مجلة التربية للعلوم الانسانية

مجلة علمية فصلية محكّمة، تصدر عن كلية التربية للعلوم الإنسانية / جامعة الموصل

تقييم قابلية وحساسية المياه الجوفية للتلوث في مدينة أربيل باستخدام أنموذج دراستيك (DRASTIC Model)

كمال إبراهيم رشيد الكاكئي [1] **صهيب حسن خضر** [2]

جامعة الموصل / كلية التربية للعلوم الإنسانية / قسم الجغرافية / الموصل – العراق [1، 2]

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام : 2024/7/22

تاريخ المراجعة : 2024/8/22

تاريخ القبول : 2024/8/27

تاريخ النشر : 2025/11/20

الكلمات المفتاحية :

أنموذج دراستيك(DRASTIC) ، حساسية المياه الجوفية للتلوث، المعايير الهيدروجيولوجية، نظم المعلومات الجغرافية(ArcGIS) ، تقييم قابلية التلوث

معلومات الاتصال

كمال إبراهيم رشيد

kamalkakay885@gmail.com

الملخص

اعتمدت هذه الدراسة على أنموذج دراستيك(DRASTIC Model) لتقييم قابلية وحساسية المياه الجوفية للتلوث. يتميز هذا النموذج بدقته، إذ يعتمد على تحليل كمي لسبعة معايير هيدروجيولوجية فيزيائية مؤثرة، هي(عمق المياه الجوفية(D) – معدل الشحن الجوفي(R) – نوعية الخزان الجوفي(A) – نوع التربة(S) – الطوبوغرافية(T) – نطاق عدم الاشباع(I) – الناقلية الهيدروليكية (النفاذية) (C). ويهدف هذا البحث بشكل أساسي الى توضيح مدى تأثير ألعوامل الطبيعية على تلوث المياه الجوفية، وتحديد خصائصها الكمية والنوعية، ورسم صورة توزيعها في منطقة ألدراسة، وتقييم صلاحيتها للاستخدام. كما تم توظيف برنامج نظم المعلومات الجغرافية (Arc Gis 10.8) لإنتاج خرائط رقمية بنظام الطبقات توضح خصائص المياه الجوفية في منطقة الدراسة. وجرى ذلك من خلال جمع بيانات عن مواقع ل(128) بئر مياه جوفية ورسم نماذجها النهائية لتوضيح درجات التلوث بعد تصنيفها الى ثلاثة مستويات (عالية ومتوسطة ومنخفضة). وقد تم باستخدام تقنية التقنيع (Masking) بحسب حساسية المياه للتلوث، مع اعطاء كل معيار وزناً ترجيحياً خاص به. وتبين ان مستوى المناطق منخفضة التلوث بلغت (31%) من مساحة منطقة الدراسة، اما مستوى المناطق متوسطة التلوث فقد احتلت نسبة (34%) من مساحة منطقة الدراسة، في حين بلغ مستوى المناطق العالية التلوث نسبة (35%) من مساحة منطقة الدراسة.

وذلك نتيجة لأسباب عدة منها قيام العديد من الصناعات في الاجزاء الشرقية في منطقة الدراسة كصناعة البلوك والاثاث المنزلية وصناعة لتصليح السيارات وعوادمها، إذ تأخذ الفيضان هذه العوامل وتنقلها الى اماكن اخرى مع الملوثات الموجودة فيها او تختلط مع المياه اثناء ترشحها الى باطن الارض. وحفر الآبار بصورة عشوائية مما يؤدي الى تأثير ذلك في جيولوجية الخزانات الجوفية وبما أن الاجزاء الوسطى والغربية ذات الانحدار قليلة مقارنة بالاجزاء الشرقية لمنطقة الدراسة لذا تحمل المياه الملوثات من مناطق ذات الانحدار الشديد وترسبها الى هذه المناطق فضلاً عن الرش المستمر بمبيدات الحشرات لحدائق واشجار (بارك سامي عبد الرحمن) مما يؤدي الى ترشحها الى الطبقات الجوفية وبالتالي زيادة الملوثات في المنطقة بالاضافة الى مناطق ملوثة تقع خارج منطقة الدراسة والتي يؤثر بشكل كبير على منطقة الدراسة مثل دخان المصانع وحقول النفط المتطايرة في الهواء او يتم تسربها الى باطن الارض وذلك لعدم وجود رقابة على بعض الحقول والمصافي وخاصة الاهلية، وأيضاً الغبار ومياه الصرف الصحي الذي تقع على اطراف منطقة الدراسة وتتسرب ايضا لتختلط مع المياه الجوفية وغيرها من العوامل الاخرى

DOI: **********,, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Journal of Education for Humanities

A peer-reviewed quarterly scientific journal issued by College of Education for Humanities / University of Mosul

Evaluation of Groundwater Vulnerability and Susceptibility to Pollution in Erbil City Using the DRASTIC Model

Kamal Ibrahim Rashed Al-Kakayi [1] **Suhaib Hassan Khudhur** [2]

University of Mosul / College of Education for Humanities / Department of Geography / Mosul - Iraq [1,2]

Article information

Received : 22/7/2024
Revised 22/9/2024
Accepted : 27/8/2024
Published 20/11/2025

Keywords:

DRASTIC model, Groundwater pollution vulnerability, Hydrogeological parameters, Geographic Information Systems (ArcGIS), Pollution susceptibility assessment

Correspondence:
Kamal Ibrahim Rashed
kamalkakay885@gmail.com

Abstract

This study employed the DRASTIC model to assess groundwater vulnerability and sensitivity to contamination. The model's accuracy is attributed to its quantitative analysis of seven hydrogeological parameters: depth to groundwater (D), recharge rate (R), aquifer media (A), soil media (S), topography (T), impact of vadose zone (I), and hydraulic conductivity (C).

The primary objective of this research was to investigate the influence of natural factors on groundwater contamination, characterize its quantitative and qualitative properties, map its spatial distribution within the study area, and evaluate its suitability for various uses. A geographic information system (GIS) (ArcGIS 10.8) was utilized to generate thematic maps representing the groundwater characteristics of the study area.

Data from 128 groundwater wells were collected and used to develop final models illustrating contamination levels, which were classified into three categories: high, moderate, and low. A masking technique was applied based on groundwater sensitivity to contamination, with each parameter assigned a weighting factor. The results indicated that low-contamination areas constituted 31% of the study area, while

moderate-contamination areas accounted for 34%, and high-contamination areas comprised 35%.

Several factors contributed to the observed contamination levels. Industrial activities in the eastern part, such as block, furniture, and automotive manufacturing, released pollutants during floods. Unregulated well drilling adversely affected aquifer geology. The topographic gradient facilitated the movement of contaminated water from higher to lower elevations. Additionally, pesticide use in parks and external pollution sources, including industrial emissions, oil field leaks, and untreated wastewater, significantly impacted groundwater quality.

DOI: **********, ©Authors, 2025, College of Education for Humanities University of Mosul.
This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

1: المقدمة

تعد المياه الجوفية المصدر الرئيسي للموارد المائية التي يعتمد عليه في المنطقة لإغراض الشرب والري والسقي، يواجه مخزون المياه الجوفية خطراً حقيقياً، إذ يتم إستهلاكه بمعدلات تقوف قدرتهِ ألطبيعية على التجدد، ممِا يؤدي الى إنخفاض مستوياته ألمائية وتدهور جودتها، ناهيك عن تعرضها لمخاطر ألتلوث المتزايد. لذا تعد مراقبة مخزون المياه الجوفية ضرورية لفهم آليات الدورة الهيدرولوجية، خاصة في ظل التغيرات المناخية، وضمان إدارة مستدامة للمياه تلبي إحتياجات السكان المتزايدة(Bera et al, 2021). يتم إنشاء خارطة حساسية المياه الجوفية للتلوث للتعرف على المناطق التي يتعرض للتلوث ومعرفة أسباب تعرضه من أجل الوصول الى حلول والحصول على مياه جوفية عذبة وذلك باستخدام طريقة دراستيك (DRASTIC) الذي استخدمته وكالة حماية البيئة لتقييم تلوث المياه الجوفية في الولايات المتحدة الامريكية (United States Environmental Protection Agency) U.S.EPA منذ عام 1987، الذي يعد من احدى الطرائق المستخدمة لمعرفة نسبة تلوث المياه الجوفية بعد دمج عدة متغيرات والوصول الى خريطة نهائية تمثل حساسية التلوث، وتساعد خرائط الحساسية في التخطيط من اجل حماية المياه الجوفية من التلوث، وكما تساعد في مراقبة نوعية المياه الجوفية للآبار، ومن اجل التخطيط استخدامات الارض مستقبلاً.

مشكلة الدراسة

تكمن مشكلة البحث الحالي في مايلي:

1. ما هو تأثير ألمتغيرات الهيدروجيولوجية على تلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة؟
2. هل ان العوامل الطبيعية ام البشرية الذي يسبب في تلوث المياه الجوفية؟ ايهما الأكثر تأثيراً.

فرضية الدراسة

1. يمكن لأنموذج دراستيك ألكشف عن نسبة وتحديد مناطق تلوث المياه الجوفية في منطقة ألدراسة.
2. تؤثر نوعية الصخور والتربة بشكل كبير على نوعية المياه الجوفية في منطقة الدراسة.
3. للعوامل البشرية دور في تلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة.
4. يمكن إنتاج خرائط تظهر قابلية المياه الجوفية للتلوث ألناتج عن الأنشطة ألسطحية في منطقة ألدراسة، مع تحديد ألمناطق ذات ألتلوث ألعالي والمتوسط والمنخفض.

اهمية الدراسة

تساهم هذه ألدراسة في حماية المياه الجوفية من التلوث من خلال توظيف التقنيات الحديثة كنظم المعلومات الجغرافية وغيرها من البرامج لتحليل ألبيانات والمعطيات الهيدرولوجية وحساب مؤشر حساسية بهدف الكشف عن مناطق ألتلوث في منطقة الدراسة وحماية المياه الجوفية من مخاطر التلوث.

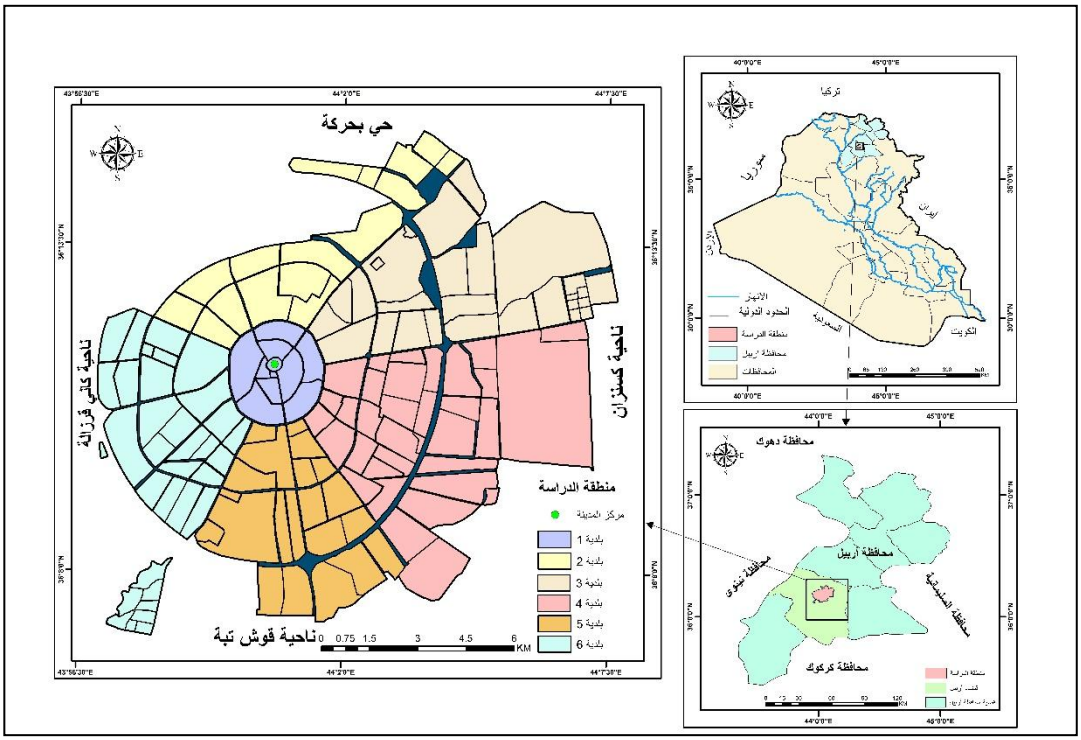
هدف الدراسة

تهدف هذه ألدراسة إلى تقييم قابلية تلوث خزان المياه الجوفية في منطقة الدراسة نتيجة الانشطة ألسطحية في ألمنطقة بإستخدام طريقة دراستيك (DRASTIC) وبتوظيف تقنية نظم ألمعلومات ألجغرافية (GIS) لإنتاج خرائط تُمثل قابلية المياه الجوفية للتلوث من ألانشطة ألسطحية.

2: موقع منطقة الدراسة

تقع منطقة ألدراسة في الجزء الشمالي من العراق، وتعد مركزاً لمحافظة أربيل. يبلغ مساحتها (152.1614) كم^2. تنحصر بين دائرتي عرض ("08 '07 °36 – "08 '13 °36) شمالاً، وخطي طول ("06 '57 °43 – "06 '03 °44) شرقاً(حسين، 2008). **يحدها من الشرق ناحية كسنزان ومن الغرب ناحية كاني قرزالة ومن الشمال حي بحركة ومن الجنوب ناحية قوش تبة.**

خريطة(1) موقع منطقة الدراسة

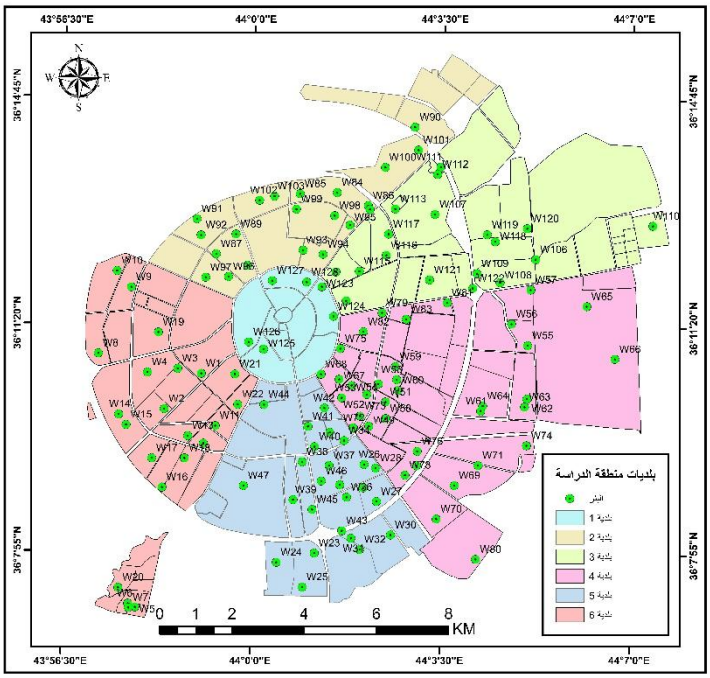


المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على: جمهورية العراق، وزارة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء، شعبة GIS، خريطة العراق الادارية لسنة2012، مقياس 1/1000000، وخريطة التخطيط العمراني لمدينة أربيل لسنة 2021 الصادرة من بلدية أربيل.

3: طريقة الدراسة

لغرض دراسة حساسية التلوث في مدينة أربيل تطلب الحصول على بيانات الآبار ومن ثم الاعتماد على خريطة موزعة فيها الآبار كما في الخريطة (2)، ونظراً لكون المعايير التي تتضمنها طريقة دراستيك(DRASTIC) تشمل المتغيرات الطبيعية من الجيولوجيا والانحدار والتربة والامطار، لذا تم دراسة تلك المتغيرات ضمن معايير أنموذج دراستيك(DRASTIC Model) المقترح.

خريطة (2) توزيع آبار في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا قاعدة بيانات الآبار (2) وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

1:3 طريقة دراستيك DRASTIC Method

تعد من أشهر واكثر مخططات تقييم قابلية المياه الجوفية للتلوث تطبيقاً، هو مااطورته وكالة البيئة الامريكية (USEPA) والمعروفة باسم منهجيةDRASTIC (Aller and Thornhill, 1987). يتكون أنموذج دراستيك من (7) متغيرات هيدرولوجية، ولكل متغير لها قيمة ثابتة بِحسب وزنهِ، كما مبين في الجدول (1)، وبالاعتماد على قاعدة بيانات الآبار في جدول(2). وكل متغير له قيمة درجة تقييم، وتتراوح هذه القيمة من (1–10). توضح جداول أنموذج دراستيك هذه القيم لكل معيار(أحمد، 2021). حيث يدمج سبع معايير او مؤشرات رئيسية للحصول على هذا النموذج وهذه المعايير هي(عمق المياه الجوفية(D) – معدل الشحن الجوفي(R) – نوعية الخزان الجوفي(A) – نوع التربة(S) – الطوبوغرافية(T) – نطاق عدم الاشباع(I) – الناقلية الهيدروليكية (النفاذية)(C) (Gonçalves, and et al,2023) . ويشكل كل حرف

من كلمة (DRASTIC) الحرف الأول لكل متغير من المتغيرات السبعة التي تم استخدامها في تقييم قابلية تلوث المياه الجوفية، وتمثل المعادلة التالية معادلة دراستيك للعوامل الطبيعية لحساب التلوث وكما يلي:

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

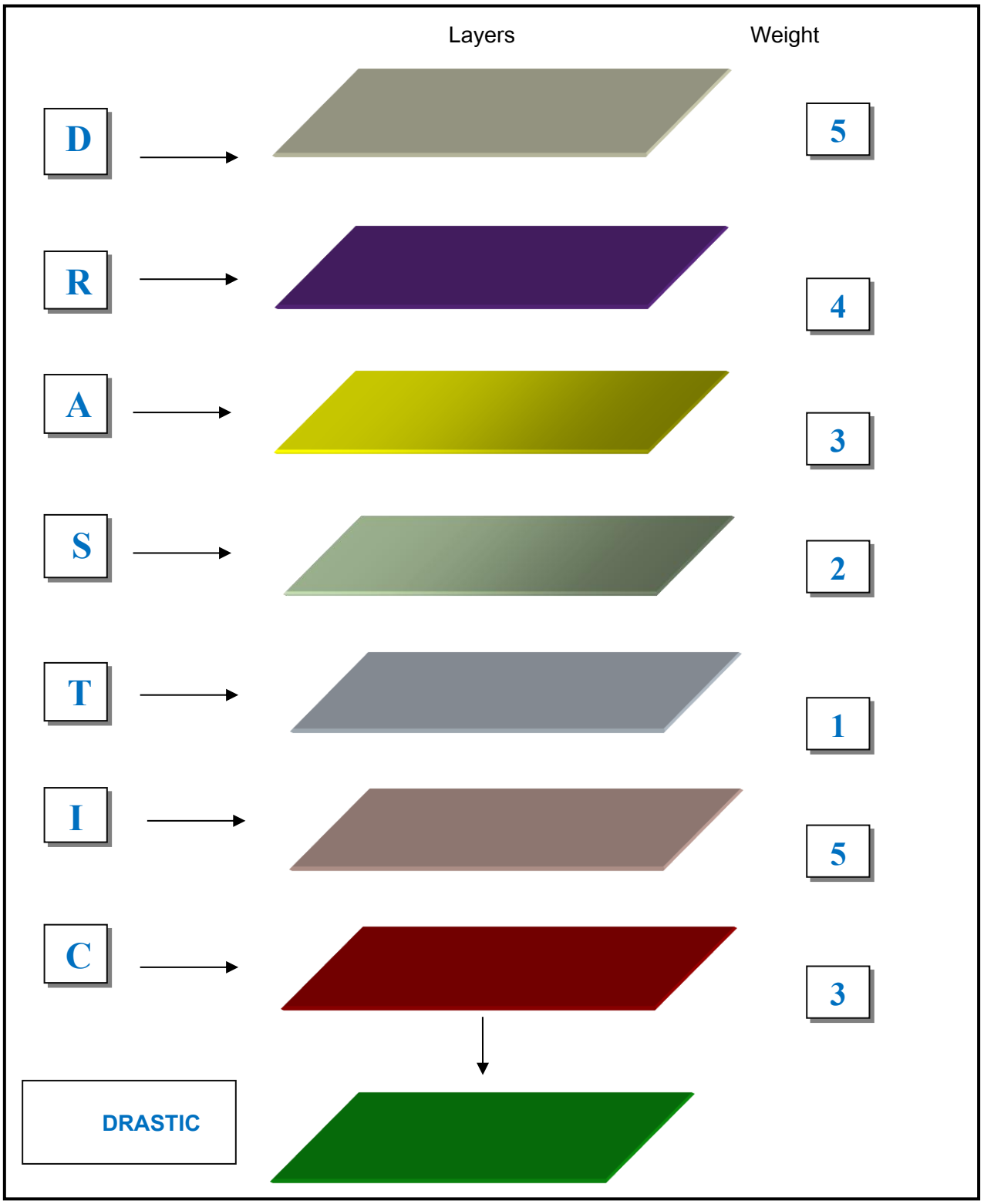
حيث تمثل (r) تصنيف المنطقة التي يتم تقيمها والذي يتراوح من(1–10) و (w) يمثل وزن العامل الذي يتراوح من (1–5)، (Gonçalves, and et al, 2023) .علماً ان هذه الاوزان هي قيم ثابتة لايمكن ان تتغير حسب ما وضعه (Aller and Jerry Thornhill,1987).

جدول(1) معامل دراستيك DRASTIC

ت	المتغير Feature	الحرف	الاهمية (الوزن) Weight
1	عمق المياه Depth to Water table	D	5
2	معدل الشحن الجوفي (Net) Recharge	R	4
3	الوسط المكون للخزان Aquifer Media	A	3
4	نوع التربة Soil Media	S	2
5	الطبوغرافية(الميل) Topography (Slope)	T	1
6	نطاق عدم الاشباع Impact of the Vadose Zone Media	I	5
7	التوصيلية الهيدروليكية(النفاذية) Hydraulic Conductivity of the Aquifer	C	3

1. Aller, Linda, and Jerry Thornhill. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1987, p19.
2. Piscopo, Gennaro, et al. Murrumbidgee Catchment Groundwater Vulnerability Map: Explanatory Notes. Dept. of Land & Water Conservation and Australian Geological Survey Organisation, 2001, p3.

شكل (1) مخطط معامل دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على:

Aller, Linda, and Jerry Thornhill. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1987.

جدول (2) قاعدة بيانات الآبار الارتوازية لطريقة دراستيك

أسم موقع البئر	خطوط الطول	خطوط العرض	ارتفاع سطح الارض عن مستوى سطح البحر(م)	عمق منسوب الماء الجوفي من سطح الارض(م)	ارتفاع منسوب الماء الجوفي عن سطح البحر(م)	أسم موقع البئر	خطوط الطول	خطوط العرض	ارتفاع سطح الارض عن مستوى سطح البحر(م)	عمق منسوب الماء الجوفي من سطح الارض(م)	ارتفاع منسوب الماء الجوفي عن سطح البحر(م)
W1	36°10'35"	43°59'3"	432	300	132	W65	36° 11' 39"	44° 6' 9"	515	300	215
W2	36°10'3"	43°58'.22"	426	350	76	W66	36° 10' 51"	44° 6' 41"	515	300	215
W3	36°10'40"	43°58'36"	392	300	92	W67	36° 10' 31"	44° 1' 36"	423	139	284
W4	36°10' 36"	43°58' 3"	382	310	72	W68	36° 10' 36"	44° 1' 16"	419	200	219
W5	36°7'4"	43°57' 52"	382	406	−24	W69	36° 8' 56"	44° 3' 44"	445	300	145
W6	36°7'7"	43° 57' 44"	379	450	−71	W70	36° 8' 26"	44° 3' 25"	438	300	138
W7	36° 7' 4"	43° 57' 45"	378	450	−72	W71	36° 9' 15"	44° 4' 10"	454	380	74
W8	36° 10' 53"	43° 57' 8"	376	250	126	W72	36° 9' 48"	44° 1' 52"	425	300	125
W9	36° 11' 53"	43° 57' 44"	389	353	36	W73	36° 9' 58"	44° 1' 59"	428	300	128

171	300	471	44° 5' 4"	36° 9' 33"	W74	−68	453	385	43° 57' 28"	36° 12' 7"	W10
284	140	424	44° 1' 37"	36° 10' 59"	W75	24	375	399	43° 59' 19"	36° 9' 48"	W11
187	250	437	44° 3'.3"	36° 9' 27"	W76	64	330	394	43° 59' 6"	36° 9' 32"	W12
212	225	437	44° 3' 2"	36° 9' 14"	W77	−64	455	391	43° 58' 48"	36° 9' 39"	W13
183	250	433	44° 2' 50"	36° 9' 5"	W78	56	330	386	43° 57' 32"	36° 9' 58"	W14
34	400	434	44° 2' 22"	36° 11' 31"	W79	35	348	383	43° 57' 40"	36° 9' 49"	W15
−13	458	445	44° 4' 9"	36° 7' 50"	W80	−13	400	387	43° 58' 21"	36° 8' 52"	W16
155	300	455	44° 3' 35"	36° 11' 41"	W81	47	338	385	43° 58 '9"	36° 9' 19"	W17
140	288	428	44° 2' 2"	36° 11' 14"	W82	18	370	388	43° 58' 45"	36° 9' 19"	W18
140	300	440	44° 2' 49"	36° 11' 26"	W83	37	350	387	43° 58' 15"	36° 11' 12"	W19
289	154	443	44° 1' 31"	36° 13' 19"	W84	70	300	370	43° 57' 33"	36° 7' 22"	W20
−26	450	424	44° 0' 50"	36° 13' 18"	W85	−46	450	404	43° 59' 40"	36° 10' 35"	W21
85	366	451	44° 2' 6"	36° 13' 8"	W86	103	300	403	43° 59' 44"	36° 10' 8"	W22
105	300	405	43°59'18"	36°12'23".	W87	83	330	413	44° 1' 10"	36° 7' 54"	W23
109	300	409	43°59'53"	36°12'13"	W88	151	250	401	44° 0' 28"	36° 7' 46"	W24
112	300	412	43°59'40"	36°12'41"	W89	61	350	411	44° 0' 57"	36° 7' 24"	W25
67	400	467	44°2' 57"	36°14' 19"	W90	59	370	429	44° 2' 4"	36° 9' 15"	W26

153	250	403	43°58' 56"	36°12' 55"	W91	−24	450	426	44° 2' 18"	36° 8' 41"	W27
149	250	399	43° 59' 1"	36° 12' 40"	W92	132	300	432	44° 2' 17"	36° 9' 11"	W28
121	300	421	44° 0' 54"	36° 12' 27"	W93	176	250	426	44° 2' 3"	36° 8' 54"	W29
125	300	425	44° 1' 16"	36° 12' 24"	W94	126	300	426	44° 2' 34"	36° 8' 11"	W30
128	311	439	44° 1' 46"	36° 12' 50"	W95	116	300	416	44° 1' 50"	36° 8' 8"	W31
101	300	401	43° 59' 32"	36° 12' 3"	W96	88	330	418	44° 2' 0"	36° 7' 58"	W32
96	300	396	43° 59' 7"	36° 12' 2"	W97	21	400	421	44° 1' 26"	36° 9' 43"	W33
260	180	440	44° 1' 29"	36° 12' 59"	W98	122	300	422	44° 1' 42"	36° 9' 36"	W34
121	300	421	44° 0' 46"	36° 13' 4"	W99	92	330	422	44° 1' 37"	36° 8' 56"	W35
161	294	455	44° 2' 25"	36° 13' 43"	W100	91	328	419	44° 1' 45"	36° 8' 45"	W36
20	450	470	44° 3' 1"	36° 13' 58"	W101	119	300	419	44° 1' 25"	36° 9' 13"	W37
40	373	413	44° 0' 5"	36° 13' 12"	W102	87	330	417	44° 0' 56"	36° 9' 16"	W38
42	374	416	44° 0' 22"	36° 13' 16"	W103	62	350	412	44° 0' 46"	36° 8' 42"	W39
53	393	446	44° 2' 8"	36° 13' 5"	W104	281	137	418	44° 1' 9"	36° 9' 30"	W40
217	210	427	44° 1' 43"	36° 11' 42"	W105	295	121	416	44° 1' 2"	36° 9' 49"	W41
42	450	492	44° 5' 12"	36° 12' 21"	W106	118	300	418	44° 1' 20"	36° 10' 5"	W42
13	450	463	44° 3' 20"	36° 13' 1"	W107	115	300	415	44° 1' 40"	36° 8' 15"	W43

175	300	475	44° 4' 33"	36° 12' 0"	W108	105	300	405	44°0'12"	36°10'8"	W44
171	300	471	44° 4' 7"	36° 12' 8"	W109	212	200	412	44°1'7"	36°8'34"	W45
367	200	567	44° 7' 22"	36° 12' 52"	W110	48	369	417	44°1'17"	36°8'59"	W46
66	415	481	44° 3' 26"	36° 13' 43"	W111	157	243	400	43°59' 51"	36°8' 55"	W47
30	444	474	44° 3' 23"	36° 13' 37"	W112	131	300	431	44°2' 19"	36°10' 27"	W48
52	400	452	44° 2' 36"	36° 13' 5"	W113	127	300	427	44° 2' 9"	36° 9'. 49"	W49
221	204	425	44° 1' 31"	36° 12' 8"	W114	131	300	431	44° 2' 27"	36° 9' 56"	W50
132	300	432	44° 1' 57"	36° 12' 9"	W115	235	200	435	44° 2' 27"	36° 10' 11"	W51
138	300	438	44° 2' 27"	36° 12' 23"	W116	131	300	431	44° 2' 6"	36° 10'18"	W52
234	210	444	44° 2' 29"	36° 12' 42"	W117	272	156	428	44° 1' 39"	36° 10' 14"	W53
185	300	485	44° 4' 27"	36° 12' 36"	W118	299	126	425	44° 1' 49"	36° 10' 26"	W54
186	300	486	44° 4' 18"	36° 12' 43"	W119	175	300	475	44° 5' 4"	36°11'.3"	W55
203	300	503	44° 5' 3"	36° 12' 48"	W120	172	300	472	44° 4' 46"	36° 11' 22"	W56
151	300	451	44° 3' 15"	36° 12' 2"	W121	186	300	486	44° 5' 7"	36° 11' 53"	W57
164	300	464	44° 4' 3"	36° 11' 54"	W122	85	350	435	44° 2' 39"	36° 10' 31"	W58
247	172	419	44° 1' 15"	36° 11' 54"	W123	−11	445	434	44° 2' 38"	36° 10' 43"	W59
273	150	423	44° 1' 29"	36° 11' 28"	W124	−13	446	433	44° 2' 41"	36° 10' 22"	W60

133	270	403	44° 0' 11"	36° 10' 58"	W125	161	300	461	44° 4' 13"	36° 10' 4"	W61
−27	430	403	43° 59' 55"	36° 11' 4"	W126	24	450	474	44° 5' 4"	36° 10' 15"	W62
238	170	408	44° 0' 20"	36° 11' 59"	W127	23	450	473	44° 5' 1"	36° 10' 8"	W63
188	225	413	44° 0' 59"	36° 11' 58"	W128	9	448	457	44° 4' 15"	36° 10' 8"	W64

المصـــدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات مديرية المياه الجوفية في اربيل (بيانات غير منشـــورة) لســـنة 2023م.

وفيما يلي توضح كل من المتغيرات المعتمدة في أنموذج دراستيك بالشكل الاتي:-

1:1:3 عمق المياه الجوفية (D) Depth of Groundwater

وهو أحد المعايير المهمة التي تحدد مدى تعرض المياه الجوفية للتلوث، حيث يقاس عمق المياه الجوفية بالقيمة المطلقة للمسافة بين سطح الارض ومستوى المياه الجوفية، وتمثل ألمسافة ألتي يجب على الملوثات ان تقطعها قبل الوصول الى المياه الجوفية(Nguyen,and et al, 2023). حيث تحدد سماكة الطبقات الجوفية التي أستمرت بها المياه أثناء ترشحها الى الاسفل وقبل وصولها الى الخزان الجوفي، حيث تحدث تصفية وتنقية الماء من الملوثات اثناء الترشح. ومن ثمّ كلما زاد عمق المياه الجوفية زاد معها فترة بقاء الماء والملوثات في العمود الصخري قبل وصلهما الى المياه الجوفية. ونتيجة لذلك تصل الملوثات بتأثير أقل مما كانت عليه، وعكس ذلك كلما قل عمق المياه الجوفية زاد تأثير الملوثات وازداد تأثيرها(**حمدان، 2006**). من خلال جدول (3) يمكن توضيح الرتبة.

جدول (3) معامل عمق المياه الجوفية

عمق المياه الجوفية(متر)	الرتبة Dr	الاهمية Dw	Dw*Dr
1.524-0	10	5	50
4.572-1.524	9	5	45
9.144-4.572	7	5	35
15.24-9.144	5	5	25
22.86-15.24	3	5	15
30.48-22.86	2	5	10
فأكثر 30.48	1	5	5

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على:

Lee, Saro, et al. "Regional groundwater pollution susceptibility analysis using DRASTIC system and lineament density." The Eighteen International ESRI User Conference. 1998.

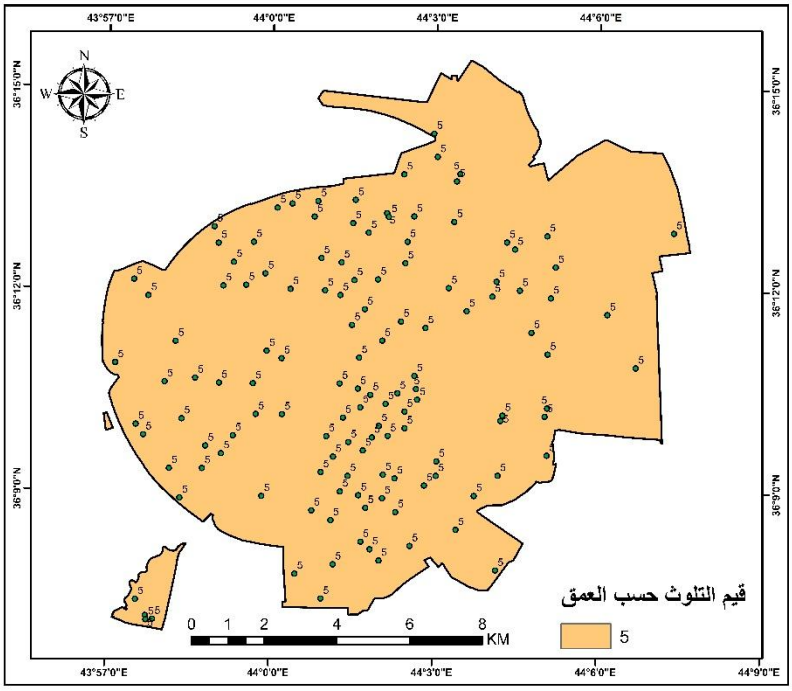
جدول (4) مستويات تاثير المياه الجوفية في تلوث المياه الجوفية حسب أنموذج دراستيك

المستوى	درجة التلوث	تكرار الآبار	النسبة المئوية %
أكثرمن30.48	منخفضة جدا	كل الآبار	100

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على بيانات طريقة دراستيك، و قاعدة بيانات الآبار(2).

ومن خلال هذه المتغير لوحظ ان منطقة الدراسة تخضع الى فئة واحدة وكما مبين في الخريطة (3) والمتمثلة باكثر من (30.48) متراً دلالة على انخفاض تأثير هذه المتغير في احداث تلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة وتم اعطاء كل بئر برقم (5) دلالة على ناتج ضرب الرتبة بالاهمية.

خريطة (3) مدى تلوث المياه الجوفية بحسب عمق الآبار في منطقة الدراسة بناءً على أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على قاعدة بيانات (2) وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

2:1:3 التغذية السنوية (معدل الشحن الجوفي) (Net Recharge (R)

تُعرف التغذية السنوية بأنها كمية المياه الكلية التي تتسرب إلى الخزان الجوفي سنويًا. وكلما زادت كمية المياه المتاحة، ازدادت سهولة تحرك الملوثات مع المياه الجوفية، مما يجعلها عاملًا مهماً في تقييم مدى قابلية تلوث المياه الجوفية. وتشمل ايضاً متوسط كمية التسرب السنوية، دون الأخذ بعين الاعتبار توزيع أو شدة أو مدة أحداث التغذية(Al-Zabet, 2002).

يمثل معدل الشحن الجوفي كمية المياه التي تخترق سطح الارض وتصل إلى مستوى المياه الجوفية. ينقل الماء المشحون ألملوثات عمودياً ليصل إلى مستوى المياه الجوفية، وافقياً من خلال الخزان الجوفي(**أحمد، 2021**).

ترتبط قيمة التغذية الجوفية بعدة عوامل منها:

التغذية الجوفية = جريان المياه السطحية (الانحدار)% + الامطار + نفاذية التربة (Ouedraogo, and et al, 2015).

ولإجراء عمل دقيق، من ألضروري إنشاء جدول يضم جميع ألمتغيرات ألمذكورة سابقاً. حيث يوفر هذا الجدول صورة واضحة عن ألعمل وتسهل عملية تحليل ألبيانات. ويوضح الجدول (5) ألميل بالدرجات والمعامل لكل مدى من ألميل. كما في الخريطة (4).

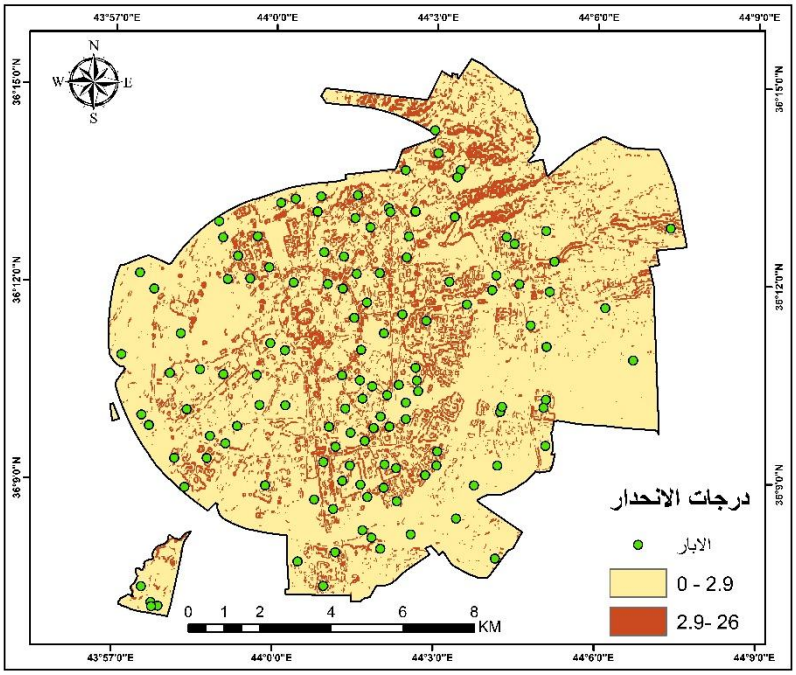
الجدول (5) معامل دراستيك لشدة الانحدار حسب الدرجة

الميل بالدرجات	المعامل
أقل من 2	4
10-2	3
32-10	2
اكبر من 33	1

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على:

Piscopo, Gennaro, et al. Murrumbidgee Catchment Groundwater Vulnerability Map: Explanatory Notes. Dept. of Land & Water Conservation and Australian Geological Survey Organisation, 2001, p8.

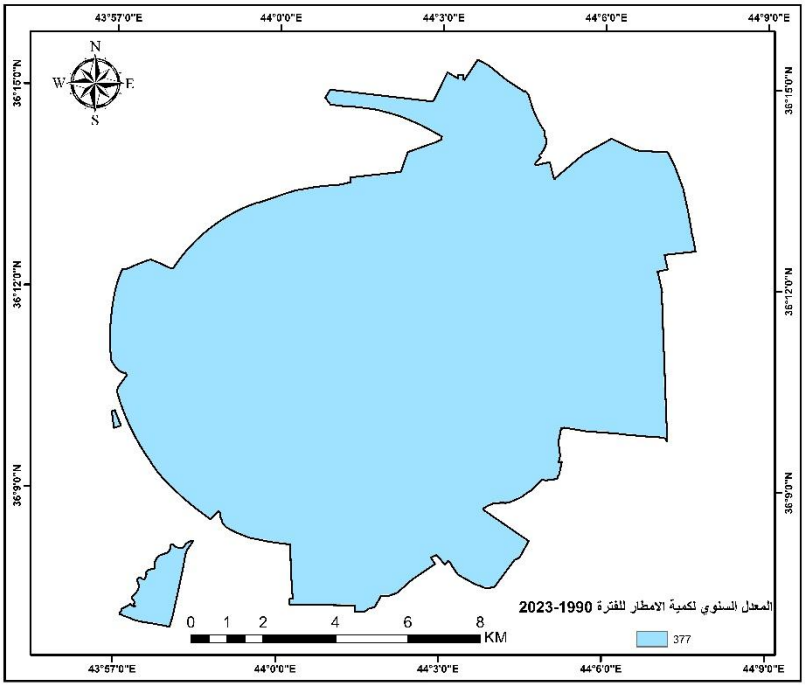
خريطة (4) شدة الانحدار في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على جدول (5) وبرنامج Arc GIS(10.8) بمقياس رسم(1:100000)

من خلال جدول (6) يتضح ان مجموعة الامطار التي تقع ضمن المعامل الاخيرة والمعامل رقم (1). علماً أن مجموع التساقط السنوي يساوي(377.0) ملم للفترة من (1990–2023. كما في الخريطة (5).

خريطة (5) معدل كمية الامطار في منطقة الدراسة للفترة (1990–2023) حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على ملحق(1) وبرنامج Arc GIS(10.8) بمقياس رسم(1:100000)

جدول (6) معامل دراستيك حسب كمية الامطار

كمية الامطار ملم/ سنة	المعامل
أكثر من 850	4
850–700	3
700–500	2
أقل من 500	1

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على:

Piscopo, Gennaro, et al. Murrumbidgee Catchment Groundwater Vulnerability Map: Explanatory Notes. Dept. of Land & Water Conservation and Australian Geological Survey Organisation, 2001, p8.

من اجل إجراء معرفة نفاذية التربة تم الحصول على بيانات من خلال دراسة (أحمد،2022) لحوض اربيل. إذ تم استخراج النفاذية وبلغ معدل النفاذية ما بين (0.0091-0.1) حيث ظهرت كفئة متوسطة حسب دراستها لمنطقة الدراسة، وبذلك تم اعطاء معامل النفاذية متوسطة (4) بحسب دراسة (حمدان، 2006). كما في الخريطة (6) والجدول (7).

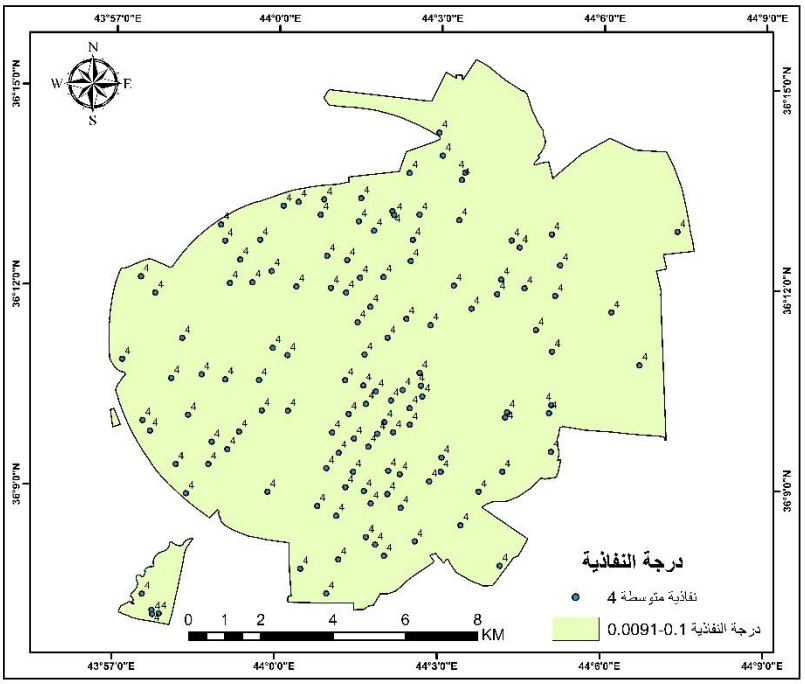
جدول(7) معامل النفاذية لكل نوع من انواعها

النفاذية Permeability	المعاملFactor
مرتفعة High	6
متوسطة Moderate	4
منخفضة Slow	2

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على:

ابراهيم عبد الحميد حمزة حمدان، دراسة نوعية المياه الجوفية في منطقة واحة الازرق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير(منشورة)، معهد علوم الارض والبيئة، جامعة آل البيت، 2006، ص44.

خريطة (6) درجة نفاذية التربة في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



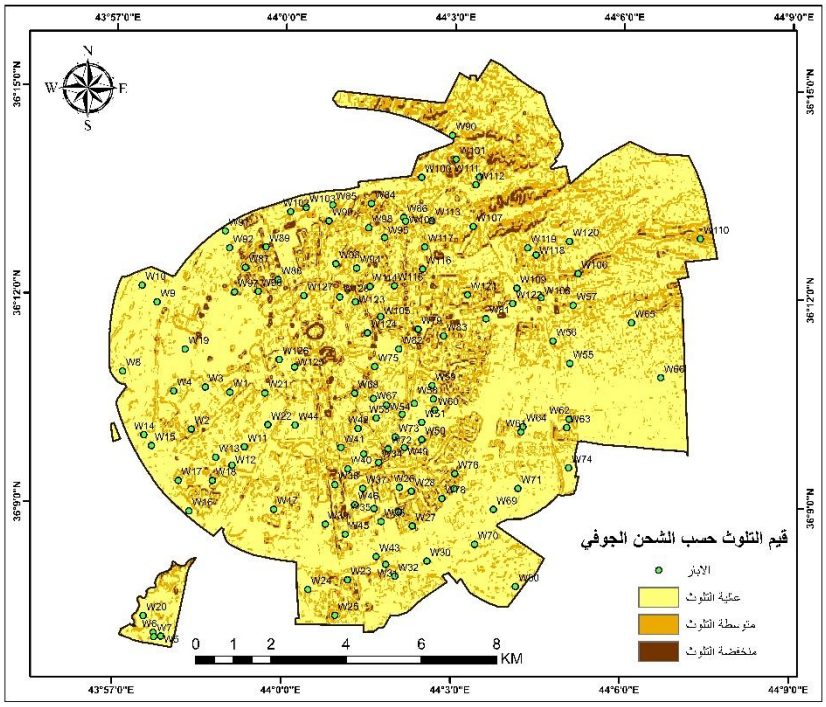
المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على جدول (7) وبرنامج (Arc GIS(10.8 بمقياس رسم(1:100000)

بعد جمع كل من شدة الانحدار وكمية الامطار ودرجة النفاذية، وأعطاء معامل وزن لكل واحد منهم، تدمج هذه المعاملات معاً ويستخرج منها الخريطة النهائية التي تمثل معدل الشحن الجوفي. كما في الخريطة (7) وجدول (8).

تلاحظ قيم التلوث في منطقة الدراسة فقد قسمت الى ثلاث فئات (عالية – متوسطة– منخفضة)، وقد أحتلت الفئة عالية التلوث الجزء الاكبر، وتتراوح درجة التلوث فيها بين(390–411) بنسبة (49)%، إذ تركزت في جميع انحاء منطقة الدراسة وذلك بسبب قِلة الشحن ألجوفي ويمكن ان تكون سبب التلوث عوامل طبيعية وبشرية التي تقع خارج منطقة الدراسة وبمرور الزمن وعبر مياه الامطار الملوثة بدخان المصانع وحقول النفط وعوادم السيارت وانحدار الارض التي يجلب معها الملوثات اثناء الفيضان مما يسبب في تلوث منطقة الدراسة، تليها الفئة المتوسطة بالمرتبة الثانية وتتوزع أيضا في جميع انحاء منطقة الدراسة ولكن بشكل أقل من الفئة الاولى،

وتتراوح درجة التلوث فيها بين(387–390) بنسبة (38)%، ، أما الفئة المنخفضة التلوث فقد أحتلت النسبة أقل في منطقة الدراسة بنسبة (13)% وتتراوح درجة التلوث بين(385–487).

خريطة (7) معدل الشحن الجوفي في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على جدول (5)و(6)و(7) وبرنامج (ArcGIS(10.8 بمقياس رسم(1:100000)

جدول (8) مستويات تاثير معدل الشحن الجوفي في تلوث المياه الجوفية حسب أنموذج دراستيك

المستوى	درجة التلوث	تكرار لابار	اعداد الآبار	النسبة المئوية %
منخفضة	385-387	W23-W29-W68-W72-W75-W76-W79-W84-W87-W89-W90-W101-W105-W106-W116-W121-W125	17	13
متوسطة	387-390	W2-W11-W13-W18-W21-W24-W25-W27-W28-W30-W31-W34-W39-W41-W50-W57-W58-W60-W61-W62-W63-W67-W69-W77-W78-W81-W83-W85-W86-W88-W96-W97-W98-W99-W100-W103-W104-W108-W110-W111-W113-W117-W119-W122-W123- W124-W126-W127	48	38
عالية	390-411	W1-W3-W4-W5-W6-W7-W8-W9-W10-W12-W14-W15-W16-W17-W19-W20-W22-W26-W32-W33-W35- W36- W37-W38-W40- W42-W43-W44-W45- W46-W47-W48-W49-W51-W52-W53-W54-W55-W56-W59-W64-W65-W66-W70-W71-W73-W74-W80-W82-W91-W92-W93-W94-W95-W102-W107-W109-W112-W114-W115-W118-W120-128	63	49
		128بئر		100

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الخريطة (7)

3:1:3 الوسط المكون للخزان الجوفي (A) Aquifer Media

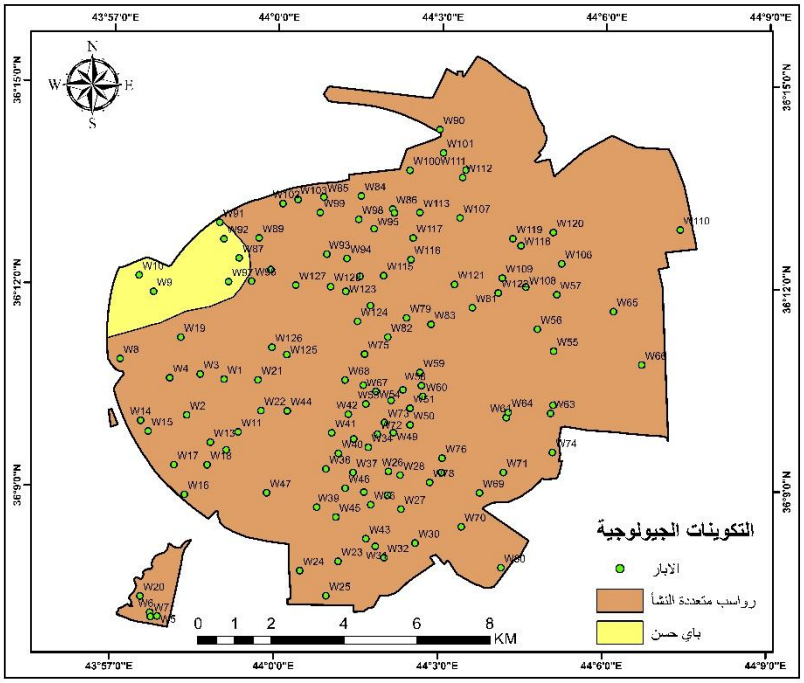
تعد المواد المكونة للصخور من أهم ألعوامل ألتي تحدد مدى تعرض المياه للتلوث، إذ تؤثر خصائص الصخور(المسامية والنفاذية) في تسهيل تسرب ألملوثات من سطح الارض الى المياه الجوفية. ولذا يتم تحديد مكونات الوسط المياه الجوفية عن طريق استخدم الخريطة الجيولوجية لمعرفة تكوينات الصخور في منطقة الدراسة والى بيانات عن الطبقات الليثولوجية وكذلك سجلات الآبار المحفورة للوصول الى معرفة نوع الصخور التي تشكل طبقة المياه الجوفية(Patel, Priyank., et al, 2022).

خزان المياه وهو مصطلح يطلق على ألمواد المتصلبة او غير ألمتصلبة ألتي تشكل ألطبقة الحاملة للمياه، إذ تؤثر طبيعة هذه ألمواد للخزان الجوفي (كنوعها وخصائصها الفيزيائية) في التحكم بمرور المياه والملوثات الى المياه الجوفية. قد يكون الخزان مكوناً من البازلت، تتواجد المياه وتتحرك من خلال الشقوق والصدوع المتواجدة في هذه الصخور، أما إذا كان الخزان الجوفي مكوناً من مواد غير متصلبة(غير سميكة) كالرمل والحصى، في هذه الحالة تتواجد المياه وتتحرك داخل ألفراغات ألموجودة بين حبيبات ألرمل والحصى(**حمدان، 2006**).

حيث ان تكوينات منطقة الدراسة متمثلة بتكوين باي حسن ورسوبيات الحديثة المتباينة في خصائصها من حيث حجمها وشكلها، والذي يغطي معظم انحاء منطقة الدراسة، حيث يتكون خزان باي حسن من صخور رملية وطينية وغرينية وكذلك طبقات من مدملكات، وتعد هذه الترسبات من التكوينات ألخازنة للمياه، لذا اعطيت له رتبة (6) كقيمة تقديرية، اما عن خزان الترسبات الحديثة والذي يتكون من الرمل والطين والحصى لذا اعطيه اليه رتبة (8) كقيمة تقديرية. وبناء على الأعمدة الطباقية للابار والخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة (8)، حيث تم تحديد نوع المواد المكونة للخزان الجوفي في المنطقة.

تم تحديد الرتبة (Ar)، ومن خلال ألجدول (9) لكل خزان وعلى اساس نوعية ألصخور في كل من التكوينات ألجيولوجية ثم تم تحديد الاهمية (Aw) للوسط ألمكون للخزان وبعدها تم ضرب الاهمية في الرتبة(Ar x Aw) وعلى اساس ناتج الاهمية في ألرتبة تم إستخراج خريطة (8) وجدول (10) لتلوث المياه حسب وسط الخزان.

خريطة (8) التكوينات الجيولوجية لمنطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الخريطة جمهورية العراق، وزارة الصناعة والمعادن، الهيأة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، خريطة العراق الجيولوجية، بمقياس 1:1000000، بغداد 2000، وبرنامج Arc Gis10.8

جدول(9) الرتبة للوسط المكون للخزان الجوفي

Aquifer Material	Drastic Rating	Typical Rating
صخور رسوبية كبيرة Massive Shale	1-3	2
متحولة/نارية صخور Metamorphic /Igneous	2-5	3
صخور متحولة متأثرة Weathered Metamorphic /Igneous لاعوامل الجوية/ نارية	3-5	4
الجليد رواسب متوضعة على Glacial till	4-6	5

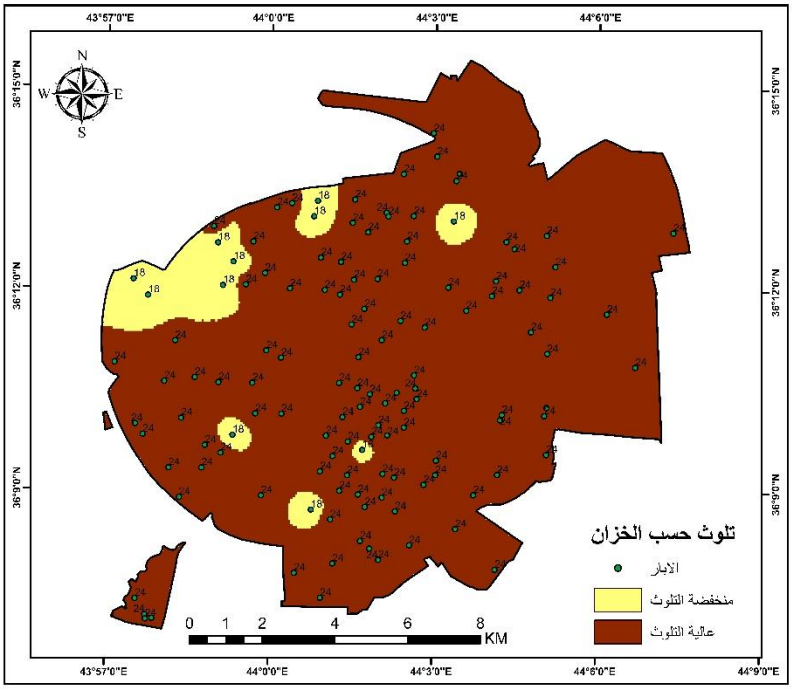
6	5-9	صخور Bedded sandstone, Limestone, Shale sequences رملية متطبقة، صخر كلسي، سلاسل صخرية رسوبية
6	4-9	صخور رملية كبيرة Massive sandstone
6	4-9	صخور كلسية كبيرة Massive limestone
8	4-9	رمل وحصى Sand and Gravel
9	2-10	بازلت Basalt
10	9-10	كارستي صخر كلسي Karst limestone

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على :

1. لما نزار معلا، استخدام نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء أطلس الخرائط الحساسة للمدن الساحلية، رسالة ماجستير(منشورة)، جامعة حلب، كلية الهندسة المدنية، 2015، ص24.
2. Aller, Linda, and Jerry Thornhill. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1987, pp. 38–57.

يلاحظ ان منطقة الدراسة مقسمة الى نوعين من صخور الخزانات (رمل وحصى و صخور رملية متطبقة، صخر كلسي، سلاسل صخرية رسوبية) واعطاء كل فئة وزن معين ثم ضرب كل من الرتبة مع الوزن لإيجاد درجة التلوث)، إذ تم استخراج فئتين للتلوث (منخفضة التلوث وعالية التلوث)، إذ تتراوح نسبة الفئة المنخفضة (13)% من آبار منطقة الدراسة وتتراوح درجة التلوث فيها ما بين (18-21)، وتتواجد في مناطق متفرقة في منطقة الدراسة وخاصة في الجزء الغربي والشمال الغربي فيها، في حين توزعت الفئة الثانية (عالية التلوث) في جميع الاجزاء الاخرى لمنطقة الدراسة، وتتراوح درجة التلوث فيها بين (21-24)، أما النسبة المئوية فتبلغ (77)% من ابار منطقة الدراسة وهذا تعود الى طبيعة التكوينات الحاملة للمياه الجوفية وكذلك العوامل الطبيعية والبشرية الاخرى. كما مبين في الخريطة (9).

خريطة (9) تلوث المياه الجوفية حسب الخزان الجوفي في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على خريطة (8) وجدول (9) وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

جدول (10) مستويات تاثير الخزان الجوفي في تلوث المياه الجوفية حسب أنموذج دراستيك

المستوى	درجة التلوث	تكرار لابار	عدد الآبار	النسبة المئوية %
منخفضة	18-21	W9-W10-W11-W34-W39-W85-W87-W92-W97-W99-W107	11	13
عالية	21-24	W1-W2-W3-W4-W8-W12- W13-W14-W15-W16-W17-W18-W19-W20-W21-W22-W23-W24-W25-W26-W27-W28-W29-W30-W31-W32-W33-W35-W36-W37-W38-W40-W41-W42-W43-W44-W45-W46-W47-W48-W49-W50-W51-W52-W53-W54-W55-W56-W57-W58-W59-W60-W61-W62-W63-W64-W65-W66-W67-W68-W69-W70-W71-W72-W73-W74-W75-W76-W77-W78-W79-W80-81-W82-W83-W84-W86-W88-W89-W90-W91-W93-W94-W95-W96-W98-W100-W101-W102-W103-W104-W105-W106-W108-W109-W110-W111-W112-W113-W114-W115-W116-W117-W118-W119-W120-W121-W122-W123-W124-W125-W126-W127-W128	117	77
		128بئر		100

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الخريطة (9)

4:1:3 نوع التربة Soil Media (S)

هنالك عدة عومل تتحكم في نفاذية التربة كأصناف ألترب وانواعها ونسجتها، لذا فإن مقدار ما يتسرب خلالها من المياه الى باطن الارض تكون تحت تأثيرها(أحمد،2022). وهنالك إختلاف في درجة نفاذية ألتربة وذلك حسب ألمادة التي تكونت منها هذه التربة وحجم الحبيبة، حيث كلما زادت احجام حبيباتها أدت الى زيادة نفاذيتها والعكس صحيح، كلما قلت احجامها قلت النفاذية(**التركماني، 2005**). لا شك بان اهمية ألتربة ونوعيتها لا تقتصر على الجانب الاقتصادي فقط، بل لها دور كبير على مناخ المنطقة، من خلال تأثيرها على حرارة الهواء الملامس لِسطح ألتربة بواسطة ألاكتساب وألفقدان الحراري خاصة في فصل الصيف. من خلال الدراسات السابقة لمنطقة الدراسة تبين ان هنالك صنفين من التربة سائدة فيها وحسب دراسة (أحمد،2022) وهما 1. تربة (مزيجية Loam، والغريني المزيجية Silty Loam). 2. تربة (الطينية المزيجية Clay Loam، الغرينية الطينية المزيجية Silty Clay Loam، رملية طينية Sandy Clay، غرينية طينية Silty Clay، طينية Clay). وبناءاً على بيانات الجدول (11) فقد اعطيت تربة (مزيجية Loam، والغريني المزيجية Silty Loam) رتبة (5)، و تربة (الطينية المزيجية Clay Loam، الغرينية الطينية المزيجية Silty Clay Loam، رملية طينية Sandy Clay، غرينية طينية Silty Clay، طينية Clay) رتبة (3)، وبعد ان تم تحديد الرتبة لنوع التربة السائدة في المنطقة، تم اضافة حقل آخر تمثل الاهمية(Sw) وحقل ثالث حاصل ضرب الرتبة في الأهمية (Sr x Sw)، وبعد ذلك تم استخراج خريطة دراستيك لتمثل تلوث المياه حسب نوع التربة، كما في الخريطة (10)و (11).

جدول (11) اصناف التربة

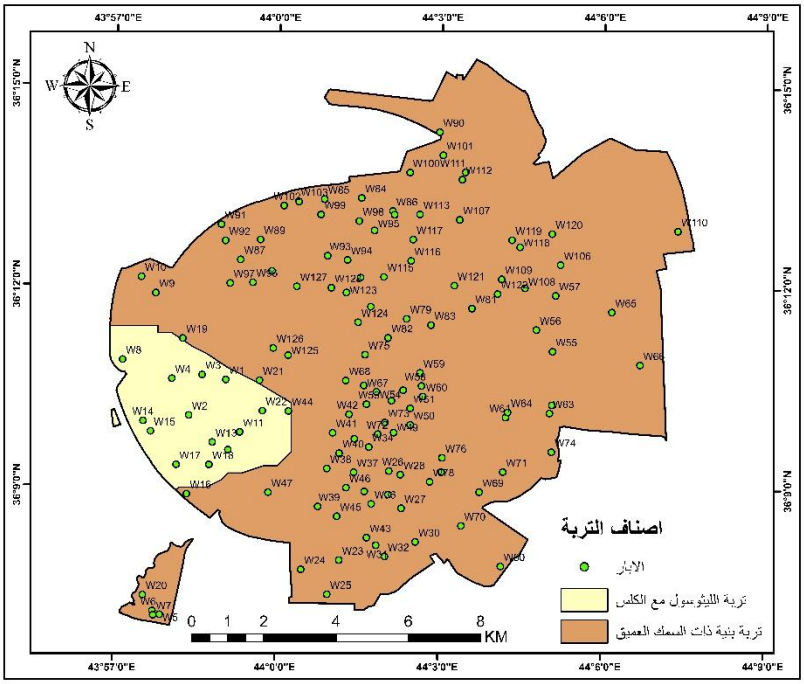
انواع الترب	Sr الرتبة	الاهمية Sw	Sr*Sw
طبقة رقيقة Thin or absent	10	3	30
حصى Gravel	10	3	30
رمل Sand	9	3	27
الخث Peat	8	3	24
التكتلات Shrinking and /or aggregated	7	3	21
رملية مزيجية Sandy loam	6	3	18
مزيجية Loam	5	3	15
غرينية مزيجية Silty loam	4	3	12
طينية مزيجية Clay loam	3	3	9

الطين Muck	2	3	6
الطين غير المتكتلNonshrinking and nonaggregated clay	1	3	3

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على بيانات الآبار وعلى:

Aller, Linda, and Jerry Thornhill. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1987, pp. 38–57.

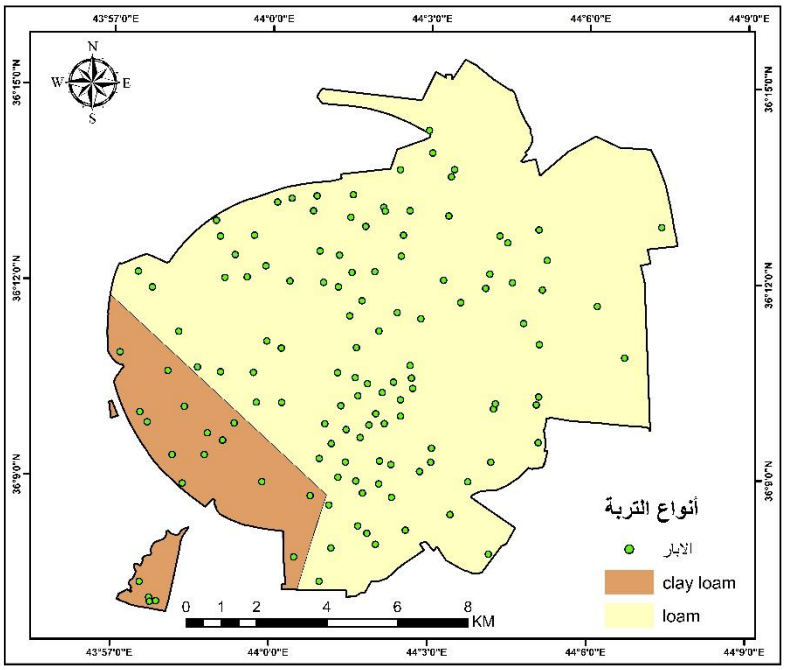
خريطة (10) أنواع الترب في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على برنامج Arc Gis 10.8 وبمقياس رسم (1:100000)

- Buringh, Soils and Soil Conditions in Iraq. Ministry of Agriculture, Baghdad, 1960.

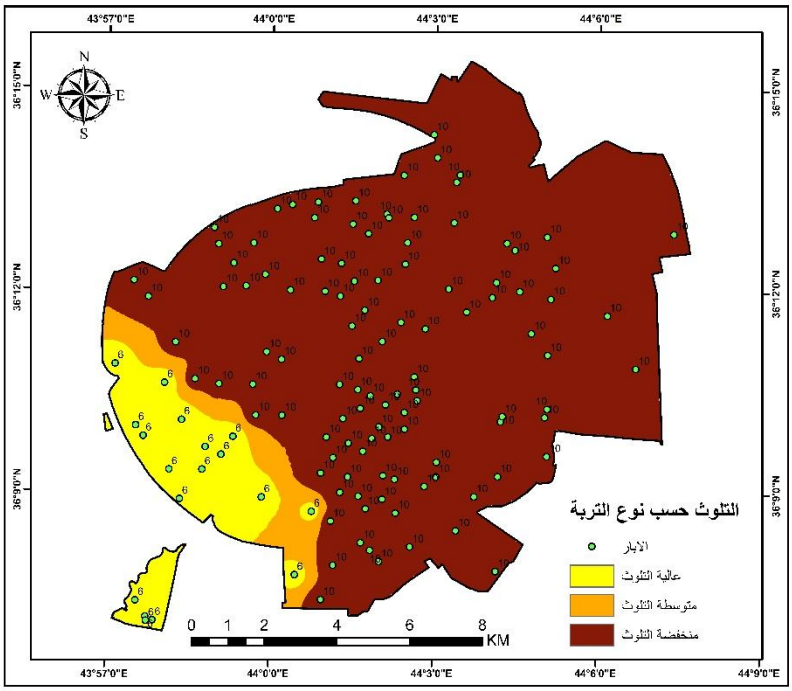
خريطة (11) نسجة الترب في منطقة الدراسة



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على دراسة (أحمد،2022) وبرنامج (10.8)Arc GIS بمقياس رسم (1:100000) اعتماداً على :

حيث تم استخراج الخريطة النهائية لتمثل مدى تلوث المياه الجوفية حسب نوع التربة. كما في الخريطة (12) واضافة جدول (12) تمثل توزيع مستوى ودرجة التلوث، إذ تبين ان منطقة الدراسة تنقسم الى منخفضة، إذ تبلغ درجة التلوث بين (6–7.21)، بنسبة (86)%، وتتوزع في معظم اجزاء منطقة الدراسة ما عدا الاجزاء الغربية والجنوبية الغربية فيها. في حين تراوحت الفئة عالية التلوث ما بين (9.03–10) بنسبة تبلغ (14)% من ابار منطقة الدراسة، وتتوزع في الاجزاء الغربية والجنوبية الغربية في منطقة الدراسة.

خريطة (12) مدى تلوث المياه الجوفية حسب نوع التربة في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على دراسة (أحمد،2022) وجدول (11) وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

جدول (12) مستويات تاثير نوع التربة في تلوث المياه الجوفية حسب أنموذج دراستيك

المستوى	درجة التلوث	تكرار لابار	أعداد الآبار	النسبة المئوية %
منخفضة	6–7.21	W1–W3–W9–W10–W19–W21–W22–W23–W25–W26–W27–W28–W29–W30–W31–W32–W33–W34–W35–W36–W37–W38–W40–W41–W42–W43–W44–W45–W46–W48–W49–W50–W51–W52–W53–W54–W55–W56–W57–W58–W59–W60–W61–W62–W63–W64–W65–W66–W67–W68–W69–W70–W71–W72–W73–W74–W75–W76–W77–W78–W79–W80–W81–W82–W83–W84–W85–W86–W87–W88–W89–W90–W91–W92–W93–W94–W95–W96–W97–W98–W99–W100–W101–W102–W103–W104–W105–W106–W107–W108–W109–W110–W111–W112–W113–W114–W115–W116–W117–W118–W119–W120–W121–W122–W123–W124–W125–W126–W127–W128	110	86
متوسطة	9.03–7.21	ــــــــــــــــــــــــــــ		
عالية	10–9.03	W2–W4–W5–W6–W7–W8–W11–W12–W13–W14–W15–W16–W17–W18–W20–W24–W39–W47	18	14
		128بئر		100

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على خريطة (12).

5:1:3 الطبوغرافية (الميل)% Topography (Slope)% (T)

تلعب الطبوغرافية دوراً رئيسياً في ألتحكم بجريان المياه وألملوثات وأحتباسها على سطح الارض، فكلما زاد إلانحدار، زاد معها جريان المياه وألملوثات على ألسطح، ممِا يُقلل من فترة تماسها مع الارض (التربة). بالتالي تقل كمية المياه ألراشحة للاسفل والتي ستصل الى المياه الجوفية. وعلى عكس ذلك في المناطق ذات الانحدار القليل فإن مدة تماس المياه والملوثات مع سطح الارض تزداد وبالتالي يسمح بترشيح كمية أكبر من المياه وألملوثات الراشحة الى باطن ألارض وفي النهاية ستصل الى المياه الجوفية (Piscopo,and et al, 2001). كما في الجدول (13).

جدول (13) قيم شدة الانحدار

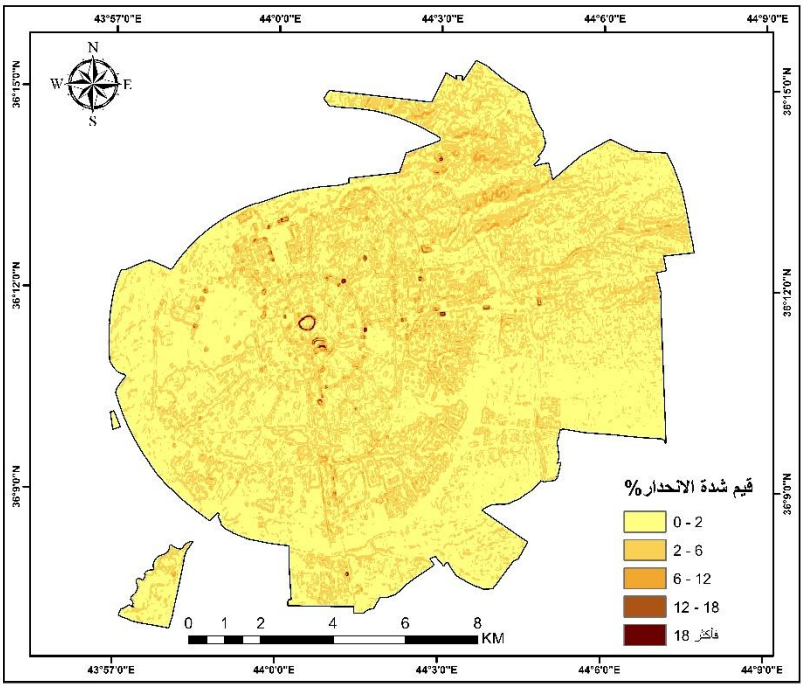
الطبوغرافية (الميل)%	الرتبة Tr	الاهمية Tw	Tw*Tr
2-0	10	1	10
6-2	9	1	9
12-6	5	1	5
18-12	3	1	3
18 فأكثر	1	1	1

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على:

1. عبير يحيى احمد، بناء نماذج المحاكاة لتلوث المياه الجوفية في مدينة الحضـــر باســـتخدام طريقة DRASTIC، مجلة اداب الفراهيدي، كلية الآداب، جامعة تكريت، المجلد (13)، العدد(44)، كانون الثاني 2021 القسم الاول، ص157-182.
2. Aller, Linda, and Jerry Thornhill. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1987, P49.

بعد ما تم عمل جدول يمثل ألرتبة (Tr) وتم اعطاء كُل قيمةَ من قيم ألميل (شدة الإنحدار) ألرتبة ألخاصة بها، وحقل ثانٍ يمثل الأهمية (Tw)، وحقل أخير يمثل حاصل ضرب ألرتبة في الاهمية (Tr x Tw)، ومن خلالها تم إستخراج خريطة (13)، لتلوث المياه الجوفية حسب ألميل (درجة الإنحدار).

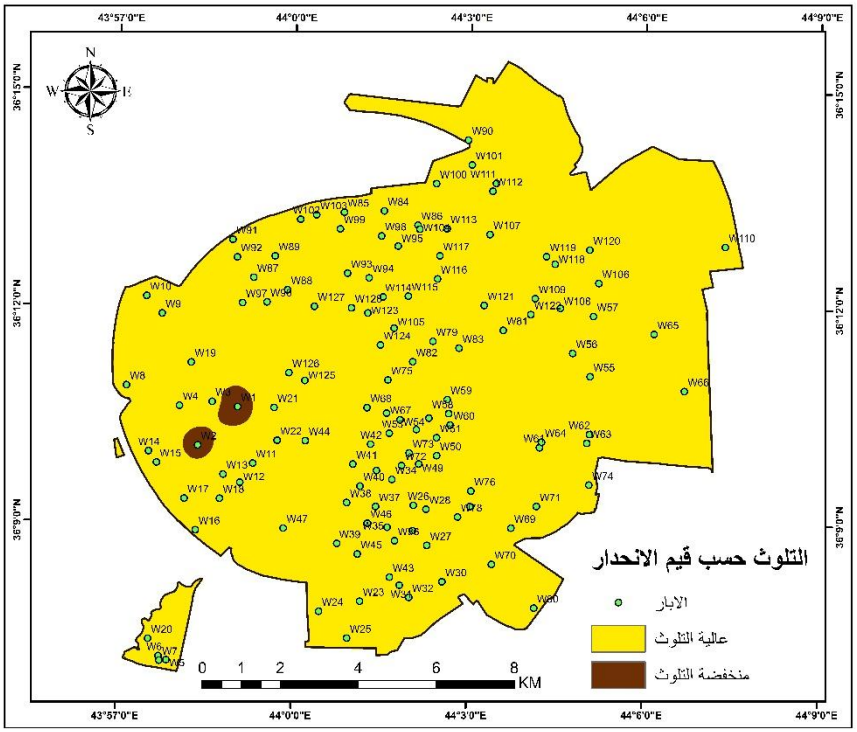
خريطة (13) شدة الانحدار% في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على جدول (13) وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

بعد ما تم استخراج خريطة شدة الانحدار، تم استخراج خريطة اخرى تمثل مدى تلوث المياه الجوفية حسب الانحدار. كما في الخريطة (14) وجدول(14)، حيث تبين ان منطقة الدراسة تتوزع فيها فئتان فقط لمدى التلوث وهما عالية التلوث الذي يتراوح بين(1–5.49) بنسبة (98.4)% من ابار منطقة الدراسة، والفئة الثانية (منخفضة التلوث) والتي تتراوح بين(5.49–9.99) وبنسبة (1.6)% من ابار منطقة الدراسة.

خريطة (14) مدى تلوث المياه الجوفية حسب قيمة ألميل (شدة الإنحدار) في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على خريطة (13) وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

جدول (14) مستويات تاثير شدة الانحدار في تلوث المياه الجوفية حسب أنموذج دراستيك

المستوى	درجة التلوث	تكرار لابار		النسبة المئوية %
عالية	1-5.49	W3-W4-W5-W6-W7-W8-W9-W10- W11-W12-W13-W14-W15-W16- W17-W18-W19-W20-W21-W22- W23-W24-W25-W26-W27-W28- W29-W30-W31-W32-W33-W34- W35-W36-W37-W38-W39-W40- W41-W42-W43-W44-W45-W46- W47-W48-W49-W50-W51-W52- W53-W54-W55-W56-W57-W58- W59-W60-W61-W62-W63-W64- W65-W66-W67-W68-W69-W70- W71-W72-W73-W74-W75-W76- W77-W78-W79-W80-W81-W82- W83-W84-W85-W86-W87-W88- W89-W90-W91-W92-W93-W94- W95-W96-W97-W98-W99-W100- W101-W102-W103-W104-W105- W106-W107-W108-W109-W110- W111-W112-W113-W114-W115- W116-W117-W118-W119-W120- W121-W122-W123-W123-W124- W125-W126-W127-W128	126	98.4
منخفضة	5.49-9.99	W1-W2	2	1.6
		128بئر		100

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على خريطة (14).

6:1:3 نطاق عدم الإشباع (منطقة التهوية) (I) Impact of the Vadose Zone

منطقة التهوية وهي المنطقة ألواقعة فوق مستوى المياه الجوفية، والتي تكون مشبعة بالماء ولكن بشكل غير كامل أو متقطع. وتلعب نوعية المواد ألتي تكون هذه المنطقة دوراً كبيراً في تحديد خصائص إمتصاصها الملوثات والذي تشمل (طبقة التربة والصخور الواقعة فوق مستوى المياه الجوفية) وعلى اتجاه تدفق المياه في منطقة التهوية(Piscopo,and et al, 2001). وتعرف المياه ألموجودة في منطقة ألتهوية بالمياه ألمعلقة (Suspended Water). أما من حيث سمكها فانها تختلف من منطقة إلى أخرى بحسب عمق المياه الجوفية. وكلما إزداد عمق المياه الجوفية، ازداد سمك منطقة ألتهوية(**أحمد، 2021**). وقد تم ألاعتماد في إنتاج خريطة نِطاق عدم الإشباع على المعادلة التالية:

نطاق عدم الاشباع= معامل نوع نفاذية التربة + معامل عمق المياه الجوفية(حمدان، 2006).

كما في الجدول (15) و(16).

جدول(15) نفاذية التربة والمعامل المعطى لكل نوع

النفاذية Permeability	المعامل Factor
مرتفعةHigh	6
متوسطة Moderate	4
قليلة Low	2

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على:

ابراهيم عبد الحميد حمزة حمدان، دراسة نوعية المياه الجوفية في منطقة واحة الازرق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير(منشورة)، معهد علوم الارض والبيئة، جامعة آل البيت، 2006، ص55.

جدول(16)عمق المياه الجوفية والمعامل المعطى لكل نوع

Depth العمق	Factor المعامل
اقل من 5	5
5-10	4
10-15	3
15-20	2
20 فاكثر	1

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على :

Piscopo, Gennaro, et al. Murrumbidgee Catchment Groundwater Vulnerability Map: Explanatory Notes. Dept. of Land & Water Conservation and Australian Geological Survey Organisation, 2001, p9.

بعد ان تم التعديل على قاعدة بيانات نطاق عدم الاشباع ووفق المخرجات من ألجدولين السابقين، تم القيام بعمل جدول جديد (17) وهو يمثل نطاق عدم الاشباع، إذ تم إنشاء حقل يمثل ألرتبة (lr) وتم عطاء كُل قيمة من نطاق عدم الاشباع ألرتبة ألخاصة بها، وحقل ثانٍ يمثل الاهمية (lw)، وحقل أخير يمثل حاصل ضرب ألرتبة في الاهمية (lr x lw).

جدول (17) نطاق عدم الاشباع

lw*lr	الوزنlw	الرتبةlr	الوحدة Range
5	5	1	طبقة محصورة Confining Layer
5	5	3	طمى/صلصال Silt/Clay
15	5	3	طين شيستي Shale
30	5	6	صخر كلسي Limestones
30	5	6	طبقات كلسية، رملية وطين، رمل وحصى مع طمى وطين Bedded Limestone, Shale Sand and Gravel with significant Silt and Clay

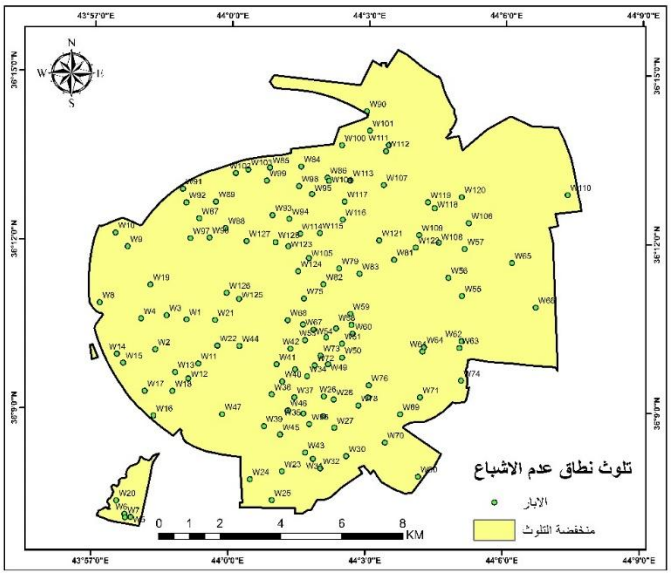
صخور متحولة Metamorphic /Igneous	4	5	20
رمل وحصى Sand and Gravel	8	5	40
بازلت Basalt	9	5	45
كلس كارست Karst Limestone	10	5	50

المصدر من عمل الباحث اعتماداً على:

1. عبير يحيى احمد، بناء نماذج المحاكاة لتلوث المياه الجوفية في مدينة الحضـــر باســـتخدام طريقة DRASTIC، مجلة اداب الفراهيدي، كلية الآداب، جامعة تكريت، المجلد (13)، العدد(44)، كانون الثاني 2021 القسم الاول، ص157–182.
2. Aller, Linda, and Jerry Thornhill. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1987, P24.

بعدما ان تم اكمال نتائج جدول (17) تم إنشاء خريطة (15) وجدول (18) يمثل نطاق عدم الاشباع. حيث تبين أن جميع الآبار تعود الى فئة واحدة وهي منخفضة التلوث، وبدرجة التلوث بلغ (30) درجة وبنسبة (100)% من آبار منطقة الدراسة.

خريطة (15) مدى تلوث المياه الجوفية حسب نِطاق عدم الاشباع في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الجدول (17) وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

جدول (18) مستويات تاثير نطاق عدم الاشباع في تلوث المياه الجوفية حسب أنموذج دراستيك

المستوى	درجة التلوث	تكرار لابار	النسبة المئوية %
منخفضة	30	كل الآبار	100

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على خريطة (15).

7:1:3 الموصلية الهيدروليكية Hydraulic Conductivity (C)

وهو المتغير الأخير لأنموذج دراستيك حيث تعبر عن قدرة ألمواد ألمكونة للخزان في تمرير المياه، ويتم التحكم بالموصلية من خلال معرفة مدى إتصال ألفراغات داخل ألخزان ألجوفي مع بعضها حيث من الممكن ان تحصل بسبب ألمسامية او ألشقوق او اسطح ألتطبق(Piscopo,and et al, 2001). تمتاز طبقات ألحجر ألرملي الطويل بسعة تخزينية عالية، وهذا بدوره يقوم برفع خواصها ألهيدروليكية والذي بدوره يساعد سهولة انتقال المياه الجوفية خلال ألمكونات الصخرية للطبقة. أما الترسبات ألحديثة فتلعب دورا مهماً في زيادة مخزون الطبقة الجوفية حيث تتكون من ألغرين وألحصى وألطين وألمواد الكلسية ذات ألنفاذية ألعالية**(حسين، 2021)**. وتحسب قيمة الموصلية عن طريق تجارب ألضخ ألتجريبي والذي يجري عند حفر البئر او عن طريق جداول قياسية توضح قيمة ألموصلية ألهيدروليكية لكُل وسط من الاوساط ألمكونة للخزان ألجوفي(Piscopo,and et al, 2001). حيث تم انشاء جدول تمثل الرتبة (Cr) وتم اعطاء قيمة لكل رتبة منها وحقل آخر يمثل الاهمية (Cw)، وحقل ثالث حاصل ضرب الرتبة في الاهمية (Cr x Cw) كما في الجدول (19).

جدول (19) قيم مدى الموصلية الهيدروليكية

مدى الموصلية الهيدروليكية (متر/يوم)	الرتبة Cr	الوزنCw	Cr*Cw
اقل من4	1	3	3
12-4	2	3	6
28-12	4	3	12
40-28	6	3	18

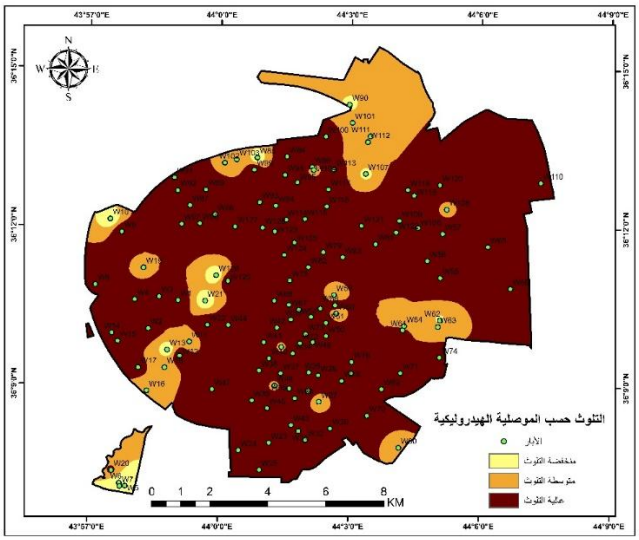
24	3	8	80-40
30	3	10	80 فأكثر

المصدر: من عمل الباحث اعتمادا على :

1. ابراهيم عبد الحميد حمزة حمدان، دراسة نوعية المياه الجوفية في منطقة واحة الازرق باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير (منشورة)، معهد علوم الارض والبيئة، جامعة آل البيت، 2006، ص59.
2. Ali, Salahalddin, and Dara Hamamin. "Groundwater vulnerability map of basara basin, sulaimani governorate, Iraqi Kurdistan region." Iraqi Journal of Science 53.3 (2012): 579-594.

تم استخراج خريطة الموصلية الهيدروليكية لمنطقة الدراسة بالاعتماد على بيانات الضخ الاختباري وبعد ذلك تم تصنيفها بناء على البيانات الحاصلة على ضرب الرتبة في الاهمية، كما في الخريطة (16) وجدول (20)، إذ تبين ان منطقة الدراسة تنقسم الى ثلاثة مستويات من التلوث، تبلغ درجة الفئة عالية التلوث بين (22-30) بنسبة (77)% وتتوزع في معظم أجزاء منطقة الدراسة وذلك نتيجة لعدة اسباب واهما الضخ المستمر نتيجة الطلب المتزايد على المياه نتيجة الزيادة السكانية، أما الفئة المتوسطة التلوث فتتراوح بين (14-22) وبنسبة (13)%، وتتوزع في الاجزاء الشمالية والاجزاء الاخرى المتفرقة. في حين تبلغ الفئة منخفضة التلوث نسبة (10)% وبدرجة تتراوح بين(6-14) من درجات التلوث، وتتوزع في اجزاء قليلة في منطقة الدراسة وعلى شكل بقع صغيرة.

خريطة (16) مدى تلوث المياه الجوفية حسب قيم الموصلية الهيدروليكية في منطقة الدراسة حسب أنموذج دراستيك



المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على بيانات الجدول (19) وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

جدول (20) مستويات تاثير الموصلية الهيدروليكية في تلوث المياه الجوفية حسب أنموذج دراستيك

المستوى	درجة التلوث	تكرار لابار	أعداد الآبار	النسبة المئوية %
منخفضة	6-14	W5-W6-W7-W10-W13-W21-W27-W59-W62-W85-W90-W107-W126	13	10
متوسطة	14-22	W11-W16-W18-W19-W33-W46-W60-W63-W64-W80-W101-W102-W103-W104-W106-W111-W112	17	13
عالية	22-30	W1-W2-W3-W4-W8-W9-W12-W14-W15-W17-W20-W22-W23-W24-W25-W26-W28-W29-W30-W31-W32-W34-W35-W36-W37-W38-W39-W40-W41-W42-W43-W44-W45-W47-W48-W49-W50-W51-W52-W53-W54-W55-W56-W57-W58-W61-W65-W66-W67-W68-W69-W70-W71-W72-W73-W74-W75-W76-W77-W78-W79-W81-W82-W83-W84-W86-W87-W88-W89-W91-W92-W93-W94-W95-W96-W97-W98-W99-W100-W105-W108-W109-W110-W113-W114-W115-W116-W117-W118-W119-120-W121-W112-W123-W124-W125-W127-W128	98	77
		128بئر		100

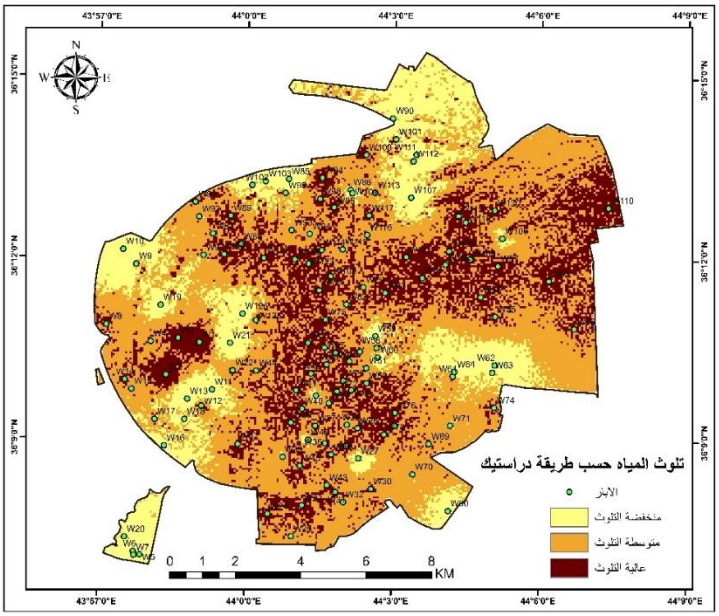
المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على خريطة (16).

بعد أن تم إنجاز جميع خرائط معامل دراستيك (DRASTIC)، والذي تمثل حاصل ضرب ألرتبة بالأهمية، بعدها نجمع ألخرائط مع بعضها ونعطي وزناً ترجيحياً(Weighted Overly) لكل طبقة من ألطبقات (Layers) الانفة ألذكر لإخراج ألخارطة ألنهائية لحساسية المياه الجوفية للتلوث في منطقة الدراسة.

وبعد إنتاج مجموعة خرائط تعبر عن تأثير كل متغير من المتغيرات المدروسة واعتمدت من قبل أنموذج دراستيك في إحتساب حساسية تلوث المياه الجوفية في منطقة الدراسة. تم استخراج الخريطة النهائية وذلك عن طريق دمج كل الخرائط السابقة واعطاء الوزن الثابت لكل متغير، تم استخراج الخريطة النهائية والموضحة (17) وخريطة التقنيع (18) والجدول (21).

تم تقسيم منطقة الدراسة الى ثلاث فئات للتلوث وهي (منخفضة التلوث ومتوسطة التلوث وعالية التلوث)، تراوحت درجة التلوث لمستوى الفئة الاولى (منخفضة التلوث) بين (436–460) وبنسبة بلغت (31)% من آبار منطقة الدراسة، في حين بلغت الفئة متوسطة التلوث نسبة (34)%، وتراوحت درجات التلوث بين (460–467)، أما الفئة الاخيرة (عالية التلوث) فقد بلغت نسبتها (35)% من آبار منطقة الدراسة وبدرجة التلوث الذي تراوحت بين (467–508)

خريطة (17) حساسية المياه للتلوث DRASTIC



ألمصدر: من عمل الباحث اعتماداً على جدول (1) و(2) لطريقة دراستيك وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

جدول (21) مستويات تاثير أنموذج دراستيك في تلوث المياه الجوفية

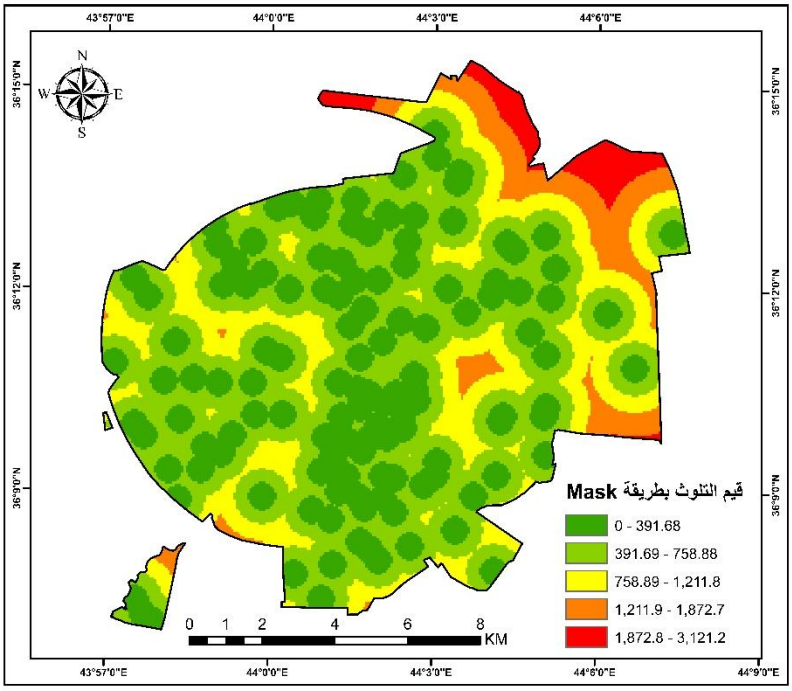
المستوى	درجة التلوث	تكرار لابار	أعداد الآبار	النسبة المئوية %
منخفضة	436-460	W5-W6-W7-W10-W11-W13-W16-W18-W19-W20-W21-W27-W29-W33-W35-W39-W40-W51-W59-W62-W63-W64-W70-W71-W80-W85-W86-W90-W92-W94-W101-W102-W103-W104-W106-W107-W111-W112-W126	39	31
متوسطة	460-467	W4-W9-W15-W17-W22-W25-W26-W31-W34-W38-W45-W46-W48-W52-W53-W58-W60-W61-W67-W68-W69-W72-W73-W77-W79-W81-W82-W91-W93-W97-W98-W99-W100-W105-W113-W114-W115-W116-W118-W119-W120-W122-W125-W128	44	34
عالية	467-508	W1-W2-W3-W8-W12-W14-W23-W24-W28-W30-W32-W36-W37-W41-W42-W43-W44-W47-W49-W50-W54-W55-W56-W57-W65-W66-W74-W75-W76-W78-W83-W84-W87-W88-W89-W95-W96-W108-W109-W110-W117-W121-W123-W124-W127	45	35
		128 بئراً		100

المصدر: من عمل الباحث اعتماداً على الخريطة (17).

ومن خلال تحليل الخريطة تبين انه تختلف ظاهرة التلوث للمياه الجوفية في أي موقع والذي يعتمد على عوامل عديدة مثل كمية ونوعية ألملوثات، والوسط ألناقل، وألخزان ألمائي وتختلف هذه العوامل من موقع الى آخر بحسب طبيعة ألموقع(**حسين، 2021**). شرق منطقة الدراسة قد ارتفعت نسبة التلوث فيها وذلك نتيجة لعدة اسباب منها، تواجد عدة مصانع ومعامل في تلك المنطقة منها معامل البلوك والحدادة وصناعة السيراميك وكذلك توجد صناعة لتصليح السيارات، وهذا ما يعرضها الى ارتفاع التلوث فيها ناهيك عن جيولوجية منطقة الدراسة. أما بالنسبة لوسط منطقة الدراسة فتتمثل بجيولوجية منطقة الدراسة إضافة الى عوادم السيارات ومياه الصرف المنزلي إضافة الى أسباب أخرى كزيادة النشاط السكني في تلك المناطق. اما بالنسبة الى غرب منطقة الدراسة فنلاحظ وجود زيادة في التلوث وخاصة في بارك سامي عبد الرحمن وذلك لعدة اسباب منها زيادة استخدام الاسمدة للغابات والحدائق وزيادة حفر الآبار القريبة من بعضها والذي يخالف القانون الدولي لحفر آبار المياه الجوفية، وزيادة استخدام المياه الصرف الصحي فيها ناهيك عن العوامل البشرية الأخرى، إضافة الى السبب الآخر والمتمثل بانحدار الارض فتلاحض ان هذه المناطق أشبه بالحوض لانها منطقة منخفضة وتتعرض سنوياً خلال فترة الشتاء الى فيضانات في تلك المناطق بسبب تجمع المياه فيها، وتزداد نسبة النترات في آبار المياه في تلك المناطق وهذا مؤشر سلبي نظرا لارتفاع النترات فيها وهذا مرتبط ايضا بالعوامل الجيولوجية المرتبطة بالخزانات الجوفية في منطقة الدراسة وخاصة الاجزاء الشرقية في منطقة الدراسة وعلى الرغم من كونها تقع على اقدام الجبال الا انه يزداد التلوث فيها نتيجة انشاء العديد من المصانع منها صناعة البلوك والاثاث المنزلية وصناعة المرمر والحلان والكاشي وكذلك صناعة لتصليح السيارات فيها وعند حدوث الفيضان في هذه المناطق يؤدي ذلك الى نقل الملوثات الى مناطق اخرى وترشيحها الى باطن الارض، أما العوامل الملوثة الاخرى التي تؤثر على منطقة الدراسة فهي التي تقع خارج منطقة الدراسة مثل دخان حقول ومصافي النفط والمصانع وعوادم السيارات المتتطايرة في السماء والتي تنزل مع سقوط الامطار وبالتالي يكون سبباً في تلوث الامطار وتلوث التربة، إضافة الى حركة المياه الجوفية الملوثة في اماكن اخرى التي تقع خارج منطقة الدراسة والتي تنتقل لتلوث آبار منطقة الدراسة مما يجعل المياه ملوثة وغير صالحة للاستخدام البشري والاستخدامات الاخرى.

وقد تم تصنيف قيم التلوث بإستخدام تقنية التقنيع(Masking) وتصنيفها الى خمسة مستويات حسب حساسية المياه للتلوث كما في الخريطة (18)، حيث تركز معظم آبار منطقة الدراسة بين الفئتين الاولى والثانية، أي بين (0-758.88).

خريطة (18) قيم التلوث بطريقة التقنيع (Masking)



ألمصدر: من عمل الباحث اعتماداً خريطة (17) لطريقة دراستيك وبرنامج Arc GIS 10.8 بمقياس رسم(1:100000)

الاستنتاجات

1. تتعرض المياه الجوفية الى التلوث نتيجة تظافر كل من العوامل طبيعية او بشرية.

1. تتميز المتغيرات ألهيدرولوجية بتنوعها الكبير، فلكل منها خصـــائص فريدة تميزه عن غيره. وتتأثر هذه الخصائص بعوامل مختلفة، أهمها نسبة التحلل، ونسبة الإذابة، ومعدل التسرب.
2. تلعب ألمتغيرات الهيدرولوجية دوراً مهماً في تحديد مدى حســـاســـية المياه الجوفية للتلوث. وتشـــمل هذه المتغيرات مســـامية ألتربة ونفايتها، ودرجة انحدار الارض، وعمق المياه الجوفية وغيرها من المتغيرات الاخرى.

3. تعد طريقة دراستيك أداة ذات أهمية كبيرة لتقييم مدى حساسية المياه الجوفية للتلوث ألناجم عن الانشطة ألخارجية على السطح. وسواء كانت هذه الانشطة طبيعية مثل التكوينات السطحية، او بشرية، مثل الصرف الصحي او الصناعة، فإن دراستيك توفر إطاراً منهجياً لفهم عوامل الخطر وتحديد المناطق الاكثر عرضة للتلوث.
4. تتميز طريقة دراستيك بقدرتها على الوصول الى أدق التفاصيل، مما يجعلها أداة مثالية لتحديد مصادر التلوث، وتقييم المخاطر، وتصميم خطط التخفيف، بالاضافة إلى أنها تتطابق مع الفحوصات المختبرية والميدنية.
5. يزداد نسبة التلوث في غرب منطقة الدراسة والمتمثلة ببارك سامي عبد الرحمن نتيجة لعدة عوامل اهمها حفر العديد من الآبار وبصورة عشوائية مما يؤدي الى تأثير ذلك في جيولوجية الخزانات الجوفية وبالاضافة إلى أن هذه المنطقة تقع على ارتفاع قليل (قليلة الانحدار) مقارنة بمناطق شرق منطقة الدراسة وهذا مايؤدي الى حمل المياه الملوثة معها وترسيبها الى هذه المناطق فضلاً عن الرش المستمر ومبيدات الحشرات لحدائق واشجار (بارك سامي عبد الرحمن) مما يؤدي الى ترشحها الى الطبقات الجوفية وبالتالي زيادة الملوثات في المنطقة.
6. زيادة نسبة النترات والبيكاربونات في منطقة الدراسة مما سبب زيادة تلوث هذه المناطق نتيجة لعدة اسباب اهمها اسباب محلية كالصرف الصحي وزيادة نسبة عوادم السيارات والمصانع وغيرها من الاسباب تؤدي الى زيادة التلوث في منطقة الدراسة.
7. قيام العديد من الصناعات في الاجزاء الشرقية في منطقة الدراسة كصناعة البلوك والاثاث المنزلية وصناعة السيارات وعند حدوث الفيضان تأخذ هذه النفايات الصلبة والسائلة التي يحملها الفيضان وتنقلها الى اماكن اخرى مع الملوثات الموجودة فيها.
8. قيام العديد من المصافي وحقول النفط منها الحكومية والمحلية وكذلك المصانع التي تقع على اطراف منطقة الدراسة والتي تكون سبباً في تلوث المياه الجوفية وذلك عن طريق ما تدفعه هذه المصافي والحقول من انبعاث الغازات السامة الى السماء والتي تختلط مع الهواء لتسقط على الارض أثناء سقوط الامطار والتي تترشح الى باطن الارض لتلوث المياه الجوفية.

التوصيات

1. اهمية مراقبة المياه الجوفية لضمان صحة الانسان واستدامة الموارد في ظل ازدياد اعداد السكان والطلب الكبير على المياه.
2. تحليل جودة المياه من خلال جمع عينات من المياه الجوفية بشكل دوري (كل شهر او شهرين او اكثر) وتحليلها لتحديد تركيز الملوثات مثل المعادن الثقيلة والبكتيريا والنترات.
3. مراقبة التغيرات لبيانات آبار المياه الجوفية بشكل دائم لتحديد اي تغيرات قد تحدث في منسوب الماء الجوفي او جودتها.

4. نشر ألوعي بأهمية المياه الجوفية وبضرورة إستخدامها بشكل سليم. ويمكن ان يتحقق ذلك من خلال برامج التوعية والتربية البيئية والترويج للممارسات المستدامة لاستخدام المياه.
5. اســـتخدام التقنيات الحديثة مثل نظم المعلومات الجغرافية ونماذج المحاكاة الهيدروجيولوجية، وذلك لانها تساعد خبراء المياه على مراقبة المياه الجوفية وتقييم مؤشراتها بشكل دقيق.
6. المراقبة المســتمرة للمياه الجوفية في منطقة الدراســة لضــمان الحصــول على مياه آمنة ونظيفة للســكان المحلين وللاجيال القادمة.
7. ضرورة مراقبة ووضع خطة محكمة لدراسة مواقع حفر الآبار تجنباً لحفر الآبار العشوائية مع ضرورة وضع عقوبات صارمة على المتجاوزين القانون الذي يؤدي الى تدمير نوعية المياه الجوفية.
8. ضـرورة وضــع خطة حول انشـاء المصـانع في منطقة الدراسـة لكي يتوافق مع هندسـية المدينة والتخفيف تلوث المياه الجوفية.
9. ضــرورة وضــع حلول لتحويل حرق الغازات الموجودة في المصــافي والحقول النفطية الى طاقة كهربائية نظيفة عن طريق قيام الحكومة الى اتفاق مع الشـــركات الاجنبية التي تقوم بتحويلها الى طاقة نظيفة وبالتالي يقلل من تلوث الهواء وكذلك المياه الجوفية، إضـافة الى ذلك تقدم خدمة الى السكان المحليين عن طريق توفير الطاقة الكهربائية.

قائمة المصادر :

- احمد، عبير يحيى، بناء نماذج المحاكاة لتلوث المياه الجوفية في مدينة الحضر باستخدام طريقة DRASTIC، مجلة اداب الفراهيدي، كلية الآداب، جامعة تكريت، المجلد (13)، العدد(44)، كانون الثاني 2021.
- حمدان، ابراهيم عبد الحميد حمزة، دراسة نوعية المياه الجوفية في منطقة واحة الأزرق باستخدام نظام المعلومات الجغرافي والاستشعار عن بعد، رسالة ماجستير (منشورة)، قسم موارد المياه، معهد علوم الارض والبيئة، جامعة آل البيت2006.
- معلا، لما نزار، استخدام نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء أطس الخرائط الحساسة للمدن الساحلية، رسالة ماجستير(منشورة)، جامعة حلب، كلية الهندسة المدنية، 2015.
- التركماني، جودة فتحي، جغرافية الموارد المائية دراسة معاصرة في ألاسس والتطبيق، ط1، دار السعودية للنشر والتوزيع، جدة، 2005.
- أحمد، إيمان محمد حسن، الخصائص الهيدرولوجية لترب حوض أربيل، رسالة ماجستير(منشورة)، الجغرافية الطبيعية، جامعة الموصل، 2022.
- حسين، سلام سعود، تطبيقات الجيوماتكس لاعداد نماذج تلوث المياه الجوفية لقضاء الدجيل باستخدام طريقة (Drastic)، مجلة آداب الفراهيدي، المجلد (13)، العدد(47)، القسم الثالث، ايلول2021.

Bibliography of Arabic References (Translated to English)

- Ali, Salahalddin, and Dara Hamamin. "Groundwater vulnerability map of basara basin, sulaimani governorate, Iraqi Kurdistan region." Iraqi Journal of Science 53.3 (2012).
- Aller, Linda, and Jerry Thornhill. DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 1987.
- Barbulescu, Alina. "Assessing groundwater vulnerability: DRASTIC and DRASTIC-like methods: a review." Water 12.5, 2020.
- Bera, Amit, et al. “Groundwater vulnerability assessment using GIS-based drastic model in Nangasai River Basin, India with special emphasis on agricultural contamination.” Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 214, May 2021, p. 112085, https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112085.

- Gonçalves, Vanessa, Antonio Albuquerque, Paulo Carvalho, Pedro Almeida, and Victor Cavaleiro. "Groundwater vulnerability assessment to cemeteries pollution through GIS-Based DRASTIC index." Water 15, no. 4 (2023).
- Lee, Saro, Dae-Ha Lee, Soon Hak Choi, Won Young Kim, and Seung-Gu Lee. "Regional groundwater pollution susceptibility analysis using DRASTIC system and lineament density." In The Eighteen International ESRI User Conference. 1998.
- Nguyen. A. H., Tat. V. M., and Vo. P. L., "Vulnerability assessment of the upper-middle pleistocene (QP2-3) aquifer in Ho Chi Minh City, Vietnam using GIS and expanded drastic methods." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 1247, no. 1, 1 Sept. 2023.
- Ouedraogo, Issoufou, Pierre Defourny, and Marnik Vanclooster. "Mapping the groundwater vulnerability for pollution at the Pan African scale." Science of The Total Environment, vol. 544, Feb. 2016.
- Patel, Priyank, Darshan Mehta, and Neeraj Sharma. "A review on the application of the DRASTIC method in the assessment of groundwater vulnerability." Water Supply 22.5, 2022.
- Piscopo, Gennaro, et al. Murrumbidgee Catchment Groundwater Vulnerability Map: Explanatory Notes. Dept. of Land & Water Conservation and Australian Geological Survey Organisation, 2001.
- T., Al-Zabet. "Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the drastic method." Environmental Geology, vol. 43, no. 1–2, 1 Dec. 2002.

الملاحق

ملحق(1) المجموع السنوي للتساقط المطري/ملم للفترة 1990-2023 لمنطقة الدراسة

ت	الفترة الزمنية	المجموع السنوي للتساقط المطري/ملم	ت	الفترة الزمنية	المجموع السنوي للتساقط المطري/ملم
1	1990	335	18	2007	273.4
2	1991	444.1	19	2008	297.9
3	1992	342.1	20	2009	311.8
4	1993	597.4	21	2010	260.4
5	1994	581.5	22	2011	343
6	1995	372.7	23	2012	366.4
7	1996	399.8	24	2013	431.8
8	1997	440.1	25	2014	388.6
9	1998	310.3	26	2015	422.3
10	1999	228.5	27	2016	375.8
11	2000	265.8	28	2017	268.2
12	2001	327.3	29	2018	733.6
13	2002	268.4	30	2019	602
14	2003	440.6	31	2020	417.2
15	2004	255.6	32	2021	196.2
16	2005	353.7	33	2022	259.3
17	2006	514.6	34	2023	393.9