل لقيم التوصيلية الكهربية لمياه الشرب (450-1،000) مايكروموز البالغ عددها (42) بئرًا، و 6 آبار من عينات الدراسة تراوحت درجة التوصيلية الكهربية فيها بين (1،000-1،500) مايكروموز، وتعد ذات نوعية جيدة، حيث تمثل هذه القيمة أقصى حدًا مسموحًا به في المواصفات القياسية العالمية، أما الآبار التي فاقت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب في المواصفات القياسية العالمية فعددها 3 آبار، تراوحت قيمها بين (1،500-1،718) مايكروموز، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية إلا أنها مازالت ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب، وتتركز قيم التوصيلية الكهربية بشكل عام في المناطق الغربية من منطقة الدراسة.

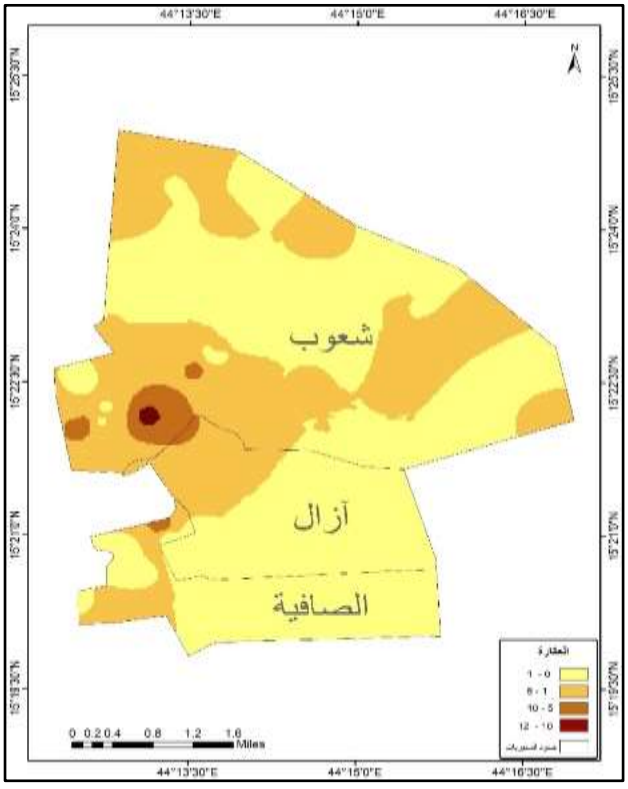
4- الأس الهيدروجيني (PH):

الأس الهيدروجيني هو عبارة عن كثافة الحالة الحامضية أو القاعدية الموجودة في الماء ويعبر عن نشاط أيون الهيدروجين في الماء (العريقي، 2006، ص315)، حيث إنَّ قيمة PH تتأثر بتركز مركبات

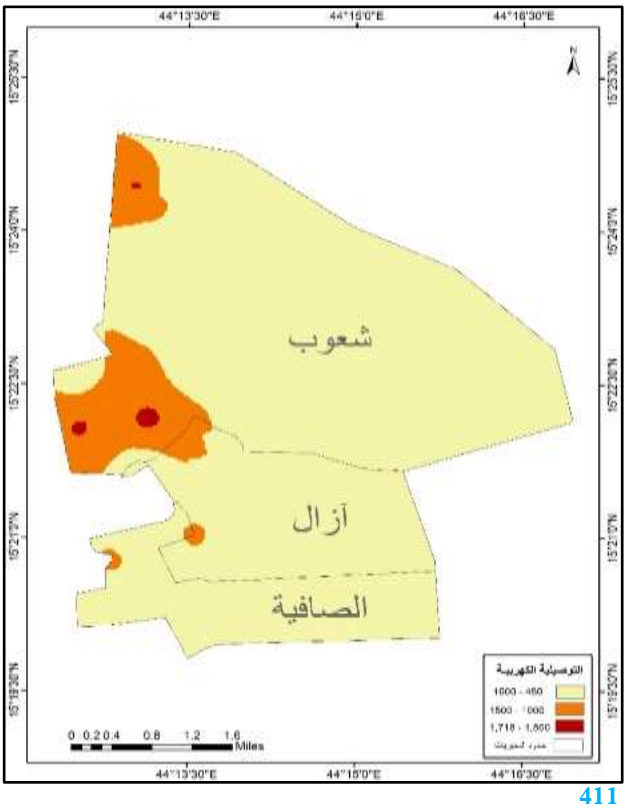
خريطة (2) مناطق توزيع وتركز اللون



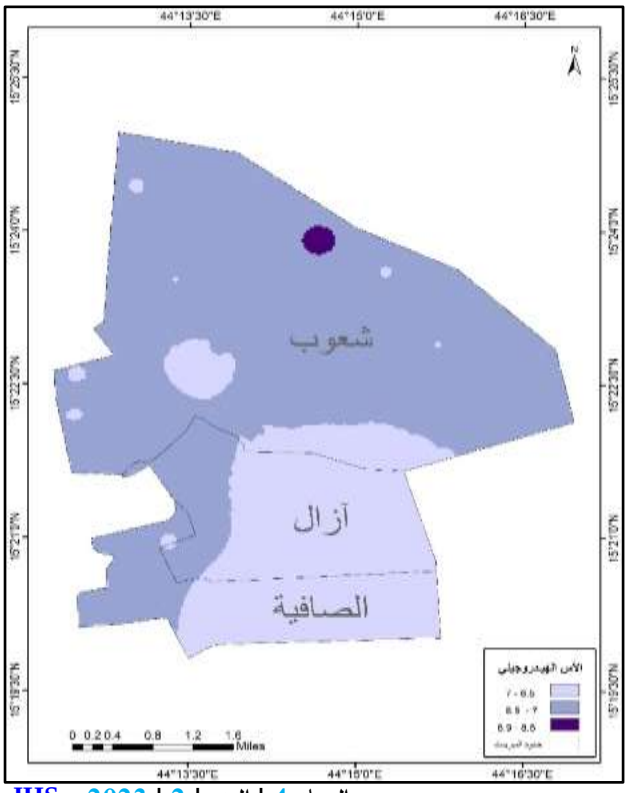
خريطة (3) مناطق توزيع وتركز العكارة



خريطة (4) مناطق توزيع وتركز التوصيلية الكهربية



خريطة (5) مناطق توزيع وتركز الأس الهيدروجيني



المصدر: الباحثة اعتماداً على بينات ملحق (1)، وبرنامج (Arc GIS 10.6).

الكربونات والبيكربونات المذابة في الماء؛ إذ إن أغلب المياه الطبيعية تميل إلى القلوية قليلًا بسبب وجود هذين الأيونين (الحسن،2010، ص83)، في دراسته أن التكوين الصخري الذي يغلب عليه تكوين الجير يلعب دورًا في زيادة قيمة PH، وكذلك تزيد قيم PH في المناطق التي تصل إليها مياه الصرف الصحي (محمود، 2013، ص61).

تراوحت قيم الأس الهيدروجيني لعينات الدراسة بين (6،5–8،9)، وتوضح خريطة (6)، أن معظم آبار عينات الدراسة (47 بئرًا) تميزت بقيم الحد الأمثل لـ(PH) في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب، وهي (6،5–8،5) NTU، وهذه القيمة تعد أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية، وتعد المياه في هذه المناطق ذات نوعية جيدة من حيث الأس الهيدروجيني وتغطي معظم مساحة منطقة الدراسة، ومن ناحية أخرى توجد (4) آبار من عينات الدراسة تراوحت درجة الأس الهيدروجيني فيها بين (8،5–8،9)NTU وتعد ذات نوعية متوسطة، حيث إنَّ هذه القيم فاقت أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية، إلا أنها مازالت ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب، وتوجد في حي صرف شمال غرب مديرية شعوب.

5- الأملاح الكلية الذائبة (TDS):

إن الأملاح الكلية الذائبة تشمل الأملاح اللاعضوية بصورة رئيسة كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم والصوديوم والبيكربونات والكلورايدات والسلفات، بالإضافة إلى مقادير قليلة من المواد العضوية المذابة في المياه (منظمة الصحة العالمية، 1999، ج1،ص57)، وقد تزداد نسبة الأملاح الكلية الذائبة في المياه لأسباب طبيعية كالتكوينات الجيولوجية (الهيئة العامة للموارد المائية،2007، ص27)، وينتج ارتفاع قيم الأملاح الكلية الذائبة عن مخلفات مياه الصرف الصحي (بارود، 2002، ص231)، وارتفاع قيم الأملاح الكلية الذائبة يشير إلى وجود بعض المواد العضوية القابلة للذوبان في الماء منها أملاح الكالسيوم والماغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد والكبريتات والنترات والنيتريت (أحمد، 2010، ص13).

تباينت عينات الدراسة بالنسبة للقيم التي حصلنا عليها من نتائج تحليل العينات للأملاح الكلية الذائبة، حيث تراوحت بين (3،7–1،117) ملجم/لتر، وقد بلغت عدد الآبار التي حصلت على قيم الحد الأمثل في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب (أقل من 650) ملجم/لتر (42) بئرًا، وتعد المياه في هذه المناطق ذات نوعية ممتازة من حيث قيم الأملاح الكلية الذائبة وتغطي معظم مساحة منطقة الدراسة، و(7) آبار من عينات الدراسة تراوحت درجة الأملاح الكلية الذائبة فيها بين (650–1000) ملجم/لتر، وتعد ذات نوعية جيده، حيث تمثل هذه القيمة أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية، وبئران فاقت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب في المواصفات القياسية العالمية، حيث تراوحت قيمها بين (1000–1117) ملجم/لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية إلا أنها مازالت ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب،

وتتركز قيم الأملاح الكلية الذائبة بشكل عام في المناطق الغربية من منطقة الدراسة، خريطة (7).

ثانيًا: تحليل التباين المكاني للخصائص الكيميائية لنوعية المياه الجوفية:

1- القلوية الكلية (TA):

قلوية المياه هي عبارة عن قدرتها على معادلة أيونات الهيدروجين، والقلوية الكلية عبارة عن قياس الكربونات والبيكربونات والهيدروكسيل المذابة في المياه (أبو تايه، 2000، ص52)، وارتفاع القلوية في المياه قد يكون ناتج عن التكوينات الطبيعية كالحجر الجيري أو الصخور الكلسية أو نتيجة مخلفات بشرية وتأكسد المواد العضوية واختزال النترات والنتريت (حسين، 2011، ص137، السروي، 2011، ص51).

عن طريق تحليل بيانات القلوية الكلية مكانيًا اتضح وجود تباين في القلوية الكلية لعينات المياه الجوفية خريطة (8)، حيث تراوحت بين (60-340) ملجم/لتر، ومعظم العينات (31 بئرًا) تقع ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية (أقل من 200 ملجم/لتر) وتعد القلوية الكلية في مياه آبار هذه المناطق ذات نوعية جيدة وتغطي مساحات كبيرة وسط منطقة الدراسة وجنوبها، وبقية عينات الدراسة تجاوزت أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية بقيم متفاوتة، حيث إنَّ (16) بئرًا من عينات الدراسة تراوحت درجة القلوية الكلية فيها بين (200-250) ملجم/لتر، وتعد مياه متدنية النوعية وتنتشر في شمال منطقة الدراسة، أما الآبار التي تراوحت القلوية الكلية فيها بين (250-340) ملجم/لتر فعددها 4 آبار، وتظهر في قرية الغرزة شرق مديرية شعوب، وكذلك في حي بني قشيب شمال غرب المديرية عينها، وتعد مياه نوعيتها متدنية جدًا، ويرجع السبب إلى طبيعة صخور الخزانات الجوفية المكونة من صخور الطويلة و مخلفات الصرف الصحي وتأكسد المواد العضوية.

2- العسر الكلي (TH):

يعرف العسر الكلي أنه مجموع تركز أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم في الماء، مصدرها مركبات الكربونات والبيكربونات (للكالسيوم والمغنيسيوم) وكذلك الكبريتات والكلورايدات في الماء (المغير، 2005، ص10)، والمياه الجوفية أكثر عسرة من المياه السطحية، حيث تنشأ العسرة في الماء عندما يمر الماء من طبقات التربة وعبر الصخور، ويكتسب ماء المطر القابلية على إذابة المواد الصلبة عندما يمر عبر طبقات التربة (الردايدة، 2002، ص97).

تباينت عينات الدراسة بالنسبة للقيم التي حصلنا عليها من نتائج تحليل العينات للعسر الكلي، حيث تراوحت بين (141-732) ملجم/لتر، وتشير خريطة (9)، أن معظم عينات آبار الدراسة (47 بئرًا) تقع ضمن قيم الحد الأقصى للعسر الكلي (100 - 500 ملجم/لتر) المسموح به للشرب في المواصفات القياسية العالمية واليمنية، وتغطي معظم منطقة الدراسة عدا أجزاءها الغربية، وهي مياه جيدة النوعية، ولا توجد آبار تقع ضمن قيم الحد الأمثل (أقل من 100 ملجم/لتر)، ومن جهة أخرى لوحظ أن الآبار التي فاقت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب تغطي مساحة صغيرة، وعدد الآبار فيها (4) آبار، تراوحت قيمها بين (500- 732) ملجم/ لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية، وتظهر هذه القيم على مسحات صغيرة غرب منطقة الدراسة مثل حي بني قشيب وحي مسيك في مديرية شعوب.

3- البيكربونات (HCO_3):

تتكون البيكربونات (HCO_3) نتيجة ذوبان غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الماء الذي بدوره يساعد في عملية إذابة الصخور الكربوناتية التي يمر فيها (مثل الحجر الجيري والدولوميت) (أبو مايلة، 1990، ص24).

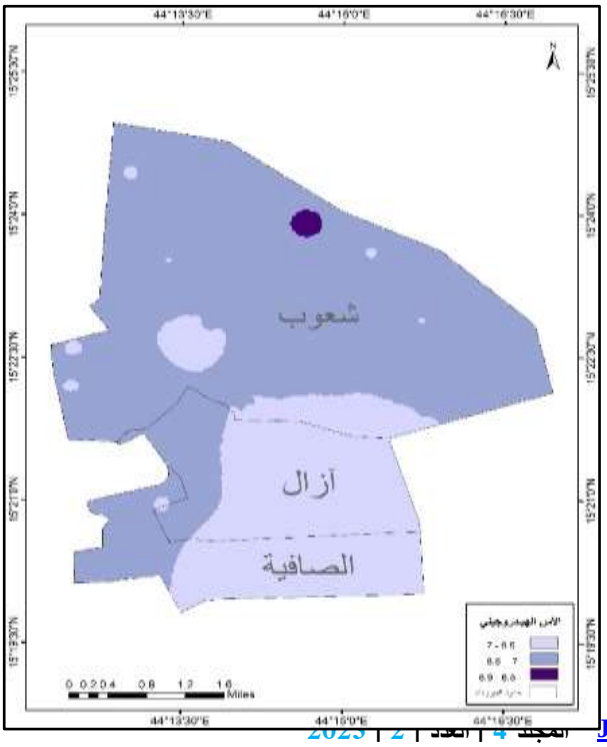
تشير خريطة (10)، إلى أن معظم عينات آبار الدراسة التي جرى تحليلها للبيكربونات تقع ضمن أقصى حدود قياسية مسموح بها للشرب في المواصفات القياسية العالمية واليمنية (150–500) ملجم/ لتر، حيث بلغ عدد الآبار (45) بئرًا، و6 آبار أخرى حصلت على الحد الأمثل في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب، وهي (150ملجم/لتر) وتعد المياه في هذه المناطق ذات نوعية ممتازة، وتتركز قيم البيكربونات شمال منطقة الدراسة وتقل كلما اتجهنا نحو الجنوب.

4- الكلوريد (CL):

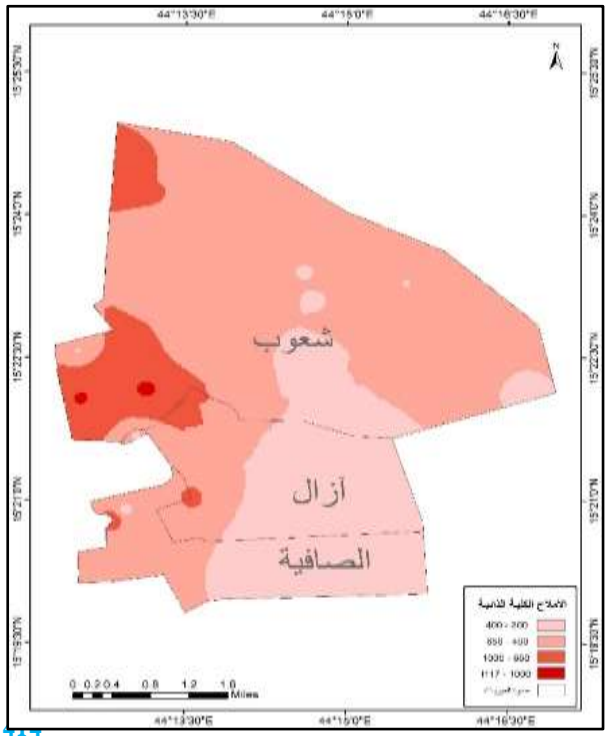
الكلوريد عبارة عن أيون الكلور في صورته السالبة (CL^-) أي: أنه أيون سالب بإمكانه الاتحاد مع الفلزات مكونًا أملاح معدنية (أنعيم، 2003، ص390)، تعد الصخور الرسوبية المصدر الرئيس للكلوريد، ويوجد الكلوريد في الصخور النارية على شكل فلسبارات الصوديوم (BAL Kema،1993)، وأضاف حسين (حسين، 2011، ص147) أن الكلوريد قد يكون من مياه المخلفات العضوية والسماد البوتاسي ويوجد في العلف الحيواني والمخلفات الصناعية ومياه الري.

تراوحت نتائج تحليل عينات الدراسة للكلوريد بين (32 – 398) ملجم/لتر، وبواسطة تحليل خريطة (11) التباين المكاني للكلوريد لعينات الآبار في منطقة الدراسة اتضح عدم وجود تباين كبير، حيث تراوحت معظم عينات المياه بين (32–200) ملجم/لتر لعدد (47) بئرًا، التي تغطي معظم منطقة الدراسة وتقع ضمن الحد الأمثل في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب وتعد مياهًا ممتازة النوعية للكلوريد، بالإضافة إلى

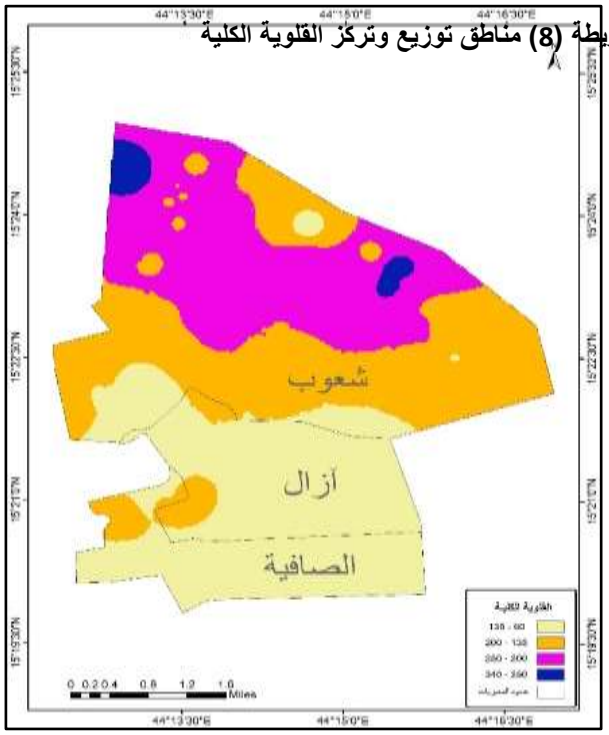
خريطة (6) مناطق توزيع وتركز الأس الهيدروجيني



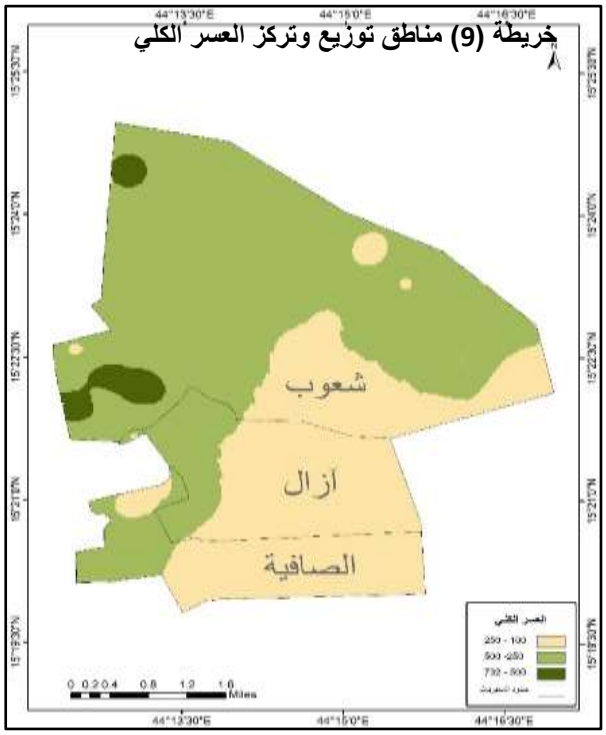
خريطة (7) مناطق توزيع وتركز الأملاح الكلية الذائبة



خريطة (8) مناطق توزيع وتركز القلوية الكلية



خريطة (9) مناطق توزيع وتركز العسر الكلي



المصدر: الباحثة اعتماداً على بينات ملحق (2)، وبرنامج (Arc GIS 10.6).

عينة واحدة من عينات الدراسة تقع ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية لمياه الشرب، حيث تراوح الكلوريد فيها بين (200–250) ملجم/لتر، وتعد ذات نوعية جيدة للشرب، ومن ناحية أخرى بلغ عدد عينات آبار المياه الجوفية التي تجاوزت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب 3 آبار فقط، حيث تراوحت قيمها بين (250–400) ملجم/لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية عند استخدامها للشرب، وتظهر على مساحة صغيرة جنوب غرب مديرية شعوب.

5- الكبريتات (So_4):

تتكون الكبريتات نتيجة إذابة المياه لمركبات الكبريت الموجودة في القشرة الأرضية، ومن إذابة المطر أكاسيد الكبريت الموجود في الهواء، ويزيد تركيزه في المياه الجوفية عن المياه السطحية (صايغ، 1993، ص55)، قد يرتفع عنصر الكبريتات في المياه الجوفية بسبب المخلفات الزراعية أو الصناعية أو مياه الصرف الصحي (الخطيب، 2004، ص69).

تبين خريطة (12) عدم تباين الكبريتات في مياه عينات الآبار لمنطقة الدراسة، حيث تراوحت بين (29–180) ملجم/لتر، جميعها ذات نوعية ممتازة للكبريتات تقع ضمن الحد الأمثل في المواصفات

القياسية اليمنية لمياه الشرب (200) ملجم/لتر التي وصل عددها (51) بئرًا، وتغطي كل مساحة منطقة الدراسة، ويزداد تركيز الكبريتات كلما اتجهنا من الشرق نحو غرب منطقة الدراسة.

6- النترات (No_3):

النترات هي الحالة العليا لأكسدة النيتروجين، وتتكون معظم النترات الموجودة في المياه الجوفية من بقايا الكائنات الحية ومن السماد الطبيعي، حيث ذكر حسين (حسين، 2011، ص140) أن مياه الفضلات المنزلية والصناعية ومخلفات الأراضي الزراعية التي تستخدم السماد النيتروجيني من مصادر النترات في المياه الجوفية، بالإضافة إلى مياه الأمطار التي تحمل مركبات النتروجين من الجو.

تراوحت نتائج تحليل عينات الدراسة للنترات بين (0-140) ملجم/لتر، منها (36) بئرًا تراوحت بين (0-10) ملجم/لتر تغطي معظم منطقة الدراسة خريطة (13)، وتقع ضمن الحد الأمثل في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب، وتعد مياه ممتازة النوعية للنترات، بالإضافة إلى (11) بئرًا من عينات الدراسة تقع ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية لمياه الشرب، حيث تراوحت النترات فيها بين (10-50) ملجم/لتر، وتعد ذات نوعية جيدة للشرب، وتنتشر غرب منطقة الدراسة وشرق مديرية شعوب، ومن ناحية أخرى بلغ عدد عينات آبار المياه الجوفية التي تجاوزت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب (4) آبار، منها 3 آبار تراوحت قيمها بين (50-100) ملجم/لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية، وبئر واحدة تراوحت قيمها بين (100-140) ملجم/لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية خطرة وتظهر هذه القيم على مساحة صغيرة جدًا في حي بني قشيب ومسيك والتضامن الجنوبية والتي تق جميعها غرب منطقة الراسة.

7- الفلوريد (F):

الفلوريد أحد العناصر التي توجد في المياه الجوفية بكميات قليلة، وتعد المعادن والتكوينات الصخرية من المصادر الرئيسة للفلوريد، وقد أضاف بصل (بصل، 2000، ص5) أن الفلوريد يوجد - أيضًا - في المخلفات الصناعية التي قد تلوث المياه وتزيد من نسبة هذا العنصر.

عن طريق تحليل نتائج عينات مياه الآبار للفلوريد في منطقة الدراسة يتضح أنها تتراوح بين (0-10.8) ملجم/لتر، وتبين خريطة (14)، أن معظم نتائج عينات مياه الآبار تقع ضمن الحدود المسموح بها لمياه الشرب، حيث بلغ عدد الآبار التي تقع ضمن الحد الأمثل (0.5 ملجم/لتر) لمياه الشرب في المواصفات القياسية اليمنية (43) بئرًا، وتعد المياه في هذه المناطق ذات نوعية ممتازة للفلوريد، وتغطي مساحة كبيرة في منطقة الدراسة، و (4) آبار تقع ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية واليمنية لمياه الشرب (0.5-1.5 ملجم/لتر)، وتعد ذات نوعية جيدة، وتظهر غرب مديرية شعوب وفي حي شيراتون في وسط المديرية، بالإضافة إلى ذلك بلغ عدد عينات آبار المياه الجوفية التي تجاوزت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب 4 آبار، بئران تراوحت قيمها بين (1.5-3) ملجم/لتر، وتعد هذه

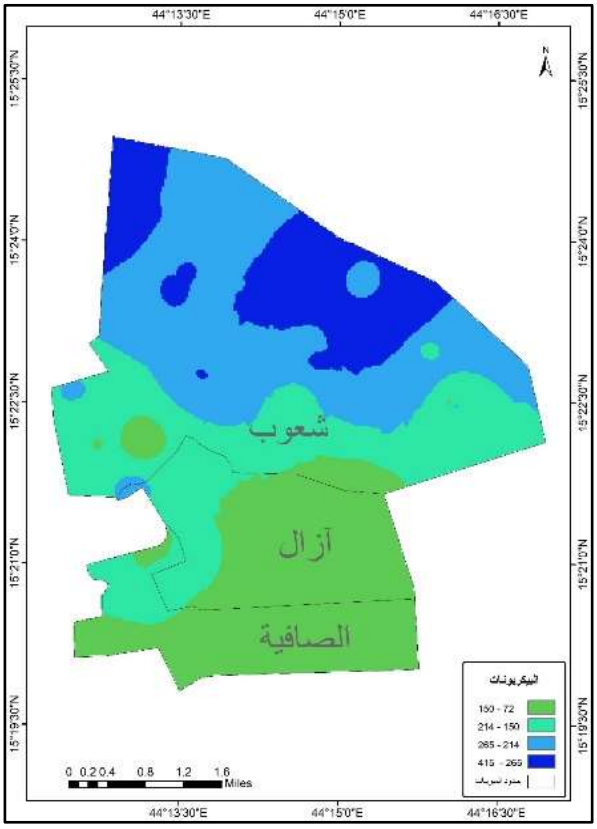
المياه ذات نوعية متدنية، و بئران تراوحت قيمتها بين (3–10.8) ملجم/لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية خطرة، وتظهر في حي بيت مرهب والجراف الشرقي في شمال غرب وغرب مديرية شعوب.

8- الحديد (Fe):

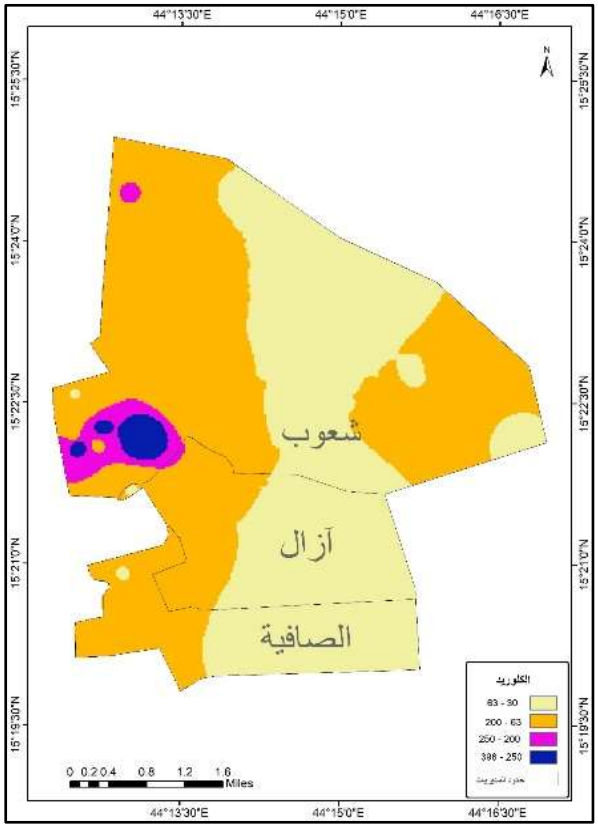
يوجد الحديد في المياه الجوفية في صورة الحديد ثنائي التكافؤ(Fe^{2+})، ويسمى حديدوز مذاب في الماء، والحديد في المياه الجوفية مصدره المعادن الموجودة في التكوينات الصخرية، وأن النشاط البكتيري يمكن أن يزيد أو يقلل من تركيز الحديد في المياه الجوفية (درادكة، 1988، ص405).

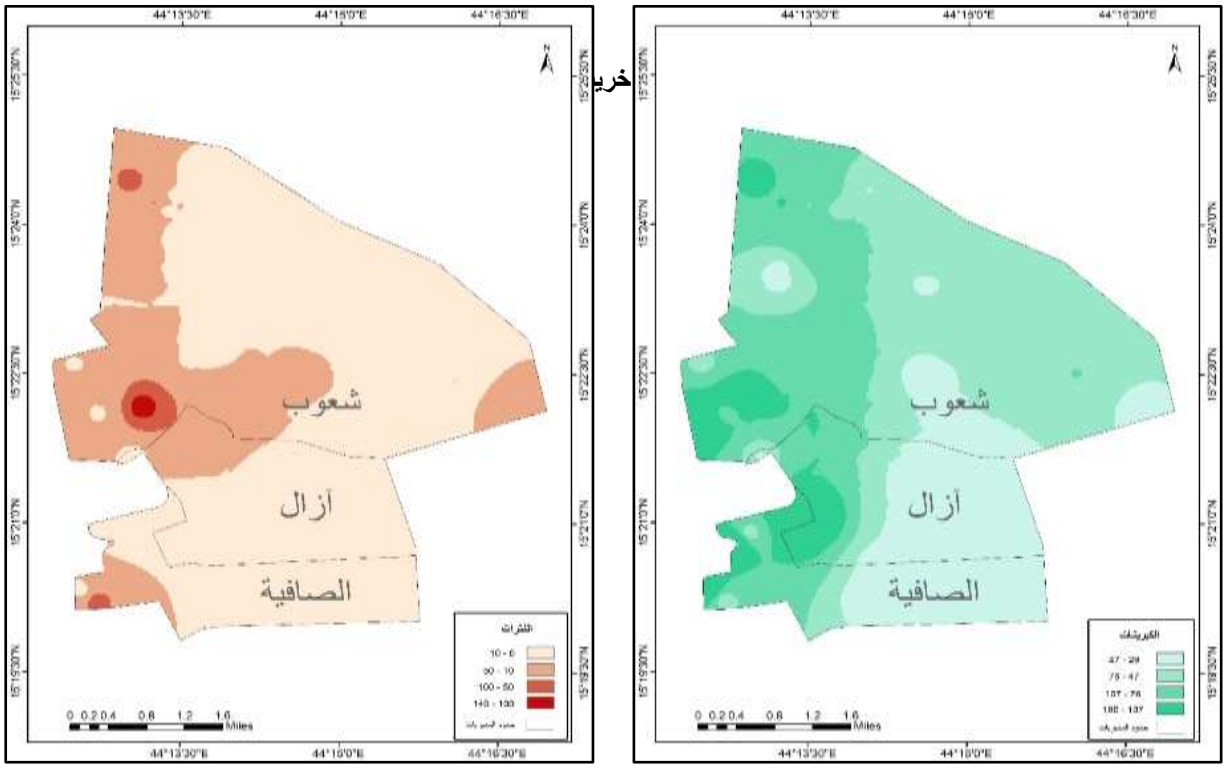
تراوحت نتائج عينات مياه آبار الدراسة للحديد بين (0–1.12) ملجم/لتر، وتوضح خريطة (15)، أن القيم التي تقع ضمن الحد الأمثل في المواصفات القياسية اليمنية وأقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية لمياه الشرب (0.3 ملجم/لتر) البالغ عددها (45) بئرًا، تغطي مساحة كبيرة في منطقة الدراسة، و(4) آبار من عينات الدراسة تراوحت درجة الحديد فيها بين (0.3–1) ملجم/لتر، وتعد ذات نوعية متوسطة، حيث تمثل هذه القيمة أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية اليمنية لمياه الشرب وتجاوزت أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية لمياه الشرب، وتنتشر في جنوب مديرية شعوب وشمال غرب مديرية الصافية، ومن ناحية أخرى بلغ عدد الآبار التي فاقت أقصى حد مسموح به.

خريطة (10) مناطق توزيع وتركز عنصر البيكربونات



خريطة (11) مناطق توزيع وتركز عنصر الكلوريد





المصدر: الباحثة اعتماداً على بينات ملحق (2)، وبرنامج (Arc GIS 10.6).

لمياه الشرب في المواصفات القياسية اليمنية بئرين فقط، حيث تراوحت قيمها بين (1–1.12) ملجم/لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية، وتظهر على مساحات صغيرة في حي باب السلام في مديرية الصافية وحي شيراتون في مديرية شعوب.

9– الكالسيوم (Ca):

يعد الكالسيوم أحد أهم الأيونات الموجبة في المياه الجوفية، ويزداد تركز الكالسيوم في الخزانات الجوفية بفعل ذوبان الكالسيوم من الصخور الرسوبية وانتقالها مع حركة المياه إلى الخزانات الجوفية، كما أن مياه الصرف الصحي غير المعالجة التي تتسرب إلى أسفل عبر طبقات الصخور المختلفة – بمساعدة عامل الشقوق والفوالق– تزيد من نسبة تركز الكالسيوم في المياه الجوفية (ارناؤوط، 2002، ص98).

تباينت نتائج تحليل عينات الدراسة للكالسيوم في مياه الآبار الجوفية، حيث تراوحت بين (36–233) ملجم/لتر، وبواسطة خريطة (16)، يتضح أن (22) بئرًا تقع ضمن الحد الأمثل (75 ملجم/لتر) لمياه الشرب في المواصفات القياسية اليمنية، وتعد المياه في هذه المناطق ذات نوعية ممتازة للكالسيوم، ومياه ذات نوعية جيدة لعدد (28) بئرًا تنتشر على النصف الغربي من منطقة الدراسة وأجزاء من شرق مديرية شعوب، وتقع ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية واليمنية لمياه الشرب

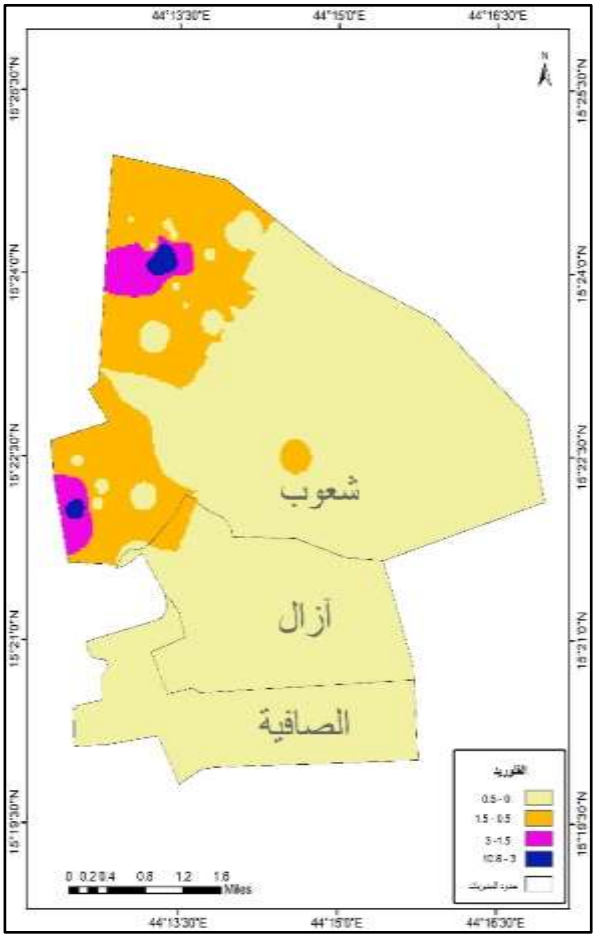
(75–200 ملجم/لتر)، ومن ناحية أخرى بئر واحدة فقط تجاوزت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب بلغت قيمتها (233) ملجم/لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية، وتظهر في حي مسيك جنوب غرب مديرية شعوب.

10- الصوديوم (Na):

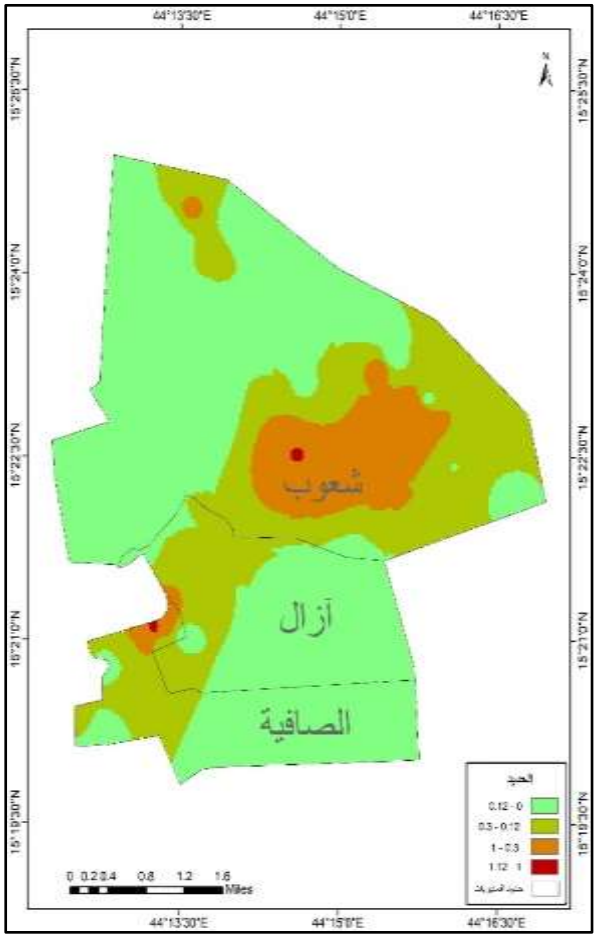
يشكل عنصر الصوديوم أحد عناصر المياه الجوفية، ويوجد في الصخور النارية في معدن الفلسبار، وكذلك في معادن الطين الناتجة عن عمليات التجوية الكيميائية، بالإضافة إلى الملح الصخري (معدن الهاليت) من الصخور الرسوبية (عايش، 1994، ص75)، وأضاف BAL Kema (BAL Kema،1993) أن مخلفات الأنشطة البشرية تؤثر في تركز الصوديوم في المياه خاصة المخلفات الصناعية ومخلفات الصرف الصحي غير المعالجة.

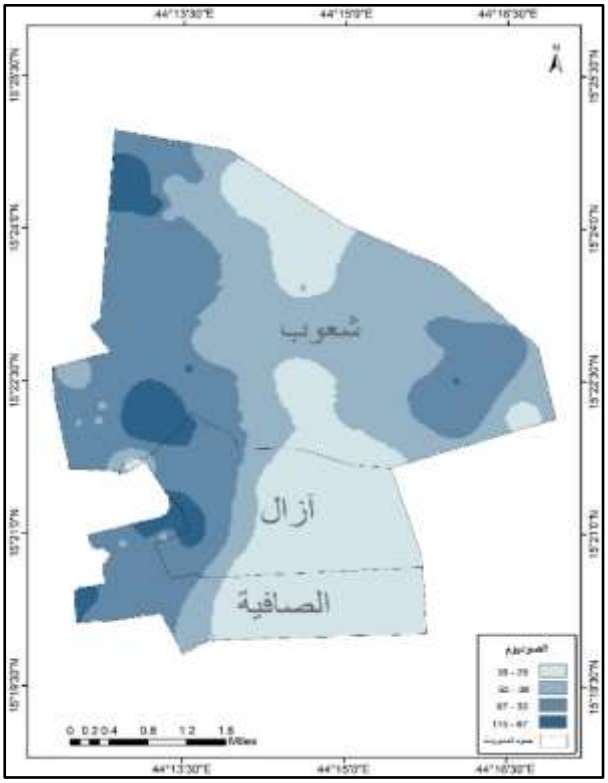
تشير خريطة (17) إلى أن نتائج تحليل الصوديوم لكل عينات آبار الدراسة التي حُللت (51) بئرًا تقع ضمن الحدود القياسية المسموح بها للشرب في المواصفات القياسية العالمية واليمنية التي تتراوح بين (0–200) ملجم/لتر، حيث تراوحت قيم العينات بين (28–115) ملجم/ لتر، وتعد المياه ذات نوعية ممتازة بالنسبة للصوديوم، حيث تزيد قيمها غرب منطقة الدراسة وأجزاء شرق مديرية شعوب.

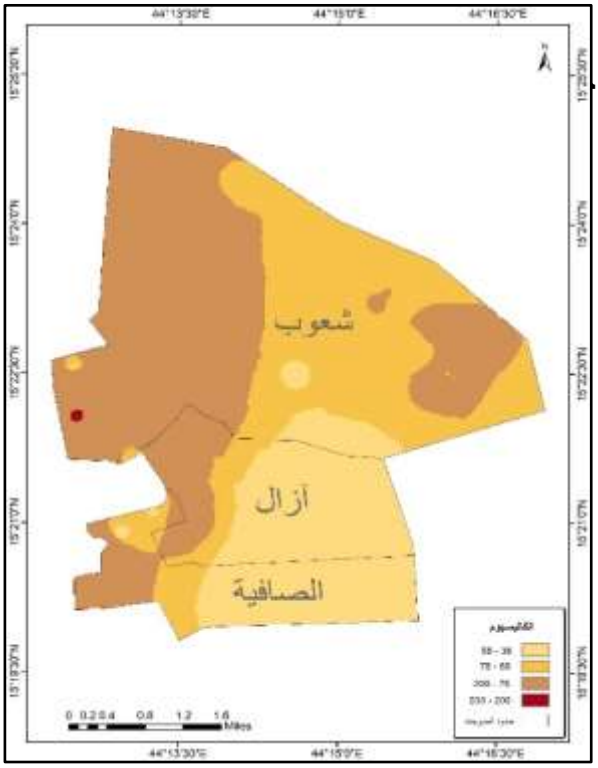
خريطة (14) مناطق توزيع وتركز عنصر الفلوريد



خريطة (15) مناطق توزيع وتركز عنصر الحديد







المصدر: الباحثة اعتماداً على بينات ملحق (2)، وبرنامج (Arc GIS 10.6).س

11- **الماغنسيوم (Mg):**

يشكل الماغنسيوم أحد أهم الأيونات الأساسية الموجبة بعد الكالسيوم في المياه الجوفية، وتعد التكوينات الصخرية للصخور النارية والمتحولة والرسوبية المصدر الرئيس للماغنسيوم (آغا، والعمارين، 2001، ص302)، وأضاف الكندي (الكندي، 2009، ص543) أن مياه الصرف الصحي غير المعالجة تزيد من تركز الماغنسيوم في المياه الجوفية. تباينت نتائج تحليل الماغنسيوم لعينات الدراسة، حيث تراوحت بين (6-64) ملجم/لتر، وبواسطة خريطة (18)، لوحظ أن معظم مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن الحد الأمثل (30 ملجم/لتر) لمياه الشرب في المواصفات القياسية اليمنية لعدد (41) بئرًا، وتعد المياه في هذه المناطق ذات نوعية ممتازة للماغنسيوم، و(8) آبار من عينات الدراسة تراوحت درجة الماغنسيوم فيها بين (30-50) ملجم/لتر، وتعد ذات نوعية جيدة، حيث تقع ضمن أقصى حد مسموح به في المواصفات القياسية العالمية لمياه الشرب، وتنتشر في حي بيت مرهب وبني قشيب شمال غرب منطقة الدراسة وكذلك في حي مسيك وقرية الدجاج غرب مديرية شعوب، وفي نفس النطاق يوجد بئران تجاوزت أقصى حد مسموح به لمياه الشرب، حيث تراوحت

قيمها بين (50–64) ملجم/لتر، وتعد هذه المياه ذات نوعية متدنية.

12– البوتاسيوم (K):

يعد البوتاسيوم من العناصر المكونة للمياه الجوفية ويوجد بتركز منخفض مقارنة ببعض العناصر كالصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم، ويزيد تركزه في الصخور الرسوبية، ويقل في الصخور النارية (درادكة، 1988، ص404)، كما أن تسرب المياه الملوثة من المخلفات الصناعية ومياه الصرف الصحي غير المعالجة والعصارة السائلة للنفايات الصلبة تزيد من تركز البوتاسيوم في المياه الجوفية (التاورغي، 2008، ص175).

توضح خريطة (19)، أن نتائج تحليل البوتاسيوم لجميع عينات آبار المياه الجوفية التي حُللت تقع ضمن الحدود القياسية المسموح بها للشرب في المواصفات القياسية العالمية واليمنية حيث تراوحت بين (1.5–5.5) ملجم/ لتر، وبذلك تعد البوتاسيوم في كل منطقة الدراسة ذات نوعية ممتازة.

ثالثًا: تحليل التباين المكاني للخصائص البيولوجية لنوعية المياه الجوفية:

1– القولونيات الكلية:

القولونيات الكلية هي عبارة عن بكتيريا تعيش في أمعاء الإنسان والحيوان، وفي الطبيعة بشكل عام، أي: أنها توجد في أماكن متعددة، وهذه البكتيريا تساعد في عمليات الهضم وتمثيل الطعام، وتخرج مع الغائط، ويعد وجود بكتيريا القولونيات الكلية في المياه مؤشرًا على تلوث المياه بمخلفات بشرية؛ لأنها تعد من المجاميع الميكروبية الطبيعية للجهاز الهضمي للإنسان (الزرقة، 2010، ص5)، وقد أكدت منظمة الصحة العالمية (منظمة الصحة العالمية، 2004)، على أنه يشترط ألا يزيد العدد عن (10) قولونيات كلية في كل (100 مل) في المياه المستخدمة، وبلغ عدد آبار عينات الدراسة التي حُللت بيولوجيا (75) بئرًا، وتوضح خريطة (20) أن المناطق الغير ملوثة مياهها الجوفية بالقولونيات الكلية تقع في أجزاء متفرقة شمال منطقة الدراسة وأجزاء في الجنوب الغربي، حيث بلغ عدد الآبار (34) بئرًا، بنسبة (45%) من إجمالي عدد العينات، وأما بقية منطقة الدراسة فقد تراوحت عدد القولونيات الكلية بين (1–280) قولونية/ 100مل منها (11) بئرًا تراوحت فيها القولونيات الكلية بين (1–10) قولونية/ 100مل، وتنتشر هذه الآبار شمال وجنوب شرق منطقة الدراسة وأجزاء أخرى متفرقة، وتعد هذه المياه صالحة للاستخدام، و(24) بئرًا تراوحت بين (10–100) قولونية/ 100مل، وهي مياه ذات نوعية متدنية وتظهر في مساحة كبيرة تغطي معظم مديرية شعوب والمناطق الغربية من مديريتي آزال والصافية، و 6 آبار شديدة الخطورة، حيث تراوحت النتائج فيها بين (100–280) قولونية/ 100مل، وتظهر هذه العينات في حي الصعدي وشارع تعز في مديرية الصافية بالإضافة إلى حي قرية الدجاج ومسيك وسعوان وبني قشيب في مديرية شعوب.

2– القولونيات البرازية:

القولونيات البرازية هي عبارة عن بكتيريا تعيش في أمعاء الإنسان والحيوان، وهي مجموعة خاصة من القولونيات الكلية وتتميز بقدرتها على العيش في درجات حرارة عالية، ولا توجد في الطبيعة إلا بصفة نادرة، وهذه البكتيريا تساعد في عمليات الهضم وتمثيل الطعام، وتخرج مع الغائط، ووجودها في الماء يعني أن الماء ملوث

بالممرضات والبكتيريا والفيروسات (صقران، ومحمد، 2001، ص62)، وقد ذكرت منظمة الصحة العالمية (منظمة الصحة العالمية، 2004)، أنه يشترط ألا يزيد عدد القولونيات الكلية عن (10) في (100 مل) في المياه المستخدمة، وأظهرت نتائج تحليل عينات القولونيات البرازية خريطة (21)، أن المناطق غير الملوثة مياهها الجوفية بالقولونيات البرازية تقع في أجزاء متفرقة من منطقة الدراسة، حيث بلغ عدد الآبار (34) بئرًا، بنسبة (45%) من إجمالي عدد العينات وأما بقية منطقة الدراسة فقد تراوحت عدد القولونيات الكلية بين (1–402) قولونية/ 100مل، منها (8) آبار تراوحت فيها القولونيات البرازية بين (1–10) قولونية/ 100مل، وتنتشر هذه شمال وجنوب شرق منطقة الدراسة وأجزاء أخرى متفرقة، وتعد هذه المياه صالحة للاستخدام، و(24) بئرًا تراوحت بين (10–100) قولونية/ 100مل، وهي مياه ذات نوعية متدنية وتظهر في مساحة كبيرة تغطي معظم مديرية شعوب والمناطق الغربية من مديريتي آزال والصافية، و (9) آبار شديدة الخطورة، حيث تراوحت النتائج فيها بين (100–402) قولونية/ 100مل وتظهر هذه العينات في حي الصعدي وشارع تعز في مديرية الصافية بالإضافة إلى حي قرية الدجاج ومسيك وسعوان وبني قشيب في مديرية شعوب.

طريقة التحليل الهرمي Analytical Hierarchy Process

أولًا: إنشاء مصفوفة المقارنة الزوجية (PCM)

تم ترتيب المعايير المؤثرة في نوعية المياه الجوفية هرميًا من الأكثر أهمية إلى الأقل أهمية ثم أنشئت مصفوفة المقارنة الزوجية للمعايير الرئيسة بواسطة تحديد نسبة الأهمية لكل معيار، ويعتمد تقييم نسبة الأهمية لكل معيار على بناء سلسلة مصفوفة المقارنات الزوجية باستخدام برنامج (Expert choice)، حيث تقارن كل المعايير بعضها ببعض اعتمادًا على مقياس ساعاتي **saaty،2008** ، **(p83)** من (1) إلى (9)، وتشير القيمة 1 إلى تساوي المعايير في الأهمية وتشير القيمة 9 إلى الأهمية القصوى للمعيار، جدول (2)، وقد حُددت القيمة العددية المخصصة للمعايير بناءً على درجة تركز كل معيار ودرجة تأثيره وخطورته اعتمادا على بيانات نتائج المختبر والمواصفات القياسية العالمية واليمنية، وبعد ذلك جُمعت قيم الأوزان لكل عمود في المصفوفة.

ثانيًا: إنشاء المصفوفة النسبية (NM):

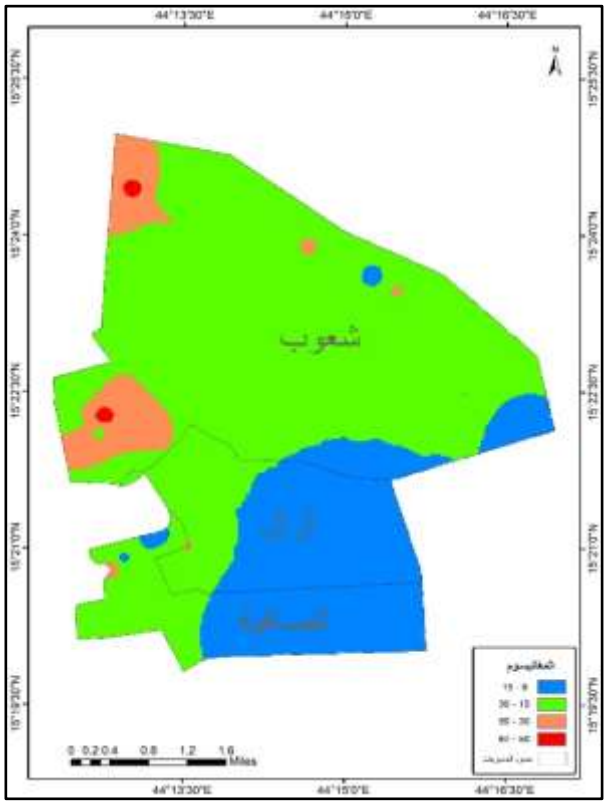
أنشئت المصفوفة النسبية للمعايير، بقسمة قيم كل معيار في المصفوفة على القيمة الإجمالية لعمود المعيار عينه، ويجب أن يكون مجموع كل عمود في المصفوفة النسبية يساوي (1) صحيح، جدول (3)، وبعد ذلك قُسم عدد المعايير على المجموع الأفقي للمعايير في المصفوفة؛ وذلك بهدف الحصول على قيم تمثل أولوية وأهمية كل معيار (الأهمية النسبية) ونسبة تأثير كل معيار في نوعية المياه الجوفية، ويجب أن يكون مجموع الأهمية النسبية لكل معيار 100%، ويبين الشكل (1) نسبة الأهمية للمعايير الرئيسة لنوعية المياه الجوفية بمنطقة الدراسة.

ثالثًا: حساب مؤشر الثبات (CI):

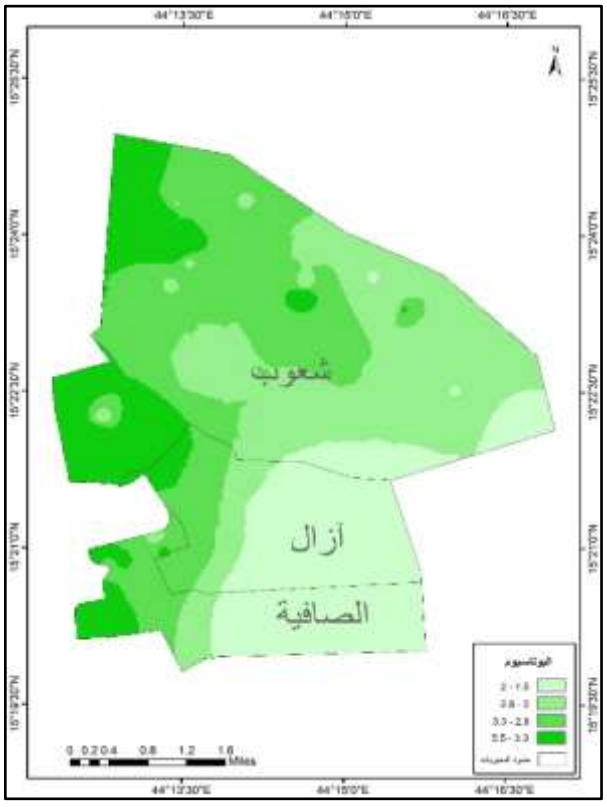
أشار **(Saaty،2008، p84)** إلى أنه من المهم في طريقة التحليل الهرمي التحقق من تماسك طريقة التحليل عن طريق حساب مؤشر الثبات (CI) الذي يشكل اختبار قبول لأوزان المعايير المختلفة، ولحساب مؤشر الثبات حُسب متوسط المتجه الذاتي

(Eigen Vector) عن طريق حساب مؤشر التناسق (λmax) الذي هو عبارة عن مجموع نتائج حاصل ضرب وزن كل معيار في مجموع قيم المعيار في

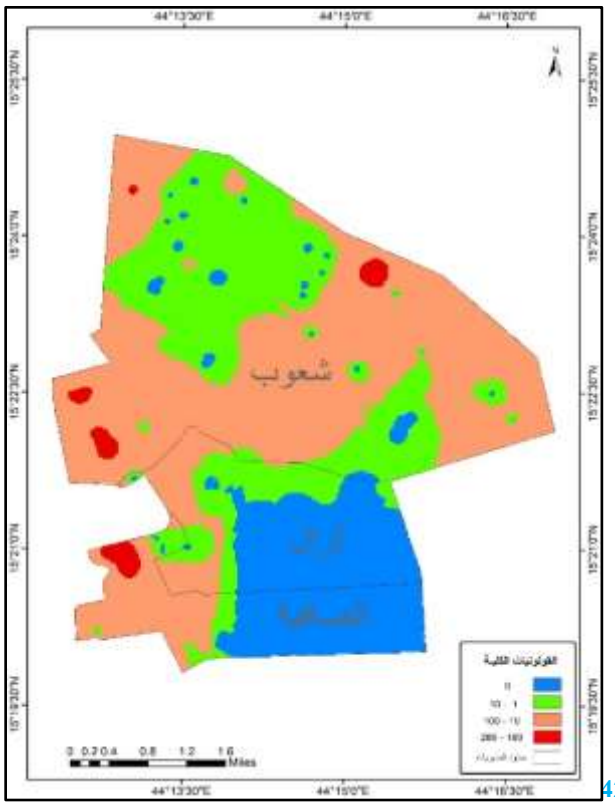
خريطة (18) مناطق توزيع وتركز عنصر الماغنسيوم



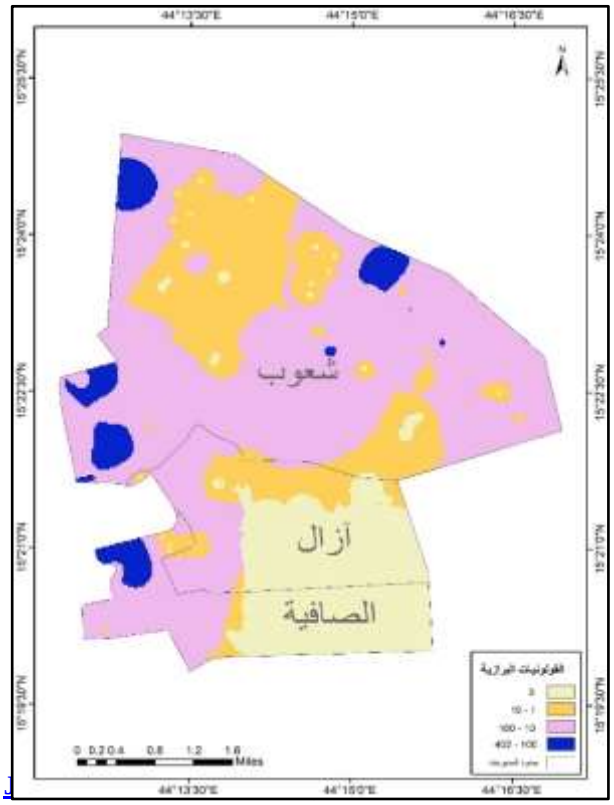
خريطة (19) مناطق توزيع وتركز عنصر البوتاسيوم



خريطة (20) مناطق توزيع وتركز القولونيات الكلية



خريطة (21) مناطق توزيع وتركز القولونيات البرازية



المصدر: الباحثة اعتماداً على بينات ملحق (2)، وبرنامج (Arc GIS 10.6).

جدول (2) مصفوفة المقارنة الزوجية للمعايير الرئيسية لنوعية المياه الجوفية:

Na	K	HCO3	So4	Mg	TDS	Ca	EC	CL	FC	NO3	pH	TC	TH	T	Fe	TA	C	F	المعايير
2.83	2.67	2.50	2.50	2.00	2.17	2.33	1.83	1.67	0.83	1.33	1.33	0.67	1.33	1.00	0.50	0.33	0.33	1	F
3.00	2.83	2.67	2.67	2.00	2.17	2.33	1.50	1.33	0.67	1.00	1.00	0.50	1.00	0.83	0.33	0.33	1	3.00	C
3.00	2.83	2.67	2.67	2.17	2.33	2.50	2.00	1.83	1.33	1.00	1.67	1.17	1.67	1.50	1.00	1	3.00	3.00	TA
2.83	2.67	2.50	2.50	2.00	2.17	2.33	1.83	1.67	0.67	1.33	1.33	0.33	1.33	1.00	1	1.00	3.00	2.00	Fe
2.67	2.50	2.00	2.33	1.83	2.00	2.17	1.67	1.33	0.50	0.67	0.67	0.33	1.00	1	1.00	0.67	1.20	1.00	T
2.67	2.33	2.00	2.00	1.33	1.50	1.67	1.17	1.00	0.33	0.67	0.67	0.17	1	1.00	0.75	0.60	1.00	0.75	TH
3.00	2.83	2.67	2.67	2.17	2.33	2.50	2.00	1.83	0.67	1.67	1.33	1	6.00	3.00	3.00	0.86	2.00	1.50	TC
2.67	2.33	2.00	2.00	1.50	1.67	1.83	1.33	1.00	0.33	0.67	1	0.75	1.50	1.50	0.75	0.60	1.00	0.75	pH
3.00	2.67	2.33	2.33	1.67	1.67	2.00	1.00	0.67	0.33	1	1.50	0.60	1.50	1.50	0.75	1.00	1.00	0.75	NO3
3.00	2.83	2.67	2.67	2.17	2.33	2.50	2.00	1.83	1	3.00	3.00	1.50	3.00	2.00	1.50	0.75	1.50	1.20	FC
3.00	2.67	2.33	1.67	1.00	1.00	1.00	0.33	1	0.55	1.50	1.00	0.55	1.00	0.75	0.60	0.55	0.75	0.60	CL
2.33	2.00	1.67	1.67	0.67	0.83	0.83	1	3.00	0.50	1.00	0.75	0.50	0.86	0.60	0.55	0.50	0.67	0.55	EC
3.00	2.33	2.00	1.67	0.33	1.00	1	1.20	1.00	0.40	0.50	0.55	0.40	0.60	0.46	0.43	0.40	0.43	0.43	Ca
2.67	2.33	1.33	1.00	0.67	1	1.00	1.20	1.00	0.43	0.60	0.60	0.43	0.67	0.50	0.46	0.43	0.46	0.46	TDS
3.00	2.67	1.67	1.67	1	1.50	3.00	1.50	1.00	0.46	0.60	0.67	0.46	0.75	0.55	0.50	0.46	0.50	0.50	Mg
2.67	2.33	2.00	1	0.60	1.00	0.60	0.60	0.60	0.38	0.43	0.50	0.38	0.50	0.43	0.40	0.38	0.38	0.40	So4
3.00	2.00	1	0.50	0.60	0.75	0.50	0.60	0.43	0.38	0.43	0.50	0.38	0.50	0.50	0.40	0.38	0.38	0.40	HCO3
2.67	1	0.50	0.43	0.38	0.43	0.43	0.50	0.38	0.35	0.38	0.43	0.35	0.43	0.40	0.38	0.35	0.35	0.38	K
1	0.38	0.33	0.38	0.33	0.38	0.33	0.43	0.33	0.33	0.33	0.38	0.33	0.38	0.38	0.35	0.33	0.33	0.35	Na
52.0	44.2	36.8	34.3	24.4	28.2	30.9	23.7	22.9	10.4	18.1	18.9	10.8	25.0	18.9	14.6	10.9	19.3	19.0	∑

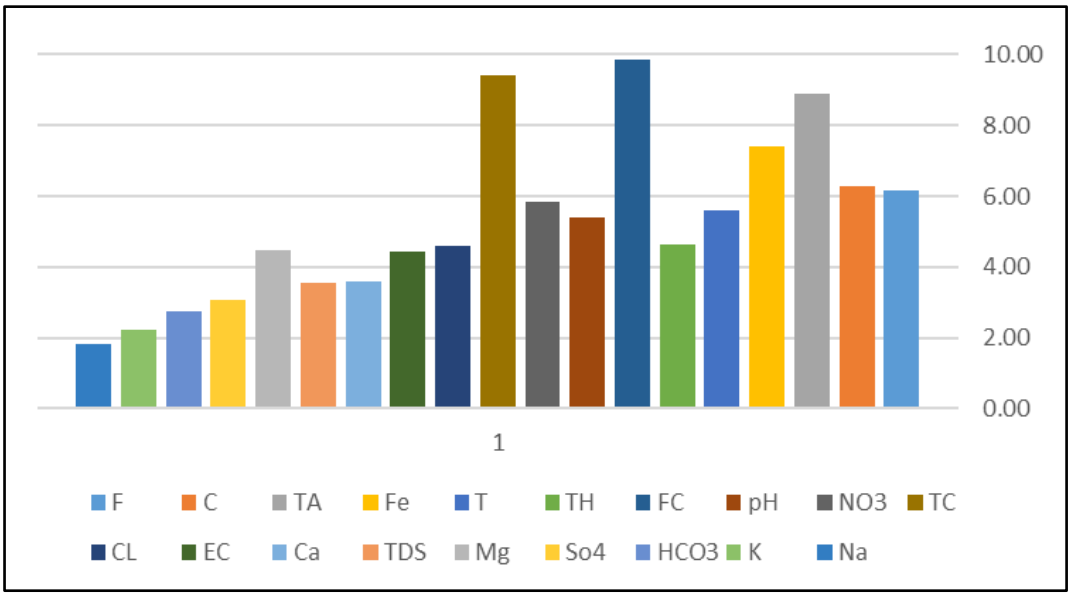
المصدر: الباحثة اعتماداً على مقياس ساعاتي

جدول (3) المصفوفة النسبية ونسبة الأهمية للمعايير الرئيسية لنوعية المياه

*100	wn	∑	Na	K	HCO3	So4	Mg	TDS	Ca	EC	CL	TC	NO3	pH	FC	TH	T	Fe	TA	C	F	المعايير
6.14	0.06	1.17	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.05	F
6.28	0.06	1.19	0.06	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.02	0.03	0.05	0.16	C
8.89	0.09	1.69	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.13	0.06	0.09	0.11	0.07	0.08	0.07	0.09	0.16	0.16	TA
7.40	0.07	1.41	0.05	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.06	0.07	0.07	0.03	0.05	0.05	0.07	0.09	0.16	0.11	Fe
5.60	0.06	1.06	0.05	0.06	0.05	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05	T
4.64	0.05	0.88	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	TH
9.86	0.10	1.87	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.09	0.07	0.09	0.24	0.16	0.21	0.08	0.10	0.08	FC
5.39	0.05	1.02	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.04	0.03	0.04	0.05	0.07	0.06	0.08	0.05	0.06	0.05	0.04	pH
5.84	0.06	1.11	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.04	0.03	0.03	0.06	0.08	0.06	0.06	0.08	0.05	0.09	0.05	0.04	NO3
9.40	0.09	1.79	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.17	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.07	0.08	0.06	TC
4.61	0.05	0.88	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.01	0.04	0.05	0.08	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.03	CL
4.44	0.04	0.84	0.04	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03	0.04	0.13	0.05	0.06	0.04	0.05	0.03	0.03	0.04	0.05	0.03	0.03	EC
3.58	0.04	0.68	0.06	0.05	0.05	0.05	0.01	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	Ca
3.56	0.04	0.68	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	TDS
4.49	0.04	0.85	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.05	0.10	0.06	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	Mg
3.08	0.03	0.58	0.05	0.05	0.05	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	So4
2.77	0.03	0.53	0.06	0.05	0.03	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	HCO3
2.24	0.02	0.43	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	K
1.81	0.02	0.34	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	Na
100	1	19	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	∑

المصدر: الباحثة اعتماداً على جدول (2)

شكل (1) نسبة الأهمية للمعايير الرئيسية لنوعية المياه الجوفية



المصدر: الباحثة اعتماداً على جدول (3)

مصفوفة المقارنات الثنائية وقد بلغ قيمة (λmax) (20.09) جدول (4)، وقد حُسب مؤشر الثبات بواسطة المعادلة الآتية:

$$CI = \frac{\lambda max - n}{(n-1)} = \frac{20.09 - 19}{(19-1)} = 0.06$$

المصدر:(Saaty،2008، p85)

حيث إنَّ: n = عدد المعايير المستخدمة في التحليل (19 معيار).

رابعًا: حساب نسبة الثبات (CR):

تهدف هذه الخطوة إلى الكشف عن أي تضارب في أثناء مقارنة أهمية كل زوج من المعايير، وحُسبت نسبة الثبات الحقيقية (CR) عن طريق تقسيم مؤشر الثبات (CI) على مؤشر قيم الثبات العشوائي (RT) التي حسبها ساعاتي (Saaty،2008) ، **p87)** ووضعها في جدول يحوي مؤشرًا خاصًا بحسب عدد معايير الدراسة، ويجب أن تكون قيمة نسبة الثبات (CR) أصغر أو تساوي 10% لتصبح نتيجة التحليل مقبولة، وبواسطة تطبيق معادلة (CR) الآتية تبين أن قيمة نسبة الثبات (CR) تساوي (0،03) وهي قيمة مقبولة تدل على اتساق الأوزان التي استُخدمت في التحليل.

$$CR = \frac{CI}{RT} = \frac{0.06}{1.62} = 0.04$$

خامسًا: تطبيق النموذج الرقمي بطريقة (AHP):

بُني النموذج الرقمي لتحديد مواقع الاختلافات المكانية لنوعية المياه الجوفية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام برنامج (ArcGIS 10.6) اعتمادًا على طريقة (AHP)، وتحليل المطابقة الموزونة في بيئة التحليل المكاني، بواسطة استخدام الخرائط الرقمية

التي أنتجت وأعيد تصنيفها وترتيبها في الطبقات هرميًا بحسب درجة الأهمية، وقد تبين بواسطة عمل مصفوفة المقارنات الثنائية للمعايير تدرج أهمية المعايير المحددة لنوعية المياه الجوفية، واستنتج أن كل من (القولونيات البرازية، القلوية الكلية، القولونيات الكلية، الحديد، اللون، الفلوريد، النترات)، تعد المعايير الأكثر

جدول (4) متوسط المتجه الذاتي

المعايير	المجموع	الوزن	λmax
الفلوريد	19.01	0.06	1.17
اللون	19.28	0.06	1.21
القلوية الكلية	10.91	0.09	0.97
الحديد	14.65	0.07	1.08
العكارة	18.89	0.06	1.06
العسر الكلي	25.01	0.05	1.16
القولونيات البرازية	10.79	0.10	1.06
الأس الهيدروجيني	18.87	0.05	1.02
النترات	18.10	0.06	1.06
القولونيات الكلية	10.44	0.09	0.98
الكلوريد	22.90	0.05	1.06
التوصيلية الكهربية	23.70	0.04	1.05
الكالسيوم	30.86	0.04	1.11
الأملاح الذائبة	28.22	0.04	1.01
المغنسيوم	24.41	0.04	1.10
الكبريتات	34.30	0.03	1.06
البيكربونات	36.83	0.03	1.02
البوتاسيوم	44.21	0.02	0.99
الصوديوم	52.00	0.02	0.94
المجموع	—	1.00	20.09

المصدر: الباحثة اعتماداً على جدول (2)

تأثيرًا في نوعية المياه الجوفية، حيث بلغت نسبة الأهمية لكل معيار (9.86%، 9.40%، 8.89%، 7.40%، 6.28%، 6.14%، 5.84%) على التوالي، وبلغ مجموع نسبة تأثيرها (53.81%)، يليها في الأهمية (العسر الكلي، الأس الهيدروجيني، العكارة، الكلوريد، الماغنيسيوم، التوصيلية الكهربية)، حيث بلغت نسبة الأهمية لكل معيار (5.60%، 5.39%، 4.64%، 4.61%، 4.49%، 4.44%) على التوالي، وبلغ مجموع نسبة تأثيرها (29.17%)، وتمثل كل من (الكالسيوم، الأملاح الذائبة، الكبريتات، البيكربونات، البوتاسيوم، الصوديوم) المعايير الأقل تأثيرًا في نوعية المياه وبنسبة (3.58%، 3.56%، 3.08%، 2.77%، 2.24%، 1.81%) على التوالي، وبلغ مجموع نسبة تأثيرها (17.05%).

أظهرت نتيجة التحليل الهرمي، خريطة (22) وجدول (5) وشكل (2) أن المياه ذات النوعية الخطرة والمتدنية جدًا تتركز في غرب منطقة الدراسة في كل من حي الصعدي في مديرية الصافية وحي مسيك وبني قشيب في مديرية شعوب، وتغطي المياه ذات النوعية الخطرة مساحة (0.2) كم^2، بنسبة (0.4%) وتغطي المياه الجوفية المتدنية جدًا مساحة (2.2) كم^2 وبنسبة (4.5%) ومجموعهما (4.9%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة التي تعد مياه الآبار الجوفية فيها غير صالحة للاستخدام بسبب احتوائها تركزات عالية من (القولونيات الكلية والبرازية، القلوية الكلية، الحديد، الفلوريد، النترات، العسر الكلي، الكالسيوم، الأملاح الذائبة).

واحتلت نوعية المياه المتدنية مساحة، بلغت (12.1) كم^2 وبنسبة (24.9%) من إجمالي مساحة

منطقة الدراسة وتظهر بشكل كبير في غرب منطقة الدراسة في الأحياء الآتية: (بيت مرهب وقرية الدجاج وبيت الصوفي وباب السلام وشارع تعز والتضامن الشمالية والفتح الشمالية)، وكذلك في شمال مديرية شعوب في حي رسلان وشمال شرق المديرية في حي سعوان وقرية الغرزة والعشة والتواثر، وتعد هذه المياه غير صالحة للشرب، بسبب تركز عناصر (القولونيات الكلية والبرازية، اللون، العكارة، القلوية الكلية، العسر الكلي).

أما بقية منطقة الدراسة فقد تراوحت نوعية المياه فيها بين ممتازة إلى جيدة، وتعد مياه صالحة لمختلف الاستخدامات البشرية، وقد احتلت المياه الجوفية ذات النوعية الممتازة مساحة (13.1) كم^2، بنسبة (27%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتوجد في جنوب وجنوب شرق منطقة الدراسة وأجزاء أخرى متفرقة، وأما المناطق ذات النوعية الجيدة للمياه الجوفية فتغطي أكبر مساحة حيث بلغت (21) كم^2 ، بنسبة (43.2%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة تتركز بشكل عام في النصف الشمالي من منطقة الدراسة في مديرية شعوب وأجزاء وسط مديريتي آزال والصافية.

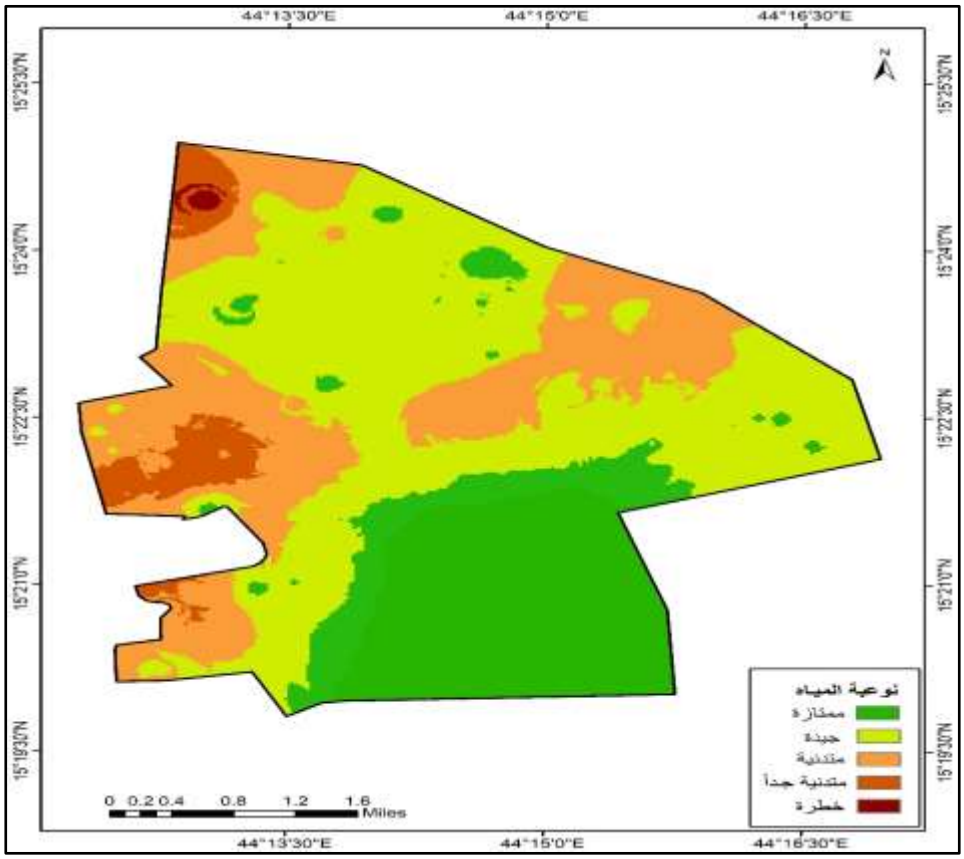
جدول (5) مؤشر نوعية المياه الجوفية بطريقة AHP

نوعية المياه	المساحة كم2	النسبة المئوية
نوعية ممتازة	13.1	27.0
نوعية جيدة	21	43.2
نوعية متدنية	12.1	24.9
نوعية متدنية جدا	2.2	4.5
نوعية خطرة	0.2	0.4
∑	48.6	100

المصدر: الباحثة اعتماداً على برنامج ArcGIS 10.6 وطريقة AHP

شكل (2) مؤشر نوعية المياه الجوفية بطريقة AHP

المصدر: الباحثة اعتماداً على جدول (5)



المصدر: على برنامج وطريقة AHP

الباحثة اعتماداً ArcGIS 10.6

نتائج الدراسة

توصلت الدراسة إلى عدد من النتائج، يمكن تلخيص أهما كالآتي:

- أظهر التحليل الهرمي لنوعية المياه الجوفية أن العناصر (القولونيات البرازية، القلوية الكلية، القولونيات الكلية، الحديد، اللون، الفلوريد، النترات)، تعد المعايير الأكثر تأثيرًا في نوعية المياه الجوفية، حيث بلغت نسبة الأهمية لكل معيار (9.86%، 9.40%، 8.89%، 7.40%، 6.28%، 6.14%، 5.84%) على التوالي، وبلغ مجموع نسبة تأثيرها (53.81%).
- احتلت العناصر (العسر الكلي، الأس الهيدروجيني، العكارة، الكلوريد، الماغنيسيوم، التوصيلية الكهربية) المرتبة الثانية من حيث تأثيرها في تدني نوعية المياه، حيث بلغت نسبة الأهمية لكل معيار (5.60%، 5.39%، 4.64%، 4.61%، 4.49%، 4.44%) على التوالي، وبلغ مجموع نسبة تأثيرها (29.17%).
- وتمثل كل من (الكالسيوم، الأملاح الذائبة، الكبريتات، البيكربونات، البوتاسيوم، الصوديوم) المعايير الأقل تأثيرًا في نوعية المياه وبنسبة (3.58%، 3.56%، 3.08%، 2.77%، 2.24%، 1.81%)

على التوالي، وبلغ مجموع نسبة تأثيرها (17.05%).

- بينت نتائج تحليل الخريطة الرقمية النهائية للتحليل الهرمي أن المياه ذات النوعية الخطرة والمتدنية جدًا تتركز غرب منطقة الدراسة في كل من حي الصعدي في مديرية الصافية وحي مسيك وبني قشيب مديرية شعوب، وتغطي المياه ذات النوعية الخطرة مساحة (0.2) كم^2، بنسبة (0.4%) وتغطي المياه الجوفية المتدنية جدًا مساحة (2.2) كم^2 وبنسبة (4.5%) ومجموعهما (4.9%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة التي تعد مياه الآبار الجوفية فيها غير صالحة للاستخدام بسبب احتوائها تركزات عالية من (القولونيات الكلية والبرازية، القلوية الكلية، الحديد، الفلوريد، النترات، العسر الكلي، الكالسيوم، الأملاح الذائبة).
- واحتلت نوعية المياه المتدنية مساحة، بلغت (12.1) كم^2 وبنسبة (24.9%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة وتظهر بشكل كبير غرب منطقة الدراسة في الأحياء الآتية: (بيت مرهب وقرية الدجاج وبيت الصوفي وباب السلام وشارع تعز والتضامن الشمالية والفتح الشمالية)، وكذلك شمال مديرية شعوب في حي رسلان وشمال شرق المديرية في حي سعوان وقرية الغرزة والعشة والتواثر، وتعد هذه المياه غير صالحة للشرب، بسبب تركز عناصر (القولونيات الكلية والبرازية، اللون، العكارة، القلوية الكلية، العسر الكلي).
- أما بقية منطقة الدراسة تراوحت نوعية المياه فيها بين ممتازة إلى جيدة، وتعد مياه صالحة لمختلف الاستخدامات البشرية، وقد احتلت المياه الجوفية ذات النوعية الممتازة مساحة (13.1 كم^2)، بنسبة (27%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وتوجد في جنوب وجنوب شرق منطقة الدراسة وأجزاء أخرى متفرقة، وأما المناطق ذات النوعية الجيدة للمياه الجوفية فتغطي أكبر مساحة حيث بلغت (21) كم^2 ، بنسبة (43.2%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة تتركز بشكل عام في النصف الشمالي من منطقة الدراسة في مديرية شعوب وأجزاء وسط مديريتي آزال والصافية.

التوصيات:

- استخدام نتائج الدراسة من قبل الجهات الحكومية والجهات المختصة والاستفادة منها للحد من مشكلة تدني نوعية المياه في منطقة الدراسة.
- توظيف التحليلات المكانية المتقدمة والطرق الرياضية الحديثة المتمثلة في برامج نظم المعلومات الجغرافية في دراسات المياه الجوفية ونوعيتها.
- العمل على منع وصول الملوثات، وتخصيص الآبار غير الصالحة للشرب للأغراض الزراعية والصناعية.
- إجراء تحاليل مختبرية دورية لمياه الآبار لمعرفة المناطق متدنية النوعية وإجراء المعالجات المناسبة.

- توعية أصحاب الآبار بأهمية الالتزام باشتراطات السلامة، وتشكيل لجان مختصة لمتابعتهم.
- تشكيل لجان تتبنى نشر الثقافة الصحية بين المواطنين وتحذرهم 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 باللغة العربية:

[1] إبراهيم، إسلام محمود، (2010): **اختبارات ومواصفات المياه**، الطبعة الأولى، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.

[2] أبو تايه، سليمان، (2000): **الكلور وتعقيم مياه الشرب**، شركة دجاني للاستشارات، رام الله، فلسطين.

[3] أبو صفية، يوسف، (1991): **أثر مشكلة المياه على الصحة في قطاع غزة**، مجلة شؤون تنموية.

[4] أبو مايلة، (1990): **مؤشرات تلوث مياه الشرب في قطاع غزة ببكتيريا الكوليفورم**، مجلة جامعة بيت لحم، العدد (9)، فلسطين.

[5] أحمد، عمر سعد، (2010)، **دراسة خصائص المياه الجوفية في منطقة وادي الشاطئ وتقييم التأثيرات لتدهور نوعيتها**، كلية العلوم الهندسية والتقنية، جامعة سبها، برك الشاطئ، الجماهيرية العربية الليبية. dromarasad@yahoo.com

[6] أرناؤوط، محمد سيد، (2002): **التلوث البيئي وأثره على صحة الإنسان**، الطبعة الثانية، أوراق شرقية للطباعة والنشر والتوزيع، القاهرة.

[7] آغا، واثق رسول، والعمارين، عمار محمد، (2001): **تلوث المياه في سهل دمشق دراسة حالة حول حقول آبار مياه الشرب في مدينة دمشق**، مجلة دراسات، المجلد (28)، العدد (2)، سوريا.

[8] أنعيم، نائلة، (2003): **الماء في الجسم نقصه يعني الموت الزؤام**، مجلة بلسم، العدد (333)، البيرة، فلسطين.

[9] بارود، نعيم سليمان، (2002): **المياه العادمة وأثرها على الخزان الجوفي في محافظة دير البلح**، دراسة في جغرافية البيئة، مجلة الجامعة الإسلامية، المجلد (10)، العدد (1)، غزة، فلسطين، ص 1–45.

[10]بصل، نهلة، (2000): **الأمراض المنقولة بواسطة مياه الشرب**، وزارة الصحة الفلسطينية، غزة، فلسطين.

[11]التاورغي، بسمة مفتاح، (2008): **المشكلات البيئية بمنطقة تاورغاء وطرق مكافحتها**، رسالة ماجستير، جامعة قاريونس، ليبيا.

[12]الحسن، فتحية محمد، (2010): **اختبارات ومواصفات المياه**، مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع.

[13]حسين، شوان عثمان، (2011): **الخصائص النوعية للمياه الجوفية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS**، دار غيداء للنشر والتوزيع، الأردن.

[14]الخطيب، السيد أحمد، (2004): **تلوث الماء الجوفي**، المكتبة المصرية للنشر، الإسكندرية، مصر.

[15]درادكة، خليفة، (1988): **هيدرولوجية المياه الجوفية**، مشروع المساعدات الفنية للقطاع الخاص ونقابة المهندسين الأردنيين، الأردن.

[16]الردايدة، جمال أحمد، (2002): **كيمياء المياه ومعالجتها**، دار الأمل للنشر والتوزيع، الأردن.

[17]الزرقة، محمد عبد الناصر، (2010): **تلوث المياه في محافظتي الشمال والوسطى وتأثيراتها على صحة الإنسان**، رسالة ماجستير، الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين.

[18]السروي، أحمد، (2011): **مبادئ التحكم في جودة الماء**، مركز تطوير الأداء والتنمية، مصر.

[19]الشجاع، عمر، قسم الجيولوجيا والبيئة، جامعة ذمار، (2018): **جودة المياه وأنظمة التنقية والتعقيم**، وزارة المياه والبيئة، الهيئة العامة للموارد المائية، البرنامج التدريبي الأساسي.

[20]صايغ، ليلى، (1993): نحن والبيئة، مجلة بلسم، العدد (22).

[21]صقران، عبد الحميد سالم، ومحمد، هناء عبدالله، (2001): **دراسة على محطات مياه مجاري مدينة الحوطة**، مجلة جامعة عدن للعلوم الطبيعية والتطبيقية، المجلد الخامس، العدد (1)، ص55-64.

[22]عايش، عدنان، (1994): **طرق تلوث المياه وطرق علاجها**، مجلة رسالة المهندس الفلسطيني، العدد (32)، فلسطين.

[23]العريقي، محمد عبد الماجد، (2006): **المياه واقع ورؤيا**، دار الكتب، صنعاء.

[24]الكندي، غيداء ياسين، (2009): **مسح نوعي للمياه الجوفية والسطحية في مدينة الكاظمية**، مجلة الهندسة والتكنولوجيا، المجلد (27)، العدد (15)، الجامعة التكنولوجية، بغداد.

[25]محمود، نور مصباح عبدالله، (2013): **التقييم المائي لنوعية مياه الشرب في محافظة خان يونس من عام (2000-2012م)**: رسالة ماجستير، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، الجامعة الإسلامية، غزة.

[26]مجلس حماية البيئة، (1998): **الوضع البيئي ومستقبل البيئة في الجمهورية اليمنية**.

[27]منظمة الصحة العالمية، (1999): **دلائل جودة مياه الشرب**، ج1، ج3، الطبعة الثانية، المكتب الإقليمي لشرق المتوسط.

[28]منظمة الصحة العالمية، (2004): **دلائل جودة مياه الشرب**، الطبعة الثالثة، مجلد1، جنيف.

[29]الهيئة العامة للموارد المائية، (2007): **دراسة وتقييم نوعية المياه الجوفية لحوض رداع**، وزارة المياه والبيئة، اللجنة الوطنية اليمنية للبرنامج الهيدرولوجي، اليوم العالمي للمياه، صنعاء.

References in English Language

[1] Bal Kema، A.A.، (1993): **Geochemistry Ground Water and Pollution**، Rotter AM، Brookfield.

[2] Saaty، Decision، (2008): **"Making With the Analytic Hierarchy Process"**، Services Sciences،Vol.1،No.1، p83-98.