دراسة حساسية الخزانات الجوفية السطحية للتلوث باستخدام نموذج دراستك (حالة دراسية: سهل الجفارة).

مختار محمود العالم، يونس ضو الزليط، عبد المطلب غيث عبد السلام
قسم التربة والمياه - كلية الزراعة- جامعة طرابلس

المستخلص

تعتبر المياه الجوفية المصدر الرئيسي المستخدم لإمداد غالبية المجالات الزراعية والصناعية والمدنية في منطقة سهل الجفارة. وقد أدى نمو النشاطات الزراعية والصناعية فى المنطقة إلى وجود العديد من النواتج والمخلفات الصناعية التي تترك فى العادة فوق سطح التربة، مما قد يعرض مخزون الماء الجوفي السطحي للتلوث، لذلك تم فى هذه الدراسة استخدام نموذج دراستك (DRASTIC) فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية من أجل إنتاج خرائط مكانية للتنبؤ بمدى حساسية المياه الجوفية السطحية للتلوث، وتحديد درجات حساسية هذه الخزانات للتلوث، ووضع خرائط توزيع مكاني لكافة خصائص نموذج دراستك من خلال تطبيق طريقة مقلوب المسافة الوزنية (IDW) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية. أوضحت النتائج أنه عند استخدام طريقة مقلوب المسافة الوزنية أمكن الحصول على خرائط مكانية لكافة خصائص نموذج دراستك، وأظهرت أن خرائط التوزيع المكاني لهذه الخصائص يمكن الوثوق بها، وذلك بالحصول على قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) كأحد مقاييس تقييم جودة القيم المتنبأ بها؛ حيث وجدت أن قيم RMSE تقترب من الصفر، وأن التباين البسيط ما بين قيم RMSE لخصائص نموذج دراستك راجع إلى التباين فى عدد العينات المستخدمة فى هذا النموذج. أشارت النتائج – أيضاً- إلى أن غالبية أجزاء المنطقة صنفت إلى متوسطة الحساسية باستثناء بعض المناطق الشمالية الغربية من منطقة الدراسة التي كانت أكثر حساسية للتلوث مقارنة بالمناطق الأخرى، وللتأكد من صلاحية نموذج دراستك (DI) تم معايرته مع عدد 9 من عينات مياه الآبار فى الخزان الرباعي الموجود فى المناطق المروية تم فيها تقدير تركيز النترات، وتبين أن هناك ارتباط خطي قوي بين مؤشر دراستك (DI) والتغير فى تركيز النترات بمنطقة الدراسة؛ حيث بلغ معامل الارتباط الخطي 0.84، مما يشير إلى صلاحية النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة، وبالتالي فإن هذه الدراسة توصي بحماية المياه الجوفية السطحية والتقليل من خطر التلوث وذلك لاستدامة مصادر المياه الجوفية فى المنطقة.

الكلمات الدالة : دراستك (DRASTIC)، نظم المعلومات الجغرافية ، الخزانات الجوفية السطحية، التلوث.

المقدمة

تعتبر المياه الجوفية من أهم مصادر المياه فى ليبيا خصوصاً فى المنطقة الغربية منها؛ حيث تساهم المياه الجوفية في معظم المجالات الزراعية والصناعية وما يصاحبها من تطور اقتصادي واجتماعي، وتفتقر ليبيا إلى مصادر المياه السطحية دائمة الجريان ما عدا بعض الوديان الموسمية التي تسيل بمياه الأمطار خلال فترات قصيرة من موسم المطر، والتي تتخلل كل من سفوح الجبل الغربي والجبل الأخضر، وبذلك تساهم المياه الجوفية بحوالي 97.7 % من أجمالي المياه التي يتم استغلالها في ليبيا (سالم، 1996).

للاتصال: مختار محمود العالم. قسم التربة والمياه - كلية الزراعة - جامعة طرابلس - طرابلس- ليبيا
هاتف: 218911348236 + **البريد الالكتروني:** mukhtarelaalem@yahoo.com
استلمت بتاريخ: 2018/12/19 **أجيزت بتاريخ: 2019/3/18**

إن استمرار التوسع فى النشاط الصناعي بطريقة غير مدروسة، بالإضافة إلى النشاط الزراعي خصوصاً الزراعات المروية، وما يصاحبها من إضافات للأسمدة الكيميائية والمبيدات الحشرية والنباتية قد يهدد المخزون المائي الجوفي بالتلوث، خصوصاً الخزانات الجوفية السطحية، وللوصول إلى الإدارة الجيدة المتكاملة التي تضمن الحفاظ على الموارد المائية الجوفية من التلوث وتلبية متطلبات التنمية الصناعية والزراعية يتطلب الأمر دراسة مدى حساسية هذه الخزانات للتلوث مكانياً، بحيث يتم تحديد المناطق التي قد تكون عرضة للتلوث أكثر من المواقع الأخرى. ولضمان التقليل من فرص تلوث المياه الجوفية، وضعت العديد من النماذج التي يمكن استخدامها لمعرفة مدى مخاطر تلوثها، بحيث تم تغيير مفهوم تلوث الخزانات الجوفية من مفهوم يعتمد على الخصائص الهيدروجيولوجية، إلى مفهوم يأخذ بعين الاعتبار خطر التلوث الذي يتعرض له الخزان الجوفي نتيجة النشاطات البشرية (الخطيب، 2004).

تعتبر عملية نمذجة حساسية المياه الجوفية للتلوث من الأمور المعقدة نظراً لصعوبة الحصول على قياسات حقلية للعديد من المؤشرات المتعلقة بخواص الخزانات الجوفية وخصائص التربة والمنطقة غير المشبعة، هناك العديد من النماذج المقترحة التي يمكن بواسطتها التنبؤ بحساسية المياه الجوفية للتلوث، التي تعتمد على تحليل العناصر المؤثرة فى انتقال الملوثات من سطح التربة إلى أن تصل إلى الخزان الجوفي، كما تعتمد على خواص المنطقة الحاملة للمياه الجوفية التي تساعد على انتشارها ومن أهما النفاذية، وبالرغم من توفر بيانات الخزانات الجوفية فى البلدان المتقدمة، التي قد تكون كافية لنمذجة حركة المياه الجوفية وعمليات تغدية هذه الخزانات وحركة الملوثات، إلا أن هذه البيانات شحيحة فى الدول النامية، مما يستدعي النظر فى استخدام بعض النماذج التي لا تتطلب الكثير من البيانات (في كثير من الأحيان غير متوفرة). صنف Wang وChen (2012) النماذج المستخدمة فى التنبؤ بحساسية تلوث الخزانات الجوفية إلى ثلاث أنواع، وهي النماذج الإحصائية والنماذج الرياضية أو الفيزيائية، ونماذج مؤشر المطابقة المكانية؛ حيث تعتمد النماذج الإحصائية على تجميع البيانات على ملوثات فعلية فى خزان جوفي محدد وربطها بخواص الخزان الجوفي والمنطقة غير المشبعة وخواص التربة واستعمالات الأرض، ومن ثم يتم تحديد علاقات النموذج واختبارها بالبيانات التجريبية المتوفرة عن منطقة ما، ومن ثم استخدامها فى التنبؤ بمدى حدوث التلوث، وأهم هذه النماذج هو نموذج Logistic Regression (Helsel and Hirshch, 1992). ويتطلب استخدام هذه النماذج كم هائل من البيانات الدقيقة حول الظروف المحيطة بالخزان الجوفي، مما يجعل استخدامها غير عملي (Martin, 2000).

في حين تعتمد النماذج الرياضية على الدراسة الكمية لحركة المياه والملوثات من سطح التربة إلى أن تصل إلى المياه الجوفية، ومن أهم هذه النماذج هو نموذج (SAAT/SWAT) أو (Surface to Aquifer/Well Advection Time)، بالإضافة إلى أن هناك عدد من برامج التحليل العددي منها (DHI Software) و (MODFLOW) (Frind et al., 2006; Butscher and Huggenberger, 2008).

أفاد كل من (Aller et al., 1987; Foster, 1987; Doerfliger et al., 1999; Van Stempvoort et al., 1993) أن نماذج مؤشر المطابقة المكانية تعتمد على تحديد عدد من العوامل المؤثرة فى عمليات تلوث المياه الجوفية، بحيث يمكن قياسها وإعطائها أوزان محددة من أجل حساب المؤشر الكلي لحساسية المياه الجوفية للتلوث، ومن ثم إنتاج خرائط لحساسية المياه الجوفية للتلوث. ومن أشهر هذه النماذج نموذج دراستك (DRASTIC)، ونموذج EPIK، ونموذج Aquifer Vulnerability Index (AVI). تتميز هذه النماذج بقلة البيانات المطلوبة مع سهولة الوصول إليها مع توفير تقدير مناسب وسريع لمدى حساسية المياه الجوفية للتلوث (Abdeslam et al., 2017).

ومن النماذج السابقة الذكر يعتبر نموذج دراستك (DRASTIC) هو الأكثر تطبيقاً، وقد تم اختباره على نطاق واسع وثبت صلاحيته مقارنة بالنماذج الأخرى (Abdelmadjid and Omar, 2013). ومن هنا جاءت أهداف هذه الدراسة التي تهدف إلى استخدام نموذج دراستك في إنتاج خرائط لحساسية المياه الجوفية السطحية للتلوث لمنطقة سهل الجفارة فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية، ومن ثم تحديد المناطق الأكثر عرضة للتلوث والمناطق الأقل حساسية، وتقييم النتائج المتحصل عليها من خلال هذه الدراسة وذلك باختبار مدى صلاحية النتائج بدلالة التوزيع المكاني لتركيز النترات لعدد من الآبار داخل المنطقة.

المواد وطرائق البحث

منطقة الدراسة

تقع منطقة الدراسة فى نطاق المنطقة الشمالية الغربية من ليبيا (حالة دراسية منطقة سهل الجفارة)، ويمتد سهل الجفارة من الخمس شرقاً إلى أن يتداخل مع الحدود التونسية غربا. وتقع المنطقة بالتحديد ما بين خطي طول 10.6 شرقاً و13.8 شرقاً وبين دائرتي عرض 31.9 شمالاً و33.03 شمالا، وتبلغ المساحة الإجمالية لمنطقة الدراسة 2220.4 ألف هكتار، كما تتميز منطقة الدراسة بسيادة مناخ البحر المتوسط مع تأثير المناخ شبه الصحراوي فى المنطقة الداخلية؛ حيث يبلغ معدل الأمطار على المناطق الساحلية بشكل عام 300 ملم /سنة، بينما تتناقص معدلات الأمطار فى المناطق الداخلية لتصل إلى أقل من 50 ملم/ سنة (بن محمود، 1995).

تتواجد في منطقة الدراسة رواسب عصر الهلوسين، ورواسب عصر البليوسين، وتكوين العسة، وتكوين ككلة (الجوارسي أوسط -علوي)، وتكوين بئر الغنم (ثلاثي علوي جوراسي أوسط) (مركز البحوث الصناعية، 1975).

كما تشير الدراسة التي تمت بواسطة مشروع تخريط الموارد الطبيعية (2006) إلى أن منطقة الدراسة تحتوي على العديد من استخدامات الأراضي، ومن أهمها الأراضي المروية (93.7 ألف هكتار)، الأراضي البعلية (198.1 ألف هكتار)، الأراضي الرعوية (1045.3 ألف هكتار)، والخريطة 1 توضح الوصف العام لمنطقة الدراسة.

الوصف العام لنموذج دراستك

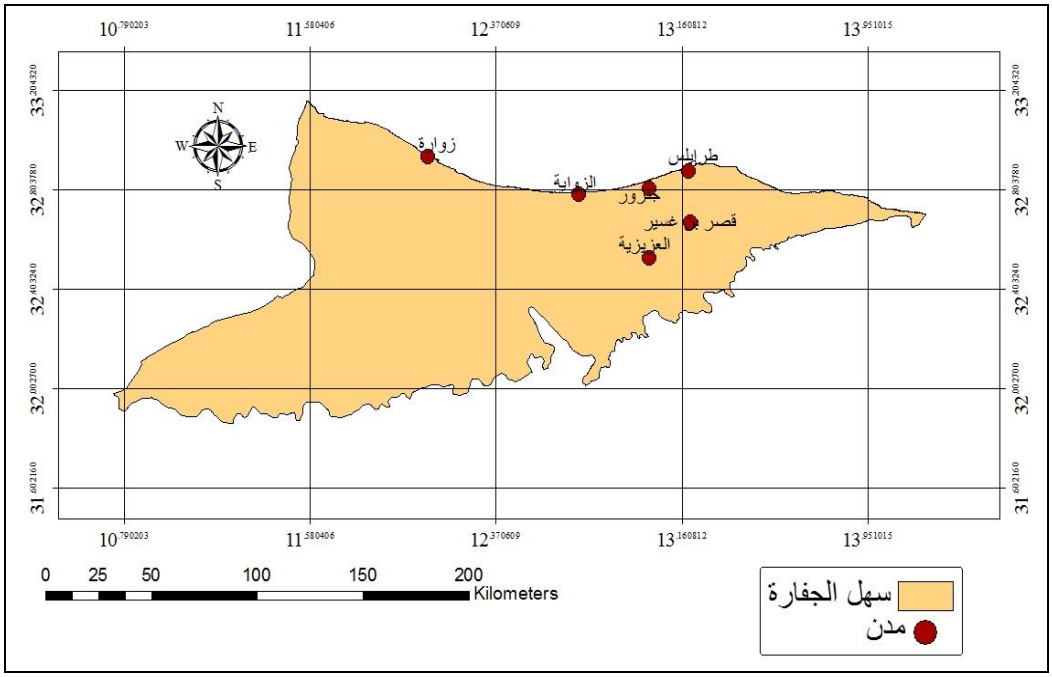
يتضمن نموذج دراستك (DRASTIC) سبعة عناصر أساسية، وهي (D) العمق إلى مستوى الماء، و(R) صافي معدل التغذية، و(A) خصائص الوسط المسامي الحامل للمياه، و(S) خصائص التربة، و(T) الطوبوغرافيا (ميل سطح الأرض)، و(I) تأثير المنطقة غير المشبعة، و(C) معامل التوصيل الهيدروليكي للخزان الجوفي. صمم نموذج دراستك على افتراضات أساسية، وهي: مصدر الملوثات موجود على سطح الأرض، وغسيل الملوثات إلى داخل الأرض يتم عن طريق إضافة الماء إلى سطح الأرض (أمطار أو ري)، وسرعة حركة الملوثات التي تتخلل التربة فى أتجاه المياه الجوفية مساوية لسرعة حركة الماء، والمساحة المقيمة باستخدام نموذج دراستك لا تقل عن 40 هكتار (Al-Zabet, 2002).

تم تطوير هذا النموذج من أجل تقييم درجات التعرض النسبي لإمكانية تلوث المياه الجوفية بناءً على الخواص الهيدرولوجية المحيطة بالمناطق المستهدفة لعملية التقييم (Aller et al., 1987)، وقد أسند إلى كل عامل وزن بناء على درجة تأثيره فى التلوث، وكذلك معدل قيم مختلفة؛ حيث أن معدل القيم الأمثل يتراوح ما بين 1- 10، والأوزان تتراوح ما بين 1 – 5. كما أن حاصل ضرب الوزن فى معدل القيمة هو الرتبة لكل عامل من العوامل السبعة المؤثرة، وعوامل هذا النموذج تشمل عمق مستوى الماء الجوفي (Depth to Water Table) ، و تغذية الخزانات الجوفية (Net Recharge)، ونوع تكوين الخزان الجوفي (Aquifer Media)، وخواص التربة (Soil Media)، ودرجة انحدار الأرض (Topography)، وتأثير المنطقة غير المشبعة (Impact of Vadose Zone)، ومعامل التوصيل الهيدروليكي للطبقة الحاملة (Hydraulic Conductivity).

لكل عامل من العوامل السابقة قيم وزنية حسب أهمية العامل (جدول 1)، ومن ثم يتم تقسيم درجات تأثير كل عامل إلى مجموعة من المديات بناء على درجة تأثير العامل الداخلي، وتوضح الجداول (2، 3، 4، 5، 6، 7،8) القيم الوزنية ودرجات تأثير كل العوامل الواردة في النموذج الأصلي (مع ملاحظة أنه قد تم تغيير الوحدات من النظام الأمريكي إلى النظام العالمي). وعند تقييم نقطة معينة يتم حساب مؤشر دراستك حسب المعادلة التالية (Aller et al., 1987).

$$DI = (Dr \times Dw) + (Rr \times Rw) + (Ar \times Aw) + (Sr \times Sw) + (Tr \times Tw) + (Ir \times Iw) + (Cr \times Cw) \quad (1)$$

حيث إن DI : مؤشر دراستك، Dr : رتبة العمق، Dw : الأهمية الوزنية للعمق، Rr : رتبة معدل التغدية، Rw: الأهمية الوزنية لمعامل التغدية، Ar: رتبة خصائص الوسط الحامل للمياه، Aw: الأهمية الوزنية لخصائص الوسط الحامل للمياه، Sr: رتبة خصائص التربة، Sw: الأهمية الوزنية لخصائص التربة، Tr: رتبة الطبوغرافية (الميل)، Tw: الأهمية الوزنية للطبوغرافية (الميل)، Ir : رتبة تأثير المنطقة غير المشبعة، Iw: الأهمية الوزنية للمنطقة غير المشبعة، Cr: رتبة معامل التوصيل الهيدروليكي للخزان، Cw : الأهمية الوزنية لمعامل التوصيل الهيدروليكي للخزان.



خريطة (1). الموقع العام لمنطقة الدراسة

جدول 1. الأهمية الوزنية للعناصر المكونة لنموذج دراستك العام.

الرمز	اسم العامل	الأهمية الوزنية
D	العمق إلى مستوى الماء	5
R	صافي معدل التغذية	4
A	خصائص الوسط المسامي الحامل للمياه	3
S	خصائص التربة	2
T	الطبوغرافية (الميل)	1
I	تأثير المنطقة غير المشبعة	5
C	معامل التوصيل الهيدروليكي للخزان الجوفي	3

المصدر (Aller et al., 1987)

جدول 2. رتبة معامل عمق الماء الجوفي (D) والأهمية الوزنية فى طريقة دراستك (DRASTIC).

مدى التغير في عمق الماء (D) (متر)	الأهمية الوزنية
1.5 – 0.0	10
4.6 –1.5	9
9.1 – 4.6	7
15.2 – 9.1	5
22.8 – 15.2	3
30.4 -22.8	2
30.4 <	1

المصدر (Aller et al., 1987)

جدول 3. رتبة معامل صافي معدل التغذية السنوية (R) والأهمية الوزنية فى طريقة دراستك (DRASTIC).

صافي معدل التغذية السنوية (R) (مم)	الأهمية الوزنية
50.8 -0.0	1
101.6 – 50.8	3
177.8 – 101.6	6
240.0 – 177.8	8
240.0 <	9

المصدر (Aller et al., 1987)

جدول 4. رتبة عامل خصائص الخزان(A) والأهمية الوزنية فى طريقة دراستك (DRASTIC).

التكوين الجيولوجي للطبقة الحاملة للمياه (A)	الأهمية الوزنية
حجر طيني كثيف	3-1
صخور متحولة ونارية	5-2
صخور متحولة ونارية مفتتة	5-3
ترسبات جليدية	6-4
طبقات متداخلة من الأحجار الرملية والبحرية والطينية	9-5
حجر رملي كثيف	9-4
حجر جيري كثيف	9-4
رمل وحصى	9-6
بازلت	10-5
حجر جيري متكهف	10-9

المصدر (Aller et al., 1987)

جدول 5. رتبة معامل خصائص التربة (S) والأهمية الوزنية فى طريقة دراستك (DRASTIC).

القوام والتركيب (S)	الأهمية الوزنية
طبقة سطحية جدا أو لا توجد تربة	10
حصى	10
رمل	9
طين انكماشي تمددي أو مفتت	7
رمل طمي أو طمي رملي	6
طمي	5
طمي غريني	4
طمي طيني	3
طين غير انكماشي وتمددي وغير مفتت	1

المصدر (Aller et al., 1987)

جدول 6. رتبة معامل الطبوغرافيا (T) والأهمية الوزنية فى طريقة دراستك (DRASTIC).

الطبوغرافيا (%) (T)	الأهمية الوزنية
2-0	10
6-2	9
12-6	5
18-12	3
18<	1

المصدر (Aller et al., 1987)

جدول7. رتبة معامل خصائص المنطقة غير المشبعة (I) والأهمية الوزنية فى طريقة دراستك (DRASTIC).

التكوين الجيولوجي للمنطقة غير المشبعة (I)	الأهمية الوزنية
طبقات عازلة للحركة الراسية للماء الأرضي	1-0
طين وغرين	6-2
صخر طيني	5-2
حجر جيري	7-2
حجر رملي	8-4
صخور رملية وجيرية وطينية متداخلة	8-4
رمل وحصي مختلط بالطين والغرين	8-4
صخور نارية ومتحولة	8-2
رمل وحصي	9-6
بازلت	10-2
حجر جيري متكهف	10-8

المصدر (Aller et al., 1987)

جدول 8. رتبة معامل التوصيل الهيدروليكي (C) والأهمية الوزنية فى طريقة دراستك (DRASTIC).

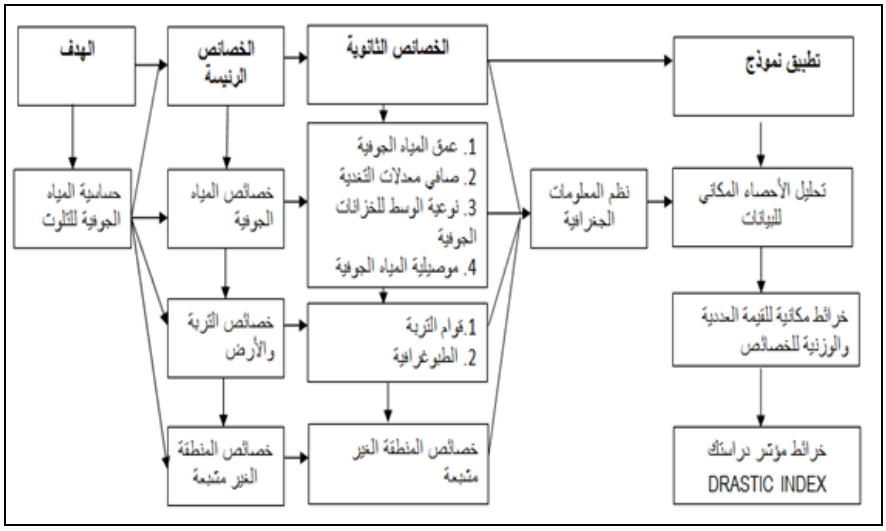
التوصيل الهيدروليكي (C) متر/يوم	الأهمية الوزنية
4.07 - 0	1
12.21 – 4.07	2
28.49 –12.21	4
40.70 -28.49	6
81.40 -40.70	8
81.40 <	10

المصدر (Aller et al., 1987)

تعتبر قيم مؤشر دراستك لقابلية تلوث المياه الجوفية التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة ليست قيم مطلقة، بل دليل ومؤشر على الأهمية النسبية لكل من العوامل المؤثرة أعلاه، دون إعطاء معلومات تتعلق بالنتائج المصاحبة لهذا المؤشر، وكلما كانت قيم المؤشر عالية كلما كانت قابلية التلوث عالية والعكس صحيح.

تطبيق نموذج دراستك في منطقة الدراسة

لتطبيق نموذج دراستك في منطقة الدراسة تم تجميع البيانات والمتمثلة في خريطة تصنيف التربة الرقمية وذلك لتحديد قوام التربة (S) (مشروع تخريط الموارد الطبيعية، 2006)؛ حيث تم الحصول على عدد 150 قطاع تربة ممثل في منطقة سهل الجفارة للحصول على خريطة توزيع مكاني لخاصية قوام التربة (S). كما تم الحصول على بيانات لعدد 75 بئراً، وذلك لمعرفة أعماق الآبار (D)، ومعامل التوصيل الهيدروليكي (C) للخزانات الجوفية في منطقة الدراسة من الهيئة العامة للمياه. وأيضاً تم الحصول من مصلحة الأرصاد الجوية على معدلات سقوط الأمطار للفترة الزمنية من 1925 إلى 2000 لعدد 38 محطة، وذلك لحساب صافي معدل التغذية السنوية في منطقة الدراسة. ومن البيانات المتحصل عليها من الهيئة العامة للمياه- أيضاً- عدد 55 نقطة جيولوجية لمنطقة الدراسة، وذلك لمعرفة معاملات الوسط المسامي الحامل للمياه الجوفية، (I) (A)، كما تم الاستعانة بنموذج الارتفاع وبقدرة تميزية تصل إلى 90 متراً (ASTER DEM)؛ وذلك لحساب درجة الميل أو الطبوغرافيا (T) في منطقة الدراسة. هذه البيانات تم إدخالها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية من أجل تأسيس قاعدة بيانات مكانية لتطبيق نموذج دراستك في منطقة الدراسة، يوضح الشكل (1) الوصف العام لتطبيق نموذج دراستك في منطقة الدراسة.



شكل 1. الوصف العام لتطبيق نموذج دراستك في منطقة الدراسة.

كما تم خلال هذه المرحلة تعريف كافة البيانات المكونة لنموذج دراستك مكانياً، وذلك بمعرفة كل من الأحداثيات السينية والصادية لكافة خصائص نموذج دراستك، ومن ثم تم ضرب قيمة وزن الأهمية النسبية لكل خاصية من خصائص طريقة دراستك والمشار إليها في الجداول (1،2،3،4،5،6،7،8) في القيمة العددية التدرجية لهذا العامل، ومن ثم حساب مؤشر دراستك المحدد لحدة درجة التعرض للتلوث من مجموع حواصل عملية الضرب.

وللحصول على خرائط مكانية لكل خاصية من خصائص نموذج دراستك تم استخدام طريقة مقلوب المسافة الوزنية (IDW) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية؛ حيث تم من خلال طريقة مقلوب المسافة الوزنية الاعتماد على الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) فى تقييم جودة البيانات المتنبأ بها لخصائص نموذج دراستك. وللحصول على مؤشر دراستك (DI) في منطقة الدراسة تم استخدام خاصية (Weighted Sum Overlay) فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

اختبار صلاحية نموذج دراستك (DRASTIC)

خلال هذه المرحلة تم اختبار صلاحية مؤشر دراستك (DI) في منطقة الدراسة، وذلك بالأخذ فى الاعتبار تركيز النترات لعدد 9 من الآبار فى منطقة الدراسة، إن هذا الاختبار قد يعطي مؤشراً على مدى دقة النموذج وذلك بافتراض أن تركيز النترات كان منخفضاً فى منطقة الدراسة، وأن الزيادة فى تركيز النترات راجع أساساً للاستخدام المفرط للأسمدة النيتروجينية، وأن المناطق المتأثرة بزيادة تركيز النترات هي المناطق المروية، ومع مراعاة أنه تم أخذ عينات للمياه الجوفية السطحية من مناطق مروية فى منطقة الدراسة، كما تم مطابقة تركيز النترات للآبار المدروسة مع خريطة مؤشر دراستك فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لمعرفة قيمة دراستك والتغير فى تركيز النترات. كما تم – أيضا- خلال هذه المرحلة أجراء تحليل الانحدار بين قيم مؤشر دراستك والتغير فى تركيز النترات وإيجاد معامل التحديد (R^2) وحساب درجة الارتباط الخطي (r) بين قيم تركيز النترات مع مؤشر دراستك (DRASTIC) المحسوب لهذه المنطقة الذي يمكن وصفه بالمعادلة التالية:

$$r = \frac{\sum XY - \frac{(\sum X)(\sum Y)}{n}}{\sqrt{\left(\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}\right)\left(\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}\right)}} \quad (2)$$

حيث إن r : معامل الارتباط الخطي، X : قيم تركيز النترات (ppm) ، Y : القيم المقابلة لمؤشر دراستك (DRASTIC) و n : عدد قيم العينات التي أخذت من الآبار في منطقة الدراسة (عدد الأزواج المطلوب حساب الارتباط بينها).

النتائج والمناقشة

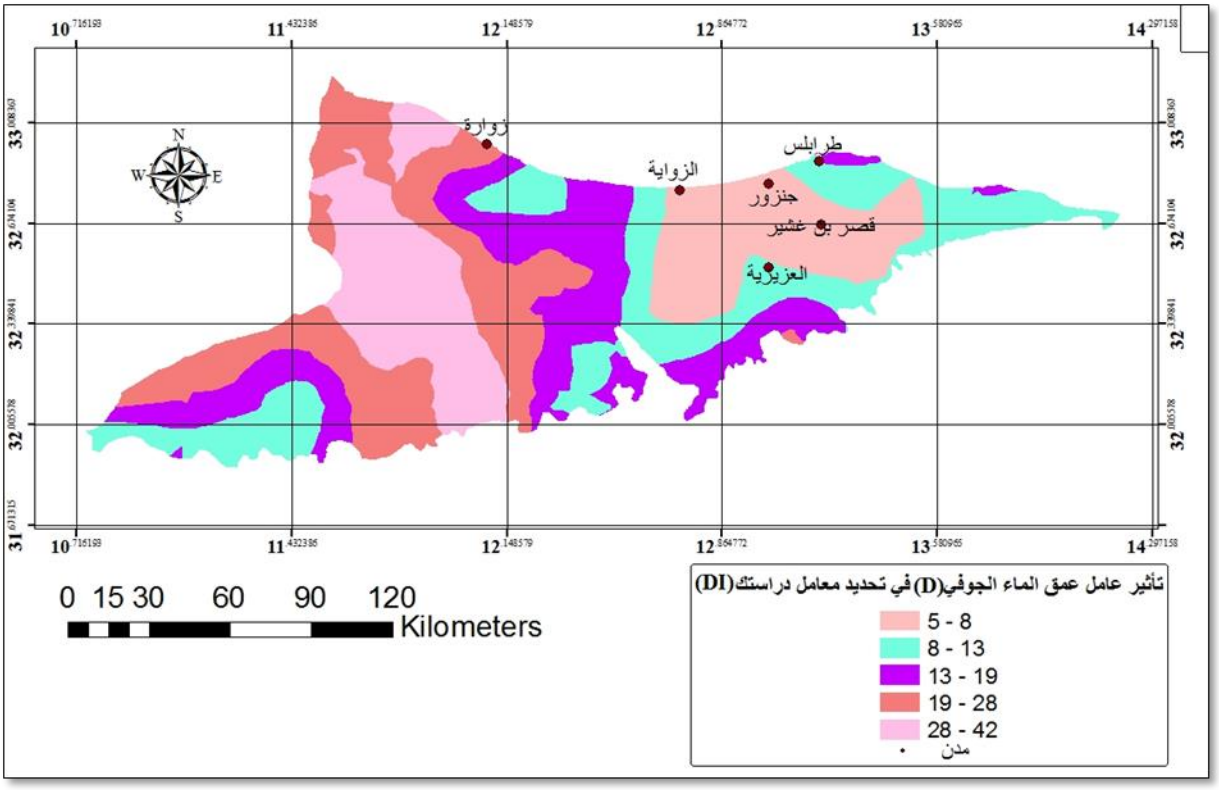
نتائج عوامل نموذج دراستك:

نتائج تأثير عامل الماء الجوفي (D) فى تحديد معامل دراستك (DI):

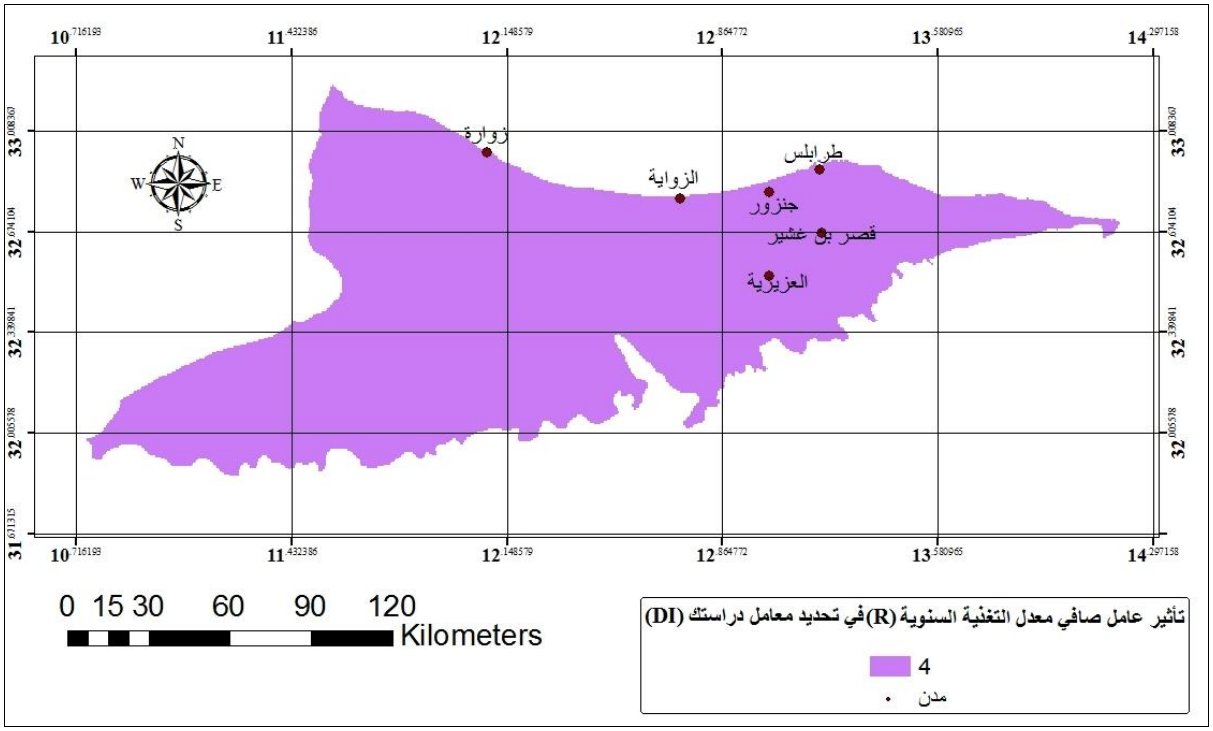
عند حساب تأثير خاصية عامل عمق المياه الجوفية فى تحديد معامل دراستك اتضح أن منطقة الدراسة صنفت إلى 5 وحدات تصنيفية، وهى منخفض جداً (5- 8) ومنخفض (8 - 13) ومتوسط (13 - 19) وعالي (19 - 28) وعالي جداً (28 - 42)، وأن التباين فى هذه الوحدات التصنيفية راجع إلى الاختلاف فى القيم العددية والوزنية لعمق الآبار المستخدمة فى حساب تأثير هذا العامل، والخريطة (2) توضح تأثير عامل الماء الجوفي فى تحديد معامل دراستك.

نتائج تأثير عامل صافي التغذية (R) فى تحديد معامل دراستك (DI)

عند حساب تأثير خاصية عامل صافي التغذية فى تحديد معامل دراستك تبين أن منطقة الدراسة صنفت إلى وحدة تصنيفية واحدة ذات قيمية عددية ووزنية 4، وأن الحصول على وحدة تصنيفية واحدة راجع إلى أن القيمية العددية للبيانات المستخدمة فى حساب تأثير عامل صافي التغذية لها نفس القيم أو أنها واقعة فى نفس الحدود، والخريطة (3) توضح تأثير عامل صافي التغذية فى تحديد معامل دراستك.



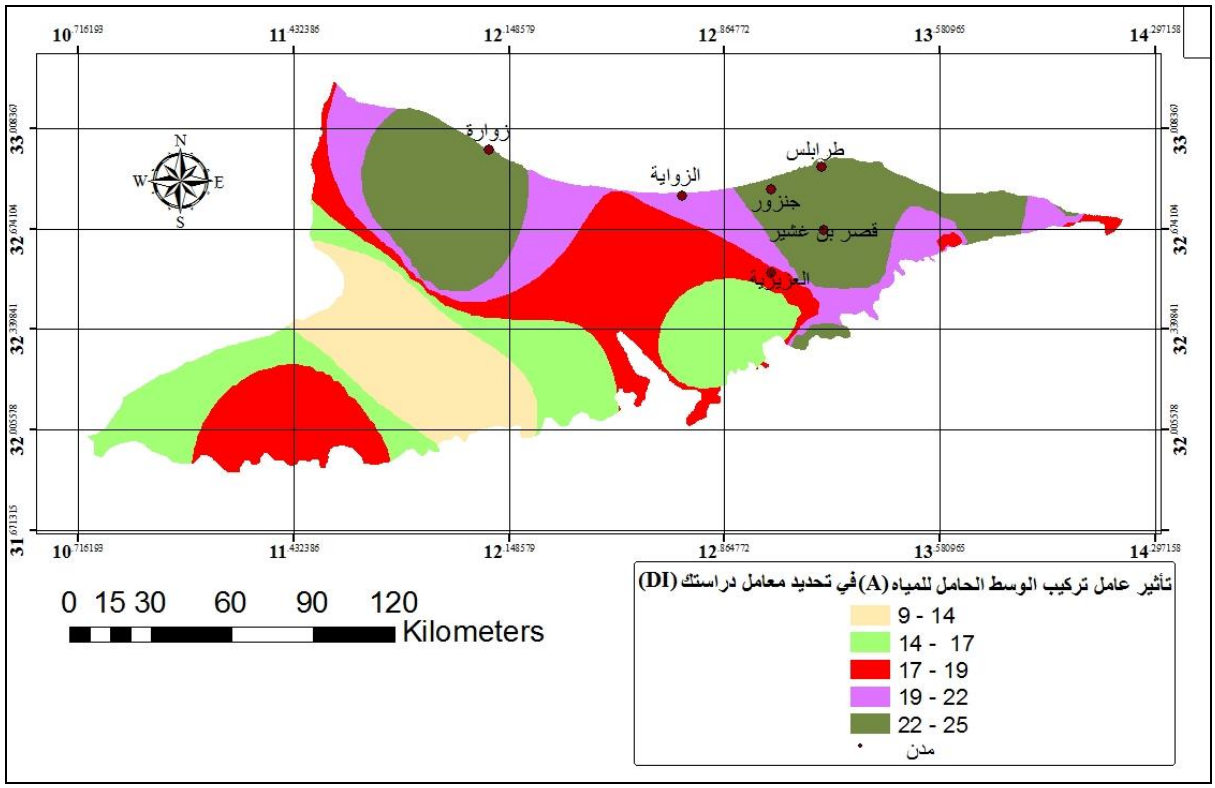
خريطة 2. تأثيرعامل الماء الجوفي فى تحديد معامل دراستك (DRASTIC).



خريطة 3. تأثيرعامل صافى معدل التغذية السنوية فى تحديد معامل دراستك (DRASTIC)

المجلة الليبية للعلوم الزراعية، المجلد (24)، العددان (1) 2019: 38-58

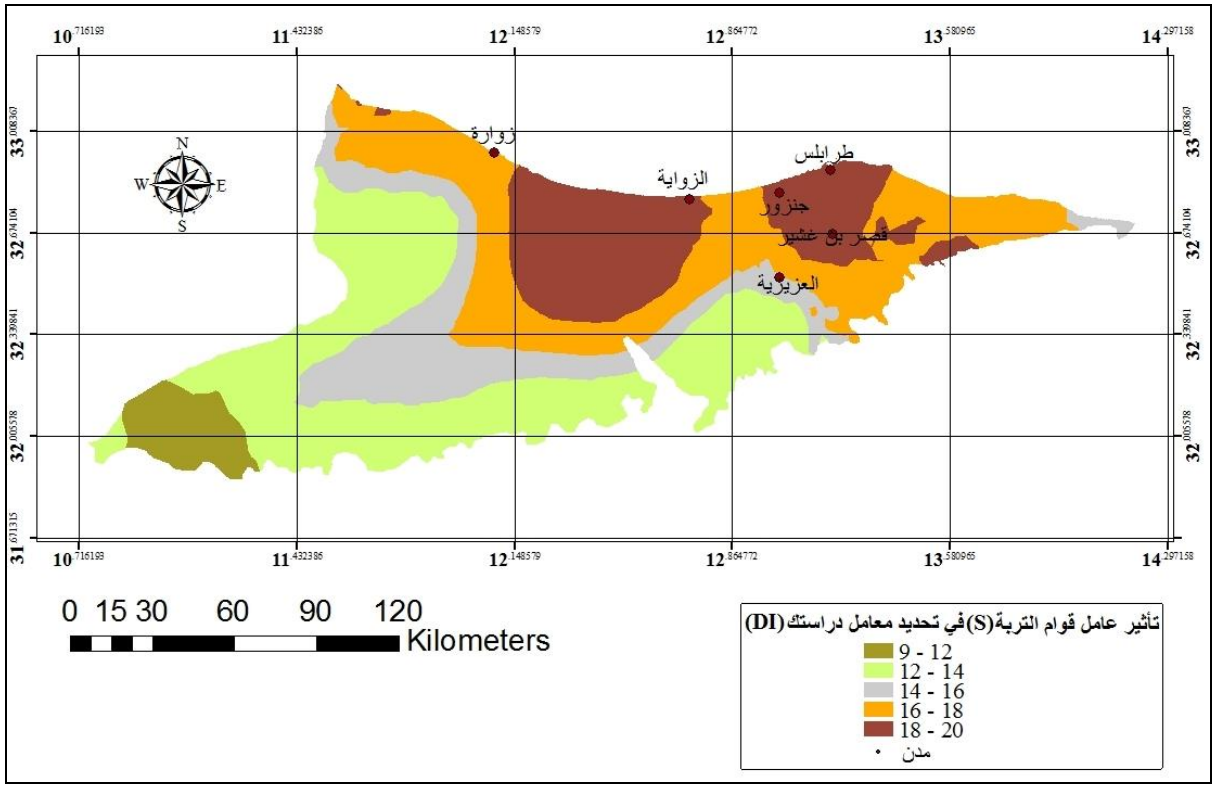
من خلال حساب تأثير عامل الوسط المسامي الحامل للمياه فى تحديد مؤشر دراستك اتضح أن منطقة الدراسة تم تخريطها إلى خمس وحدات تصنيفية، وهى منخفض جداً (9 - 14) ومنخفض (14- 17) ومتوسط (17- 19) وعالي (19 - 22) وعالي جدا (22 - 25).). إن الاختلاف فى درجات تأثير هذا العامل راجع إلى الاختلاف فى نوع وتركيب الطبقات المسامية الحاملة للمياه الجوفية، والخريطة (4) تبين تأثير عامل الوسط المسامي الحامل للمياه فى تحديد معامل دراستك.



خريطة 4. تأثير عامل الوسط المسامي الحامل للمياه فى تحديد معامل دراستك (DRASTIC).

نتائج تأثير عامل خصائص التربة (S) فى تحديد معامل دراستك (DI):

من خلال حساب تأثير عامل قوام التربة فى تحديد معامل دراستك أمكن الحصول على وحدات تصنيفية، وهى منخفض جدا (9 - 12) ومنخفض (12- 14) ومتوسط (14 - 16) وعالي (16 - 18) وعالي جدا (18 - 20)، كما يجب التنويه إلى أن التباين فى هذا العامل راجع فى الأساس إلى التباين فى رتب القوام الموجودة فى ترب سهل الجفارة، والخريطة (5) توضح تأثير عامل قوام التربة فى تحديد معامل دراستك.



خريطة 5. تأثير عامل خصائص التربة فى تحديد معامل دراستك.

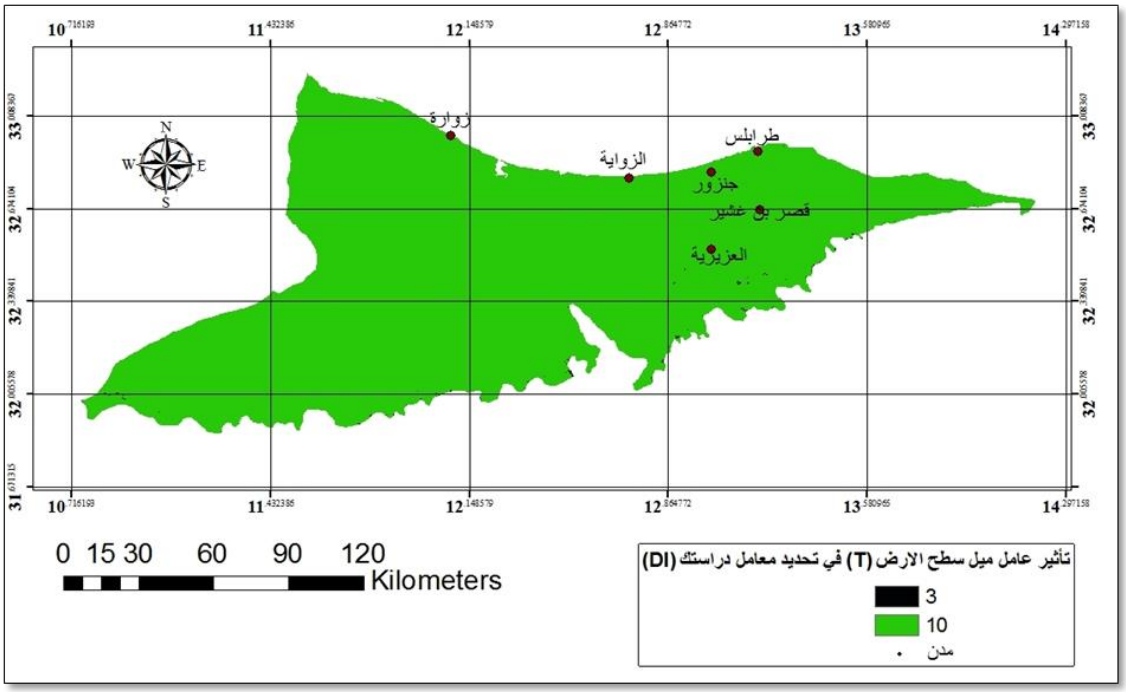
نتائج تأثير عامل الطبوغرافية (T) فى تحديد معامل دراستك (DI)

أوضحت البيانات المتحصل عليها من خريطة نموذج الارتفاع الرقمي أن أغلب أجزاء منطقة الدراسة ذات نسبة انحدار لا تزيد عن 2 %، بينما أجزاء قليلة من منطقة الدراسة ذات انحدار يتراوح ما بين 12 إلى 18 %، وبالتالي عند حساب تأثير هذا العامل فى تحديد مؤشر دراستك تم الحصول على درجتي تأثير فقط وهما درجة ذات قيمة تأثير 10 لأغلب أجزاء منطقة الدراسة، ودرجة ذات قيمة تأثير 3 لأجزاء بسيطة من منطقة الدراسة، والخريطة (6) توضح تأثير عامل الطبوغرافية فى تحديد معامل دراستك.

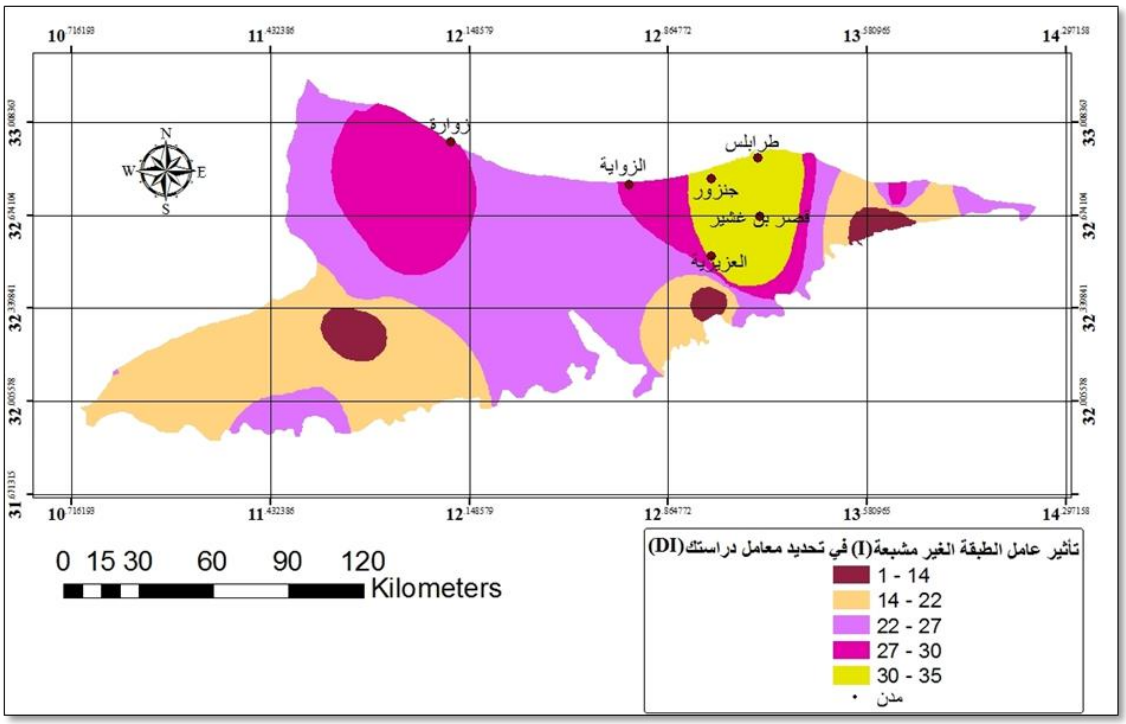
نتائج تأثير عامل المنطقة غير المشبعة (I) فى تحديد معامل دراستك (DI)

من خلال حساب تأثير عامل المنطقة غير المشبعة فى تحديد مؤشر دراستك تبين أن منطقة الدراسة صنفت إلى خمس وحدات تصنيفية، وهى منخفض جداً (1 - 14) ومنخفض (14- 22) ومتوسط (22- 27) وعالي (27 - 30) وعالي جدا (30 - 35).). إن التباين فى درجات تأثير هذا العامل راجع إلى التباين فى نوع وتركيب الطبقات الجيولوجية لمنطقة الدراسة، والخريطة (7) تبين تأثير عامل الطبقة غير المشبعة فى تحديد معامل دراستك.

المجلة الليبية للعلوم الزراعية، المجلد (24)، العددان (1) 2019: 38-58



خريطة 6. تأثيرعامل الطبوغرافية فى تحديد معامل دراستك (DRASTIC).



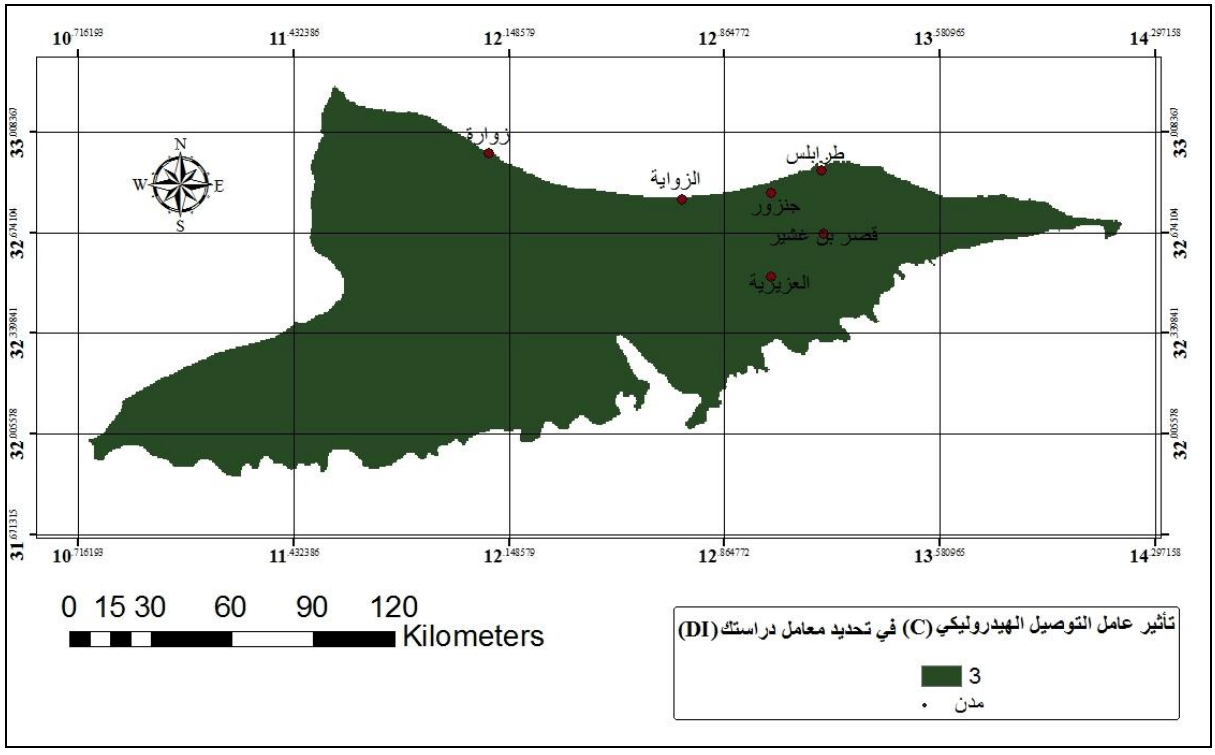
خريطة 7. تأثيرعامل الطبقة غيرالمشبعة فى تحديد معامل دراستك (DRASTIC)

نتائج تأثير عامل معامل التوصيل الهيدروليكي (C) فى تحديد معامل دراستك (DI)

أوضحت البيانات المتحصل عليها من الآبار الموجودة فى منطقة الدراسة أن قيم معامل التوصيل الهيدروليكي للآبار في المنطقة لا تتجاوز 4.07 متر/ اليوم، وبالتالي فإن الأهمية الوزنية للبيانات العددية لهذا العامل ذات قيمة تساوي 1، وعليه فإن حاصل ضرب الأهمية العددية فى الأهمية الوزنية لكافة عناصر النموذج تساوي 3 لعامل التوصيل الهيدروليكي، وعلى هذا الأساس تم الحصول على وحدة تصنيفية واحدة ذات قيمة وزنية تساوي 3، والخريطة (8) توضح تأثير عامل التوصيل الهيدروليكي فى تحديد معامل دراستك.

نتائج تقييم جودة البيانات المستخدمة فى تحديد معامل دراستك (DI)

تم تقييم جودة البيانات المتنبأ بها، وذلك من خلال الحصول على قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ (RMSE) لكافة خصائص نموذج دراستك، وأوضحت النتائج أن قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ لخصائص طريقة دراستك ذات قيم قريبة من الصفر، وأن أقل قيمة للجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ تم الحصول عليها من خلال حساب تأثير عامل الوسط المسامي الحامل للمياه ، بينما أعلى قيمية للجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ تم الحصول عليها من خلال حساب صافي التغذية فى تحديد معامل دراستك (الجدول 9)، ومن هنا يتضح أن الخرائط المكانية المتحصل عليها من هذه الدراسة يمكن الوثوق بها، وأن التباين فى قيم الجذر التربيعي لمتوسط مربع الخطأ راجع إلى التباين فى عدد العينات المدروسة وإلى دقة طرق تقدير هذه الخصائص.



خريطة 8. تأثير عامل التوصيل الهيدروليكي فى تحديد معامل دراستك (DRASTIC).

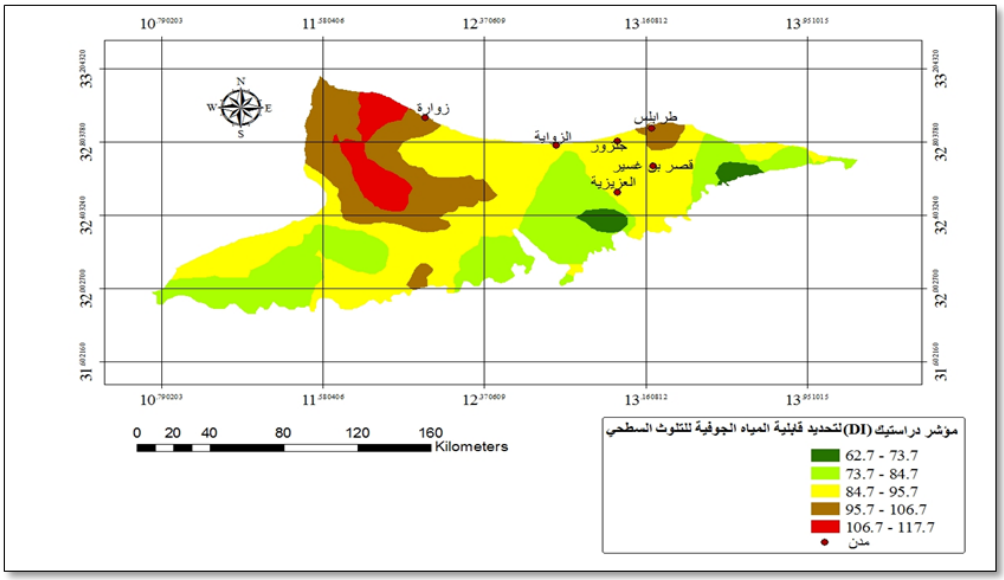
جدول 9. جودة البيانات لخصائص طريقة دراستك بالاعتماد على الجذر التربيعي لمربع الخطأ.

الخاصية	الجذر التربيعي لمربع متوسط الخطأ
D	0.25
R	0.35
A	0.01
S	0.11
T	0.15
I	0.04
C	0.12

نتائج مؤشر دراستك (DI) لتحديد قابلية المياه الجوفية للتلوث

بعد ما تم الحصول على الخرائط المكانية لكل عامل من العوامل المؤثرة فى تحيد مؤشر دراستك، تم استخدام خاصية Weighted Sum Overlay فى بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS 10.1) من أجل الحصول على مؤشر دراستك (DI)، وبينت النتائج أن منطقة الدراسة تم تخريطها إلى خمسة وحدات تصنيفية، وهى منخفض جداً (63 - 74) ومنخفض (74 - 85) ومتوسط (85 - 96) وعالي (96 - 107) وعالي جدا (107- 118) (الخريطة 9).

كما تبين االخريطة 9 والجدول 10 أن 50 % من منطقة الدراسة صنفت ذات قابلية تأثير للتلوث السطحي ما بين 85 - 96، وأن 27 % و 16 % و 5 % و 2 % من منطقة الدراسة صنفت ذات قابلية تأثير للتلوث السطحي ما بين 74 - 85 و 96 - 107 و 107 - 118 و 63 - 74 على التوالي.



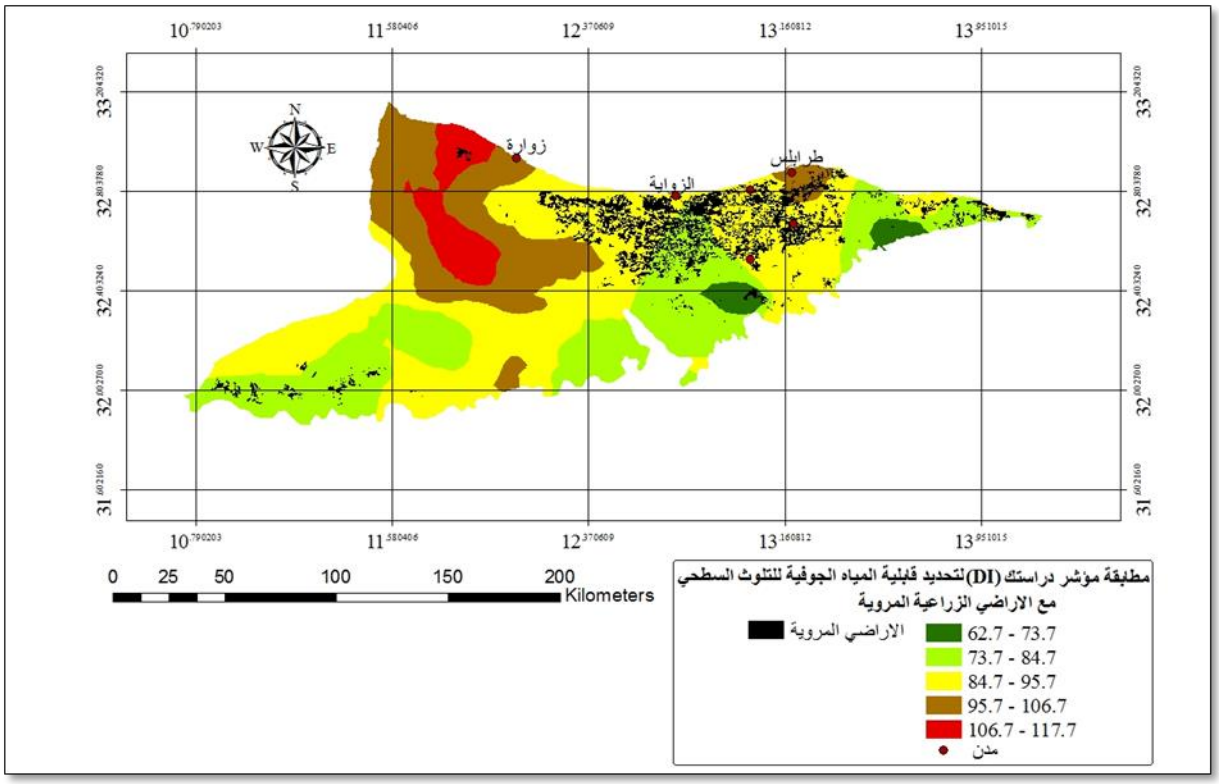
خريطة 9. مؤشر دراستك (DI) لتحديد قابلية المياه الجوفية للتلوث فى منطقة الدراسة.

المجلة الليبية للعلوم الزراعية، المجلد (24)، العددان (1) 2019: 38-58

جدول 10. مساحات ونسب مؤشر دراستك (DI) العام فى منطقة الدراسة.

طريقة دراستك العام (DI)	المساحة (ألف هكتار)	%
74-63	43.361	2
85 – 74	590.853	27
96 – 85	1113.358	50
107 – 96	360.153	16
118 - 107	112.675	5
المجموع	2220.4	100

كما بينت النتائج أنه عند مطابقة خريطة الأراضي المروية والمتحصل عليها من مشروع تخريط الموارد الطبيعية لسنة 2006 مع خريطة مؤشر دراستك المشار إليها سابقاً في الخريطة 9، أن أغلب أجزاء الأراضي المروية فى سهل الجفارة واقعة فى أراضي ذات قابلية تلوث ما بين 85 - 96، وأن أجزاء قليلة جداً من منطقة الدراسة ذات قابلية عالية للتلوث مقارنة بباقى منطقة الدراسة؛ لأنها واقعة فى حدود ما بين 107 - 118 (خريطة 10).



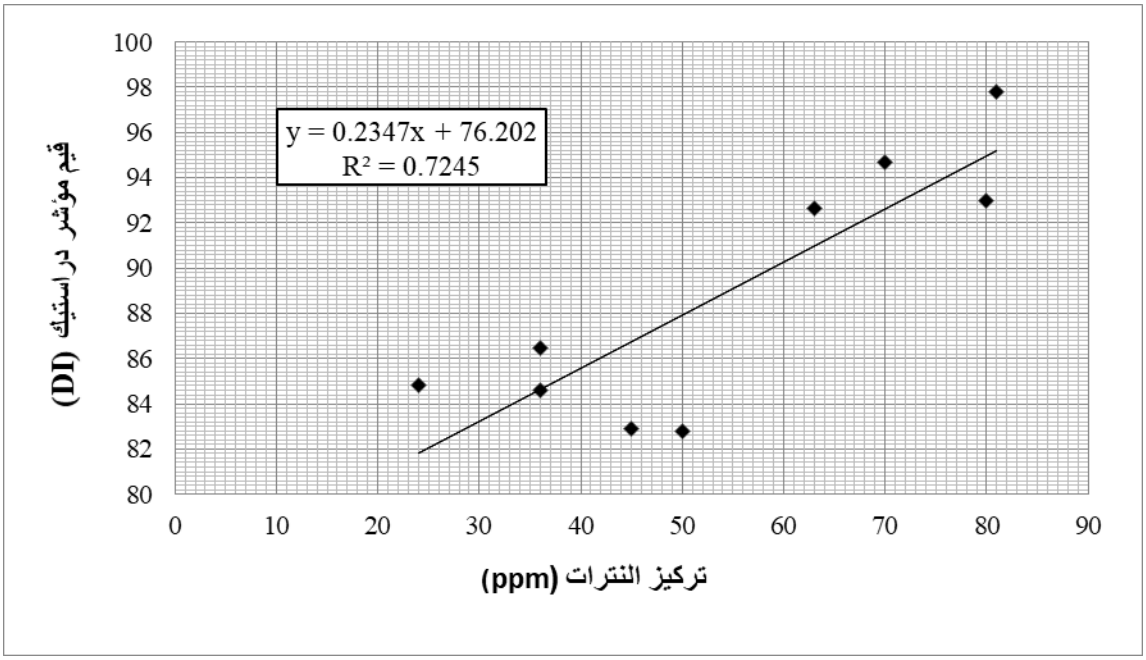
خريطة 10 . انتشار الأراضي المروية خلال مؤشر دراستك (DI) لمنطقة الدراسة.

المجلة الليبية للعلوم الزراعية، المجلد (24)، العددان (1) 2019: 58-38

كما تجدر الإشارة هنا إلى أن الخرائط المنتجة فى هذه الدراسة مختلفة تماماً عن تلك المنتجة فى دراسة القاضي (2008)، ويرجع هذا الاختلاف إلى اختلاف قيم وحدود العوامل الداخلة فى حساب مؤشر دراستك الذي استخدمها القاضي (2008) فى دراسته، والتي تختلف بالأساس عن تلك الموجودة فى النموذج الأصلي لمؤشر دراستك (Aller وآخرون، 1987)، وبالنظر إلى اختبار مدى صلاحية النموذج فى هذه الدراسة فإن النتائج المتحصل عليها فى هذه الدراسة هي الأكثر دقة.

نتائج اختبار صلاحية نموذج مؤشر دراستك (DI) باستخدام النترات :

للتأكد من صلاحية النتائج والخرائط المنتجة تم اختبار قيم مؤشر دراستك المتحصل عليها عند 9 مواقع، هي عبارة عن آبار تقع فى الخزان السطحى؛ بحيث تم جمع عدد 9 عينات من مياه الآبار الموجودة فى المناطق المروية، تم فيها تقدير تركيز النترات، وتبين أن هناك ارتباط خطي قوي بين مؤشر دراستك (DI) والتغير فى تركيز النترات فى منطقة الدراسة؛ حيث بلغ معامل الارتباط إلى 0.84 مما يشير إلى صلاحية النتائج المتحصل عليها من هذه الدراسة (الشكل 2). وتتطابق مثل هذه النتائج مع العديد من الدراسات التي أقيمت من أجل اختبار مدى صلاحية النتائج ومن أهمها (Abdelmadjid and Omar, 2013) الذي أوضح أن هناك ارتباطا قويا ما بين قيم مؤشر دراستك وتركيز النترات في مياه الخزان الجوفي فى شرق الجزائر.



شكل 2. اختبار مدى صلاحية مؤشر دراستك (DI) باستخدام النترات.

الاستنتاج

نستنتج من الدراسة أن استخدام نموذج دراستك (DRASTIC) فى نمذجة قابلية المياه الجوفية للتلوث السطحي تم من خلاله الحصول على خمس نطاقات مختلفة، وإن أغلب أجزاء منطقة الدراسة ذات قابلية للتلوث وواقعة فى نطاق ما بين 85 إلى 96. هذه النتائج سوف تساعد متخذي القرار فى اتخاذ القرار المناسب من أجل اختيار مواقع لإنشاء المشاريع التنموية والمحافظة على المناطق ذات الحساسية العالية للتلوث.

كما لوحظ من خلال هذه الدراسة أن خاصية عمق المياه الجوفية، وتركيب الوسط الحامل للمياه، وقوام التربة، والطبقة غير المشبعة هما من أكثر الخصائص تأثيراً فى نموذج دراستك فى نطاق منطقة الدراسة. وأشارت النتائج –أيضاً- إن هناك ارتباط قوي ما بين تركيز النترات مع مؤشر دراستك (DI)، وهذا دليل على ضرورة التخلص من المخلفات السائلة والصلبة عبر الوسائل السليمة التي قد يؤدي انتقالها مع مياه الأمطار أو مياه الري إلى تلوث الخزانات الجوفية. ومن خلال هذه الدراسة اتضح أن هناك حاجة ماسة لإنشاء قاعدة بيانات مكانية ووصفية للآبار الجوفية؛ وذلك لدراسة حساسية المياه الجوفية للتلوث فى ليبيا، كما استنتجت هذه الدراسة أن خريطة مؤشر دراستك يمكن الاستفادة منها فى عملية تخطيط استخدامات الأراضي المستقبلية للمساهمة فى حماية المياه الجوفية من الملوثات المحتملة.

المراجع

بن محمود، خالد. 1995. الترب الليبية (تكوينها - تصنيفها - خواصها - إمكانياتها الزراعية). الهيئة القومية للبحث العلمي .طرابلس، ليبيا، صفحات 449 - 460.

الخطيب، أحمد أحمد .2004. تلوث الماء الجوفي، المكتبة المصرية، الإسكندرية، مصر، صفحات 22 - 38.

سالم، على أحمد. 1996. مصادر المياه فى ليبيا، الدورة التدريبية حول استخدامات المياه المالحة فى الري، طرابلس، ليبيا، صفحات 12 - 16.

مركز البحوث الصناعية. 1975. الخريطة الجيولوجية ، مقياس رسم 250,000:1.

مشروع تخريط الموارد الطبيعية. 2006. وزارة الزراعة ليبيا.

Abdelmadjid, B. and S. Omar. 2013. Assessment of Groundwater Pollution by Nitrates Using Intrinsic Vulnerability Methods: A Case Study of the Nil valley Groundwater (Jijel, North-East Algeria). African Journal of Environmental Science and Technology, 7-10: 949-960.

Abdeslam, I., Fehdi, C. and D. Larbi. 2017. Application of drastic method for determining the vulnerability of an alluvial aquifer: Morsott - El Aouinet north east of Algeria: using ArcGIS environment. Energy Procedia on science Direct, 119 :308-317.

Aller, L. T., J. Bennett, R. Petty, and G. Hackett. 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Settings. National Water Well Association. Dublin, Ohio and Environmental Protection Agency.6: 35 - 87.

Al-Zabet, T. 2002. Evaluation of Aquifer Vulnerability to Contamination Potential Using the DRASTIC Method. Environmental Geology, 43: 203–208.

Butscher, C. and P. Huggenberger. 2008. Intrinsic Vulnerability Assessment in Karst Areas: A Numerical Modeling Approach. Water Resources Research; 44: 403 - 408.

Doerfliger, N., P.Y. Jeannin, and F. Zwahlen. 1999. Water vulnerability assessment in karst environments: A new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). Environmental Geology, 39(2):165 –176.

Foster, S.S.D. 1987. Fundamental Concepts in Aquifer Vulnerability Pollution Risk and Protection Strategy. The Vulnerability of soil and groundwater to pollutants Proceedings and Information, 38: 69–86.

Frind, E.O., J.W. Molson, and D.L. Rudolph. 2006. Well vulnerability: A quantitative approach for source water protection. Ground Water 44:732–742.

Helsel, D.R. and R.M. Hirsch. 1992. Statistical Methods in Water Resources. in Techniques of Water Resources Investigations of the United States Geological Survey Book 4, Hydrologic Analysis and Interpretation. United States Geological Survey, Reston, Chapter A3.

Martin, N. 2000. Groundwater Vulnerability Mapping: Decision support in Groundwater Resources Quality Protection, Expert Group Meeting on Implications of Groundwater Rehabilitation for Water Resources Protection and Conservation, Beirut, pp 3 - 4.

Van Stempvoort, D., L. Ewert, and L. Wassenaar. 1993. Aquifer Vulnerability Index: A GIS-Compatible Method for Groundwater Vulnerability Mapping. Canadian Water Resources Journal 1: 25–37.

THE LIBYAN JOURNAL OF AGRICULTURE
Volume (24), No. (1), 2019: 38-58

Modeling Groundwater Vulnerability to Ground Surface Pollution Sources (Case Study: Jeffara Plain, Libya)

Mukhtar Mahmud Elaalem, Younes Daw Ezlit and Abdelmotialeb Gheit Abdelslam
Department of Soil and Water- Faculty of Agriculture - University of Tripoli

Abstract

The unconfined groundwater aquifer system of limited extent and annual recharge in Northwestern Libya represents the only sustainably reliable water resource in this highly important region of the country. In addition, to being extensively depleted and mismanaged, it has been exposed in several locations to severe environmental pollution of diffuse and point source origins emanating from the intensively increasing and unregulated socioeconomic activities. To assess the vulnerability of this precious resource to environmental pollution by mobile pollutants from their different ground surface sources, the generic model known as "DRASTIC" is applied as it has been originally formulated and approved by the US Environmental Protection Agency (EPA). The various input parameters of the model were collected from spatially distributed locations believed to be sufficiently representative of the whole region. They are collected according to their ranks of importance and ranges of quantitative and/or qualitative evaluation. The refined values of the model parameters were processed by a Geographical Information System (ArcGIS 10.1) to predict the numerical values of the DRASTIC INDEX (ID) and mapping its spatial distribution throughout the study area. The Inverse Distance weight (IDW) method is used in this process.

The results of this investigation indicated that it is possible to produce highly reliable maps of the spatial distribution of each component parameter of the DRASTIC model. This is confirmed by the very low values obtained for the Root Mean Square Error (RMSE) as a precision indicator of the model prediction. The final results of the spatial mapping output indicated moderate groundwater vulnerability to environmental pollution from ground surface sources with the exception of some parts located in the Northwest of the study area, compared to the rest of the study area. To ascertain the reliability of its predictions the Model was evaluated with measured values of nitrate concentration in nine groundwater samples taken from wells in the Quaternary groundwater aquifer system. A high linear correlation with a regression coefficient of 0.84 is found between the spatial variation of nitrate concentration in the study area and the corresponding changes in predicted (DI) values.

It is concluded that the groundwater resources of the region, especially the shallow parts of the upper aquifer systems, should be protected against any planned or inadvertent exposure to ground surface contamination sources. The predicted spatial distribution maps of DRASTIC vulnerability index (DI) should provide guidance for the selection within the study area of sites and locations having the least (DI) for waste disposal of any harmful environmental impacts

Key Words: Drastic, GIS, Ground Water Surface, Pollution.

Author correspondence: Mukhtar Mahmud Elaalem. Soil and Water Dep.- Fac. of Agric.- University of Tripoli - Libya

Phone. +218911348236**.** **e-mail:** mukhtarelaalem@yahoo.com

Received: 19/12/2018 **Accepted: 18/3/2019**