

مساهمة في تحديد علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية ومحتواها من النترات في جزء من غوطة دمشق

دارين برجيه⁽¹⁾ و ياسر المحمد⁽²⁾ و شريف حايك⁽³⁾

تاريخ الإيداع 2014/05/12

قبل للنشر في 2014/09/08

الملخص

تعدُّ النترات من أكثر الملوثات للموارد المائية السطحية والجوفية، إذ يقل محتوى النترات كلما زاد عمق توضع المياه. تعاني غوطة دمشق من تعدد مصادر التلوث بالنترات وارتفاع تركيزه في بعض المستويات الحاملة للماء ولاسيما القريبة من السطح، إذ تتغير هذه التراكيز من منطقة إلى أخرى. تناول البحث توضيحاً للوضع الهيدروجيولوجي وتوزع النترات في المياه الجوفية في منطقة الدراسة (جزء من غوطة دمشق)، حدد علاقة الارتباط بين كل من تغيرات عمق مستوى المياه الجوفية وتركيز النترات فيها.

وتبيّن بالنتيجة أن علاقة الارتباط بينهما تكون علاقة ارتباط قوية وسلبية تصل (-0.93، - 0.82) ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة. في حين تكون علاقة الارتباط هذه ضعيفة وغير موثوق بها خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة، تصل أعلى قيمة لها إلى 0.56 فقط.

الكلمات المفتاحية: عمق المياه الجوفية، نوعية المياه الجوفية، النترات، علاقة الارتباط، غوطة دمشق.

(1) طالبة دكتوراه، (2) أستاذ، قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة دمشق، سورية.

(3) أستاذ مساعد، قسم الهندسة المائية والري، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Contribution in Determination the Relationship Between Depth of Groundwater and Its Content of Nitrate in a Part of Damascus's Ghouta

D. Bourjeh⁽¹⁾; Y. Al-Mohamad⁽²⁾
and Sh. Hayek⁽³⁾

Received 12/05/2014

Accepted 08/09/2014

Abstract

Nitrate is the most pollutants of surface and ground water resources, where nitrate content decrease as water depth increase. Damascus's Ghouta suffer from various resources of nitrate pollution and increase in nitrate concentration in some aquifers especially that near the surface where nitrate concentrations vary from region to another.

This research illustrate hydrogeological state and nitrate distribution in groundwater of the study area (part of Damascus's Ghouta), and determination the relationship between depth variation of groundwater level and nitrate concentration in it.

Results shows that relationship between depth variation of groundwater level and nitrate concentration in it was significant and strong negative reach reaches (-0.82, -0.93) inside irrigation zone with treated wastewater, while the relationship was insignificant and weak outside irrigation zone with treated wastewater and the highest value was 0.56.

Key words: Depth of groundwater, Quality of groundwater, Nitrate, Depth-nitrate Relationship, Damascus's Ghouta.

⁽¹⁾Ph.D. Student. ⁽²⁾ Prof. Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University, Syria.

⁽³⁾Associate Prof., Department of Water and Irrigation Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria.

المقدمة

نظراً إلى طبيعة حركة المياه الجوفية والعوامل الهيدروجيولوجية التي تتحكم بها فإن حركة الملوثات باتجاه المستويات الحاملة للماء تختلف بطبيعتها وزمن وصولها عن حركة الملوثات عبر المياه السطحية، ومن ثم فإن وصول هذه الملوثات إلى المياه الجوفية يحتاج إلى زمن أطول يتناسب وعمق المياه الجوفية وطبيعة النطاق غير المشبع وبنيته، ومع كون هذه الحركة باتجاه المياه الجوفية تواجه عوائق طبيعية مختلفة تمنع وصولها أو تخفف منها بنسب مختلفة، إلا أن وجود هذه الملوثات في المياه الجوفية يكتسب تعقيدات أكبر مما هو بالنسبة إلى المياه السطحية، إذ يتطلب تحديد نسب وتراكيز وجودها جهوداً أكبر وتكاليف مادية وفنية أكثر فضلاً عن الصعوبات الموضوعية التي تمنع من معالجتها في تلك الأوساط [7، 1].

يعدُّ التلوث بالنترات من الحالات الأكثر انتشاراً في الأوساط المائية نتيجة لتعدد المصادر التي تنتج هذه الملوثات، إذ تتعدد مصادر التلوث بالنترات وبعضها ينتشر انتشاراً واسعاً في المناطق الطبيعية، ومن بين المصادر التي تنتج هذا الملوث المياه العادمة المنزلية، واستعمال السماد العضوي في الأراضي الزراعية....، وتكمن أهمية دورها إلى كونها تشكل خطراً على الصحة العامة عند تجاوز تركيزها لنسب معينة إذ تصبح غير صالحة للشرب عند تجاوز تركيزها 50 ملغ/ل [9].

وفقاً لبعض الدراسات، تبين وجود علاقة ارتباط سلبية متغيرة بين تراكيز النترات وعمق مستوى المياه الجوفية إذ تراوح هذه العلاقة من القوية جداً إلى الضعيفة تبعاً للأوضاع والشروط السائدة في المنطقة المدروسة [16، 17].

أكدت مجموعة من الدراسات السابقة أن المياه الجوفية في غوطة دمشق تعاني من تلوث في النترات [2، 3، 4، 7، 15]، ولكن لم تتطرق هذه الدراسات إلى الربط بين تغيرات تراكيز النترات في المياه الجوفية وتغيرات عمق مستوى المياه الجوفية من جهة، ولا إلى علاقتها مع تغير تركيب وبنية النطاق غير المشبع من جهة أخرى.

أهمية البحث وأهدافه

هدف هذا البحث إلى دراسة التوزيع المكاني لأعماق مستوى المياه الجوفية، والتوزيع المكاني لتراكيز النترات الموجودة في المياه الجوفية وتغيراتها خلال العام، وتحديد علاقة الارتباط ونوعها بين تغيرات أعماق مستوى المياه الجوفية من جهة وتغيرات تراكيز النترات فيها من جهة أخرى في جزء من غوطة دمشق.

مواد البحث وطرائقه

لتحقيق أهداف البحث استخدمت البرمجيات والتجهيزات والطرائق الآتية:

1. البرمجيات المستخدمة:

- أ. برمجية Arc GIS 9.2: لعرض البيانات ومعالجتها وتفسيرها من خلال تطبيق منهجية العمل على Geostatistical analysis.
- ب. برنامج RockWare 14: من أجل رسم الأعمدة الليتولوجية.
- ج. برنامج GMS: من أجل رسم المقاطع الجيولوجية والهيدروجيولوجية.
- د. برنامج Statistica 8: من أجل تحديد التغيرات وتقدير علاقة الارتباط بين تراكيز النترات وعمق مستوى المياه الجوفية وتحديد نوع هذه العلاقة.

2. الأجهزة المستخدمة:

- أ. جهاز Spectrophotometer ماركة HACH من نمط DR5000: من أجل تحليل عينات المياه الجوفية وتحديد تركيز النترات فيها.
- ب. جهاز قياس عمق المياه الجوفية (جهاز OTT): استخدم لقياس عمق مستوى المياه الجوفية في آبار ضمن منطقة الدراسة تعود ملكيتها لأهالي المنطقة.

3. طرائق البحث:

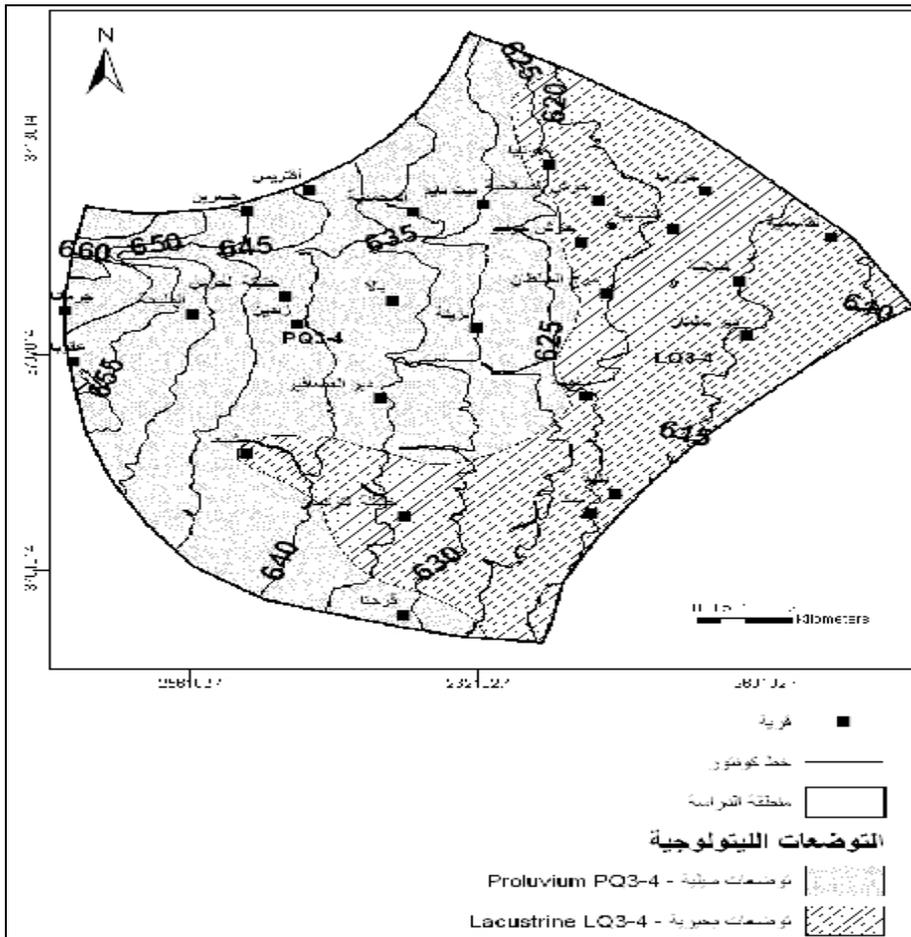
تم الاعتيان من 23 بئراً موزعة ضمن منطقة الدراسة مرة واحدة شهرياً، بواسطة عبوات بولي إيثيلين نظيفة سعة 1 لتر بواقع ثلاثة مكررات لكل بئر، إذ تغسل العبوة بماء البئر عدة مرات قبل أخذ العينة، وكل عبوة تحمل بطاقة تعريف العينة (رقم البئر، الموقع، ساعة وتاريخ أخذ العينة، ...) وتُنقل ضمن حافظات مبردة بدرجة حرارة 4 م° إلى مختبرات كلية العلوم في جامعة دمشق، حيث حللت العينات في اليوم نفسه الذي أخذت فيه باستخدام جهاز Spectrophotometer ماركة HACH من نمط DR5000، وذلك وفق طريقة إرجاع الكاديوم Cadmium Reduction Method برنامج رقم 355 N الخاص بالجهاز.

منطقة الدراسة

تحدد منطقة الدراسة وفق نظام الإسقاط UTM بالإحداثيات الآتية (253480, 271198.1 N, 3716032.6, 369897.9 E)، إذ تحتل جزءاً من غوطة دمشق جنوبي سورية وتشمل مساحة قدرها 177.83 كم² محسوبة باستخدام GIS. تتميز هذه المنطقة بمناخ جاف، وبمعدل هطل مطري سنوي 155 ملم/سنة، ومعدل حرارة 9 م° شتاءً و45 م° صيفاً [3, 4].

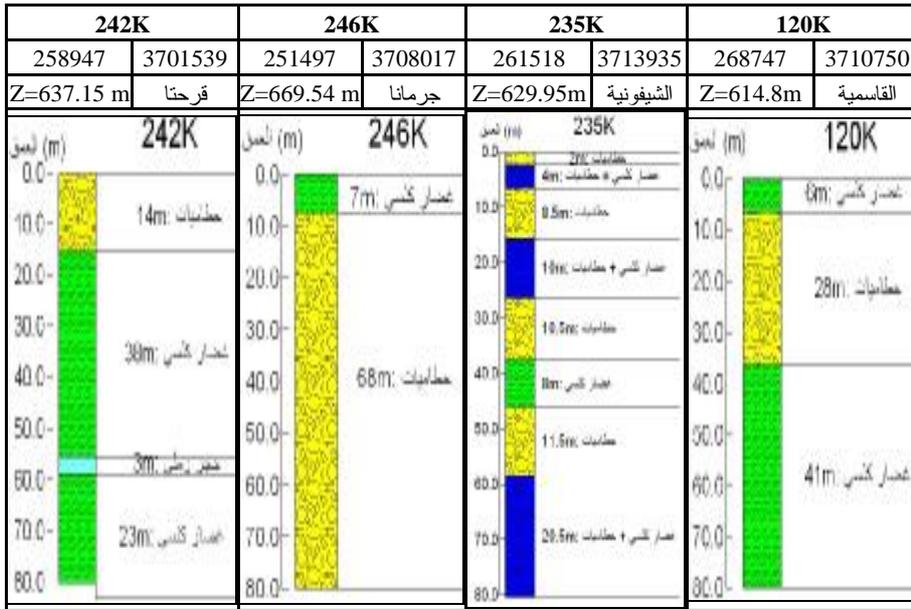
جيولوجياً: استناداً إلى الخريطة الجيولوجية لغوطة دمشق والمذكورة الإيضاحية [8]، أُعدت الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة بمقياس 1:25000 باستخدام برنامج GIS كما في الشكل (1). تتألف التوضعات الليتولوجية في منطقة الدراسة من كونغلوامير، وحجر رملي، واللوم الرملي، واللوم، والحجر الكلسي والمارل. وتتمثل هذه التوضعات من خلال التوضعات

البحيرية Lacustrine deposits، والتوضعات السيلية Proluvium deposits وتتمي هذه التوضعات الليتولوجية إلى الرباعي الأعلى والحديث (Q₃₋₄) .

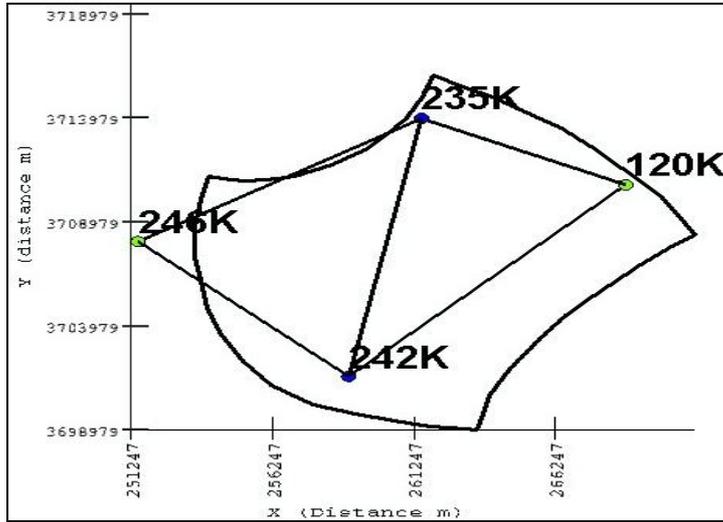


الشكل (1) الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة (عمل الباحثين).

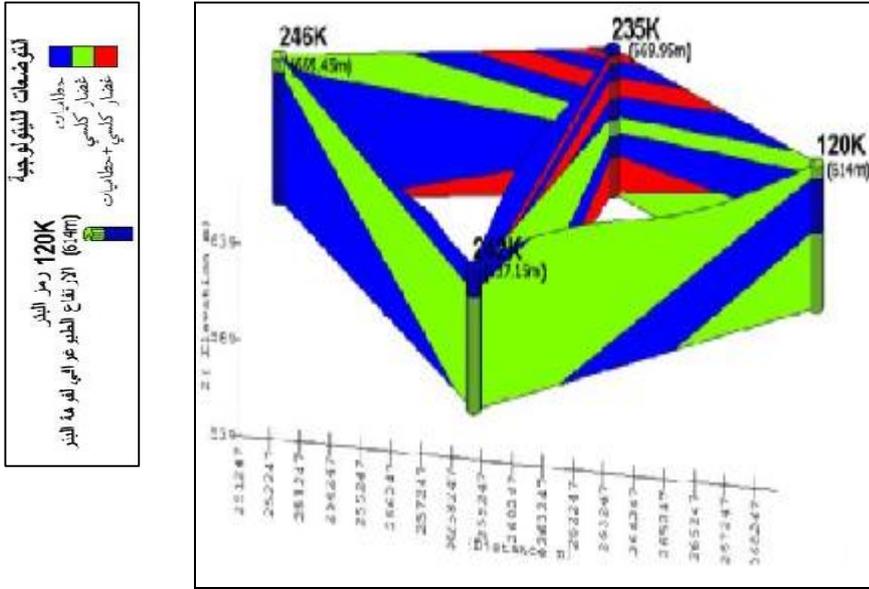
بالاعتماد على معطيات الدراسة الروسية [15]، حُدِّت الآبار الليتولوجية الواقعة ضمن منطقة الدراسة ورُسمت الأعمدة الليتولوجية لها، وهي (246K، 235K، 120K، 242K) الموضحة في الشكل (2)، ثم رُسمت مجموعة من المقاطع الجيولوجية، وهي: (242K - 246K، 242K - 235K، 246K - 235K، 235K - 120K، 242K - 120K) باستخدام برنامج RockWare 14، كما هو موضح في الشكلين (3،4).



الشكل (2) الأعمدة الليتولوجية (عمل الباحثين).



الشكل (3) موقع الآبار المستخدمة لرسم الأعمدة الليتولوجية والمقاطع الليتولوجية (عمل الباحثين).



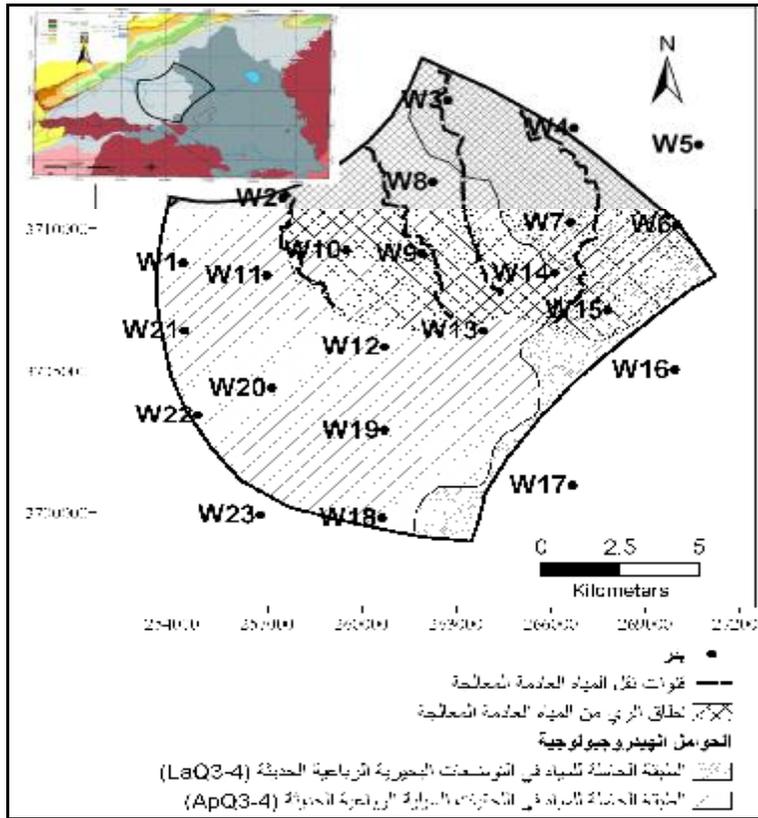
الشكل (4) المقاطع الليتولوجية (عمل الباحثين).

باستخدام برنامج GMS نُفِذت مقاطع ليتولوجية وهيدروجيولوجية، إذ يلاحظ: **جيولوجياً:** بناءً على المقاطع الليتولوجية تبين انتشار الغضار الكلسي ضمن منطقة الدراسة من الغرب باتجاه الجنوب ولكن بسماكات قليلة تقع فوق توضع الحطاميات. تزداد سماكة الغضار الكلسي بالاتجاه نحو جنوب منطقة الدراسة لكنها تكون مغطاة هنا بالحطاميات، أمّا في شمال منطقة الدراسة فتتألف من طبقات مؤلفة من الحطاميات والغضار مع طبقات من الحطاميات.

هيدروجيولوجياً: تتألف منطقة الدراسة كما هو موضح في الشكل (5) من:

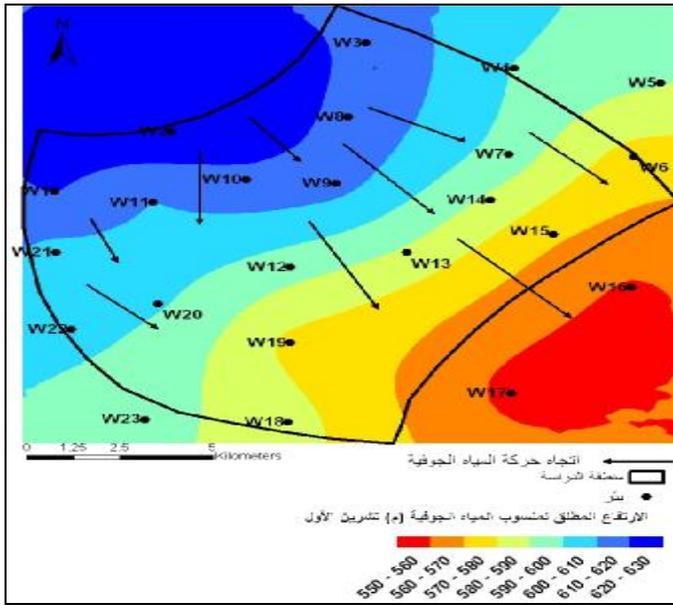
– الطبقة الحاملة للمياه في اللحيقيات السيلية الرباعية الحديثة (ApQ_{3-4}) المؤلفة من توضع رملية، وطبقات من الكونغلوميرا (حطاميات)، وتتميز بصفات هيدروليكية جيدة (معامل الناقلية المائية من 100 م²/يوم حتى عدة آلاف م²/يوم) [15].

– الطبقة الحاملة للمياه في التوضع البحرية الرباعية الحديثة (LaQ_{3-4}) تسيطر عليها توضع من الغضار مع تداخلات من الرمل، وتتميز بصفات هيدروليكية عالية (قيم الناقلية المائية 33.3-321.7 م²/يوم) [15].

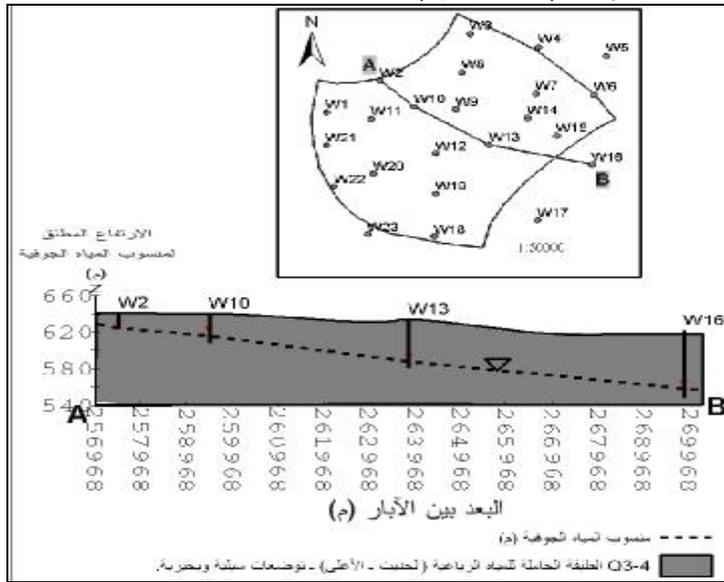


الشكل (5) الخريطة الهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة (عمل الباحثين).

بناءً على القياسات الحقلية لعمق مستوى المياه الجوفية التي أُنجزت من قبل الباحثين خلال العام 2010 ضمن منطقة الدراسة، حُسب الارتفاع المطلق لمستوى المياه الجوفية، إذ رُسمت خريطة التوزيع المكاني لتغير مناسيب المياه الجوفية الموضحة في الشكل (6) مبيّناً عليها اتجاه حركة المياه الجوفية التي حددت من شمال غرب إلى جنوب شرقي منطقة الدراسة. كما أنه وفقاً للأسس النظرية لرسم المقاطع الهيدروجيولوجية [7] رُسم مقطع هيدروجيولوجي A-B بالاتجاه شمال غرب - جنوب شرق - متوافق مع اتجاه حركة المياه الجوفية في منطقة الدراسة - المبين في الشكل (7)، يلاحظ من المقطع الهيدروجيولوجي انخفاض الارتفاع المطلق لمستوى المياه الجوفية من شمال غرب منطقة الدراسة الذي بلغ 626.14 م في البئر W2 إلى جنوب شرق منطقة الدراسة الذي بلغ 559.01 م في البئر W16. فضلاً عن مسابرتة للوضع الطبوغرافي.



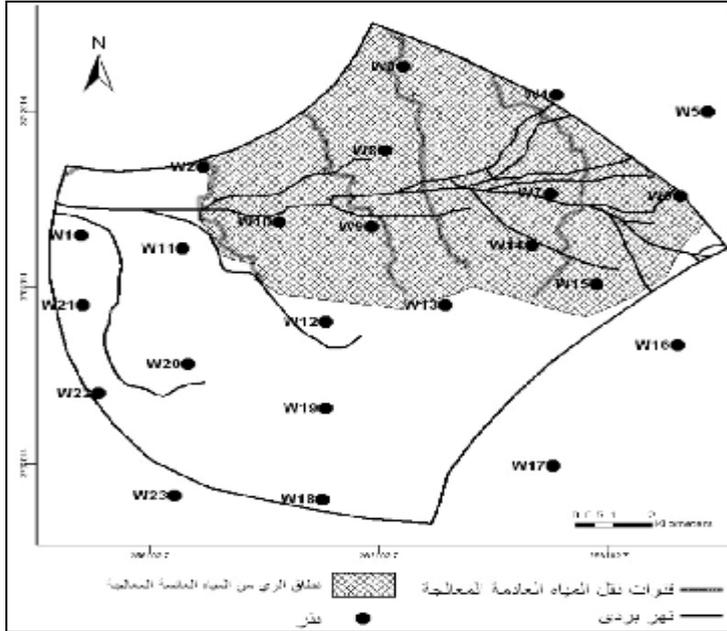
الشكل (6) التوزيع المكاني لتغير مستويات المياه الجوفية لشهر تشرين الأول للعام 2010 في منطقة الدراسة (عمل الباحثين).



الشكل (7) مقطع هيدروجيولوجي A-B في منطقة الدراسة (عمل الباحثين).

النتائج والمناقشة

يوضح الشكل (8) موقع الآبار التي قيس عمق مستوى المياه الجوفية فيها، وقُطفت العينات المائية منها لتحديد تركيز النترات في المياه الجوفية. ولدت (interpolation) خرائط التوزيع المكاني لتغيرات عمق المياه الجوفية ضمن منطقة الدراسة، وخرائط التوزيع المكاني لتركيز النترات فيها، وذلك باستخدام بيانات 23 بئراً مأخوذة خلال العام 2010، وباستخدام Geostatistical analysis ضمن بيئة GIS 9.2، من خلال تطبيق طريقة Kriging ومنها Ordinary Kriging وفق النموذج Spherical الذي يعدُّ أفضل نموذج للتنبؤ بقيم أعماق المياه الجوفية، وتوزيع تراكيز النترات [13, 19].

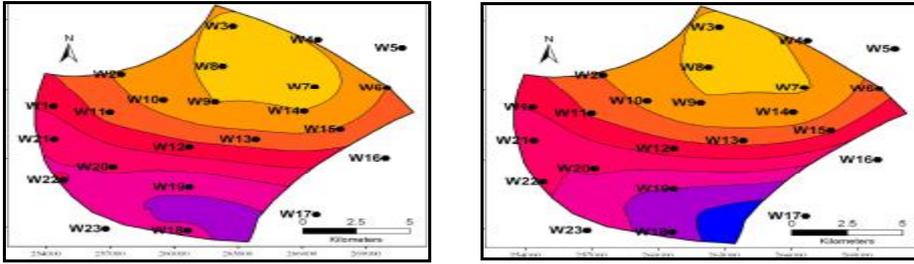


الشكل (8) موقع الآبار المستخدمة لقياس عمق المياه الجوفية، وتحديد تركيز النترات فيها (عمل الباحثين).

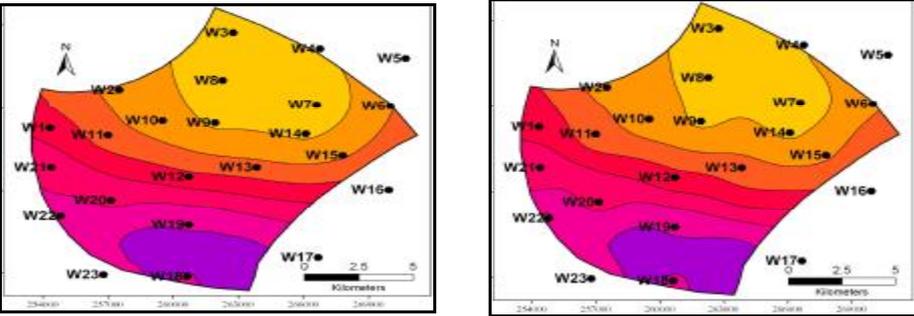
دراسة التوزيع المكاني لتغير عمق مستوى المياه الجوفية

يمثل الشكلان (9-A، 9-B) التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية في منطقة الدراسة خلال العام 2010. نلاحظ تزايد أعماق مستوى المياه الجوفية خلال الشهر الواحد من شمال منطقة الدراسة باتجاه جنوبها عموماً. ويعود سبب العمق القليل لمستوى المياه الجوفية في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة إلى تأثير المتسرب من مياه الري العادمة المعالجة ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة الصادرة عن محطة عدرا لمعالجة المياه العادمة

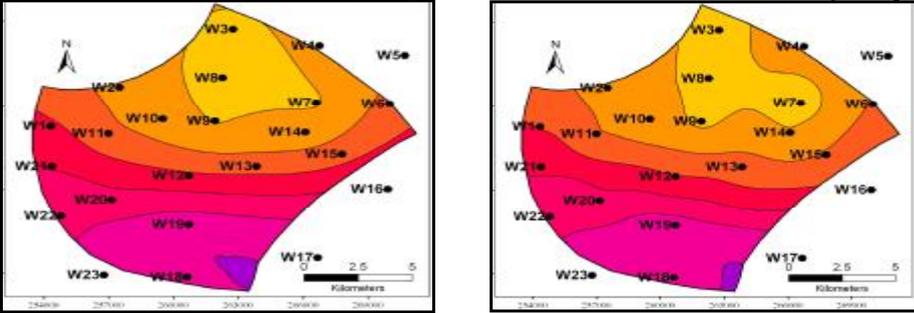
[4,3,2,7]. أما على مستوى العام 2010 ككل فنلاحظ تزايد أعماق المياه الجوفية خلال أشهر الصيف لتبلغ أقصاها في شهري أيلول ونشرين الأول، إذ تراوح أعماقها (8-58م)، لتعود وتتناقص تدريجياً خلال أشهر الشتاء نتيجة تأثير المتسرب من مياه الأمطار لتبلغ القيم الأقل لعمق مستوى المياه الجوفية خلال شهر أيار، إذ تراوح العمق (6-54م).



التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية خلال شهر كانون الثاني



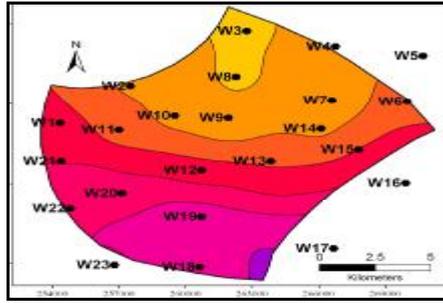
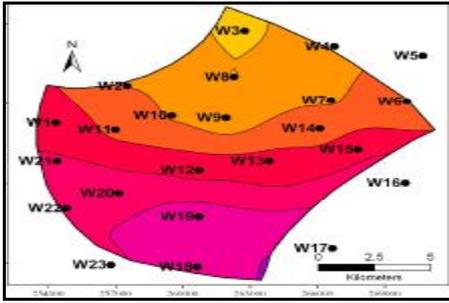
التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية خلال شهر آذار



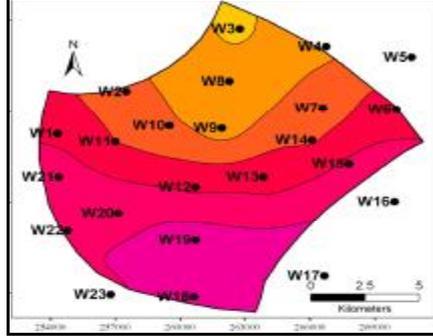
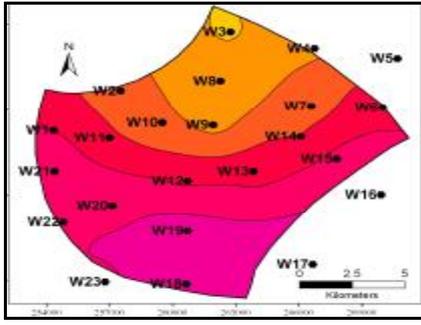
التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية خلال شهر حزيران



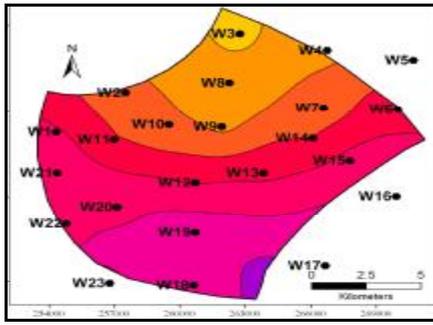
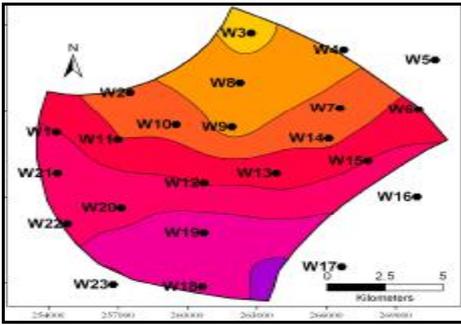
الشكل (9-A) التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية شهرياً خلال العام 2010 (عمل الباحثين).



التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية خلال شهر تموز



التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية خلال شهر أيلول



التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية خلال شهر كانون الأول



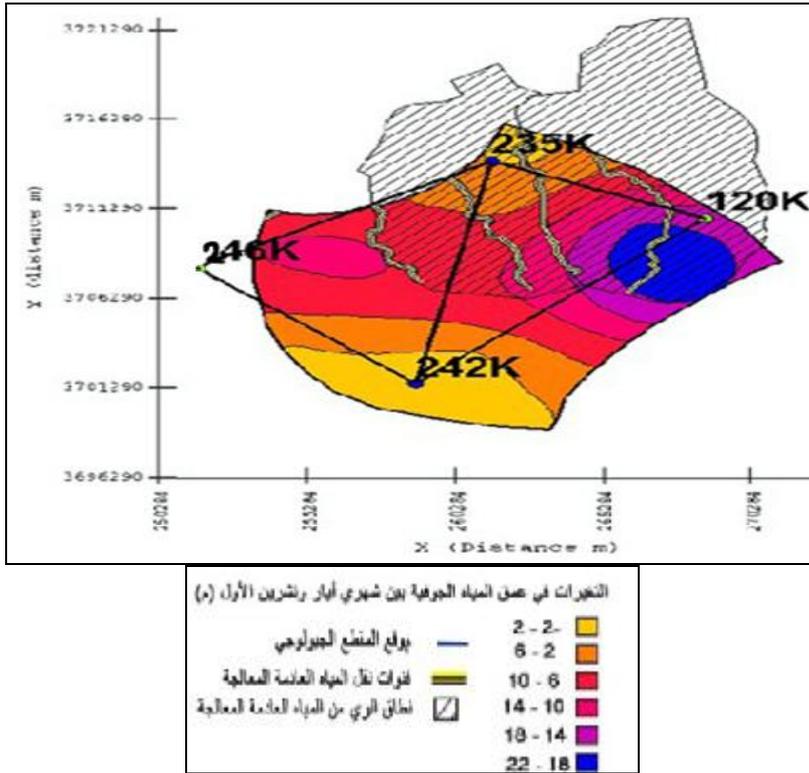
الشكل (9-B) التوزيع المكاني لعمق مستوى المياه الجوفية شهريا خلال العام 2010 (عمل الباحثين).

دراسة التغير في أعماق مستوى المياه الجوفية

استناداً إلى معطيات أعماق مستوى المياه الجوفية في كل من شهر أيار (مرحلة الفيضان)، وشهر تشرين الأول (مرحلة التحاريق)، الموضحة في الجدول (1)، حُسب مقدار التغير في عمق مستوى المياه الجوفية بين مرحلتَي الفيضان والتحاريق، وأُنشئت خارطة تمثل هذه التغيرات كما هو موضح في الشكل (10).

الجدول (1) يبين قيم أعماق المياه الجوفية في شهري أيار وتشرين الأول خلال العام 2010، وحساب قيمة التغير في عمق المياه الجوفية بين مرحلتَي الفيضان والتحاريق.

تغير عمق مستوى المياه الجوفية بين شهري تشرين الأول و أيار (م)	عمق مستوى المياه الجوفية المقيس (م)		رمز بئر القياس
	تشرين الأول 2010 (فترة التحاريق)	أيار 2010 (فترة الفيضان)	
9.14	39.92	30.78	W1
7.94	22.68	14.74	W2
1.51	9.36	7.85	W3
8.16	18.45	10.29	W4
9.87	26.43	16.56	W5
18.08	36.59	18.51	W6
20.39	25.6	5.21	W7
5.25	11.76	6.51	W8
9.86	17.54	7.68	W9
9.5	21.89	12.39	W10
11.73	31.46	19.73	W11
8.81	38.61	29.8	W12
13.63	36.86	23.23	W13
21.13	30.16	9.03	W14
23.1	42.63	19.53	W15
13.97	50.54	36.57	W16
3.74	56.52	52.78	W17
-1.78	54.86	56.64	W18
-1.54	54	55.54	W19
2.45	45.98	43.53	W20
5.36	45.58	40.22	W21
-0.25	47.22	47.47	W22
-1.81	47.94	49.75	W23



الشكل (10) التغيرات في عمق مستوى المياه الجوفية بين شهري أيار وتشيرين الأول من العام 2010 (عمل الباحثين).

يمثل الشكل (10) تغيرات عمق مستوى المياه الجوفية بين شهري أيار (مرحلة الفيضان) وتشيرين الأول (مرحلة التحاريق) خلال العام 2010، يفسر هذا التغير بناءً على مصدر تغذية المياه الجوفية (المتسرب من الهطل المطري، والمتسرب من مياه الري من المياه العادمة المعالجة)، والتركيبة الليتولوجية للنطاق غير المشبع (نسبة الغضار في توضع النطاق غير المشبع)، فضلاً عن حجم الاستثمار المائي الجوفي.

يلاحظ وجود تغيرات كبيرة في أعماق مستوى المياه الجوفية بين مختلف اتجاهات منطقة الدراسة.

في شرقي منطقة الدراسة: يلاحظ وجود تغير في أعماق مستوى المياه الجوفية بشكل كبير بين شهري تشيرين الأول وأيار، إذ ازداد عمق مستوى المياه الجوفية في البئر W7 من 5.21 م في شهر أيار إلى 25.6 م في شهر تشيرين الأول أي بزيادة عمق بلغت

20.39 م. كما لوحظ في البئر W6 زيادة عمق مستوى المياه الجوفية من 18.51 م في شهر أيار إلى 36.59 م في شهر تشرين الأول أي بزيادة عمق بلغت 18 م. يفسر هذا التغير بما يأتي: مع أن هذه المنطقة تقع ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة الذي يعني وجود تغذية مستمرة على حساب المتسرب من مياه الري من المياه العادمة المعالجة صيفاً وشتاءً، إلا أنه يلاحظ وجود تغير كبير في قيم أعماق مستوى المياه الجوفية، وهذا يرتبط بليتولوجية النطاق غير المشبع في هذه المنطقة المؤلف من غضار كلسي، إذ إنَّ زيادة نسبة الغضاريات في توضعات النطاق غير المشبع يؤدي إلى تناقص المسامية الفعالة للتوضعات ومن ثمَّ تناقص نفوذيتها مما يؤدي إلى إعاقة وصول المتسرب إلى المياه الجوفية [17]، فضلاً عن تأثير الاستثمار الجائر للمياه الجوفية في هذه المنطقة لصالح الاستخدامات الزراعية والصناعية والسكانية [4].

في غربي منطقة الدراسة: يبلغ التغير في عمق مستوى المياه الجوفية (10-14 م)، ويعود سبب هذا التغير إلى وجود كمية أقل من الغضار في التوضعات الليتولوجية المشكلة للمنطقة وانتشار عمودي وأفقياً مقارنة بانتشارها في غربي منطقة الدراسة.

في شمال منطقة الدراسة: يراوح التغير في عمق مستوى المياه الجوفية (2-، 6 م)، وهو تغير صغير نسبياً. يسهم المتسرب من مياه الري من المياه العادمة المعالجة بنسبة كبيرة في تغذية المياه الجوفية صيفاً وشتاءً، ومن ثمَّ تأمين وارد مائي دائم. فضلاً عن ليتولوجية توضعات النطاق غير المشبع المؤلف من حطاميات التي تتمتع بنفوذية عالية.

في جنوبي منطقة الدراسة: يبلغ التغير قيمة بسيطة (2-، 2 م). تتألف توضعات النطاق غير المشبع من الحطاميات ذات النفوذية العالية. وتعتمد تغذية المياه الجوفية على المتسرب من الهطل المطري شتاءً فقط بشكل أساسي، ومع عدم وجود تغذية بالتسرب صيفاً فلا يوجد فرق كبير في أعماق المياه الجوفية بين الشتاء والصيف. ويفسر هذا كنتيجة لتواصل الجهود الحكومية لضبط الاستثمار المائي، حيث توقف الاستثمار الجائر للمياه الجوفية من الآبار في هذه المنطقة [3، 4].

دراسة التوزيع المكاني لتغير تراكيز النترات

يبين الجدول (2) تراكيز النترات في المياه الجوفية التي بناءً عليها رُسمت خارطة التوزيع المكاني لتغير تراكيز النترات ضمن منطقة الدراسة كما في الشكلين (11-A، 11-B).

بحسب المواصفة السورية لمياه الشرب [9]، تعدُّ المياه الجوفية صالحة للشرب بشرط أن يكون تركيزها أقل من 50 ملغ/ل، وبناءً عليه يلاحظ أن معظم المياه الجوفية في منطقة الدراسة وخاصة في الآبار الواقعة ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة تملك تراكيز عالية من النترات.

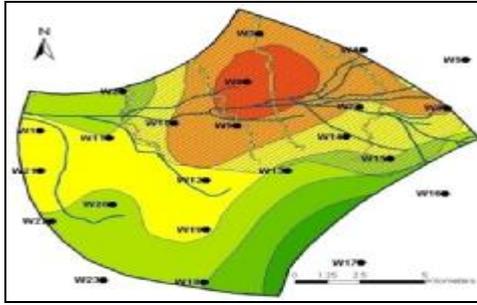
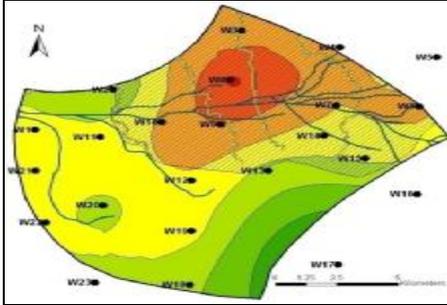
الجدول (2) تركيز النترات في المياه الجوفية.

تركيز النترات في المياه الجوفية (ملغ/ل)													رمز البئر
كانون الأول	تشرين الثاني	تشرين الأول	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	آذار	شباط	كانون الثاني		
24.7	23.8	26.1	30.9	34.2	36.4	45.6	62.1	68.8	66.3	63.4	62.7	W1	
41.2	43.9	46.8	48.2	50.1	50.2	51.2	57.3	60.4	56.3	52.4	50.1	W2	
71.4	70.2	72.4	73.7	76.2	77.3	70.9	76.2	80.1	77.8	75.1	76.1	W3	
65.5	63.8	64.2	65.8	68.2	69.1	70.3	72.8	72.3	71.8	71.4	70.7	W4	
45.3	45.1	46.2	47.1	48.9	50.8	51.7	53.6	53.8	53.4	52.6	52.4	W5	
51.2	50.2	50.4	51.3	54.2	60.8	55.8	70.4	76.9	73.8	72.4	71.8	W6	
60.9	61.9	62.2	64.1	64.3	65.5	70.4	72.3	71.1	69.9	69.8	68.4	W7	
80.9	80.6	81.6	83.2	87.4	90.1	92.2	95.3	94.8	93.6	91.4	90.2	W8	
67.3	67.6	68.2	69.1	70.6	72.4	76.9	80.9	84.4	82.1	79.6	78.1	W9	
50.1	50.8	50.9	51.6	54.5	59.4	62.5	69.1	74.5	73.4	72.1	71.8	W10	
40.2	41.3	43.4	46.1	48.3	49.2	52.9	58.4	63.1	62.8	61.9	60.3	W11	
45.2	44.3	45.9	46.1	47.4	48.1	53.4	66.1	69.5	69.1	68.7	68.1	W12	
46.9	45.7	46.6	46.8	47.1	48.2	53.7	57.8	58.1	57.3	56.1	55.8	W13	
45.3	45.8	46.5	46.9	47.2	48.7	49.8	50.3	61.2	62.1	64.9	62.4	W14	
19.1	19.3	20.5	21.3	21.8	23.9	43.8	44.2	53.6	62.4	61.8	60.4	W15	
20.3	20.1	21.3	21.7	21.2	22.9	30.1	46.8	52.1	51.9	49.4	30.5	W16	
10.6	11.2	11.6	12.9	21.6	12.5	18.3	20.4	23.4	22.9	22.6	21.8	W17	
54.7	54.8	55.1	56.2	57.1	57.9	57.5	56.8	56.1	57.8	53.1	50.3	W18	
40.5	41.8	42.1	43.3	44.9	44.1	50.5	61.2	65.1	64.8	63.7	62.1	W19	
45.2	46.1	46.9	47.8	48.5	49.9	52.6	57.1	59.6	58.3	57.2	56.1	W20	
31.8	30.1	32.1	32.8	33.1	33.6	43.9	55.7	62.1	68.9	65.9	64.3	W21	
41.6	40.2	41.1	42.7	43.2	44.1	53.9	60.4	62.9	61.8	60.9	59.4	W22	
51.1	45.4	46.3	47.6	48.9	50.8	55.4	57.4	60.2	58.9	57.9	55.1	W23	

يلاحظ من الشكلين (11-A، 11-B)، على المستوى الشهري: تتناقص قيم تراكيز النترات من شمال منطقة الدراسة باتجاه جنوبها عموماً. إذ تتركز النترات بقيم عالية تصل حتى (90 - 100 ملغ/ل) في الجزء الشمالي من منطقة الدراسة المتوافقة مع نطاق الري من المياه العادمة المعالجة (ذات تراكيز عالية من النترات)، التي تسهم في تلوث المياه الجوفية بشكل كبير جداً، ومما يزيد من ذلك لبيولوجية النطاق غير المشبع المؤلف من الحطاميات ذات النفاذية العالية [17].

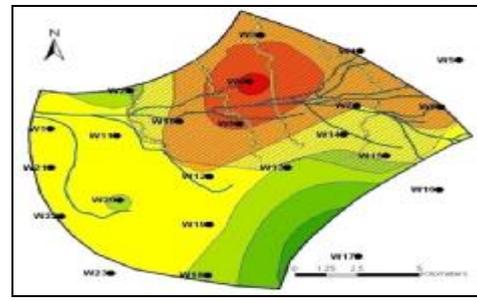
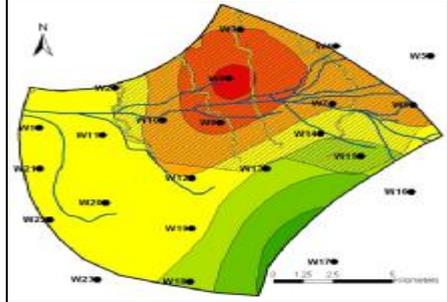
أمّا باقي منطقة الدراسة فلا يوجد مصدر دائم للتلوث بالنترات، ويفسر وجود النترات في باقي منطقة الدراسة بتراكيز قليلة نسبياً تصل حتى 50 ملغ/ل وهي ضمن المجال المسموح به للشرب [9]، وهي ناتجة عن استخدام الأسمدة ومخلفات الصرف الصحي غير المعالجة ضمن القرى ووجود حظائر الحيوانات (المواشي والدواجن) [7، 3]. كما تسهم لبيولوجية النطاق غير المشبع المؤلفة بشكل عام من توضعات عضارية في إعاقه وصول النترات إلى المياه الجوفية بتراكيز عالية، ومن ثمّ في تناقص تركيز النترات في المياه الجوفية في هذه المنطقة [17].

على مستوى العام 2010: يلاحظ وجود تغير واضح في قيم تراكيز النترات فضلاً عن التغير في توزيعها المكاني ومساحته. إذ تبلغ القيمة القصوى تركيز للنترات ومساحة انتشارها في شهر نيسان (مرحلة الفيضان)، وأدنى قيمة في شهر أيلول (مرحلة التحريك). يفسر هذا بأنه خلال شهر نيسان تزداد قيمة المتسرب من الهاتل المطري فضلاً عن المتسرب من مياه الري الدائم من المياه العادمة المعالجة الواردة من محطة عدرا بشكل مستمر، ومن ثمَّ تزداد نسبة النترات المنقولة إلى المياه الجوفية، أمَّا خلال شهر أيلول فيكون مصدر تغذية المياه الجوفية مقتصرًا على مياه الري فقط.



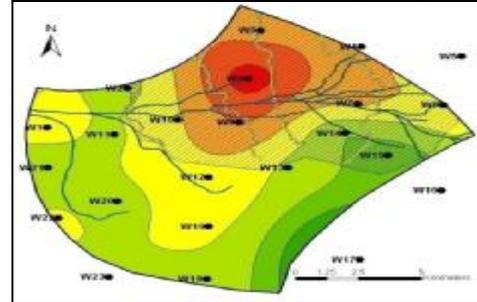
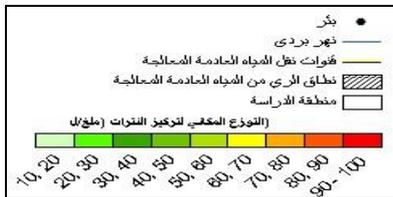
التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر شباط للعام 2010

التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر كانون الثاني للعام 2010



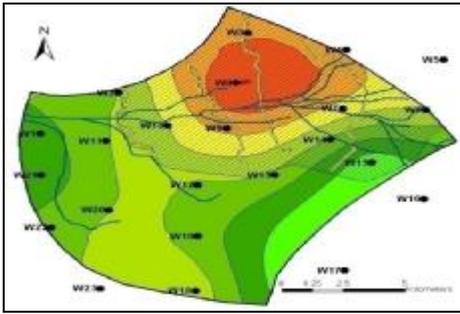
التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر نيسان للعام 2010

التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر آذار للعام 2010

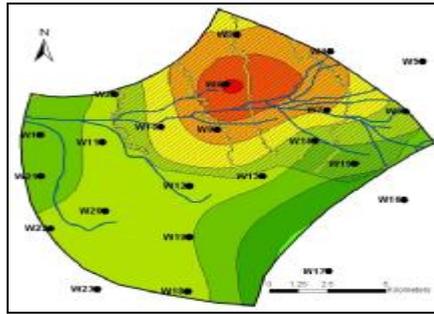


التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر أيار للعام 2010

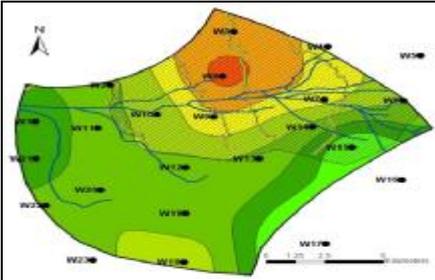
الشكل (11-A) التوزيع المكاني لتركيز النترات (عمل الباحثين).



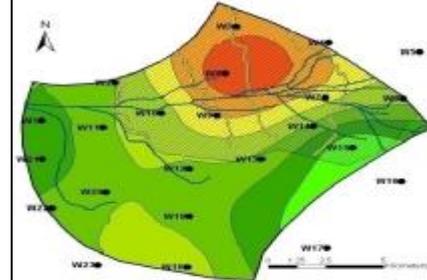
التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر تموز للعام 2010



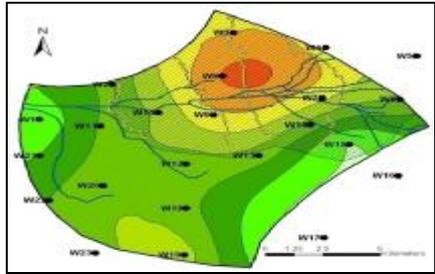
التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر حزيران للعام 2010



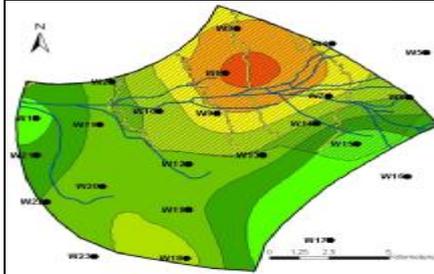
التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر أيلول للعام 2010



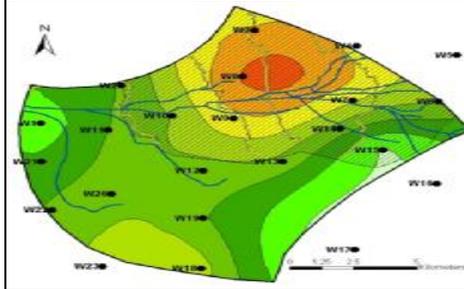
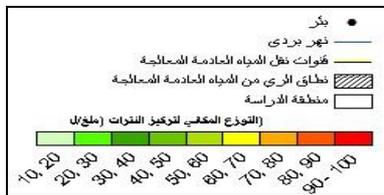
التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر آب للعام 2010



التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر تشرين الثاني للعام 2010



التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر كانون الأول للعام 2010



التوزيع المكاني لتركيز النترات في شهر كانون الأول للعام 2010

الشكل (11-B) التوزيع المكاني لتركيز النترات (عمل الباحثين)

تحديد علاقة الارتباط بين عمق مستوى المياه الجوفية ومحتواها من النترات

حُدِّت علاقة الارتباط بين عمق مستوى المياه الجوفية ومحتواها من النترات باستخدام برنامج Geostatistica، وحُدِّد نوع الارتباط، وذلك ضمن منطقتين:

الأول: ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة:

يلاحظ من الجدول (3) وجود علاقة ارتباط قوية جداً بين تغيرات عمق مستوى المياه الجوفية وتغيرات تراكيز النترات عند مجال الثقة 95 %، لكنها علاقة سلبية، إذ ينخفض تركيز النترات فيها مع ازدياد عمق مستوى المياه الجوفية، ويزداد هذا التركيز كلما نقص عمق مستوى المياه الجوفية واقترب من سطح الأرض. ويلاحظ أن أي تغير طفيف في عمق مستوى المياه الجوفية يتوافق مع تغير فوري في تركيز النترات فيها خلال أشهر السنة، إذ يلاحظ في فصل الخريف: تزداد قيمة معامل الارتباط بشكل كبير لتصل حتى 0.93 خلال شهري أيلول وتشرين الأول. وهذا ما يتفق مع القيم العالية لتراكيز النترات في الآبار الواقعة ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة، إذ يصل تركيز النترات إلى أعلى قيمة له (94.8 ملغ/ل) في البئر W8 بما يتوافق مع أقل عمق لمستوى المياه الجوفية إذ يصل عمقها إلى 6.51 م.

الجدول (3) يبين علاقة الارتباط بين عمق مستوى المياه الجوفية ومحتواها من النترات خلال العام 2010.

علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية وتركيز النترات فيها، والواقعة ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة		Marked correlations are significant at $p < .95000$		N=14 (Casewise deletion of missing data)							
عمق المياه الجوفية - كانون الثاني	عمق المياه الجوفية - شباط	عمق المياه الجوفية - آذار	عمق المياه الجوفية - نيسان	عمق المياه الجوفية - أيار	عمق المياه الجوفية - حزيران	عمق المياه الجوفية - تموز	عمق المياه الجوفية - آب	عمق المياه الجوفية - أيلول	عمق المياه الجوفية - تشرين الأول	عمق المياه الجوفية - تشرين الثاني	عمق المياه الجوفية - كانون الأول
تركيز النترات-كانون الثاني	-0.89										
تركيز النترات-شباط		-0.87									
تركيز النترات-آذار			-0.86								
تركيز النترات-نيسان				-0.84							
تركيز النترات-أيار					-0.82						
تركيز النترات-حزيران						-0.90					
تركيز النترات-تموز							-0.90				
تركيز النترات-آب								-0.92			
تركيز النترات-أيلول									-0.93		
تركيز النترات-تشرين الأول										-0.93	
تركيز النترات-تشرين الثاني											-0.92
تركيز النترات-كانون الأول											

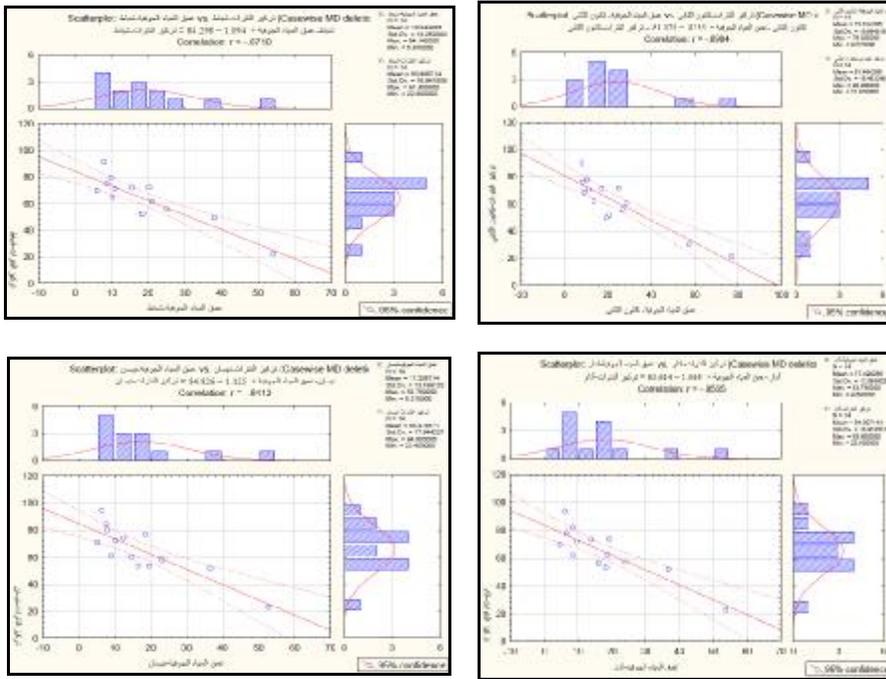
الثاني: خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة:

يلاحظ من الجدول (4) وجود علاقة ارتباط ضعيفة بين تغيرات عمق مستوى المياه الجوفية وتغيرات تراكيز النترات عند مجال الثقة 95 %، يعود هذا إلى عدم وجود مصدر تلوث دائم للنترات، ومن ثمّ تراكيز منخفضة للنترات في المياه الجوفية التي تقع كلها ضمن المجال المسموح به للشرب، فضلاً عن الأعماق الكبيرة نسبياً للمياه الجوفية في هذه المنطقة إذ تصل حتى 55 م في معظم الآبار.

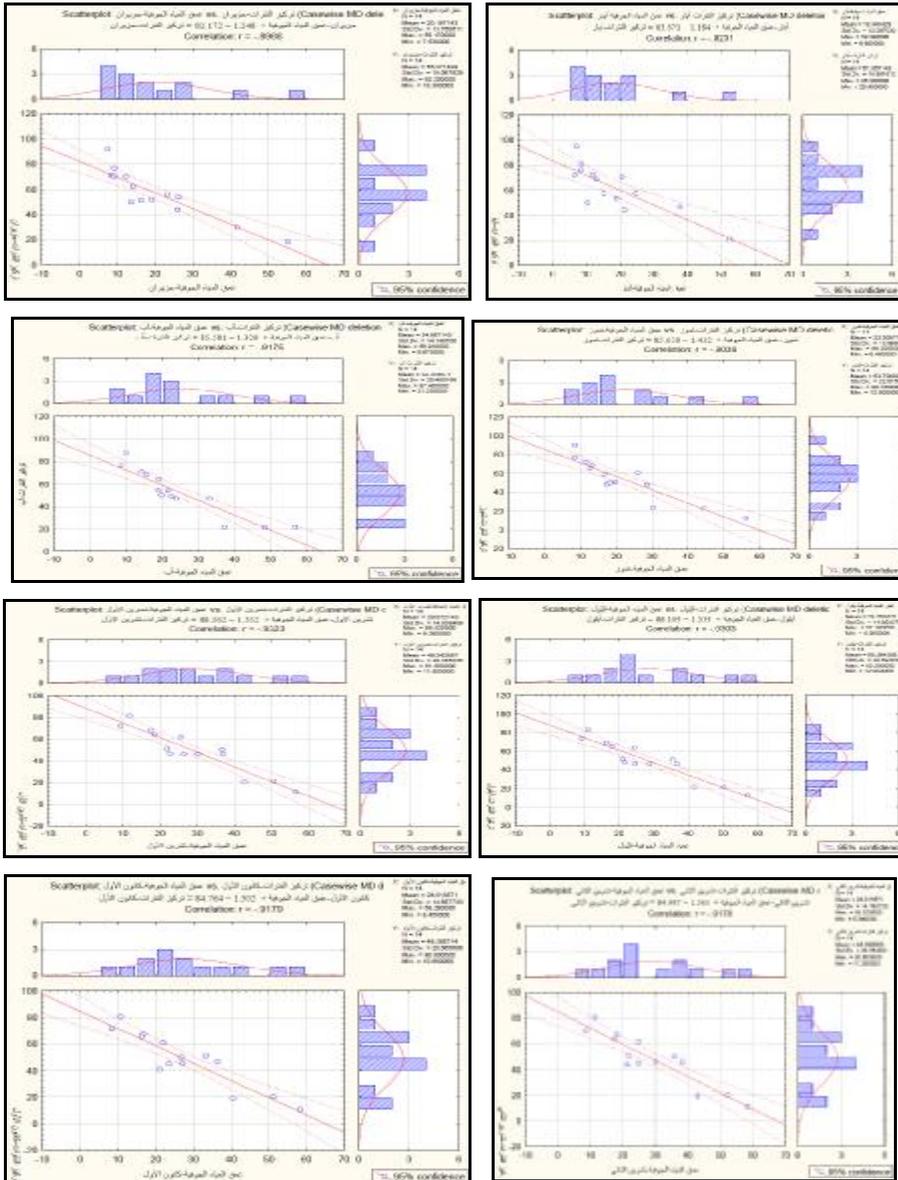
الجدول (4) يبين علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية ومحتواها من النترات خلال العام 2010.

علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية والنترات خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة		علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية والنترات خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة		علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية والنترات خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة		علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية والنترات خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة		علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية والنترات خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة		علاقة الارتباط بين عمق المياه الجوفية والنترات خارج نطاق الري من المياه العادمة المعالجة	
Marked correlations are significant at $p < .95000$		Marked correlations are significant at $p < .95000$		Marked correlations are significant at $p < .95000$		Marked correlations are significant at $p < .95000$		Marked correlations are significant at $p < .95000$		Marked correlations are significant at $p < .95000$	
N=9 (Casewise deletion of missing data)		N=9 (Casewise deletion of missing data)		N=9 (Casewise deletion of missing data)		N=9 (Casewise deletion of missing data)		N=9 (Casewise deletion of missing data)		N=9 (Casewise deletion of missing data)	
عمق المياه الجوفية	عمق المياه الجوفية										
عمق المياه الجوفية	عمق المياه الجوفية										
عمق المياه الجوفية	عمق المياه الجوفية										
تركيز النترات-كافون الثاني	-0.57										
تركيز النترات-تسايط	-0.59										
تركيز النترات-أمان		-0.48									
تركيز النترات-بيسان			-0.57								
تركيز النترات-عابر				-0.31							
تركيز النترات-عظريان					0.35						
تركيز النترات-عجور						0.36					
تركيز النترات-أب							0.39				
تركيز النترات-أيلول								0.37			
تركيز النترات-أول									0.35		
تركيز النترات-ثاني										0.37	
تركيز النترات-ثالث											0.39

من خلال دراسة شكل منحنيات معامل الارتباط ومعادلاتها بين عمق مستوى المياه الجوفية وتركيز النترات فيها شهرياً خلال العام 2010، يتبين أن تركيز النترات في المياه الجوفية يرتبط بعلاقة خطية مع عمق مستوى المياه الجوفية كما في الشكلين (12-A)، (12-B). ويبين الجدول (5) مقارنة بين القيم المسموح بها للنترات في بعض المواصفات القياسية العالمية مقارنة بالمواصفة القياسية السورية، ونتائج القياس في البحث.



الشكل (12-A) منحنيات الارتباط بين عمق مستوى المياه الجوفية وتركيز النترات فيها شهرياً ومعادلاتها خلال العام 2010 (عمل الباحثين).



الشكل (12-B) منحنيات الارتباط ومعادلاتها بين عمق مستوى المياه الجوفية وتركيز النترات فيها شهرياً خلال العام 2010 (عمل الباحثين).

الجدول (5) مقارنة بين القيم المسموح بها للنترات في المواصفات القياسية العالمية مقارنة بالمواصفة القياسية السورية، ونتائج القياس في البحث [9، 10، 11، 12، 14، 18، 20، 21].

المواصفة القياسية الأردنية	المواصفة القياسية للمملكة العربية السعودية	المواصفة الكندية	مواصفة الولايات المتحدة الأمريكية U.S.	المواصفة الاستراتيجية	مواصفة الاتحاد الأوروبي E.U.	مواصفة منظمة الصحة العالمية WHO	المواصفة القياسية السورية					
< 50 - 70	50 ملغ/ل	10 ملغ/ل	10 ملغ/ل	11 ملغ/ل	11 ملغ/ل	11 ملغ/ل	50 ملغ/ل					
تركيز النترات في المياه الجوفية (ملغ/ل)												
كانون الأول	تشرين الثاني	تشرين الأول	أيلول	آب	تموز	حزيران	أيار	نيسان	آذار	شباط	كانون الثاني	رمز البئر
24.7	23.8	26.1	30.9	34.2	36.4	45.6	62.1	68.8	66.3	63.4	62.7	W1
41.2	43.9	46.8	48.2	50.1	50.2	51.2	57.3	60.4	56.3	52.4	50.1	W2
71.4	70.2	72.4	73.7	76.2	77.3	70.9	76.2	80.1	77.8	75.1	76.1	W3
65.5	63.8	64.2	65.8	68.2	69.1	70.3	72.8	72.3	71.8	71.4	70.7	W4
45.3	45.1	46.2	47.1	48.9	50.8	51.7	53.6	53.8	53.4	52.6	52.4	W5
51.2	50.2	50.4	51.3	54.2	60.8	55.8	70.4	76.9	73.8	72.4	71.8	W6
60.9	61.9	62.2	64.1	64.3	65.5	70.4	72.3	71.1	69.9	69.8	68.4	W7
80.9	80.6	81.6	83.2	87.4	90.1	92.2	95.3	94.8	93.6	91.4	90.2	W8
67.3	67.6	68.2	69.1	70.6	72.4	76.9	80.9	84.4	82.1	79.6	78.1	W9
50.1	50.8	50.9	51.6	54.5	59.4	62.5	69.1	74.5	73.4	72.1	71.8	W10
40.2	41.3	43.4	46.1	48.3	49.2	52.9	58.4	63.1	62.8	61.9	60.3	W11
45.2	44.3	45.9	46.1	47.4	48.1	53.4	66.1	69.5	69.1	68.7	68.1	W12
46.9	45.7	46.6	46.8	47.1	48.2	53.7	57.8	58.1	57.3	56.1	55.8	W13
45.3	45.8	46.5	46.9	47.2	48.7	49.8	50.3	61.2	62.1	64.9	62.4	W14
19.1	19.3	20.5	21.3	21.8	23.9	43.8	44.2	53.6	62.4	61.8	60.4	W15
20.3	20.1	21.3	21.7	21.2	22.9	30.1	46.8	52.1	51.9	49.4	30.5	W16
10.6	11.2	11.6	12.9	21.6	12.5	18.3	20.4	23.4	22.9	22.6	21.8	W17
54.7	54.8	55.1	56.2	57.1	57.9	57.5	56.8	56.1	57.8	53.1	50.3	W18
40.5	41.8	42.1	43.3	44.9	44.1	50.5	61.2	65.1	64.8	63.7	62.1	W19
45.2	46.1	46.9	47.8	48.5	49.9	52.6	57.1	59.6	58.3	57.2	56.1	W20
31.8	30.1	32.1	32.8	33.1	33.6	43.9	55.7	62.1	68.9	65.9	64.3	W21
41.6	40.2	41.1	42.7	43.2	44.1	53.9	60.4	62.9	61.8	60.9	59.4	W22
51.1	45.4	46.3	47.6	48.9	50.8	55.4	57.4	60.2	58.9	57.9	55.1	W23

الخلاصة العامة

- تؤدي ليتولوجية النطاق غير المشبع دوراً مهماً في حماية المياه الجوفية من التلوث بالنترات، إذ تزداد درجة التلوث بالنترات عندما تكون الليتولوجية مؤلفة من حطاميات، في حين تتناقص نسبة التلوث بزيادة نسبة الغضاربات في توضع النطاق غير المشبع.
- يزداد هبوط مستوى المياه الجوفية من شمال منطقة الدراسة باتجاه الجنوب، ومن غربها باتجاه الشرق.
- يتناقص تركيز النترات من شمال منطقة الدراسة باتجاه الجنوب. مع ملاحظة أن التراكيز الكبيرة للنترات توجد ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة. وتزداد هذه التراكيز في مرحلة الفيضان (نيسان) مقارنة بمرحلة الجفاف (تشرين الأول).
- يلاحظ وجود علاقة ارتباط سلبية وقوية وموثوق بها بين عمق مستوى المياه الجوفية ومحتواها من النترات، وذلك ضمن مجال محدد لعمق مستوى المياه الجوفية. وعندما يزداد عمق مستوى المياه الجوفية ومن ثمَّ تزداد سماكة النطاق غير المشبع فإنَّ علاقة الارتباط تصبح ضعيفة جداً وغير موثوق بها، لتتعدم مع تزايد العمق.
- يلاحظ أنه نتيجة لوجود مصدر مائي سطحي ملوث (ضمن نطاق الري من المياه العادمة المعالجة) دائم، ترتفع مستويات المياه الجوفية، ويزداد محتواها من النترات حتى تتخطى حد عتبة الخطورة.
- يجب التأكيد أن قيم علاقة الارتباط الناتجة ترتبط ارتباطاً مباشراً بمنطقة الدراسة، ومن الممكن أن تختلف باختلاف الظروف الهيدروجيولوجية ومصادر التلوث وكمياتها.

التوصيات

1. إجراء مراقبات دورية لعمق مستوى المياه الجوفية، ودراسة تغيراتها ودلالاتها بشكل مستمر.
2. إجراء مراقبات دائمة ودورية لنوعية المياه الجوفية والسطحية والمياه العادمة المعالجة المستخدمة في الري.
3. تحسين نوعية المياه العادمة المعالجة للحفاظ على المياه الجوفية من التلوث.

المراجع References

1. الأسعد، علي؛ حايك، شريف. 2007. الهيدروجيولوجيا -2، مديرية المطبوعات في جامعة تشرين، سورية، 402.
2. 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.
3. أكساد، 2008 - تقرير مشروع النموذج الرياضي لحوض غوطة دمشق. المجلد الأول، التقرير الهيدروجيولوجي، دمشق.
4. برجيه، دارين، 2010. دراسة العلاقة المتبادلة بين الأوضاع الهيدروجيولوجية المتغيرة والتصحر في غوطة دمشق بالاستعانة بتقانات الاستشعار عن بعد. أطروحة ماجستير في الهيدروجيولوجيا، جامعة دمشق، كلية العلوم، قسم الجيولوجيا.
5. خليل، محمد أحمد. 2005. المياه الجوفية والآبار. الطبعة الثانية، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر، 336.
6. السلاوي، محمود. 1986. المياه الجوفية بين النظرية والتطبيق. الدار الجماهيرية للنشر والتوزيع والإعلان، طرابلس، ليبيا، 647.
7. محمد، ياسر. 2012. حركة المياه الجوفية. منشورات جامعة دمشق، سورية، 364.
8. منشورات المؤسسة العامة للجيولوجيا (المذكرة الإيضاحية لرقعة دمشق بمقياس 1:200000).
9. المواصفة القياسية السورية لمياه الشرب رقم 45 للعام 2007.
10. Australian National Health and Medical Research Council. 2004.
11. E.U. Council Directive 1998/93/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption.
12. Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water. 2006.
13. Feng-Guang. Y; Shu-You. C; Xing-Nian. L; Ke-Jun. Y. 2008. *Design of groundwater level monitoring network with ordinary Kriging*. Journal of Hydrodynamics, 20(3): 339-346.
14. Jordanian Drinking Water Standards JS 286/1997.
15. Lengiprovodkhoz. 1986. *Water resources use in Barada and Auvage basin for irrigation of crops*.
16. Nas. B, Berkday. A. 2006. *Groundwater contamination by nitrates in the city of Konya, (Turkey): A GIS perspective*. Journal of environmental management. No 79, pp. 30-37.
17. Pociene. A; Pocius. S. 2005. *Relationship between nitrate amount in groundwater and natural factors*. Journal of environmental engineering and landscape management, vol XIII, No 1, pp. 23-30. ISSN 1648- 6897.
18. Presidency of Meteorology and Environment Kingdom of Saudi Arabia National Environmental Standard Drinking Water Quality, 2011. Saudi Arabia national.

19. Tutmz. B., Hatpoglu. Z. 2010. *Comparing two data driven interpolation methods for modeling nitrate distribution in aquifer*. Ecological informatics. No. 5, , pp. 311-315.
20. U.S. Environmental Protection Agency. 2014. Primary Drinking Water Standards, enacted pursuant to the *Safe Drinking Water Act*. <http://www.epa.gov/safewater/mcl.html#mcls>.
21. World Health Organization. 2004. Guidelines for Drinking-water Quality, 3rd ed. Geneva: WHO. http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/index.html.