Journal of Education for Humanities

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

Spatial Modeling for Optimal Site Selection for Water Harvesting in Wadi Al-Khazrajia Basin Using Geographic Information Systems: Between Unconstrained and Constrained Modeling

Sami Mahmoud Elias Al-Janqli
University of Mosul, College of Education for Humanities, Department of Geography / Mosul , Iraq

Article information

Received : 15/12/2024
Accepted: 15/2/2025
Published 10/7/2025

Keywords
Spatial Modeling, Water Harvesting, Geographic Information Systems, Unconstrained Modeling, Constrained Modeling.

Correspondence:
Sami Mahmoud Elias
sami.21ehp6@student.uomosul.edu.iq

Abstract

The study explored spatial modeling to identify optimal sites for water harvesting in the Wadi Al-Khazrajia Basin using Geographic Information Systems (GIS). It compared two approaches: unconstrained modeling, which includes all spatial data without exclusions, and constrained modeling, which filters out irrelevant or low-impact categories. While the unconstrained method allowed a broad analysis, it sometimes included non-significant factors, reducing accuracy.

In contrast, the constrained approach used the Raster Calculator and the "Con" function in ArcGIS to apply logical conditions that excluded unsuitable areas. This method aligned more closely with the study's goals and improved model precision.

The Analytical Hierarchy Process (AHP) was used to determine the weight of each influencing factor through expert surveys. These weights were applied using the Weighted Overlay technique. Factors considered included geology, rainfall, slope, elevation, vegetation, soil texture, drainage networks, and proximity to roads and settlements.

Results showed that constrained modeling improves accuracy by eliminating unsuitable areas, such as steep slopes and regions outside drainage networks. The study concluded that constrained modeling is more effective and realistic, making it a valuable tool in environmental planning and sustainable water resource management.

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/).

النمذجة المكانية لاختيار المواقع المثلى للحصاد المائي في حوض وادي الخزرجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية: بين النمذجة غير الخاضعة للقيود والنمذجة الخاضعة للقيود

سامي محمود الياس الجانقلي

جامعة الموصل كلية التربية للعلوم الإنسانية قسم الجغرافية / موصل ، العراق

معلومات الارشفة

تاريخ الاستلام : ٢٠٢٤/١٢/١٥

تاريخ القبول : ٢٠٢٥/٢/١٥

تاريخ النشر : ٢٠٢٥/٧/١٠

الكلمات المفتاحية :

النمذجة المكانية، الحصاد المائي، نظم المعلومات الجغرافية، النمذجة الخاضعة للقيود، النمذجة غير الخاضعة للقيود.

معلومات الاتصال

سامي محمود الياس الجانقلي

sami.21ehp6@student.uomosul.edu.iq

الملخص

تناولت الدراسة موضوع اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي في حوض وادي الخزرجية باستخدام تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، من خلال مقارنة بين نموذجين مكانيين. النموذج الأول هو "النمذجة غير الخاضعة للقيود"، حيث دُمجت جميع البيانات المكانية دون استثناء، مما أتاح تحليلاً شاملاً للعوامل، لكنه قد يؤدي إلى نتائج غير دقيقة نتيجة تضمين أصناف ضعيفة التأثير. أما النموذج الثاني، "النمذجة الخاضعة للقيود"، فاعتمد على استبعاد الأصناف غير المناسبة عبر استخدام معادلات منطقية ضمن أداة "Raster Calculator" في برنامجArcGIS ، باستخدام الدالة."Con"

بدأت الدراسة بتحديد الأوزان النسبية للعوامل المؤثرة باستخدام تحليلAHP ، بناءً على استبيانات خبراء، ثم طبّقت طريقة "Weighted Overlay" على عدة عوامل منها: الجيولوجيا، الأمطار، المجاري المائية، الانحدار، الغطاء النباتي، التربة، والقرب من الطرق والمستوطنات.

أظهرت النتائج أن النموذج الخاضع للقيود أكثر دقة وملاءمة، حيث يقلل التشويش بتحييد المناطق غير المناسبة (كالانحدارات الشديدة)، ما يعزز فعالية التحليل المكاني ويجعله أداة مهمة في التخطيط البيئي وإدارة الموارد المائية.

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/).

المقدمة

يستخدم مصطلح الحصاد المائي للإشارة على أي عملية مورفولوجية أو كيميائية أو فيزيائية تُنفّذ على الأرض بهدف الاستفادة المثلى من مياه الأمطار، وذلك من خلال إنشاء سدود قاطعة في مواقع مختارة، وتُعد هذه التقنية إحدى الوسائل الأساسية لتحقيق الاستقرار الاقتصادي والاجتماعي، خاصة في المناطق التي تعاني من ندرة المياه. في ظل التدهور البيئي الناجم عن دورات الجفاف المتعاقبة، والتزايد المستمر في عدد السكان واحتياجاتهم المتزايدة للمياه، أصبح الضغط على الموارد المائية المتاحة هاجسًا عالميًا. وفي كثير من الأحيان، تُعيق التكلفة المرتفعة استغلال هذه الموارد بشكل فعال، مما يدفع نحو البحث عن بدائل مستدامة، من هنا برزت تقنيات حصاد مياه الأمطار كحل عملي، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل العراق، ويُضاف إلى ذلك التذبذب المناخي في العراق، حيث تهطل الأمطار بغزارة لفترات قصيرة تُغمر خلالها الأودية والشعاب، مما يؤدي إلى فقدان كميات كبيرة منها بالتبخر دون استغلال فعّال، كل هذا يجعل التوسع في تطبيق تقنيات الحصاد المائي ضرورة مُلحّة لتعظيم الاستفادة من هذه الموارد الطبيعية المحدودة.(الدعدي،٢٠٢٣،ص٢)

في هذا السياق، ظهرت نظم المعلومات الجغرافية كتقنية فعالة في تحديد المناطق المثلى للحصاد المائي. ويعد تحليل القرار متعدد المعايير الاسلوب الاكثر شيوعا في مجال نظم المعلومات الجغرافية لتحديد المناطق المثلى للحصاد المائي، كما وتعد عمليات التحليل الهرمية Analytical Hierarchy Process (AHP) من اهم ادوات القرار متعدد المعايير Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) التي طورها Tomas Saaty عام ١٩٧٢ (Saaty,1977,p235)، وبما ان المشكلة الاساسية في اتخاذ القرار تتمثل في تحديد أفضل خيار لمجموعة من البدائل المتنافسة التي يتم تقييمها وفقًا لمعايير متضاربة، لذا فان عملية التحليل الهرمي تعمل باطار شامل لحل مثل هذه المشكلات .

تكمن مشكلة البحث في تساؤل مفاده: هل للنمذجة المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية دورا في تحديد المناطق المثلى للحصاد المائي؟

وفي ضوء مشكلة البحث صيغة الفرضية الرئيسة، مفادها: تلعب النمذجة المكانية دورا بارزا في الكشف عن المناطق المثلى للحصاد المائي.

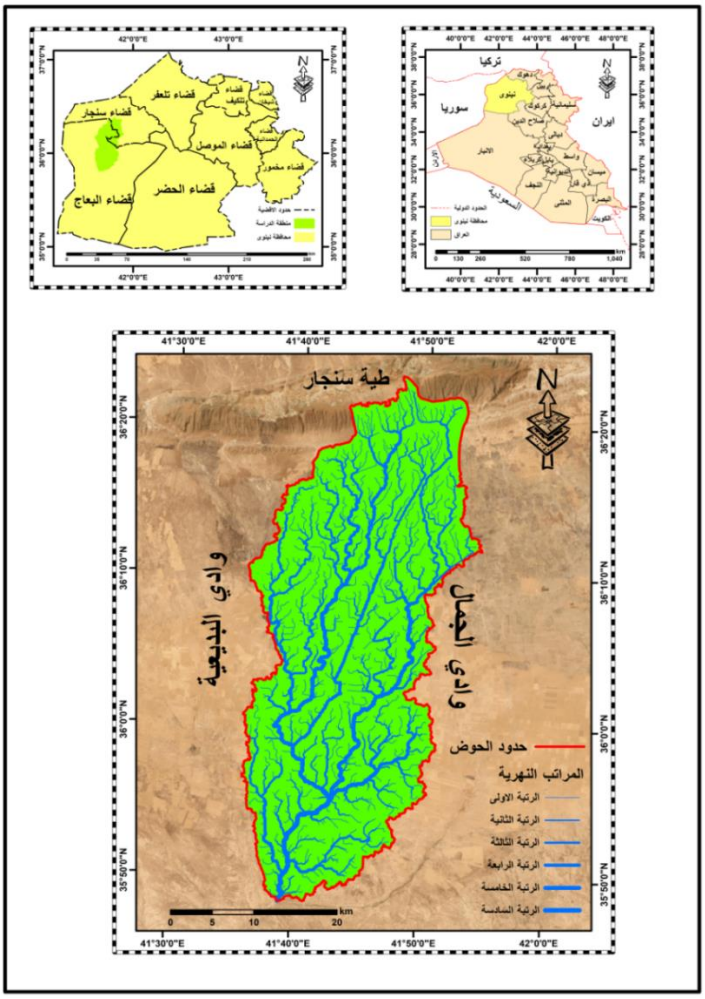
وتحت ظل المشكلة والفرضية صيغ هدف البحث على النحو الاتي: تحديد مدى امكانية الاستفادة من تقنية نظم المعلومات الجغرافية في عمليات الحصاد المائي.

وقد اعتمد البحث على المنهج التجريبي حول طبيعة المشكلة ومن ثم اعطاء مؤشرات كمية عن فحوى الموضوع المراد دراسته.

منطقة الدراسة

يقع حوض الخزرجية ضمن محافظة نينوى في الجانب الشمالي الغربي من المحافظة ، وتقع منابعه واقسامه العليا على مرتفعات سنجار وتنحدر جنوبا لتشكل مع حوض البديع المجرى الرئيس لوادي العجيج ، ويشغل مساحة تقدر بنحو (١١٥٢.٢١) كم^2 ، وينحصر بين دائرتي عرض (″46.6 ′23 °36) و (′48 °35 ″7.46) شمالا وبين قوسي طول (″3.51 ′52 °41) و (″23.56 ′25 °41) شرقا ، يحد الحوض من جهة الشمال خط تقسيم المياه في تحدب سنجار، ومن جهة الشرق حوض وادي جمال، ومن جهة الغرب حوض وادي البديع، ومن جهة الجنوب وادي حيال حيث مصب الحوض، ينظر للخريطة (١).

الخريطة (١) الموقع الجغرافي لحوض وادي الخزرجية



المصدر: الباحث بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM).

مصادر البيانات

تنوعت مصادر البحث بين ٩ عوامل تتمثل في (الجيولوجيا، شبكة المجاري المائية، مسافة القرب من الطرق، الارتفاعات، الانحدارات، مساقة القرب من المستقرات البشرية، الامطار، الغطاء النباتي، نسجة التربة). اذ تم جمع بيانات هذه العوامل من مصادر مختلفة ومعالجتها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء بيانات خاصة بمنطقة البحث، إذ تم الحصول على الخريطة الجيولوجية للحوض من لوحة سنجار والسور الجيولوجية بمقياس رسم ١:٢٥٠٠٠٠ والصادرة عن وزارة الصناعة والمعادن ،الهيئة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، في حين تم الاعتماد على أنموذج الارتفاع الرقمي DEM بدقة تميزية ٣٠ م في استخراج خرائط الارتفاعات والانحدارات وشبكة المجاري المائية، اما خريطة المستقرات البشرية فقد تم الحصول عليها من مدخلات صور القمر الاصطناعي Landsat8(OLI) ذو الدقة التميزية (٣٠م)، في حين ان خريطة الغطاء النباتي فقد استحصلت ايضا من Landsat8(OLI)، بينما ان خريطة المطر فقد اخذت من البيانات الفضائية لموقع NASA ولـ٩ محطات افتراضية، اما خريطة الطرق الرئيسة تم الحصول عليها من موقع openstreetmap ، وتم استخراج خريطة نسجة التربة على عمق ١٠٠سم من موقع Soil Grids، ينظر الجدول(١).

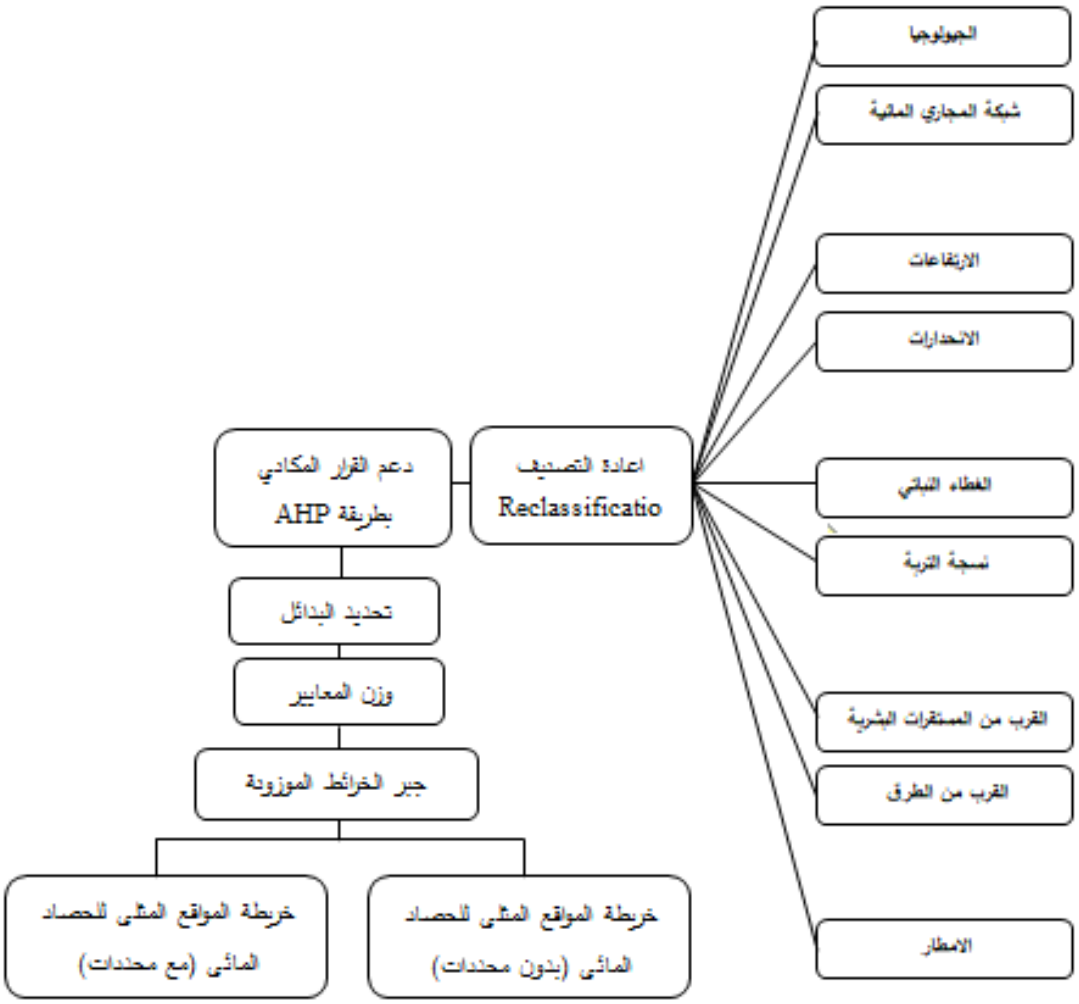
الجدول (١) مصادر بيانات الدراسة

العوامل	مصادر البيانات
الجيولوجيا	لوحتي سنجار والسور الجيولوجية
شبكة المجاري المائي	نموذج الارتفاع الرقمي DEM
الارتفاعات	نموذج الارتفاع الرقمي DEM
المنحدرات	نموذج الارتفاع الرقمي DEM
شبكة الطرق	Open Street Map https://www.openstreetmap.org/
المستقرات البشرية	Landsat8 (OLI)
الامطار	NASA https://power.larc.nasa.gov
الغطاء النباتي	Landsat8 (OLI)
نسجة التربة	Soil Grids https://www.isric.org/explore/soilgrids

المنهجية

تضمنت المنهجية المستخدمة في البحث حصر العوامل المؤثرة على اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي ثم معالجتها في بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام برمجية ArcGIS Desktop 10.8 عن طريق نمذجتها وتقييسها ثم تطبيق تحليل القرار متعدد المعايير MCDA بطريقة عمليات التحليل الهرمية AHP في استخلاص الاهمية النسبية لتلك العوامل (الاوزان) اعتمادا على مجموعة من الآراء التي تم الحصول عليها من مجموعة من المحكمين الذين تم انتخابهم لغرض دعم القرار المكاني حول اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي، ينظر الشكل (١).

الشكل (١) مخطط المنهجية



عمليات التحليل الهرمية

ان طريقة الـ AHP تحلل مشكلة اتخاذ القرار بتسلسل هرمي، بدء بتحديد الهدف، مرورا بتحديد العوامل، وانتهاء باختيار البدائل، وبناء على العلاقة بين مجموعة من العوامل مع مجموعة من البدائل في الشكل الهرمي، يتم تحديد البدائل اعتمادا على المقياس الذي وضعه ساعاتي، اذ ان كل عامل له مجموعة من البدائل قابلة للمقارنة الزوجية بينه وبين العامل الاخر، وتقاس هذه البدائل بمقياس خاص وضعه ساعاتي ، يتراوح ما بين الـ (١) و (٩)، إذ تمثل الدرجة (١) اهمية متساوية بين العاملين، وتشير الدرجة (٩) الى الاهمية المطلقة لعامل واحد عند مقارنه بالعامل الاخر(Saaty,2008,p85).

تم إعداد استبانة بهدف الحصول على آراء مجموعة من المحكمين حول اختيار البديل المناسب لكل عامل مؤثر في اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي، اذ وزعت الاستبانة على عينة قصدية تتألف من ١٠ محكمين، وذلك عبر استخدام استبانة ورقية، لغرض تحويل البدائل التي تم اقرارها من قبل المحكمين إلى أوزان تُستخدم في عملية جبر الخرائط الموزونة، وجاءت المرحلة الثانية بإعداد مصفوفة المقارنة الزوجية لكل عاملين مؤثرين بدلالة بديليهما.

وقبل الشروع في بناء مصفوفة المقارنة الزوجية، تم تعديل المتوسط الموزون لاستجابات العينة وفقًا للأهمية النسبية لكل عامل مؤثر. يهدف استخراج المتوسط الموزون إلى إدراج جميع البدائل التي تم الحصول عليها وفقًا لمقياس AHP بحيث يتم تصحيح القيم الحقيقية لاستجابات العينة لتتوافق مع أقرب قيمة صحيحة في مقياس AHP. هذا التعديل يسهل عملية المقارنة الزوجية في المصفوفة التي تم انشاؤها اعتمادا على موقعAHP Online، بهدف استنتاج الاهمية النسبية لكل عامل مؤثر على المواقع المثلى للحصاد المائي داخل المصفوفة مع استخراج مؤشر مستوى ثبات الاحكام (نسبة التناسق).

اذ يقصد بنسبة التناسق هو النسبة الناتجة عن قسمة مؤشر التناسق Consistency index على مؤشر العشوائية Random Indexوفقًا للمعادلة الاتية: (Brunelli,2014, P.P.24-25)

$$\boldsymbol{CR = \frac{CI}{RI}}$$

اذ ان:

CR = نسبة التناسق ، RI = مؤشر العشوائية

CI = مؤشر التناسق يحسب بدوره طبقا للمعادلة الاتية:

$$\boldsymbol{CI = \frac{\lambda \mathbf{max} - n}{n - 1}}$$

اذ ان:

CI = مؤشر التناسق ،λ max =الجذر الكامن لمصفوفة المقارنة الزوجية، n = عدد المعايير محل المقارنة

اما مؤشر العشوائية فيمكن استخراجه من المعادلة الاتية:

$$RI = \frac{1.98(m-2)}{m}$$

اذ ان:

RI = مؤشر العشوائية ، m = حجم المصفوفة

ان الغاية من استخراج نسبة التناسق تكمن في معرفة مدى ثبات الأحكام التي تم جمعها من المحكمين عبر الاستبانة، والتحقق من عدم وجود تناقض بين هذه الأحكام وبناءً على ذلك، وضع الـ Saaty نسبة تناسُق قيمتها ١٠٪ كمعيار لتقييم ثبات الأحكام في المصفوفة، فكلما كانت قيمة التناسُق أقل من ١٠٪، دل ذلك على اقتراب الاحكام من الثبات وعدم التناقض والعكس صحيح. (Wind and Saaty,1980,p646)

وعند بناء مصفوفة المقارنة الزوجية في موقع AHP Online تم الحصول على الأهمية النسبية (الأوزان) للعوامل الداخلة في عملية التحليل الهرمية، مع نسبة تناسق عالية جدا، مقدارها ٠.٤٪، وهذه النسبة هي المسموح بها وفقا لعملية التحليل الهرمية، ينظر الجدول (٢) والشكل (٢).

الجدول (٢) تقريب المتوسط الموزون لاستجابات العينة الى أقرب قيمة في مقياس AHP

المعايير	المتوسط الموزون لاستجابات العينة على قيمة الاهمية	التصحيح الى مقياس AHP
شبكة المجاري المائية	8.2	9
الجيولوجيا	6.4	7
المطر	6.3	7
نسجة التربة	6.1	7
الارتفاعات	4.82	٥
الغطاء النباتي	4.82	٥
الانحدارات	4.71	٥
القرب من المستقرات البشرية	3.25	3
القرب من الطرق الرئيسة	1.2	1

المصدر: الباحث بالاعتماد على النتائج المستحصلة من الاستبانة.

الشكل (٢) مصفوفة المقارنة الزوجية ونسبة تناسقها والاوزان في موقع AHP Online لاختيار المواقع المثلى للحصاد المائي

Priorities ← الأوزان

These are the resulting weights for the criteria based on your pairwise comparisons:

Cat		Priority	Rank	(+)	(-)
1	عامل شبكة المجاري المائية	27.3%	1	4.1%	4.1%
2	العامل الجيولوجي	14.6%	2	0.7%	0.7%
3	عامل المطر	14.6%	2	0.7%	0.7%
4	عامل نسجة التربة	14.6%	2	0.7%	0.7%
5	عامل الانحدار	7.6%	5	0.6%	0.6%
6	عامل الارتفاع	7.6%	5	0.6%	0.6%
7	عامل الغطاء النباتي	7.6%	5	0.6%	0.6%
8	عامل المستقرات البشرية	3.9%	8	0.4%	0.4%
9	عامل طرق النقل	2.3%	9	0.5%	0.5%

Decision Matrix ← مصفوفة المقارنة

The resulting weights are based on the principal eigenvector of the decision matrix:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	4.00	6.00	8.00
2	0.50	1	1.00	1.00	2.00	2.00	2.00	4.00	6.00
3	0.50	1.00	1	1.00	2.00	2.00	2.00	4.00	6.00
4	0.50	1.00	1.00	1	2.00	2.00	2.00	4.00	6.00
5	0.25	0.50	0.50	0.50	1	1.00	1.00	2.00	4.00
6	0.25	0.50	0.50	0.50	1.00	1	1.00	2.00	4.00
7	0.25	0.50	0.50	0.50	1.00	1.00	1	2.00	4.00
8	0.17	0.25	0.25	0.25	0.50	0.50	0.50	1	2.00
9	0.12	0.17	0.17	0.17	0.25	0.25	0.25	0.50	1

Number of comparisons = 36
Consistency Ratio CR = 0.4% ← نسبة التناسق

Principal eigen value = 9.045
Eigenvector solution: 4 iterations, delta = 1.6E-10

المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدول (٢)، وموقعAHP Online .

العوامل المؤثرة على اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي وتقيسها بلمقياس المرتبي

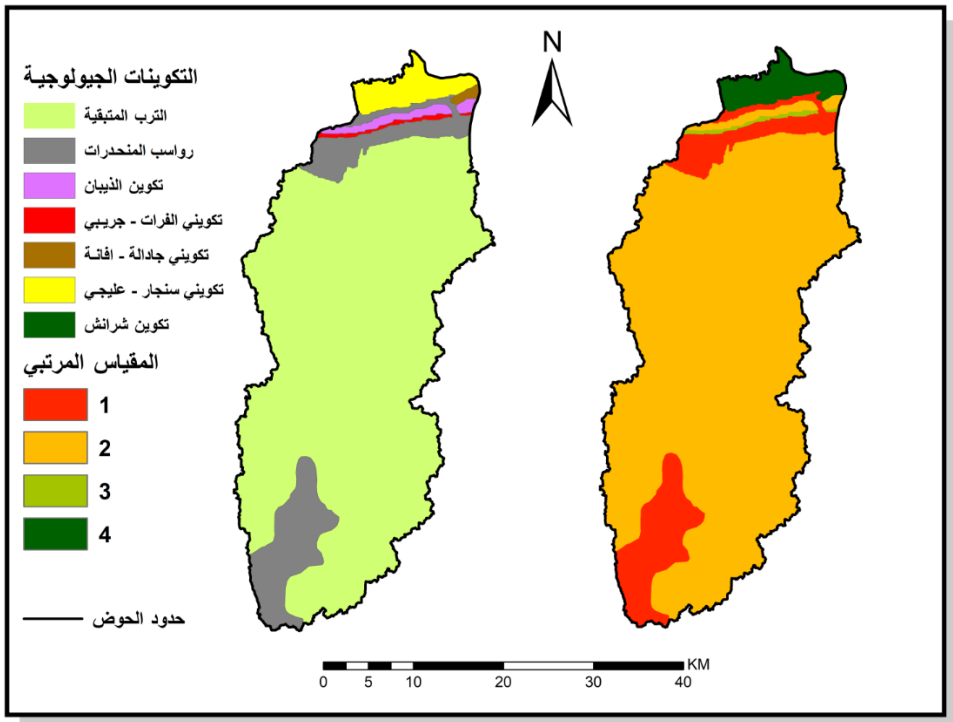
سيتم مناقشة العوامل المؤثرة على اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي في حوض وادي الخزرجية و بشكل ظاهر للعيان تبين أن العوامل هي ذات مقاييس مختلفة فالعامل الجيولوجي ونسجة التربة ذات مقاييس أسمية Nominal Scales أما بقية العوامل فهي ذات مقاييس كمية Quantitative Scales مختلفة، ولغرض ابراز التباين المكاني لتأثير كل عامل من العوامل لابد من توحيد مقاييسها بما يتلاءم مع طبيعة كل عامل من جهة، فضلا عن الحصول على استنطاق معلوماتي اكثر تفصيلا من جهة اخرى، ولتحقيق ذلك لابد من اجراء عملية اعادة تصنيف وفقا لمقياس مرتبي Ordinal Scale لكل عامل على حدة، ذلك من اجل الوقوف على اثر عناصر كل عامل من تلك العوامل على اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي ، وقد تم ذلك باستخدام امكانية

اعادة التصنيف Reclassification ضمن ادوات المحلل المكاني Spatial Analyst في برمجية ArcGIS desktop 10.8، واختيار مقياس اهمية مرتبي من ١ الى ٥ باعتبار الـ ١ ادنى اهمية (قيمة) و ٥ اعلى اهمية(قيمة)، ينظر الجدول(٣) وسيتم التطرق اليها على النحو الاتي:

١- العامل الجيولوجي

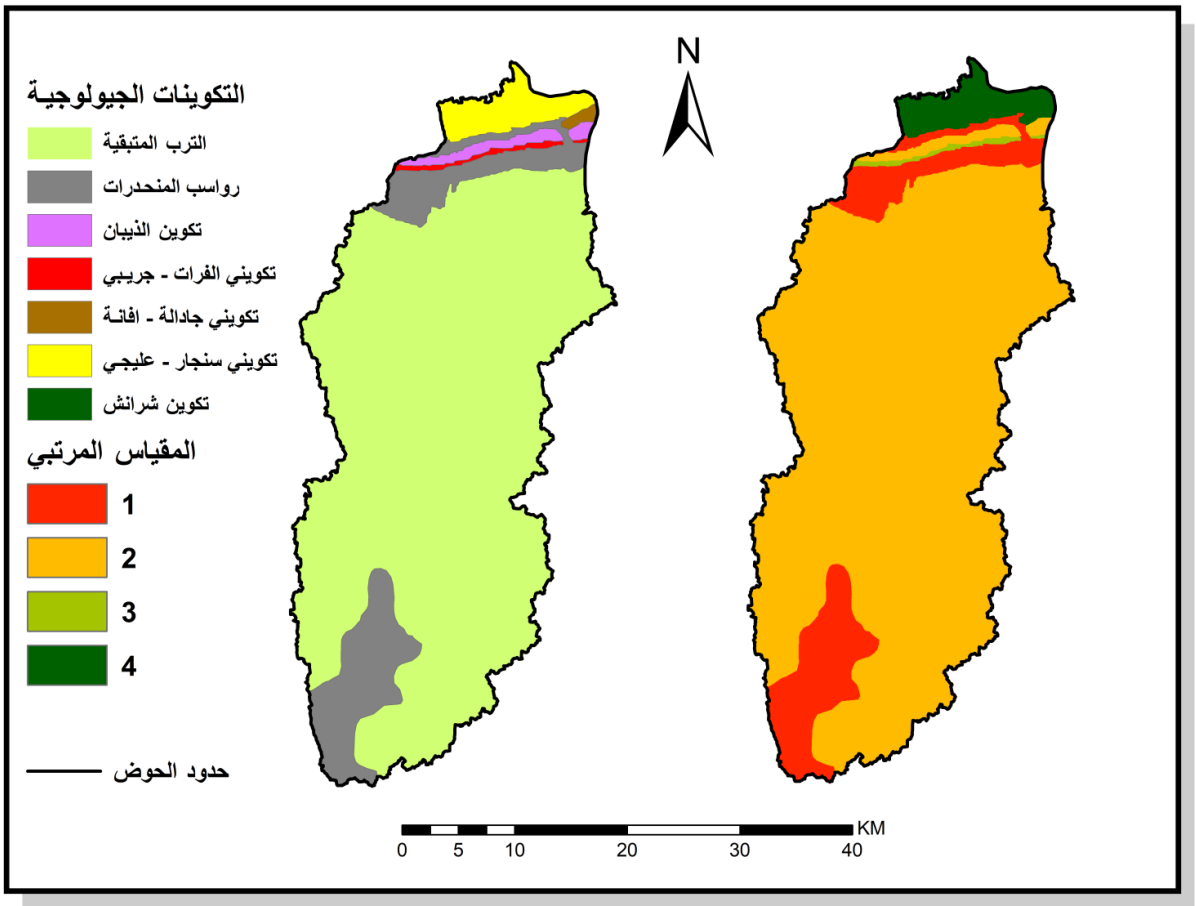
تم تقدير الوزن العام للعامل الجيولوجي (١٤.٦) بناءً على مقارنة أهميتها النسبية مع بقية العوامل المؤثرة في اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي، وذلك لأن خصائص الصخور ومدى صلابتها أو مساميتها تؤثر في قدرتها على الاحتفاظ بالماء، اذ نال تكوين الرواسب المنحدرات المنتشر في جنوب منطقة الدراسة وبعض اجزائه الشمالية اقل قيمة كونها تتألف من شظايا صخرية وحصى والرمل الغريني التي تسمح لنفاذ المياه السطحية لخشونه رواسبه، في حين كان القيمة (٢) من نصيب كل من الترب المتبقية المنتشر في معظم انحاء الحوض ذات الرواسب الخشنة التي تسمح لامرار المياه السطحية، وتكوين ذيبان المتواجد في الاجزاء الشمالية من المنطقة عند طية سنجار القابل للذوبان بسبب مكوناته الجبس والحجر الجيري المتبلور، اما قيمة (٣) اعطيت لتكويني الفرات – جريبي ذات الصخارية الجيرية المتبلورة والطباشيرية والدولمايتية والتي تعتبر صلبة غير نفاذة ، واعطي اعلى وزن لتكوينات (سنجار– عليجي ، شرانش، جدالة– افانا) ذات الصلابة العالية وغير النفاذة و تتكشف جميعها شمالي منطقة الدراسة، ينظر الخريطة (٢) والجدول (٣) والشكل(٢).

الخريطة (٢) العامل الجيولوجي وتقيسه بالمقياس المرتبي



المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

الخريطة (٢) العامل الجيولوجي وتقيسه بالمقياس المرتبي

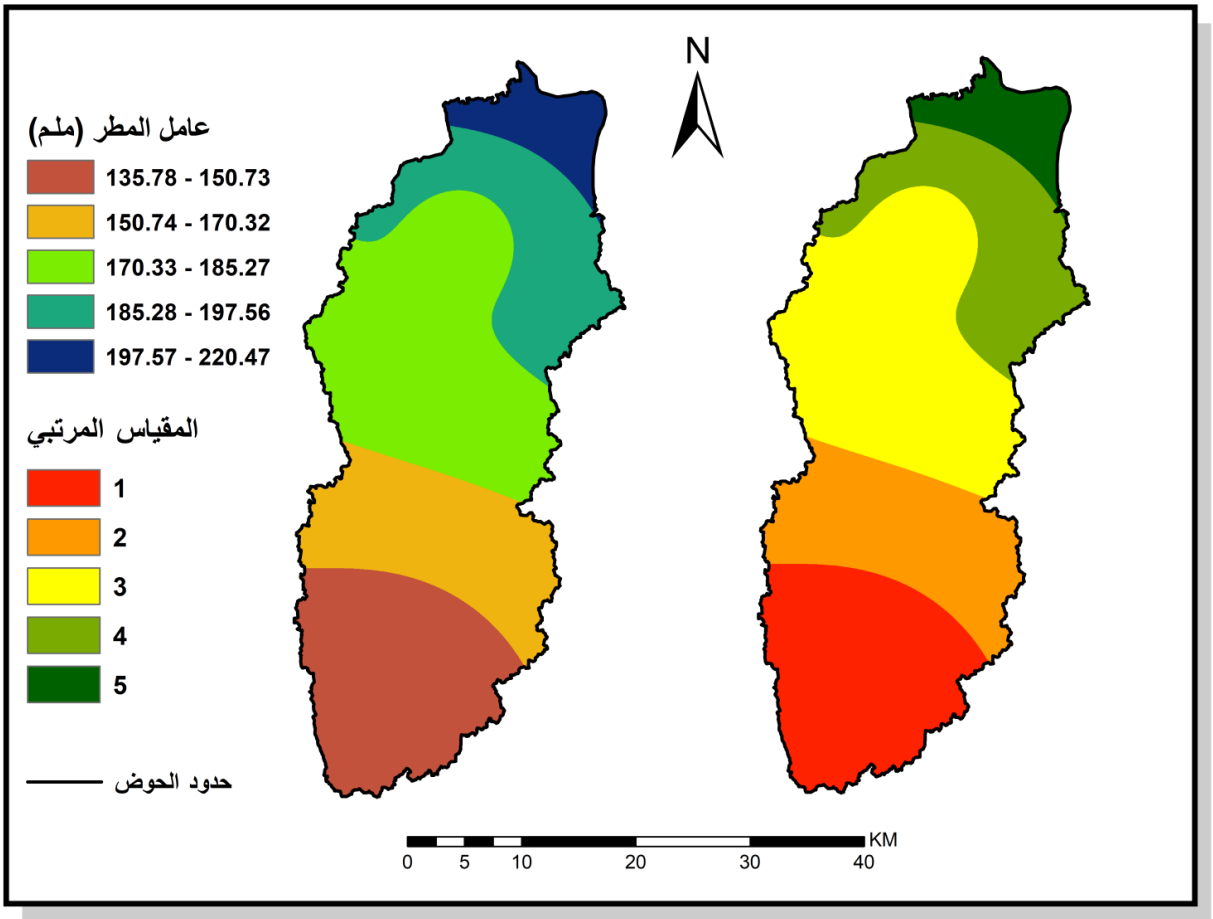


المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

٢- عامل المطر

تم تحديد الوزن العام لعامل المطر (١٤.٦) بناءً على مقارنة أهميته النسبية مع العوامل الأخرى المؤثرة في في اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي، ذلك لان معرفة الخصائص الهيدرولوجية السائدة في حوض المائي تساعدها في اتخاذ قرار انشاء تلك المشاريع من عدمها، بلغ اعلى مجموع لتساقط الامطار في حوض وادي الخزرجية (٢٢٠.٤٧ ملم)، وادنى مجموع بلغ(١٣٥.٧٨ ملم)، وصنفت معدلات الامطار في المنطقة الى خمسة انطقة اذا لكل نطاق اهمية بحيث تزداد الاهمية كلما زادت مجاميع التساقط ، وعلى اساس ذلك اعطيت اعلى قيمة لاكثر الانطقة تساقطا، وادنى قيمة لاقل الانطقة تساقطا، ينظر الخريطة (٣) والجدول (٣) والشكل(٢).

الخريطة (٣) العامل المطر وتقيسه بالمقياس المرتبي

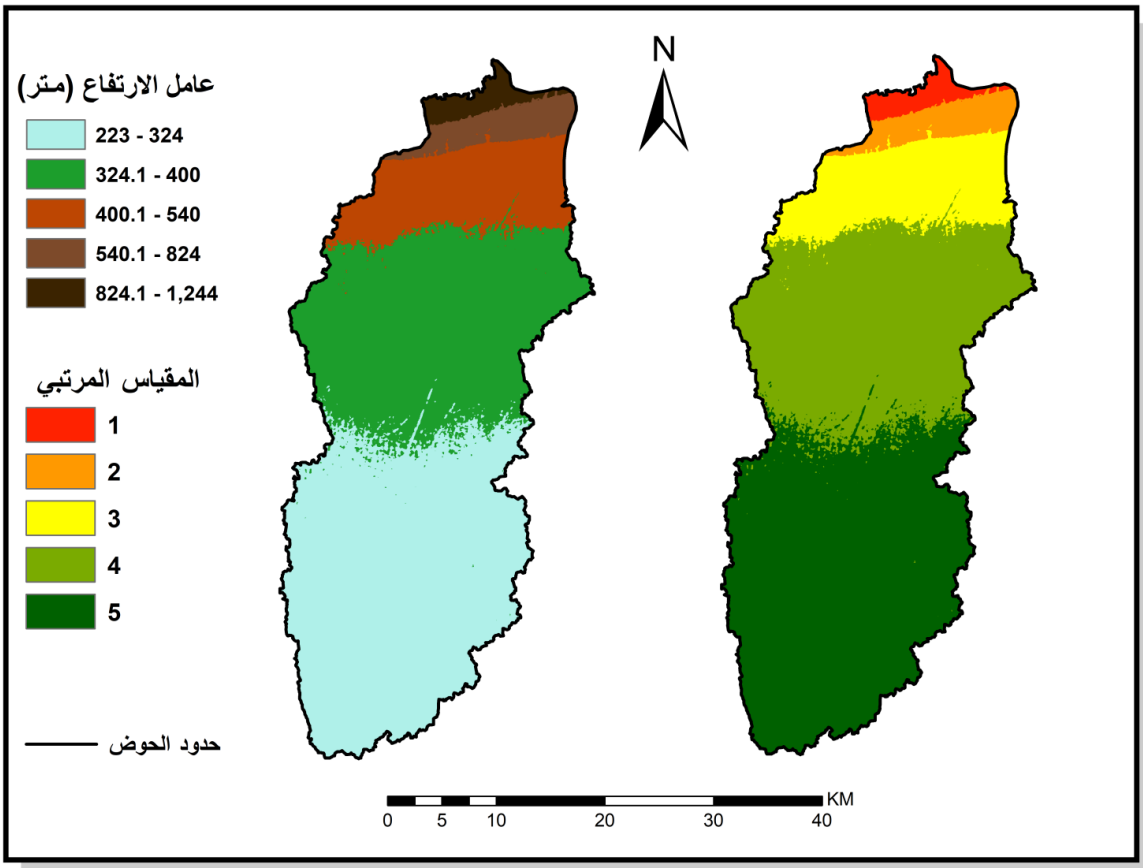


المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

٣- عامل الارتفاعات

يعد عامل الارتفاع أحد العوامل الرئيسة التي أخذت بعين الاعتبار عند تحديد المواقع المثلى لاختيار المواقع المثلى للحصاد المائي، لكون المنطقة تتدرج في ارتفاعها من الشمال الى الجنوب ما بين ال (١٢٤٤ – ٢٢٣) م، فكلما انخفض الارتفاع كلما اصبحت ذا أهمية عالية في خزن المياه كمياه سطحية، الوزن العام المحتسب للارتفاع (٧.٦) اعطي الارتفاع (٣٢٤ – ٢٢٣) م اعلى وزن في اهميتها لخزن المياه السطحية للأسباب السابقة، اما الارتفاعات (١٢٤٤ – ٨٢٤) م فأنها اعطيت اقل وزن، ينظر الخريطة (٤) والجدول (٣) والشكل (٢).

الخريطة (٤) العامل الارتفاعات وتقيسه بالمقياس المرتبي

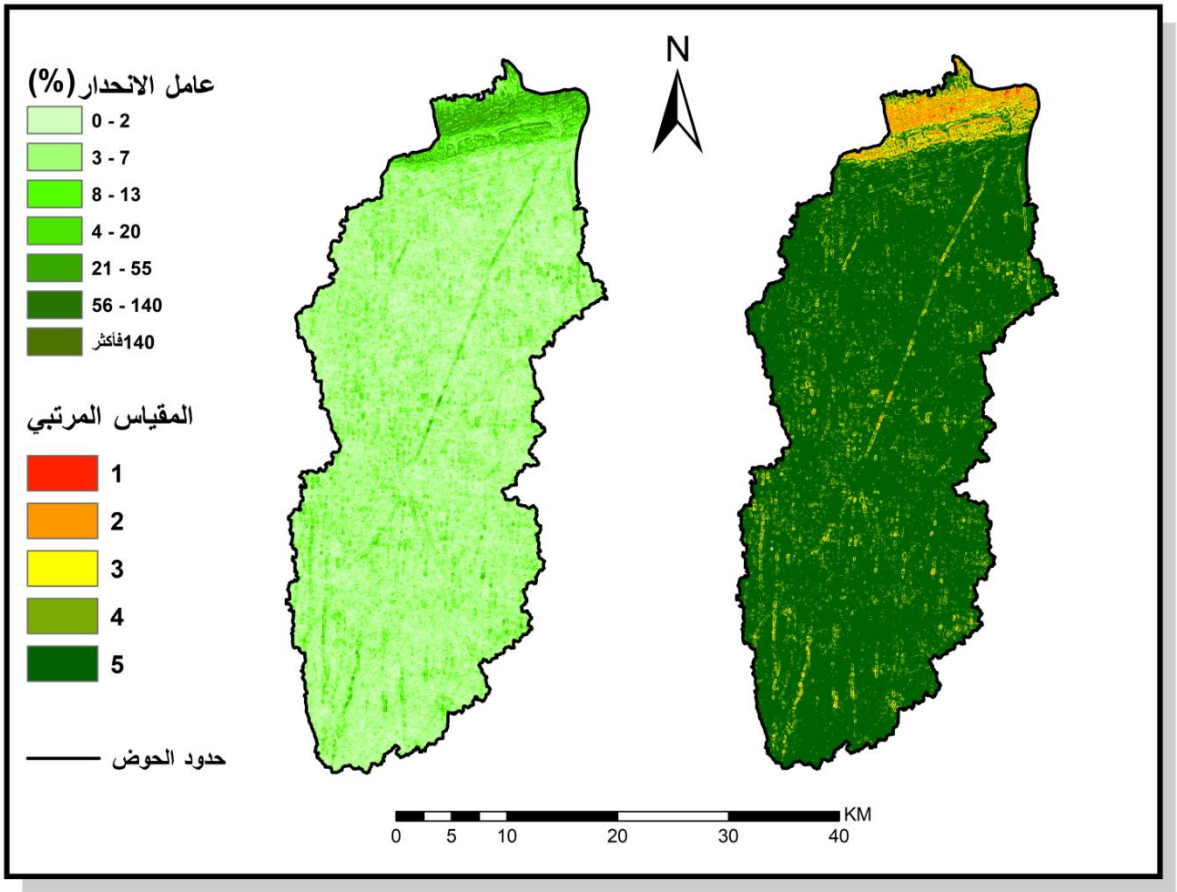


المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

٤- عامل الانحدار

تعتبر الانحدارات من أهم العوامل المؤثرة في مشاريع الحصاد المائي ، فهو عامل يتحكم في تحديد مناطق التجمعات المائية للأمطار الساقطة، اذ تم تصنيف الحوض الى سبعة اصناف انحدارية وفق تصنيف (Zuidam)، تم تحديد الوزن العام لعامل الانحدار (٧.٦) بناءً على مقارنة أهميته النسبية مع العوامل الأخرى المؤثرة في حصاد المياه، وهناك علاقة عكسية بين انحدار الارض ومشاريع الحصاد المائي، اذ كلما قلت درجة انحدار زادت امكانية استثمار المنطقة في اقامة تلك المشاريع، على هذا الاساس اعطيت المناطق ذات الانحدار الخفيف اعلى قيمة في الاهمية مقارنة بالمناطق شديدة الانحدار التي اخذت ادنى قيمة، ينظر الخريطة (٥) والجدول (٣) والشكل(٢).

الخريطة (٥) العامل الانحدار وتقيسه بالمقياس المرتبي



المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

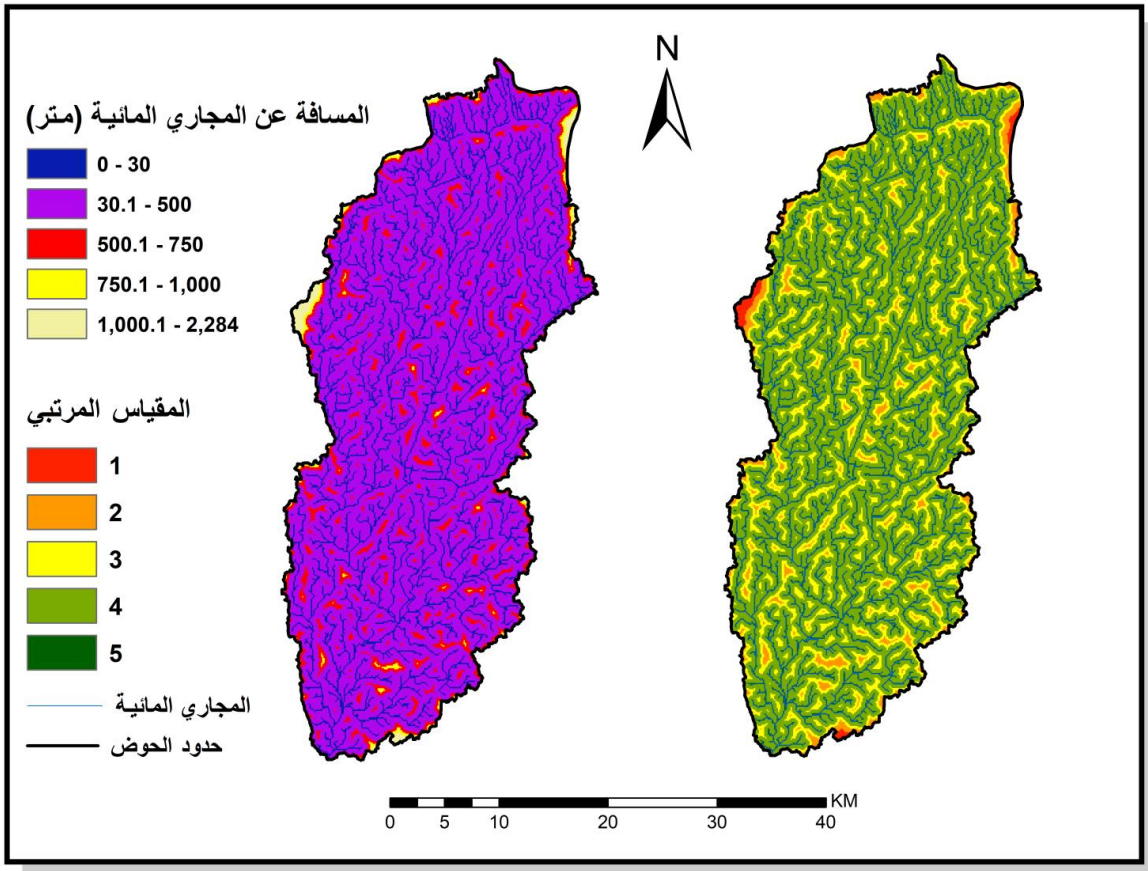
٥- عامل شبكة المجاري المائية

يعتبر عامل شبكة المجاري المائية أحد أهم العوامل المؤثرة في تحديد المواقع المثلى للحصاد المائي، حيث تم منحه أعلى وزن نسبي مقارنة ببقية العوامل اذ بلغ الوزن (٢٧.٣) نظرًا لدوره البارز في توجيه مياه السيول نحو المواقع المناسبة لتجميعها، تعتمد كفاءة الحصاد المائي بشكل كبير على وجود شبكة مجاري مائية واضحة يمكنها نقل المياه السطحية بكفاءة وتقليل الفاقد الناتج عن التسرب أو والتبخر.

شبكة المجاري المائية توفر مسارات طبيعية لجريان مياه الأمطار، مما يجعلها أساسًا في اقامة المواقع المثلى للحصاد المائي، المواقع المثلى يجب أن تقع على هذه المجاري أو بالقرب منها لضمان قدرة النظام على تجميع

أكبر كمية ممكنة من مياه الامطار، تسهم هذه المجاري في تسريع نقل المياه من مناطق الجريان إلى مناطق التجميع، مما يعزز من فعالية مشاريع الحصاد المائي. الخريطة (٦) والجدول (٣) والشكل (٢).

الخريطة (٦) العامل شبكة المجاري المائية وتقيسه بالمقياس المرتبي



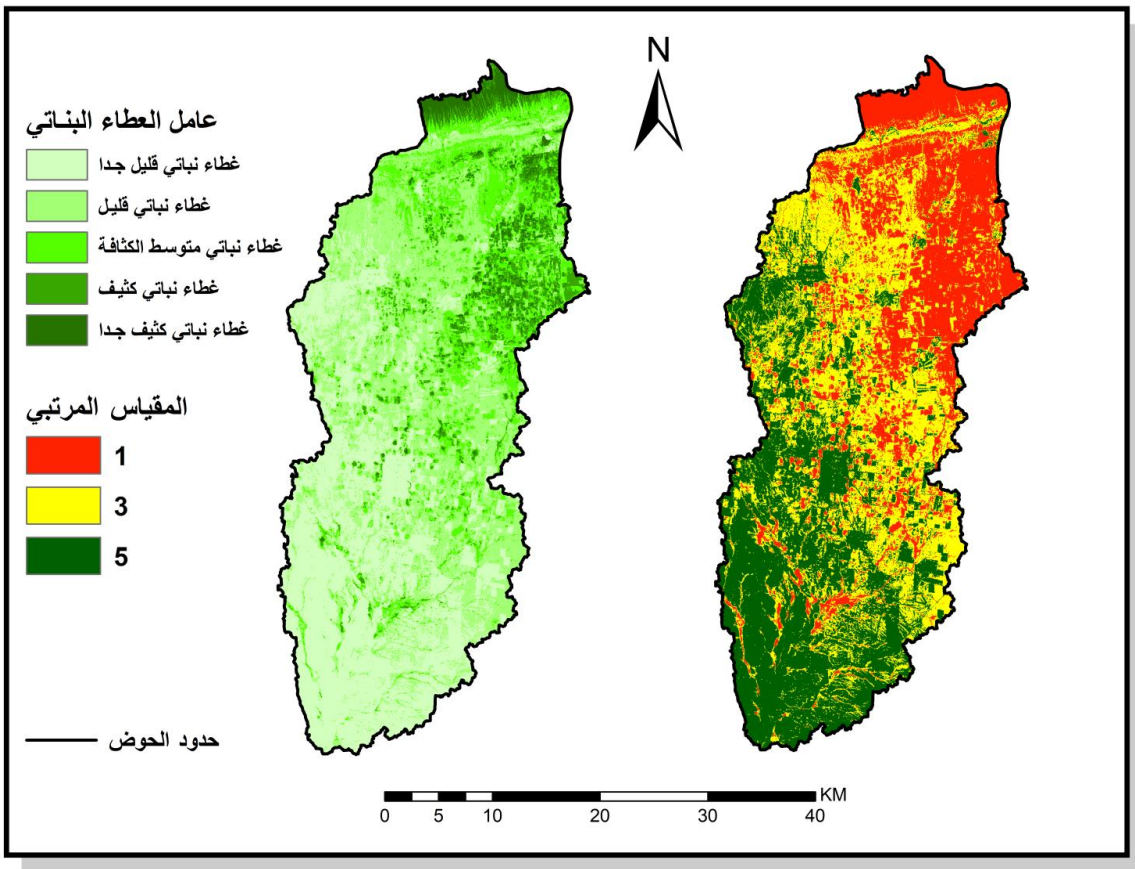
المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

٦- عامل الغطاء النباتي

تم تقدير الوزن العام لعامل الغطاء النباتي (٧.٦) بناءً على مقارنة أهميتها النسبية مع بقية العوامل، حيث يلعب دورا اساسيا في التأثير على معدلات الجريان السطحي ومعدلات التسرب، في المناطق ذات الغطاء النباتي القليل تكون أهمية الحصاد المائي أكبر نظرًا لزيادة معدلات الجريان السطحي وانخفاض معدلات التسرب والتبخر، في جين المناطق ذات الاغطية النباتية الكثيفة جدا يحدث العكس اذ تنخفض معدلات الجريان وتزداد معدلات التسرب والتبخر، هذه الخصائص تجعل المناطق ذات الغطاء النباتي القليل مواقع مثلى لتجميع المياه وتحقيق الاستفادة

القصوى منها، على هذا الاساس اعطيت المناطق ذات الغطاء النباتي القليل جدا اعلى قيمة في الاهمية مقارنة بالمناطق ذات الغطاء الكثيف جدا التي اخذت ادنى قيمة، ينظر الخريطة (٧) والجدول (٣) والشكل(٢).

الخريطة (٧) العامل الغطاء النباتي وتقيسه بالمقياس المرتبي

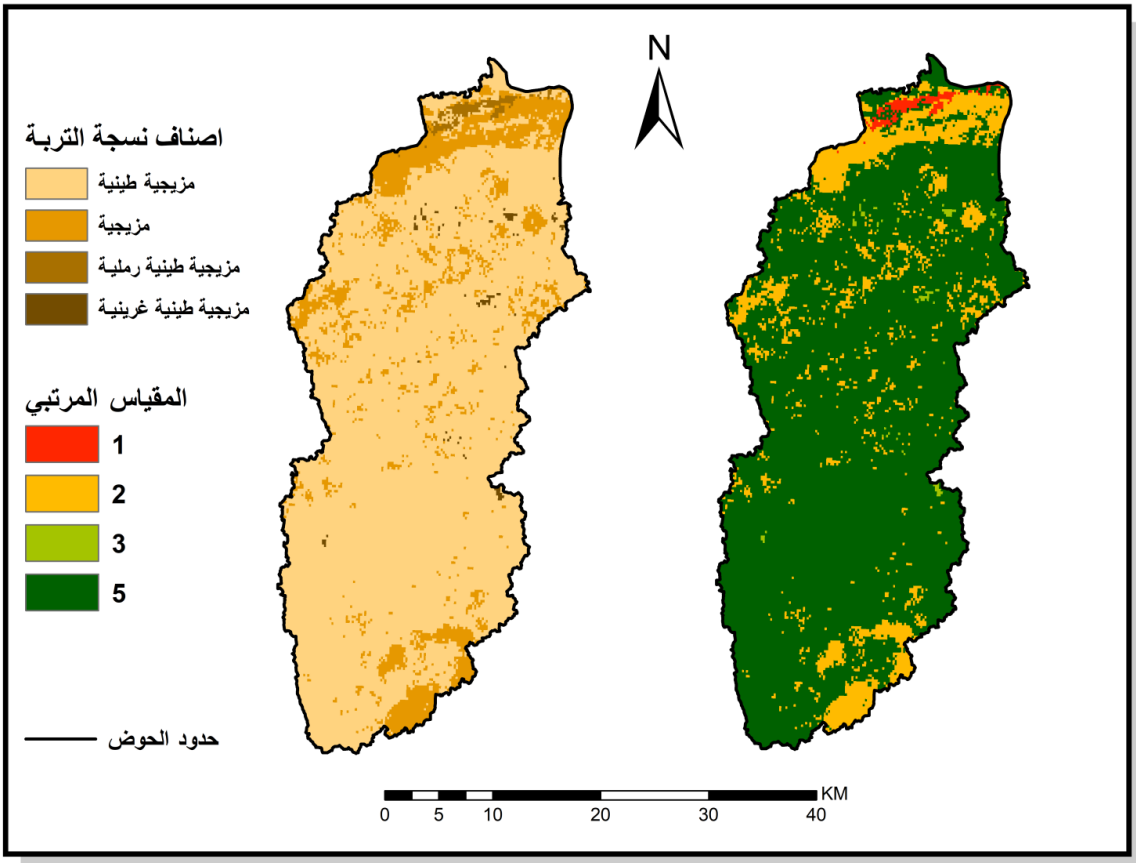


المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

٧- عامل نسجة التربة

عد عاملاً مهما في عملية الحصاد المائي، اذ يؤثر نسيج التربة في معدل تسرب المياه الى باطن الارض فكلما كانت التربة ذات نفاذية عالية ارتفع معدل تسرب الماء الى باطن الارض وكانت أقل أهمية في عمليات الحصد المائي وأكثر اهمية لتغذية المياه الجوفية والعكس صحيح، وعلى هذا الاساس وزعت أدني واعلى قيمة لاصناف هذا العامل، اما الوزن العام المحتسب من المصفوفة الثنائية لعامل نسجة التربة فهو (١٤.٦)، ينظر الخريطة (٨) والجدول (٣) والشكل (٢).

الخريطة (٨) العامل نسجة التربة وتقيسه بالمقياس المرتبي



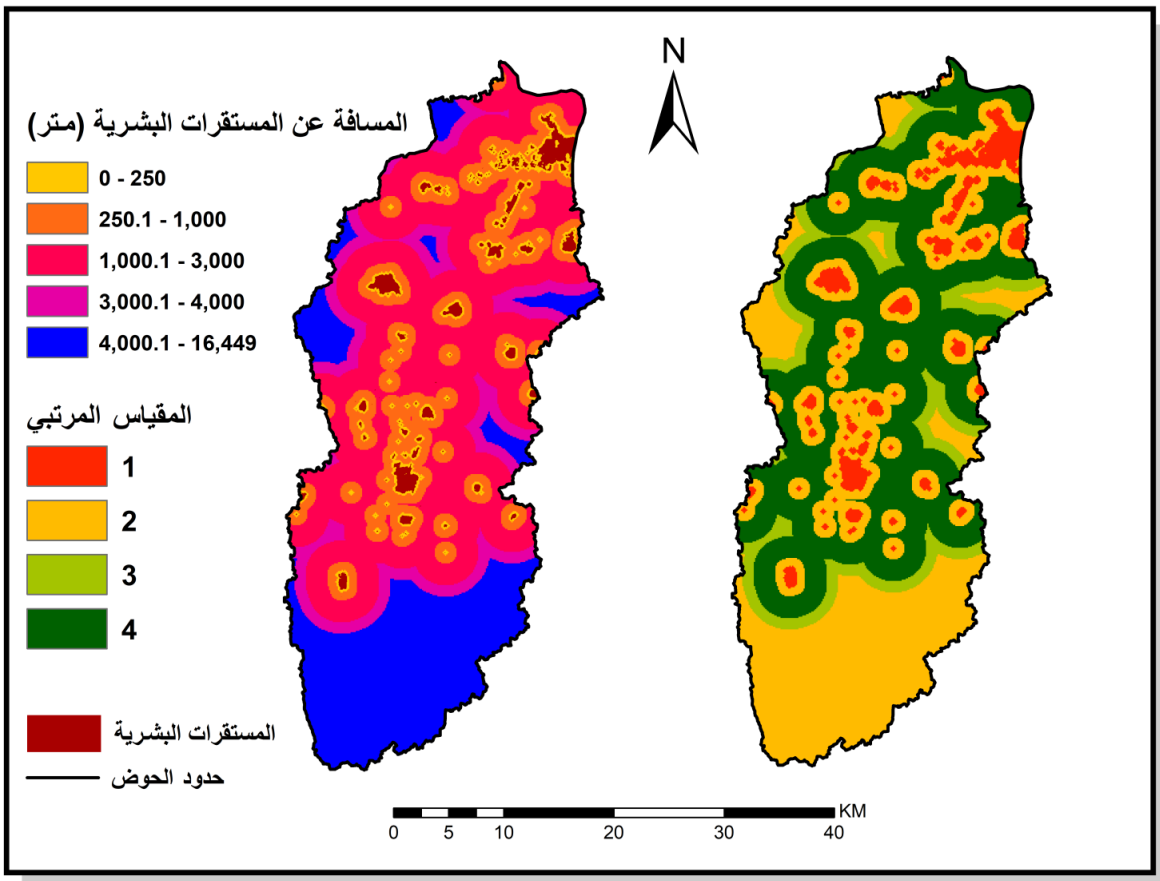
المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

٨- عامل القرب من المستقرات البشرية

تم تقدير الوزن العام لعامل المسافة عن المستقرات البشرية بـ(٣.٩)، بناءً على تحليل أهميته النسبية مقارنةً مع بقية العوامل المؤثرة في اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي، يعتمد هذا العامل على تصنيف المناطق إلى خمس اصناف تحدد مدى ملاءمتها لعمليات الحصاد المائي بناءً على البعد او القرب من المستقرات البشرية، يعد هذا العامل من أكثر العوامل تعقيدًا لسببين: الأول هو أن قرب مواقع الحصاد المائي منها قد يؤدي إلى مشكلات بيئية محتملة، مثل ارتفاع مستوى الماء الجوفي، فضلا عن مخاطر انهيار تلك المشاريع مما يشكل تهديدًا على الأبنية القريبة، أما السبب الثاني، فيكمن في أن البعد المفرط عنها يزيد من تكاليف إنشاء البنية التحتية لمشاريع الحصاد المائي ، خصوصًا فيما يتعلق بشبكات طرق النقل وأنابيب نقل المياه من مناطق تجميع المياه إلى المناطق السكنية، ولتقليل هذه المشاكل تم تقسيم هذا العامل إلى خمس فئات تأخذ في الاعتبار التوازن بين القرب من

المستقرات البشرية لتسهيل الاستخدام، والبعد الكافي لتجنب المشكلات البيئية المحتملة، ينظر الخريطة (٩) والجدول (٣) والشكل(٢).

الخريطة (٩) العامل القرب من المستقرات البشرية وتقيسه بالمقياس المرتبي



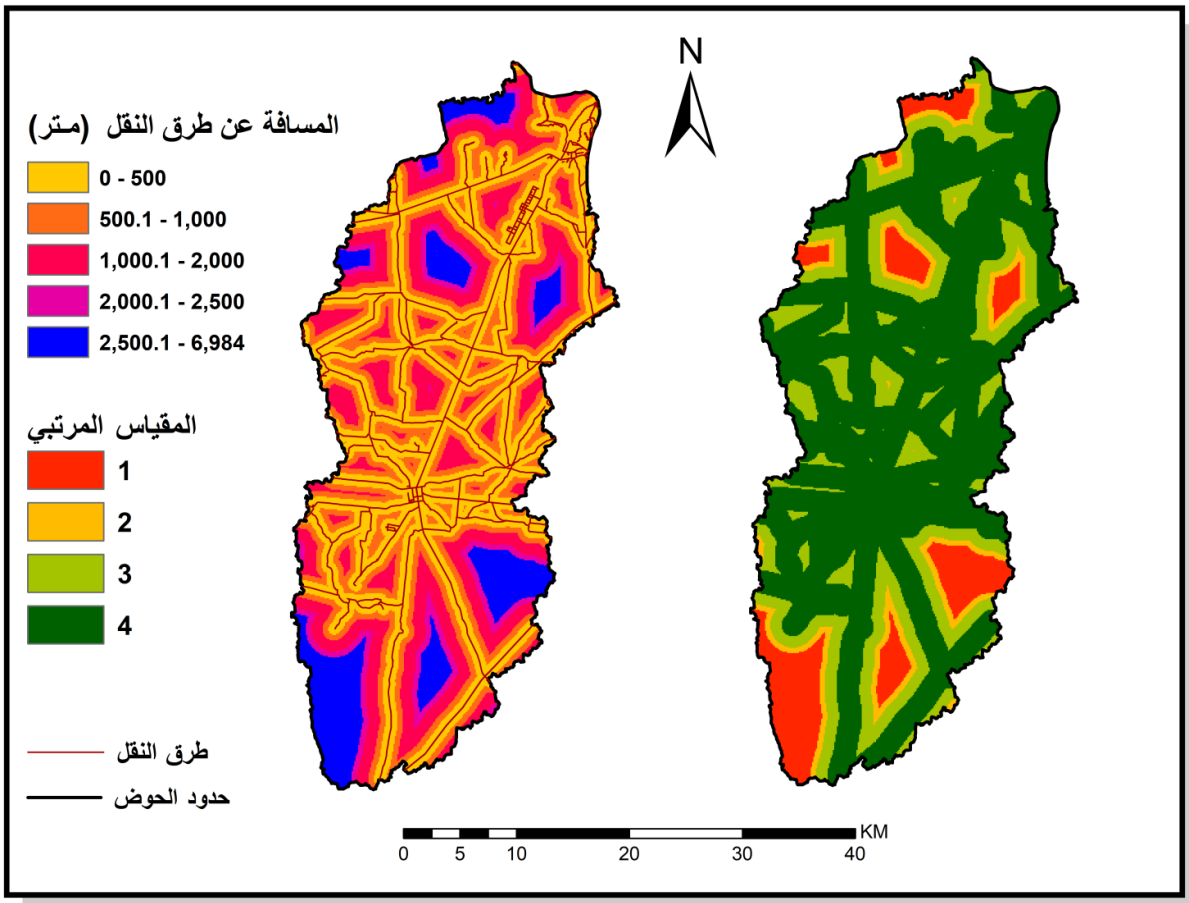
المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

٩- عامل القرب من الطرق الرئيسة

تم تقدير الوزن العام لعامل القرب من الطرق النقل الرئيسة كأدنى وزن (٢.٣) بناءً على مقارنة أهميتها النسبية مع بقية العوامل المؤثر ، اذ تم اتخاذ معيار المسافة عن شبكة الطرق لتحديد المناطق المناسبة لاقامة مشاريع لحصاد المياه وذلك لأن عامل البعد او القرب عن الطرق يؤثر في استخدام مياه التجميع بصورة مباشرة أو غير المباشرة فالعلاقة طردية بين البعد عن طرق النقل وطبيعة الاستخدام، كما أن طرق النقل وامتداداتها تساهم في حل بعض مشكلات الانشاء عند تصميم شبكة أنابيب نقل المياه في حالة الضرورة القصوى لذلك نظراً لتركيبها موازياً مع مسارات الطرق، فضلا عن ذلك تسهل طرق النقل الوصول إلى مواقع مشاريع الحصاد المائي لأغراض

الصيانة الدورية أو حالات الطوارئ، مما يضمن استمرارية وكفاءة نظام هذه المشاريع على المدى الطويل، وعلى هذا الاساس ، فإن المناطق القريبة من طرق النقل تعتبر الاعلى قيمة في مقياس الاهيمة وتقل القيمة كلما ابتعدنا عن الطرق، ينظر الخريطة (١٠) والجدول (٣) والشكل(٢).

الخريطة (١٠) العامل القرب من الطرق الرئيسة وتقيسه بالمقياس المرتبي



المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدولين (١، ٣).

الجدول (٣) اوزان العوامل المؤثرة والمقياس المرتبي لاصناف كل عامل

العامل	الصنف	المقياس المرتبي	الوزن %
الجيولوجي	رواسب المنحدرات	1	14.6
	رواسب الترب المتبقية، تكوين الفيضان	2	
	تكوين الفرات- جيري	3	
	تكوين جدالة- الانة، تكوين سنجار – خليجي ، تكوين شرانش	4	
المطر (ملم)	135.78 – 150.73	1	14.6
	150.74 – 170.32	2	
	170.33 – 185.27	3	
	185.28 – 197.56	4	
	197.57 – 220.47	5	
الارتفاعات (متر)	824.1 – 1244	1	7.6
	540.1 – 824	2	
	400.1 – 540	3	
	324.1 – 400	4	
	223 – 324	5	
الانحدارات (%)	فأكثر 140 , 56 – 140	1	7.6
	21 – 55	2	
	4 – 20	3	
	8 –13	4	
	0–2 , 3 –7	5	
شبكة المجاري المائية (متر)	1000 – 2284	1	27.3
	750.1 – 1000	2	
	500.1 – 750	3	
	30.1 – 500	4	
	0 – 30	5	
الغطاء النباتي	غطاء نباتي متوسط الكثافة، كثيف ، كثيف جدا	1	7.6
	غطاء نباتي قليل	3	
	غطاء نباتي قليل جدا	5	
نسجة التربة	مزيجية طينية رملية	1	14.6
	مزيجية	2	
	مزيجية طينية غرينية	3	
	مزيجية طينية	5	
القرب من المستقرات البشرية (متر)	0 – 250	1	3.9
	فأكثر 4000 , 250.1 – 1000	2	
	3000.1 – 4000	3	
	1000.1 – 3000	4	
القرب من الطرق الرئيسة (متر)	2500.1 – 6984	1	2.3
	2000.1 – 2500	2	
	1000.1 – 2000	3	
	0 – 500 , 500.1 – 1000	4	

المصدر: الباحث بالاعتماد على الجدول (٢).

النتائج والمناقشة

في التحليل الجغرافي، تعتبر النمذجة المكانية واحدة من أهم الأدوات لفهم العلاقات بين العوامل المكانية وتقييم تأثيرها، وتستخدم جبر الخرائط الموزونة لتحديد مستويات التأثير النسبي لكل عامل في الانموذج النهائي، ومع ذلك، تتنوع الأساليب المستخدمة لتطبيق النمذجة المكانية بناءً على أهداف الدراسة، يمكن تصنيف هذه الأساليب إلى نهج غير خاضع للقيود يعتمد على دمج جميع البيانات المكانية دون استثناء، ونهج موجه خاضع للقيود يستبعد بعض الأصناف أو القيم بناءً على محددات معينة، في هذا السياق، سنناقش طريقتين مختلفتين للنمذجة: الطريقة غير الخاضعة للقيود(شاملة بدون محددات) والطريقة الخاضعة للقيود (موجه مع محددات)

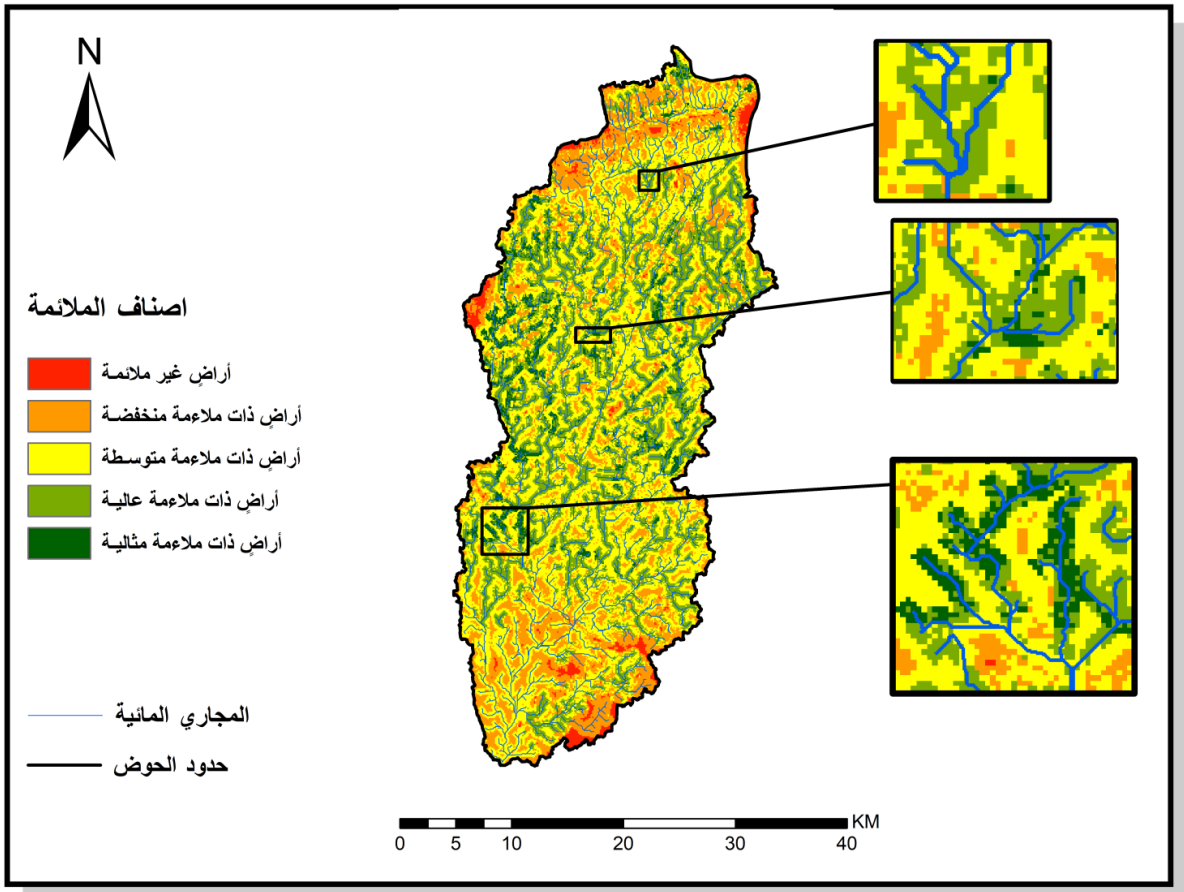
١- الطريقة الاولى: النمذجة غير الخاضعة للقيود (الشاملة)

في بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، تعتمد عملية جبر الخرائط الموزونة (Weighted Overlay) على الجمع بين عوامل المؤثرة المختلفة وفقًا لأوزان نسبية تمثل تأثير كل عامل على الانموذج النهائي، في الطريقة الأولى، يتم دمج جميع البيانات المكانية للعوامل التسعة المؤثرة في اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي في نموذج واحد باستخدام معادلة جبرية تعكس الوزن النسبي لكل عامل، يتم تطبيق هذا النموذج دون استبعاد أي صنف أو وضع قيود على أصناف معينة ضمن كل عامل.

تفترض هذه الطريقة أن جميع الأصناف في كل عامل لها تأثير مهم على الانموذج النهائي، وبالتالي، فإن النهج هنا شمولي، حيث يهدف إلى تضمين كل ما هو متاح من معلومات في التحليل المكاني.

من خلال هذه الطريقة، يتم التعامل مع البيانات المكانية كما هي، مما يجعلها طريقة مثالية للدراسات التي تهدف إلى استكشاف التداخلات والتفاعلات بين مختلف العوامل دون فرض قيود مسبقة (محددات) على البيانات، مع ذلك، فإن استخدام هذه الطريقة قد يؤدي أحيانًا إلى تضمين تأثيرات غير مرغوبة أو غير ذات صلة بسبب عدم استبعاد الأصناف التي قد تكون أقل اهمية او غير مناسبة في سياق الدراسة، ينظر للخريطة (١١).

الخريطة (١١) خريطة اصناف الملائمة لاختيار المواقع المثلى للحصاد المائي باستخدام النموذج غير الخاضع للقيود



المصدر: الباحث بالاعتماد على الخرائط (٢، ٣، ٤، ٥،٦، ٧، ٨، ٩، ١٠،) والجدول (٣).

٢- الطريقة الثانية: النمذجة الخاضعة للقيود (المحددات)

على النقيض من الطريقة الأولى غير الخاضعة للقيود، تعتمد الطريقة الثانية على استخدام مفهوم "المحددات" (Constraints) كجزء أساسي من عملية جبر الخرائط الموزونة، تعد المحددات إحدى الأدوات الفعالة لتحسين دقة النماذج المكانية عن طريق استبعاد أو تقليل تأثير الأصناف التي لا تتناسب مع أهداف الدراسة أو التي لا تؤدي دورًا حيويًا في الانموذج النهائي.

تفترض هذه الطريقة على أن ليس جميع الأصناف داخل كل عامل ذات أهمية متساوية، بل إن هناك أصنافًا معينة يمكنها التأثير بشكل غير متناسب على الخريطة النهائية المنمذجة، مما يجعل استبعادها أو تقليل وزنها ضروريًا للحصول على خريطة أدق وأكثر واقعية.

وتطبق المحددات من خلال شروط منطقية ضمن معادلة جبر الخرائط الموزونة، هذه الشروط تعتبر عنها باستخدام دوال مثل دالة "Con" الشرطية في أداة Raster Calculator في برنامج ArcGIS، تستخدم هذه الدالة لاستبعاد الأصناف التي لا تحقق الشروط المحددة، مما يسمح بإعطاء أوزان فقط للأصناف التي تلبي هذه الشروط، وسيتم توضيح المحددات على النحو الاتي:

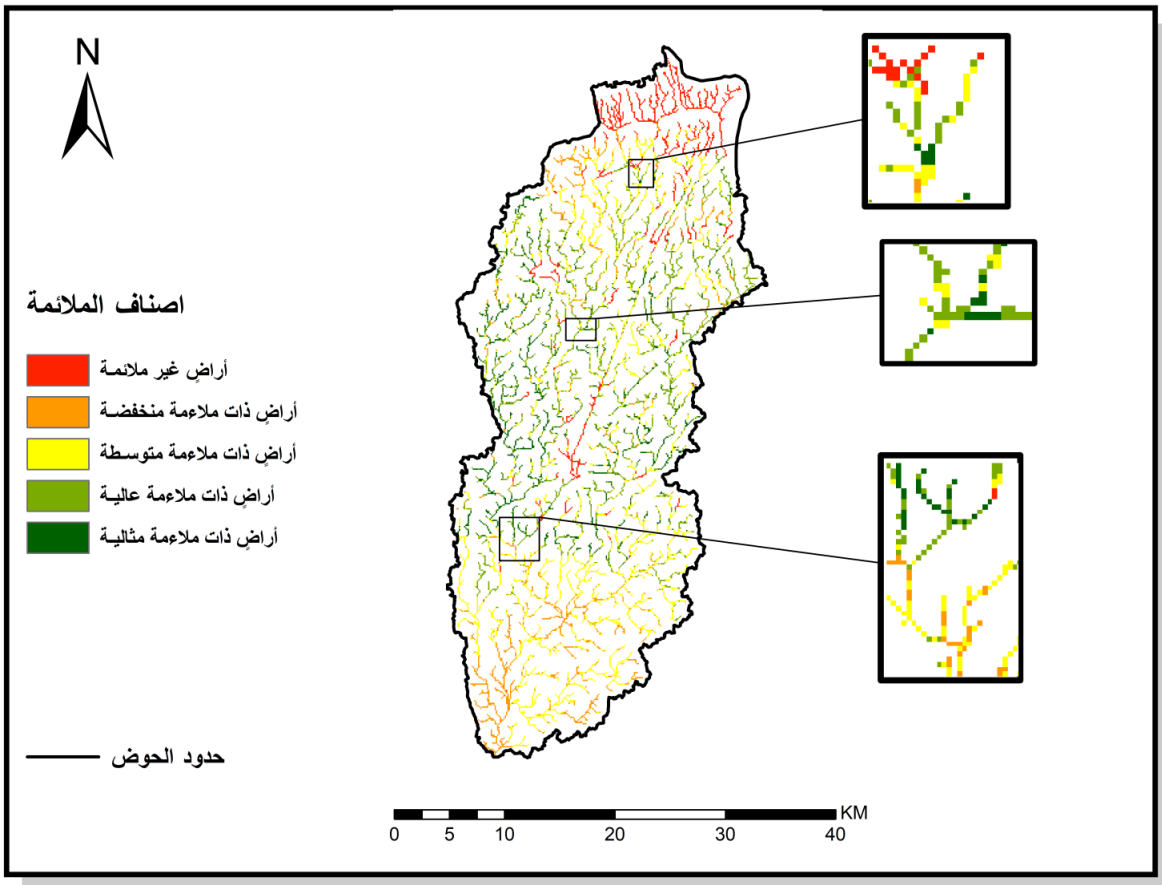
١. العامل الأول (شبكة المجاري المائية): سيتم استبعاد جميع اصناف هذا العامل ما عدا الصنف الذي اخذ اعلى قيمة في مقياس الاهمية وهو الصنف الخامس وهذا يعني استبعاد جميع بيكسلات (الوحدة الصورية) بقية الاصناف من عملية جبر الخرائط الموزونة والابقاء على البيكسلات التي تقع داخل المجرى المائي.
٢. العامل الثاني (الارتفاع عن مستوى سطح البحر): سيتم استبعاد الصنف الأول والثاني وتشمل المناطق شديدة الارتفاع والمحصورة ما بين (١٢٤٤ – ٥٤٠م).
٣. العامل الثالث (الانحدارات): سيتم استبعاد الصنف الأول والثاني اي الاصناف ذات الانحدار الشديد وفقا تصنيف زويدام، الذي يتضمن المناطق التي تتجاوز نسبة الانحدار فيها ٥٦%.
٤. العامل الثالث (المسافة من المستقرات البشرية): سيتم استبعاد الصنف الأول الذي يمثل الحيز المكاني الذي توجد فيه المستقرات البشرية، وبالتالي سيتم التركيز على المناطق البعيدة عن هذه التجمعات.
٥. بقية العوامل (الجيولوجيا والامطار ونسجة التربة والغطاء النباتي والقرب من الطرق): لم يتم استبعاد أي صنف من هذه العوامل، حيث ستعامل جميع الأصناف في هذه العوامل على أساس تأثيرها الكامل في عملية جبر الخرائط الموزونة، ينظر للجدول (٤) والخريطة (١٢).

الجدول (٤) المحددات المستخدمة في الطريقة الثانية (النمذجة الخاضعة للقيود)

العامل	المحددات
شبكة المجاري المائية	5 ≠ الصنف
الارتفاعات	2 ≤ الصنف
الانحدارات	2 ≤ الصنف

المسافة من المستقرات البشرية	1 = الصنف
نسجة التربة، الجيولوجية، الغطاء النباتي، القرب من الطرق، الامطار	بدون محددات

الخريطة (١٢) خريطة اصناف الملائمة لاختيار المواقع المثلى للحصاد المائي باستخدام النموذج الخاضع للقيود



المصدر: الباحث بالاعتماد على الخرائط (٢، ٣، ٤، ٥،٦، ٧، ٨، ٩، ١٠) والجدول (٤).

الاستنتاجات

من خلال استخدام النمذجة الخاضعة للقيود و مفهوم "المحددات" في عملية جبر الخرائط الموزونة، يتضح أن استخدام هذا النوع من النمذجة تمثل أداة فعالة لتحسين دقة النمذجة المكانية، من خلال تطبيق شروط منطقية عبر دالة "Con" الشرطية لإنشاء معادلات جبرية باستخدام الاداة Raster Calculator في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، اذ يمكن تقليص او استبعاد تأثير الأصناف غير ذات الصلة أو غير الهامة في النمذجة المكانية ، مما يؤدي إلى نمذجة أكثر دقة وتوجيهًا نحو اهداف الدراسة المحددة، مثلًا، استبعاد البيكسلات (الوحدات الصورية) التي تقع خارج شبكة المجاري المائية مع استبعاد البيسكلات التي تقع داخل المستقرات البشرية والمناطق ذات الانحدار الشديد يساهم ذلك في تقليل التشويش وتحقيق نتائج أكثر واقعية.

بالتالي، فإن تطبيق المحددات لا يساعد فقط في تحسين دقة النتائج، بل أيضًا في توجيه النموذج نحو الأهداف المرجوة، مثل اختيار المواقع المثلى للحصاد المائي، هذا يعكس أهمية استخدام هذه الأدوات في تحليل النماذج المكانية وتوجيهها بما يتناسب مع الأهداف البحثية، مما يجعلها أداة أساسية في التحليل المكاني في العديد من الدراسات البيئية والتخطيطية.

التوصيات

توصي هذه الدراسة الباحثين في مجال الموارد المائية بشكل عام والحصاد المائي بشكل خاص بالتركيز على تبني الطرق الحديثة في تقنيات النمذجة المكانية، والابتكار في تطوير التقنيات الجغرافية وتوظيفها في تحسين النماذج المكانية لتصميم وتنفيذ مشاريع الحصاد المائي.

قائمة المراجع :

- الدعدي، ماجدة عبد الله، نموذج مكاني مقترح لتحديد المناطق المناسبة للحصاد المائي بهدف تغذية المياه الجوفية بمنطقة القصيم، المؤتمر العلمي الدولي الثاني عشر لكلية التربية للعلوم الانسانية (المياه الجوفية جغل غير المرئي مرئيا)، جامعة الملك سعود، ٢٠٢٣، ص ٢.
- Saaty, T., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, Vol.15, No. 3, P.P. 234-281 .DOI: https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5
- Saaty,T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process , International journal of services sciences, Vol. 1, No.1 ,P.85. DOI: https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590
- Brunelli, Matteo, 2014. Introduction to the analytic hierarchy process. Springer.P.P.24-25. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/15146/isbn9783319125022.pdf?sequence
- Wind, Y., and Saaty, T. L., 1980. Marketing applications of the analytic hierarchy process. Managementscience, Vol.26, No.7, P.646. DOI: https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641

Bibliography of Arabic References (Translated to English)

- Al-Daadi, Majda Abdullah. *A Proposed Spatial Model for Identifying Suitable Areas for Water Harvesting Aimed at Groundwater Recharge in the Al-Qassim Region*. The 12th International Scientific Conference of the College of Education for Human Sciences (Groundwater: Making the Invisible Visible), King Saud University, 2023 .
- Saaty, T., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of Mathematical Psychology, Vol.15, No. 3, P.P. 234-281 .DOI: https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5
- Saaty,T.L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process , International journal of services sciences, Vol. 1, No.1 ,P.85. DOI: https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590
- Brunelli, Matteo, 2014. Introduction to the analytic hierarchy process. Springer.P.P.24-25. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/15146/isbn9783319125022.pdf?sequence
- Wind, Y., and Saaty, T. L., 1980. Marketing applications of the analytic hierarchy process. Managementscience, Vol.26, No.7, P.646. DOI: https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641