

مقارنة بين طريقتي (IDW، Kriging) للتنبؤ بالتوزيع المكاني للنترات في المياه الجوفية في منطقة الغوطة الشرقية - دمشق

الدكتور ياسر المحمد*

الدكتور شريف حايك**

دارين برجيه***

(تاريخ الإيداع 9 / 7 / 2013. قُبِلَ للنشر في 18 / 8 / 2013)

□ ملخص □

تعد المياه الجوفية مصدراً رئيساً للمياه المتاحة للاستعمال في المناطق الجافة وشبه الجافة، لذلك لا بد من حماية نوعيتها، حيث تملك بيانات التوزيع المكاني والزمني أهمية كبيرة. وتعد الطرائق الجيوإحصائية واحدة من أكثر التقنيات المتقدمة من أجل التنبؤ بنوعية المياه.

استُخدمت طريقتا **Kriging** و **IDW** من أجل التنبؤ المكاني للنترات NO_3^- في المياه الجوفية. وأخذت البيانات من 21 بئراً موزعة في غوطة دمشق الشرقية. وبعد جدولة البيانات، تم رسم مخطط التغيير. واستخدمت القيمة الأقل لـ **RSS**، وبناءً عليه وجد أن النموذج الكروي هو النموذج الأفضل. وتم تحديد الطريقة الأفضل للتنبؤ بناءً على **cross-validation** وقيمة **RMSE**.

تظهر النتائج بأن طريقة **Kriging** هي الأفضل والأدق مقارنةً مع طريقة **IDW**. وتوجد تبعية مكانية كبيرة لمتغير النترات، تبلغ 2.2%. ثم تم إعداد خرائط توزيع النترات بطريقة **Kriging**، وتحديد مدى صلاحية المياه الجوفية للشرب والري، إضافةً إلى خريطة الاحتمالية للنترات عند العتبة الحدية 50 ملغ/ل.

الكلمات المفتاحية: الجيوإحصاء، التنبؤ، التوزيع المكاني، **cross-validation**، **IDW**، **Kriging**، خريطة الاحتمالية، نوعية المياه الجوفية، النترات.

* أستاذ - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق.

** أستاذ مساعد - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين.

*** طالبة دكتوراه - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعة دمشق.

Compare between two interpolation methods (Kriging, IDW) for predicting spatial distribution of nitrate NO_3^- in groundwater of Estern Ghouta- Damascus

Dr. Yaser Al-Mohamad*
Dr. Sharif Hayek**
Darin Bourjeh***

(Received 9 / 7 / 2013. Accepted 18 / 8 / 2013)

□ ABSTRACT □

Groundwater is one of the major sources of exploitation in arid and semi-arid regions, Thus for protecting groundwater quality, data on spatial and temporal distribution are important. Geostatistics methods are one of the most advanced techniques for interpolation of groundwater quality. In this research, IDW, Kriging methods were used for predicting spatial distribution of nitrate NO_3^- . Data were taken from 21 wells study within eastern Damascus's Ghouta.

After normalization of data, variogram was drawn. The less RSS was used, so Spherical model was the best. By using cross-validation and RMSE, the best method for interpolation was selected; Results showed that Kriging method is superior to IDW method.

there is a big spatial dependence for nitrate variable that amounts to 2.2 %. Finally, maps of distribution of nitrate in groundwater were executed by Kriging method, in addition to executed maps that show goodness of groundwater for drinking and irrigation. Then it was prepared map of Probability Map of nitrate at threshold 50 mg/l.

Key words: Geostatistical, Interpolation, Spatial distribution, Cross-validation, Kriging, IDW, Probability Map, groundwater quality, nitrate.

* Profressor at the Department of Water and Irrigation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University

** Associate Professor Dr. at the Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University

*** Postgraduate student at the Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University

مقدمة :

تعد المياه الجوفية 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 وقلة الهطولات المطرية المترافقة مع ارتفاع نسب البحر والحدوث المتكرر لفترات الجفاف الطويلة وغيره [3].

درست دقة طرائق التنبؤ المكاني لخواص المياه في عدة دراسات سابقة [10]، حيث أثبت الباحث **Safari** أن الطريقة الأنسب في الإحصاء الجيولوجي **Geostatistical** لتقدير واحد من المتغيرات تعتمد على نوع المتغير والعوامل المحلية التي تؤثر فيه، وأكد على أن طريقة محددة للتنبؤ في المنطقة المدروسة لن تكون معممة بالنسبة للمناطق الأخرى. كما استخدم **Nazari et al.** طريقة الإحصاء الجيولوجي لدراسة التغيرات المكانية لنوعية المياه الجوفية في حوض **Balarood**، حيث أظهرت نتائجه بأن النموذج الكروي **spherical model** يعد النموذج الأفضل ليتوافق مع المخطط المتغير **variogram** التجريبي لمتغيرات الناقلية الكهربائية **Electrical Conductivity EC**، الكلورايد Cl^- وشاردة الكبريتات SO_4^{2-} .

استخدم كل من **Istock and Cooper** طريقة **Kriging** لتقييم المعادن الثقيلة في المياه الجوفية، فوجدوا أن الطريقة المذكورة هي الطريقة الأفضل للتنبؤ المكاني للخصائص. كما درس **Dagostino et al.** التغير المكاني والزمني للنترات باستخدام طريقة **Kriging** وطريقة **Co-Kriging** في المياه الجوفية. فأظهرت نتائجهم أن طريقة **Co-Kriging** زادت من دقة تقدير تراكيز النترات.

استخدم **Barca and Passarella** طريقة **Kriging** وطرائق المحاكاة **simulation** لتنفيذ خريطة خطر النترات في العتبات الحديدية **10 thresholds**، 50 ملغ/ل، في حوض **Modena** في إيطاليا. فبينت نتائجهم أن الطريقة الإحصائية **Kriging** هي الطريقة الأمثل لدراسة مستوى تدهور المياه الجوفية **Groundwater degradation**.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من الحاجة الماسة لمصادر مائية آمنة في غوطة دمشق التي تنتمي إلى المناطق الجافة، وتعاني من تدهور كمي ونوعي للمياه الجوفية، إضافة إلى الطلب المتزايد على المياه نتيجة التزايد السكاني المرتفع والتطور الصناعي والزراعي، حيث يهدف هذا البحث إلى اختبار أداء تقنيات التنبؤ المكاني باستخدام طريقتي **IDW (Inverse Distance Weighting)**، و **Kriging** من أجل إنجاز خرائط توزع النترات في المياه الجوفية واختيار الطريقة الأدق للتنبؤ، وتحديد التبعية المكانية للنترات، وصلاحية المياه الجوفية للري والشرب حسب تركيز النترات فيها بناءً على المواصفة القياسية السورية، وخريطة تحديد خطر النترات وفق العتبة الحديدية 50 ملغ/ل.

طرائق البحث ومواده:

تم اتباع المنهجية التالية من أجل إنجاز البحث في هذه الدراسة، من أجل التنبؤ المكاني لتراكيز النترات في المياه الجوفية في الغوطة الشرقية، استخدمت معطيات من 21 بئراً موزعة على كامل مساحة منطقة الدراسة

المأخوذة في عام 2010 خلال شهر آب، وتم إجراء التحاليل المخبرية لإيجاد قيم تراكيز النترات في المياه الجوفية في مخابر كلية العلوم/ جامعة دمشق باستخدام جهاز Spectrophotometer ماركة Hash من نمط DR5000.

من أجل إنجاز خرائط توزع النترات في المياه الجوفية: تم استيراد كافة الشرائح ذات الصلة وعرضها في برنامج GIS. ثم تم استكشاف البيانات من خلال التحقق من الخصائص الإحصائية، وتحديد ملاءمة البيانات لتوليد السطح الرياضي أم لا؛ ومن ثم اختيار النموذج المناسب من خلال حساب قيمة RSS (residual sums of squares) واختيار القيمة الأصغر له، وتنفيذ التحليل وبالتالي التنبؤ، ثم أجريت المقارنة بين النماذج المختلفة؛ كما تم تحديد التبعية المكانية للنترات من خلال حساب النسبة nugget/sill، إذ إنه إذا كانت نسبة nugget-sill للمتغير (النترات) أقل من 0.25 فإن هذا يدل على وجود تبعية مكانية قوية، وإذا كانت النسبة بين 0.25 و 0.50، فإن التبعية المكانية تكون متوسطة، أما إذا كانت النسبة أكبر من 0.75 فإن التبعية المكانية تكون ضعيفة [8، 11]. بعد ذلك تم تحديد صلاحية المياه الجوفية للري والشرب حسب تركيز النترات فيها، ومن ثم تم توليد خريطة احتمالية تجاوز العتبات الحدية Probability Maps وبالتالي إنجاز خريطة تحديد خطر النترات وفق العتبة 50 ملغ/ل.

طرائق التنبؤ المكاني Spatial prediction methods :

تم اتباع مخطط للدراسة الإحصائية وتحديد النموذج الأفضل لتقدير المتغير وفق الشكل (1).

طريقة Kriging

* تعد هذه الطريقة مناسبة وسريعة لتوليد سطح رياضي مضبوط أو معدل smoothed، وتعتمد اعتماداً أساسياً افتراض وجود ارتباط داخلي بين عناصر العينة، وتقوم على نمذجة وتحليل أخطاء القياس، وتتميز بالمرونة وإمكانية معاينة الارتباط الداخلي بين عناصر العينة المدروسة بشكل رسومي، حيث تعتمد اعتماداً أساسياً على البيانات المرصودة والمتكررة من محطات ثابتة ويجب أن تكون البيانات خاضعة للتوزيع الطبيعي [12]. باستخدام هذه الطريقة [10] يمكن إنتاج الأنواع التالية من الخرائط:

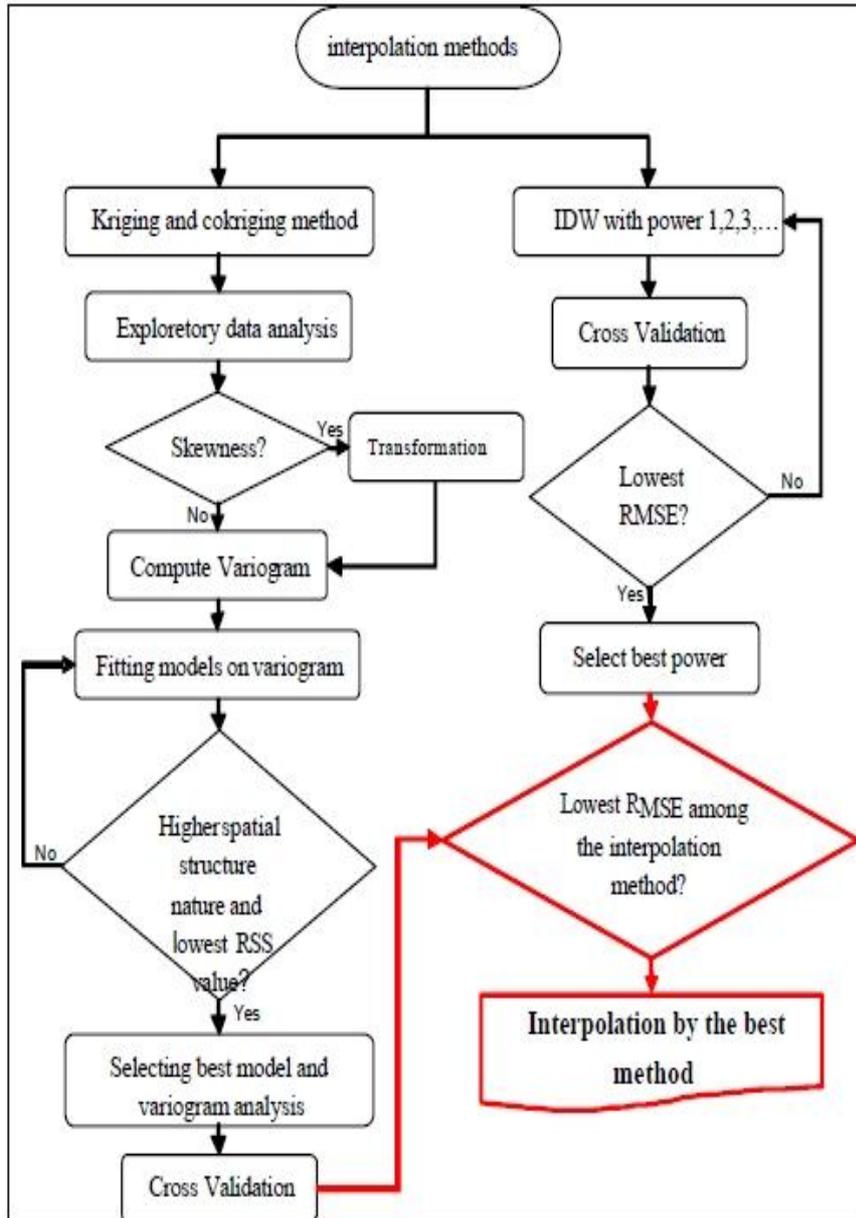
— خرائط التنبؤ Predictions Maps

— خرائط احتمالية تجاوز العتبات الحدية Probability Maps

* يجب أن تكون بيانات العينة شريحة نقطية أو شريحة Raster حصراً، والبيانات مستمرة وخاضعة للتوزيع الطبيعي، مع فرضية الارتباط الخطي ضمن البيانات أصلاً.

* يجب معرفة الهدف من توليد السطح الرياضي (معرفة قيمة الظاهرة المدروسة في مناطق غير مقيسة، إعطاء حس مكاني للظاهرة، خريطة المناطق الخطرة). وتجدر الإشارة إلى أن القيم المتوقعة لا تكون محصورة ضمن مجال الحدين الأعلى والأدنى في العينة، وتصلح للتنبؤ المستقبلي أو التنبؤ خارج مجال حدود العينة في حال توافر سلسلة زمنية كافية للظاهرة المطلوبة.

* إن شكل البنية المكانية يعد شرطاً لازماً لتطبيق الجيوإحصاء، حيث تكون نقاط الاعتيان القريب بعضها من الآخر، متشابهة أكثر بالمقارنة مع تلك التي تكون متباعدة (الارتباط التلقائي المكاني spatial autocorrelation).



(الشكل -1). مخطط للدراسة الإحصائية وتحديد النموذج الأفضل لتقدير المتغير [10].

* يقاس المخطط المتغير الفاريوغرام التجريبي معدل درجة الاختلاف بين القيم غير المقيسة **unsampled values** وقيم البيانات القريبة، ولذلك يمكن تصور العلاقة المتبادلة في المسافات المختلفة. تبلغ قيمة الفاريوغرام التجريبية من أجل المسافة الفاصلة **h separation distance** (المشار إليها كتأخر **lag**) نصف مربع معدل الاختلاف **half the average squared difference** بين القيمة في $Z(X_i)$ والقيمة في $Z(X_i+h)$:

حيث $N(h)$: هو عدد أزواج البيانات ضمن الصف المعطى للمسافة والاتجاه. إذا كانت القيم عند $Z(X_i)$ وعند $Z(X_i+h)$ مرتبطة تلقائياً فنتيجة المعادلة السابقة سوف تكون صغيرة. وبناءً على تحليل الفاريوغرام التجريبي، يتم تجهيز النموذج المناسب (مثال: الكروي **spherical**، الأسّي **exponential**....)، والبارامترات (مثال: **sill, nugget, range**)، حيث يتم قياس قيمة **RSS** لكل نموذج ويتم اعتماد النموذج ذو قيمة **RSS** الأصغر [12].

طريقة (IDW) Inverse Distance Weighted

* يجب أن تكون بيانات العينة شريحة نقطية أو شريحة **Raster** حصراً، والبيانات مستمرة وخاضعة للتوزيع الطبيعي، ولا وجود لفرضية الارتباط الخطي بين البيانات.
* يجب معرفة الهدف من توليد السطح الرياضي (معرفة قيمة الظاهرة المدروسة في مناطق غير مقاسة، إعطاء حس مكاني للظاهرة).

* تكون كافة القيم المتوقعة محصورة ضمن مجال الحدين الأعلى والأدنى في العينة ولا يصلح **IDW** للتنبؤ المستقبلي أو التنبؤ خارج مجال حدود العينة.
* في التنبؤ بطريقة **IDW**، تنسب القيمة إلى نقطة تُحسب. تعتمد كمية هذه القيمة على مسافة النقطة بالنسبة لنقطة غير معروفة. تكون هذه القيمة بناءً على الأس العشري **power of ten**. مع زيادة الأس العشري يتناقص تأثير تلك النقاط بشكل إضافي، حيث يوزع الأس ذو القيمة الأقل القيم بانتظام أكبر بين النقاط المتجاورة. يجب أن نتذكر بأنه في هذه الطريقة تُحسب المسافة بين النقاط، لذلك يجب أن تكون النقاط في المسافة المتساوية ذات قيم متساوية. في هذه الطريقة يحسب عامل القيمة باستخدام الصيغة التالية:

حيث أن: λ_i : قيمة النقطة، D_i : المسافة بين النقطة i والنقطة غير المعروفة، α : الأس العشري للقيمة [10].

المقارنة بين الطرائق المختلفة:

تستخدم قيمة **RMSE (Root-Mean-Square-Error)** لتقييم فاعلية النموذج في طريقة **cross-validation [10, 11]**. تشير القيمة الأصغر لـ **RMSE** إلى التنبؤات الأكثر دقة. يشتق **RMSE** طبقاً للمعادلة التالية:

$Z(X_i)$: القيمة المقاسة في النقطة X_i ، $Z^*(X_i)$: القيمة المتنبأ بها في النقطة X_i ، N : عدد نقاط القياس.

منطقة الدراسة:

تحدد منطقة الدراسة جغرافياً بالموقع بين **3713673, 3702168** شمالاً، **267698, 257032** شرقاً وفق نظام الإسقاط **UTM**، حيث تحتل جزءاً من غوطة دمشق، في محافظة دمشق جنوبي سورية، وتبلغ مساحتها

105.07 كم². وتراوح ارتفاعات سطح الأرض فيها بين (604 – 649.6) م الشكل (2). تتميز هذه المنطقة بمناخ جاف، بمعدل هطل مطري سنوي 155 ملم/سنة، ومعدل حرارة 9c شتاءً و45c صيفاً [9، 3].

ونوضح فيما يلي لمحة عامة عن الأوضاع الطبيعية في المنطقة:

الوضع الجيولوجي: تنتمي التوضعات الليتولوجية إلى الرباعي الأعلى Upper Quaternary، وتتألف عموماً من كونغلوميرا، حجر رملي، اللوم الرملي، اللوم، الحجر الكلسي والمارل. تتمثل هذه التوضعات من خلال التوضعات البحيرية Lacustrine deposits، والتوضعات السيلية Proluvium deposits [9] كما هو موضح في الشكل (3-a).

* تم رسم مقطع ليتولوجي بين البئرين 120K، 242K ذو الاتجاه شمال شرق – جنوب غرب منطقة الدراسة كما هو موضح في الشكل (3-b).

الوضع الهيدروجيولوجي: يمكن تمييز طبقتين حاملتين للمياه الجوفية هما:

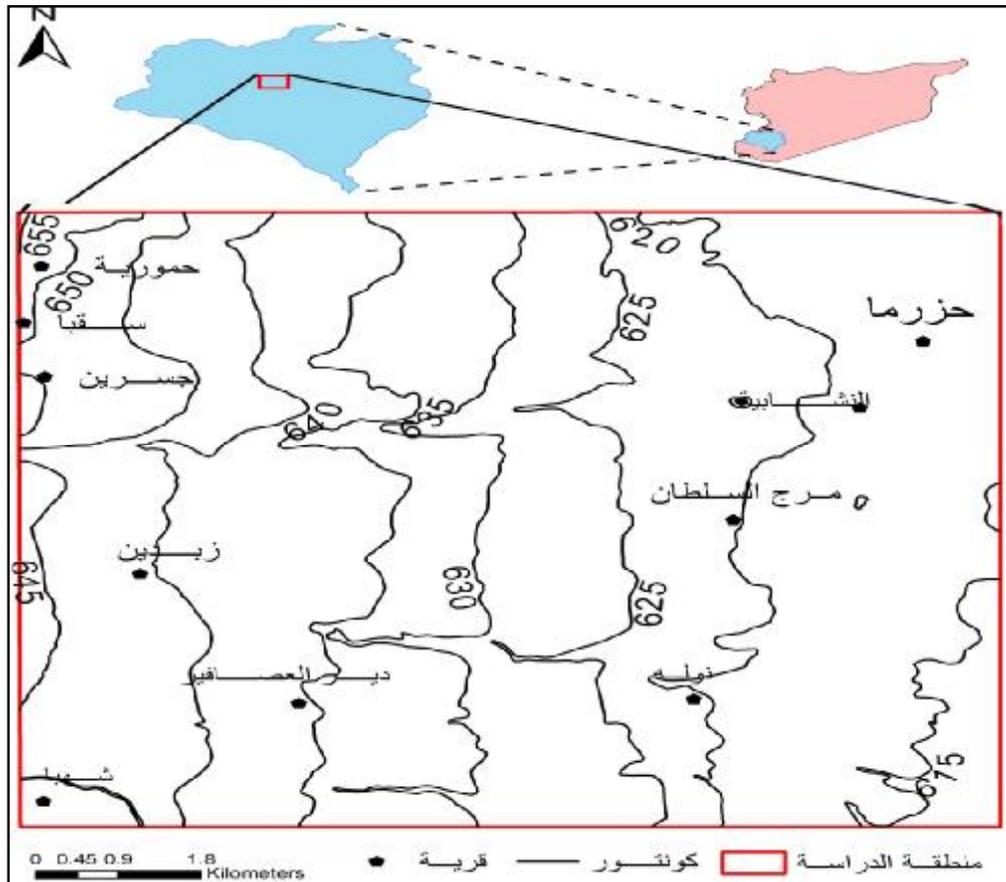
- الطبقة الحاملة للمياه في اللحيات السيلية الرباعية الحديثة (ApQ3-4)، تتألف من توضعات رملية

وكونغلوميرا، يتراوح عمق المياه الجوفية فيها ما بين 1 م إلى 65 م.

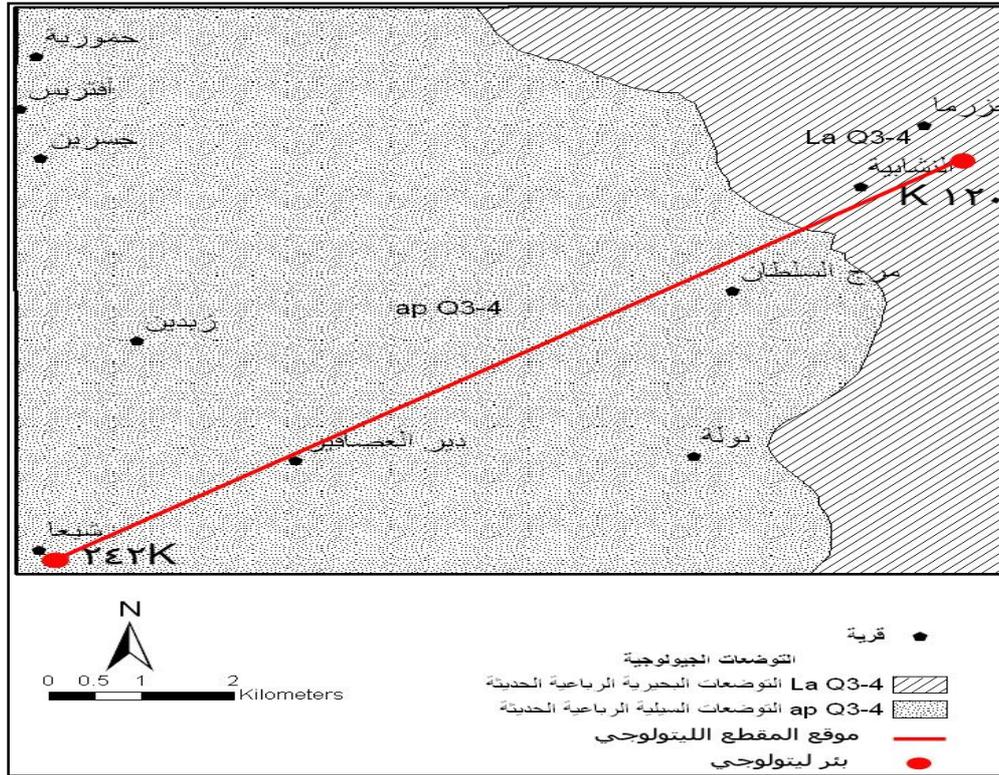
- الطبقة الحاملة للمياه في التوضعات البحيرية الرباعية الحديثة (LaQ3-4)، يسيطر عليها توضعات من

الغضار مع تداخلات من الرمل وتتميز بصفات هيدروليكية منخفضة، ويزيد عمق المياه الجوفية فيها عن 14 م

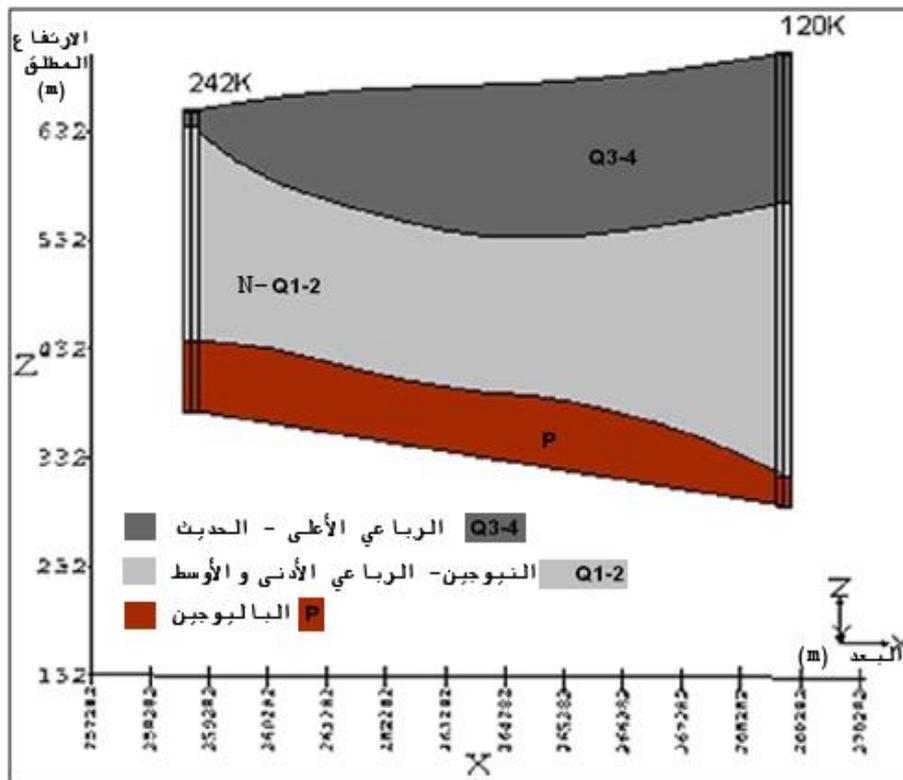
الشكل (4) [9، 2، 3].



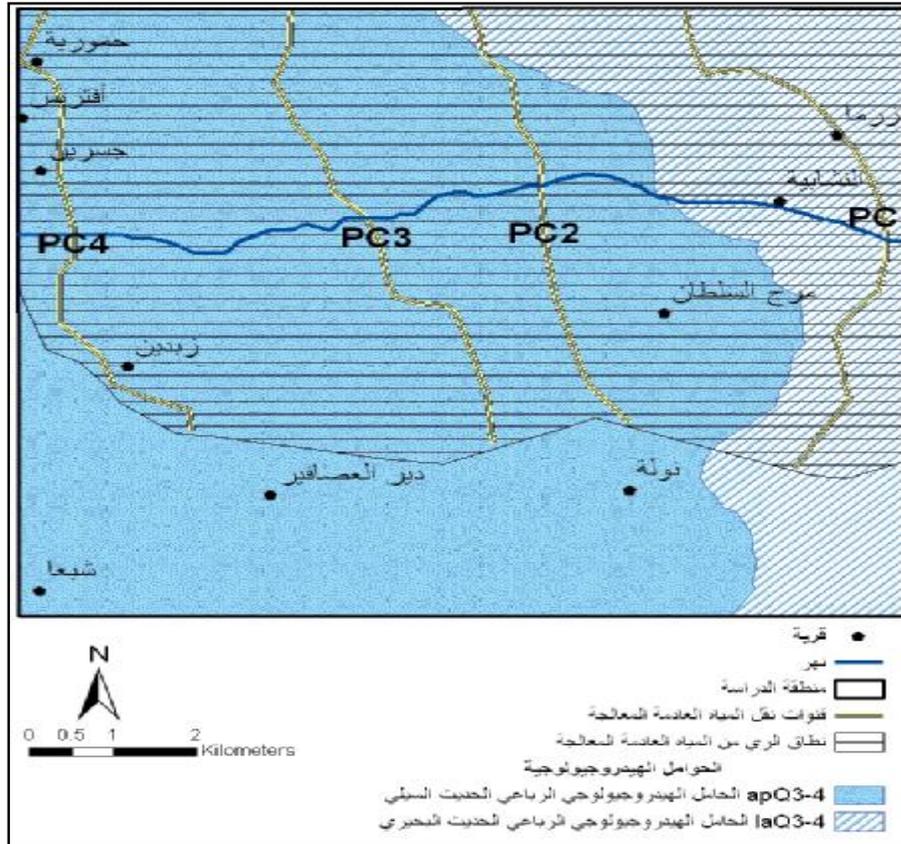
(الشكل -2). موقع منطقة الدراسة والخريطة الطبوغرافية.



(الشكل 3-أ). خريطة ليتولوجية لمنطقة الدراسة.



(الشكل 3-ب). مقطع ليتولوجي ضمن منطقة الدراسة.



(الشكل -4). خريطة هيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة.

النتائج والمناقشة:

يظهر الملخص الإحصائي لتراكيز النترات في المياه الجوفية في الجدول (1)، ويلاحظ أن البيانات لا تتمتع بالتوزيع الطبيعي، لذلك تمت جدولة البيانات **normalizing** التي ملكت انحراف **skewness** كبيراً باستخدام الطريقة اللوغارتمية.

(الجدول -1). ملخص التحليل الإحصائي للبيانات المدروسة.

log	none	Normalizing	الجدولة
21	21	Number of sample	عدد النقاط المقاسة
3.48	32.4	Min	القيمة الدنيا
4.49	89.1	Max	القيمة العظمى
4.06	59.52	Mean	المتوسط
4.007	54.98	Median	الوسيط
0.2558	15.123	Std.Dev	الانحراف المعياري
-0.138	0.46	Skewness	الالتواء
2.89	2.59	Kurtosis	التقلطح

بعد جدولة البيانات، وحساب الفاريوغرامات من أجل طريقة **Kriging** وبناءً على القيمة الأصغر للـ **RSS** تم اختيار النموذج الأفضل من أجل المطابقة الأفضل مع الفاريوغرام التجريبي، وجد أن النموذج الكروي **Spherical** هو الأفضل لتوليد السطح، الجدول (2).

(الجدول 2-). قيم **RSS** في النماذج المختلفة.

النموذج	الكروي	الأسّي	الغوصي
Models	Spherical	Exponential	Gaussian
RSS	0.269	1.482	3.168

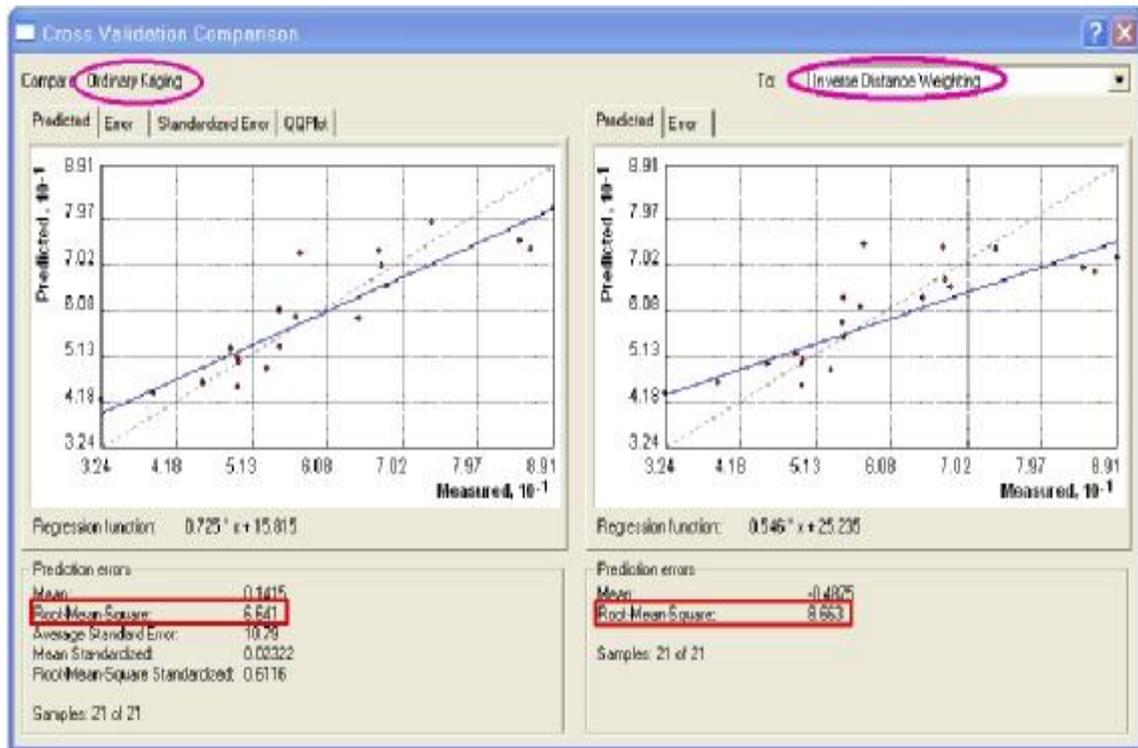
يلاحظ من الجدول (2) بأن النموذج الكروي **spherical** يملك قيمة **RSS** الأصغر (0.269) مقارنة مع النموذج الأسّي والغوصي، لذلك تم اختيار النموذج الكروي ليتم بناءً عليه اختيار الطريقة الأفضل للتنبؤ بتركيز النترات. ويوضح الجدول (3) بارامترات النموذج الكروي.

(الجدول 3-). بارامترات النموذج الأفضل (النموذج الكروي **Spherical**).

النموذج	Spherical
Nugget (C₀)	0.002
Partial Sill (C)	0.08742
Sill (C₀+C)	0.08942
Nugget/Sill C₀/(C₀+C)	0.022
Range effect	10297.2
R²	0.995

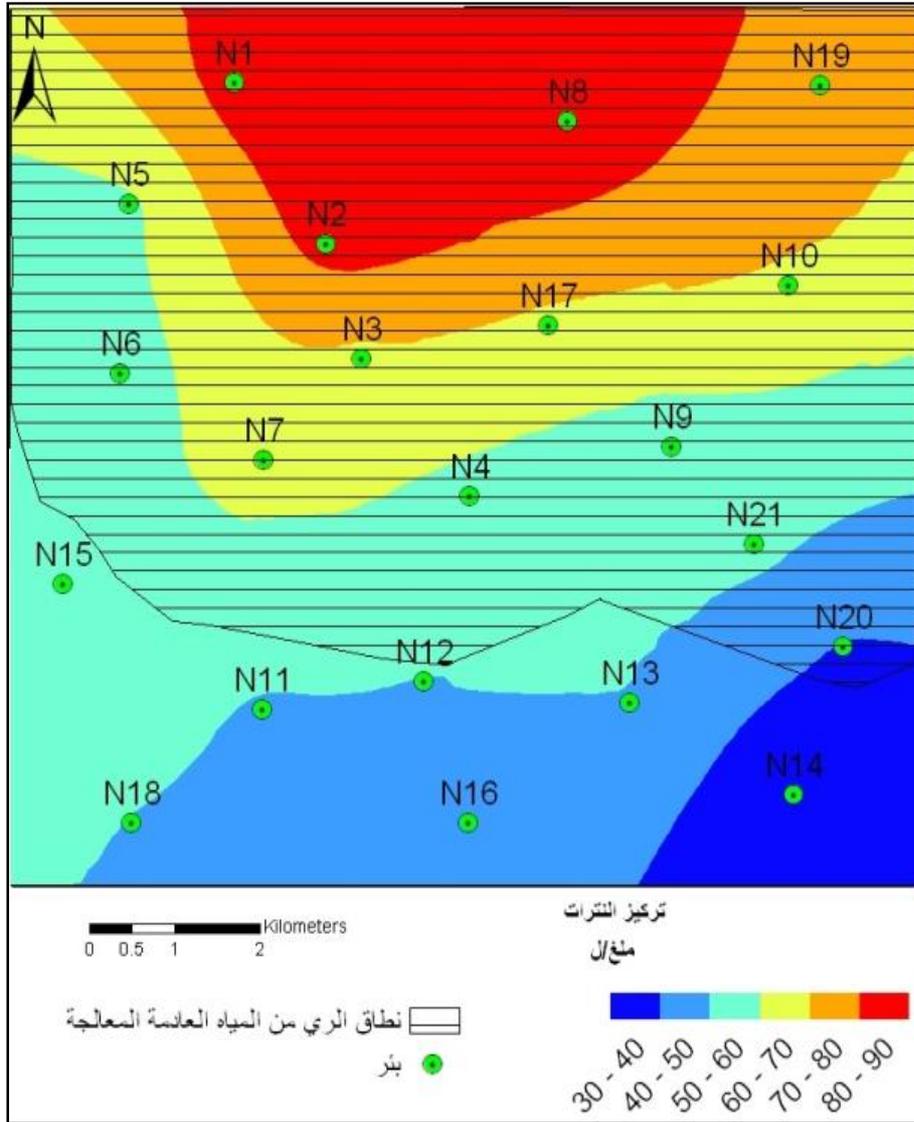
يُظهر متغير النترات تبعية مكانية **spatial dependence** عالية جداً (0.022)، حيث يتفق هذا مع نتائج العديد من البحوث السابقة [8، 11، 12].

استخدمت **RMSE** من أجل تحديد الطريقة الأكثر مناسبة للتنبؤ، والمتضمنة طريقتي **IDW، Kriging** حيث إنه كلما صغرت قيمة **RMSE** تزداد دقة التنبؤ. تظهر النتائج بأن الطرائق الجيوإحصائية (**Kriging**) تملك دقة أكبر (**RMSE = 6.641**) مقارنة مع طريقة **IDW (RMSE = 8.663)**، وبناءً عليه وجدنا أن طريقة **Kriging** هي الطريقة الأفضل والأدق للتنبؤ الشكل (5).



(الشكل 5-). مقارنة قيمة RMSE بين Kriging و IDW.

وبناءً على النتائج السابقة، أنجزت خرائط توزع النترات في المياه الجوفية باستخدام طريقة **Kriging**، والتي تبين أن طريقة **Kriging** هي الأفضل من أجل التنبؤ كما يبين الشكل (6).

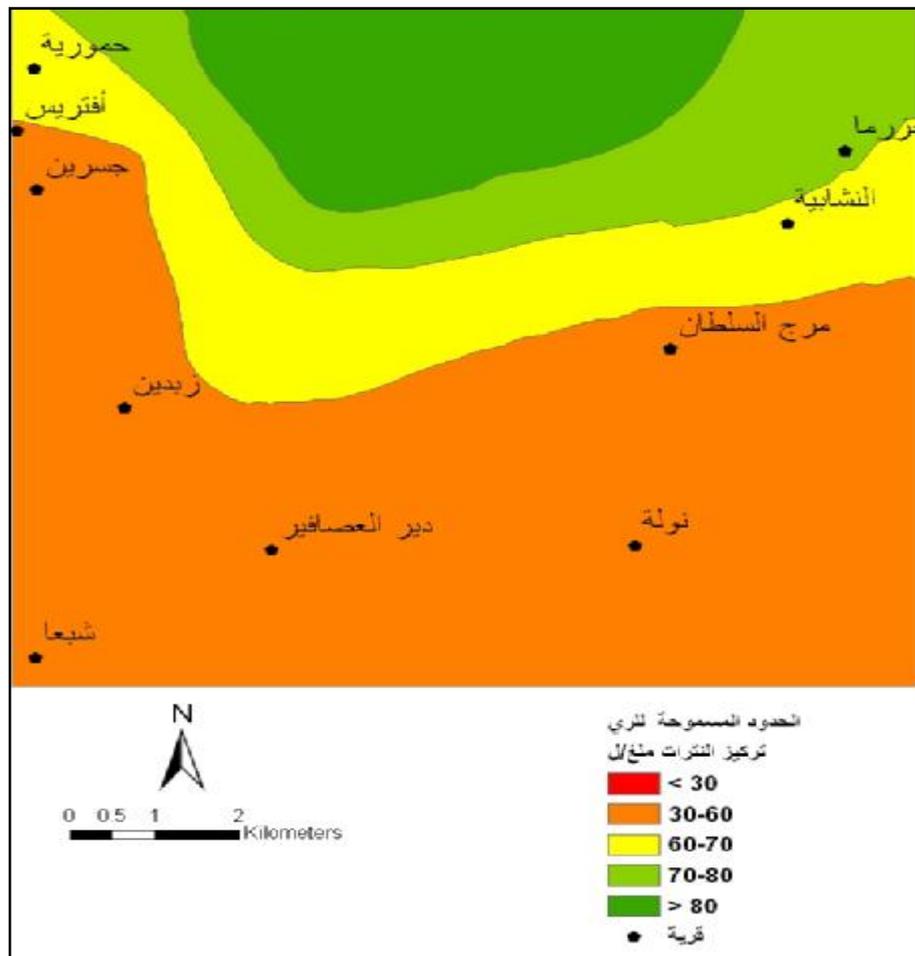


(الشكل 6). توزيع تراكيز النترات في المنطقة المدروسة.

يلاحظ من الشكل (6) تناقص تركيز النترات من الشمال باتجاه جنوب منطقة الدراسة، حيث بلغت أقصاها في البئر (N8، 89.1) الواقع ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة، وأدناها في البئر (N14، 32.4) الواقع خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة، وهذا يتفق مع دراسات سابقة في المنطقة نفسها [3، 2، 1، 4]، حيث بيّنت تلك الدراسات أن سبب زيادة تراكيز النترات ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة يعود إلى الري بالمياه العادمة المعالجة بالدرجة الأولى. تمّ تحديد استخدام المياه الجوفية للري وفق الجدول (4)، بناءً على المواصفة القياسية السورية لمياه الري للعام 2008 [6] وفق الشكل (7).

(الجدول 4-). استخدامات مياه الري.

تركيز النترات ملغ/ل	استخدامات المياه في الري
$30 \geq$	ري الأراضي القريبة من الحوامل الهيدروجيولوجية التي تستخدم مياهها الجوفية في الشرب خوفاً من تلوثها
60	الري للمنزهات والملاعب
70 - 60	الري للمساحات الخضراء والحدائق
80 - 70	ري الأشجار الحراجية
$80 <$	غير مسموح الري منها



(الشكل 7-). استخدامات المياه الجوفية للري وفق محتواها من النترات.

يلاحظ من الشكل بأنه لا يوجد منطقة مسموح فيها الري من المياه الجوفية، وذلك بسبب كون تركيز النترات فيها $30 <$ ملغ/ل، والحوامل الهيدروجيولوجي هو حامل حر يعود الى عمر الرباعي الحديث مؤلف من توضعات

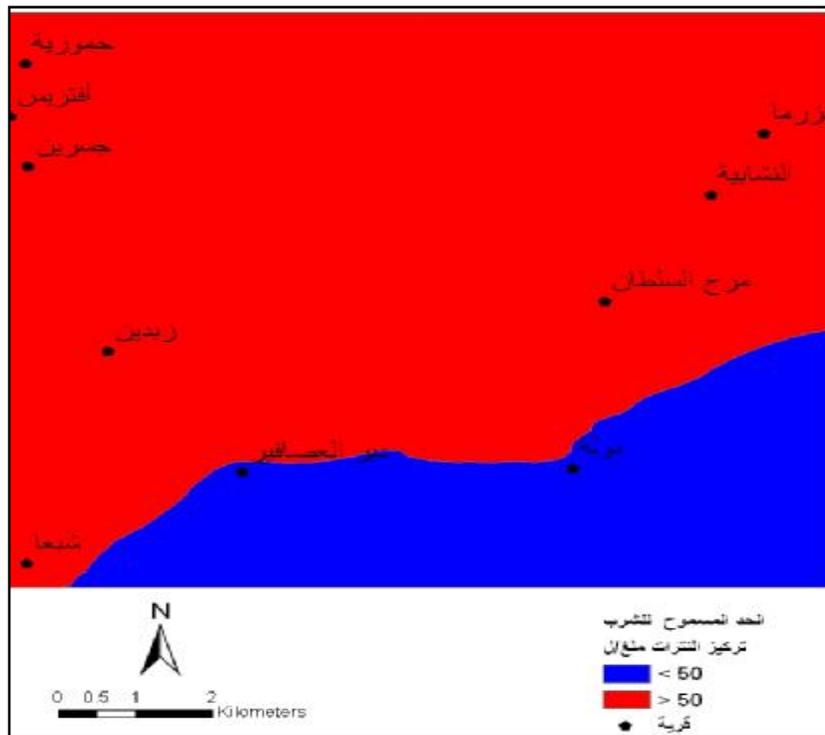
رملية وكونغولوميرا، وبالتالي سيكون تلوث الحامل الهيدروجيولوجي سريع جداً [2، 9]. كما يُلاحظ وجود منطقة غير مسموح استخدامها مياهها الجوفية في الري بسبب ارتفاع تركيز النترات فيها أكثر من 80 ملغ/ل والتي تشمل مساحة

بـ 13.81 كم²، وتمثل 13.12 % من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة. نلاحظ أن المياه الموجودة في منطقة الدراسة ذات تركيز < 30 ملغ/ل وحسب المواصفة السورية لمياه الري للعام 2008، من غير المفضل ري المحاصيل البستانية والحمضيات وغيرها منها لما لذلك من آثار سلبية على الإنتاج والتنوعية.

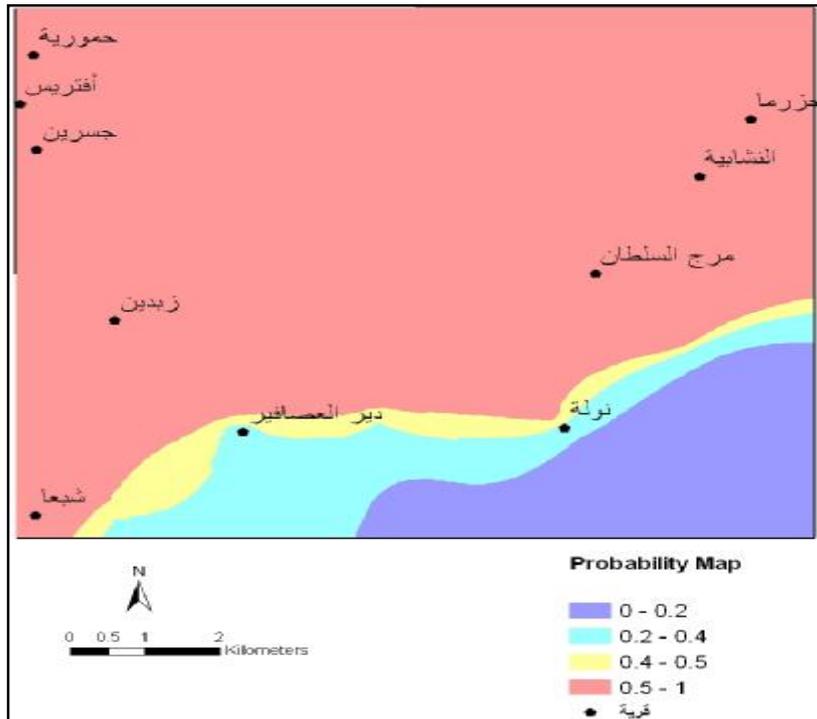
بناءً على المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب رقم 45 للعام 2007، (تعد المياه الجوفية صالحة للشرب في حال كان تركيز النترات فيها أقل أو يساوي 50 ملغ/ل) [5]، تم تحديد استخدام المياه الجوفية للشرب وفق الشكل (8)، حيث يمثل اللون الأحمر المناطق الحاوية على المياه الملوثة بالنترات وتشمل مساحة تساوي 81.05 كم² وتمثل 77.03 % من مساحة منطقة الدراسة وتعد المياه الجوفية هنا غير مسموح استخدامها للشرب، أما المنطقة الحاوية على المياه غير الملوثة بالنترات فهي تمثل اللون الأزرق وتشمل مساحة 24.17 كم² ويمثل 22.53 %، ومن المسموح الشرب منها.

تم استخدام طريقة Kriging ومنها ordinary Kriging ثم باستخدام Probability map لتنفيذ خريطة احتمالية تجاوز العتبة الحدية Probability Maps لتركيز النترات في العتبة 50 ملغ/ل الشكل (9).

تتراوح احتمالية تجاوز العتبة الحدية لتركيز النترات المسموح فيه في مياه الشرب في العتبة 50 ملغ/ل من 0 حتى 1، يلاحظ من الشكل (9) بأن معظم المنطقة تخطت العتبة الحدية، ويوجد منطقة واسعة ذات احتمالية كبيرة لتجاوز العتبة الحدية، لذلك يجب الانتباه وحماية المياه الجوفية من التلوث بالنترات، كي لا تصبح المنطقة كلها فوق العتبة الحدية وبالتالي تخرج المياه من الاستخدام.



(الشكل 8). استخدامات المياه الجوفية للشرب وفق محتواها من النترات.



(الشكل 9). خريطة احتمالية تجاوز العتبة الحدية Probability Maps لتركيز النترات في العتبة 50 ملغ/ل.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. تظهر النتائج بأن طريقة **Kriging** هي الأفضل والأدق مقارنة مع طريقة **IDW** للتنبؤ بالتوزيع المكاني للنترات في المياه الجوفية في منطقة الغوطة الشرقية - دمشق.
2. يعد النموذج الكروي **spherical** النموذج الأفضل لتوليد السطوح ضمن طريقة **Kriging** للتنبؤ بالتوزيع المكاني للنترات في المياه الجوفية في منطقة الغوطة الشرقية - دمشق.
3. توجد تبعية مكانية كبيرة لمتغير النترات، تبلغ 2.2%.
4. يلاحظ وجود تلوث للمياه الجوفية بالنترات بشكل متفاوت في منطقة الدراسة، حيث تعد المياه الجوفية غير صالحة للشرب وكذلك للري في جزء كبير من المنطقة، وذلك لأن منسوب المياه الجوفية في الحامل الهيدروجيولوجي المكون من توضعات رملية وكونغوميرا قريب من سطح الأرض وبالتالي تكون قابليته كبيرة للتلوث بالمياه العادمة المستعملة للري في تلك المنطقة إضافة لاستعمالات زراعية أخرى، والتي أدت إلى ارتفاع تركيز النترات إلى أكثر من 80 ملغ/ل في بعض أجزاء من منطقة الدراسة.
5. يلاحظ بأن معظم المنطقة تخطت العتبة الحدية لتركيز النترات المسموح به، ويتوقع أن يتوسع ذلك ليشمل منطقة أكبر، لذلك يجب اتخاذ الاجراءات الضرورية لحماية المياه الجوفية من التلوث بالنترات، بهدف استعمالها بكفاءة أكبر ونوعية أفضل.

التوصيات:

1. إجراء مراقبات دائمة ودورية لنوعية المياه الجوفية والسطحية والمياه العادمة المعالجة.

2. تحسين نوعية المياه العادمة المعالجة للحفاظ على المياه الجوفية من التلوث، وتحقيق إمكانية التوسع في مساحة الأراضي المرورية بالمياه العادمة المعالجة وذات المواصفات المقبولة كمورد غير تقليدي داعم للموارد المائية المحدودة في تلك المنطقة. وهذا يتطلب إجراء التقييم المستمر لمحطة عدرا لمعالجة مياه الصرف الصحي، وإجراء الصيانة المستمرة وتطوير العمل فيها، بما يحقق نتائج أفضل فيما يخص نوعية المياه العادمة المعالجة.
3. رفع كفاءة مياه الري عبر اتباع الطرائق التي تعتمد على المقننات المائية كالري بالتنقيط أو الرذاذ...
4. اعتماد مبدأ الانتقاء عند الزراعة بما يتناسب مع نوعية المياه المستخدمة في الري (جوفية، سطحية) في منطقة الدراسة.

المراجع:

1. اسماعيل، نذير؛ محمد، ياسر؛ فلوح، جميل، 2004 - التغيرات النوعية للمياه الجوفية نتيجة استخدام المياه العادمة المعالجة في ري منطقة الغوطة الشرقية. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، سورية، المجلد (20)، العدد الثاني، 2004.
2. أكساد، 2008- تقرير مشروع النموذج الرياضي لحوض غوطة دمشق. المجلد الأول، التقرير الهيدرولوجي، دمشق، 2008.
3. برجيه، دارين، 2010- دراسة العلاقة المتبادلة بين الأوضاع الهيدرولوجية المتغيرة والتصحر في غوطة دمشق بالاستعانة بتقانات الاستشعار عن بعد. أطروحة ماجستير في الهيدرولوجيا، جامعة دمشق، كلية العلوم، قسم الجيولوجيا.
4. محمد، ياسر، 2001- أثر مياه الري على نوعية المياه الجوفية في غوطة دمشق. دمشق، سورية.
5. المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب رقم 45 للعام 2007.
6. المواصفة القياسية السورية لمياه الصرف الصحي المعالجة لأغراض الري رقم 2752/ لعام 2008.
7. AL-MASHAGLOAH. A; AL-ADANAT.R; SALAMEH.E. 2012- *The use of kriging techniques with in GIS environment to investigate groundwater quality in the Amman-Zargra basin- Jordan*. Research journal of environmental and earth sciences. Vol. 4, No.2 pp. 177-185.
8. BERKTAY. A; NAS. B. 2005- *Groundwater contamination by nitrates in the city of Konya, Turkey. A GIS perspective*. Journal of environmental management. No. 79 pp. 30-37.
9. LENGIPROVODKHOZ, 1986 - *Water resources use in Barada and Auvage basin for irrigation of crops*.
10. 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.
11. TUTMEZ. B; HATIPOGLU. Z. 2010 - *Comparing two data driven interpolation methods for modeling nitrate distribution in aquifer*. Ecological informatics. No. 5 pp. 311-315.

- 12. UYAN. M; CAY. T. 2010 - *Geostatistical methods for mapping groundwater nitrate concentrations*.3rd international conference on cartography and GIS. Nessebar, Bulgaria.**