

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

الدكتور حافظ عيسى خيرالله

قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة سرت

الملخص

إن حياة الإنسان وحضارته مرتبطتان ارتباطاً وثيقاً بتوفر المياه وسهولة الحصول عليها، فقديمًا كانت ضفاف الأنهار مهد الحضارات العريقة، وقديمًا كذلك كان نضوب مصادر المياه من أسباب زوال تلك الحضارات ..

وتعد المياه الجوفية المصدر الرئيس للمياه في المنطقة، لذلك كان من الضروري ترشيد استعمال المياه في المنطقة من خلال التخطيط السليم المعتمد على استعمال النماذج الرياضية بحيث تعين صاحب القرار على اتخاذ الخطوات الصحيحة في التخطيط والاستثمار الأمثل للمشاريع المائية، ويتطلب التخطيط السليم وضع الخرائط الدقيقة لطبيعة الوضع المائي وتطوره مع الزمن بالإضافة لوضع التنبؤات عن وضعه المستقبلي.

يهدف البحث إلى التنبؤ بالتباين المكاني لخصائص المياه الجوفية وبيان مدى صلاحيتها للشرب وفقاً للمعايير القياسية باستخدام طريقة (Inverse Distance Weighted) IDW مقلوب المسافة الموزونة اعتماداً على البيانات المتوفرة في هذه المنطقة المتمثلة بعدد 18 بئر موزعة بشكل شبه مثالي على المنطقة، وتوصلت الدراسة إلى أن طريقة IDW بعد المعايرة تعطي قيمة قريبة من القيم الحقيقية والتي يمكن بواسطتها التنبؤ بالتباين المكاني لخصائص المياه الجوفية في الأماكن التي لا يوجد فيها آبار محفورة.

وللوصول إلى هذا الهدف فقد تم استخدام برنامج ArcGIS 10.4.1 في إعداد الخريطة الطبوغرافية لتوزيع الأس الهيدروجيني (PH) والتوصيل الكهربائي (EC) والأيونات الموجبة (البوتاسيوم K^+ ، الصوديوم Na^+ ، الماغنسيوم Mg^{++} ، الكالسيوم Ca^{++}) والسالبة (الكلوريد CL^- ، الكبريتات SO_4^{--} ، البيكاربونات HCO_3^-) هذا فضلاً عن قياس العسرة الكلية (TH) والأملاح الذائبة الكلية (TDS).

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية، IDW، نوعية، العسرة.

المقدمة :

تعد المياه الجوفية Under Ground Water إحدى الموارد المائية الرئيسية الضرورية لتلبية الاحتياجات المتنامية من قبل السكان والكائنات الحية والبيئة المحيطة، وهنا تكتسب خصائص المياه الجوفية الصالحة للشرب، أهمية خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة نظراً لندرة مياهها نتيجةً للأوضاع المناخية القاسية المتمثلة بندرة الأمطار مع ارتفاع نسب البحر والحدوث المتكرر لفترات الجفاف الطويلة وغيره.

تعد المياه الجوفية⁽¹⁾ - رغم بعد بعض طبقاتها من مستوى سطح الأرض بمسافات طويلة - من أهم مصادر المياه العذبة السائلة في العالم وأكبرها حجماً⁽²⁾ ، ولقد اعتمد عليها الإنسان منذ آلاف السنين في بعض الأقاليم الجافة وشبه الجافة، ومازال يعتمد عليها الملايين من السكان حتى الآن⁽³⁾، وفي السنوات الأخيرة ازداد الاهتمام والطلب على المياه الجوفية نتيجة للمزايا النوعية التي تمتاز بها، فقد تطور وازداد استعمال هذه المياه بصورة ملحوظة في العديد من مناطق العالم، وشكلت نسبة المياه الجوفية 15 - 20% من مجموع المياه المستعملة لمختلف الأغراض عالمياً⁽⁴⁾، وتعد المياه الجوفية في المنطقة - وأغلب المناطق الجافة - المصدر الوحيد المتاح للاستغلال للأغراض المختلفة⁽⁵⁾، فقديمًا ارتبط الاستقرار البشري وازدهرت الحضارات الإنسانية بمدى توافر المياه، كحضارة الفراعنة وابل وسبأ وغيرها، وفي نفس الوقت كانت نهاية معظم الحضارات على نهاية منابع المياه ومصادرها، كما حدث لحضارة سبأ التي اندثرت بانحيار سد مأرب⁽⁶⁾، وحضارة اليوم وما يصاحبها من نمو اقتصادي واجتماعي سريعين تعتمد أساساً على مدى وفرة المياه، فلقد قيل إنه من يملك المياه يملك الحاضر والمستقبل⁽⁷⁾، غير أنه ليست كل المياه الجوفية يمكن الحصول عليها بسهولة، فمنها ما هو عميق جداً أو في تكوينات لا تسمح بسحبه للاستثمار، كما قد تحتوي المياه الجوفية على أملاح الكالسيوم و الماغنسيوم والصوديوم قد تكون بتركيز عالية لتجعل هذه المياه عسرة وذلك بسبب تعرضها للمواد القابلة للذوبان في التكوينات الجيولوجية بالإضافة إلى الأملاح المنقولة فيها⁽⁸⁾.

ولقد أدى التطور الهائل في استحداث حقول زراعية وحيوانية وإنشاء تجمعات صناعية وسكانية حول الآبار إلى زيادة مشاكل تلوثها وأصبحت تشكل خطراً صحياً على مستهلكي مياه هذه الآبار، كما إن نفوذ مياه المجاري والنفايات الصناعية خلال التربة إلى الطبقات المائية تعد مصدراً خطراً لتلوث المياه الجوفية وتدهور نوعيتها.

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

ويرجع تاريخ تكون المياه بالمنطقة كما تشير نتائج الكربون المشع (14) إلى 30000 سنة قبل الميلاد، حيث كانت تغطى كميات كبيرة من مياه الأمطار⁽⁹⁾، ومما يؤكد هذه التقديرات هو تطابقها زمنياً مع المعلومات والبيانات المتوفرة عن التغيرات المناخية القديمة بالمنطقة، حيث تدل هذه المعلومات على أن مناخ المنطقة الحالي والذي يتسم بالجفاف التام والحرارة المرتفعة وغياب الأمطار يسود منذ عام 8000 قبل الميلاد وحتى الآن⁽¹⁰⁾.

وتحدد نوعية المياه الجوفية في أي خزان قابليته للاستغلال من عدمها، كما تتحدد النوعية المقبولة على ضوء الاستعمال المستهدف، فقد تكون النوعية مقبولة للري الزراعي، بينما لا تصلح لمياه الشرب أو للأغراض الصناعية وهكذا، وبالتالي تعد مسألة تجهيز سكان المدن بمياه الشرب النقية والخالية من الشوائب والملوثات من المشاكل في الوقت الحاضر، وخاصة مراقبة العناصر الكيميائية بها من أهم الضروريات والظواهر الحضارية التي توليها الدول اهتماماً خاصاً لما لها من أهمية كبرى لضمان صحة الإنسان⁽¹¹⁾، واهتمام الإنسان بنوعية المياه - كان ولا يزال وسيظل - يلقي اهتماماً كبيراً، لذلك فقد عُني منذ أقدم العصور بحسن اختيار مصادره، وبإجراء الفحوصات على المياه بقدر ما أوتي الإنسان من علم ومعرفة آنذاك للتأكد من صلاحية الماء وخلوه من الأضرار.

ومنذ منتصف القرن الماضي تزايد الاهتمام العالمي بموضوع جودة المياه Water quality الصالحة للشرب الآدمي ومحاولة وضع معايير Standards ومؤشرات كدلائل استرشادية يمكن استخدامها كحد أدنى لحماية صحة الإنسان من المخاطر المحتملة من تلوث مصادر المياه العذبة نظراً لأهمية وخصوصية هذا الموضوع على المستوى العالمي، فقد تولت هيئة الأمم المتحدة UN منذ منتصف الستينات مسؤولية جمع وتصنيف وتبويب نتائج البحوث العلمية التطبيقية ومصادرها وبادرت الأمم المتحدة بتشكيل لجنة علمية والاتفاق على معايير بهدف تعميمها على مختلف بلدان العالم وقد أسندت هذه المسؤولية على منظمة الصحة العالمية WHO وأن جودة المياه العذبة الصالحة للشرب الآدمي تعتمد أساساً على المعايير الاسترشادية الصادرة عن منظمة الصحة العالمية⁽¹²⁾، ويمكننا تقسيم المياه العذبة بالنسبة لصلاحيتها للاستخدام⁽¹³⁾:

- 1- المياه النقية الصالحة للاستعمال وهو الماء الخالي من أي جراثيم ومن مواد معدنية التي تكتسبه لونها أو جعله غير صالح للاستعمال أو غير مستساغ الطعم والرائحة.
 - 2- المياه الغير نقيه أو الملوثة طبيعياً، وهي المياه التي تتعرض لعوامل الطبيعة والذي اكسبها تغير في اللون والطعم والرائحة أو العكرة، نظراً لوجود مواد عضوية أو غير عضوية في الماء.
 - 3- مياه غير صالحة للاستعمال والملوثة، وهي المياه التي تحتوي على بكتريا أو مواد كيميائية بما تجعلها ضارة بالصحة العامة نظراً لما فيه من أمراض مما يؤكد عدم صلاحيتها للشرب.
- ونظراً للطلب المتزايد على المياه الجوفية للأغراض المختلفة، فإن إدارة هذه الموارد مهمة جداً لكافة الاستخدامات المدنية والزراعية، وعليه فإن التنبؤ بالتباين المكاني لخصائص المياه الجوفية مفيد لإدارة تلك الموارد، ونظراً لأن التكلفة المادية عالية لمثل هذا النوع من الدراسات وخاصةً للمساحات الكبيرة تأتي أهمية طرائق الاستكمال (الاستنباط أو التنبؤ) Interpolation في معرفة التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية بالمنطقة، وتستند هذه العملية على قياس قيم المتغيرات من أجل التنبؤ بقيم نفس المتغيرات في باقي نقاط الموقع باستخدام نماذج رياضية حاسوبية.

ويعرف الاستكمال البياني الداخلي بأنه أحد طرق الإحصاء المكاني Geostatistics والتي تعمل على إيجاد تقدير القيم لخلايا البيانات، إذ تقوم بعملية تنبؤ حسابي لجميع العناصر وتخزن النتائج بالصيغة الشبكية Raster⁽¹⁴⁾ والتي تغطي جميع أنحاء منطقة الدراسة جغرافياً، حيث يعمل الاستكمال المكاني الداخلي على إنشاء سطح يعمل على تمثيل أو نمذجة الظاهرة التي أخذت منها عينات في أفضل صورة ممكنة⁽¹⁵⁾، ولذلك فإن تطبيقه هو لحساب القيم المجهولة لأي بيانات نقطية جغرافية، فعلى سبيل المثال (الارتفاع، سقوط الأمطار، التراكيز الكيماوية، مستويات الضوضاء... الخ)، وبالتالي فإن جمع البيانات من كل موقع من منطقة الدراسة لتحديد التركيز لأي خاصية كيميائية أو فيزيائية أو الارتفاع أو غيرها ربما لا يكون ممكناً عملياً ولا يكون مجدياً اقتصادياً، لذلك فإن الاستكمال يستعمل لخلق سطح مستمر Continuous عن طريق تحديد قيم جديدة من المعاملات Parameters عند النقاط التي لم يكن قد تم ضمها إلى العينة بشكل مباشر⁽¹⁶⁾.

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

تستخدم طرق الإحصاء المكاني لتمثيل الواقع الحقيقي بدرجة كبيرة من الدقة، وتوجد الكثير من برامج الكمبيوتر التي بواسطتها يمكن إجراء التحليل المكاني لأي بيانات مكانية مقاسة، ويعد برنامج ArcGIS وملحقاته Geostatistical Analyst (محلل البيانات المكانية) من أهم هذه البرامج التي يقوم بإجراء التحليل المكاني والذي يحتوي على العديد من طرق الإحصاء المكاني مثل طريقة IDW & Kriging وغيرهما من الطرق الإحصائية الأخرى⁽¹⁷⁾، ولقد تم الاعتماد على طريقة IDW للبيانات المقاسة في هذه الدراسة.

وقد تم تحليل البيانات الاستكشافية (Exploratory Data Analysis (EDA) والتي تشمل التوزيع التكراري (Histogram) و Normal QQplot لتحقق من توزيع البيانات طبيعياً والبيانات التي لم تظهر توزيعاً طبيعياً.

ويستنتج تابع IDW قيمة الخلية عن طريق حساب متوسط قيم نقاط العينات القريبة من مركز كل خلية، ويمكن استخدام هذه التابع في استقرار سطح مستمر انطلاقاً من بيانات نقطية موزعة بشكل عشوائي، فقد أثبتت التجارب أن هذا التابع الرياضي البسيط يعطي نتائج ذات موثوقية عالية مقارنة بتابع أخرى أكثر تعقيداً⁽¹⁸⁾، وهنا تحسب قيمة النقطة المجهولة وفق تابع خطي موزون اعتماداً على مجموعة من النقاط المعلومة المحيطة⁽¹⁹⁾، حيث تؤثر بيانات كل نقطة معلومة بشكل أكبر كلما كانت قريبة من النقطة التي لا تتوفر فيها قياسات ويقل تأثيرها كلما ابتعدت عنها، أي كل نقطة معلومة يكون لها وزن معين يدخل في الحساب⁽²⁰⁾، وباعتبار أن الوزن تابع لمقلوب المسافة بين النقطة المستقرأة وبقية النقاط المعلومة، فالنقاط القريبة من النقطة المجهولة ستكون أكثر تأثيراً في حين أن النقاط الأبعد ستكون أقل تأثيراً في قيمة النقطة المحسوبة (مع الأخذ بالحسبان أن إعطاء قيم كبيرة للمسافات سيعطي نتائج غير دقيقة)⁽²¹⁾.

وتتلخص فكرة الوزن في إعطاء وزن خاص للنقطة عند حساب المركز المتوسط حيث إن الأوزان لا تعتمد فقط على المسافة الفاصلة بين النقاط وإنما على التوزيع المكاني لهذه النقاط والذي يعتمد بدوره على ما يسمى الارتباط التلقائي المكاني Spatial Autocorrelation⁽²²⁾، وانطلاقاً من هذا المبدأ تمت معالجة البيانات في برنامج ArcGIS 10.4.1 وقد تبين أن النتائج كانت محصورة بين أقل وأعلى قيمة متوفرة بالبيانات أي انه لم تنتج لنا قيم جديدة خارج هذا المجال.

ويتأثر إنتاج خرائط التوزيع المكاني باستخدام طريقة IDW بكل من الأس (Power) لمعكوس المسافة وعدد قيم العينات المقاسة المستخدمة في استنباط القيمة الغير المقاسة⁽²³⁾، فقد تم إنتاج خرائط توزيع

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

البيانات باستخدام الأس الأمثل (ينتج أقل خطأ) ومع زيادة الأس يتناقص تأثير تلك النقاط بشكل إضافي، حيث يوزع الأس ذو القيمة الأقل القيم بانتظام أكبر بين النقاط المتجاورة، ولتقييم فاعلية النموذج في طريقة validation cross- (Root-Mean-Square-Error) RMSE فقد اعتمد على قيمة RMSE إلى التنبؤات الأكثر دقة⁽²⁴⁾.

كما شملت الدراسة استعراض الموقف الحالي لمياه آبار الشرب بالمنطقة لتحديد مدى ملائمتها وصلاحياتها للاستخدام البشري وفقاً للمواصفات والمعايير الدولية، ومن هنا جاءت فكرة إجراء هذه الدراسة على العينات التي تم تحليلها 2014 للاستفادة من هذه النتائج وإعداد الخطط المستقبلية لتطوير العمران بالمنطقة.

موقع المنطقة:

تقع منطقة الدراسة ما بين خطي طول $23^{\circ} 05' 50''$ و $23^{\circ} 25' 37''$ شرقاً وما بين دائرتي عرض $24^{\circ} 00' 12''$ و $24^{\circ} 12' 18''$ شمالاً بمساحة تقدر بـ (1305 كم²)، وتعد المنطقة جزءاً من الصحراء الكبرى ويمر وادي الكفرة القديمة بوسطها، وبالتالي فإنه ينطبق عليه ما ينطبق على الأقاليم الجافة عموماً من ندرة الأمطار وفقير في الغطاء النباتي والتفاوت في درجات الحرارة، وتتميز المنطقة بمناخ حار جاف معظم شهور السنة كما تمتاز بالتطرف في درجات الحرارة، أما الأمطار بالمنطقة فإنها لا تختلف في نظامه عن أي جزء آخر من النطاقات الصحراوية، وذلك من حيث صغر معدلاته والتباين الشديد في الكميات المتساقطة من سنة لأخرى، إلى جانب ما تتميز به من سقوط بشكل مفاجئ على شكل رخات غزيرة ومركزة خلال فترة زمنية محدودة مثلما حدث خلال شهر يناير 1974، حيث سجلت كمية الأمطار المتساقطة 10.2 ملم، وهي أكبر متوسط شهري حتى الآن⁽²⁵⁾.

وتغطي منطقة الدراسة الكثبان الرملية وبعض بقايا التلال المنعزلة والسبخات، ويصل متوسط منسوب حوض الكفرة إلى حوالي 408 متراً فوق مستوى سطح البحر وتتصف بتباين ارتفاعاتها ما بين 348 و 469 متراً فوق مستوى سطح البحر، شكل (1)، و سطح المنطقة يبدو موجاً بحيث لا تزيد درجات الانحدار به عن 15 درجة بالمناطق التلال، أما معظم سطح المنطقة فإن درجات الانحدار تقل عن 3.1 درجة شكل (2)، بحيث يمكن تقسيمه إلى مجموعة من الأحواض الصغيرة مثل الجوف، بومة، بومة، الزرق،

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

الحواري، الهويوي، الطلاب، الطليليب، ويحف هذه المنخفضات من الجهة الشمالية قوس جبلي تحاتي قدم من أهمها جبل فاضل والهوايش والناري، أما من ناحية الغرب فيحده جبال ريبانة والفريق، ومن ناحية الجنوب جبل الزرق، أما تلال الديتو (البحر) فهي تتوسط المنطقة لتفصل الحواري والهويوي عن الجوف.

وتتلخص مشكلة البحث في الآتي:

- كيفية إيجاد الطريقة الملائمة في التحليل المكاني لتوزيع قيم الخصائص النوعية للمياه الجوفية، وتقدير مدى صلاحيتها لأغراض الشرب.
- ما مدى تباين توزيع خصائص المياه الجوفية في المنطقة ونمذجتها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية اعتماداً على طريقة IDW؟

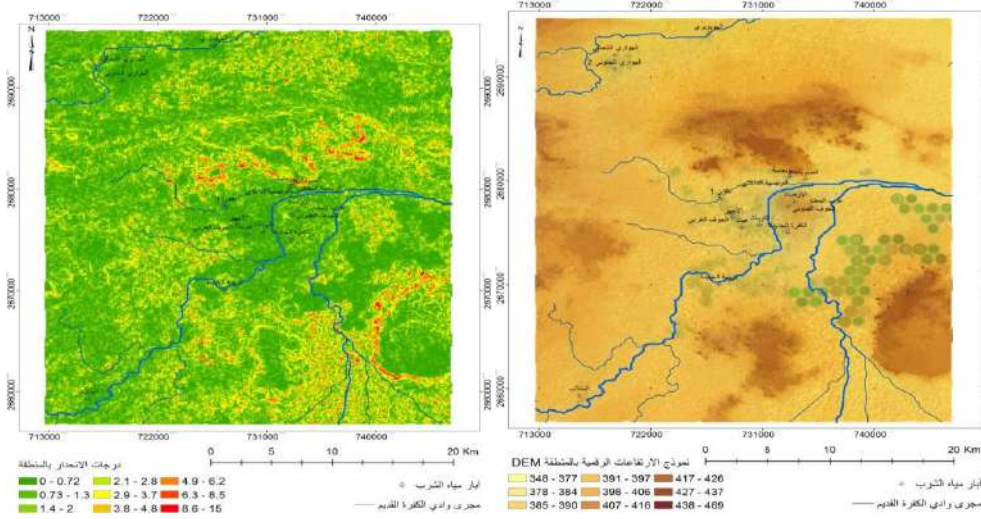
أما أهمية البحث وأهدافه فتتجلى في الآتي:

- وقوع منطقة الدراسة على الخزان الحجر الرملي النوبي Nubian Sandstone الذي يحتوي على كميات كبيرة من المياه الجوفية التي تمثل المصدر الأساسي للمشاريع التنموية بالمنطقة كمشروع الكفرة الإنتاجي ومشروع النخيل ومشروع الكفرة الاستيطاني⁽²⁶⁾.
- قلة الاهتمام بالبيئات الصحراوية ومواردها الطبيعية التي تحتاج إلى تكثيف الدراسات الميدانية بما يخدم المنطقة واستثمار الكثير من الموارد الطبيعية التي لا تزال بعيدة عن متناول الباحثين.
- كما يهدف البحث إلى استخدام تقنيات التنبؤ المكاني باستخدام طريقة IDW من أجل التعرف والكشف وإنتاج خرائط تنبؤية توضح التباين المكاني لعناصر المياه الجوفية في الأماكن التي لا يوجد فيها آبار محفورة خاصةً للمساحات الكبيرة والتي يمكن الاستفادة منها واستخدامها في إدارة موارد المياه الجوفية لاحقاً، بالإضافة إلى تحليل نوعية المياه ومدى صلاحيتها للشرب ومقارنتها بالمعايير الصحة العالمية.

وتذهب فرضية البحث إلى أن هناك تباين واضح في توزيع خصائص المياه الجوفية بالمنطقة ويظهر هذا التباين بشكل واضح باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.

شكل (2) درجات الانحدار بالمنطقة

شكل (1) نموذج الارتفاعات الرقمية DEM



المصدر: اعتماداً على نموذج SRTM ومخرجات برنامج ArcGIS 10.4.1

من أجل التنبؤ المكاني لتركيز العناصر الكيميائية في المياه الجوفية بأبار المنطقة استخدمت نتائج التحاليل من 18 بئراً موزعة على كامل مساحة منطقة الدراسة والتي تم تحليلها عام 2014 كما هو مثبت بالملحق (1)، ومن أجل إنجاز خرائط توزيع العناصر الكيميائية في المياه الجوفية فقد تم استيراد كافة الشرائح ذات الصلة وعرضها في برنامج ArcGIS 10.4.1 وتم استكشاف البيانات من خلال التحقق من الخصائص الإحصائية، وتحديد ملائمة البيانات لتوليد السطح الرياضي أم لا؛ ومن ثم اختيار النموذج المناسب من خلال حساب قيمة RSS (of Squares Residual Sums) واختيار القيمة الأصغر له، وتنفيذ التحليل وبالتالي التنبؤ.

ولقد اعتمد الباحث على مجموعة متعددة من البيانات، تمثلت بالدرجة الأساس بالبيانات التالية:

- 1- البيانات الخاصة بمياه الآبار التي تتوزع على منطقة البحث والبالغة عددها (18) بئر ماء جوفي.
- 2- كما تم اعتماد مجموعة أخرى من البيانات تمثلت بالبيانات الرادارية (DEM) - بدقة 30 متر - للتعرف على طبيعة السطح التضاريسي للمنطقة (الارتفاع والانحدار).

ولقد تمثلت خطوات العمل في تبويب قاعدة البيانات الخاصة بالآبار بالبيانات المكانية (X , Y) على شكل بيانات نقطية، أما الجزء الأخر فتمثلت بالبيانات الوصفية Attributes Data الخاصة بهذه الآبار وتمثلت بالتحاليل النوعية للمياه الجوفية والتي تم إلحاقها بجدول البيانات الوصفية، فضلاً عن استخدام

ملحق تحليل الإحصاء الأرضي Geostatistical Analyst والذي تم اعتماده في بناء خرائط الخصائص النوعية للمياه الجوفية لموضوعة الدراسة.

تحليل النتائج:

لقد تم اعتماد مجموعة من المحددات الأساسية في تقييم صلاحية المياه الجوفية لغرض الشرب، وفي ضوءها تم اتخاذ القرار في تحديد التوزيع المكاني للمساحات التي تكون فيها مياه الآبار الجوفية صالحة للشرب من عدمها، واشتملت هذه المحددات على المتغيرات التالية:

أولاً تحليل الخصائص الطبيعية:

1- العمق:

تباين أعماق الآبار من مكان إلى آخر بمنطقة الدراسة، حيث تتراوح ما بين (90 متراً بئر غرب المطار - 457 متراً كما هو بئر بزيمة الجديدة) بمتوسط 244.3 متراً، وبانحراف معياري 92.03 متراً كما هو موضح بالجدول (1)، ويتبين من خلال التوزيع المكاني للآبار كما هو موضح بالشكل (3) حيث يلاحظ جود تباين كبير بين الأعماق حيث بلغت نسبة معامل الاختلاف 38% وهذا مؤشر على تشتت البيانات (مواقع الآبار)، كما يلاحظ أن هناك علاقة طردية بين ارتفاع سطح الأرض وطبقة أعماق الآبار حيث تتركز أكثر الآبار عمقاً عند المناطق المرتفعة، بينما الأقل عمقاً عند منطقة مجرى الوادي وخاصة بالقرب من منطقة ملتقى الفرعين، وتندرج المنطقة بالارتفاع نحو التلال المحيطة بالمدينة المتمثلة بجبال الديو شمالاً والزرقي في الجنوب، حيث تتوزع جميع الآبار بمنطقة مجرى وادي الكفرة القديم، كما يلاحظ وجود توافق مع التدرج في انحدار السطح ويدل على ذلك تركز المزارع التي تنتشر بالمنطقة ببطن الوادي وهذا يتوافق أيضاً مع نمط التصريف السطحي الذي يؤدي دوراً رئيساً في تواجد المياه الجوفية بالمنطقة.

ومن خلال عرض نتائج (Cross Validation) لتحقق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لعمق الآبار (102) بينما بلغت نسبة ME (-5.3) كما هو موضح بالجدول (2) والشكل (5)، بينما يوضح الشكل (6) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لعمق الآبار بالمنطقة.

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

جدول (1) التحليل الإحصائي لمياه الآبار ومطابقته للمواصفات الليبية والعالمية ووكالة حماية البيئة الأمريكية

Maximum permissible limits			Statistics					Parameter
U.S.EPA Maximum m 2009 ⁽²⁹⁾	WHO Maximum m 2006 ⁽²⁸⁾	LDWS Maximum m 2004 ⁽²⁷⁾	Coefficient of Variation	Std	Mean	Max	Min	
			38	92.03	244.3	457	90	العمق
			52	18.75	35.96	66.88	4.17	الإنتاجية
8.5 – 6.5	8.5 – 6.5	8.5 – 6.5	7	0.45	6.78	7.96	6.04	pH
1500	1500	500	75	646.5	862.1	3025	268	EC (uS/cm)
500	1000	1000	75	413.8	551.6	1936	172	TDS mg/l
200	200	200	76	42.53	56.00	179.8	16.1	Na ⁺ mg/l
20	12*	40	91	10.31	11.31	46.02	3.9	K ⁺ mg/l
200	200	200	50	12.23	24.44	66	14	Ca ⁺⁺ mg/l
125	50	150	85	14.17	16.70	56	5.04	Mg ⁺⁺ mg/l
250	250	250	62	64.00	103.9	234.3	17.7	Cl ⁻ mg/l
250	250	-	41	20.12	49.65	122	36.6	HCO ₃ ⁻ mg/l
250	250	400	115	121.3	105.8	483.3	24.9	SO ₄ ⁻ mg/l

النتائج

أقل من المعيار (الجوف الجنوبي - التوبات - الهوارى الجنوبي - الكفرة الجديدة)	pH
أعلى من المعيار (الجوف الجنوبي - غيث)	EC
أعلى من المعيار (الجوف الجنوبي - غيث)	TDS
أعلى من المعيار (الجوف الجنوبي - الأرصاد)	K ⁺
أعلى من المعيار (الجوف الجنوبي)	Mg ²⁺
أعلى من المعيار (الجوف الجنوبي - غيث)	SO ₄ ²⁻

* WHO 2011.

جدول (2) جودة البيانات المشتبهة بها (Cross-Validation) بطريقة IDW لعينات المياه الشرب بالكفرة

So ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	CL ⁻	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	T. H	T.D. S	EC	PH	الإنتاجية	عمق الآبار	العصر
129.2	22.7	58.2	14.7	13.2	8.0	41.	91.	400	626	0.4	18.1	102	RMS E
7.86	1.40	3.73	1.27	1.41	1.3	-	8.7	37.0	57.	-	6.19	-5.3	ME

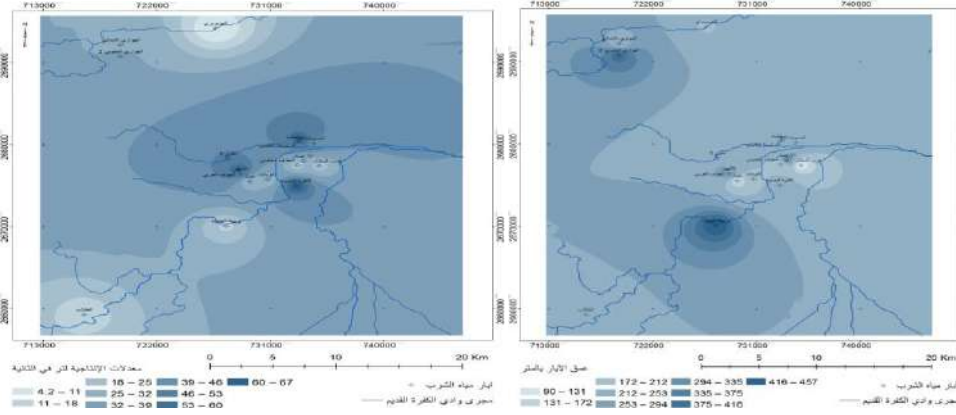
The Mean Error (ME), The Root Mean Square Error (RMSE)

2- الإنتاجية:

من خلال الجدول السابق (1) والشكل (4) نلاحظ أن هناك تبايناً مكانياً في إنتاجية الآبار بالمنطقة إذ بلغ معدل الإنتاجية (35.96 لتر في الثانية) وأن تباين التصريف في عينات منطقة الدراسة بين أعلى من المعدل في ثمانية آبار كان أعلاها في البئر (الرئيسية الداخلي) بإنتاجية بلغت (66.9 لتر في الثانية)، أما الأقل من المعدل فتمثلت بقية الآبار العشرة، وكان أدناها في البئر الهويوي بإنتاجية بلغت (4.2 لتر في الثانية)، ويعكس هذا التباين في الإنتاجية إلى الكثافة السكانية بمركز المدينة الأمر الذي يترتب عليه زيادة الاستهلاك اليومي للفرد من المياه. وكما هو مبين بالجدول السابق (2) والشكل (7) للتحقق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لإنتاجية الآبار (18.1) بينما بلغت نسبة ME (6.19)، ومن الشكل (8) الموضح للاتجاه العام للتوزيع المكاني لإنتاجية الآبار يتبين أن هناك تبايناً واضحاً في معدلات الإنتاجية بين الآبار.

شكل (4) التوزيع المكاني لمعدلات الإنتاجية بالآبار

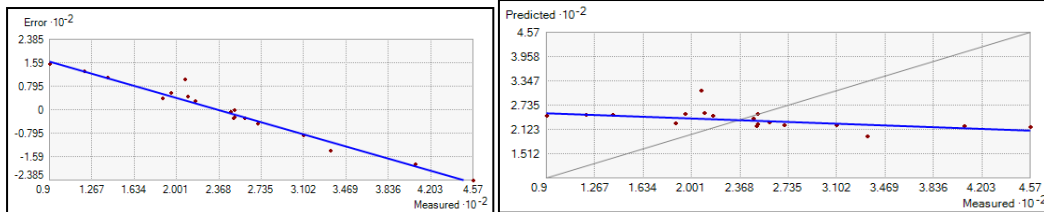
شكل (3) التوزيع المكاني لعمق الآبار بالمنطقة



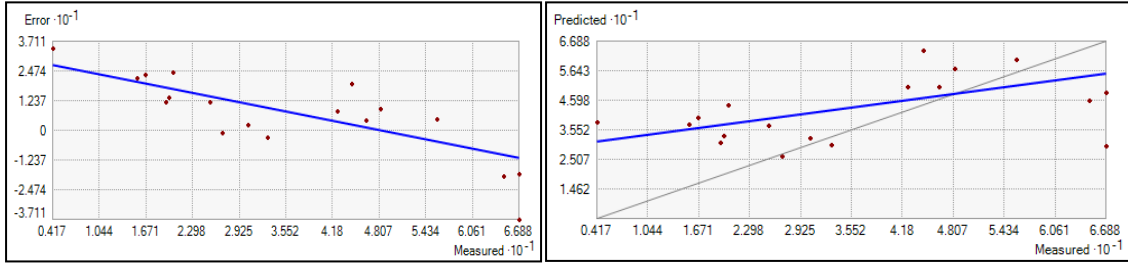
المصدر: اعتماداً على مخرجات التحليل الإحصائي Geostatistical Analyst باستخدام برنامج ArcGIS 10.4.1

شكل (6) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لعمق الآبار

شكل (5) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لعمق الآبار



شكل (7) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لإنتاجية الآبار شكل (8) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لإنتاجية الآبار



ثانياً تحليل الخصائص الفيزيائية:

1- خصائص التوزيع المكاني لمجموع الأس الهيدروجيني PH:

وهو مقياس يعبر عن حامضية أو قاعدية أو تعادل المياه الجوفية ويعبر عنه بالتركيز الفعال لأيون الهيدروجين في الماء - وذلك بسبب علاقته بمشاكل الطعم والتآكل⁽³⁰⁾ - ، ويتأثر الأس الهيدروجيني بتركيزات ايونات الكربونات والبيكربونات المذابة في الماء ، ومن الجدول (1) والشكل (9) يتبين أن معدل الأس الهيدروجين بلغ (6.78) وقد تراوحت القيم لمياه الآبار ما بين (6.04 - 7.96) وهذا يدل على أن المياه الجوفية في منطقة الدراسة شبة متعادلة - خلال فترة الدراسة - غير أن أغلبها يميل للحامضية أقل من (7)، ويرجع ارتفاع الحامضية ببعض الآبار بالمنطقة إلى ارتفاع معدلات الايونات السالبة وخاصةً الكبريتات والكلور، وقد تراوحت القيم الأعلى من المعدل لـ 12 بئراً كان أعلاها عند بئر بزيمة الجديدة إذ بلغ (7.9) - وهو البئر الوحيد الذي يعد قلوي بالمنطقة - أما الأقل من المعدل فقد تمثلت في 6 آبار، حيث كانت أدناها الجوف الجنوبي (6.1).

ومن خلال عرض النتائج لتحقيق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS للـ PH (0.47) بينما بلغت نسبة ME (-0.1) كما هو موضح بالجدول السابق (2) والشكل (11)، ويبين الشكل (12) الاتجاه العام لمجموع الأس الهيدروجيني PH حيث يلاحظ أن معظم القيم (61%) كانت تتراوح ما بين 6.78 - 7 .

وعند مقارنة تركيزات قيم أيون الـ PH في مياه الشرب بالمدينة مع القيم المسموح بها وفق منظمة الصحة العالمية والبالغة (6.5 - 8.5) - خلال فترة الدراسة - وكما هو مبين بالجدول (1) يتضح بأنه معظم الآبار تقع ضمن الحدود المسموح بها ولم يتجاوز الحد المسموح به باستثناء أربعة آبار هي الجوف الجنوبي والتوبات والحواري الجنوبي (6.1) والكفرة الجديدة (6.2).

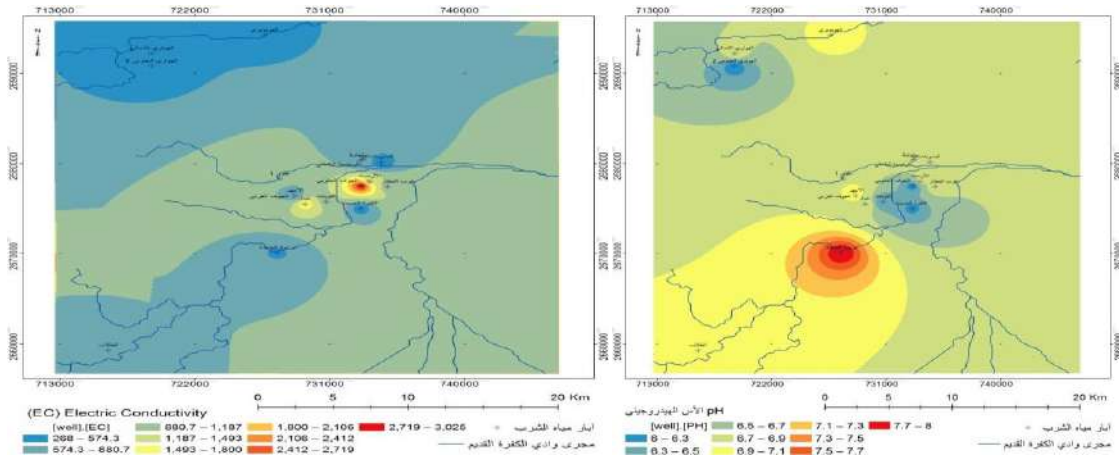
2- خصائص التوزيع المكاني لمجموع التوصيل الكهربائي (EC) Electric Conductivity):

ويقصد بها قابلية واحد (سم) مكعب من الماء على توصيل التيار الكهربائي عند درجة 25 درجة مئوية، وتقاس بوحدة مايكرو موز / سم، ويرتبط التوصيل الكهربائي بنوعية الأيونات الذائبة وتركيزها في المياه⁽³¹⁾، حيث تزداد التوصيل الكهربائي مع زيادة تركيز الأملاح الذائبة حيث يعد الماء النقي موصل ردي للكهربائية⁽³²⁾، وترتبط التوصيلة الكهربائية ومجموع الأملاح الذائبة بعلاقة طردية، وأظهرت نتائج التحليل الكيميائية وكما هو موضح بالجدول (1) والشكل (10) المبين للتباين المكاني لل EC أن معدل تركيزه بلغ (862.11)، وكانت القيم الأعلى من المعدل في مجموع التوصيل الكهربائي قد سجل في 6 آبار أعلاها عند البئر الجنوبي حيث سجل (3025 مليوموز) أما الآبار التي سجلت قيماً أقل من المعدل فقد بلغت 12 بئراً بلغ أداها في منطقة الجوف في البئر الصوبات اذ بلغ نسبته (268 مليوموز/سم)، واحتلت المناطق التي يرتفع بها نسبة التوصيل الكهربائي بالمنطقة مانسبته 0.33% (4.29458 كم²)، وكما هو مبين بالجدول السابق (1) يتضح بأنه معظم الآبار تقع ضمن الحدود المسموح بها ولم يتجاوز الحد المسموح به باستثناء (الجوف الجنوبي - غيث).

ومن خلال النظر إلى الجدول السابق (2) والشكلين (13-14) المبيينين لجودة ودقة النتائج والاتجاه العام للتوزيع المكاني لل EC فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS (626) بينما بلغت نسبة ME (57.9).

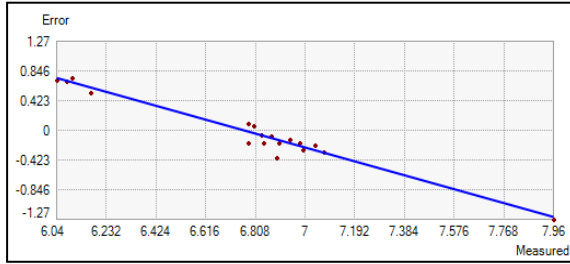
شكل (10) التباين المكاني لمجموع ال EC

شكل (9) التباين المكاني لمجموع ال PH

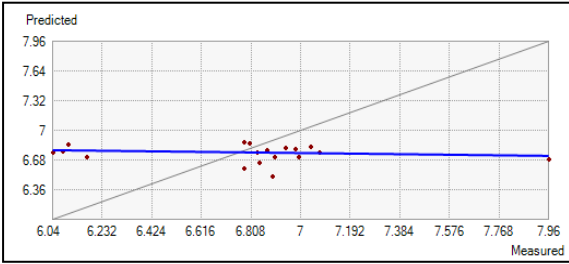


المصدر: اعتماداً على مخرجات التحليل الإحصائي Geostatistical Analyst باستخدام برنامج ArcGIS 10.4.1

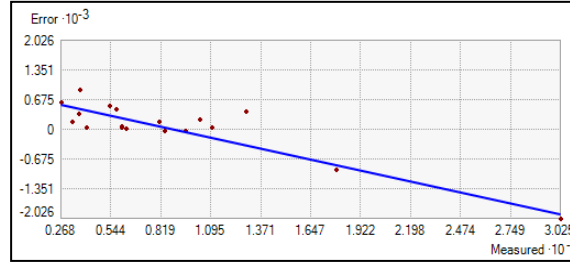
شكل (12) الاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ PH



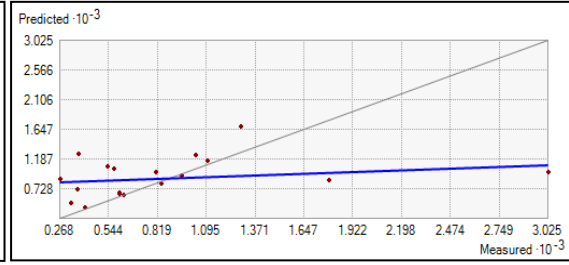
شكل (11) نسبة الخطأ التربيعي لمربع الخطأ RMS للـ PH



شكل (14) الاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ EC



شكل (13) نسبة الخطأ التربيعي لمربع الخطأ RMS للـ EC



3- خصائص التوزيع المكاني لمجموع الأملاح الذائبة (T.D.S):

وهي مجموعة المواد الصلبة الذائبة في الماء، ولا تتضمن المواد العالقة والغروية والغازات المذابة، وتعد تجوية المياه لصخور القشرة الأرضية المصدر الرئيس لوجودها، كما أن مياه الفضلات المنزلية والصناعية تعد من مصادر تلوث المياه الجوفية⁽³³⁾، وتمثل الأملاح الكلية الذائبة أحد أهم المؤشرات الأساسية لنوعية وصلاحية استعمال مياه الشرب، ويعكس هذا المتغير بعض الصفات الفيزيائية والكيميائية للمياه كالملوحة ونوعية المياه، وتؤثر حركة المياه الجوفية على فعالية المياه في إذابة صخور الحجر الجيري ومن ثم رفع تركيز الأملاح المذابة⁽³⁴⁾، ويكتسب هذا المتغير أهمية كبيرة في عملية تصنيف نوعية المياه الجوفية من حيث صلاحيتها للشرب والري فضلاً عن سقي الحيوانات، وتشير دراسة استرالية إلى وجود علاقة طردية بين الوفيات بأمراض القلب ونسبة الأملاح الكلية الذائبة في مياه الشرب⁽³⁵⁾، وفي الاتحاد السوفيتي لوحظ أن التهاب المرارة والغدة الصفراء ازداد مع ازدياد الأملاح الكلية الذائبة في المياه الجوفية المستخدمة للشرب⁽³⁶⁾، كما أن زيادة نسبتها في الماء تعطي عدم مقبولية للماء من قبل المستهلك فضلاً عن الإسراع في تآكل شبكات التوزيع وتكون التكلسات والطعم المر للماء.

ويظهر من خلال الشكل (15) التباين المكاني لمستويات تركيز الأملاح الكلية الذائبة بمياه الشرب حيث بلغ المعدل العام لتركيزه (551.67 ملغم / لتر) ويعد مسموح به وفقاً لمنظمة الصحة العالمية لعدم تجاوزه قيمة المعيار والبالغ (1000 ملغم / لتر)، وقد أظهرت النتائج التباين المكاني الواضح وسجلت الآبار

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

التي قل فيها تركيز الأملاح الذائبة عن المعدل العام 12 بئر وسجلت أدنى نسبة في البئر الصوبات (172 ملغم/لتر)، بينما أعلى نسبة كانت في البئر الجوف الجنوبي (1936 ملغم / لتر) وبئر غيث (1144 ملغم / لتر) وهو غير مسموح به وفقاً للمعايير الدولية كما هو مبين بالجدول السابق (1).

ومن خلال عرض النتائج للتحقق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS للـ T.D.S (400) بينما بلغت نسبة ME (37) كما هو موضح بالجدول (2) والشكل (17)، والشكل (18) الموضح للاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ TDS بالمنطقة.

4- العسر الكلية (T.H):

عسرة المياه من الخواص الكيميائية المهمة المستخدمة في معرفة نوعية المياه ومدى صلاحيتها لمختلف الاستعمالات، تم حساب العسرة من خلال المعادلة التالية⁽³⁷⁾:

$$TH = (2.49Ca^{2+}) + (4.11Mg^{2+})$$

وقد تراوحت قيم العسرة لمياه آبار المنطقة ما بين (55.6 ملغم / لتر عند بئر الصوبات و 381.8 ملغم / لتر عند بئر غيث)، وتختلف بين مياه عذبة ومياه متوسطة العسرة ومياه عسرة ومياه شديدة العسرة وذلك نظراً لاختلاف تراكيز المياه بسبب تباين تركيبها الكيميائي، والشكل (16) يوضح التباين المكاني للـ TH ويرجع ارتفاع العسرة إلى زيادة تراكيز أيونات الكالسيوم والكلور والكبريتات مما أدى بدوره إلى ارتفاع الأملاح الذائبة والتوصيل الكهربائي في مياه الحوض.

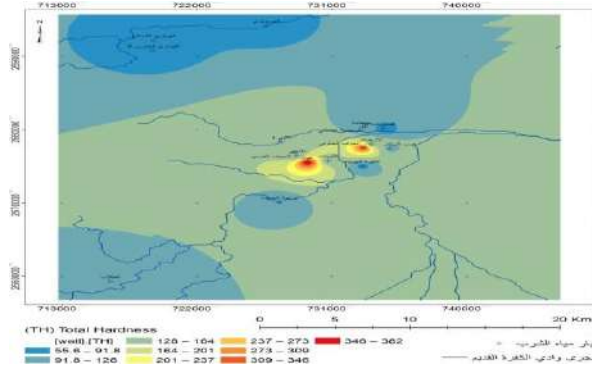
ومن خلال عرض النتائج للتحقق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS (91.3)، بينما بلغت نسبة ME (8.7) كما هو موضح بالجدول السابق (2) والشكل (19) الموضح له، والشكل (20) يوضح الاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ TH حيث يلاحظ أن معظم القيم كانت أقل من 153 ppm باستثناء بئر غيث والجوف الجنوبي التي تجاوزت الحدود العليا للتصنيف كما هو مبين بالجدول (3).

جدول (3) تصنيف المياه حسب العسرة استناداً إلى رابطة جودة المياه WQA⁽³⁸⁾

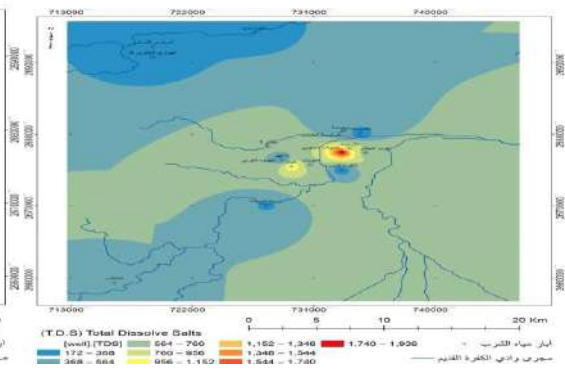
عدد الآبار	mg/l or ppm	Rating	التصنيف
لا يوجد	17- 0	Soft	لينة
(الصوبات)	60 - 17.1	Slightly hard	عسرة هزيلة
11 بئر (وهي تمثل بقية الآبار)	120 - 60	Moderately hard	عسرة معتدلة
4 آبار (غفون 1 - الجوف الغربي - الأرصاء - التوبات)	180 - 120	Hard	عسرة عادية
(غيث - الجوف الجنوبي)	Over & 180 وما فوق	Very Hard	عسرة مرتفعة

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

شكل (16) التباين المكاني لـ TH

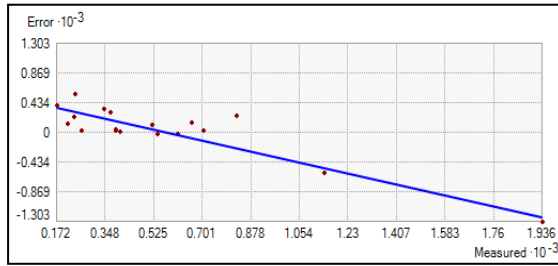


شكل (15) التباين المكاني لمجموع الـ TDS

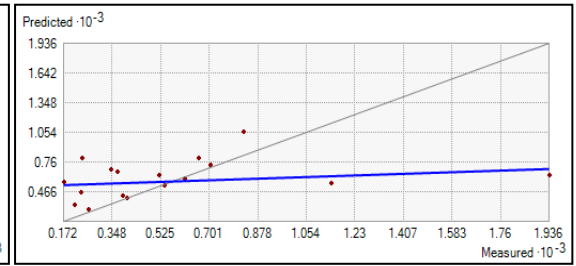


المصدر: اعتماداً على مخرجات التحليل الإحصائي Geostatistical Analyst باستخدام برنامج ArcGIS 10.4.1

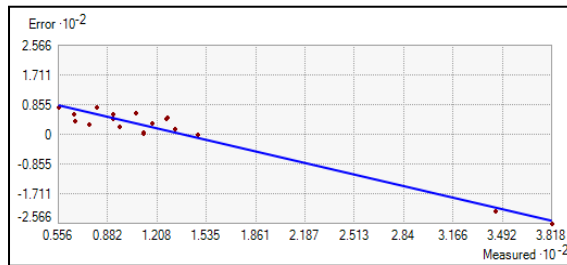
شكل (18) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ TDS



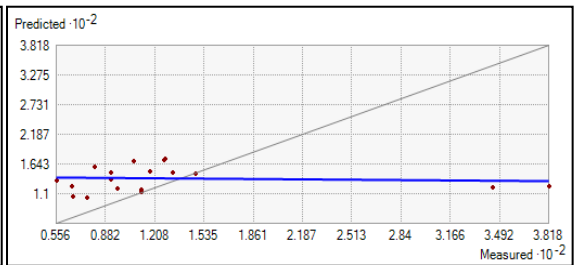
شكل (17) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لـ TDS



شكل (20) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ TH



شكل (19) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لـ TH



ثالثاً تحليل الخصائص الكيميائية وتنقسم إلى:

أ- الأيونات الموجبة:

1- خصائص التوزيع المكاني لأيون الصوديوم Sodium (Na^+):

يتكون أيون الصوديوم في المياه من خلال تجوية الصخور الحاوية على نسبة عالية من أيون الصوديوم مثل المعادن الطينية، كما أن للفعاليات البشرية تأثيراً على تركيز الصوديوم كاستخدام الأسمدة الكيميائية والأسمدة الحيوانية بمعدلات عالية، وتتميز أملاح الصوديوم بانحلالها الشديد في المياه ولا تترسب بسهولة؛ ومن خلال الجدول (1) والشكل (21) الذي يوضح التوزيع المكاني للصوديوم بالمنطقة تبين أن معدل تركيز

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

الصوديوم يقع ضمن الحدود الصحية الآمنة وفقاً لمنظمة الصحة العالمية والبالغة (200 ملغم / لتر) فقد بلغ معدل القيم لأيون الصوديوم (56 ملغم / لتر) غير أنه يتباين مكانياً ليسجل (179.9 ملغم / لتر) في بئر غيث، أما أدناها فقد سجلت عند بئر الصوبات بقيمة (16.1 ملغم / لتر).

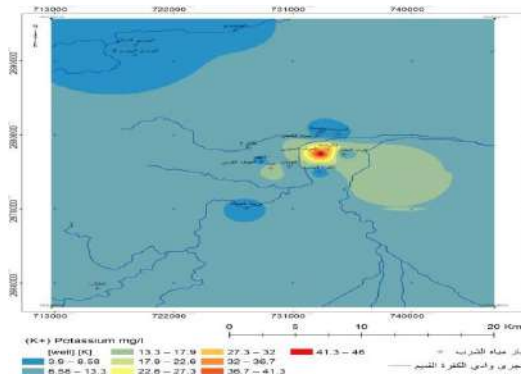
ومن خلال عرض النتائج المثبتة بالجدول (2) والشكل (23) المبينة لجودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS (41.5) بينما بلغت نسبة ME (-1.9) والشكل (24) يوضح الاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ Na^+ حيث يلاحظ أن هناك تبايناً مكانياً واضحاً بين القيم.

2- أيون البوتاسيوم Potassium (K^+):

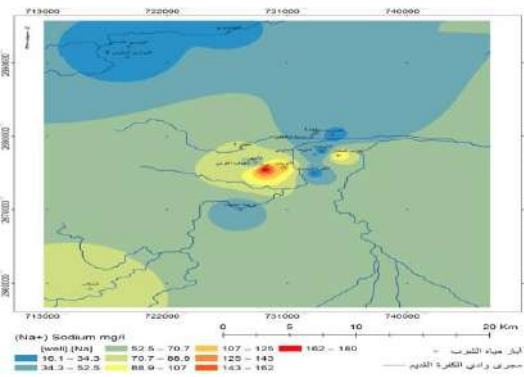
إن تركيز أيون البوتاسيوم يكون أقل في المياه الطبيعية من الصوديوم إذ تحتوي معظم المياه الصالحة للشرب على أقل من 10 جزء بالمليون وأن أيون البوتاسيوم أكثر استقراراً من أيون الصوديوم بسبب مقاومته العالية لعوامل التجوية الكيميائية وسهولة امتصاصه من المعادن الطينية⁽³⁹⁾، ومن خلال الجدول السابق (1) والشكل (22) الموضح للتباين المكاني أن نتائج التحاليل الكيميائية أظهرت أن معدله بلغ (11.31 ملغم / لتر) وأن معدلاته شهدت تبايناً مكانياً واضحاً وكبيراً تراوحت بين (3.9 – 46.02 ملغم / لتر) بمعامل اختلاف بلغ (91%)، غير أن معظم القيم لم تتجاوز الحد المسموح وفق الموصفات العالمية، إلا في ثلاثة مواقع هي بئر غيث والأرصاد والجوف الجنوبي (17.9 – 30.4 – 46 ملغم / لتر).

ومن خلال عرض النتائج لتحقيق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS (8.04) بينما بلغت نسبة ME (1.37) كما هو موضح بالجدول (2) والشكل (25) والشكل (26) يوضح الاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ K^+ حيث يلاحظ أن هناك تبايناً مكانياً واضحاً بين القيم.

شكل (22) التباين المكاني للـ K^+

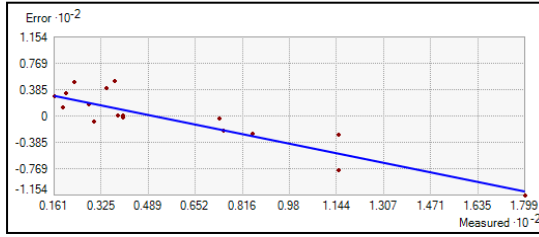


شكل (21) التباين المكاني للـ Na^+

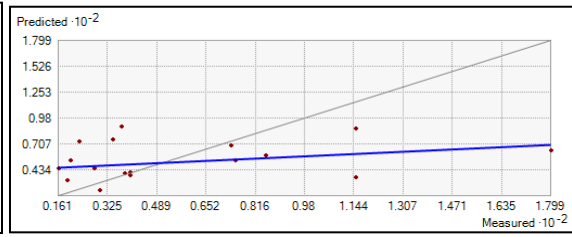


المصدر: اعتماداً على مخرجات التحليل الإحصائي Geostatistical Analyst باستخدام برنامج ArcGIS 10.4.1

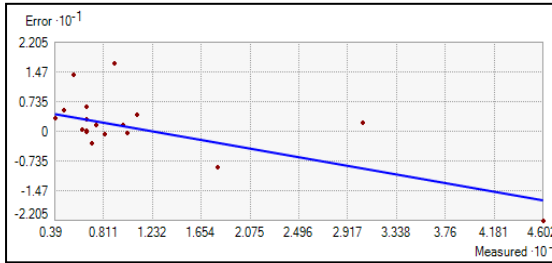
شكل (24) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ Na^+



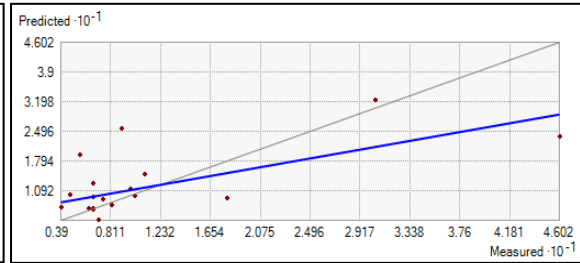
شكل (23) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لـ Na^+



شكل (26) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ K^+



شكل (25) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لـ K^+



3- خصائص التوزيع المكاني لأيون الكالسيوم Ca^{++} :

يعزى ارتفاع نسبة أيون الكالسيوم إلى سيادة الصخور الجبسية والكلسية سواء كانت صخور ممرمة أم حاوية له⁽⁴⁰⁾، ويتبين من الدراسة التحليلية للجدول (1) والشكلين (27 - 29) التباين المكاني لمستويات تركيزات الكالسيوم بمياه الشرب بالمنطقة، حيث بلغ المعدل العام لتركيزه (24.4 ملغم / لتر) وهو بذلك يقع ضمن الحدود الصحية العالمية البالغة (200 ملغم / لتر)، غير أنها أظهرت تبايناً مكانياً واضحاً سجلت أعلى القيم ببئر غيث والجوف الجنوبي (66 - 46 ملغم / لتر) كما هو موضح بالجدول (2) والشكل (30) الموضح للاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ Mg^{++} بالمنطقة، مما أدى إلى ارتفاع البيكربونات بهما لتصل إلى (122 - 79.3 ملغم / لتر) الأمر الذي أدى بدوره إلى ارتفاع العسرة بالبئر، حيث يمتاز الكالسيوم بسرعة تفاعله مع الماء مكوناً أكسيد الكالسيوم ويتحد مع البيكربونات مكوناً بيكربونات الكالسيوم التي تكون مسؤولة بصورة مؤقتة عن تكون العسرة في المياه⁽⁴¹⁾.

ومن خلال عرض النتائج لتحقيق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS (13.22) بينما بلغت نسبة ME (1.41).

4- خصائص التوزيع المكاني لأيون الماغنسيوم Mg^{++} :

تُعد الصخور الدولوميتية والحجر الجيري والمعادن الطينية - الواسعة الانتشار في الصخور الرسوبية - من المصادر الرئيسية لأيون الماغنسيوم وهو يتكون نتيجة عملية التحلل والذوبان في المياه الجوفية⁽⁴²⁾، ويشترك مع الكالسيوم بوصفه أحد مسببات العسرة في المياه وعلى الرغم من الذوبانية العالية للمركبات التي

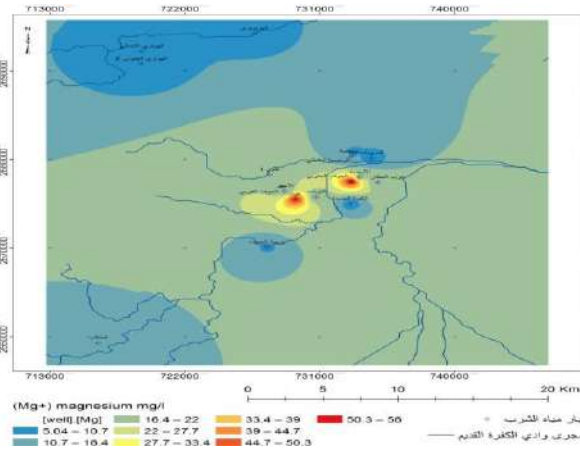
التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

تحتوي على المغنسيوم إلا أن تركيزه في المياه الطبيعية أقل من تركيز الكالسيوم كونه أصغر حجماً من الكالسيوم والصوديوم فيميل للاتحاد مع الماء⁽⁴³⁾.

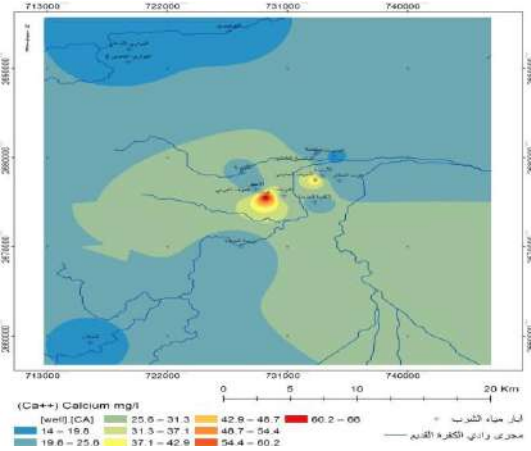
وحسب نتائج التحاليل الكيميائية المثبتة بالجدول (1) والشكل (28) اللذان يوضحان توزيع المغنسيوم في منطقة الدراسة تبين أن معدل تركيزه بلغ (16.70 ملغم / لتر) وقد تباينت القيم في توزيعها مكانياً فأعلى المعدلات سجلت في بئر الجوف الجنوبي إذ بلغ (56 ملغم / لتر) ويليه بئر غيث (52.9 ملغم / لتر)، أما أدنى معدل فقد سجل بالبئر الصوبات (5.1 ملغم / لتر)، وبمقارنة النتائج بالمعايير العالمية تبين أنها تقع ضمن الحدود الآمنة والمسموح بها لأغراض الشرب وفق المواصفات العالمية لمنظمة الصحة والبالغ (150 ملغم / لتر) باستثناء بئر الجوف الجنوبي وغيث اللذان يقعان فوق الحد الأدنى طبقاً لمعايير جودة المياه لمنظمة WHO لعام 2006 ويرجع ذلك لارتفاع الكبريتات والكالسيوم بهما.

ويتبين من الجدول (2) والشكل (31) للتحقق من جودة ودقة النتائج أن نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS قد بلغت (14.7) بينما بلغت نسبة ME (1.27)، ويوضح الشكل (32) الاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ Mg^{++} ، حيث يلاحظ أن معظم النتائج تقع دون 50 ملغم / لتر باستثناء البئرين الجوف الجنوبي وغيث.

شكل (28) التباين المكاني للـ Mg^{++}

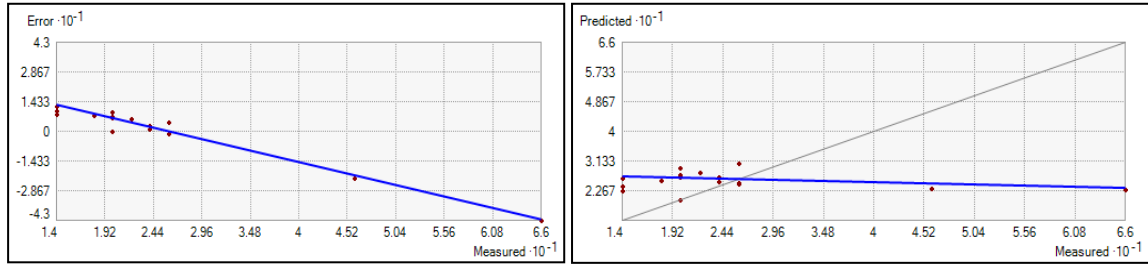


شكل (27) التباين المكاني للـ Ca^{++}

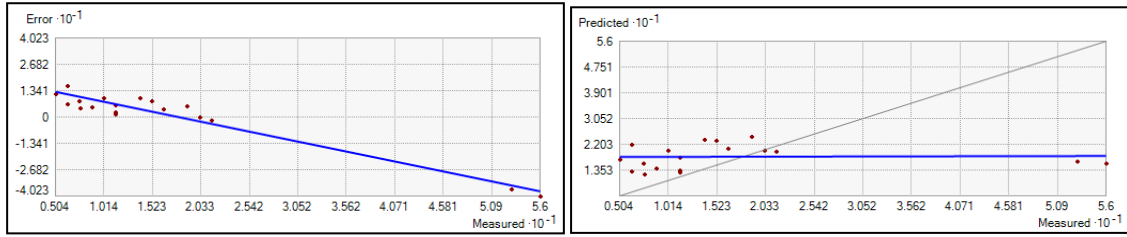


المصدر: اعتماداً على مخرجات التحليل الإحصائي Geostatistical Analyst باستخدام برنامج ArcGIS 10.4.1

شكل (29) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لـ Ca^{++} شكل (30) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ Ca^{++}



شكل (31) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لـ Mg^{++} شكل (32) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ Mg^{++}



ب- الأيونات السالبة:

1- خصائص التوزيع المكاني لأيون الكلوريد (Cl^-):

يوجد أيون الكلوريد في معظم المياه الطبيعية وبصورة أقل في المياه العذبة، والكلوريد قليل الوجود في القشرة الأرضية لقابليته العالية على الذوبان في الماء، إلا أنه من الأيونات المهمة في المياه الطبيعية وأهم مصادره الصخور الرسوبية، يرجع سبب وجوده في منطقة الدراسة إلى الطين الصفائحي والذي يسود في التكوينات الصخرية، وهو قليل الانتشار في القشرة الأرضية ويتكون في المياه الجوفية من الكلور المتبقي في المياه البحرية القديمة والمحصورة في الترسبات ومحلول ملح الطعام الموجود في ترسبات المتبخرات بالإضافة إلى المحلول الجاف الساقط من الجو والذي يكون موجوداً في المناطق الجافة⁽⁴⁴⁾، وبحسب نتائج التحاليل الكيميائية نجد أن معدل تركيزه بلغ (103.98 ملغم / لتر) كما موضح بالجدول (1) والشكل (33) الموضح للتوزيع المكاني لأيون الكلوريد بالمنطقة غير أنها تتباين مكانياً، حيث سجلت أدنى معدلها في بئر الهواري الجنوبي (17.8 ملغم / لتر) بينما سجلت أعلاها في بئر الأرصاد (234.3 ملغم / لتر)، كما يلاحظ أن جميع الآبار كانت تراكيز الكلوريدات فيها متوافقة مع المعايير الدولية.

ومن خلال عرض النتائج للتحقق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS (58.21) بينما بلغت نسبة ME (3.73) كما هو مثبت بالجدول (2) والشكل (35)، كما يلاحظ من الشكل (36) التباين الواضح للاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ Cl^- .

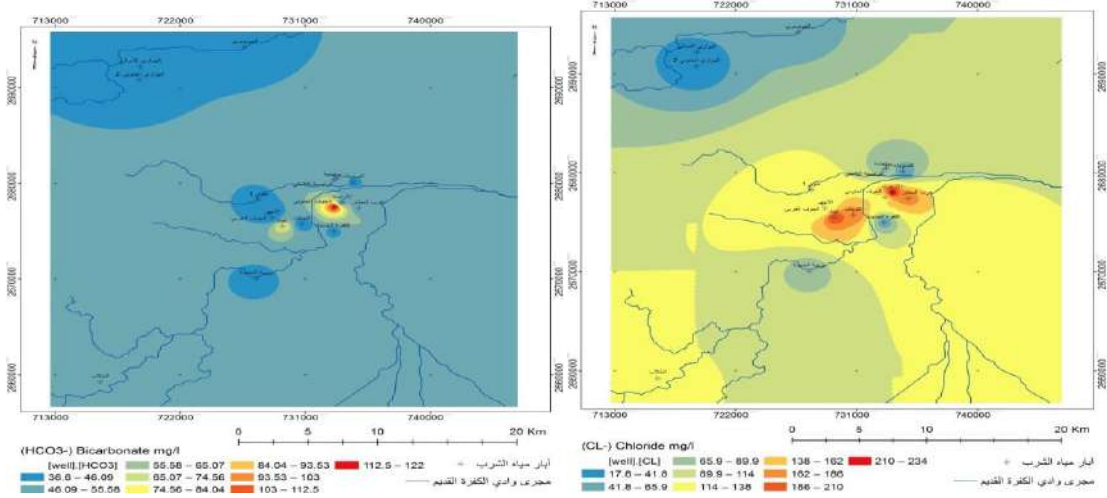
2- خصائص التوزيع المكاني لايون البيكاربونات Bicarbonate (HCO_3^-):

تعد عملية تجوية الصخور الكربونيتية نتيجة تفاعلها مع حامض الكربونيك المتكون من تفاعل غاز (CO_2) مع المياه الطبيعية من أهم مصادر أيون البيكاربونات ، ووجود البيكاربونات والكربونات بكثرة تعطي صفة القلوية للمياه Alkalinity التي تعني قابلية المحلول على معادلة الحامض، فإذا قلت قيمته عن 8.2 فان أيون الكربون يتحد مع ايون الهيدروجين ويتحول إلى بيكاربونات⁽⁴⁵⁾.

ومن خلال الجدول (1) والشكل (34) اللذان يوضحان التوزيع المكاني للبيكاربونات في منطقة الدراسة تبين أن معدل تركيزه بلغ (49.65 ملغم / لتر) حيث تتراوح القيم مكانياً فقد سجلت أعلى المعدلات (36.6 ملغم / لتر) في بئر الأجهر بينما سجلت أدنى معدلاتها (122 ملغم / لتر) في الجوف الجنوبي، وبالتالي وفقاً للمقاييس العالمية يتضح أن تركيز هذا العنصر بمنطقة الدراسة يقع ضمن الحدود المسموح بها لأغراض الشرب.

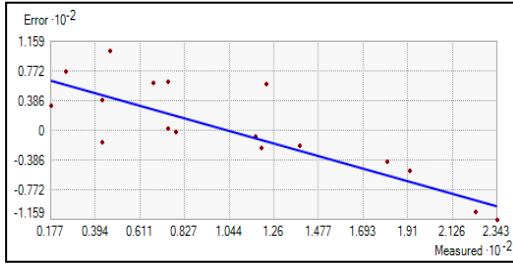
ومن خلال عرض النتائج لتحقق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS (22.7) بينما بلغت نسبة ME (1.40) كما هو موضح الجدول (2) والشكل (37)، كما يلاحظ أن الاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ HCO_3^- متقارب جداً بمعظم الآبار باستثناء البئر الجوف الجنوبي 122 ملغم / لتر كما هو موضح بالشكل (38).

شكل (33) التباين المكاني للـ Cl^- شكل (34) التباين المكاني للـ HCO_3^-

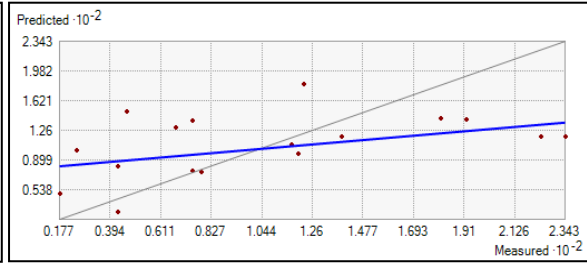


المصدر: اعتماداً على مخرجات التحليل الإحصائي Geostatistical Analyst باستخدام برنامج ArcGIS 10.4.1

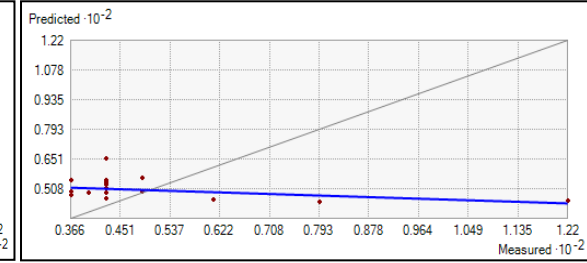
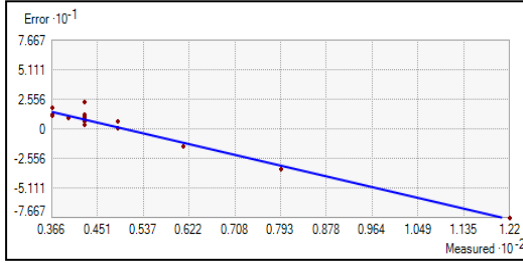
شكل (36) الاتجاه العام للتوزيع المكاني للـ CL^-



شكل (35) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS للـ CL^-



شكل (37) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS للـ HCO_3^-



3- التوزيع المكاني لأيون الكبريتات (Sulphate SO_4^{2-}):

تشتق أيونات الكبريتات الموجودة في المياه من محلول ومعادن الكبريتات في الصخور الرسوبية أو من حامض الكبريتيك الذي يأتي من الجو أو من تحلل المواد العضوية، ومن استخدام الأسمدة الكيماوية في الزراعة مما يسبب تغير في طعم المياه إلى طعم مر⁽⁴⁶⁾، وتعد الكبريتات أحد الأيونات التي تتواجد طبيعياً في الماء وأن المعلومات المتوافرة عن تأثير الكبريتات هو أن تركيزها العالي يؤدي إلى الإسهال فضلاً عن إعطاء الماء طعماً غير مقبول كما يؤدي إلى خسائر مالية بسبب تأثيره التآكلي على شبكات توزيع المياه⁽⁴⁷⁾.

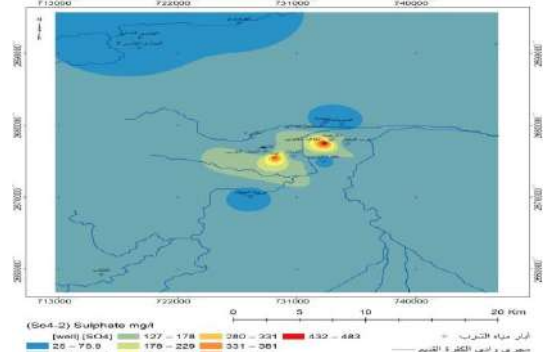
ويتضح من الجدول (1) والشكل (39) الموضح للتباين المكاني لأيون الكبريتات إن معدل القيم بلغ (105.89 ملغم / لتر) إذ لم يتجاوز القيمة المسموح بها عالمياً البالغة (250 ملغم / لتر) ومكانياً أظهرت بئر الجوف الجنوبي وغيث أعلى قيم الكبريتات إذ بلغت (392.6 – 483.4 / لتر) ، وهو أعلى من المسموح به وفقاً لمنظمة WHO، في حين سجلت بئر الصوبات أدنى قيم الكبريتات وبلغت (24.9 ملغم / لتر).

ومن خلال عرض النتائج المثبتة بالجدول (2) والشكل (40) لتحقق من جودة ودقة النتائج فقد بلغت نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS (129.2) بينما بلغت نسبة ME (7.86)، بينما

التباين المكاني لخصائص المياه الجوفية لأبار مياه الشرب في مدينة الكفرة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS بطريقة (IDW)

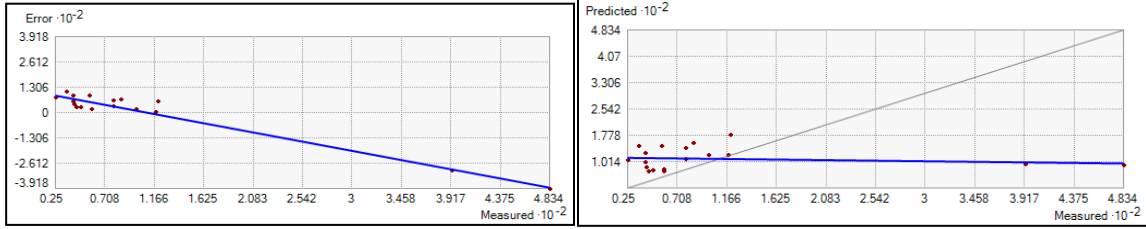
يوضح الشكل (41) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ SO_4^{-2} حيث يلاحظ أن معظم القيم تركزت في الحدود أقل من 120 ملغم / لتر.

شكل (39) التباين المكاني لـ SO_4^{-2}



المصدر: اعتماداً على مخرجات التحليل الإحصائي Geostatistical Analyst باستخدام برنامج ArcGIS 10.4.1

شكل (40) نسبة خطأ الجذر التربيعي لمربع الخطأ RMS لـ SO_4^{-2} شكل (41) الاتجاه العام للتوزيع المكاني لـ SO_4^{-2}



النتائج:

وقد توصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج أهمها:

- إن التحليل المكاني لمعطيات الخصائص النوعية للمياه الجوفية باستخدام التقنيات الحديثة المتمثلة بملحق تحليل الإحصاء الأرضي Geostatistical Analyst قد مكن الباحث من الانتقال من مرحلة التحليل الوصفي إلى مرحلة اتخاذ القرار.
- من خلال نتائج التحليل الإحصائي المثبتة بالجدول (1) يتبين أن معامل الاختلاف (%) والتي تعبر عن الانحراف القياسي كنسبة مئوية من الوسط الحسابي ومن خلال هذا المعامل يتم معرفة مقدار التشتت للبيانات، وكلما كانت قيمة المعامل عالية دل ذلك على زيادة التشتت للبيانات والقيمة القليلة تدل على وجود التجانس الأكثر، ومن خلال الجدول يتبين أن معامل الاختلاف للبيانات

- كانت قليلة عند قيم الـ pH فقط 7% مما يدل على وجود تجانس بين البيانات وتشتت أقل، أما بالنسبة لبقية العناصر فإن معامل الاختلاف يرتفع ليتجاوز نسبة 50% كما هو بالنسبة في الأيونات الموجبة مما يدل على التشتت بين البيانات بسبب وجود القيم المتطرفة كما هو الحال للصدويوم، ويزداد معامل الاختلاف لأيون الكبريتات ليفوق 100% ليسجل 115%.
- تباينت قيم الخصائص النوعية للمياه الجوفية من حيث صلاحيتها لأغراض الشرب ما بين القبول بنسبة 100% كتوزيع عنصر الصدويوم والكالسيوم والكلوريد والبيكاربونات، بينما تفاوتت في بقية العناصر الأخرى.
 - إن أغلب العناصر لم تتجاوز الحدود المسموح بها حسب المعايير الدولية والمحلية باستثناء بئري الجوف الجنوبي وغيث.
 - أوضحت نتائج التطابق المكاني لتوزيع قيم صلاحية الخصائص النوعية للمياه الجوفية لأغراض الشرب إن نسبة 90% من مساحة منطقة الدراسة كانت المياه فيها صالحة لأغراض الشرب.
 - إمكانية العمل على إنشاء الخرائط الكنتورية باستخدام برنامج ArcGIS الأمر الذي يساعد على اقتراح مواقع حفر الآبار الجديدة التي تحتوي على مياه ذات جودة عالية مما يوفر الوقت والجهد والتكلفة، كما يساعد على وضع أساس التطوير العمراني بالمنطقة.

التوصيات:

- إجراء دراسات ميدانية لمعرفة التأثير الصحي لنقص أو زيادة كل من العسرة الكلية و الأملاح الذائبة TDS والكالسيوم والمغنسيوم على الإنسان.
- اعتماد نظام تنقية المياه في البيوت باستخدام الفلاتر وخاصةً بالنسبة للمنازل المرتبطة بشبكة آبار الجوف الجنوبي وغيث والأرصاد.
- تزويد الشركة بمختبر للفحوصات الفيزيائية والكيميائية والحيوية، وإجراء الفحوصات بشكل دوري وبشكل يضمن إنتاج مياه ضمن مواصفات الصحة العالمية.

ملحق (1) يوضح نتائج التحليل لأبار مياه الشرب بالمنطقة سنة 2014

SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	TH	TDS	EC	PH	الإنتاجية	Deep	Elv	البر
392.6	79.3	223.7	52.9	66	17.9	179.9	381.8	1144	1788	6.9	20.3	120	379	غيث
120	42.7	234.3	18.9	20	30.4	19.9	127	823	1286	6.8	27	333	383	الأرضاد
58.1	42.7	78.1	11.4	26	6.6	40	111	386	605	6.8	44.4	250	370	بوعامة
56.6	36.6	74.6	13.9	20	6.6	37	106	365	571	6.9	48.2	310	379	الأحمر
78.7	48.8	117.2	11.3	18	9.8	8.9	91	519	811	7.1	15.4	216	387	الطلاب
24.9	42.7	24.9	5.1	14	4.7	16.1	55.6	172	268	6.8	42.4	259	369	الصويات
85.4	36.6	191.7	1.1	26	10.9	115	126	704	1100	6.1	25.3	188	373	التوبات
118	42.7	138.5	21.4	24	10.2	73.4	147	612	956	6.9	46.3	247	374	عنون 1
41.3	39.7	42.6	7.6	14	7.4	28.1	65	233	364	6.9	4.2	210	382	الهويوي
35.5	42.7	46.2	6.3	22	5.5	23	80	237	371	6.2	66.9	249	376	الكفرة الجديدة
99.4	36.6	120	20.2	20	8.2	74.9	132	537	839	6.9	64.9	250	384	الجوف الغربي
483.4	122	122	56	46	46	40	344	1936	3025	6.1	19.4	140	388	الجوف الجنوبي
78.2	48.8	181.1	16.4	20	8.9	115	117	660	1031	6.8	19.8	90	382	غرب المطار
40.8	42.7	67.5	10.1	20	6.6	34.1	91	343	536	7.9	16.6	457	375	بنيمة الجديدة
42.2	42.7	42.6	7.7	14	7	29.9	66	260	406	6.9	30.5	207	373	المواري الشمالي
58.6	42.7	17.8	6.3	20	3.9	18.9	75	211	330	6.1	33.1	407	374	المواري الجنوبي 2
48	42.7	74.6	8.8	24	6.24	40	96	387	605	6.8	55.8	270	387	الرئيسية الشمالي
44.2	61	74.6	11.4	26	6.6	37.9	111	401	626	7.1	66.9	195	372	الرئيسية الداخلي

المصدر: مكتب خدمات المياه بشركة المياه الكفرة.

الهوامش

- (¹) وهي المياه التي توجد داخل الشقوق ومسامات الصخور التي تؤلف الغلاف الصخري دون مستوى سطح اليابسة، وتسمى (المياه الأرضية أو المياه الباطنية) وتغلب عليها تسمية المياه الباطنية أو المياه الجوفية، راجع كريل، عبدالآله زوقي، (1986): علم الأشكال الأرضية الجيومورفولوجيا، جامعة البصرة ص205.
- (²) الزوكة، محمد خميس، (2005): جغرافية المياه، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، ص213.
- (³) شاور، أمال إسماعيل، (2000): جغرافية المياه العذبة، ص185.
- (⁴) محمد، شنو مصطفى، (2015): دراسة نوعية المياه الجوفية في محافظة كركوك، مجلة جامعة كركوك، الدراسات العلمية، المجلد (10)، العدد (4)، ص179.
- (⁵) الباروني، سليمان صالح، (1995): ندوة المياه في الوطن العربي، تأثير الاستغلال المفرط للمياه الجوفية في ليبيا، الجمعية الجغرافية المصرية، مركز بحوث الشرق الأوسط، جامعة عين شمس القاهرة، ص116.

- (6) الجديدي، حسن محمد، (1986): الزراعة المروية وأثرها في استنزاف المياه الجوفية في شمال غرب سهل الجفارة، الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان، طرابلس، الطبعة الأولى، ص 153 و لامة، محمد عبد الله، (1995): التحرية الليبية في تنمية واستغلال المياه الجوفية، التصحر وهجرة السكان في الوطن العربي، معهد البحوث والدراسات العربية، القاهرة، ص 331.
- (7) الهواري، سمير، (1977): الاستغلال الاقتصادي للمياه، مجلة الماء والحياة، العدد 3، الهيئة العامة للمياه، طرابلس، ص 31.
- (8) عبود، هادي ياسر و توفيق، نادية محمود، (2012): دراسة نوعية بعض المياه الجوفية في مدينة الحلة، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، العدد (1) المجلد (20)، ص 410 و درادكة، خليفة عبدالحافظ، (1987): هيدرولوجية المياه الجوفية، دار مجدلاوي للنشر والتوزيع، عمان.
- (9) أمانة الاستصلاح الزراعي وتعمير الأراضي، (1979): تقرير عن المهمة الرسمية للدراسات الهيدرولوجية بحوض الكفرة، طرابلس، ص 1.
- (10) Elramly M. ISMAIL, (1980): "AL KUFRAH Pleistocene Lake its Evolution and Role in Present-Day Land Reclamation", The Geology of Libya Volume II , AL Fateh University, Tripoli, p662.
- (11) الشامي، كامل خالد، (1991): مقارنة نوعية مياه الشرب في المدن الصحراوية بالمعايير العالمية القياسية لمنظمة الصحة العالمية (مدينة غات)، مجلة الدراسات الأفريقية، السنة الرابعة العدد الرابع، مركز البحوث والدراسات الأفريقية سبها ليبيا، ص 143.
- (12) Galal M. Zaiad.(2010): Physico-Chemical Analysis of Soils in Al-Khums city, Libya Journal of Applied Sciences Research, 6(8): PP 1040-1044. & Mansour A. Salem and Latif H. Al-ethawi, 2013. Evaluation of Salinity in Some Soils of Irrigated Brack –Ashkada Agriculture Project, Fezzan, Libya. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. Volume 2, Issue 1, PP 05-09.
- (13) حمد، حسين كريم، (2015): تقييم جغرافي لصلاحية مياه الشرب في مدينة الحي، مجلة لارك للفلسفة واللسانيات والعلوم الاجتماعية، العدد السابع عشر، السنة السابعة، ص 347. و صقر، السالم، (2001): محطات معالجة مياه الفضلات، منظمة الصحة العالمية، عمان، ص 77.
- (14) عيد، صفية و قدورة، عائشة، (2017): إنشاء وتقييم نماذج الارتفاع الرقمية (DEM) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية المجلد (39)، العدد (5) 2017، ص 186.
- (15) John Shanze, Evzen Zeman, Jiri Marsalek, (2006): Flood risk management hazards, vulnerability and mitigation measures, ,springer, p131.
- (16) علي، أمانة حسين صبري، (2014): تقييم طرق الاستنباط في بيئة الـ GIS، مجلة الأستاذ، العدد (211) المجلد (2)، ص 53.
- (17) Richard, W. And Margaret, A.O. (2007): Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Ltd. England. UK.
- (18) سليمان، حسام محمود وآخرون، (2013): دراسة مقارنة لعدة طرائق استقراء رياضية لسطح مستمر اعتماداً على غمامات المسح الليزري ثلاثي الأبعاد، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد (29) العدد (2)، ص 59.
- (19) McClendon .S , (2010): the use of different spatial interpolation techniques using ESRI's Spatial Analyst and Geostatistical Analyst extensions, 2010 .Pennsylvania State University. GEOG 586 .
- (20) عبد الرحمن، عباس و آخرون، (2013): التنبؤ بخريطة تساوي مناسيب المياه الجوفية الحرة باستخدام طرائق الإحصاء المكاني في سهل جبلة - اللاذقية، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (7)، ص 310.
- (21) سليمان، حسام محمود وآخرون، (2013): مرجع سابق ص 58.
- (22) عبد الرحمن، عباس و آخرون، (2013): مرجع سابق ص 310.
- (23) إجمد، مفتاح علي محمد، (2015): تقييم وتخريط ملوحة التربة للمحاصيل المروية باستخدام طرق الإحصاء المكاني (Geostatistics) والدراسات الحقلية بمنطقة سواوة - سرت، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الزراعة، جامعة طرابلس، ص 21.
- (24) المحمد، ياسر و آخرون، (2013): مقارنة بين طريقتي (IDW , Kriging) للتنبؤ بالتوزيع المكاني للنترات في المياه الجوفية في منطقة الغوطة الشرقية - دمشق، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الأساسية المجلد (35) العدد (3)، ص 30. وللاستزادة ممكن مراجعة:

MEHRJARDI, R.T; JAHROMI, M.Z; MAHMUDI, SH; and HEIDARI, A. (2008): Spatial distribution of groundwater quality with Geostatistics (case study: Yazard-Ardakan plain). World applied sciences journal No. 1 pp. 09-17.

- (25) خيرالله، حافظ عيسى، (2008): المناخ وأثره على البيئة في حوض الكفرة، دكتوراه غير منشورة، جامعة الإسكندرية، ص55.
- (26) خيرالله، حافظ عيسى، (2015): الوضع المائي ومستقبله بمنطقة الكفرة جنوب شرق ليبيا، المجلة الدولية للبيئة والمياه، المجلد (4) العدد (1)، ص84.
- (27) Fathi A.Swaid , Ahmed A .Issa (2014), Deep Groundwater Quality and Suitability for Drinking and Agricultural Purpose, Wadi Baye,Middle Region, Libya., Transactions on Ecology and The Environment, Vol 1185, p150.
- (28) Fathi A.Swaid , Ahmed A .Issa (2015), Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes, Martubah plain, eastern Libya., Transactions on Ecology and The Environment, Vol 196, p317.
- (29) الحياقي، عبدالستار جبير، (2009): تقييم المياه الجوفية لبعض آبار قرية الخفاجية في محافظة الأنبار، مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة، المجلد (3) العدد (2)، كما يمكن مراجعة عبدالله، ثامر حبيب و مجيد، طيبة جمعة، (2015): مرجع سابق ص218.
- (30) فلينجل، كامل حمزة و الزامل، عايد حاسم حسين، (بدون): تباين خصائص المياه الجوفية في الهضبة الغربية لمحافظة النجف باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة البحوث الجغرافية، العدد 19، ص230.
- (31) محمد، شنو مصطفي، (2015): مرجع سابق، ص183.
- (32) الخطيب، رائد طارق هادي، (2007): تقييم نوعية مياه الشرب في محافظة المثنى، المجلة العراقية للهندسة الكيميائية وهندسة النفط، المجلد (8) العدد (1)، ص252.
- (33) عبدالله، ثامر حبيب و مجيد، طيبة جمعة، (2015): دراسة مياه الآبار وتحليلها في قضاء بلدروز في محافظة ديالى باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مجلة ديالى للعلوم الهندسية، المؤتمر العلمي الهندسي الثاني، جامعة ديالى، العراق، ص213.
- (34) درادكة، خليفة عبدالحافظ، (2006): المياه السطحية وهيدرولوجية المياه الجوفية، دار الحنين للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، ص487.
- (35) السامرائي، خلف فارس، (2007): التقييم النوعي لمياه الشرب في مدينة سامراء، مجلة سامراء، المجلد (3) العدد (7) السنة الثالثة، ص193.
- (36) **Total dissolved solids in drinking water" guidelines for drinking water quality, 2nd ed.vol .2.Health criteria and other supporting information. WHO, Geneva, (1996).**
- (37) الفقي، يوسف محمد و صويد، فتحي علي، (2016): تقييم المياه الجوفية الضحلة (طبقة حاوية غير محصورة) لبعض آبار مياه منطقة مصراة ومدى ملائمتها للشرب والري، مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية، المجلد (2) العدد (2) ديسمبر، كلية الموارد البحرية، الجامعة الأحمرية الإسلامية، ليبيا، ص20.
- (38) عبدالمجيد، عصام محمد، (1995): الهندسة البيئية، دار المستقبل للنشر والتوزيع عمان، الأردن، كما يمكن مراجعة لفته، عارف محسن، (2010): واقع مياه الشرب في مدينة بغداد (تقدير مستوى العسرة)، مجلة جامعة كربلاء العلمية، المجلد (8) العدد (1)، ص68.
- (39) عبدالله، ثامر حبيب و مجيد، طيبة جمعة، (2015): مرجع سابق ص215.
- (40) فيصل، رائد محمود، (2013): التحليل المكاني لتقييم صلاحية المياه الجوفية لأغراض الشرب والري وسقي الحيوانات في قضاء سنجار باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS، مجلة التربية والعلم، المجلد (26)، العدد (3)، ص252.
- (41) عبدالله، ثامر حبيب و مجيد، طيبة جمعة، (2015): مرجع سابق ص213.
- (42) فيصل، رائد محمود، (2013): مرجع سابق، ص253.
- (43) عبدالله، ثامر حبيب و مجيد، طيبة جمعة، (2015): مرجع سابق ص214.
- (44) ستريلر، آرثر آن، (1986): أسس علم الأرض، ترجمة وفيق حسين الحشاش، كلية الآداب، جامعة بغداد، ص284.
- (45) المرجع السابق، ص139.
- (46) عبدالله، ثامر حبيب و مجيد، طيبة جمعة، (2015): مرجع سابق ص215.
- (47) السامرائي، خلف فارس، (2007): مرجع سابق ص195.

قائمة المراجع:

- 1- أمانة الاستصلاح الزراعي وتعمير الأراضي، (1979): تقرير عن المهمة الرسمية للدراسات الهيدرولوجية بحوض الكفرة، طرابلس.
- 2- إحمد، مفتاح علي محمد، (2015): تقييم وتخطيط ملوحة التربة للمحاصيل المروية باستخدام طرق الإحصاء المكاني (Geostatistics) والدراسات الحقلية بمنطقة سواوة - سرت، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الزراعة، جامعة طرابلس.
- 3- الباروني، سليمان صالح، (1995): ندوة المياه في الوطن العربي، تأثير الاستغلال المفرط للمياه الجوفية في ليبيا، الجمعية الجغرافية المصرية، مركز بحوث الشرق الأوسط، جامعة عين شمس القاهرة.
- 4- بن علي، صلاح مختار و الحداد، عبدالعاطي أحمد، (2015): تحديد تراكيز بعض العناصر الثقيلة في مياه الآبار المنزلية بمدينة ترهونة، مجلة البحوث الصناعية، السنة التاسعة عشر، العدد 29.
- 5- الجديدي، حسن محمد، (1986): الزراعة المروية وأثرها في استنزاف المياه الجوفية في شمال غرب سهل الجفارة، الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان، طرابلس، الطبعة الأولى.
- 6- حمد، حسين كريم، (2015): تقييم جغرافي لصلاحية مياه الشرب في مدينة الحي، مجلة لارك للفلسفة واللسانيات والعلوم الاجتماعية، العدد السابع عشر، السنة السابعة.
- 7- الحياتي، عبدالستار جبير، (2009): تقييم المياه الجوفية لبعض آبار قرية الخفاجية في محافظة الأنبار، مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة، المجلد (3) العدد (2).
- 8- الخطيب، رائد طارق هادي، (2007): تقييم نوعية مياه الشرب في محافظة المثنى، المجلة العراقية للهندسة الكيماوية وهندسة النفط، المجلد (8) العدد (1).
- 9- خيرالله، حافظ عيسى، (2008): المناخ وأثره على البيئة في حوض الكفرة، دكتوراة غير منشورة، جامعة الإسكندرية.
- 10- خيرالله، حافظ عيسى، (2014): توظيف نظم المعلومات الجغرافية GIS في استخراج بعض القياسات المورفومترية من نماذج الارتفاعات الرقمية للأودية في البيئات الجافة "دراسة حالة وادي الكفرة في جنوب شرق ليبيا"، مجلة كلية الآداب جامعة الإسكندرية، عدد خاص بالمؤتمر السنوي الخامس عشر، 2014.
- 11- خيرالله، حافظ عيسى، (2015): الوضع المائي ومستقبله بمنطقة الكفرة جنوب شرق ليبيا، المجلة الدولية للبيئة والمياه، المجلد (4) العدد (1).
- 12- درادكة، خليفة عبدالحافظ، (1987): هيدرولوجية المياه الجوفية، دار مجدلاوي للنشر والتوزيع، عمان.
- 13- درادكة، خليفة عبدالحافظ، (2006): المياه السطحية وهيدرولوجية المياه الجوفية، دار الحنين للنشر والتوزيع، عمان الأردن.
- 14- الزوكة، محمد خميس، (2005): جغرافية المياه، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- 15- السامرائي، خلف فارس، (2007): التقييم النوعي لمياه الشرب في مدينة سامراء، مجلة سامراء، المجلد (3) العدد (7) السنة الثالثة.
- 16- ستريلر، آرثر آن، (1986): أسس علم الأرض، ترجمة وفيق حسين الخشاب، كلية الآداب، جامعة بغداد.
- 17- سليمان، حسام محمود و المصري، رياض و الخليل، عمر، (2013): دراسة مقارنة لعدة طرائق استقراء رياضية لسطح مستمر اعتماداً على غمامات المسح الليزري ثلاثي الأبعاد، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية، المجلد (29) العدد (2).

- 18- الشامي، كامل خالد، (1991): مقارنة نوعية مياه الشرب في المدن الصحراوية بالمعايير العالمية القياسية لمنظمة الصحة العالمية (مدينة غات)، مجلة الدراسات الأفريقية، السنة الرابعة العدد الرابع، مركز البحوث والدراسات الأفريقية سبها ليبيا.
- 19- شاور، آمال إسماعيل، (2000): جغرافية المياه العذبة.
- 20- صقر، السالم، (2001): محطات معالجة مياه الفضلات، منظمة الصحة العالمية، عمان.
- 21- عبد الرحمن، عباس و عمار، غطفان عبد الكريم و حضور، ريم، (2013): التنبؤ بخريطة تساوي مناسيب المياه الجوفية الحرة باستخدام طرائق الإحصاء المكاني في سهل جبلة - اللاذقية، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (7).
- 22- عبدالله، ثامر حبيب و مجيد، طيبه جمعة، (2015): دراسة مياه الآبار وتحليلها في قضاء بلدروز في محافظة ديالى باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، مجلة ديالى للعلوم الهندسية، المؤتمر العلمي الهندسي الثاني، جامعة ديالى، العراق.
- 23- عبدالمجيد، عصام محمد، (1995): الهندسة البيئية، دار المستقبل للنشر والتوزيع عمان، الأردن.
- 24- عبود، هادي ياسر و توفيق، نادية محمود، (2012): دراسة نوعية بعض المياه الجوفية في مدينة الحلة، مجلة جامعة بابل للعلوم الصرفة والتطبيقية، العدد (1) المجلد (20).
- 25- علي، آمنة حسين صبري، (2014): تقييم طرق الاستنباط في بيئة الـ GIS، مجلة الأستاذ، العدد (211) المجلد (2).
- 26- عيد، صفية و قدورة، عائشة، (2017): إنشاء وتقييم نماذج الارتفاع الرقمية (DEM) باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة الآداب والعلوم الإنسانية المجلد (39)، العدد (5).
- 27- الفقي، يوسف محمد و صويد، فتحى علي، (2016): تقييم المياه الجوفية الضحلة (طبقة حاوية غير محصورة) لبعض آبار مياه منطقة مصراتة ومدى ملائمتها للشرب والري، مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية، المجلد (2) العدد (2) ديسمبر، كلية الموارد البحرية، الجامعة الأسمرية الإسلامية، ليبيا.
- 28- فليفل، كامل حمزة و الزاملي، عايد جاسم حسين، (بدون): تباين خصائص المياه الجوفية في الهضبة الغربية لمحافظة النجف باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، مجلة البحوث الجغرافية، العدد 19.
- 29- فيصل، رائد محمود، (2013): التحليل المكاني لتقييم صلاحية المياه الجوفية لأغراض الشرب والري وسقي الحيوانات في قضاء سنحار باستخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS، مجلة التربية والعلم، المجلد (26)، العدد (3).
- 30- كربل، عبدالآله رزوقي، (1986): علم الأشكال الأرضية الجيومورفولوجيا، جامعة البصرة.
- 31- لاه، محمد عبد الله، (1995): التجربة الليبية في تنمية واستغلال المياه الجوفية، التصحر وهجرة السكان في الوطن العربي، معهد البحوث والدراسات العربية، القاهرة.
- 32- لفته، عارف محسن، (2010): واقع مياه الشرب في مدينة بغداد (تقدير مستوى العسرة)، مجلة جامعة كربلاء العلمية، المجلد (8) العدد (1).
- 33- محمد، شنو مصطفى، (2015): دراسة نوعية المياه الجوفية في محافظة كركوك، مجلة جامعة كركوك، الدراسات العلمية، المجلد (10)، العدد (4).
- 34- المحمد، ياسر و حايك، شريف و برجية، دارين، (2013): مقارنة بين طريقتي (Kriging , IDW) للتنبؤ بالتوزيع المكاني للنترات في المياه الجوفية في منطقة الغوطة الشرقية - دمشق، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سلسلة العلوم الأساسية المجلد (35) العدد (3).

- 35- الهواري، سمير، (1977): الاستغلال الاقتصادي للمياه، مجلة الماء والحياة، العدد 3، الهيئة العامة للمياه، طرابلس.
- 35- **Elramly M. ISMAIL**, (1980): "AL KUFRAH Pleistocene Lake its Evolution and Role in Present-Day Land Reclamation", The Geology of Libya Volume II , AL Fateh University, Tripoli .
- 36- **Fathi A.Swaid** , Ahmed A .Issa (2014), Deep Groundwater Quality and Suitability for Drinking and Agricultural Purpose, Wadi Baye,Middle Region, Libya., Transactions on Ecology and The Environment, Vol 1185.
- 37- **Fathi A.Swaid** , Ahmed A .Issa (2015): Assessment of groundwater quality for drinking and irrigation purposes, Martubah plain, eastern Libya., Transactions on Ecology and The Environment, Vol 196.
- 38- **Galal M. Zaiad**. (2010): Physico-Chemical Analysis of Soils in Al-Khums city, Libya Journal of Applied Sciences Research, 6(8): PP 1040-1044.
- 39- **John Shanze**, Evzen Zeman, Jiri Marsalek, (2006): Flood risk management hazards, vulnerability and mitigation measures, ,springer.
- 40- **Mansour A. Salem** and Latif H. Al-ethawi, (2013): Evaluation of Salinity in Some Soils of Irrigated Brack –Ashkada Agriculture Project, Fezzan, Libya. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. Volume 2, Issue 1, PP 05-09.
- 41- **McClendon .S** , (2010): the use of different spatial interpolation techniques using ESRI's Spatial Analyst and Geostatistical Analyst extensions, Pennsylvania State University. GEOG 586 .
- 42- **MEHRJARDI, R.T**; **JAHROMI, M.Z**; **MAHMODI, SH**; and **HEIDARI, A**. (2008): Spatial distribution of groundwater quality with Geostatistics (case study: Yazard-Ardakan plain). World applied sciences journal No. 1 pp. 09-17.
- 43- **Richard, W. And Margaret, A.O**. (2007): Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Ltd. England. UK.
- 44- **Total dissolved solids in drinking water"** (1996): guidelines for drinking water quality, 2nd ed.vol .2.Health criteria and other supporting information. WHO, Geneva,.