(1999) Assessing and controlling land degradation in Kuwaiti desert ecosystem. *International Conference on the Impact of Environmental Pollution on Development in the Gulf Region, 15-17 March 1999*. Kuwait, pp.209-233.

Nolan, B, Hitt, K, and **Ruddy, B** (2002) Probability of nitrate contamination of recently recharged ground waters in the conterminous United States. *Environmental Science and Technology* **36 (10):** 2138–2145.

Rosen, L (1994) Study of the DRASTIC methodology with emphasis on Swedish conditions. *Ground Water* **32 (2):**.278-285.

Rupert, MG (2001) Calibration of the DRASTIC groundwater vulnerability mapping method. *Ground Water* **39 (4):** 625-630.

Twarakavi, N, Kaluarachchi, J (2005) Aquifer vulnerability assessment to heavy metals using ordinal logistic regression. *Groundwater* **43 (2):** 200–214.

Visswanathan, MN, AL-Senafy, MN, Mukhaopadyay, A, Kodittuwakka KA.W, and **Al-Fahad K** (1997*) Assessment of the Long-term Pollution of the Groundwater of the Raudhatain and Umm Al-Aish Areas*. KISR, Kuwait.

Voss, C (1984) *A Finite Element Simulation Model for Unsaturated Saturated Fluid Density-Dependent Groundwater Flow with Energy Transport or Chemically Reactive Single-Species Solute Transport. USGS Water Resource Investigations Report 84-4369, US Geological Survey*. Reston, VA.,USA.. To check

Wagenet, R, Histon, J (1987) Predicting the fate of nonvolatile pesticides in the unsaturated zone. *Journal of Environmental Quality***15:** 315–322.

Ref. No. (2548)
Rec.18/02/2010
In-revised form: 12/04/2010

evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. EPA, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Ada, OK, EP A/600/2-85/0 108, 163pp.

Almasri, M (2008) Assessment of intrinsic vulnerability to contamination for Gaza Coastal aquifer, Palestine. *Journal of Environmental Management* **88 (4)**: 577-1662.

AL-Rashed, MF, and **AL-Senafy, MA** (1999) Impact of brackish water irrigation on soil salinity in southern Kuwait. *International Conference on the Impact of Environmental Pollution on Development in the Gulf Region*, *15-17 March 1999*. Kuwait, pp.183-195.

Al-Yaqout, AF (2003). Assessment and analysis of industrial liquid waste and sludge disposal at unlined landfill sites in arid climate. *Waste Managemen*. **23:** 817-824.

Al-Zabet, T (2002) Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method. *Environmental Geology* **43:**203-208.

Babiker, I, Mohamed, M, Hiyama, T, Kato, K (2005) A GIS based DRASTIC model for assessing aquifer vulnerability in Kakamigahara Heights, Gifu Prefecture, central Japan. *Science of the Total Environment* **345 (1-3):** 127–140.

Banton, O, Villeneuve, J (1989) Evaluation of groundwater vulnerability to pesticides: a comparison between the pesticides DRASTIC index and the PRZM leaching quantities. *Journal of Contaminant Hydrology* **4:** 285–296.

Carsel, R, Mulkey, L, Lorber, M, and **Baskin, L** (1985) The pesticide root zone model (PRZM): a procedure for evaluating pesticide leaching threats to ground water. *Ecological Modeling* **30:**49–69.

Evans, B, Mayers, W (1990) A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC. *Journal of Soil and Water Conservation* **45:** 242–245.

Lobo, JP - Ferreira and **Manuel, M, Oliveira** (1995) DRASTIC groundwater vulnerability mapping of Portugal. *In: Groundwater: An Endangered Resource, Proceedings of Theme C of the 2nd Congress of the International Association for Hydraulic Research*. San Francisco, USA, Aug. 10-15, 97, pp. 132-137.

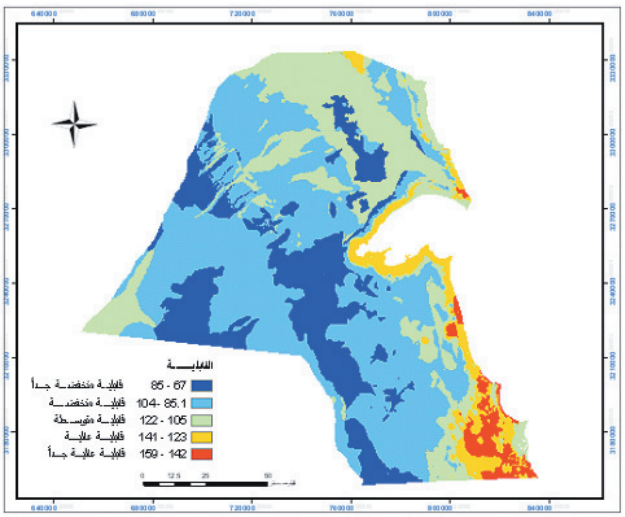
Makhokh, M (2000) *Establishment of Groundwater Vulnerability Maps in Morocco. Workshop on soil and Groundwater Vulnerability to Contamination, ACSAD/HS/R133*.Damascus, Syria.

Mimi, Z, Assi, A (2009) Intrinsic vulnerability, hazard and risk mapping for Karst aquifers: a case study. *Journal of Hydrology* **364(3-4):** 298-310.

Misak, RF, Al-Awadhi J, and **Al-Sudairawi M**

جدول 2. الوحدات الجيولوجية وقيمها.

الوحدة الجيولوجية	القيمة (Rating)
رمال ريحية	4
طمي	3
رواسب سطح الصحراء	3
رواسب السبخة	1
رواسب شاطئية	7
رواسب ساحلية مسنتة	8
رمال بحرية	6
تكوين الدبدبة	8
تكوينات فارس وغار	3



شكل 3. خريطة قابلية التلوث للمياه الجوفية في دولة الكويت.

جدول 3. مساحات ونسب المناطق حسب قابلية التلوث.

تصنيف المناطق حسب قابلية التلوث	المساحة كلم^2	النسبة إلى المساحة الإجمالية (%)
القابلية المنخفضة جداً	3256	20
القابلية المنخفضة	7865.75	48
القابلية المتوسطة	3839.25	23
القابلية العالية	971.25	6
القابلية العالية جداً	416.25	3
الإجمالي	16348.5	100

الاستنتاج والتوصيات

أمكن بناء قاعدة بيانات لدولة الكويت تشتمل على البيانات المكانية (Spatial Data) والبيانات الوصفية (Attributes Data)، ومنها تم إنتاج وثيقة تخطيطية رقمية لدولة الكويت تبين مناطق الخزان الجوفي التي لها قابلية التلوث من الأنشطة السطحية وذلك على هيئة خرائط رقمية تتضمن العوامل الطبيعية مثل جيولوجية وتربة دولة الكويت، والعوامل الهيدرولوجية المستخدمة في تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث الناتج من الأنشطة السطحية مثل معامل التوصيل المائي والناقلية ووسط الخزان المائي وطبقة الارتشاح والعمق إلى الماء. وتشير نتائج الدراسة إلى أن العمق إلى الماء يشكل أحد أهم العوامل التي قد تؤثر على قابلية خزان مجموعة الكويت للتلوث في المنطقة الساحلية والمنخفضات. كما أن نسبة الميل لأراضي دولة الكويت والتي تصل إلى 2% تعطي مؤشراً عاماً بأن قابلية التلوث عالية بالنسبة للطبوغرافية (الميل).

المراجع باللغة العربية

الرويح، فوزية محمد (2005) المياه الجوفية في الكويت. *مجلة التقدم العلمي*، مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، العدد التاسع والأربعون، يوليو، دولة الكويت.

الشويعي، إبراهيم سعود (2004)، *تقييم قابلية خزان الدمام الجوفي للتلوث الناتج من الأنشطة السطحية في مملكة البحرين باستخدام نظم المعلومات الجغرافية*. رسالة ماجستير، برنامج علوم الصحراء والأراضي القاحلة ، جامعة الخليج العربي، البحرين.

المسباح، عبدالله محمد (2004)، *مقارنة لخيارات ترشيد استهلاك المياه في مساجد دولة الكويت*. رسالة ماجستير، كلية الدراسات العليا، جامعة الخليج العربي، البحرين.

الهيئة العامة للبيئة (2002)، *الاستراتيجية البيئية لدولة الكويت*. قطاع الزراعة والأراضي بدولة الكويت، ص: 497-555.

وزارة الطاقة (2006)، *كتاب الإحصاء السنوي*. إدارة الإحصاء ومركز المعلومات، دولة الكويت.

المراجع باللغة الإنجليزية

Added, A, and **Hamza, MH** (1995) *Evaluation of the Vulnerability to Pollution in Metline Aquifer (North-East of Tunisia)*. http://gis.esri.com.

Akber, A., (1999) *Concerns over the High Concentration of Chloride Nitrates Lead and Boron in the Groundwater of the Farming Areas of Kuwait, a Case Study*. *Workshop on Groundwater Pollution Protection and Remediation*. State of Qatar 7-10 November 1999.

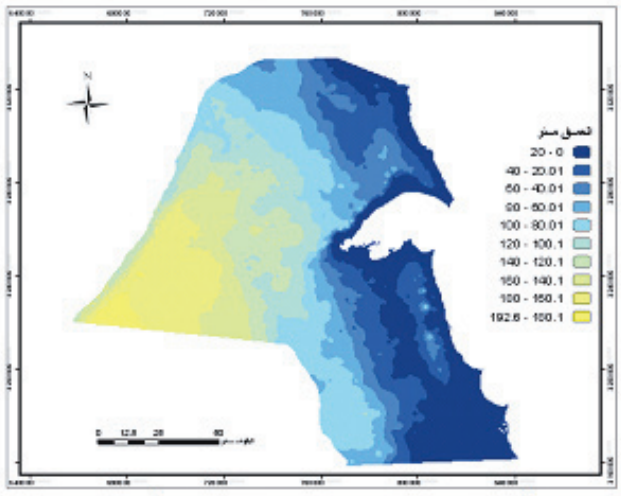
Aller, L, Bennett, T.,Leher, JH and **Petty, RJ** (1985) DRASTIC: A standardized system for

جدول 1. العناصر الداخلة في تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث حسب طريقة DRASTIC (Aller, *et al.* 1985).
ملاحظة: تم تحويل الوحدات إلى النظام المتري تماشيا مع نظام الوحدات المتبع في هذا البحث.

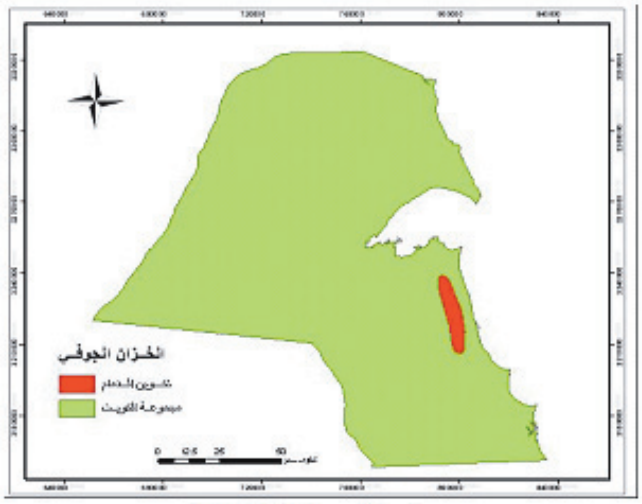
Depth to water		Net Recharge		Topography (slope)	
Range (m)	Rating	Range (cm)	Rating	Range (%)	Rating
0 -1.5	10	5.1 –0	1	0 - 2	10
1.54.6 -	9	5.1- 10.2	3	2 - 6	9
9.1 4.6 -	7	10.2 - 17.8	6	6 - 12	5
9.115.2 -	5	25.417.8-	8	12 -18	3
22.9 15.2 -	3	25.4+	9	18 +	1
30.5 22.9 -	2				
30.5 +	1				
Weight : 5		**Weight : 4**		**Weight : 1**	

Aquifer Media			Vadose Zone Material		
Type	Range	Rating	Type	Range	Rating
Massive shale	1	2	**Layer Confining**	1	1
Metamorphic, Igneous	2 - 5	3	**Silt / Clay**	26 –	3
Weathered, Metamorphic,Igneous	3 - 5	4	**Shale**	26 –	3
Glacial Till	4- 6	5	**Limestone**	25 –	3
Sandstone, Limestone, shale	5 - 9	6	**Sandstone**	25 –	6
Massive Sandstone	4 - 9	6	**Sandstone Limestone shale**	27 –	6
Massive Limestone	4 - 9	8	**Sand and Gravel+silt/clay**	48 –	6
Sand and Gravel	4 - 9	8	**Sand and Gravel**	48 –	8
Basalt	2 - 10	9	**Basalt**	210 –	9
Karst Limestone	9 - 10	10	**Karst Limestone**	810 –	10
Weight : 3			**Weight : 5**		

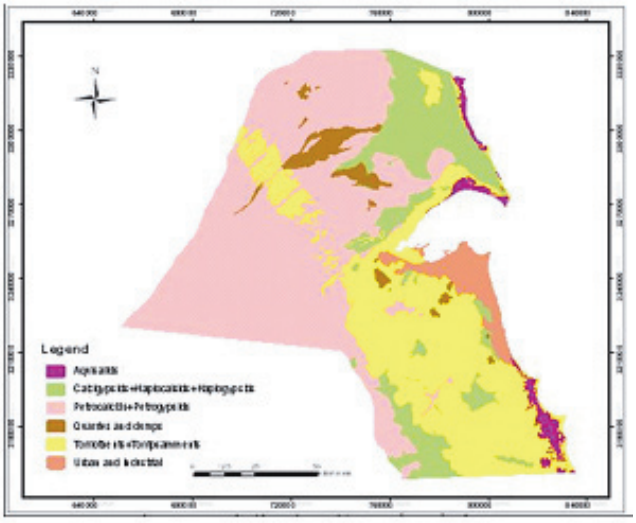
Soil Media		Hydraulic Conductivity (m/d)	
Type	Rating	Type	Rating
Thin or Absent	10	**Thin or Absent**	10
Gravel	10	**Gravel**	10
Sand	9	**Sand**	9
peat	8	**peat**	8
Shrinking and/or aggregated Clay	7	**Shrinking and/or aggregated Clay**	7
Sandy Loam	6	**Sandy Loam**	6
Loam	5		
Silty Loam	4		
Clay Loam	3		
Muck	2		
Nonshrinking and Nonaggregated clay	1		
Weight :2		**Weight :3**	



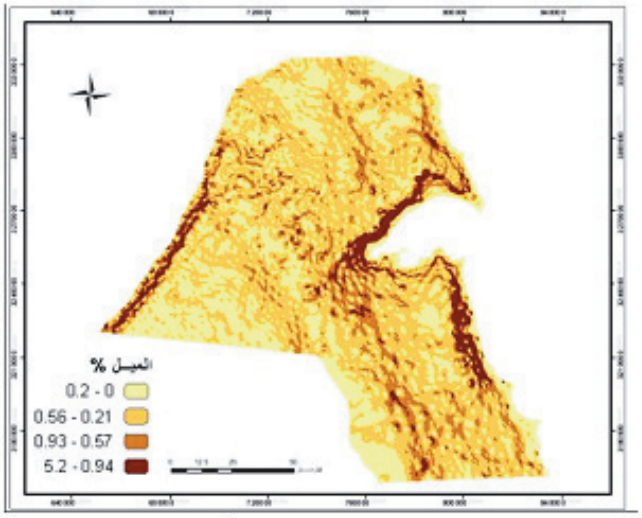
أ. خريطة عمق المياه الجوفية من سطح الأرض



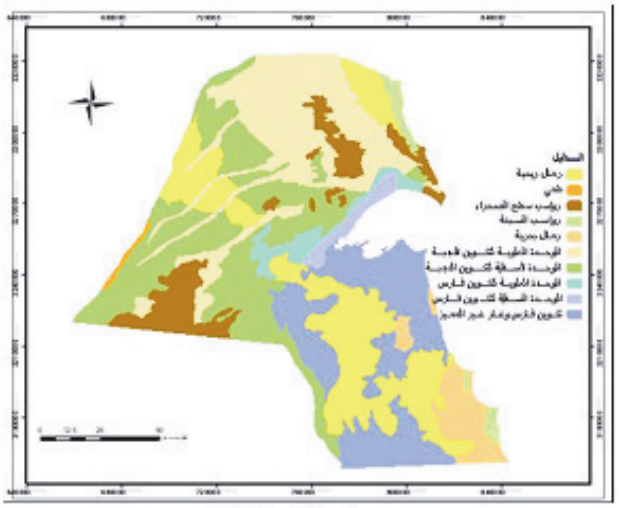
ب. خريطة وسط الخزان الجوفي



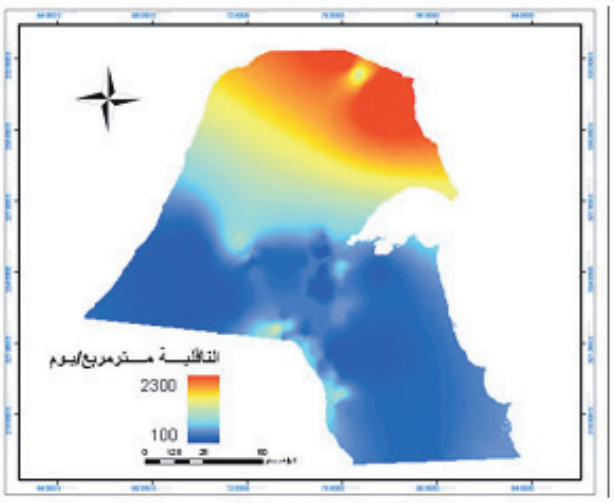
ج. خريطة تربة دولة الكويت



د. خريطة الميل في دولة الكويت



هـ. جيولوجية دولة الكويت



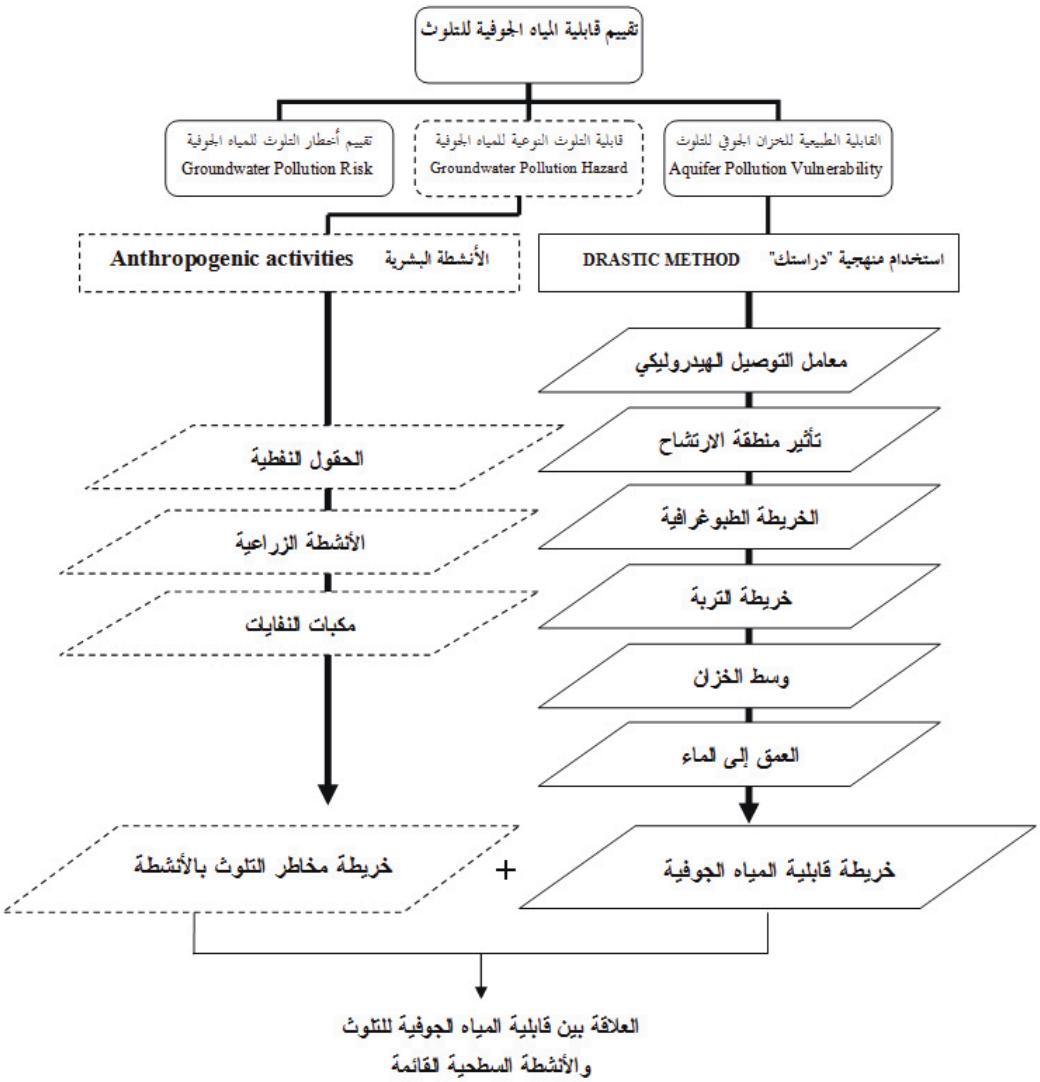
و. خريطة الناقلية (Transmissivity)

شكل 2. خرائط المعاملات الهيدروليكية الخاصة بتطبيق منهجية دراستك (DRASTIC) بدولة الكويت.

أقل ولم تحدث تغيرات كبيرة)، وإسقاط الخرائط باستخدام نظام الإسقاط WGS__1984__UTM__Zone__38N، وتم تصنيف الشرائح اعتماداً على الجدول (1). وتم جمع العوامل والمتغيرات السابقة على مراحل تدريجية حيث تم جمع العامل الأول مع الثاني ومحصلتهما وتم جمعها مع العامل الثالث وهكذا إلى أن تم إيجاد المحصلة النهائية لجميع هذه العوامل باستخدام معادلة (1) لحساب مؤشر حساسية التلوث.

ولقد وجد بأن مؤشر قابلية المياه الجوفية للتلوث (حساسية التلوث) يتراوح في قيمته بين 67 إلى 159، وبناءً على ذلك تم تقسيم المؤشر إلى خمسة أقسام متساوية أو مجموعات نسبية وهي منخفض جداً (67 – 85) ومنخفض (86 – 104)، ومتوسط (105 – 122)، وعالٍ (123 – 141)، وعالٍ جداً (142 – 159)، كما هو مبين في شكل (3).

ومع أنه قد تكون المناطق ذات المؤشر المنخفض أو المتوسط أيضا معرضة للتلوث، ولكن مقارنة بغيرها من المناطق تعتبر أقل عرضة للتلوث حيث إن هذه الخارطة تمثل قابلية التلوث النسبية للمياه الجوفية، وتم حساب مساحة هذه المناطق كما هو مبين بالجدول (3). يلاحظ من الشكل أن المناطق ذات القابلية العالية للتلوث تعتبر قليلة نسبيا وتم حسابها لتشكل 9 % من إجمالي مساحة دولة الكويت (عدا الجزر)، كما يوضح الشكل أن المناطق ذات القابلية العالية والعالية جداً للتلوث تقع في الجهة الشرقية من الكويت على طول الخط الساحلي، حيث تقترب المياه الجوفية من السطح ويتراوح عمقها ما بين 0 إلى 1.5 متر من سطح الأرض، وبأن معظم أجزاء دولة الكويت ذات قابلية منخفضة للتلوث بسبب العمق إلى الماء والذي يزيد فيها عن 67.6 متر (250 قدم) بالاتجاه غرباً.



شكل 1. منهجية ومراحل العمل في الدراسة.
– الأشكال ذات الخطوط المتقطعة تمثل الأنشطة البشرية ذات العلاقة بالتلوث وتغطيها الورقة في جزءها الثاني.

الخزان، فكلما زاد العمق قل تأثير هذه الملوثات. وفي دولة الكويت تتراوح أعماق المستويات المائية من صفر في المنطقة الساحلية والمنخفضات، ويزداد العمق بالاتجاه غربا ليصل إلى حوالي 190 متراً تحت مستوى سطح الأرض. ولذا فإن العمق إلى الماء يشكل أحد أهم العوامل التي قد تؤثر على قابلية خزان مجموعة الكويت للتلوث في المنطقة الساحلية والمنخفضات. وقد تم إنتاج خريطة عمق المياه الجوفية من سطح الأرض (شكل 2-أ) بالاعتماد على بيانات الارتفاعات عن سطح البحر بعد طرحها من بيانات مناسيب المياه الجوفية وتم تصنيف الشريحة وإعطاءها قيم المدى اعتماداً على الجدول (1) بعد أن تم تحويل الوحدات من قدم إلى متر، واعتمادا على الأوزان الموضوعة الموضحة في الجدول (1) فقد تم إعطاء عامل العمق إلى المياه وزناً قدره (5).

وسط الخزان (Aquifer Media)

تتأثر حركة تدفق المياه في الخزان بنوعية الوسط، فكلما زادت نفاذية الوسط ساعد ذلك على انتقال الملوثات خلاله وبالتالي تكون حساسية هذا الخزان عالية للتلوث. والخزان الجوفي المنكشف في دولة الكويت عبارة عن رواسب فيضية تتكون من حصى خشن ورمل ومتجمعات وحجر رملي وصلصال وطمي وقد تم إعطاؤه مدى قدره (9)، عدا منطقة مرتفع الأحمدي والتي ينكشف فيها خزان تكوين الدمام الجوفي فيتكون من حجر جيري كارستي وقد تم إعطاؤه مدى قدره (10)، كما هو مبين في (شكل 2-ب). واعتمادا على الأوزان الموضوعة فقد تم إعطاء عامل وسط الخزان وزناً قدره (3).

وسط التربة (Soil Media)

تحدد نوعية وسط التربة سرعة انتقال الملوثات إلى المياه الجوفية، كما أن لها دوراً كبيراً في تخفيف تركيز الملوثات من خلال العمليات الحيوية والفيزيائية التي تتم فيها. وأهم مكونات تربة دولة الكويت عبارة عن رواسب الرمل و الحصى والحجر الجيري، وبشكل عام تغطي التربة الرملية اللومية معظم سطح الكويت. وقد تمت الاستعانة بالخريطة الرقمية المنتجة من خلال مشروع مسح التربة بدولة الكويت لتحديد الوحدات المتشابهة من حيث القوام، وباستخدام مثلث قوام التربة تم وضع مدى وأوزان الأنواع المختلفة لتربة الكويت (شكل 2-ج).

طبوغرافية المنطقة (Topography)

يؤثر ميلان السطح على جريان الملوثات وعلى فرص بقائها لمدة زمنية تسمح لها بالتسرب. ويغلب على أراضي دولة الكويت نسبة ميل 0-2 % مما يعطي مؤشراً عاماً بأن قابلية التلوث عالية بالنسبة للطبوغرافية. وقد تم إنتاج خريطة الميل (شكل 2-د) اعتمادا على الخريطة الطبوغرافية، وإعطاء قيم المدى الخاصة بنسب الميل المختلفة كما هو مبين في جدول (1)، بينما أعطي وزن قيمته (1) لعامل الميل.

تأثير نطاق الإرتشاح (Impact of Vadose zone)

يقصد بتأثير نطاق الإرتشاح بنفاذية المواد المكونة للطبقة غير المشبعة الواقعة أعلى مستوى المياه الجوفية. وفي هذه الدراسة تم استخدام خريطة جيولوجية دولة الكويت المنتجة من قبل شركة نفط الكويت (شكل 2-هـ) لتحديد قيم نطاق الإرتشاح، كما هو مبين في الجدول (2)، بينما أعطي وزن قيمته (5) بحسب الأوزان المعطاة للمعاملات في هذه الطريقة.

معامل التوصيل الهيدروليكي (Hydraulic Conductivity)

يؤثر معامل التوصيل الهيدروليكي في سرعة انتقال الملوثات في المياه الجوفية بعد وصولها إليه،فكلما زاد هذا المعامل ارتفعت قابلية التلوث، ولحساب معامل التوصيل الهيدروليكي تم استخدام البيانات المتوفرة لناقلية Transmissivity خزان مجموعة الكويت، الخزان الجوفي الأقرب إلى السطح في دولة الكويت (شكل 2-و)، وكذلك إنتاج خارطة تمثل سماكته، ومن ثم إنتاج خارطة معامل التوصيل الهيدروليكي لخزان مجموعة الكويت من خلال قسمة بيانات خارطة الناقلية على خارطة سماكة الخزان. ومن ثم إعطاء قيم المدى التي تتناسب مع قيمة المعامل (جدول 1)، ووزن قيمته (3).

خارطة قابلية التلوث للمياه الجوفية

لتطبيق معادلة DRASTIC لحساب مؤشر حساسية التلوث لمنطقة الدراسة فقد تم تحديد أبعاد الشرائح ومساحة الخلية حيث تم اختيار مساحة الخلية بـ 250,000 متر مربع بأبعاد (500م × 500م)، وذلك لتناسب المساحة المذكورة مع مقياس رسم معظم الخرائط المستخدمة (تم تجربة مساحات

العناصر المستخدمة في منهجية (DRASTIC) وتحويرها إلى (DASTIC) لكي تتناسب مع المناطق الجافة وشبه الجافة بعد الاستغناء عن معامل التغذية (R) نظرا لضعفها في مملكة البحرين.

الجدير بالذكر أن قيم قابلية الأوساط المائية للتلوث التي يتم الحصول عليها باستخدام طريقة DRASTIC ليست قيماً مطلقة لقابلية التلوث، بل دليل ومؤشر على الأهمية النسبية لكل عامل من العوامل المؤثرة في التلوث. وتعتمد هذه الطريقة على نظام حسابي للمعادلات النقطية، طور من قبل وكالة حماية البيئة بالولايات المتحدة الأمريكية (US-EPA) وتتضمن سبعة عناصر وهي العمق إلى الماء ويرمز له فيما بعد بالرمز (D) ومجموع التغذية (R) ووسط الخزان (A) ووسط التربة (S) وطبوغرافية المنطقة (T) وتأثير منطقة الارتشاح (I) ومعامل التوصيل الهيدروليكي (C)، ويتم إعطاء قيمة (r=rate) لكل عنصر من هذه العناصر السبع تتألف من مدى يتراوح من 1-10، ويعطى كل عنصر وزناً (w=weight) يتراوح من 1 - 5 اعتمادا على تأثيره النسبي في عملية التلوث، وتجمع هذه الأوزان لتعطي مؤشر DRASTIC لقابلية المياه الجوفية للتلوث، وتستخدم المعادلة التالية (معادلة 1) لحساب مؤشر حساسية التلوث لمنطقة الدراسة Di (Aller, *et al*. 1985):

$$D_i = D_r \times D_w + R_r \times R_w + A_r \times A_w + S_r \times S_w + T_r \times T_w + I_r \times I_w + C_r \times C_w \quad (1)$$

وقد اعتمدت معظم دراسات تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث على هذه المتغيرات السبع ومنها: (Rosen, 1994; Lobo *et al*. 1995; Added and Hamza, 1995; Rupert, 2001).

المواد والطرق

شملت منهجية العمل في هذه الدراسة أثنين من ثلاث مكونات رئيسية خاصة بالمنهجيات المستخدمة في مجال تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث، وهما قابلية الخزان الجوفي للتلوث وقابلية التلوث النوعية للمياه الجوفية. وعليه، فقد تم إنتاج وثيقة تخطيطية على شكل خارطة لتحديد المناطق حسب قابليتها للتلوث من الأنشطة السطحية في دولة الكويت على مرحلتين تمثل كل مرحلة مكونا من المكونين المشار اليهما. ففي المرحلة الأولى تم تجميع البيانات والمراجع والخرائط بأنواعها الجيولوجية والطبوغرافية والتربة والمستويات المائية لمنطقة الدراسة وتحويل الخرائط الورقية المتوفرة إلى خرائط رقمية باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية. وجرى معايرة قيم وأوزان العناصر لتتناسب مع الظروف الجيولوجية والهيدرولوجية لدولة الكويت. وبسبب انخفاض معدل سقوط الأمطار والذي لا يزيد عن 112 ملم في السنة ولا يتغير بشكل كبير مكانيا فوق مساحة دولة الكويت، فقد تم استبعاد معامل التغذية (Recharge)، أما بالنسبة للمعاملات الستة الأخرى فقد تم تصنيفها وإعطائها الأوزان المتعارف عليها والقيم المختلفة بما يتناسب مع قيمها الحقلية. بعد ذلك تم باستخدام طريقة raster في نظم المعلومات الجغرافية تقسيم منطقة الدراسة إلى خلايا بحجم 500 متر مربع، تحتوي كلا منها على قيمة ثابتة للعناصر المستخدمة في منهجية DRASTIC، مع ثبات مواقع هذه الخلايا في جميع الخرائط الرقمية التي تم إعدادها ليتسنى إجراء العمليات الحسابية المطلوبة والمذكورة في معادلة (1)، لإنتاج خريطة توضح درجة حساسية المياه الجوفية للتلوث في دولة الكويت.

في المرحلة الثانية (الجزء الثاني من الدراسة)، تم تحديد قابلية التلوث النوعية للمياه الجوفية من خلال تحديد بعض مصادر التلوث المحتملة من قبل الأنشطة السطحية مثل (المزارع، المصانع، مكبات النفايات، برك التبخير وغيرها)، وإسقاطها على المناطق ذات الحساسية العالية للتلوث، وتحليل العلاقة بين مواقع الأنشطة السطحية هذه ومناطق الخزان عالية القابلية للتلوث. ويوضح شكل (1) منهجية ومراحل العمل في الدراسة بجزأيها. وستغطي الورقة الحالية في جزءها الأول قابلية التلوث النوعية للمياه الجوفية فيما يتناول الجزء الثاني تحليل العلاقة بين مواقع الأنشطة السطحية ومناطق الخزان عالية القابلية للتلوث في دولة الكويت.

النتائج والمناقشة

لإنتاج الخارطة التجميعية الشاملة لقابلية المياه الجوفية للتلوث (Groundwater Vulnerability Mapping) التي تتضمنها منهجية DRASTIC المشار إليها أعلاه، تم إعداد ومعالجة عدد من الخرائط الفرعية تغطي كلاً منها معاملا من المعاملات الهيدروليكية (شكل رقم 2). وفيما يلي شرح لكل منها وطريقة تحديد المدى (r) لها.

العمق إلى الماء (Depth to water)

ويمثل العمق الذي تقطعه الملوثات قبل أن تصل إلى

مراجعة وتحديث أنظمة وتشريعات حماية الأراضي السطحية وتحت السطحية من الضرر الناجم عن الممارسات البشرية وربما تعديلها وإعادة صياغتها والتشدد في تطبيقها أصبحت من الأمور المطلوبة لحماية الموارد المائية.

من هنا تهدف هذه الدراسة في جزئها الأول إلى المساهمة في حماية المياه الجوفية في دولة الكويت من الملوثات المحتملة من الأنشطة السطحية من خلال القيام بدراسة لتقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث الناتج عن الأنشطة السطحية وإنتاج وثيقة تخطيطية على هيئة خارطة تمثل قابلية المياه الجوفية للتلوث، يمكن الاستفادة منها في عملية تخطيط استخدامات الأراضي المستقبلية، أو لعمل الإجراءات والوقاية المطلوبة للأنشطة السطحية القائم منها حاليا أو ما يستجد في المستقبل من أنشطة تؤدي إلى تلوث المياه الجوفية.

منهجيات تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث

يمكن تقسيم المنهجيات المستخدمة في الدراسات المتعلقة بتقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث بواسطة الأنشطة السطحية إلى ثلاث منهجيات رئيسية، وهي: 1) قابلية المياه الجوفية للتلوث (Aquifer Pollution Vulnerability) وتعرف على أنها خاصية جوهرية وذاتية للنظم المائية وتعتمد على حساسية هذه النظم للعوامل الطبيعية وللتأثيرات الناجمة عن الأنشطة البشرية؛ 2) قابلية التلوث النوعية للمياه الجوفية (Groundwater Pollution Hazard) ويعنى بها درجة تأثر النظام المائي الجوفي بحمولات التلوث نتيجة لاستخدامات الأراضي القائمة؛ و3) تقييم أخطار التلوث للمياه الجوفية (Groundwater Pollution Risk) وهي مدى تأثر بعض مكونات البيئة ولاسيما الإنسان أو الموارد الحية بالضرر المحتمل الناجم عن وصول أحد مصادر التلوث إلى المياه الجوفية. وتعتمد منهجيات التقييم هذه، التي يتم تنفيذها بشكل متتالي عادة، على ثلاثة مكونات وهي: مصادر التلوث، وطبيعة الأوساط ومدى سهولة حركة المياه والملوثات من خلالها، وأخيراً حساسية الجهات المستقبلة لهذه الملوثات.

يمكن تصنيف الطرق المختلفة التي تم تطويرها بغرض تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث إلى ثلاث طرق رئيسية، وهي: 1) طرق المؤشرات والتراكب (Index and Overlay Methods) (Aller *et al*. 1987; Banton and Villeneuve, 1989; Evans and Myers, 1990; Rupert, 2001; Babiker, *et al*. 2005; Almasri, 2008; Mimi and Assi, 2009)، و2) الطرق المبنية على العمليات (Process-based Methods) (Voss, 1984; Carsel *et al*. 1985; Wagenet and Histon, 1987)؛ و3) الطرق الإحصائية (Statistical Methods) (Nolan *et al*. 2002; Twarakavi and Kaluarachchi, 2005). لكل طريقة من هذه الطرق إيجابياتها وسلبياتها، فالطريقة الأولى تعتمد على بيانات سهلة الوصول إليها نسبياً وتقوم على التقدير الشخصي في وضع الأوزان وتتميز بسهولة تفسير نتائجها واستخدامها، إلا أن النتائج المتحصلة لا يمكن إثبات مصداقيتها بسهولة، على عكس الطريقة المبنية على العمليات والتي تتطلب كمية كبيرة من البيانات الموثوقة. أما الطريقة الإحصائية فتفرز نتائج كمية وليست نسبية إلا أنها قابلة للرفض بسهولة حيث إنها غير معتبرة هيدروديناميكياً.

من أكثر الطرق المستخدمة في تقييم قابلية تلوث المياه الجوفية هي طريقة المؤشرات والتراكب، والتي تعتمد منهجيتها على جمع الخرائط التي لها علاقة بالعناصر المتضمنة في عملية تقييم قابلية التلوث كالتربة، والجيولوجية، ومستوى المياه الجوفية، ومعدل التغذية وغيرها، وذلك لإيجاد مناطق متماثلة في الخواص يتم بعد ذلك إعطاء قيم نوعية ونسبية لهذه المناطق المتماثلة. بعض الطرق تعطي أوزاناً مختلفة اعتماداً على أهمية هذا العنصر في منطقة الدراسة والتي يحددها الخبراء القائمون على تنفيذ الدراسة، وهذه الطريقة مستخدمة في معظم تطبيقات تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث. ومن أكثر الطرق استخداما طريقة DRASTIC (Aller, *et al*. 1985)، التي تم إتباعها في البحث الحالي لتقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث في دولة الكويت. استخدمت هذه الطريقة بشكل واسع في العالم ومنها دراسة أجراها روزن (Rosen, 1994) لتحديد قابلية المياه الجوفية للتلوث بمملكة السويد ودراسة مماثلة (Added and Hamza, 1995) لتقييم قابلية تلوث خزان متلين شمال شرق تونس باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS). وفي البرتغال قام (Lobo *et al*. 1995) بإجراء دراسة مشابهة لإنتاج خرائط تبين قابلية المياه الجوفية للتلوث. كما أُجري تقييم لحساسية المياه الجوفية للتلوث في المغرب (Makhokh, 2000) وأنتجت خرائط الحساسية باستخدام هذه الطريقة حيث جُمعت بيانات أساسية شملت العناصر ذات العلاقة المباشرة بموضوع التلوث. وفي منطقة الخليج العربي أجريت دراسة في دولة الإمارات العربية المتحدة لتقييم قابلية الخزان الجوفي الضحل غير المحصور في المنطقة الشرقية لإمارة أبو ظبي للتلوث الناتج عن الأنشطة السطحية باستخدام هذه الطريقة (Al-Zabet, 2002)، وأوضحت الخرائط المنتجة المواقع ذات القابلية العالية للتلوث في منطقة الدراسة، كما قام الشويعي (2004) بتقييم قابلية خزان الدمام الجوفي للتلوث الناتج من الأنشطة السطحية في مملكة البحرين باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وفي الدراسة الأخيرة تم تعديل

that included hydrogeologic, topographic, water level, geologic, and soil data. The GIS database is used to classify the field values of the parameters of the DRASTIC methodology, which included Depth to water table, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone, and Hydraulic conductivity, and were converted into their respective ratings. The Recharge parameter was excluded due to its negligible value over Kuwait. These ratings are then multiplied by the parameters relative weights to produce the final groundwater vulnerability index map. Analysis of the map indicated that groundwater classified as vulnerable to highly vulnerable occupy about 1100 km^2 from the total area of Kuwait and is located mainly in the eastern parts of the country along the coast, where the depth to groundwater is as low as 0 to 1.5 m. However, the majority of groundwater areas in Kuwait have low potential to surface pollution, essentially due to the large depth to groundwater, which is more than 75 m towards the west.

Keywords: *Groundwater, Vulnerability to Pollution, Surface Activities, Assessment, DRASTIC Methodology, State of Kuwait.*

المقدمة

في دولة الكويت، كما في دول مجلس التعاون الأخرى، وبسبب التوسع العمراني والزراعي والصناعي المتسارع تتعرّض المياه الجوفية في دول المنطقة - بالإضافة إلى استنزافها - إلى الكثير من تهديدات التلوث الناتج من الأنشطة السطحية (الزراعية والحضرية والصناعية..)، وذلك بسبب عدم وجود أنظمة متكاملة لحماية المياه الجوفية فيها، وعدم إدراج قابليتها للتلوث السطحي في عملية تخطيط استخدامات الأراضي. ويؤدي تلوث المياه الجوفية بواسطة الأنشطة السطحية إلى تقليص جاهزية استخدامات هذه الموارد المائية المحدودة أصلاً، وفي النهاية، إلى تفاقم وزيادة درجات الندرة المائية.

تنقسم المياه الجوفية في دولة الكويت بشكل عام إلى نوعين، الأول هو المياه العذبة وتبلغ ملوحتها أقل من 1000 ملليجرام في اللتر (ملجم/لتر) وتتواجد على نطاق محدود جدا على هيئة عدسات مائية عذبة محاطة بمياه عالية الملوحة وتوجد في تكوين الدبدبة في منطقتي الروضتين وأم العيش في شمال الكويت وتستمد مياهها من الأمطار القليلة المتساقطة حاليا، ويقدر مخزونها بحوالي 180 مليون متر مكعب (الرويح، 2005؛ وزارة الطاقة، 2006). أما النوع الثاني فهو المياه الجوفية المائلة إلى الملوحة وتبلغ ملوحتها أكثر من 3000 ملجم/لتر، وتتواجد في طبقتين مائيتين هما، من الأعلى للأسفل، الترسبات الغرينية لمجموعة الكويت والصخور الجيرية التابعة لتكوين الدمام، وتتواجد هذه المياه في النصف الجنوبي والجنوب غربي من دولة الكويت، ويتم استخدام المياه المائلة إلى الملوحة بشكل رئيسي من قبل وزارة الطاقة بواسطة حقول آبار منتشرة في هذه المناطق. تستخدم مياه حقول هذه الآبار لأغراض الخلط مع المياه المحلاة وللقطاع البلدي مباشرة عن طريق شبكة خاصة لغير أغراض الشرب، كما تستخدم أيضا لأغراض الزراعة وسقي الماشية وصناعة النفط (المسباح، 2004؛ الرويح، 2005).

لقد دللت بعض الدراسات في الكويت (Visswanathan, *et al*. 1997; Akbar, 1999; Al-Rashed *et al*. 1999 الهيئة العامة للبيئة (2002)؛ Al-Yaqout 2003) على وجود مشكلة تلوث سطحي ناتج عن بعض الأنشطة في دولة الكويت، التي من الممكن أن ينتج عنها تلوث للمياه الجوفية. ولذلك، فإنه من الضروري النظر إلى هذا الجانب المهم من إدارة المياه الجوفية في دول المجلس، أي حماية المياه الجوفية من التلوث الناتج عن الأنشطة البشرية، لما يمكن أن يسببه ذلك من خسارة لهذه الموارد، ولما يمكن أن يمثله من مخاطر على صحة الإنسان في حال استهلاكه لهذه المياه، واعتباره جزءاً مكملاً وأساساً في الإدارة السليمة والمتكاملة للمياه الجوفية، واتخاذ الإجراءات اللازمة والمطلوبة لمنع تعريض المياه الجوفية للخطر من التلوث الناتج عن الأنشطة البشرية.

تتطلب حماية المياه الجوفية من التلوث الناتج عن الأنشطة السطحية أولاً تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث Groundwater Vulnerability Assessment، وتحديد الحماية الطبيعية التي تتمتع بها هذه الموارد، ومن ثم التحكّم في الملوثات التي قد تنشأ وتتسرب من الأنشطة السطحية القائمة حالياً، أو المزمع إنشاؤها مستقبلاً في المناطق ذات القابلية العالية للتلوث، وتنفيذ الإجراءات الوقائية اللازمة لتقليل هذه المخاطر. ويعتبر مبدأ تقييم قابلية تلوث المياه الجوفية بواسطة الأنشطة السطحية من المبادئ الهامة في الإدارة السليمة لموارد المياه الجوفية وتخطيط استخدامات الأراضي (Rupert, 2001)، ويعد حديثً نسبياً نشأ مع تزايد القلق من الأخطار التي تهدد البيئة التي يعيش فيها الإنسان. ولقد أصبح تحديد مناطق خزانات المياه الجوفية المعرضة للتلوث ورسمها وتخطيطها من أولويات الحماية في الكثير من الدول، كما أن

Research Paper Ref. No 2548

تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث الناتج من الأنشطة السطحية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية في دولة الكويت
الجزء الأول: تقييم قابلية المياه الجوفية الذاتية للتلوث

Assessment of Groundwater Vulnerability to Surface Pollution Using GIS in the State of Kuwait
Part I: Groundwater Intrinsic Vulnerability Mapping

جلال عبد المحسن التحو[1]، أسد الله أحمد العجمي[2]، ووليد خليل الزباري[3]

Jalal A. Al-Tahow, Asadullah Al-Ajmi, and Waleed K. Al-Zubari

[1] الهيئة العامة لشؤون الزراعة والثروة السمكية، ص. ب. 21422، الصفاة ، الرمز البريدي 13075، الرابية، دولة الكويت

[2] برنامج علوم الصحراء والأراضي القاحلة، كلية الدراسات العليا، جامعة الخليج العربي

[3] برنامج إدارة الموارد المائية، كلية الدراسات العليا، جامعة الخليج العربي، ص. ب. 26671، المنامة، مملكة البحرين

E-mail: waleed@agu.edu.com

المستخلص: تعتبر المياه الجوفية المصدر الطبيعي الوحيد للمياه في دولة الكويت، إلا أن بعض الدراسات الحديثة أشارت إلى تعرض هذه المياه للتلوث بسبب الأنشطة الزراعية والنفطية ومكبات النفايات، الأمر الذي قد يؤدي إلى خسارة هذا المصدر مستقبلا فيما لو لم يتم حمايته. لذا، هناك ضرورة لإعداد وثيقة تخطيطية تمثل قابلية تلوث المياه الجوفية بواسطة الأنشطة السطحية، يمكن الاستفادة منها في عملية تخطيط استخدامات الأراضي المستقبلية، أو لإتخاذ الإجراءات الوقائية المطلوبة للأنشطة السطحية القائمة حاليا. في الجزء الأول من هذه الدراسة تم تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث من الأنشطة السطحية في دولة الكويت باستخدام منهجية DRASTIC، حيث تم بناء قاعدة معلومات مكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية للبيانات الهيدروجيولوجية والطبوغرافية والمستويات المائية والجيولوجية والتربة، وتم استخلاص المتغيرات المستخدمة في تقييم القابلية والتي تشمل معاملات عمق المياه الجوفية، ونوع الخزان الجوفي، ونوع التربة، والطبوغرافية، وتأثير منطقة الإرتشاح، ومعامل التوصيل الهيدروليكي. أما بالنسبة لمعامل تغذية المياه الجوفية فقد تم الاستغناء عنها لتتناسب مع الظروف الهيدروجيولوجية للكويت. ولقد تم تصنيف هذه المتغيرات وإعطائها الأوزان المتعارف عليها والقيم المختلفة بما يتناسب مع قيمها الحقلية، ومن ثم إنتاج خارطة قابلية المياه الجوفية للتلوث السطحي في دولة الكويت. وقد تبين من تحليل الخارطة المنتجة أن إجمالي مساحة المناطق ذات القابلية العالية والعالية جدا للتلوث تبلغ حوالي 1100 كم^2 وتقع في الجهة الشرقية من الكويت، حيث تقترب المياه الجوفية من السطح ويتراوح عمقها ما بين 0 إلى 1.5 متر من سطح الأرض، إلا أن معظم أجزاء دولة الكويت ذات قابلية منخفضة للتلوث بسبب العمق إلى المياه الجوفية أساسا الذي يزيد فيها عن 75 مترا بالاتجاه غربا.

كلمات مدخلية: *مياه جوفية، قابلية للتلوث ، أنشطة سطحية، تقييم، منهجية DRASTIC، دولة الكويت.*

Abstract: Groundwater represents the only natural source of relatively freshwater available to the State of Kuwait. However, recent studies have indicated groundwater pollution by agricultural, petroleum, and dumping activities, which could lead to the loss of this resource in the future if not properly protected. Hence, there is a need for planning documents representing the vulnerability of groundwater resources to pollution by surface activities, to be used in land use planning, or to take required precautionary measures for the existing activities. In the first part of this study, the vulnerability of groundwater to surface pollution in Kuwait is assessed using the DRASTIC methodology by employing Geographic Information System in the development of a spatial database