

## وضع خرائط قابلية المياه الجوفية للتلوث باستخدام منهج (PI Method) منطقة الدراسة (حوض مرقية-حوض الحصين) في محافظة طرطوس

الدكتور عمار دباليز\*

علاء أحمد\*\*

(تاريخ الإيداع 29 / 2 / 2016. قَبْلُ للنشر في 12 / 12 / 2016)

### □ ملخص □

إن الهدف الرئيس من البحث هو إعداد خريطة حساسية (قابلية تلوث) الخزان الجوفي للتلوث باستخدام منهج PI بهدف إجراء عملية تقييم لمنطقة الدراسة (حوض الحصين وحوض مرقية) في محافظة طرطوس . تشكل المنطقة المدروسة جزءاً من حوض الساحل، على الساحل الشرقي للبحر المتوسط وتقع شمال مدينة طرطوس بين خطي عرض (34.50'.00") و (35.10'.00") شمال خط الاستواء وبين خطي طول (35.50'00") و (36.20'.00") شرق خط غرينتش وتبلغ مساحتها حوالي 700 km<sup>2</sup> . تعتمد الطريقة المتبعة على برنامج (GIS) تم استخدام برنامج ArcGIS 10 واستخدام مجموعة الأدوات (Spatial Analyst Tools GIS) وتأخذ بالاعتبار أهمية المناطق الكارستية، العوامل الجيولوجية، المناخية، التضاريس واستعمالات الأراضي، وكل من هذه العوامل يتم إنشائها على شكل طبقة ليتم في النهاية بمقاطعها مع بعضها وإخراج خريطة قابلية المياه الجوفية للتلوث (vulnerability map) . تم إنشاء جميع الخرائط المتعلقة بمنطقة الدراسة بشكلها الرقمي وتطبيق عمليات التحليل عليها وإخراج خريطة قابلية التلوث (vulnerability map) والتي هي عبارة عن خريطة مقسمة إلى مجالات وكل مجال فيها يمثل احتمالية تلوث المياه الجوفية في هذه المنطقة فيما إذا كانت مرتفعة أو منخفضة . النتائج التي حصلنا عليها في هذه الدراسة تشير إلى أن حوالي 41 % من منطقة الدراسة ذات قابلية عالية لتلوث المياه الجوفية و 59 % ذات قابلية معتدلة، منخفضة ومنخفضة جداً لتلوث المياه الجوفية .

الكلمات المفتاحية : مياه جوفية - قابلية تلوث المياه الجوفية- منهج GIS - PI - حوض الحصين-حوض

مرقية

\*مدرس - قسم الهندسة البيئية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية  
\*\*طالب ماجستير - قسم الهندسة البيئية-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية

## Mapping of Groundwater Vulnerability to Contamination Using (PI) Method Study area (Marqieh and Alhousen watershed ) in Tartous

Dr.AmmarDabaliz\*  
Alaa Ahmad\*\*

(Received 29 / 2 / 2016. Accepted 12 / 12 / 2016)

### □ ABSTRACT □

The research mainaim is Mapping of Groundwater Vulnerability to Contamination Using (PI) Method toevaluatethe study area (Marqieh and Alhousen watershed ) in Tartous governorate. The area of study forms a part of the coast basin, on the east coast of the Mediterranean Sea, located north of the Tartous governorate between , 34 50'00" , 35' 10'00" latitude in the north of the equator, and , 35 50'00" , 36' 20'00" longitude in the east of the Greenwicharea covers about 700 Km2. The PI method is a GIS-based approach(We use ARCGIS .10 and the tool : Spatial Analyst Tools) , and gives special methodological tools for karstic aquifer , geological conditions , climate , relief , land use , all these conditions are mapped separately as individual maps and then integrated to achieve the groundwater vulnerability map.

all the maps related to the study area was created in digital form and apply analysis processes to create vulnerability map which is a map divided to the fields and every field represents the possibility of contamination of groundwater in this region, whether high or low .

The results obtainedfrom this study indicate that about 41% of the study area is under high groundwater vulnerability, 59% is under moderate, low and very low vulnerability.

**Keywords :** Groundwater -Groundwater Vulnerability-PI Method- GIS-Alhousen watershed-Marqiehwatershed .

---

\* Assistant Professor , Department of environmental engineering, faculty of civil engineering , Tishreen university , Lattakia , Syria .

\*\* postgraduate Student, Department of environmental engineering, faculty of civil engineering, Tishreen university, Lattakia , Syria .

## مقدمة :

تعد المصادر الجوفية للمياه خصوصاً في المناطق الكارستية مصدراً أساسياً لمياه الشرب من حيث الكمية والنوعية، وهذه المصادر يهددها خطر التلوث نتيجة لنشاطات الإنسان، لذلك تعد حماية وإدارة هذه المصادر هدفاً وأولوية في جميع الدول .

إن حماية المياه الجوفية تبدأ بتقييم قابلية ( حساسية ) المياه الجوفية للتلوث، ومن أجل هذا الغرض يتوجب وضع خريطة لقابلية المياه الجوفية للتلوث ( vulnerability map ) التي توضح فيها المناطق التي إمكانية تلوثها أكبر من غيرها بالاستناد إلى الخصائص و الظروف الهيدروجيولوجية. إن البحث يقوم على منهج PI ويعتمد على برنامج GIS الذي تتم فيه دراسة الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية و المناخية وطبيعة الأرض واستخدامها ، كل من هذه الخواص تأخذ طبقة ضمن برنامج GIS ومن خلالها نستطيع إنشاء خريطة قابلية التلوث (الحساسية) vulnerability map . (ATAALLAH , 2010)

تم أخذ حوض مرقية وحوض الحصين في محافظة طرطوس كمنطقة دراسة.

## أهمية البحث وأهدافه :

إن الهدف الرئيس من البحث هو إعداد خريطة حساسية (قابلية تلوث) vulnerability map الخزان الجوفي باستخدام منهج PI بهدف إجراء عملية تقييم لمنطقة الدراسة ( حوض الحصين وحوض مرقية ) في محافظة طرطوس .

تكمن مشكلة البحث في تحديد المناطق الجوفية التي تجعلها ظروفها البيئية ضعيفة جداً تجاه التلوث الحاصل على سطح الأرض ، حيث أن كمية ونوعية المياه الجوفية أصبحت عرضة للخطر في العقود الأخيرة سواء كانت مصدر للشرب والري أو كجزء من التوازن البيئي . وهناك مجموعة من مصادر التلوث تهدد المياه الجوفية وتؤثر على جودتها مثل طمر النفايات العشوائي ، وزيادة النشاط الزراعي و الصرف الصحي كما أن الحماية والإدارة المثلى لمصادر المياه الجوفية خصوصاً في المناطق الكارستية تشكل هدفاً رئيسياً في جميع الدول في الوقت الحالي .

## طرائق البحث و مواده :

### وضع خرائط قابلية المياه الجوفية للتلوث :

خرائط حساسية (قابلية تلوث) المياه الجوفية هي تقنية علمية جديدة نسبياً ظهرت في أواخر الستينات واستخدمت من أجل دعم خطط استخدام الأراضي وصناعة القرار وتدابير حماية البيئة وإدارة الموارد وهي تعتبر أداة معيارية لحماية المياه الجوفية . وهذه العملية لها صلة وثيقة بالنواحي الإدارية والقضايا السياسية وتشكل أساساً لاكتشافات لاحقة ، ولا توجد طريقة واحدة ثابتة بسبب اختلاف إمكانية جمع البيانات بين منطقة وأخرى ، حيث أن هناك طرق تحتاج للتوزع المكاني لأكثر من 10 بارامترات و بيانات دقيقة جداً .

تعتمد طريقة PI على برنامج GIS ويمكن أن تطبق على كافة أنواع الخزانات الجوفية مع أخذ اعتبارات خاصة للمناطق الكارستية حيث تعد المياه الجوفية في المناطق الكارستية المصدر الأساسي لمياه الشرب في العالم حيث ستصل نسبة مياه الشرب المأخوذة من المناطق الكارستية إلى 80% عام 2025 (Ford and Williams,1989).

### تعريف قابلية المياه الجوفية للتلوث :

ظهر مصطلح aquifer vulnerability عام 1968 ليشرح درجة الحماية التي تمنحها الطبيعة لمنع وصول وتسرب الملوثات إلى المياه الجوفية ( Adams and Foster, 1992 ) ، وقد وضع العلماء والمعاهد البحثية عدداً من التعاريف لقابلية تلوث المياه الجوفية groundwater vulnerability و من هذه التعاريف :  
إن حساسية المياه الجوفية هي الخصائص الذاتية ( خصائص الخزان الجوفي ، وطبقات الحماية ) التي تحدد مدى قابلية تلوث مناطق مختلفة من الخزان الجوفي والتي تخضع لحمل ملوثات (Foster and Hirata. 1988).  
وفي تعريف آخر هي ميل أو احتمال وصول الملوثات إلى منطقة محددة من خزان المياه الجوفية عندما تنتج هذه الملوثات في نفس المنطقة أعلى هذا الخزان الجوفي (US National Research Council .1993) .

### طرق وضع خرائط الحساسية (vulnerability mapping) :

وهناك عدة طرق لوضع خرائط الحساسية vulnerability mapping  
-منهج DRATIC المستخدم في US وهو مناسب للمناطق التي تكون فيها البيانات قليلة وهو أبسط من باقي النماذج

- منهج GLA وتعديلاته ومنها منهج PI المستخدم في ألمانيا

-منهج EPIK المستخدم في سويسرا

- منهج COP المستخدم في أوروبا وخاصة في المناطق الكارستية

إن اختيار المنهج المناسب مرتبط بعدد العوامل المرعاة في التقييم بالإضافة إلى مقياس الخريطة وتوفر البيانات والمعلومات المكانية والغرض من الخريطة (Margane، 2003) .

جدول (1) مناهج تحليل قابلية تلوث المياه الجوفية وبارامتراتهما .

Name	parameters					
	D	R	A	S	U	O
<b>DRATIC</b>	*	*	*		*	*
<b>COP</b>	*				*	*
<b>EPIK</b>	*				*	*
<b>Aquifer Vulnerability Index AVI</b>	*				*	
<b>PI</b>	*	*	*		*	*

(depth of water) = D عمق المياه

(recharge) = R إعادة التغذية

(aquifer characteristics) = A خصائص الخزان الجوفي

(saturated zone characteristics) = S خصائص الطبقة المشبعة

(unsaturated zone characteristics) = U خصائص الطبقة غير المشبعة

(other characteristics) = O خصائص أخرى مثل الكارست

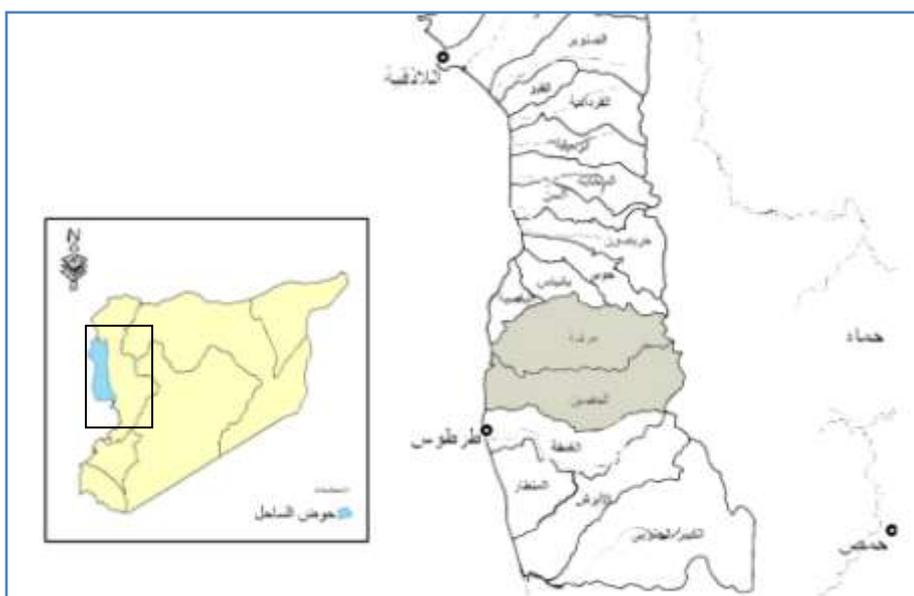
## استخدام GIS في وضع خرائط قابلية تلوث المياه الجوفية :

في المجال البيئي أصبح منهج التحليل المتعدد المعايير ( multi criteria analysis ) من أكثر التطبيقات انتشاراً في العالم .

حيث يفيد هذا البرنامج في تحويل الخرائط من شكلها الورقي إلى الصيغة الرقمية ، وتم استخدام خرائط لمنطقة الدراسة من مديرية الموارد المائية ومؤسسة الجيولوجيا ومحافظة طرطوس، إضافة إلى أن استخدام أدوات التحليل المكاني في برنامج GIS مفيد و يؤمن تحليل مكاني للبيانات ويعطي أجوبة عن تفاصيل مكانية بسيطة مثل مقدار الإتحدار في نقطة معينة وتحديد شبكة المسيلات المائية , بالإضافة لذلك يمكن إيجاد أجوبة لمسائل تحليل معقدة من تقاطع عدة طبقات تمثل كل منها صفة أو خاصية لمنطقة الدراسة، بمفهوم أشمل يمكننا التحليل المكاني من إيجاد الحلول لكافة المسائل المكانية ( Dawod, Gomaa M., 2012 ) .

### موقع منطقة البحث (The site of research area) :

تشكل المنطقة المدروسة جزءاً من الساحل الشرقي للبحر المتوسط وتقع شمال مدينة طرطوس بين خطي عرض (34.50'.00") و (35.10'.00") شمال خط الاستواء وبين خطي طول ( 35.50'00" ) و (36.20'.00") شرق خط غرينتش وتبلغ مساحتها حوالي 700 km<sup>2</sup> .



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة ضمن حوض الساحل (حوض الحصين وحوض مرقية في محافظة طرطوس)

تبين البنية الجيولوجية في منطقة الدراسة أن معظم التطبقات الصخرية تميل باتجاه الغرب، مما يجعل مياه الأمطار الهاطلة على الجبال والتي تنفذ إلى باطن الأرض تتحرك غرباً لتظهر على هيئة ينابيع تختلف غزارتها باختلاف طبيعة التطبقات الصخرية والفوالق فيها، حيث تظهر هذه الينابيع في السهول وبعض المناطق الهضبية، في حين لا تتواجد الينابيع ضمن المناطق الجبلية.

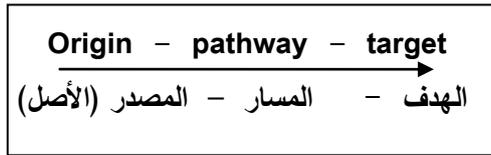
وتعتبر ظاهرة الميل هذه أهم أسباب عدم تشكل مصائد للمياه الجوفية ضمن حوض الساحل واتجاه مياهه العذبة نحو البحر وتتكشف في المنطقة كافة التشكيلات الجيولوجية من الجوراسي شرقاً حتى الرباعي غرباً، في حين

يتوافق الكارست في منطقة الدراسة مع تطبيق لطبقات سميكة من الصخور الكربوناتيية التي تعود إلى الجوراسي الأعلى و الكريتاسي الأوسط وخاصة الحجر الكلسي الجرفي العائد لتشكيل السينومانيان و التورنيان وتعود بداية تشكل الكارست إلى فترة انحسار البحر و حت الطبقات التي تعود إلى العصر الكريتاسي الأدنى والأعلى وخلال الدور الثلاثي المتأخر ولكنها تطورت خلال الدور الرباعي ( المؤسسة العامة للجيولوجيا,2010)

### منهج PI ( PI method ) :

تعتمد هذه الطريقة على GIS ويمكن أن تطبق على كافة أنواع الخزانات الجوفية مع أخذ اعتبارات خاصة للمناطق الكارستية .

وملخص هذه الطريقة :



حيث أن سطح الأرض يعتبر مصدر الملوثات المفترضة ، و سطح المياه الجوفية يعتبر الهدف وكافة الطبقات بين الإثنين تعتبر المسار .

ومنهج PI يأخذ عاملين بالاعتبار

P : protective cover طبقة الحماية

I : infiltration condition ظروف وخصائص التسرب

توضع لكل من العاملين خريطة مستقلة وبعد ذلك يتم دمجهما لإعطاء خريطة قابلية التلوث

(Margane.2003) .

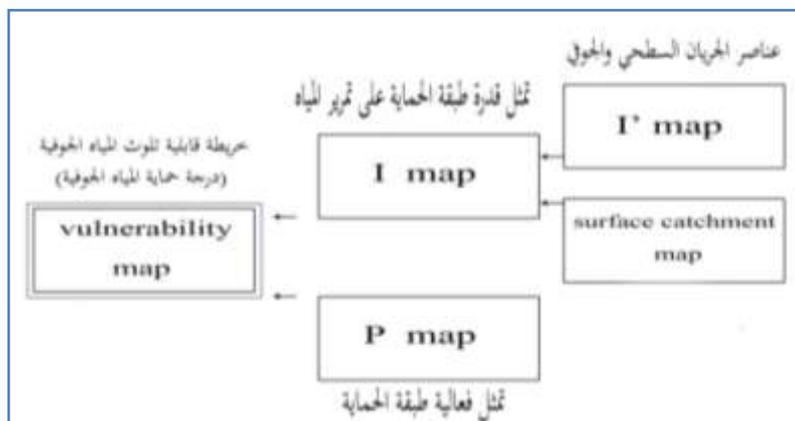
يعبر العامل P عن فعالية طبقة الحماية للخزان الجوفي والتي تشمل كل الطبقات بين سطح الأرض و سطح المياه الجوفية من خلال التربة السطحية ، التربة الجوفية ، وصخور الطبقة غير المشبعة ، حيث يعبر عن ما سبق من خلال السعة الحقلية الفعالة للتربة السطحية effective field capacity (eFC) والتركييب الحبي للتربة الجوفية وخصائص الصخور في الطبقة غير المشبعة ، سماكة كل من هذه الطبقات ، معدل الهطل المطري السنوي و الضغط الارتوازي .

يأخذ العامل P قيم بين 1 و 5 ويشكل عام تتمثل أقل قيمة حماية بالقيمة (1) (كأن تكون طبقة الحماية قليلة السماكة و مشققة بشدة ) ومن جهة أخرى في حال كانت طبقة الحماية سماكتها كبيرة و كتيمة فأن هذا العامل ( P ) يأخذ القيمة (5).

العامل I عامل مهم عند تطبيق هذا المنهج في المناطق الكارستية لوصف خصائص الرشح و درجة تمرير طبقة الحماية للمياه بنتيجة الجريانات السطحية والجوفية .

ويأخذ العامل I قيم تتدرج بين ( 0 ) و ( 1 ) ، فعندما يأخذ القيمة (1) فان عملية الرشح تحصل بشكل منتشر(متوزع على مساحة السطح) كما في الأراضي المسطحة و النفوذة ، ومن ناحية أخرى فإن كانت طبقة الحماية تمرر المياه مباشرة إلى الخزان الجوفي من خلال الشقوق والفوالق والحفر فإن تلك المناطق تكون ذات قيمة للعامل I تساوي (0) فالملوثات تصل إلى الخزان الجوفي بتركيز عالي دون أن يحصل لها عملية تخفيف .

عامل الحماية الأخير  $\Pi$  هو نتاج من ضرب العاملين  $P$  و  $I$  ببعضهما وهو يقسم إلى خمس مجالات ، ففي حال كان  $\Pi = 1$  عندها تكون هناك درجة حماية قليلة وقابلية عالية لتلوث المياه الجوفية و بالمقابل عندما يكون  $\Pi = 5$  بالتالي هناك درجة حماية عالية وقابلية تلوث منخفضة للمياه الجوفية .



الشكل (2) مراحل حساب وإنشاء خريطة قابلية التلوث

تمثل الخريطة النهائية (  $\Pi$  map ) قابلية التلوث ودرجة الحماية للخران الجوفي، الذي هو نتيجة ضرب العاملين  $P$  و  $I$  متوزعة مكانياً على الخريطة ، ويكون لدينا خمسة مجالات لدرجة الحماية يعبر عن كل واحدة بلون ( قد يكون لدينا أكثر أو أقل من خمس مجالات تبعاً لأسلوب عرض النتائج المتبع وتبعاً للمنهج المستخدم في تحليل قابلية التلوث ) .

بالمجمل ينتج لدينا أن كلا العاملين  $P$  و  $I$  يتكونان من مجموعة من العناصر تجري عليها مجموعة من العمليات الحسابية و عمليات التقاطع المكاني عبر عنها بالجدولين (2) & (3) التالين الذين يحويان قيم العوامل المؤثرة في حماية المياه الجوفية وقد أعطيت نقاط تبعاً لأهميتها وتأثيرها وهي :

العامل  $P$  الجدول (2) :

- التربة السطحية - ( T ) Top soil
- إعادة التغذية - ( R ) R-map ( Net recharge)
- عامل التربة الجوفية - thickness of subsoil ( S )
- عامل الليثولوجيا وسماكة الطبقة الصخرية غير المشبعة
- الضغط الارتوازي - Artesian Pressure

الجدول (2) مراحل حساب العامل  $P$

Topsoil - T		Recharge - R	
eFC [mm] up to 1 m depth	T	Recharge [mm/y]	R
> 250	750	0-100	1.75
> 200-250	500	>100-200	1.50
> 140-200	250	>200-300	1.25
> 90-140	125	>300-400	1.00
> 50-90	50	>400	0.75
< 50	0		

**Subsoil - S**

Type of subsoil (grain size distribution)	S	Type of subsoil (grain size distribution)	S
clay	500	very clayey sand, clayey sand,	140
loamy clay, slightly silty clay	400	loamy silty sand	
slightly sandy clay	350	sandy silt, very loamy sand	120
silty clay, clayey silty loam	320	loamy sand, very silty sand	90
clayey loam	300	slightly clayey sand, silty sand,	75
very silty clay, sandy clay	270	sandy clayey gravel	
very loamy silt	250	slightly loamy sand, sandy silty gravel	60
slightly clayey loam, clayey silty loam	240	slightly silty sand, slightly silty sand with gravel	50
very clayey silt, silty loam	220	sand	25
very sandy clay, sandy silty loam,	200	sand with gravel, sandy gravel	10
slightly sandy loam, loamy silt, clayey silt		gravel, gravel with breccia	5
sandy loam, slightly loamy silt	180	non-lithified volcanic material (pyroklastica)	200
slightly clayey silt, sandy loamy silt, silt,	160	peat	400
very sandy loam		sapropel	300

**Lithology - L**

Lithology	L
claystone, slate, marl, siltstone	20
sandstone, quartzite, volcanic rock	15
plutonite, metamorphite	
porous sandstone, porous volcanic rock (e.g. tuff)	10
conglomerate, breccia, limestone, dolomitic rock, gypsum rock	5

**Fracturing - F**

Fracturing	F
non-jointed	25.0
slightly jointed	4.0
moderately jointed, slightly karstified or karst features completely sealed	1.0
moderately karstic or karst	0.5
features mostly sealed	
strongly fractured or strongly karstified and not sealed	0.3
Epikarst strongly developed, not sealed	0.0
not known	1.0

تصف الانقطاعات ضمن بنية الصخر

Thickness of each stratum in [m] - M

Bedrock - B  
 $B = L \cdot F$

Artesian pressure A  
1500 points

Total protective function  $P_{TS}$

$$P_{TS} = \left[ T + \left( \sum_{i=1}^n S_i \cdot M_i + \sum_{j=1}^n B_j \cdot M_j \right) \right] R + A$$

score $P_{TS}$	effectiveness of protective cover	P-factor	example
0-10	very low	1	0-2 m gravel
>10-100	low	2	1-10 m sand with gravel
>100-1000	medium	3	2-20 m slightly silty sand
>1000-10000	high	4	2-20 m clay
>10000	very high	5	> 20 m clay

P-map

العامل I الجدول (3) :

- الميول - slope
- استعمالات الأراضي - land use
- الناقلية الهيدروليكية للتربة السطحية - Saturated hydraulic conductivity
- خريطة المسيلات المائية - Surface Catchment Map

الجدول (3) مراحل حساب العامل ( I )

**1<sup>st</sup> Step: Determination of the dominant flow process**

		Depth to low permeability layer		
		< 30 cm	30-100 cm	> 100 cm
Saturated hydraulic conductivity [m/s]	> 10 <sup>-4</sup>	Type D	Type C	Type A
	> 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-4</sup>		Type B	
	> 10 <sup>-6</sup> -10 <sup>-5</sup>	Type E		
	< 10 <sup>-6</sup>	Type F		

**2<sup>nd</sup> Step: Determination of the I'-factor**

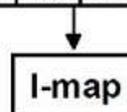
Forest				
dominant flow process		Slope		
		< 3.5 %	3.5 - 27 %	> 27 %
infiltration	Type A	1.0	1.0	1.0
subsurface flow	Type B	1.0	0.8	0.6
	Type C	1.0	0.6	0.6
surface flow	Type D	0.8	0.6	0.4
	Type E	1.0	0.6	0.4
	Type F	0.8	0.4	0.2

Field/Meadow/Pature				
dominant flow process		Slope		
		< 3.5 %	3.5 - 27 %	> 27 %
infiltration	Type A	1.0	1.0	0.8
subsurface flow	Type B	1.0	0.6	0.4
	Type C	1.0	0.4	0.2
surface flow	Type D	0.6	0.4	0.2
	Type E	0.8	0.4	0.2
	Type F	0.6	0.2	0.0

**3<sup>d</sup> Step: Determination of the I-factor**

Surface Catchment Map		I' factor					
		0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
a	swallow hole, sinking stream and 10 m buffer	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
b	100 m buffer on both sides of sinking stream	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
c	catchment of sinking stream	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.0
d	area discharging inside karst area	0.4	0.6	0.8	1.0	1.0	1.0
e	area discharging out of the karst area	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0



## النتائج والمناقشة :

### 1- تحديد العامل P :

يشير العامل P إلى فعالية طبقة الحماية للخرزان الجوفي التي تحدد تبعاً لسماكة الطبقات بين سطح الأرض ووسط المياه الجوفية وخصائصها الهيدروليكية .

تعتبر الخريطة P عن التوزيع المكاني للعامل P والذي يتم الحصول عليه بتطبيق المعادلة الرياضية

$$P_{TS} = \left[ T + \left( \sum_{i=1}^m S_i \cdot M_i + \sum_{j=1}^n B_j \cdot M_j \right) \right] \cdot R + A$$

المعادلة (1)

حيث أن :

- pts : عامل الحماية الكلية (total protective function)  
 T : السعة الحقلية للتربة السطحية (field capacity of the top soil)  
 S : التركيب الحبي للتربة الجوفية (grain size distribution for subsoil)  
 M : سماكة كل طبقة (thickness of each stratum)  
 B : طبقة الصخور (bedrock)  
 R : إعادة التغذية (recharge)  
 A : الضغط الإرتوازي (artesian pressure)

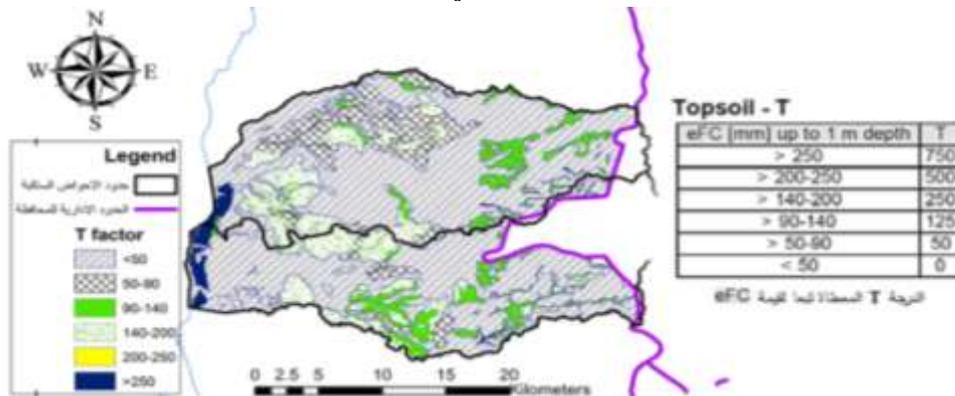
### - التربة السطحية - Top soil ( T ) :

عامل التربة السطحية يعبر عنه من خلال effective field capacity (eFC) (السعة الحقلية) ويقصد بها ما تبقى من ماء في الفراغات البينية للتربة بعد تسرب الماء الزائد إلى أسفل التربة نتيجة للجاذبية الأرضية، حيث أنه كلما زادت السعة زادت الحماية وتخفيف الملوثات .

يتم الحصول على خريطة eFC من خلال خريطتي سماكة التربة و قوام التربة في منطقة البحث وتقسم إلى

مجالات تبعاً لجدول Top soil الجدول (2) .

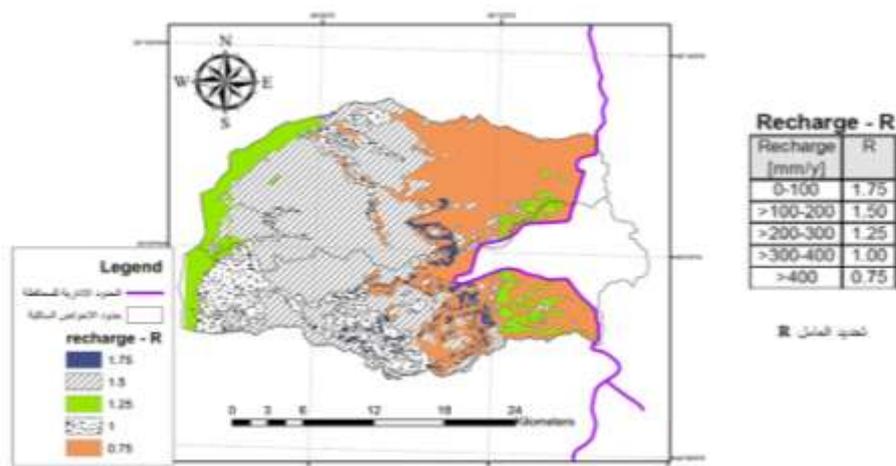
بالإضافة إلى التربة الجوفية والتي تمثل التربة التي تقع على عمق أكثر من 1 m وكانت معظم التربة في منطقة الدراسة قليلة السماكة اقل من 1 m باستثناء الشريط الساحلي .



الشكل (3) العامل (T) (التربة السطحية) لمنطقة البحث مقسمة تبعاً لتصنيف (eFC)

### إعادة التغذية R-map ( Net recharge ) :

وهو يعبر عن عمق المياه الكلي الذي يتسرب إلى الخزان الجوفي خلال سنة وهو عامل مهم من عوامل تقييم (قابلية المياه الجوفية للتلوث)، حيث أنه مع زيادة معدل إعادة التغذية تزيد إمكانية وصول الملوثات للخزان الجوفي. وتعد الأمطار مصدراً رئيسياً للمياه الجوفية ويتصف الهطل السنوي للأمطار بشكل عام في المنطقة الساحلية باختلافات كبيرة ويتعلق بشكل أساسي بالعوامل المناخية والإرتفاع الطبوغرافي. الشكل التالي (4) يمثل إعادة تغذية المياه الجوفية حيث تم الحصول على الخريطة من خلال خريطة مناسبة الهطل المطري السنوي وخريطة توزع نسبة التسرب من الهطل لمنطقة الدراسة (تم الحصول عليهما من مديرية الموارد المائية و مؤسسة الجيولوجيا في طرطوس).



الشكل (4) خريطة العامل R (إعادة تغذية المياه الجوفية)

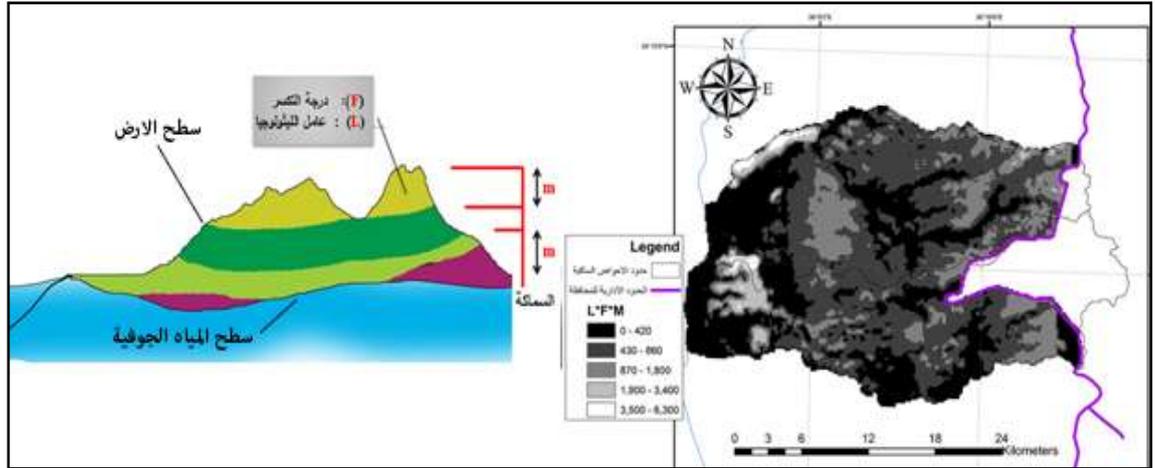
### عامل الليثولوجيا وسماكة الطبقة الصخرية غير المشبعة

#### : Lithology (L) thickness of unsaturated bedrock (MB)

الليثولوجيا (L) هي فرع من الجيولوجيا التي تعطي خصائص للصخور من خلال بنيتها ولونها وميبرالاتها والتركيب الحبي ومن جهة أخرى فإن درجة التكسر (F) تصف الإنقطاعات المحلية في البنية الجيولوجية والشكل والتي تقسم الصخر إلى عدة أقسام نتيجة الضغوط.

تم تحديد سماكة كل طبقة جيولوجية مع خصائصها درجة التكسر (F) و الليثولوجيا (L) من الجدول (2) وجمع قيم هذه الطبقات ضمن المجال غير المشبع ، وقد ظهرت أعلى قيم لهذا العامل في القسم الأوسط للبحر و القيم الأقل في الشريط الساحلي .

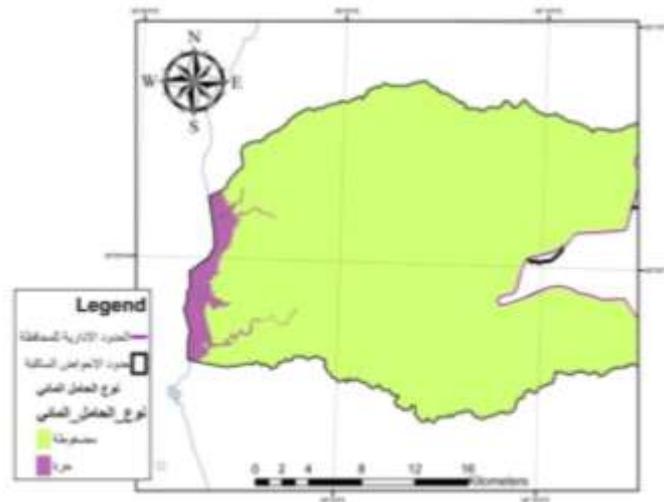
$$N = \text{عدد الطبقات} \quad B = L * F \quad m = \text{السماكة} \quad \text{حيث :}$$



الشكل (5) (قيمة  $L^*F^*M$ ) لجميع طبقات الصخور في المنطقة عبر المشبعة

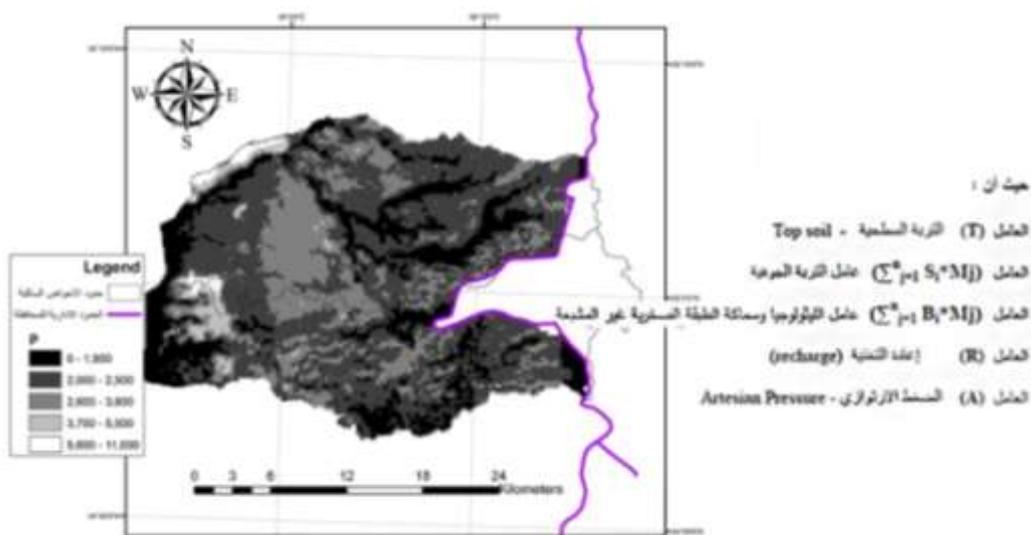
### - الضغط الارتوازي - Artesian Pressure :

وهو الضغط الذي يعبر عنه بعمود الماء المتدفق إلى السطح في حال كانت الطبقة مضغوطة حيث تعطى درجة حماية إضافية للمنطقة  $A=1500$  وفي حال كان غير مضغوطة فان  $A=0$  الجدول (2) .  
تنتشر طبقة المياه الجوفية الحرة في منطقة الدراسة على طول الشريط الساحلي وتمتد باتجاه الداخل لمسافة تقارب 2 km الشكل (6) .



الشكل (6) طبقة أنواع الحوامل المائية

نطبق المعادلة (1) على الطبقات الناتجة سابقاً لينتج لدينا خريطة العامل  $P$  كما في الشكل التالي (7) حيث تظهر القيم الجيدة للعامل  $P$  في القسم الأوسط لمنطقة الدراسة و القيم السيئة في الشريط الساحلي و الجزء الشرقي لمنطقة البحث .



الشكل (7) طبقة العامل P

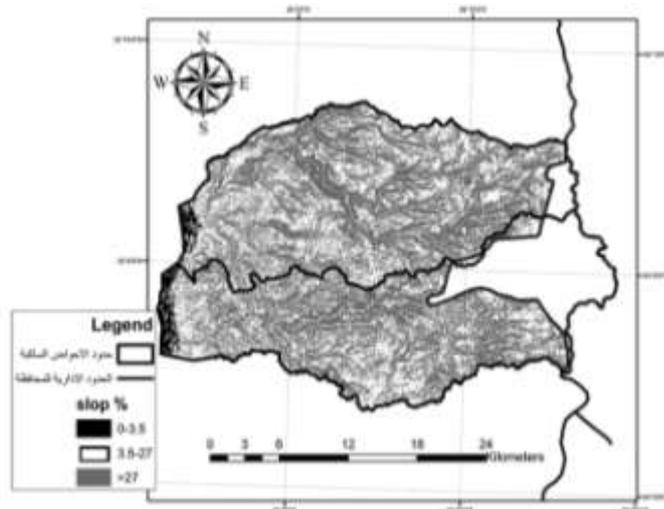
## تحديد العامل I :

يعبر العامل I عن خصائص الرشح و درجة تمرير طبقة الحماية للمياه بنتيجة الجريانات السطحية والجوفية حيث أنه يأخذ I قيم تتدرج بين (0) و (1) و كلما اقتربت القيمة من (1) كانت عملية الرشح تحصل بشكل منتشر (تخفيف عالي للملوثات) وكلما اقتربت القيمة من (0) كانت المياه تصل إلى الخزان الجوفي من خلال الحفر و الشقوق مباشرة دون عملية تخفيف للملوثات ، ويتكون حسابه من عدة عوامل :

الميل - استعمال الأراضي - الناقلية الهيدروليكية للتربة السطحية - خريطة المسيلات المائية -  
 - الميل : يتم حساب الميل ضمن برنامج GIS من نموذج الإرتفاعات الرقمي لمنطقة البحث وتقسيم

الميل إلى ثلاث مجالات كم يوضح الشكل (8) .

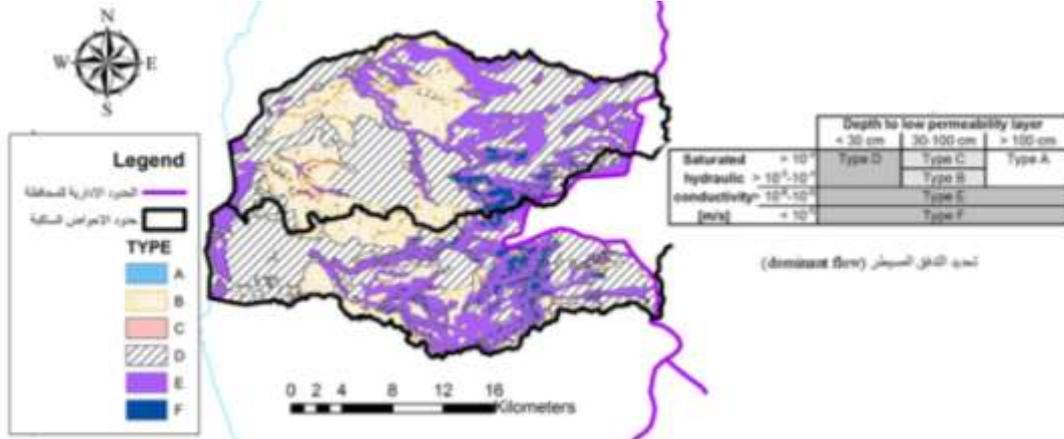
حيث أن الأراضي المسطحة ستؤمن حماية أكبر بسبب بطئ الجريان فيها وبالتالي تأخذ عملية الرشح والتبخر وقتاً أطول يؤدي إلى تخفيف أكبر لجريان المياه و للملوثات ضمن المياه .



الشكل (8) الميل في منطقة البحث

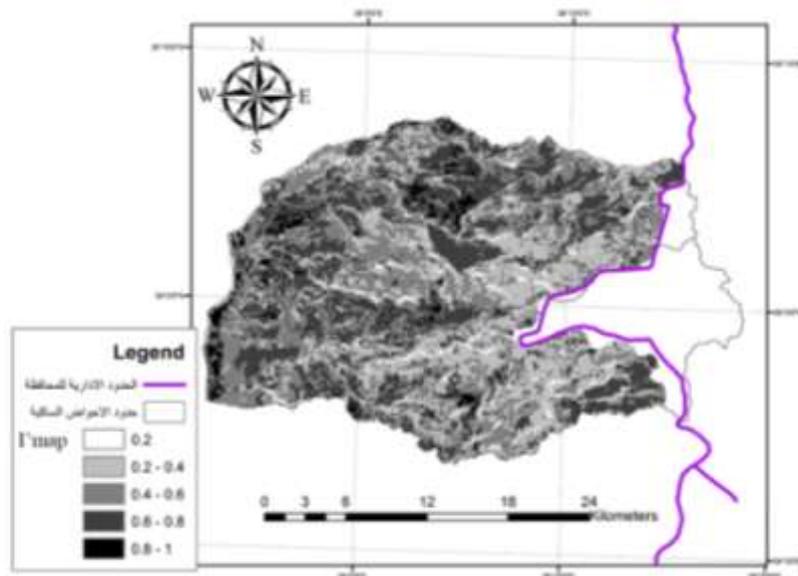
### الناقلية الهيدروليكية المشبعة - Saturated hydraulic conductivity

الناقلية الهيدروليكية للتربة هو مقياس قدرة التربة على نقل المياه عندما تخضع لتدرج هيدروليكي، وهي واحدة من الخصائص الهيدروليكية والتي تحدد نظام الجريان داخل التربة تحت شروط محددة و تتأثر بالتدرج الحبي للتربة وبنية التربة، يتم تحديد التدفق المسيطر من خلال عمق الطبقة قليلة النفاذية (والتي تؤخذ سماكة التربة السطحية للسهولة) والناقلية الهيدروليكية لهذه الطبقة قليلة النفاذية كما في الجدول (3) :



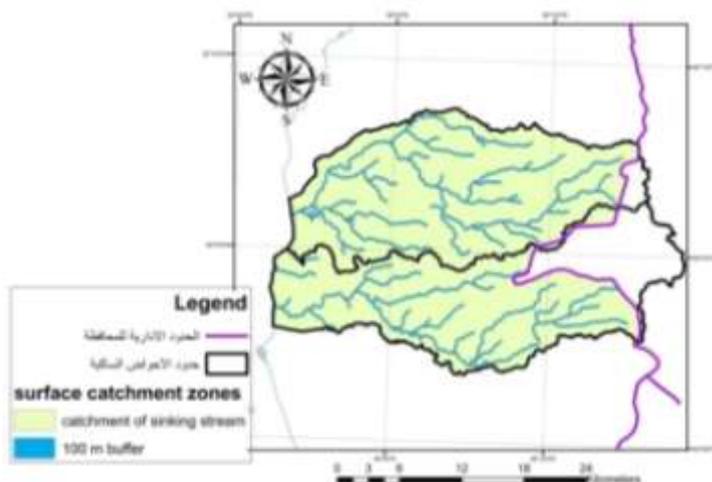
الشكل (9) التدفق المسيطر (dominant flow)

إن الخريطة السابقة التي نتجت للتدفق المسيطر الشكل (9) شملت ثلاثة أنواع للجريان وهي الرش (infiltration)، الجريان السطحي (surface flow) و الجريان الجوفي (subsurface flow) تمت مقاطعتها مع خريطة استعمالات الأراضي التي احتوت على مجالين (الغابات) forest و (الأراضي الزراعية والحراجية والمروج) / field/pature/ meadow إضافة لخريطة الميول تبعاً للجدول (3) والخريطة الناتجة هي Map-I' وهي تمثل نوع وكثافة الجريانات (زيادتها أو نقصانها) إن كانت جوفية أو سطحية أو احتمال حدوث الرش أكبر دون جريان ، الشكل (10) .

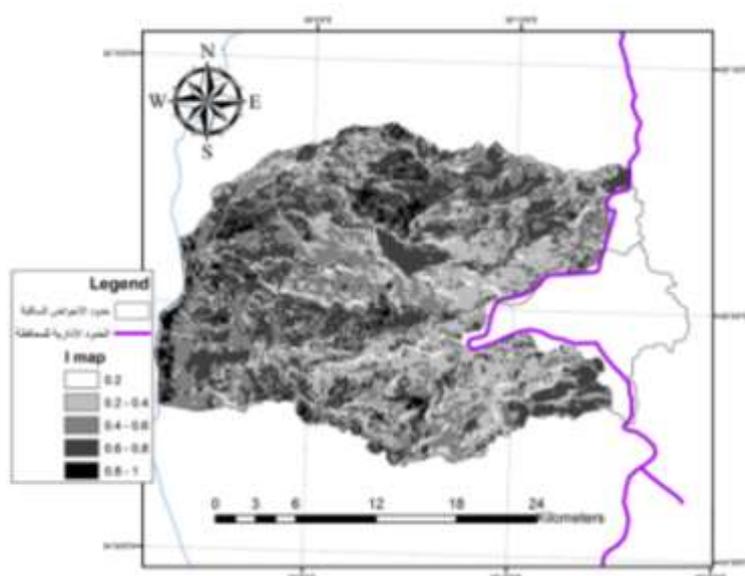


الشكل (10) خريطة العامل I'

بعد الحصول على خريطة (المسيلات المائية) لمنطقة الدراسة **الشكل (11)** (تم الحصول عليها من نموذج الإرتفاعات الرقمي DIM لمنطقة الدراسة ضمن برنامج GIS) تم مقاطعتها مع الخريطة I'-Map (الشكل **10**) تبعاً للجدول (3) فحصلنا على الخريطة I-Map (الشكل **12**) التي تمثل خصائص (ظروف) الرشح في منطقة البحث حيث أنه كلما كانت القيمة أقرب إلى 1 كانت ظروف الرشح أفضل وكلما اقتربت من الصفر كانت ملائمة للجريان (تمثل القيمة الأسوأ).



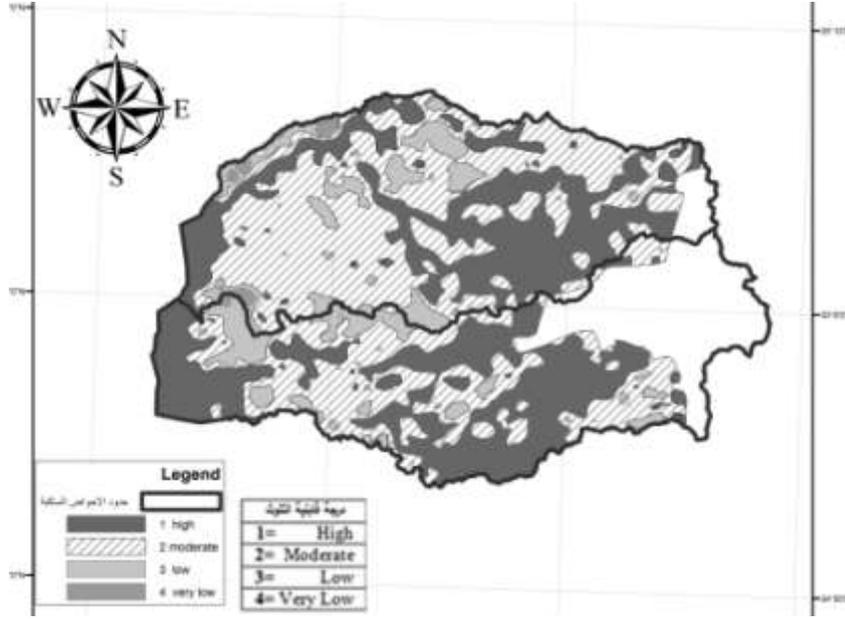
الشكل (11) خريطة المسيلات المائية في منطقة البحث



الشكل (12) خريطة العامل I (ظروف الرشح في منطقة الدراسة)

إن المرحلة الأخيرة من وضع خريطة قابلية التلوث تتم بضرب الطبقة الممثلة للعامل P **الشكل (7)** بعد تصنيفها إلى 5 مجالات مع الخريطة الممثلة للعامل I **الشكل (12)** لتنتج لدينا الطبقة II مقسمة إلى خمس مجالات حيث أن القيمة الأسوأ تساوي 1 والأفضل تساوي 5 ، (في المرحلة الأولى نتجت لدينا P والتي كانت عبارة عن رقم يعبر عن طبقة حماية المياه الجوفية وكلما ازداد هذا الرقم زادت حماية المياه الجوفية وقسم إلى خمس مجالات

تبعاً للقيم المتجمعة التي يوجد بينها فاصل والمرحلة الثانية I كانت النتيجة فيها قيم تتراوح بين 0 و 1 تمثل خصائص الرشح وإن كانت تؤثر سلباً على حماية المياه الجوفية أو إيجاباً) .  
في دراستنا إن الخريطة التي نتجت قسمت إلى أربع مجالات واضحة الانتشار من 1 (high) شديدة القابلية للتلوث إلى 4 (very low) نادرة القابلية للتلوث الشكل التالي (13) .



الشكل (13) خريطة العامل II (قابلية المياه الجوفية للتلوث)

بشكل عام تظهر الخريطة منطقتين أساسيتين هما (High) شديدة القابلية للتلوث في الشريط الساحلي وجزء من القسم الشرقي لمنطقة الدراسة و (Moderate) متوسطة القابلية للتلوث تتركز في القسم الأوسط من منطقة الدراسة بتعبير آخر مناطق محمية ومناطق أقل حماية .

### نتائج خريطة قابلية المياه الجوفية للتلوث منطقة (حوض الحصين وحوض مرقية) :

بالنظر إلى خريطة العامل II (قابلية المياه الجوفية للتلوث) الشكل (13) يمكننا أن نقسم مساحات المناطق المختلفة كما يلي :

High	من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن المجال الشديد القابلية للتلوث	41%
Moderate	من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن المجال المتوسط القابلية للتلوث	47%
low	من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن المجال المنخفض القابلية للتلوث	10%
very low	من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن المجال النادر القابلية للتلوث	2 %

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### الاستنتاجات:

1 - برنامج GIS يعتبر أداة فعالة في التحليل المكاني لتحديد قابلية تلوث المياه الجوفية، إضافة إلى ذلك يقوم بتحليل العلاقة المتبادلة بين البارامترات .

2 - الشريط الساحلي في منطقة الدراسة وحتى (2 km) يعتبر أشد المناطق خطورة على المياه الجوفية في منطقة الدراسة .

3 - النتيجة العامة في منطقة الدراسة أشارت إلى أن هناك منطقتين أساسيتين، منطقة قابلية التلوث فيها عالية ظهرت في الشريط الساحلي و القسم الشرقي من منطقة الدراسة ومنطقة قابلية تلوثها قليلة ظهرت في القسم الأوسط لمنطقة الدراسة .

4 - 41% من المنطقة تقع ضمن المجال الشديد القابلية للتلوث فيما كانت 47% من المنطقة تقع ضمن المجال المتوسط القابلية للتلوث و 12% من المنطقة تقع ضمن المجال المنخفض القابلية للتلوث .

### التوصيات :

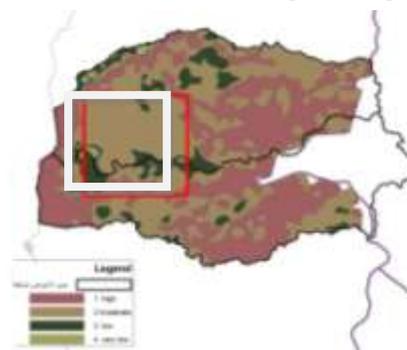
1 - تعتبر الخريطة الناتجة عن البحث أداء مهمة وفعالة تساهم في مجال وضع خطط مراقبة المياه الجوفية و استعمالات الأراضي و اتخاذ القرار .

2 - تطوير الخريطة قابل في مجال الدقة الأكبر للمعطيات مثل البنية الجيولوجية و سماكات التربة السطحية والجوفية .

3 - منطقة الشريط الساحلي بحاجة إلى برنامج مراقبة للمياه الجوفية وحد من النشاطات البشرية الملوثة.

4 - تعتبر المنطقة المحددة بالإطار في الشكل التالي أفضل المناطق لإقامة المنشآت و النشاطات نظراً

للمحماية الكبيرة المؤمنة للمياه الجوفية و موقعها المتوسط للمنطقة .



5 - الأخذ بعين الاعتبار في الدراسات اتجاه الجريان للمياه الجوفية حيث يعتبر التلوث في بداية الجريان الجوفي أكثر خطورة وتأثيراً من غير مناطق (الجريان الجوفي العام في منطقة الدراسة يتجه من الشرق إلى الغرب).

## المراجع:

- ADAMS, B; Foster, S.S.D. *Land-surface zoning for groundwater protection*. J. Institut. Water Environ. Manage., London , 1992, 312-320.
- ATAALLAH , N . *Assessing and Mapping of Groundwater Vulnerability to Contamination Using the Protective Cover and Infiltration Conditions (PI) Method for the West Bank / Palestine* . Master of Science in Water and Environmental Engineering , Nablus, Palestine, 2010,100 .
- DAWOD, G. M . *Principles of GIS Spatial Analysis*. in Arabic, Holly Makkah, Saudi Arabia,2012,50-105.
- FOSTER, S; HIRATA, R., GOMES, D; D'ELIA, M. ; PARIS, M. municipal authorities, and environment agencies. The World Bank. Washington, 2002, 116.
- FORD, D; WILLIAMS, D.W. *Karst geomorphology and hydrology* . Unwin Hyman, Boston, 1989,601.
- MARGANE, A. *Management Protection and Sustainable Use of Groundwater and Soil Resources in the Arab Region. Guideline for Groundwater Vulnerability Mapping and Risk Assessment for the Susceptibility of Groundwater Resources to Contamination* , Volume 4 April, Damascus, 2003,177.
- U.S. National Research Council (NRC). *Groundwater Vulnerability Assessment-Predicting Relative Contamination Potential under Conditions of Uncertainty*. National Academy Press, Washington, 1993.
- المديرية العامة للموارد المائية والري. تقارير فنية. طرطوس، 2010 .
- المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية. الخارطة الجيولوجية لمنطقة بانياس وطرطوس والقدموس وصافيتا مقياس 1:50 000 مع المذكرة الإيضاحية. دمشق، 2010 .