

تقدير مصادر وقابلية تلوث المياه الجوفية في حوض الحصين (سوريا)

د. معتصم القادري**

وسام داود*

د. واثق رسول آغا****

د. قاسم نتوف***

الملخص

تكثر الهطولات المطرية والينابيع والمياه الجوفية في حوض الحصين ذو التكتشفات الصخرية الكارستية ومع ازدياد عدد السكان والاعتماد على الزراعة بشكل رئيس وضعف البنية التحتية لشبكات الصرف الصحي المتمثلة بقلة وجود محطات معالجة الصرف الصحي وكثرة الحفر الفنية، إضافة الى انتشار معاصر الزيتون، كان لابد من توقع امكانية تلوث المياه الجوفية. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مدى قابلية طبقات المياه الجوفية للتلوث في حوض الحصين، ومعرفة المناطق المعرضة لتلوث المياه الجوفية فيها، ولتحقيق ذلك تم استخدام طريقة دراستك (DRASTIC) وطريقة (EPIK) من خلال نظام المعلومات الجغرافي (GIS). تحتاج كلتا الطريقتين الى تحديد العديد من العوامل الجيولوجية والهيدروجيولوجية والتكتونية التي تلعب دوراً في تلوث المياه. أظهرت النتائج باستخدام طريقة (EPIK) أن قابلية التلوث عالية وتغطي مساحة قدرها 175 كم² أي ما نسبته (49.6%) من مساحة الحوض أما قابلية التلوث العالية باستخدام طريقة (DRASTIC) فغطت مساحة من الحوض قدرها 57 كم² أي ما نسبته (16.2%) من مساحة الحوض، ويعود هذا

* طالب دكتوراه - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعه دمشق - سوريا.

** أستاذ مساعد دكتور - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعه دمشق - سوريا.

*** دكتور - خبير نمذجة مياه جوفية في المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة اكساد.

**** أستاذ دكتور - قسم الجيولوجيا - كلية العلوم - جامعه دمشق - سوريا. - سوريا.

الاختلاف بين نتائج الطريقتين الى أن البارامترات لكل طريقة مختلفة عن الاخرى حيث تعتمد طريقة (DRASTIC) على سبع بارامترات أم طريقة (EPIK) فتعتمد على اربع بارامترات فقط اثنان منها (E,K) تعبر عن الفتحات الكارستية وتطور شبكة الكارست، لذلك يتمثل الاختلاف الرئيسي بين الطريقتين في قدرة الطريقة على وصف تطور الكارست، ويكون ذلك منطقيا عند معرفة أن منطقة الدراسة بها الكثير من المظاهر الكارستية.

الكلمات المفتاحية: قابلية تلوث المياه الجوفية، DRASTIC، EIPK، GIS، حوض الحصين، الساحل السوري.

Estimation of the sources and vulnerability of groundwater to pollution in the Al-Hussein Basin (Syria)

Wissam Daoud*
Dr. Kassem Natouf***

Dr. Mutasim Al-Qadri**
Dr. Wathek Rasoul Agha****

Abstract

Rainfall, springs and groundwater abound in the Al-Hussein Basin with karst rocky outcrops, and with the increase in the population and dependence on agriculture mainly and the poor infrastructure of sewage networks represented by the lack of sewage treatment plants and the large number of technical excavations, in addition to the spread of olive presses, it was necessary to anticipate the possibility of pollution Groundwater.

this study aim to assess the extent of the susceptibility of the aquifers to pollution in the Al-Hussein Basin, and to know the areas prone to groundwater pollution therein. To achieve this, the (DRASTIC) and (EPIK) method were used through the Geographical Information System (GIS). Both methods need to identify the many geological, hydrogeological and tectonic factors that play a role in water pollution.

The results using the (EPIK) method showed that the ability to pollute is high and covers an area of 175 km², which is a Percentage (49.6%) of the basin area. As for the high pollution potential using the (DRASTIC) method, it covered an area of 57 km², which is a Percentage 16.2% of the basin area. This difference between the results of the two methods is due to the fact that the parameters of each method are different from the other, where the (DRASTIC) method depends on seven parameters or the (EPIK) method depends on only four parameters, two of them (E, K) EPIKARST the karst openings and the evolution of the karst network. Therefore, the main difference between the two methods is the ability of the EPIK method to describe the development of karst, and this is logical when knowing that the study area has many karst manifestations.

Key words: groundwater vulnerability, DRASTIC, EIPK, GIS, Al-Hussein Basin, the Syrian coast.

* PhD student - Department of Geology - Faculty of Sciences - University of Damascus – Syria.

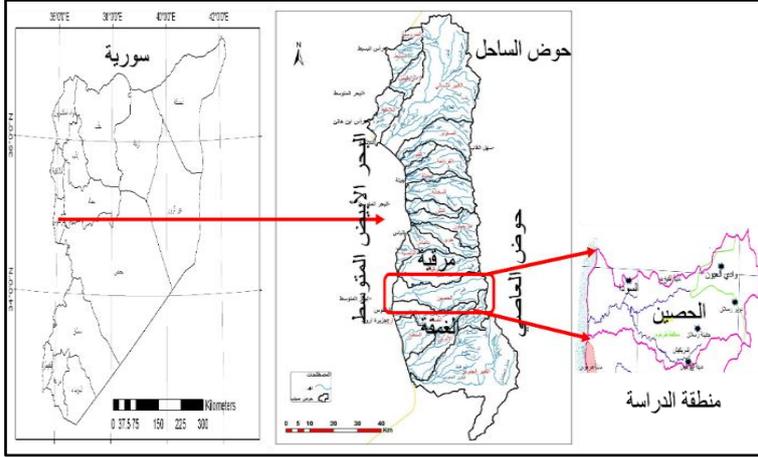
** Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Damascus, Syria.

*** Doctor - Groundwater Modeling Expert at the Arab Center for Studies of Arid Zones and Dry Lands ACSAD – Syria.

**** Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Damascus, Syria.

1- المقدمة

يقع حوض الحصين في الجزء الجنوبي من حوض الساحل السوري شرقي البحر المتوسط شكل رقم (1)، ويتمتع بموارد مائية غزيرة ويبلغ المعدل الوسطي السنوي لأمطاره (1038.7 مم/سنة) وتنتشر فيه بناييع يصل عددها إلى 16 نبعا، وتخرقه شبكة هيدروغرافية كثيفة وفي مقدمتها نهر الحصين وروافده الثلاثة (أنهار قيس والبلوطة والخابي)، ومع هذه الوفرة في الموارد المائية يتعرض الحوض صيفاً لعجز مائي لأسباب طبيعية تتمثل بالضياعات الكبيرة لمياه الجريانين السطحي والجوفي في البحر مما يؤدي الى جفاف معظم الانهار السطحية صيفاً، أما ما تبقى من مياه الانهار فتلوثه مخلفات الصرفيين الصحي والصناعي التي تصرف في اسرة تلك الانهار، الأمر الذي يحرم بمجملته الزراعة والصناعة من هذا المصدر المائي السطحي مما يؤدي الى تكثيف الاعتماد على المياه الجوفية لتعويض ذلك النقص وبالتالي إلى استنزافها ويفاقم من هذا الاستنزاف الهدر في استعمال تلك المياه الجوفية، وفي المحصلة تتضافر الأسباب الطبيعية والبشرية في تعريض الحوض الى العجز المائي وينعكس هذا العجز في تقنين إمدادات المياه لدرجة تصل أحيانا إلى الانقطاع لفترات طويلة، مما يشير بوضوح إلى الحاجة الماسة إلى إدارة رشيدة لموارد الحوض المائية.



الشكل رقم (1) يبين موقع حوض الحصين

لا تنحصر أبعاد المشكلة المائية في حوض الحصين بالناحية الكمية بل تتعداها إلى الناحية النوعية، التي تؤدي في المحصلة إلى إخراج كميات كبيرة من المياه من دائرة الاستعمال الآمن، وبالتالي إلى

تفاقم النقص في إمدادات المياه. لهذا ارتأينا البحث في مشكلة تلوث المياه الجوفية في حوض الحصين استكمالاً إلى إدارة رشيدة للموارد المائية في الحوض.

يقطن حوض الحصين حسب إحصائيات عام (2010) حوالي (376622) نسمة يعمل معظمهم في الزراعة، والبعض الآخر في الصناعات الحرفية البسيطة والخدمات. وتقتصر منطقة الحوض إلى شبكات صرف صحي نظامية لهذا يتم صرف معظم نواتج الصرف الصحي والزراعي (أسمدة ومبيدات حشرية) والصناعي في الشبكة الهيدروغرافية المنتشرة بكثافة في الحوض كما أسلفنا. ونظراً لكون الحوض مغطاً بتكشفات الصخور الكربوناتيّة الكريتاسية والجوراسية المشققة والمكرسته، فمن الطبيعي أن تأخذ هذه الملوثات طريقها إلى المياه الجوفية ويساعد في ذلك غزارة الجريان السطحي في الحوض. في ضوء هذه الأوضاع ارتأينا أن نحري مساحاً للتوزع السكاني ولكافة الفعاليات التنموية في الحوض وصولاً إلى تحديد مصادر التلوث وتوزعها المكاني، ومن ثم الانتقال إلى استخدام التقانات الحديثة في تحديد قابلية الأوساط المائية للتلوث في ضوء التكشفات الجيولوجية القائمة وخواصها الفيزيائية، لتحديد الأماكن المعرضة لتلوث المياه الجوفية وتقييم قُدْر (Magnitude) هذا التعرض، تمهيداً لإعداد خريطة تعرضيه المياه الجوفية لحوض الحصين للتلوث (*Vulnerability map*) وهي الهدف النهائي لهذا البحث.

2 - مواد وطرائق البحث

2-1- البرمجيات المستخدمة:

1- برنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS 10.5).

2- برنامج (Google Earth Pro).

2-2- البيانات والمعلومات المستخدمة:

1- خرائط جيولوجية مقياس 50.000/1 رقع بانياس طرطوس صافيتا القدموس قلعة الحصن مصياف[2].

2- خريطة هيدروجيولوجية مقياس 200000/1 حوض الساحل السوري[1].

3- خرائط طبوغرافية 50.000/1 رقع بانياس طرطوس صافيتا القدموس قلعة الحصن مصياف[2].

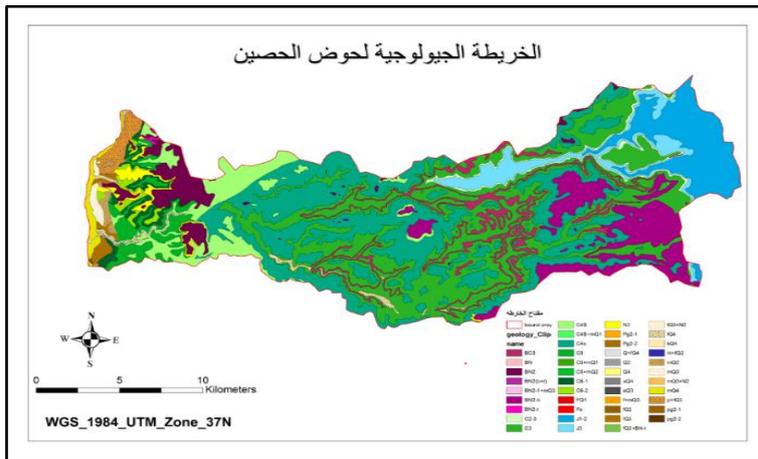
4- خريطة الترب[6].

5- خريطة استعمالات الاراضي[6].

6- صور فضائية ونموذج الارتفاعات الرقمي (DEM).

الأوضاع الجيولوجية والهيدروجيولوجية:

تتوضع منطقة الدراسة على السفوح الغربية للسلسلة الساحلية التي تمتد من الشمال إلى الجنوب وتشكل الجزء الناهض من انهدام الغاب، وتتحدر سطوح هذه السلسلة بشكل تدريجي باتجاه الغرب حتى البحر المتوسط. تتكشف في الحوض صخور الجوراسي والكريتاسي والنيوجين والرباعي من الشرق إلى الغرب، إضافة إلى وجود الصخور البازلتية في شرق وغرب منطقة الدراسة عائدة للنيوجين وللابيان في الجزء الأوسط من منطقة الدراسة [1.2.3] ويبين الشكل رقم (2) الخريطة الجيولوجية لحوض الحصين.



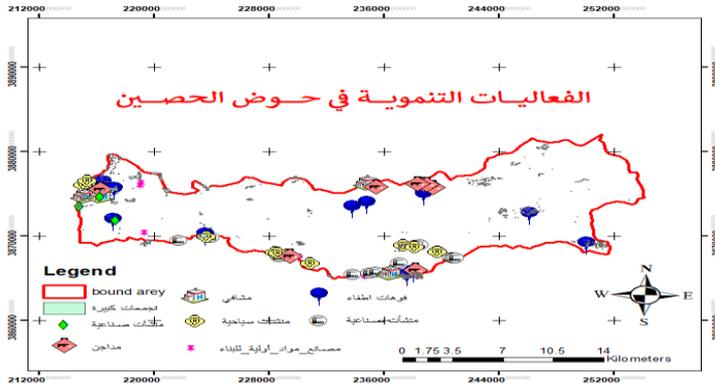
الشكل رقم (2) الخريطة الجيولوجية لحوض الحصين

ينتمي الحوض المائي الجوفي في منطقة الدراسة إلى الأحواض المائية الجوفية الساحلية الكارستية النموذجية (*Typical*) حيث تقع مناطق التغذية في قمم وسفوح الجبال عند التكتشفات الجوراسية والكارستية في الشرق على متوسط ارتفاع (1300م) فوق سطح البحر وتقع مناطق صرف وحركة المياه الجوفية في الجزء الأوسط والغربي من الحوض حيث تتحرك المياه في أفنية وكهوف كارستية سطحية أو عميقة من الشرق إلى الغرب وإلى الجنوب الغربي وتصرف مياهها أيضاً تحت سطح البحر على شكل ينابيع تحت بحرية. يتميز الوضع الهيدروجيولوجي في منطقة الدراسة بالانتشار الواسع

للطبقات الحاملة للمياه العائدة لأعمار مختلفة من الكريتاسي بمختلف طوابقه (التورونيان، السينومانيان، الالبان) والجوراسي.

تتميز التوضعات الكريتاسية بتناوبات بين أحجار كلسية ودولوميتية ثخينة التطبق ومشققة مع مارل وصخور كلسية مارلية مما هيا الظروف لتشكل عدة مستويات حاملة للمياه تفصل بينها مستويات كتيمية، إلا أن الانتشار المتقطع لهذه المستويات والنشاط التكتوني الذي تعرضت له المنطقة أدى إلى تشكل شقوق وصدوع أمنت أماكن نواذف واتصال هيدروليكي بين هذه المستويات الحاملة للمياه أفقياً وشاقولياً وبالتالي شكلت مجموعة مائية واحدة [5].

4- الفعاليات التنموية والتوزع السكاني في حوض الحصين: يقع حوض الحصين في الجزء الاوسط من محافظة طرطوس ويضم مجموعة من النواحي الكبيرة الدريكيش، جزء من ريف طرطوس، جزء من الشيخ بدر، جزء من السودا، بالإضافة الى وادي العيون العائدة لمنطقة مصياف في محافظة حماة والعديد من البلدات والقرى والمزارع المنتشرة بشكل كبير في منطقة الدراسة.
تعتبر الزراعة المهنة الرئيسة في المنطقة وأهم المحاصيل الزراعية هي (التبغ والحمضيات والاشجار المثمرة والخضراوات). كما تتشظ تربية الحيوانات وانتشار المداجن في الحوض.
تتشظ بعض الصناعات في حوض الحصين مثل صناعة الاسمنت، معمل تعبئة المياه المعدنية، معمل البيرة، صناعة الصابون، معامل البلوك والحجر بالإضافة الى المقالع والكسارات، ومعاصر الزيتون.
يوجد في الحوض عدد من المراكز الصحية مشفى الدريكيش. كما يوجد عدد من محطات الوقود المنتشرة في الحوض بالإضافة الى مراكز الدفاع المدني والكثير من المنشآت السياحية. ويبين الشكل رقم (3) توزع كافة النشاطات التنموية في الحوض.



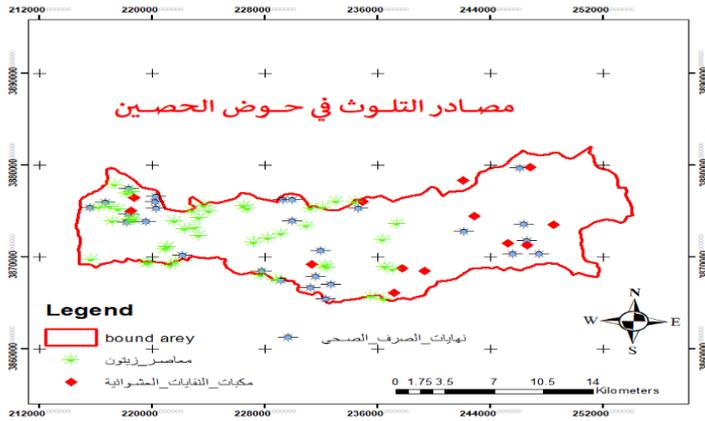
الشكل رقم (3) خريطة الفعاليات التنموية في حوض الحصين

5- مصادر التلوث المحتملة في حوض الحصين: تتعدد وتتوزع مصادر التلوث المحتملة بتنوع الفعاليات التنموية في الحوض وبين الشكل رقم (4) مصادر التلوث الرئيسية.

مصادر زراعية: تعتبر الأسمدة الكيميائية ومبيدات الحشرات والمخلفات الحيوانية المصادر الزراعية الرئيسية لتلوث المياه الجوفية حيث ينتج عنها تلوث بشوارد النترات والفوسفات والنترات بشكل رئيس عن الاستعمال المفرط وغير المنتظم للأسمدة الزراعية. إن التلوث بالأسمدة الزراعية لا يقتصر على التوضعات القريبة من سطح الأرض إنما يتعداها الى التوضعات الاخرى (سينومانان - تورونيان) حيث تنتشر البيوت الزراعية البلاستيكية بكثافة إذا أخذنا بعين الاعتبار النفاذية العالية لهذه التشققات بفعل عوامل التكتونية أو نتيجة عمليات الكرسطة.

مصادر صناعية: وتتمثل بمعاصر الزيتون ومكبات النفايات ومعامل الاسمنت والمسالخ والمقالع ومعامل الصابون والعديد من الصناعات الاخرى التي تصرف مياهها مباشرة الى مجاري الانهار أو الاودية ويجب التنويه الى خطورة مكبات النفايات الصلبة التي تتوضع في حفر طبيعية كارستية سطحية أو تكهفات كارستية مفتوحة من الاعلى وتكون مشققة وذات نفاذية عالية وينجم عنها تلوث بالنترات والنترات بالإضافة الى المعادن الثقيلة، أما النوع الثاني الاشد خطوره فهي معاصر الزيتون التي تنتشر بكثرة في الحوض وينتج عنها تلوث بالنترات والفوسفات وهي تلقي مياهها في الاودية مباشرة وتكمن خطورتها انها تعمل في فصل الشتاء وبالتالي سهولة وسرعة وصولها الى المياه الجوفية.

مصادر الصرف الصحي: تعتبر مياه الصرف الصحي واحدة من أخطر المشاكل اذ يؤدي تسربها الى خزانات المياه الجوفية الى تلوثها بشكل كبير وخطير وتكمن الخطورة في قلة شبكات الصرف الصحي وغياب محطات معالجة الصرف الصحي وبالتالي كثرة وانتشار الحفر الفنية حيث يوجد في حوض الحصين ثلاث محطات معالجة صرف صحي تخدم عدد قليل من القرى في القسم الغربي من الحوض وهي (محطة معالجة الاسمنت، محطة معالجة البصيرة، محطة معالجة خربة الفرس). كما تم إنشاء عدد من محاور الصرف الصحي هي (محور الدريكيش، محور الشيخ بدر، محور وادي العيون، محور القليعة الدلبة، محور جنينة رسلان) بعضها تم إنجازه بشكل كامل والآخر قيد الإنجاز بنسب استكمال مختلفة بالإضافة الى محطات معالجة لم يتم تنفيذها وهي (محطة الدريكيش، محطة القليعة والدلبة، محطة ساعين الغربية، محطة البريكة، محطة الشيخ بدر) وتلقى مياه الصرف الصحي في مجاري الانهار والودية. وينجم عنها تلوث بشوارد الامونيا والنترات والنشادر والنترت وتعتبر شاردة الامونيا دلالة رئيسية على التلوث بالصرف الصحي بالإضافة الى التلوث الجرثومي بعصيات الكوليفورم والايشيريشياكولي.



الشكل رقم (4) خريطة مصادر التلوث في حوض الحصين

6- خرائط إمكانية تعرض الأوساط الهيدروجيولوجية للتلوث:

تعرف قابلية المياه الجوفية للتلوث على أنها خاصية ذاتية للنظم الجوفية وتعتمد على الخواص الطبيعية للطبقات الجيولوجية والطبقة غير المشبعة التي تعلوها، بمعنى درع الحماية الطبيعية المتوفرة لطبقة المياه الجوفية [10] وتهدف إلى المساعدة في وضع إستراتيجيات حماية المياه الجوفية، وتحديد المناطق التي يجب أن توضع عليها قيود للاستخدام أو قيود على صرف المخلفات الناتجة عن الأنشطة البشرية القائمة عليها

6-1- دراسة مرجعية نظرية لهذه الخرائط (*DRASTIC*, *EIPK*)

هنالك العديد من الطرائق لتقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث. من هذه الطرائق طريقة (*DRASTIC*) وتم تطويرها بواسطة وكالة حماية البيئة الأمريكية. وطريقة (*PI*) وتم تطويرها بواسطة هيئة المسح الجيولوجي الحكومية الألمانية. وطريقة (*EIPK*) وتم تطويرها من قبل الخبراء السويسريين وتستخدم في المناطق الكارستية وطريقة (*COP*) المستخدمة في أوروبا في المناطق الكارستية أيضاً [11]. تعتمد معظم هذه الطرائق منهجية "المؤشرات والتراكب" التي تعتبر من أكثر المنهجيات استخداماً لتقييم قابلية تلوث المياه الجوفية في العديد من دول العالم. ويتم في هذه الطريقة جمع الخرائط التي لها علاقة بالعناصر والخواص المتضمنة في عملية تقييم قابلية تلوث المياه الجوفية مثل التربة، الجيولوجيا، عمق المياه الجوفية، ومعدل التغذية، وغيرها من الخواص التي تؤثر على قابلية المياه الجوفية للتلوث، وذلك لإيجاد مناطق متماثلة في خصائصها، ثم إعطاء قيم نوعية ونسبية موحدة لهذه المناطق. وباستخدام تطبيقات التراكب (المقاطعة المكانية) يتم الحصول على خرائط نسبية تمثل المناطق عالية وقليلة القابلية للتلوث. ويوجد لهذه المنهجية أكثر من تقنية، ومنها التقنيات التي تعطي أوزاناً مختلفة اعتماداً على أهمية هذا العنصر في منطقة الدراسة. ومن أكثر الطرق استخداماً لتنفيذ منهجية المؤشرات والتراكب لتقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث طريقة (*DRASTIC*) وطريقة (*EPIK*) [11].

طريقة *DRASTIC*

يتم في هذه الطريقة جمع خرائط المؤثرات الطبيعية التي لها علاقة في عملية تقييم قابلية تلوث المياه الجوفية مثل التربة، والجيولوجيا، وعمق المياه الجوفية، ومعدل التغذية، وغيرها، يتم إعطاء قيم نوعية ونسبية موحدة لهذه العناصر، وباستخدام تطبيقات نظام المعلومات الجغرافي يتم الحصول على خرائط لتقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث [10].

وتتضمن الطريقة سبعة مؤثرات أعطى الحرف الأول من كل كلمة منها اسم الطريقة (DRASTIC) كما يلي:

1. العمق إلى المياه الجوفية (Depth to water) تكون العلاقة بين عمق المياه الجوفية من سطح الأرض ودرجة خطورة تعرضها للتلوث علاقة عكسية فبازدياد عمق المياه الجوفية تقل درجة خطورة تعرض المياه الجوفية للتلوث [4]
2. تغذية المياه الجوفية (Recharge) تكون العلاقة بين تغذية المياه الجوفية ودرجة خطورة تلوث المياه الجوفية علاقة طردية فبازدياد كمية المياه المتسربة من سطح الأرض إلى المياه الجوفية تزداد كمية الملوثات المتسربة وبالتالي تزداد درجة خطورة تعرض المياه الجوفية للتلوث [4]
3. وسط الخزان المائي الجوفي: (Aquifer media) ترتبط قيمة هذا المؤثر بخصائص الصخور الحاملة للمياه الجوفية هل هي صخور متماسكة أم غير متماسكة وهل تحتوي هذه الصخور على فجوات وتكهفات ضمنها أم لا [4]
4. وسط التربة (Soil media) ترتبط قيمة هذا المؤثر حسب درجة تماسك هذه التربة حيث تشكل التربة المتماسكة جداراً قوياً يحمي المياه الجوفية من التلوث بينما تشكل التربة المتخلخلة وسطاً يسمح للملوثات بالمرور عبره والوصول إلى المياه الجوفية [4]
5. طبوغرافية المنطقة (Topography) إن العلاقة بين ميل سطح الأرض ودرجة خطورة تلوث المياه الجوفية علاقة عكسية أي في المناطق السهلية التي لا يميل السطح فيها كثيراً يكون زمن بقاء الملوثات على سطح الأرض كبيراً وبالتالي تكون درجة الخطورة عالية أما في المناطق شديدة الانحدار فتنتقل الملوثات بسرعة وبالتالي ليس لديها الوقت الكافي للتسرب إلى المياه الجوفية وتكون درجة الخطورة أقل [4]
6. تأثير نطاق التهوية (Impact of the vadose Zone) نطاق التهوية هو طبقة التربة والصخور الموجودة فوق سطح المياه الجوفية ويحدد نوع الصخور التي تشغل هذه المنطقة عمليات الإعاقلة لنقل الملوثات من السطح إلى المياه الجوفية وكذلك طول ومسار وزمن عمليات نقل الملوثات وبالنتيجة نحدد كمية الملوثات التي قد تنتقل من السطح إلى المياه الجوفية [4]

7. معامل الناقلية الهيدروليكية (Hydraulic Conductivity) تكون العلاقة بين قيمة هذا المؤثر ودرجة الخطورة علاقة طردية فكلما زادت قيمة هذا المؤثر كلما زادت احتمالية انتشار الملوثات ضمن طبقة المياه الجوفية [4]

تحدد درجة خطورة (Rating) لكل عنصر من العناصر السبعة الأثفة الذكر من 1 إلى 10 ، ويرمز لها بالحرف الأول من اسم العنصر واللاحقة (r) حيث أن القيمة (1) تعني احتمال تلوث قليل جدا أي أن درجة الحماية عالية ويضاف إلى العناصر السبعة وزن تأثير (Weights) يتراوح من 1 إلى 5 يعكس أهمية المؤثر واستعمالات الاراضي ودورها في زيادة خطورة المؤثر ويرمز له باللاحقة (w) حيث تمثل القيمة (1) العامل الاقل أهمية والقيمة (5) العامل الأكثر أهمية ويدرج في معادلة حساب الدالة بصيغة جداء [7] الجدول رقم (1) يبين البارامترات السبعة ودرجة خطورتها.

الجدول رقم (1) مؤثرات طريقة DRASTIC [4]

| طريقة DRASTIC | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|-------------------------------------|--------------|---|--------------|--------------|
| مؤثر عمق المياه الجوفية | | تغذية المياه الجوفية | | طبيعة الصخور الحاملة للمياه الجوفية | | |
| الوزن | عامل التثقيف | الوزن | عامل التثقيف | الوزن | عامل التثقيف | عالم التثقيف |
| عالم المياه بالمتر | درجة الخطورة | معدل تغذية المياه الجوفية مم/سنة | درجة الخطورة | طبيعة الصخور الحاملة للمياه الجوفية | درجة الخطورة | عالم التثقيف |
| 10 | 0-1.5 | 0-50 | 1 | صلصال أو طين كئيل | 2 | 3 |
| 9 | 1.5-4.5 | 50-100 | 3 | صخور متحولة أو بركانية | 3 | 3 |
| 7 | 4.5-9 | 100-175 | 6 | طين قاسي مشتمل على حجارة وحصى من مخلفات نهر جليدي | 5 | 3 |
| 5 | 9-15 | 175-250 | 8 | حجر رملي أو حجر كلسي مطبق | 6 | 3 |
| 3 | 15-23 | 250 | 9 | حجر كلسي | 6 | 3 |
| 2 | 23< | | | رمل وحصى | 8 | 3 |
| | | | | بازلت | 9 | 3 |
| | | | | حجر كلسي متكهف مع كآرست | 10 | 3 |
| الطبوغرافيا | | | | | | |
| الوزن | عامل التثقيف | الوزن | عامل التثقيف | الوزن | عامل التثقيف | عالم التثقيف |
| درجة الميل % | درجة الخطورة | طبيعة نطاق التهوية | مع زراعة | مع زراعة | عام | مع زراعة |
| 10 | 0-2 | وجود طبقة حيبيسة | 1 | عام | عام | مع زراعة |
| 9 | 2-6 | وجود الغضار | 3 | عام | عام | مع زراعة |
| 5 | 6-12 | وجود الغضار مع الرمل | 3 | 1 | 5 | مع زراعة |
| 3 | 12-18 | الحجر الكلسي | 6 | 6 | 6 | مع زراعة |
| 1 | 18< | الحجر الرملي | 6 | 6 | 6 | مع زراعة |
| | | الحجر الرملي والحجر الكلسي | 6 | 6 | 6 | مع زراعة |
| | | رمل مع حصى | 6 | 6 | 6 | مع زراعة |
| | | صخور نارية أو متحولة | 4 | 4 | 4 | مع زراعة |
| | | حصى كبيرة الحجم | 9 | 9 | 9 | مع زراعة |
| | | حجر كلسي متكهف | 10 | 10 | 10 | مع زراعة |
| التربة | | | | | | |
| الوزن | عامل التثقيف | الوزن | عامل التثقيف | الوزن | عامل التثقيف | عالم التثقيف |
| نمط الصخور | درجة الخطورة | النفاذية الهيدروليكية م/يوم | مع زراعة | مع زراعة | عام | مع زراعة |
| طبقة التربة رقيقة أو غائبة | 10 | 0.18-1 | 1 | 1 | 3 | مع زراعة |
| حصى | 10 | 0.18-0.54 | 2 | 2 | 3 | مع زراعة |
| رمل | 9 | 0.54-1.19 | 4 | 4 | 3 | مع زراعة |
| غضار متجمع ومتماسك | 7 | 1.19-1.8 | 6 | 6 | 3 | مع زراعة |
| رمل طفالي | 6 | 1.8-3.42 | 8 | 8 | 3 | مع زراعة |
| مزيج من طين ورمل وقش وطفال رملي | 5 | 3.42 | 10 | 10 | 3 | مع زراعة |
| طفال مع طمي | 4 | | | | 3 | مع زراعة |
| طفال غضاري | 3 | | | | 3 | مع زراعة |
| غضار غير متجمع وغير متماسك | 1 | | | | 3 | مع زراعة |

ويتم بعد ذلك حساب قيمة دالة في معادلة DRASTIC التي لها الشكل:

$$DRASTIC = Dr * Dw + Rr * Rw + Ar * Aw + Sr * Sw + Tr * Tw + Ir * Iw + Cr * Cw$$

كلما كانت الدالة ذات قيمة مرتفعة كلما كان هنالك قابلية للتلوث أو احتمال تلوث أكبر للمياه الجوفية فالدالة تتراوح قيمتها بين (35-350) وتصنف قيم الدالة بين خمس فئات للقابلية وهي: منخفضة، منخفضة قليلاً، معتدلة، مرتفعة قليلاً، مرتفعة.

شاع استخدام طريقة DRASTIC لتقييم قابلية تلوث المياه الجوفية في العديد من دول العالم. ونتج عنها خريطة تمثل قابلية المياه الجوفية للتلوث من الأنشطة السطحية.

طريقة EPIK

تم تطوير هذا الطريقة بدعم من المكتب الفدرالي السويسري للبيئة والغابات والمناظر الطبيعية [12] تستخدم في رسم خرائط قابلية تعرض الخزانات المائية الجوفية الكارستية للتلوث، وتوفير أساساً لإنشاء مناطق حماية المياه الجوفية في الاوساط الكارستية [8]. تعتمد هذه الطريقة على عناصر جيولوجية وجيومورفولوجية وهيدروجيولوجية. ويشير الاختصار EPIK إلى العناصر الأربعة التالية [9]:

1. **فتحات النطاقات الكارستية (Epikarst)** يمثل وصول الكهوف الجوفية الى سطح الارض على شكل فتحات كارستية أو نطاقات مشققة طريق لانتقال ملوث من سطح الارض الى سطح المياه الجوفية مباشرة وكلما كانت هذه النطاقات متطورة جدا كلما كانت درجة خطورة تلوث المياه الجوفية عالية [9].

2. **غطاء الحماية (Protective cover)** يعرف بأنه ثخانة غطاء التربة والتكوينات الجيولوجية غير الكارستية التي تغطي الخزان الجوفي وكلما زادت ثخانته زادت حماية المياه الجوفية من التلوث [9]

3. **ظروف التسرب (Infiltration condition)** يوجد نوعان من ظروف التسرب الاول عبر فتحات النطاقات الكارستية وبالتالي يشكل قابلية عالية للتلوث أما التسرب الثاني يتعلق بمياه الجريان السطحي الذي يعتمد على انحدار الارض وخريطة استخدامات الاراضي [9]

4. **تطور شبكة الكارست (Karst network)** يؤدي تطور الشبكة الكارستية ودرجة تنظيمها دوراً كبير في قابلية تلوث المياه الجوفية، فكلما كانت الشبكة متطورة وذات قنوات اقطارها تتراوح من ديسميرات الى متر كانت اكثر احتمالية للتلوث [9]

يتم تعيين وزن لكل من هذه العناصر بين (1-3) وتوزع حسب درجات الحماية الى مجموعة من الفئات تتراوح بين (1-4) ويبين الجدول رقم (2) توصيف هذه العناصر .

الجدول رقم (2) عناصر طريقة الـ EPIK ودرجة الحماية [9]

| طريقة EPIK | | | | | | |
|---------------------|---------------------------------|---------|------------------------|---------|---|---|
| نطاق الحماية P | | | فتحات نطاقات الكارست E | | | |
| التقييم | الوصف | التقييم | الوصف | التقييم | الوصف | |
| 1 | P1 2000 سم من التربة | 1 | E1 متطور جدا | 1 | مناجم وكهوف، حقول كارستية، الكشافات ذات التصدمات العالية | |
| 2 | P2 1000-2000 سم من التربة | 3 | E2 قليل التطور | 3 | مناطق وسيطة في محاذات الوديان، الكشافات ذات تشقق متوسط | |
| 3 | P3 1000-2000 سم من التربة | 4 | E3 صغير أو غائب | 4 | غياب ظاهرة الكارست وكثافة قليلة لتشقوق | |
| 4 | P4 أكبر من 2000 سم من التربة | | | | | |
| تطور شبكة الكارست K | | | ظروف التسرب I | | | |
| التقييم | الوصف | التقييم | الوصف | التقييم | الوصف | |
| 1 | K1 شبكة كارست متطورة جدا | 1 | I1 | 1 | هواة دائمة أو مؤقتة تغور فيها المياه، مناطق من أحواض المياه تحوي على صرف صفي | |
| 2 | K2 شبكة كارست ضعيفة التطور | 2 | I2 | 2 | مناطق أحوض المياه بدون صرف صفي والتي تزيد ميلها عن 10% للمناطق المزروعة وأكثر من 25% للمزارع والمراعي | |
| 3 | K3 طبقة مياه مختلطة | | | 3 | I3 | مناطق أحوض المياه بدون صرف صفي والتي يقل ميلها عن 10% للمناطق المزروعة وأقل من 25% للمزارع والمراعي |
| | | | | 4 | I4 | بقية الحوض الساكب |

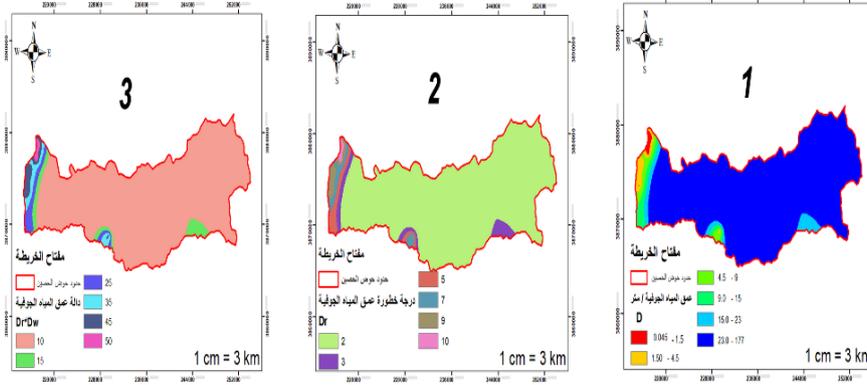
يُحسب مؤشر الحماية الإجمالي Fp عن طريق جمع درجات الحماية لكل فئة من معلمة معينة مضروبة بالوزن المخصص كما هو في معادلة حساب دالة EPIK بالصيغة التالية: $Fp = 3E + 1P + 3I + 2K$ الحد الأدنى لقيمة معامل الحماية هو (9) والحد الأعلى هو (34) حيث تشير القيم الدنيا إلى مناطق ذات قابلية تلوث عالية على عكس طريقة دراستك ويقسم عامل الحماية إلى أربع فئات للقابلية وهي منخفضة، متوسطة، عالية، عالية جدا.

7- النتائج والمناقشة:

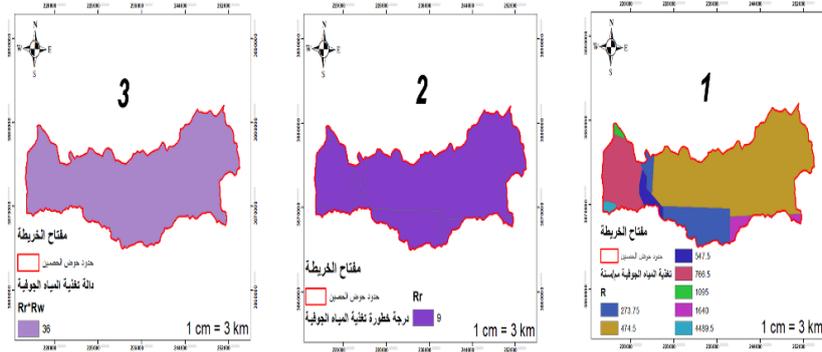
7-1- حساب بارامترات دالة الـ (DRASTIC) تم اعداد خرائط قابلية تلوث المياه الجوفية في حوض الحصين باستخدام برنامج (GIS 10.5) وكانت النتائج على الشكل التالي:

1. مؤثر عمق المياه الجوفية: تم الحصول على معلومات عن اعماق المياه في الآبار العائدة لمديرية الموارد المائية في حوض الحصين ومعالجتها باستخدام برنامج (GIS) وتبين أن أعماق سطح المياه الجوفية تتراوح بين (0-15) متر في القسم الغربي من الحوض إلى (23-275)

متر في باقي أجزاء الحوض الشكل رقم (5-1) وبناء عليه أعطيت درجة خطوره (Dr) وفق ما ورد في الجدول رقم (1) كما في الشكل (5-2) أما معامل التثقيل هو (DW=5) لكامل الحوض الشكل رقم (5-3).

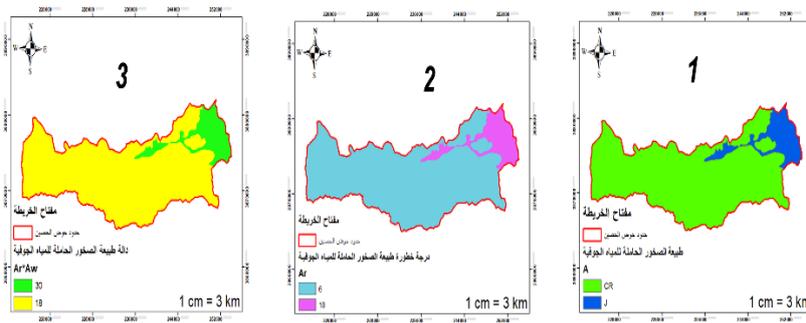


الشكل رقم (5) حساب درجة الخطورة حسب مؤشر عمق المياه الجوفية في حوض نهر الحصين
 2. مؤثر تغذية المياه الجوفية: تم الحصول على خريطه التغذية من مديرية الموارد المائية لحوض الحصين [1] واعادة رسمها باستخدام (GIS) الشكل رقم (6-1) وتحويلها الى درجة خطورة (Rr) وفق ما ورد في الجدول رقم (1) الشكل (6-2) ليصار الى ضربها بمعامل التثقيل (RW = 4) على كامل الحوض الشكل(6-3).



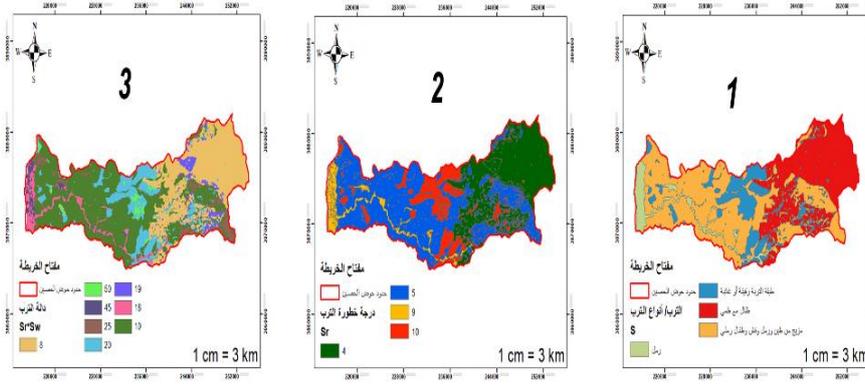
الشكل رقم (6) حساب درجة الخطورة حسب مؤثر تغذية المياه الجوفية في حوض نهر الحصين

3. مؤثر طبيعة الصخور الحاملة للمياه الجوفية: بعد دراسة الابار الاستكشافية العائدة لمديرية الموارد المائية في طرطوس ودراسة الخريطه الهيدروجيولوجية لحوض الساحل الحامل الرئيسي في الحوض هو حامل الكريتاسي (السينومانيان - تورونيان) بالإضافة الى حامل الجوراسي الشكل رقم (1-7) وتم إعادة رسم الخريطة حسب مؤشر الخطورة (A_r) وفق ما ورد في الجدول رقم (1) الشكل (7-2) ليصار الى إعطائها وزن تتقيل ($A_w=3$) الشكل (7-3).



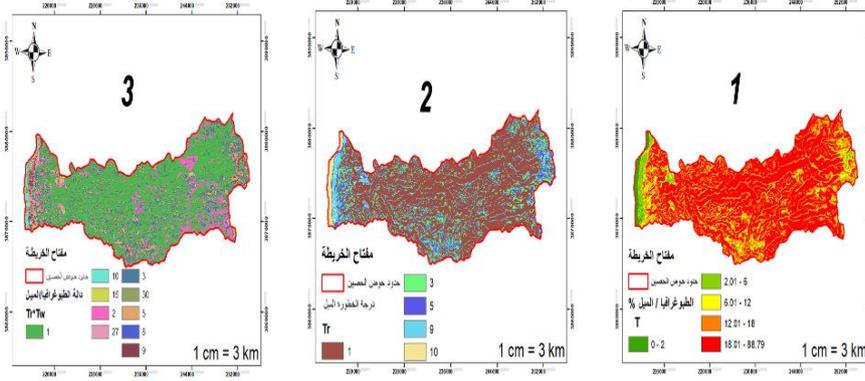
الشكل رقم (7) حساب درجة الخطورة حسب مؤثر طبيعة الصخور الحاملة للمياه الجوفية في حوض نهر الحصين

4. **مؤثر التربة:** بعد دراسة خريطة الترب التي تم الحصول عليها من وزارة الزراعة [6] ودراسة دليل اترية طرطوس [6] يتوزع في الحوض اربع أنواع من الترب وهي الرمل في القسم الغربي من الحوض وبالقرب من سرير نهر الحصين، مزيج من طين ورمال وقش وطفال رملي في القسم الاكبر من الحوض في غرب ووسط الحوض، طبقة التربة رقيقة أو غائبة في جزء من القسم الشرقي ووسط الحوض، وطفال مع طمي في القسم الشرقي من الحوض الشكل رقم (8-2) تم إعادة رسم الخريطة بعد إعطائها درجة خطورة (Sr) وفق ما ورد في الجدول رقم (1) كما في الشكل رقم (8-2) ليصار الى ضربها بمعامل تثقيل في مناطق غياب الزراعات ومعامل التثقيل في حال وجود زراعة في المنطقة (Sw=5) الشكل رقم (8-3).



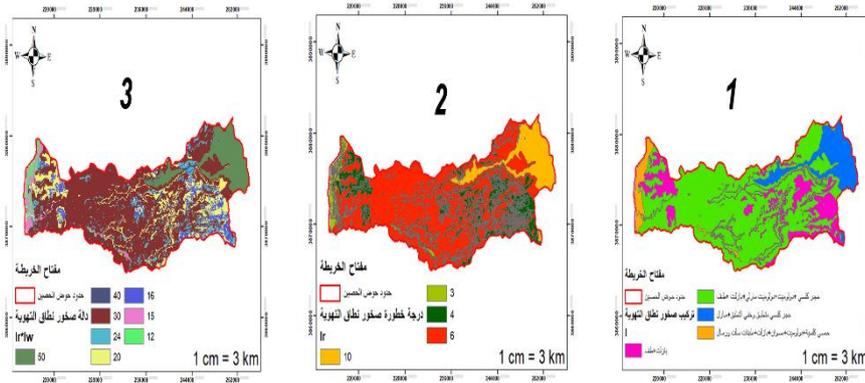
الشكل رقم (8) حساب درجة الخطورة حسب مؤثر الترب في حوض نهر الحصين

5. **مؤثر الطبوغرافيا:** تم الحصول على نموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) من موقع المساحة الجيولوجية الامريكية ورسمنا خريطة الانحدار (Slope) باستخدام برنامج (GIS) الشكل رقم (9-1) واعادة رسمها حسب درجة الخطورة (Tr) وفق ما ورد في الجدول رقم (1) الشكل رقم (9-2) وضربها بمعامل التثقيل (TW=1) في مناطق غياب الزراعات وفي المناطق الزراعية تم اعطائها معامل تثقيل (TW=3) الشكل رقم (9-3).



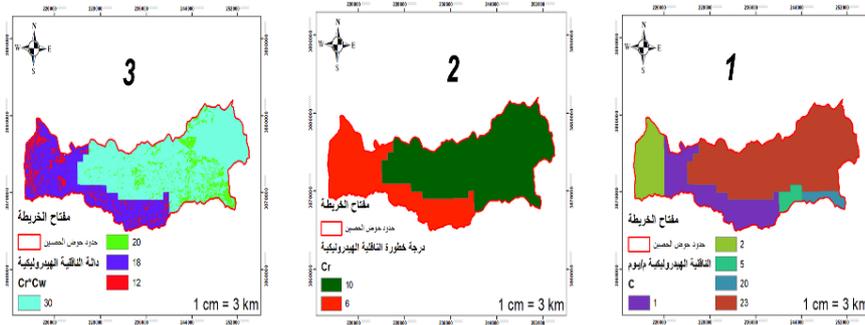
الشكل رقم (9) حساب درجة الخطورة حسب مؤثر الميل الطبوغرافي في حوض نهر الحصين

6. مؤثر نطاق التهوية: تم دراسة الخريطة الليتولوجية التي تم الحصول عليها من الهيئة العامة للاستشعار عن بعد [3] وتبين توزع الغضار مع الرمال بالقرب الغربي من جوار النهر وتوزع الصخور النارية في مناطق متفرقة من الحوض بالإضافة الى انتشار الحجر الكلسي في القسم الاكبر من الحوض والحجر الكلسي المتشقق في القسم الشرقي من الحوض الشكل رقم (10-1) تم اعادة رسم الخريطة واعطائها درجة خطورة (Ir) وفق ما ورد في الجدول رقم (1) الشكل رقم (10-2) وضربها بمعامل تثقيل (Iw=5) في المناطق الزراعية واعطائها معامل تثقيل (Iw=4) في المناطق التي تغيب فيها الزراعات الشكل رقم (10-3).



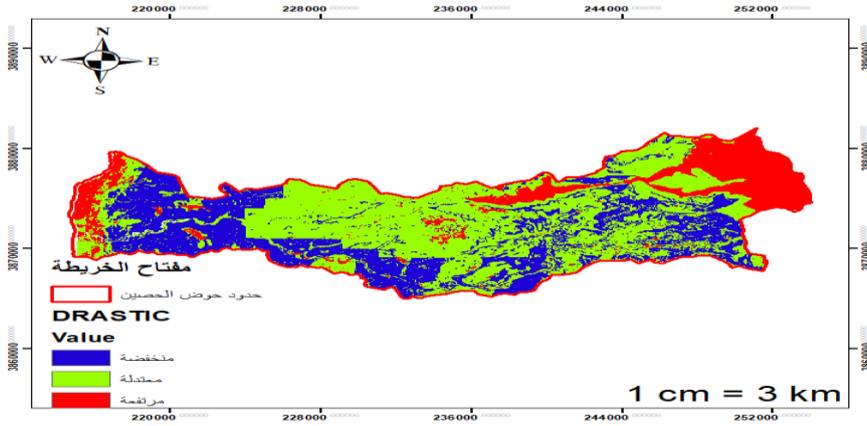
الشكل رقم (10) حساب درجة الخطورة حسب نطاق التهوية في حوض نهر الحصين

7. مؤثر الناقلية الهيدروليكية: تم الحصول على خريطة الناقلية الهيدروليكية من الدراسة الاقليمية لحوض الساحل [1] واعادة رقمنتها الشكل رقم (11-1) واعطائها درجة خطورة (Cr) وفق ما ورد في الجدول رقم (1) الشكل رقم (11-2) ليصار الى ضربها بمعامل التثقيب (CW=3) في المناطق الزراعية واعطائها معامل تثقيب (CW=2) في المناطق التي تغيب فيها الزراعات الشكل رقم (11-3).



الشكل رقم (11) حساب درجة الخطورة حسب مؤثر الناقلية الهيدروليكية في حوض نهر الحصين

بعد الانتهاء من بناء واعداد الخرائط للمؤثرات السبعة تم الحصول على خريطة قابلية المياه الجوفية للتلوث الشكل رقم(12) بتطبيق معادلة (DRASTIC) في برنامج (ArcGis) مستفيدين من الاداة (Raster Calculator) الموجوده في صندوق الادوات (ArcToolbox).



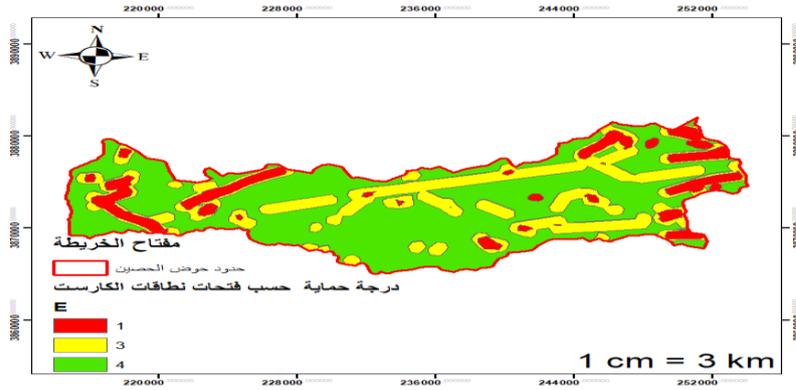
الشكل رقم (12) خريطة قابلية تلوث المياه الجوفية حسب(DRASTIC)

أظهرت الخريطة أن قيم دالة (DRASTIC) في حوض نهر الحصين تتراوح بين (99-222) وان قابلية التلوث تكون عالية في القسم الشرقي من الحوض وهي اماكن ارتفاع تغذية المياه الجوفية نتيجة وجود الفتحات الكارستية، وفي القسم الغربي من الحوض نتيجة قرب سطح المياه الجوفية من سطح الارض بالإضافة الى طبيعة الترب الرملية الموجودة في الجزء الغربي من المنطقة وهي تعتبر مناطق الصرف الرئيسية لذلك يجب الاهتمام بهاتين المنطقتين بشكل كبير وتأمين الحماية اللازمة لهما للحفاظ على المياه الجوفية من التلوث.

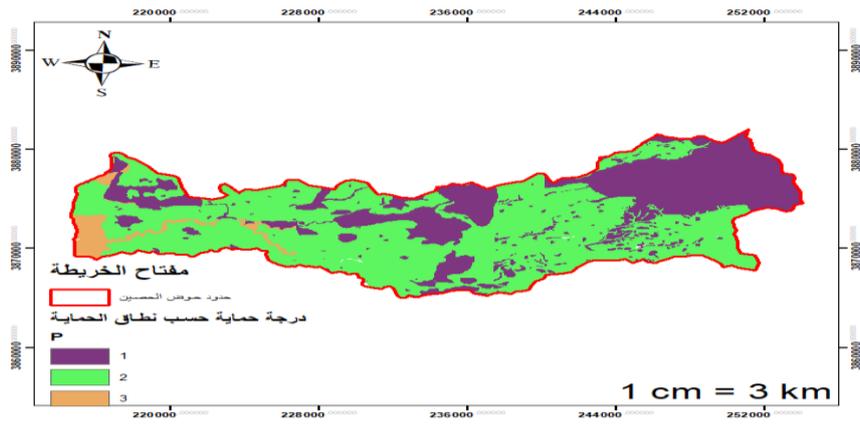
7-2- حساب مؤثرات دالة الـ (EPIK) تم اعداد خرائط قابلية تلوث المياه الجوفية في حوض

الحصين وفق طريقة EPIK باستخدام برنامج (GIS 10.5) وكانت النتائج على الشكل التالي:
A. مؤثر فتحات النطاقات الكارستية (Epikarst): تم الحصول على الخريطة الهيدروجيولوجية وخريطة الفوالق والقسمات الخطية من الهيئة العامة للاستشعار عن بعد ورقمنة أماكن وجود

الفتحات الكارستية ومسارات الفوالق وإعادة تصنيفها حسب درجات حمايتها الواردة في الجدول رقم (2) ويبين الشكل رقم (13) نتائج التصنيف.

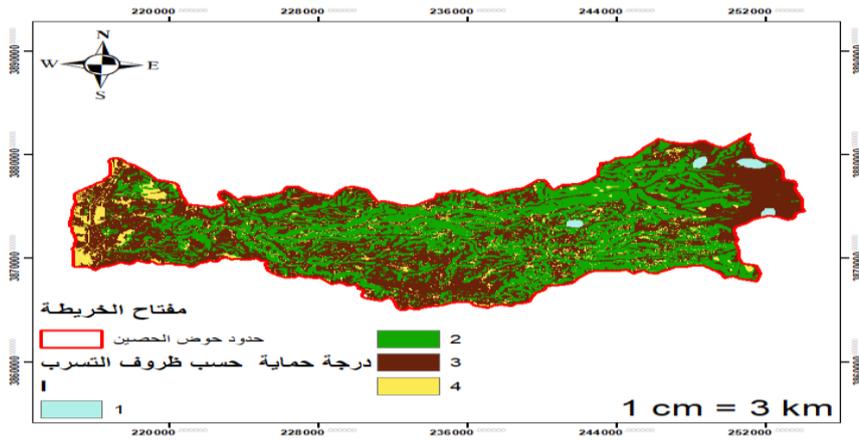


الشكل رقم (13) نتائج تصنيف درجة حماية حوض نهر الحصين وفق مؤثر فتحات نطاقات الكارست مؤثر غطاء الحماية (Protective cover): تم الحصول على خريطة التربة من وزارة الزراعة ودليل اترية طرطوس التي تبين سماكة التربة في الحوض والتي تتراوح بين (0-200) سم ثم تمت إعادة رسمها وإعطائها درجة الحماية وفق مؤثر الحماية الواردة في الجدول رقم (2) ويبين الشكل رقم (14) نتائج التصنيف.



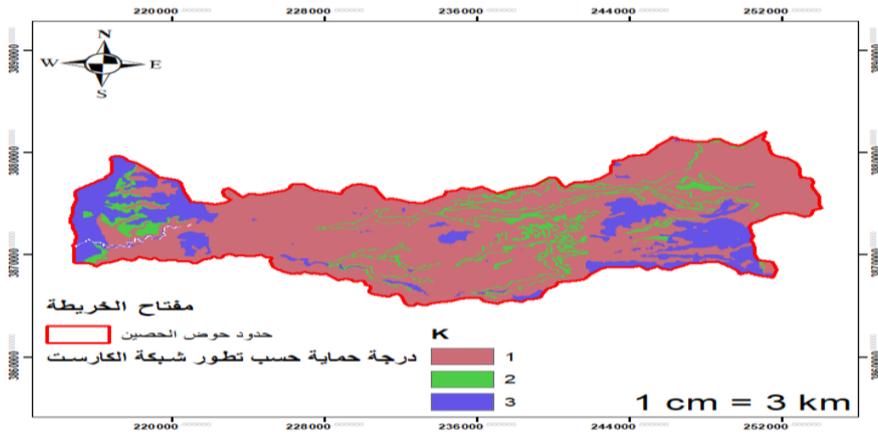
الشكل رقم (14) نتائج تصنيف درجة حماية حوض نهر الحصين وفق مؤثر غطاء الحماية

C. **ظروف التسرب (Infiltration condition):** تم الحصول على خريطة استخدامات الاراضي من وزارة الزراعة وخريطة الميول من نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM) وتم اعادة رسم خريطة استخدامات الاراضي الى مناطق زراعية ومروج ومراعي واستخدامات اخرى ومقاطعها مع خريطة الميول واعادة رسمها حسب درجة حمايتها الواردة في الجدول رقم (2) ويبين الشكل رقم (15) نتائج التصنيف.

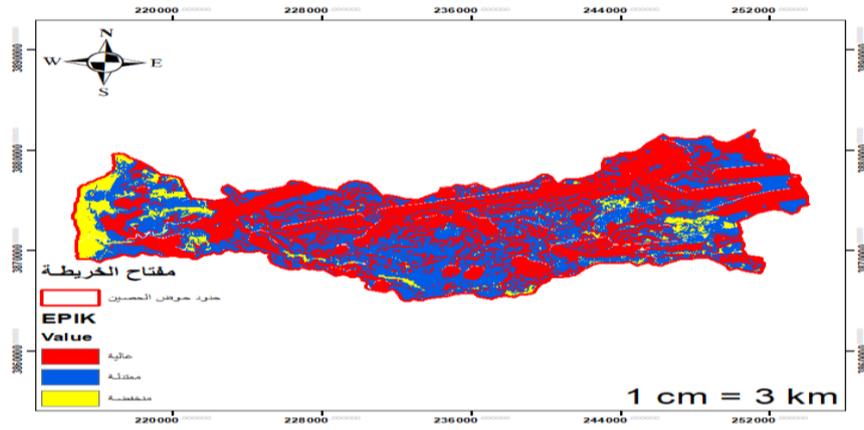


الشكل رقم (15) نتائج تصنيف درجة حماية حوض نهر الحصين وفق مؤثر ظروف التسرب

D. تطور شبكة الكارست (Karst network): بناء على الخريطين الهيدروجيولوجية والجيولوجية والمقاطع الجيولوجية العرضية تم اعتبار ان الصخور العائده للجوراسي والكريتاسي (السينومانيان - تورونيان) ذات شبكة كارستية متطورة أما الصخور العائده للكريتاسي (ابسيان البيان، ماستريختيان) فذات شبكة كارستية قليلة التطور أما البازلت فيغطي باقي المناطق وتم اعاده رسم الخريطه الجيولوجية حسب درجة حمايتها الواردة في الجدول رقم (2) ويبين الشكل رقم (16) نتائج التصنيف.



الشكل رقم (16) نتائج تصنيف درجة حماية حوض نهر الحصين وفق مؤثر تطور شبكة الكارست بعد الانتهاء من اعداد الخرائط الاربعة المذكور اعلاه التي تبين تصنيف حوض نهر الحصين حسب درجة حمايته من التلوث وفق طريقة EPIK تم تطبيق معادلة حساب دالة (EPIK) وتم اعداد خريطة قابلية المياه الجوفية للتلوث في برنامج (ArcGis) مستفيدين من الاداة (Raster Calculator) الموجوده في صندوق الادوات (ArcToolbox) والحصول حسب طريقة (EIPK) الشكل رقم (17).



الشكل رقم (17) خريطة قابلية تلوث المياه الجوفية حسب (EPIK)

أظهرت الخريطة أن قيم دالة (EPIK) تتراوح بين (9-30) وأن قابلية التلوث تكون عالية في القسم الأكبر من الحوض نتيجة الطبيعة الكارستية للحوض وهي متوافقة مع فتحات النطاقات الكارستية والفوالق وتطور شبكة الكارست.

بمطابقة خريطة قابلية المياه الجوفية المعدة بطريقة (DRASTIC) الواردة في الشكل (12) والمعدة بطريقة (EPIK) الواردة في الشكل (17) يمكن القول بأن كلتا الطريقتين أشارت إلى ارتفاع قابلية المياه الجوفية للتلوث شرق الحوض، وتتشرك الطريقتان بأن سبب ذلك وجود منطقة تغذية المياه الجوفية في الأجزاء الشرقية من الحوض و طبيعة الصخور الحاملة للمياه و هي حجر كلسي كارستي مشقق يضاف الى ذلك تتفرد طريقة DRASTIC بأن السبب هو القيم العالية للنقلية الهيدروليكية في المنطقة الشرقية كما تتفرد طريقة EPIK بأن السبب هو غياب نطاق الحماية في المنطقة وتختلف الطريقتان في الأجزاء الغربية المتاخمة للبحر بسبب اعتماد طريقة DRASTIC على مؤثر العمق إلى المياه الجوفية وهو ما تغفله طريقة EPIK.

7-2- النتائج

1- بينت نتائج حساب دالة (DRASTIC) أن درجة الخطورة في حوض نهر الحصين تتراوح بين (99-222). وقدرت مساحة المنطقة ذات القابلية العالية للتلوث بـ (57 كم²) مانسبته

- 16.1%) من مساحة الحوض. وقدرت مساحة المنطقة ذات القابلية المعتدلة للتلوث بـ (176 كم²) مانسبته (49.8%) من مساحة الحوض. وقدرت مساحة المنطقة ذات القابلية المنخفضة للتلوث بـ (120 كم²) مانسبته (34.1%) من مساحة الحوض.
- 2- بينت نتائج حساب دالة (EIPK) تتراوح بين (9-30). وقدرت مساحة المنطقة ذات القابلية العالية للتلوث بـ (175 كم²) مانسبته (49.6%) من مساحة الحوض. وقدرت مساحة المنطقة ذات القابلية المعتدلة للتلوث بـ (153 كم²) مانسبته (43.3%) من مساحة الحوض. وقدرت مساحة المنطقة ذات القابلية المنخفضة للتلوث بـ (25 كم²) مانسبته (7.1%) من مساحة الحوض.
- 3- بمقارنة نتائج طريقتي (DRASTIC) و(EIPK) في حوض الحصين المائي الجوفي ذو الطبيعة الكارستية يمكن القول أن طريقة (EIPK) أكثر فعالية من طريقة (DRASTIC) كون مؤثراتها تأخذ في الحسبان الطبيعة الكارستية للحوض الذي تغطية مساحات واسعة تنتشر فيها الفوالق والفتحات الكارستية وقد انعكس ذلك بارتفاع نسبة المساحة ذات القابلية العالية للتلوث.
- 4- توافق في قابلية التلوث العالية بين الطريقتين في القسم الشرقي فقط من الحوض ونظرا لأنه المصدر الأساسي لتغذية المياه الجوفية وذو هطولات مطرية عالية. يجب ان يولى برنامج حماية المياه الجوفية من التلوث فيه أهمية خاصة
- 5- القسم الأكبر من مصادر التلوث الرئيسية في الحوض (مكبات النفايات، الصرف الصحي، معاصر الزيتون) تقع في المناطق ذات القابلية العالية للتلوث، مما يتطلب من الجهات المسؤولة عن إدارة الموارد المائية للحوض اتخاذ الإجراءات الوقائية اللازمة لمنع تلوث المياه الجوفية في حوض الحصين.

المراجع:

- 1- المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة أكساد، وزارة الأشغال العامة الشركة العامة للدراسات المائية، ووزارة الموارد المائية الهيئة العامة للموارد المائية، (2015)، مشروع دراسة الموازنة المائية التفصيلية في حوض الساحل التقرير الهيدروجيولوجي، دراسة غير منشورة.
- 2- المؤسسة العامة للجيولوجيا، (1983)، المذكرة الإيضاحية والخريطة الجيولوجية القدموس وبانياس وطرطوس وقلعة الحصن وصافيتا ومصيف، دراسة غير منشورة.
- 3- الهيئة العامة للاستشعار عن بعد، المؤسسة العامة لمياه الشرب والصرف الصحي بطرطوس، (2001)، تحديد مناطق أمل لمصادر مائية جديدة رافده في محافظة طرطوس باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد والنظم الرافية، دراسة غير منشورة.
- 4- ليندو اكر و زملاؤها - DRASTIC طريقة قياسية لتقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث باستخدام المعطيات الهيدروجيولوجية - إصدار وكالة حماية البيئة الأمريكية - 1985
- 5- محمد، أحمد، يوسف، نور الدين، سعده، حنان، (2011)، النظام المائي للمياه الجوفية الحرة بين حوضي نهري الغمقة والأبرش - جنوب طرطوس، مجلة جامعة تشرين، المجلد 37، رقم العدد (4)، 165-181.
- 6- وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي.
- 7- Aller, L., Bennett, T., Leher, J. H. and Petty, R.J., 1985, "DRASTIC : A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings," U.S. EPA, Robert S.Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, EPA/600/2-85/0108, 163p.
- 8- Doerfliger, N. and F. Zwahlen, 1995. EPIK: a new method for outlining of protection areas in karst environment. In: Günay G., Johnson I. (eds.) Proceedings 5th International symposium and field seminar on karst waters and environmental impacts. Antalya, Sep. 1995, Balkema, Rotterdam, pp. 117-123.
- 9- Doerfliger, N. and Zwahlen, F. 1998. Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK), Practical Guide. Swiss Agency for the Environment. Forests and Landscape (SAEFL). Berne, 56.

- 10- Foster, S.S.D., 1998, Groundwater Recharge and Pollution Vulnerability of British Aquifers: A Critical Review. In: ROBINS, N.S. (Ed.): Groundwater Pollution, Aquifer Recharge and Vulnerability, Geological Society of London, Special Publ., 130, pp. 7-22; London
- 11- 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, /ESCWA/ENR/2000/WG.3/4.)
- 12- SAEFL (Swiss Agency for Environment, Forests and Landscape), 1998. Practical Guide: Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK); Application to Groundwater Protection Zones.