

مقارنة تقنيات الاستيفاء المكاني لخرائط مناسيب المياه الجوفية
في قضاء تلعفر باستخدام نظم المعلومات الجغرافية

GIS

أ.د. علي عبد عباس العزاوي

جامعة كركوك /كلية التربية للعلوم الانسانية

تاريخ قبول النشر ٢٠١٨/٢/١٩

تاريخ استلام البحث ٢٠١٨/١٢/٣

الملخص

تعد المياه الجوفية من أهم موارد المياه البديلة للاستخدامات المدنية والزراعية في المناطق الجافة وشبه الجافة، نظرا للطلب المتزايد عليه للاستعمالات المنزلية والزراعية وعليه فإن التنبؤ بمنسوب المياه الجوفية مفيد لإدارة حجم ومستوى هذه الموارد والتخطيط لها والحفاظ عليها لعمليات التنمية الزراعية. في هذا البحث تم مقارنة ثلاثة طرق جيواحصائية (geostatistics) اخذت مجموعة بيانات لمنسوب المياه الجوفية المقاسة حقليا من ٧٥ بئرا مختارة في شهر الرابع ٢٠١٣ في قضاء تلعفر لمساحة ٤٥٩٦ كم^٢، لاختيار افضل طريقة لإنتاج ادق خارطة رقمية لمنسوب المياه الجوفية (G.W.T.. W.T..). تم تطبيق تقنيات التخمين الاحصائي المكاني Spatial Interpolation Techniques بثلاث طرق هي (kriging) و(IDW) و(RBF) للاستيفاء المكاني لمنسوب المياه الجوفية. وتم عمل تقريب ملائم (fitted) لعدة موديلات من (semivariograms) منها (Spherical, Gaussian, Invers Multiquadric, Exponential) وبعد إجراء الاختبارات لعدة موديلات تم اختيار الموديل النهائي لتخمين مناسيب المياه الجوفية في المنطقة ومقدار التباين (الذي يعبر عن دقة التخمين في منسوب المياه الجوفية) ، وتم تحديد الطريقة الافضل للتنبؤ ببناء على تقنية Cross-Validation . وقيمة الجذر التربيعي لمتوسط الخطأ RMSE حيث وجد ان نموذج Invers Multiquadric هو النموذج الافضل، وتم اعتماد RBF كافضل طريقة لانشاء خارطة استيفاء مكاني Interpolation Map كونها تحوي على نسبة خطأ اقل اذا ما قورنت بنتائج (IDW , kriging) تم تنفيذ الطرق اعلاه باستخدام برنامج ArcGIS ١٠,٣.

الكلمات المفتاحية : الإحصاء المكاني ، مناسيب المياه الجوفية، cross-validation (IDW) ،
ArcGIS ١٠,٣ ، Kriging.(RBF)

المقدمة:

كشف وتحديد التباين المكاني لمناسيب المياه الجوفية في المناطق الجافة وشبه الجافة مهمة في إدارة وتخطيط التنمية الزراعية والريفية المستدامة. لندرة مياها نتيجة للاوضاع المناخية القاسية وقلة التساقط المطري المترافق مع ارتفاع نسب التبخر والحدوث المتكرر لفترات الجفاف الطويلة. ان اختيار الأسلوب المناسب للاستيفاء المكاني Interpolation ، هو الحاسم في تحليل السطوح، والتي تعد طريقة او دالة رياضية تُخمنُ القِيمَ في المواقع التي لاتتوفر لها قيم مدروسة. وهذه الطريقة تفترض

استمرار بيانات الظاهرة على السطوح، وتسمح الطريقة لتقدير الخصائص في جميع المواقع ضمن حدود البيانات باستخدام نماذج رياضية حاسوبية. وان مقارنة أساليب مختلفة من الاستيفاء يمكن أن يؤدي إلى نتائج سطحية مختلفة. من بين الأساليب الإحصائية المكانية، التقنية المعتمدة ، وفرت برمجيات نظم المعلومات الجغرافية اساليب استيفاء احصائية مكانية **Spatial Interpolation Techniques** لمعالجة وتحليل ورسم الخرائط السطحية. في هذا العمل، استخدمت تقنيات الاستيفاء المكانية. لتقدير وقياس خرائط مناسيب المياه الجوفية وإنشاء مجموعة البيانات المستمرة التي يمكن أن تكون ممثلة على خريطة منطقة الدراسة بأكملها. وهي^(١)؛ مقلوب المسافة الموزونة (IDW)، شعاعي قاعدة وظيفة (RBF) وكريجنك **kriging**، تم تقييم أداء الاستيفاء ومقارنتها باستخدام التحقق من صحة النتائج. بعد عرض الخرائط الثلاثة الناتجة عن استخدام طرق **IDW** و **RBF** و **kriging** ، أظهرت النتائج أن طريقة **RBF** تعد أفضل من طريقتي **kriging** و **IDW**. بعد مقارنة النماذج الثلاثة باستخدام تقنية (Cross-Validation)، والقيمة الاقل للجذر التربيعي لمتوسط الخطأ **RMSE** .

مشكلة البحث:

تلخص مشكلة البحث في ضعف امكانية الكشف والمعرفة المسبقة للطريقة الافضل من طرق الاستيفاء المكاني في بيئة برامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتطبيقها في عمليات التحليل الاحصائي المكاني. وانتاج افضل وادق خرائط لمناسيب المياه الجوفية في المنطقة.

هدف البحث واهميته:

تأتي أهمية البحث من الحاجة الماسة لمصادر مائية آمنة في منطقة تلغفر التي تنتمي إلى المناطق الجافة وشبه الجافة وتعاني من تدهور كمي للمياه الجوفية اضافة الى الطلب المتزايد على المياه نتيجة التزايد السكاني واتساع المساحات الزراعية ، ويهدف البحث الى انشاء وتقييم ثلاثة نماذج للاستيفاء المكاني في برمجيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، باستخدام تقنيات الاستكمال الاحصائي المكاني **Spatial Interpolation Techniques** للنتبؤ بخريطة تساوي مناسيب المياه الجوفية وهي: (كريجنك **kriging** ، طريقة مقلوب المسافة الموزونة (**IDW**) ، ووظيفة شعاعي قاعدة (**RBF**). ثم فحص دقة وكفاءة الخرائط ليتم تحديد الأسلوب الافضل والأكثر دقة لتمثيل خارطة منسوب المياه الجوفية لمنطقة الدراسة .

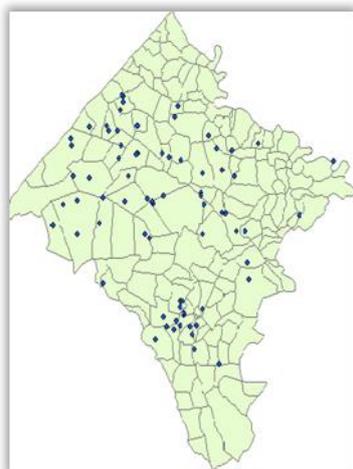
فرضية البحث:

توفر برمجيات نظم المعلومات الجغرافية امكانيات تقنية عالية الدقة لانتاج خرائط التنبؤ المكاني للظواهر الجغرافي **Spatial Interpolation Maps** باستخدام ادوات التحليل الاحصائي المكاني

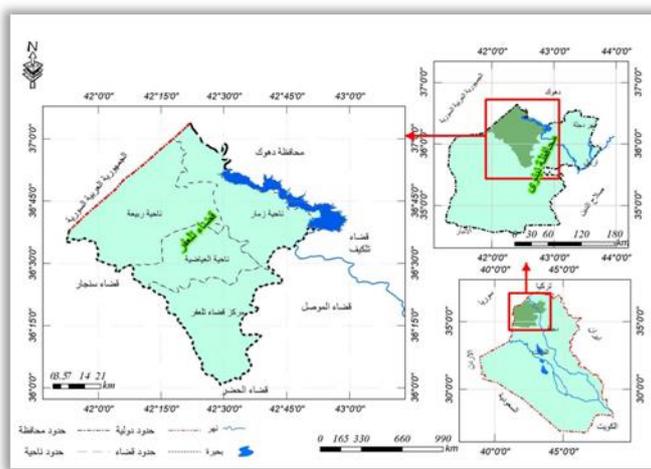
Spatial Geostatistics Analysis بناء على صدق النتائج cross-validation وقيمة RMSE الاحصائية للنموذج.

الموقع والمساحة:

يقع قضاء تلعفر في الجزء الشمالي الغربي من محافظة نينوى ويبعد عنها (٦٥) كم^(٢)، على الحدود العراقية السورية ومن الغرب يحدها قضاء سنجار اما من الجنوب فيحاده قضاء الحضر ومن الشرق قضاء الموصل ومن الشمال الشرقي قضاء تكليف اما من جهة الشمال فتحاده محافظة دهوك. تقع منطقة الدراسة فلكيا بين دائرتي عرض (٠° ٣٦' ٤٥" - ٠° ٣٧' ٠٣") شمالا وخطي طول (٠° ٤٢' ٥٤" - ٠° ٤٢' ٣٠") شرقا. لاحظ الخارطة (١). بلغ مساحة منطقة الدراسة الكلية (٤٥٩٦) كم^٢ ما يعادل (١٨٣٨٤٠٠) دونم وهي تشكل (١٤,٦١%) من اجمالي مساحة المحافظة البالغة (١٢٥٨١٨٧٨٠) دونم. اخذت مجموعة بيانات لمنسوب المياه الجوفية المقاسة حقليا من ٧٥ بئرا مختارة في شهر الرابع ٢٠١٣ في قضاء تلعفر لمساحة ٤٥٩٦ كم^٢.



شكل (٢) مواقع الابار الجوفية



شكل (١) موقع منطقة الدراسة

طرائق البحث ومواده:

تؤكد الدراسات الجغرافية على الاتجاهات والتباينات المكانية للظواهر، ليساعد على إجراء المقارنات و إظهار العلاقات المكانية. يتناول البحث تباين مناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة واثر ذلك على استخدامات الارض والتنمية المكانية. باستخدام خرائط خطوط التساوي *isoline* التي تنفرد بخاصية تمثيل السطوح الإحصائية *statistical surface*.

الأسلوب العلمي في هذه النماذج يعتمد على أخذ البيانات المتوفرة في أماكن معينة من هذه المنطقة، ثم التنبؤ بالبيانات المطلوبة في المناطق التي لا توجد فيها أية قياسات، وهذه العمليات

الرياضية تسمى بالإحصاء المكاني **Geostatistics** باستخدام نماذج رياضية حاسوبية، تعتمد بدورها على توابع رياضية إحصائية مناسبة لكل حالة تبعا للظاهرة المدروسة. تم اتباع منهجية التحليل الإحصائي المكاني من أجل التنبؤ المكاني لمناسيب المياه الجوفية في منطقة الدراسة، اخذت مجموعة بيانات لمنسوب المياه الجوفية المقاسة حقليا من ٧٥ بئرا مختارة في شهر نيسان ٢٠١٣ في قضاء تلعفر لمساحة ٤٥٩٦ كم^٢. وتم ادخال قاعدة البيانات المكانية والوصفية في برنامج **ArcGIS ١٠.٣** لاجراء عمليات التحليل الإحصائي المكاني، باستخدام تقنية (**Geostatistica**) بمقارنة ثلاثة نماذج هي (**RBF, Kriging, IDW**) من اجل التنبؤ الإحصائي بمناسيب المياه الجوفية وبتقريب ملائم (**Fitted**) لعدة نماذج من (**Semivariograms**) لتوابع النماذج الثلاثة، وسيتم اختيار النموذج النهائي ورسم خارطة مناسيب المياه الجوفية تعتمد طريقة الإحصاء المكاني **Geostatistical**، على الاساليب الرياضية والإحصائية وتقييم دقة التوقعات. ولكن التفاصيل الظاهرية للسطح المعد عن طرائق الاستكمال قد تكون مظلة ولا تخدم الهدف، إذا لم يتم اختيار الطريقة المناسبة، التي تعتمد على طبيعة المتغير المعتمد، حجم العينة، وهذه تتطلب مقارنة الأداء التجريبي لطرائق الاستكمال المختلفة التي تحقق فيها على نحو كمي باستخدام اسلوب التحقق المتبادل عبر منحنى التصديق، (**cross-validation**)، ذات الاستخدام الواسع في دراسة المتغيرات الهيدرولوجية في السنوات الأخيرة^(٣).

المقاييس الإحصائية لمقارنة طرائق الاستكمال المكاني:

هنالك عدد من المقاييس الإحصائية يمكن استعمالها لاختيار أفضل طرائق الاستكمال دقة و تقييم أداء النموذج، إذ أن النموذج الذي يعطي تقديرات دقيقة هو كالاتي:

١- متوسط الخطأ **Mean error** يجب أن يكون قريباً من الصفر (يستعمل لمعرفة صلاحية النموذج).

٢- الجذر التربيعي لمتوسط الأخطاء **Root-mean-square error** ومعدل الأخطاء المعيارية **Average standard error** يجب أن يكون صغيراً بقدر الإمكان (هذه المقاييس مهمة عندما تقارن النماذج).

٣- الجذر التربيعي القياسي لمتوسط الأخطاء **Root-mean-square standard error** يجب أن يكون قريباً من الواحد.

طرائق الاستكمال المكاني المعتمدة داخل برنامج **Arc GIS ١٠.٥**:

١- نموذج مقلوب المسافة الموزونة: **" IDW inverse distance weighted "** تعتمد هذه الطريقة بكفاءة عالية على الترابط المكاني حيث تعتمد هذه الطريقة على الاستفادة من البيانات المقيسة في نقاط محددة في المنطقة، من أجل حساب بيانات مطلوبة في نقاط لا تتوفر فيها أية قياسات^(٤)، حيث تؤثر بيانات كل نقطة معلومة بشكل أكبر كلما كانت قريبة من النقطة التي لا تتوفر

فيها قياسات ويقل تأثيرها كلما ابتعدت عنها^(٥)، أي كل نقطة معلومة يكون لها وزن معين يدخل في الحساب^(٦).

معادلة نموذج مقلوب المسافة الموزونة IDW:

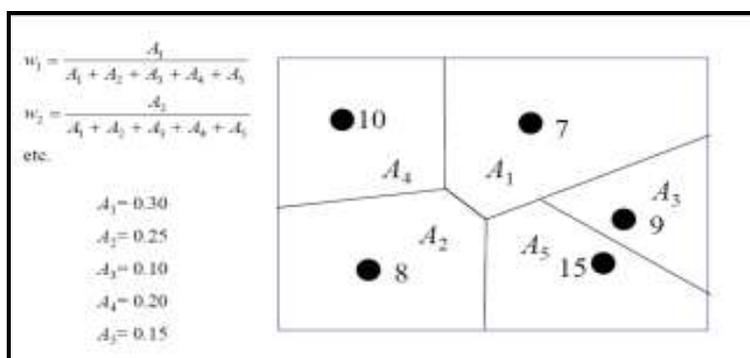
$$\hat{z}(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z(x_i)$$

حيث ان : $Z(X_0)$ قيمة البارومتر المدروس في الموقع غير المقاس

$Z(X_i)$ قيمة البارومتر المدروس في المنطقة المدروسة

W_i الوزن الخاص بكل موقع في المنطقة المدروسة

تتلخص فكرة الوزن في إعطاء وزن خاص للنقطة عند حساب المركز المتوسط حيث إن الأوزان لا تعتمد فقط على المسافة الفاصلة بين النقاط و إنما على التوزيع المكاني لهذه النقاط والذي يعتمد بدوره على ما يسمى الارتباط الذاتي بين النقاط **Autocorrelation**. ويحسب الوزن كما في الشكل (حيث ان : W_i هي الوزن الخاص بكل موقع في المنطقة المدروسة بحيث يكون $\sum_{i=0}^n w_i = 1$ أي مجموع الأوزان لكل النقاط يساوي الواحد).



شكل (٣) طريقة حساب وزن النقطة

ثانيا: كريجينج البسيط (SK) Simple kriging.

نموذج: **kriging**: من بين التقنيات الجيوإحصائية المهمة نموذج كريجينج الذي يعد أفضل إجراء للاستيفاء الخطي غير المتحيز^(٧)، وهي طريقة مقارنة، تعطي أفضل تنبؤ بالقيم المجهولة لتابع عشوائي، وفي الحقيقة هذا التنبؤ هو عبارة عن تركيب مرجح موزون للقيم المقاسة. تستخدم هذه الطريقة النماذج الإحصائية التي تشمل الارتباط الذاتي في اكتشاف العلاقات المكانية بين نقاط العينة وذلك عن طريق استخدام دوال التغاير، وتستخدم المتوسط الحسابي في عملية التخمين ولكن بشكل أكثر تعقيدا حيث انها كل النقاط تدخل في حساب المتوسط بشكل شبكي خلاف **spline**، كل طريقة

من هذه الطرق تستخدم أسلوب مختلف في تقدير قيم الخلايا المنتجة من مجموعة النقاط المختارة ، عملية اختيار أي طريقة تعتمد على نوع البيانات التي نقوم بإنشاء السطح منها ، كذلك توزيع النقاط والظواهر التي تجري عليها الدراسة^(٨) .

$$Z(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

حيث ان :

$Z(s_i)$ القيمة المقاسة عند الموقع i

y_i : الوزن غير المعروف للقيمة المقاسة عند الموقع i

S_0 : موقع التنبؤ

N : عدد القيم المقاسة

٣- نموذج دوال القاعدة الشعاعية (Radial Basis Functions):

تعد تقنية الدالة الشعاعية (RBF) احدى تقنيات الاستيفاء المكاني المضبوطة ، والسطح المشتق يمر عبر كل قيمة للنماذج المقاسة^(٩) . وهي مشابهة لنموذج (IDW) عدا كونها تخمن القيم التي تقع فوق الحد الاقصى والقيم تحت الحد الادنى، ان (RBF) تستخدم واحدة من الوظائف الاساسية الخمسة لمعالجة قيمة العينة المقاسة ، وبالتالي انشاء سطح الاستيفاء المكاني . ان كل وظيفة اساسية لها شكل مختلف وتنتج سطح استيفائي مختلف^(١٠)، ان تقنية (RBF) حالة خاصة من طرق الاستيفاء ، وهي مشابهة من الناحية النظرية لتركيب غشاء المطاط من خلال قيم النماذج المقاسة مع التقليل من الانحناء الكلي للسطح^(١١) ، ان الوظيفة الاساسية التي يتم اختيارها هي التي تحدد كيفية قيام الغشاء المطاطي بالتعديل بين القيم^(١٢) .

$$A(f) + \sum_{i=1}^n w_i^2 [f(x_i) - y(x_i)]^2$$

حيث ان :

$Y(X_i) = Z(X_i) + \sum (X_i)$ مصدر الخطأ العشوائي

Z : القيمة المقاسة للمواصفات عند النقطة X_i

$A(F)$: تمثيل نعومة دالة F والمصطلح الثاني تمثيل القرب للبين الاول

RESULTS AND DISCUSSION المناقشة والنتائج

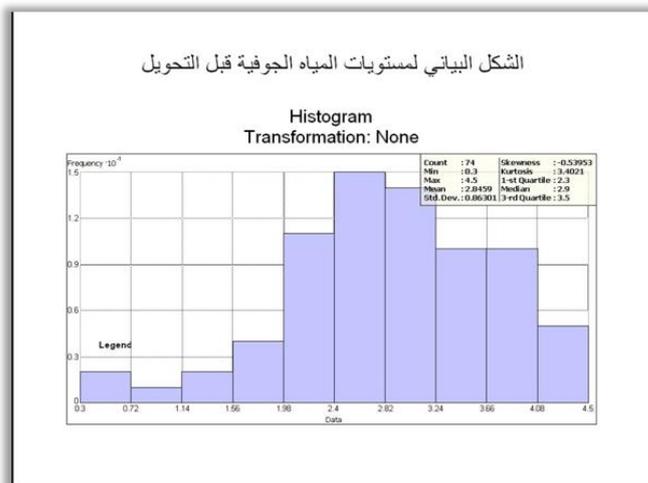
وصف البيانات Exploratory data analysis

يقصد باستكشاف البيانات، فهم أفضل للبيانات فضلاً عن البحث عن أخطاء واضحة فيها قد تؤثر بشدة على نتائج السطح المتوقع. ويحتوي ملحق محلل الإحصاء الأرضي **Geostatistical Analyst** العديد من أدوات استكشاف البيانات المكانية لتقييم خصائص البيانات منها: - (١٣)

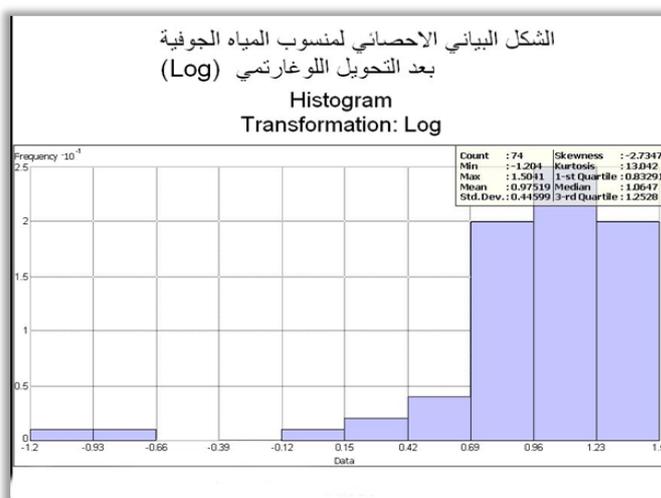
اختبار توزيع البيانات

تعطي طرائق الاستكمال التي تستعمل لخلق السطح أفضل النتائج إذا كانت البيانات تتوزع على نحو معتدل **Normal distribution**، إذ ترفع في هذا النوع من التوزيع احتمالات توقع القيم بالقرب من المتوسط وتتناقص تدريجياً بالبعد عنه فضلاً عن تساوي احتمالية وقوع أية قيمة دون المتوسط أو فوق المتوسط^(١٤). ولكن من الصعب أن يوجد مثل هذا التوزيع إذا اختيرت العينات عشوائياً. لذلك يصبح لدى الباحث توزيع فعلي غير منتظم وتكراراته محدودة. وكلما كانت التكرارات أقل كان التوزيع أبعد عن الانتظام. ومن هنا جاءت أهمية اختبار البيانات قبل خلق السطح^(١٥). والجدير بالذكر إن البيانات المنحرفة تظهر في كثير من المجالات كما هو الحال في التعدين والزراعة والبيئة وكما هو الحال أيضاً في دراستنا^(١٦).

تتوفر في ملحق محلل الإحصاء المكاني أدوات لمعرفة طبيعة توزيع البيانات مثل المدرج التكراري **Histogram**، إذ يمكن بواسطته اختبار توزيع البيانات بالملاحظة المباشرة، وباستعراض المؤشرات الإحصائية، وعموماً فإن الصفات المهمة للتوزيع لها القيمة المركزية، إذ يجب تقارب الوسط الحسابي والوسيط ليأخذ التوزيع شكلاً طبيعياً (**Normal Distribution**)^(١٧). عندما تكون البيانات ذات توزيع تكراري طبيعي بمنوال واحد يكون المتوسط الحسابي تقريبا مساوي للوسيط وبالتالي تصبح قيمة معامل الألتواء (صفر). في حالة الألتواء نحو اليمين يكون المتوسط الحسابي أكبر من الوسيط وبالتالي تصبح قيمة معامل الألتواء موجبة (+) أما في حالة العكس والألتواء نحو اليسار يكون المتوسط الحسابي اصغر من الوسيط وبالتالي تصبح قيمة معامل الألتواء سالبة (-). بشكل عام قيمة معامل الألتواء في حالة التوزيع الطبيعي تقع بين (- ١ و + ١) ، القيم الخارجة عن هذا المدى تؤكد بأن توزيع البيانات ملتوي نحو اليمين او اليسار. يظهر من شكل المدرج التكراري (٤) الملخص الإحصائي لمناسيب المياه الجوفية في الجدول (١) ، ويلاحظ أن البيانات تتوزع على نحو قريب من التوزيع المعتدل، إذ أن هناك تقارباً بين قيمتي الوسط الحسابي **Mean** (٢,٨) و الوسيط **Median** (٢,٩) وان قيمة الألتواء (٠,٥٣) قريبة من (١) .



شكل (٤) الشكل البياني لمستويات المياه الجوفية قبل التحويل

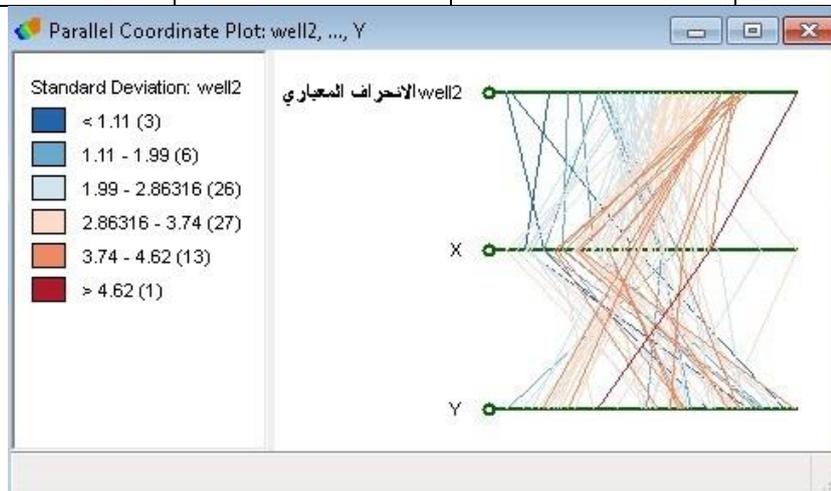


شكل (٥) الملخص البياني لتوزيع تكرارات مناسيب المياه الجوفية بعد التحويل

جدول (١) ملخص الوصف الاحصائي لبيانات منسوب المياه الجوفية

| Logtransformatied بعد التحويل | Untransformatied قبل التحويل | Normalizing | المقاييس الاحصائية لمنسوب المياه الجوفية |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|--|
| | | Number of sample | عدد النقاط المقاسة |
| ١,٢٠ | ٠,٣ | Min | القيمة الدنيا |
| ١,٥٠ | ٤,٥ | Max | القيمة العظمى |
| ٠,٩٧ | ٢,٨ | Mean | المتوسط |
| ١,٠٦ | ٢,٩ | Median | الوسيط |

| | | | |
|-------|------|----------|-------------------|
| ٠,٤٤ | ٠,٨٦ | Std.Dev | الانحراف المعياري |
| -٢,٧٣ | ٠,٥٣ | Skewness | الالتواء |
| ١٣,٠٧ | ٣,٤ | Kurtosis | التفطح |
| | | | |

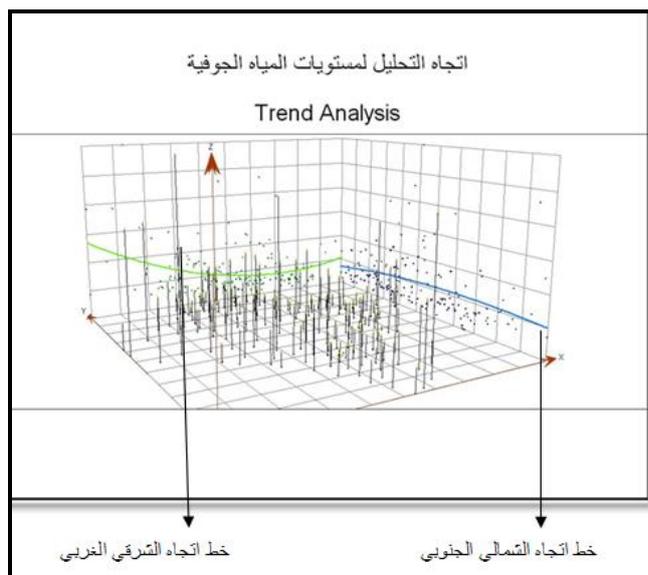


شكل (٦) قيم الانحراف المعياري للبيانات

اتجاه البيانات Trend Analysis:

تساعد أداة تحليل الاتجاه Trend Analysis في ملحق الإحصاء المكاني Geostatistical Analyst على تمييز الاتجاهات في مجموعة البيانات، إذ يمكن بواسطتها معرفة حضور أو غياب اتجاه البيانات، وتعرض البيانات ثلاثية الأبعاد، إذ أن نقاط العينات تمثل على المحور $x-y$ في السطح وارتفاع كل نقطة عينات يُمثل قيم z . الميزة الفريدة في أداة تحليل الاتجاه هي أن القيم أسقطت على بعد $x-z$ و $y-z$ على السطح أنظر الشكل(٧).

كل خط عمودي في شكل تحليل الاتجاه يمثل الموقع والقيمة، إذ أن النقاط السوداء تمثل موقع العينات ($x-y$)، والنقاط الخضراء تمثل قيمة العينات (z)، أما النقاط الزرقاء فتمثل البيانات المتوقعة على ($y-z$)، والنقاط الزرقاء تمثل البيانات المتوقعة على ($z-y$)، ويمثل الخط الأزرق اتجاه الشمال إلى الجنوب، بينما الخط الأخضر يمثل اتجاه الشرق إلى الغرب. في كل نقطة بيانات، النقاط أسقطت على المستويات العمودية، شرق-غرب-شمال-جنوب. أفضل خط مناسب (متعدد الحدود) رسم خلال النقاط المتوقعة. إذا كان الخط بدون تغير (مستوي) فهذا يشير إلى عدم وجود الاتجاه في البيانات.



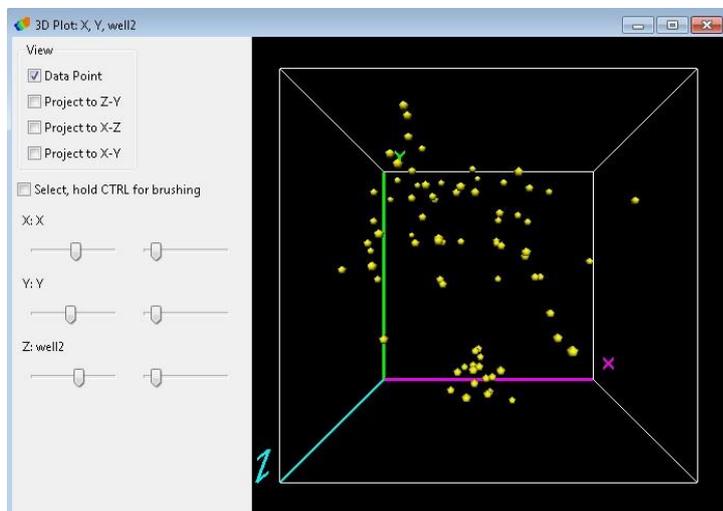
شكل (٧) اتجاه تحليل مستويات المياه الجوفية

من الشكل نلاحظ اتجاه البيانات لمناسيب المياه الجوفية ، تبدأ منخفضة في شرق المنطقة ثم ترتفع بشكل تدريجي نحو غرب المنطقة، كما موضح في الشكل (٧) ويبدأ بالانخفاض جنوباً ويرتفع تدريجياً نحو شمال المنطقة، و هذا يعني أن الاتجاه الأكثر لمناسيب المياه شمالي شرقي باتجاه جنوبي غربي ، والاتجاه الأضعف في المناسيب جنوبي شرقي باتجاه شمالي غربي. نستنتج مما سبق ان هناك اتجاهات واضحة في البيانات، إذ يدل على اختلاف قيم مناسيب المياه الجوفية من مكان لآخر في منطقة الدراسة. الأمر الذي يشير إلى إمكانية استخدام طرائق الاستكمال في توليد السطح للمناسيب المياه الجوفية.

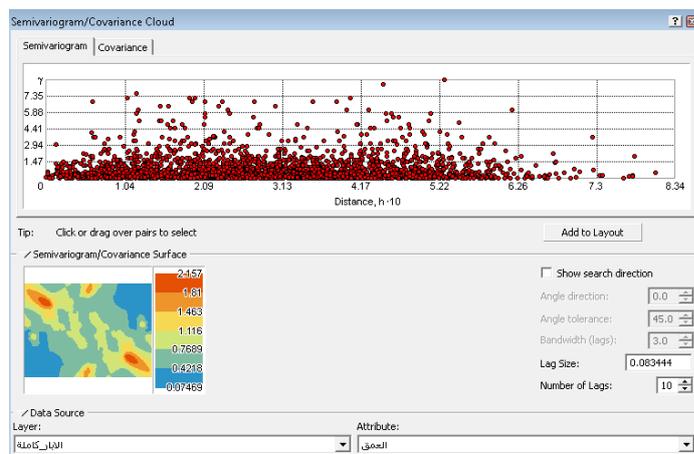
الارتباط الذاتي المكاني Autocorrelation

الارتباط الذاتي المكاني (Spatial Autocorrelation)^(١٨) هو علاقات إحصائية بين قياسات نقاط العينات في الحيز المكاني نفسه. إذ تساعد على اتخاذ قرار أفضل عند اختيار النماذج للتنبؤات المكانية. تسمح أداة Semivarogram باختبار الارتباط الذاتي المكاني بين قياسات نقاط العينات، وتفترض أن الأشياء القريبة من بعضها الآخر أكثر تشابهاً. هذه الأداة تسمح باختبار هذه العلاقة. ولعمل ذلك فإن قيمة Semivarogram ، التي هي مربع الاختلاف بين قيم كل زوج من المواقع، تمثل على المحور y والمسافة على المحور x (أنظر الشكل). كل نقطة في Semivarogram تمثل زوجاً من المواقع، إذا كانت البيانات تابعة لبعضها بشكل مكاني فإن أزواج النقاط القريبة (على أقصى يسار المحور x) يجب أن الاختلاف بينها على أقل قدر ممكن (يكون منخفضاً على المحور y)، وكذلك المسافة بين أزواج النقاط تزيد كلما ابتعدنا على المحور x و صعدنا على المحور y، وعموماً هناك مسافة معينة يستوي بعدها خط الانحدار، وأزواج المواقع ما بعد هذه المسافة تعد غير مرتبطة مكانياً^(١٩). يعد نصف الفرق التجريبي semivariograms الاداة الأساسية للوصف الاحصائي

المكاني Spatial description والتنبؤ المكاني، وظيفته تقديم المعلومات المطلوبة عن الارتباط الذاتي المكاني autocorrelation بين النقاط، ثم التنبؤ ببيانات النقاط المجهولة بالدرجة الثانية. لكنها لاتعطي معلومات عن كل الاتجاهات، مما يتطلب الاستعانة بطرق الاستيفاء المكاني .



شكل (٨) العرض الثلاثي الابعاد لمواقع الابار



شكل (٩) الارتباط الذاتي المكاني لبيانات مناسب المياه الجوفية

من الشكل (٩)، يظهر أن أغلبية أزواج نقاط مناسب المياه الجوفية قريبة من بعضها، وبالاتباع من المحور X يزداد الاختلاف بينها، نستنتج مما سبق أن أغلبية أزواج نقاط المناسب، لها علاقات مكانية، بحيث يمكن الاعتماد عليها في خلق السطح.

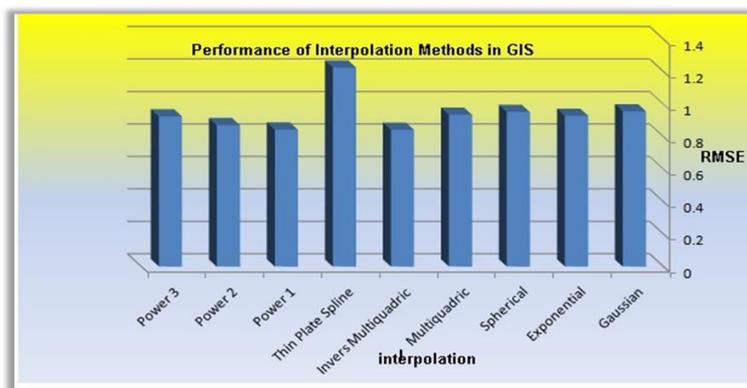
مقارنة طرق الاستيفاء المكاني: Comparison of Different Interpolation Methods
 لمعرفة صلاحية النموذج والطريقة المثالية، تم اختبار الطرائق المذكورة أعلاه بالاعتماد على المعادلات الاحصائية الجاهزة داخل البرنامج، وبعد جدولة البيانات، وحساب الفاريوغرامات من أجل اختيار النموذج الأفضل من أجل المطابقة الأفضل مع الفاريوغرام التجريبي، تم اعتماد نتائج RMSE

الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ لجميع النماذج من أجل تحديد الطريقة الأكثر مناسبة لرسم خارطة مناسبة المياه الجوفية في المنطقة، والمتضمنة طرق (Kriging, Radial Basis

Function(RBF), Inverse Distance .Weighted(IDW)

جدول (٢) ادوات التحقق من صحة نتائج خرائط الاستيفاء المكاني

| Method | Model | MAE | RMSE | Average Standard | Mean Standardized | Root-Mean-Square Standardized | MBE |
|---------------------------------|---------------------|-------------|------------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------------|
| Kriging | Gaussian | ٠,٠٨٥٣ ٦ | ٠,٩٥٥ ٢ | ١,١٦١ | ٠,٠٣٣٤٢ | ٠,٩٦٣٥ | ٠,٠٨٥٣ |
| | Exponential | ٠,٠٧٠٦ ٧ | ٠,٩٢٧ ٩ | ١,١٨٢ | ٠,٠٣٢٧١ | ٠,٩٠٨٩ | - ٠,٠٧١٥ |
| | Spherical | ٠,٠٧٧٤ ٩ | ٠,٩٥١ ٥ | ١,١٧٦ | ٠,٠٣٥٧٥ | ٠,٩١٨٢ | - ٠,٠٧٧٤ |
| Radial Basis Function (RBF) | Multiquadric | ٠,٠٢٩٤ ٩ | ٠,٩٣٤ ٥ | | | | - ٠,٠٢٩٤ |
| | Invers Multiquadric | ٠,٠٣٦٥ ٦ | ٠,٨٤١ ٥ | | | | - ٠,٠٣٦٥ |
| | Thin Plate Spline | ٠,٠٢٢٨ ٣ | ١,٢٢٥ | | | | |
| Inverse Distance Weighted (IDW) | Power ١ | ٠,٠٤٥٢ ٩ | ٠,٨٤٣ ٦ | | | | |
| | Power ٢ | ٠,٠٥٢٩ ٣ | ٠,٨٧٠ ٩ | | | | |
| | Power ٣ | ٠,٠٥٥٣ ٦ | ٠,٩٢٤ ٨ | | | | |



شكل (١٠) مقارنة واداء طرق الاستيفاء المكاني

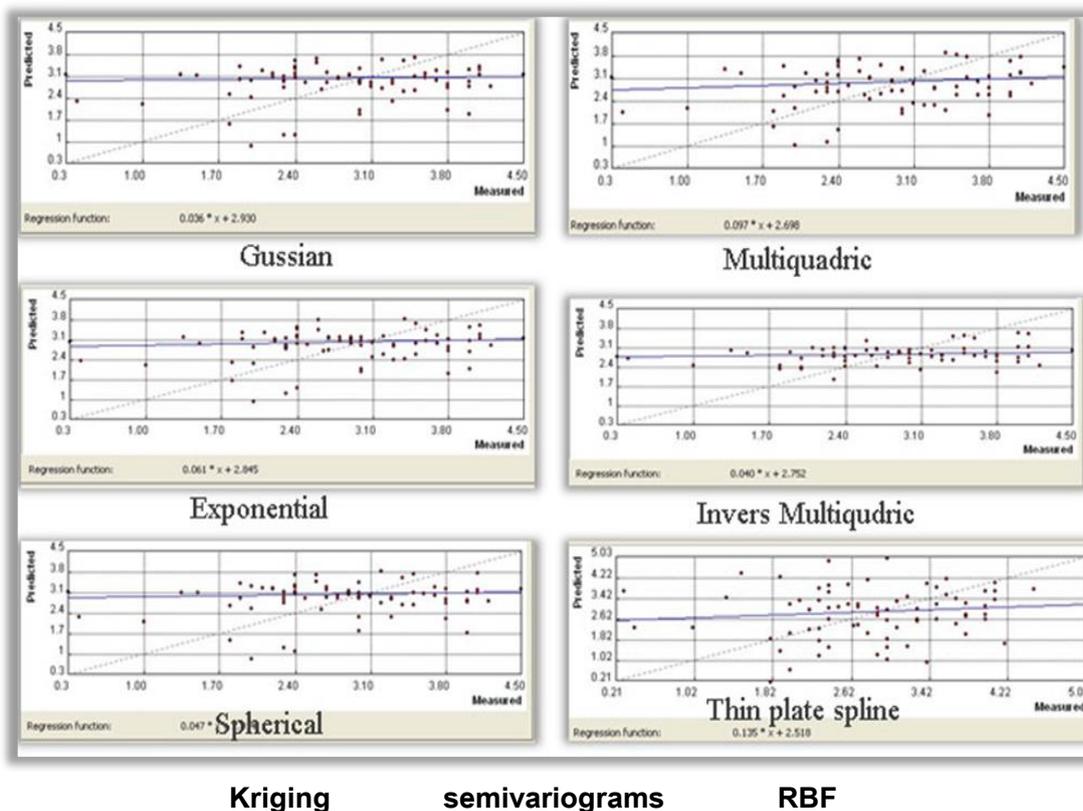
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{Z}(s_i) - Z(s_i))^2}{n}}$$

. $\hat{Z}(s_i)$ - متوسط القيم المقاسة .

. $Z(s_i)$ - متوسط القيم المتوقعة .

. n - عدد نقاط الرصد .

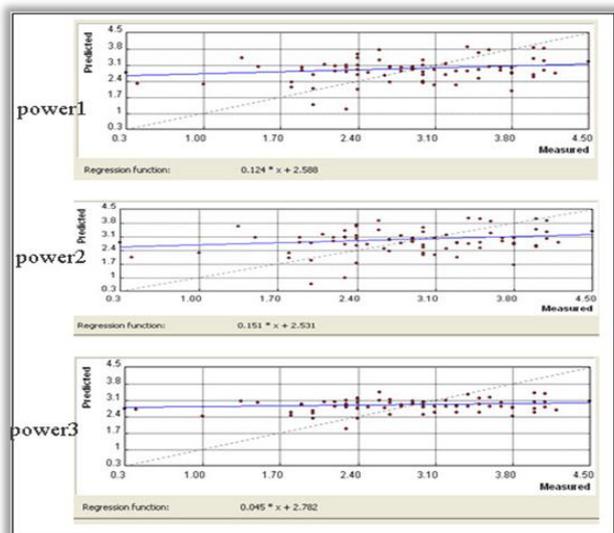
حيث كلما صغرت قيمة RMSE^(١٠) تزداد دقة التنبؤ ،وقد اظهرت نتائج التطبيق في الجدول (٣) بان النموذج المكاني RBF وبطريقة Invers Multiquadric يمتلك دقة اكثر (RMSE= ٠,٨٤١٥) واقل قيمة خطأ (٠,٠٣٦٥٦) مقارنة مع طرق Kriging و idw.



Kriging

semivariograms

RBF

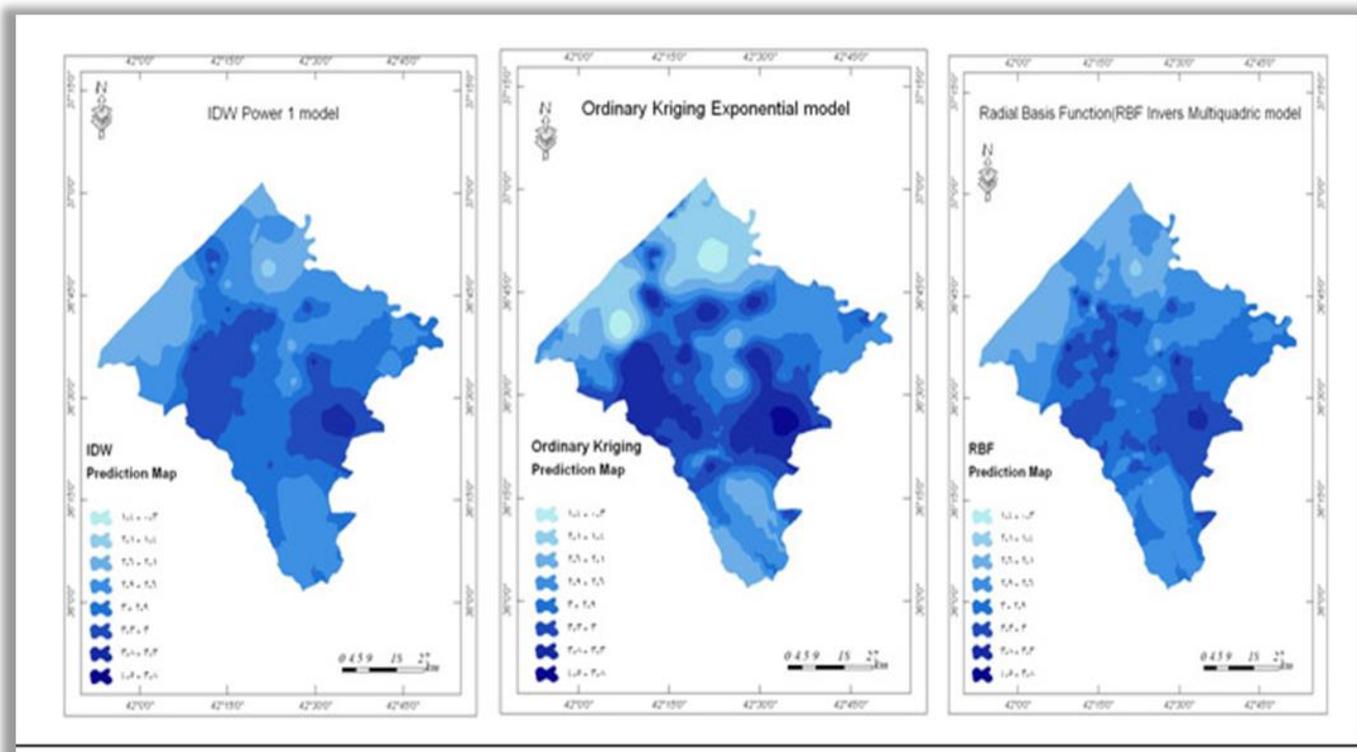


IDW

شكل (١١) مقارنة بين قيم RMSE بين النماذج الثلاثة Kriging، IDW، RBF

جدول (٣) معلمات طرق الاستيفاء المستخدمة لإنشاء خرائط التنبؤ المكاني

| Method الاسلوب | Model النموذج | MAE متوسط الخطأ | RMSE الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ |
|--------------------------------|---------------------|-----------------|---|
| Kriging | Gaussian | ٠,٠٨٥٣٦ | ٠,٩٥٥٢ |
| | Exponential | ٠,٠٧٠٦٧ | ٠,٩٢٧٩ |
| | Spherical | ٠,٠٧٧٤٩ | ٠,٩٥١٥ |
| Radial Basis Function(RBF) | Multiquadric | ٠,٠٢٩٤٩ | ٠,٩٣٤٥ |
| | Invers Multiquadric | ٠,٠٣٦٥٦ | ٠,٨٤١٥ |
| | Thin Plate Spline | ٠,٠٢٢٨٣ | ١,٢٢٥ |
| Inverse Distance Weighted(IDW) | Power ١ | ٠,٠٤٥٢٩ | ٠,٨٤٣٦ |
| | Power ٢ | ٠,٠٥٢٩٣ | ٠,٨٧٠٩ |
| | Power ٣ | ٠,٠٥٥٣٦ | ٠,٩٢٤٨ |

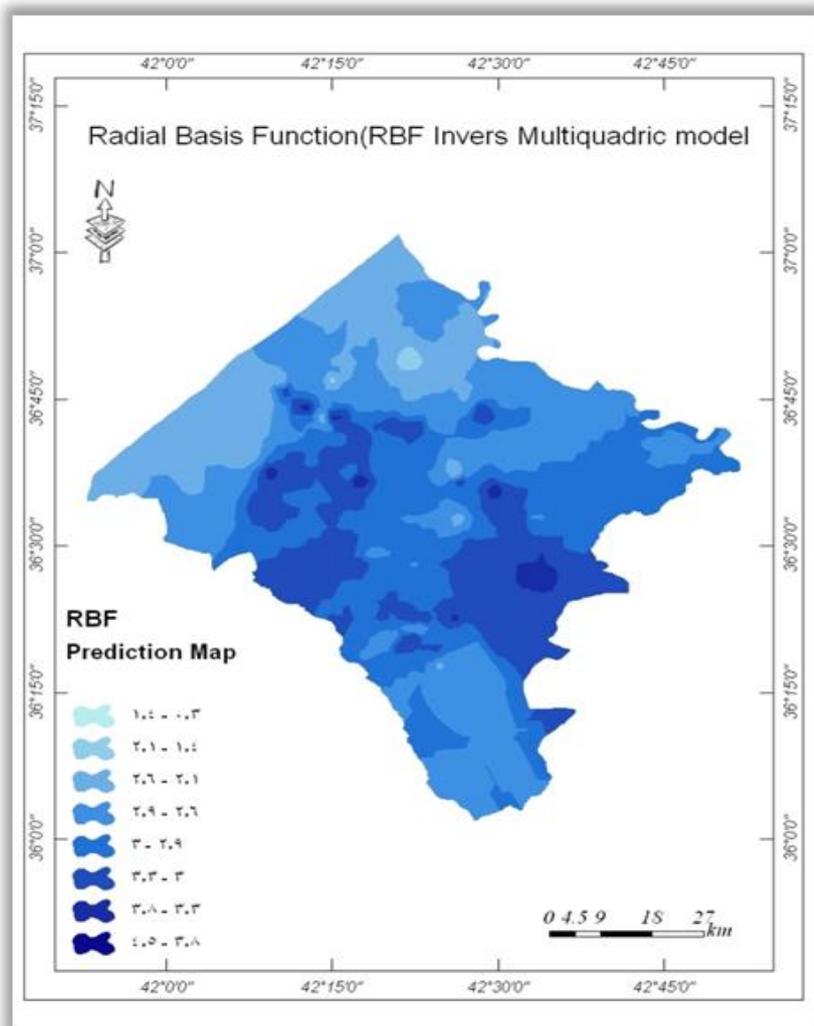


شكل (١٢) خرائط التنبؤ المكاني لمستويات المياه الجوفية المنتجة باستخدام : (Kriging) ، (IDW) ، (RBF)

جدول (٤) نتيجة المقارنة الاحصائية للجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ

| النموذج Method | متوسط الخطأ ME | الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ RMSE |
|--------------------------------|-------------------|---|
| Kriging | ٠,٠٧٠٦٧ | ٠,٩٢٧٩ |
| RBF Invers Multiquadric | ٠,٠٣٦٥٦ | ٠,٨٤١٥ |
| IDW | ٠,٠٤٥٢٩ | ٠,٨٤٣٦ |

ومن نتيجة المقارنة الاحصائية للنماذج الثلاثة تم اختيار نموذج RBF لتمثيل مناسيب المياه الجوفية في المنطقة. ويلاحظ من الشكل (١٣) ارتفاع مناسيب المياه الجوفية في الاقسام الوسطى من منطقة الدراسة، حيث بلغت أقصاها (٣,٨ ، ٤,٥) الواقع ضمن نطاق الاجزاء الشرقية والغربية من منطقة الدراسة، وأدناها (٠,٣ ، ١,٥) ، الواقع في الاجزاء الشمالية والجنوبية من منطقة الدراسة .



شكل (١٣) خارطة التنبؤ المكاني لمستويات المياه الجوفية باستخدام (RBF)

الاستنتاجات والتوصيات:

- ١- توسيع قاعدة البيانات الجغرافية المستخدمة في الدراسة من قبل الجهات المعنية بتوفير ومراقبة المياه، لإدارة وتقويم وتحليل الآبار بوصفها وسيلة تتصف بالسرعة والدقة وتحديد المخرجات على هيئة خرائط وأشكال بيانية وبيانات إحصائية مجدولة. والاستعانة بمراكز نظم المعلومات الجغرافية والاستفادة من البرامج الجاهزة المتوفرة وإمكانية تطوير هذه البرامج لتوسيع قابليتها على معالجة الحالات المحتملة كلها.
- ٢- تتركز معظم المناسيب العالية للمياه الجوفية في الأجزاء الشرقية والغربية من منطقة الدراسة ، بينما الأقسام الشمالية والشمالية الغربية والجنوبية تكون مناسيب المياه الجوفية قليلة جدا وشبه معدومة ، وهذا يعود إلى طبيعة التربة المنتشرة هناك والاستخدام الجائر للمياه الجوفية.

- ٣- في حال القيام بمشروع جديد لحفر آبار مياه جوفية في المنطقة ينصح بحفرها في القسم الشمالي نظرا لارتفاع مناسيب المياه الجوفية فيه, وتوفر مصادر تغذية متمثلة بالمسيلات المائية المنتشرة بكثرة في القسم الشمالي من المنطقة.
- ٤- التخطيط المستقبلي الجيد لهذه الاستخدامات وتأمين حماية المياه من الملوثات.
- ٥- تنظيم اختيار المحاصيل المناسبة لنوعية وكمية المياه الجوفية المستخدمة في الزراعة.
- ٦- ضرورة تطبيق أساليب الإحصاء المكاني للتنبؤ بمناسيب المياه الجوفية في المناطق التي تنتشر فيها وذلك لأنها توفر الجهد المادي والمعنوي الذي تتكلفه الجهات المسؤولة عن حفر الآبار عن طريق التنبؤ بأماكن تواجدها بنسب خطأ تعد صغيرة نسبيا.
- ٧- التخطيط المستقبلي الجيد لهذه الاستخدامات وتأمين حماية هذه المياه من الملوثات.
- ٨- مقارنة طرق الاستيفاء المكاني لاختيار النموذج الامثل لتمثيل مناسيب المياه الجوفية في عموم منطقة الدراسة اكدت افضلية النموذج RBF وذلك لأنها أعطت التوزيع الأقرب لمناسيب المياه الجوفية في الواقع كون الجذر التربيعي لمتوسط مربعات الخطأ اقل من (٠,٠٣) .

المصادر:

- ١- Burrough, P.A. and McDonnell, R.A., (١٩٩٨). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press, Oxford.
- ٢- جمهورية العراق، وزارة النقل والمواصلات، بغداد، بيانات غير منشورة، ١٩٨٥.
- ٣- Nasser A. Alsaaran, Experimental performance of spatial interpolators for ground water salinity. Op.cit,P٥.
- ٤- Collins, J.R., Fred, C., (١٩٩٥). A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation. Doctoral Dissertation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA
- ٥- Johnston, Kevin,. Ver Hoef, Jay M., Krivoruchko, Konstantin and Lucas Neil (٢٠٠١). Using ArcGIS Geostatistical Analyst. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA
- ٦- Anderson, S., (٢٠١٥). An evaluation of Spatial Interpolation Methods on Air Temperature in Phoenix, AZ. Dept. of Geography, Arizona State University.

٧-Gundogdu, K.S. and Guney, I., (٢٠٠٧). Spatial analyses of groundwater levels using universal kriging. J Earth Sys Sci ١١٦ (١): pp. ٤٩-٥٥.

٨-Uyan, M. and Cay, T. (٢٠١٠). Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations. Paper presented at the ٣rd international conference on cartography and GIS. Nessebar, Bulgaria

٩-Schloeder C A, N E Zimmerman & M J Jacobs, ٢٠٠١. Comparison of methods for interpolating soil properties using limited data. Soil Science Society of America Journal, ٦٥: ٤٧٠-٤٧٩

١٠- Poshtmasari, H.K., Sarvestani, Z.T., Kamkar, B., Shataei, S. and Sadeghi, S., (٢٠١٢). Comparison of interpolation methods for estimating pH and EC in agricultural fields of Golestan province (north of Iran). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. pp.١٥٧-١٦٧.

١١-Webster, R. and Oliver, M., (٢٠٠١). Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley and Sons, Ltd, Chichester.

١٢.http://earthscience.se/gisbox/index.php?title=Introduction_to_ESRI_Geostatistical_Analyst_Using_Interpolation_Tools

١٣- ESRI, Using Geostatistical Analyst, USA, ٢٠٠١, p١٩.

١٤- عيسى على إبراهيم، الأساليب الإحصائية والجغرافية، دار المعرفة الجامعية، ط٢، الاسكندرية، ١٩٩٩.

١٥- عيسى على إبراهيم، المصدر السابق، ص٢٧٢.

١٦- محمد نذير محمد قاسم وغانم محمود الحاصود، استكمال في الإحصاء المكاني للبيانات ذات الالتواء الموجب، المجلة العراقية للعلوم الإحصائية، العدد ٦ لسنة ٢٠٠٤، ص٧٩.

١٧- هرمز ، أمير حنا ، الإحصاء الرياضي ، مديرية دار الكتب والنشر، جامعة الموصل ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، ١٩٩٠.

١٨-Longly,P.A.,Goodchild,M.F., Maguire,D.J., &Rhind,D.W.,(٢٠٠١).،،

Geographic Information Systems and Science.Chichester,,. England: John Wiley & Sons.

١٩- ESRI, Op.cit., pp٢٣,١٠٦

٢٠- Chappell A, Heritage GL, Fuller IC, Large AR, Milan DJ. ٢٠٠٣. Geostatistical analysis of ground-survey elevation data to elucidate spatial and temporal river channel change,Earth Surface Processes and Landforms, ٢٨, pp. ٣٤٩-٣٧٠.

Summary

Groundwater is one of the most important alternative water resources for civil and agricultural uses in arid and semi-arid regions, due to the increasing demand for domestic and agricultural uses. Therefore, groundwater forecasting is useful for managing the size, level, planning and maintenance of agricultural development. In this study, three geostatistics methods were compared. A dataset of the measured water level of ٧٥ selected wells was selected in the fourth month of ٢٠١٣ in Tal Afar for an area of ٤٥٩٦ km^٢, to choose the best method for producing the most accurate numerical map of groundwater (GWT). .

Spatial Interpolation Techniques have been applied in three ways (kriging, IDW, and RBF) for spatial interpolation of groundwater. Several models of semivariograms (Spherical, Gaussian, Invers Multiquadric, Exponential) were performed and after testing for several models, the final model was selected to estimate groundwater levels in the area and the amount of variance (which expresses the accuracy of the water level estimation) Groundwater), and the best method of prediction was determined based on Cross-Validation technique. RMSE is the best model, and RBF is best used to create an Interpolation Map because it has a lower error ratio compared to the results of kriging (IDW). The above methods were implemented using ArcGIS ١٠,٣

Keywords: spatial statistics, groundwater levels, cross-validation (IDW), (RBF), Kriging, ArcGIS ١٠,٣