



النمذجة المكانية لتحديد مناطق التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في منطقة الوديان ضمن الهضبة الغربية باستخدام (GIS) و(AHP)

م.د. اسراء عبدالواحد علي مراد
قسم الجغرافية، كلية الاداب، الجامعة العراقية، العراق
البريد الالكتروني: israaabdulwahidali@aliraqia.edu.iq

المخلص:

تعد التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية أحد الحلول المستدامة لتعزيز المخزون المائي في المناطق الجافة وشبه الجافة، بما فيها الهضبة الغربية في العراق. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد وتقييم المناطق الملائمة للتغذية الاصطناعية ضمن منطقة الوديان التي تمتد على مساحة (101950.7) كم²، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) بالتكامل مع التحليل الهرمي (AHP) لتحديد الأوزان النسبية للمعايير المؤثرة. اشتملت الدراسة على سبعة معايير رئيسية تشمل الخصائص الطبوغرافية (الارتفاع، الانحدار، اتجاه الانحدار)، الهيدرولوجية (كثافة المجاري المائية)، الجيولوجية، بالإضافة إلى التراكيب الخطية والفوالق، والتربة والهطول. اذ تم تصنيف كل معيار إلى فئات ملائمة وفق مقياس (Saaty)، ومن ثم دمجها مكانياً لإنتاج خريطة شاملة للملائمة.

أظهرت النتائج أن مناطق الملائمة العالية جداً للتغذية الاصطناعية تتركز في قيعان الأودية والمناطق الوسطى والجنوبية الشرقية، حيث تتسم بانحدارات منخفضة، كثافة مرتفعة للفوالق والشقوق، وتكوينات كلسية نفاذة، مما يزيد من زمن الترشيح ويعزز استجابة الخزانات الجوفية. بينما تتصف المناطق ذات الملائمة المنخفضة بالهضاب العليا والانحدارات الحادة التي تزيد الجريان السطحي وتقليل الترشيح الطبيعي. كما تبين أن أكثر من 59% من مساحة الدراسة تقع ضمن الفئات الملائمة العالية والعالية جداً، فيما تمتلك التربة الصحراوية الغنية بالكربونات نفاذية ممتازة لتعزيز الترشيح العمودي للمياه. تشير الدراسة إلى أن استخدام (GIS و AHP) يوفر إطاراً منهجياً دقيقاً لتحديد المواقع المثلى للتغذية الاصطناعية، مع ضمان التكامل بين العوامل الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية، مما يعزز إدارة الموارد المائية الجوفية ويحقق استدامتها في الهضبة الغربية.

الكلمات المفتاحية: التغذية الاصطناعية، المياه الجوفية، الملائمة المكانية، نظم المعلومات الجغرافية، التحليل الهرمي (AHP).

Spatial Modeling for Delineating Artificial Groundwater Recharge Zones in the Al-Widian Region within the Western Plateau using GIS and AHP

Dr. Israa Abdulwahid Ali Ali Murad
Department of Geography, College of Arts, Al-Iraqia University, Iraq
Email: israaabdulwahidali@aliraqia.edu.iq

ABSTRACT:

Artificial Groundwater Recharge (AGR) is considered one of the sustainable solutions for enhancing water storage in arid and semi-arid regions, including the Western Plateau of Iraq. This study aims to identify and evaluate suitable areas for artificial recharge within the Al-Widian region, which spans an area of 101950.7 km², using Geographic Information Systems (GIS) integrated with the Analytic Hierarchy Process (AHP) to determine the relative weights of the influencing criteria.

The study incorporated seven primary criteria, including topographical characteristics (elevation, slope, and aspect), hydrological factors (drainage density), geological features, as well as lineaments/faults and soil types. Each criterion was classified into suitability categories according to Saaty's scale and subsequently integrated spatially to produce a comprehensive suitability map.

The results indicated that "Very High" suitability zones for artificial recharge are concentrated in valley beds and the central and southeastern regions. These areas are characterized by low slopes, high fault and fracture density, and permeable limestone formations, which increase infiltration time and enhance the response of groundwater aquifers. Conversely, "Low" suitability areas are characterized by high plateaus and steep slopes that increase surface runoff and reduce natural infiltration. The study revealed that more than 59% of the study area falls within the "High" and "Very High" suitability categories, and that carbonate-rich desert soils possess excellent permeability for enhancing vertical water infiltration. The study concludes that the use of GIS and AHP provides an accurate systematic framework for identifying optimal recharge sites, ensuring the integration of topographical, geological, and hydrological factors, thereby enhancing groundwater resource management and achieving sustainability in the Western Plateau.

Keywords: Artificial Recharge, Groundwater, Spatial Suitability, Geographic Information Systems (GIS), Analytical Hierarchy Process (AHP).

المقدمة:

تُعد الموارد المائية الجوفية أحد الركائز الأساسية للأمن المائي في المناطق الجافة وشبه الجافة، ولاسيما في البيئات الصحراوية التي تتسم بندرة الأمطار وعدم انتظامها زمنيًا ومكانيًا. وفي ظل التزايد المستمر في الطلب على المياه لأغراض الشرب والزراعة والتنمية، أصبحت الخزانات الجوفية تتعرض لضغوط متزايدة أدت إلى انخفاض مناسيبها وتدهور نوعيتها في العديد من المناطق. وتُعد التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية من أهم الأساليب الحديثة لإدارة الموارد المائية بصورة مستدامة، إذ تسهم في استثمار مياه الأمطار والسيول الموسمية وتقليل فاقد السطح، فضلاً عن تعزيز الخزانات الجوفية وتحسين كفاءتها التخزينية. وتتمتع منطقة الوديان ضمن الهضبة الغربية بإمكانات طبيعية واعدة لتنفيذ مشاريع التغذية الاصطناعية، نظراً لاتساع شبكة الأودية، وسيادة التكوينات الكربوناتيّة المتشققة، ووجود رواسب سطحية عالية النفاذية. غير أن الاستفادة المثلى من هذه الإمكانيات تتطلب تحديد المواقع الأنسب وبصورة مكانية دقيقة، وهو ما يستدعي توظيف تقنيات نظم المعلومات الجغرافية وأساليب التقييم متعدد المعايير، ولاسيما التحليل الهرمي (AHP).

• **مشكلة الدراسة:** تكمن المشكلة الأساسية في غياب تحديد مكاني دقيق ومنهجي لأفضل المواقع الملائمة للتغذية الاصطناعية، نتيجة تعقد العوامل المؤثرة وتداخلها، مثل الخصائص الطبوغرافية، والتراكيب الجيولوجية، وخصائص التربة، وشبكة التصريف المائي. وعليه، تتمثل مشكلة الدراسة في السؤال الآتي: كيف يمكن تحديد أفضل المواقع المكانية للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في منطقة الوديان ضمن الهضبة الغربية، اعتماداً على دمج المعايير الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ومنهجية التحليل الهرمي (AHP)؟
اما المشاكل الثانوية:

1- ما الخصائص الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية الأكثر تأثيراً في كفاءة التغذية الاصطناعية في منطقة الوديان؟

2- كيف يمكن تحديد الأهمية النسبية لهذه المعايير باستخدام التحليل الهرمي (AHP)؟

3- ما التوزيع المكاني لفئات الملائمة للتغذية الاصطناعية ضمن منطقة الدراسة؟

• **فرضية الدراسة:** تنطلق الدراسة من الفرضية الآتية:

إن دمج المعايير الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية باستخدام التحليل الهرمي (AHP) يؤدي إلى تحديد مواقع ذات ملائمة عالية وعالية جداً للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية، تتركز بشكل رئيس في قيعان الأودية ومناطق التقاء المجاري المائية والتكوينات الكربوناتيّة المتشققة، مما يسهم في رفع كفاءة استثمار الجريان السطحي وتعزيز استدامة الموارد المائية الجوفية في منطقة الوديان.

• **أهداف الدراسة:** تتمثل الهدف الرئيس بتحديد أفضل المواقع المكانية الملائمة للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في منطقة الوديان ضمن الهضبة الغربية، من خلال توظيف نظم المعلومات الجغرافية ومنهجية التحليل الهرمي (AHP) لدمج المعايير الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية.
الاهداف الثانوية:

1- تحليل الخصائص الطبوغرافية (الارتفاع، درجة الانحدار، اتجاه الانحدار) وتقييم دورها في التحكم بالجريان السطحي والترشيح.

2- تقييم الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية والتراكيب التكتونية وأثرها في النفاذية الأولية والثانوية.

3- تحليل خصائص التربة وكثافة التصريف المائي وشبكة الأودية والهطول، ودورها في تجميع المياه السطحية.

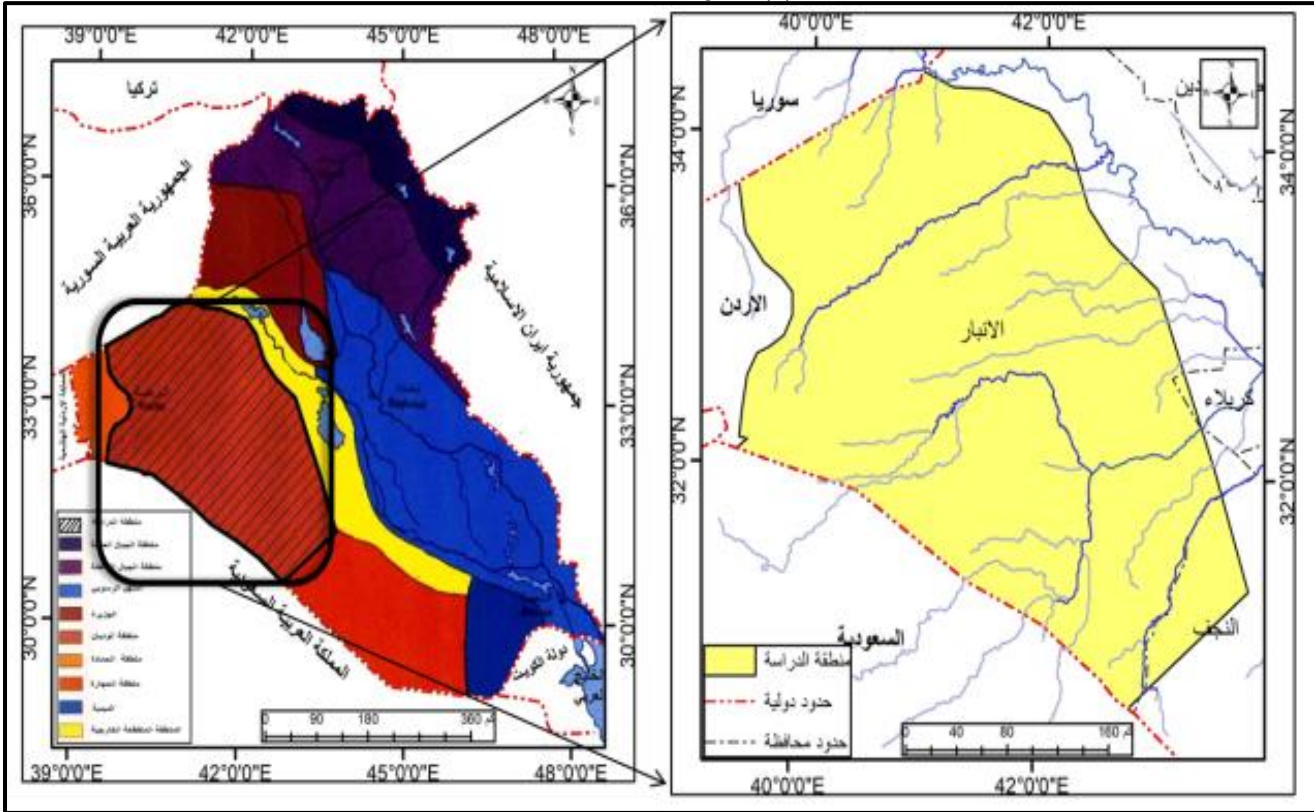
4- تحديد الأوزان النسبية للمعايير باستخدام التحليل الهرمي (AHP) والتحقق من اتساقها الإحصائي.

5- إنتاج خريطة الملائمة المكانية باستخدام أداة (Weighted Overlay).

• **موقع الدراسة:** يقع منطقة الدراسة، في الجزء الغربي من العراق، وتحديداً ضمن منطقة الهضبة الغربية (منطقة الوديان)، تبلغ مساحتها حوالي (101950.7)، إذ تغطي منطقة الدراسة مساحات واسعة من محافظة الأنبار، وتمتد لتشمل الأطراف الغربية لمحافظة كربلاء والنجف، إذ يحدها من جهة الشمال والشمال الغربي الحدود السورية، ومن جهة الغرب الحدود الأردنية، ومن جهة الجنوب والجنوب الغربي المملكة العربية السعودية. ومن جهة الشرق تتداخل مع الحدود الإدارية لمحافظة صلاح الدين، كربلاء، والنجف، يلاحظ

خريطة (1) اما الحدود الفلكية فيمتد بين دائرتي عرض (30°35'37"N-34°17'46"N) وبين خطي طول (43°47'59"E-39°13'53"E).

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة



المصدر: بالاعتماد على : وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة العراق الادارية ، مقياس 1/1000000، سنة 2021 ، ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

اولا: نمذجة الخصائص الطبوغرافية ودورها في التغذية الاصطناعية.:

1- الارتفاع:

بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي (Digital Elevation Model - DEM) للمنطقة، تم تقسيم قيم الارتفاع إلى خمس فئات، اذ يعكس هذا التقسيم كل منطقة ودوره في تجميع المياه السطحية والتغذية الاصطناعية، يلاحظ جدول(1) وخريطة(2).

• **الفئة الأولى:** مناطق التجميع الرئيسية (96 - 300) ، تشغل هذه الفئة مساحة قدرها (23327.0) كم² ، وبنسبة (22.88) % ، اذ تضم هذه المناطق قيعان الأودية والمنخفضات ذات الانحدار الخفيف جداً. وتعد افضل مناطق التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية، اذ تضمن أقصى زمن مكوث للمياه وأعلى كفاءة ترشيح، وهي مثالية لإنشاء أحواض الترشيح وسدود التغذية.

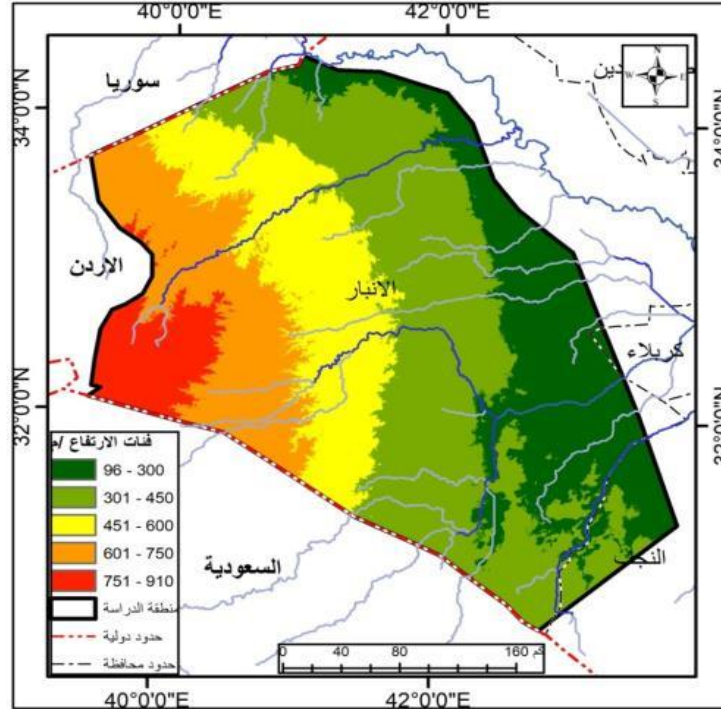
• **الفئة الثانية:** مناطق التجميع الفرعية (301 - 450) م ، وتشمل الفئة الأكبر مساحة، اذ تغطي (37190.9) كم² ، وبنسبة (36.48) % ، وتضم هذه الفئة المناطق المتاخمة للوديان والمنحدرات الخفيفة إلى المتوسطة. اذ تُصنف كمناطق ملائمة عالية ، وهي تساهم في توليد كميات كبيرة من الجريان السطحي إلى الفئة الأولى، وهي مناسبة لمنشآت الحصاد الأصغر أو المنشآت المساعدة.

• **الفئة الثالثة:** تشمل مناطق الجريان المتوسطة (450 - 600 م) ، تبلغ مساحتها (19580.1 كم²) ، بنسبة (19.20) % ، تتميز بانحدار متوسط، مما يسرّع من حركة الجريان السطحي ويقلل من فرصة الترشيح الطبيعي. لذلك، صنفت ضمن ملائمة متوسطة ، وتصلح بشكل أساسي لمنشآت توجيه المياه أو مكافحة تآكل التربة.

جدول (1) فئات الارتفاع مساحتها ونسبتها المنوية ومدى ملائمتها للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية

فئات الارتفاع (متر)	الخصائص الطبوغرافية	المساحة/كم ²	مناطق التجميع	الملائمة للتغذية الاصطناعية
96 - 300	قيعان الأودية والمنخفضات، مناطق منبسطة أو ذات انحدار خفيف جداً.	23327.0	مناطق التجميع الرئيسية	عالية جداً - مثالية لبناء أحواض الترشيح وسدود التغذية لقربها من نقطة تجميع الجريان.
301 - 450	المناطق المتاخمة للواديان، ومنحدرات خفيفة إلى متوسطة.	37190.9	مناطق التجميع الفرعية	عالية- مناسبة لمنشآت الحصاد الأقل حجماً أو سدود التغذية الصغيرة.
451 - 600	الأجزاء الوسطى من المنحدرات، ذات انحدار متوسط.	19580.1	مناطق الجريان المتوسطة	متوسطة- تُعد مناطق عبور للجريان، لكنها قد تكون مناسبة للمنشآت الموجهة لحماية التربة.
601 - 750	قمم التلال والهضاب المنخفضة، ذات انحدارات متوسطة إلى حادة.	15808.0	مناطق المنيع والجريان السريع	منخفضة - لا تُعد مناسبة للتغذية المباشرة؛ وظيفتها الأساسية هي توفير الجريان.
750-910	قمم الهضاب العالية، ذات انحدار حاد.	6045.7	مناطق الهضاب العليا	منخفضة جداً - تُستثنى عادةً من خيارات التغذية الاصطناعية المباشرة.
	المجموع	101951.7		

خريطة (2) فئات الارتفاع لمنطقة الدراسة



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (15*15)م لسنة 2024 ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

• **الفئة الرابعة:** مناطق المنبع والجريان السريع (601 – 750) م ، تبلغ مساحتها (15808.0) كم، وبنسبة (15.50) %، تتميز بانحدارات متوسطة إلى حادة ، وتُعد مناطق توليد الجريان. صنفت ضمن ملائمة منخفضة، لأنها لا تصلح هندسياً أو هيدرولوجياً لمنشآت التغذية المباشرة، وظيفتها تقتصر على إمداد المياه للمناطق الأدنى.

• **الفئة الخامسة:** مناطق الهضاب العليا (750 – 910) م ، اذ شملت ادنى مساحة، اذ بلغت حوالي (6045.7) كم² ، بنسبة (5.93) %، وتشمل المناطق قمم الهضاب ذات الانحدار الحاد. وصنفت هذه الفئة كأدنى درجة ملائمة ، وتُستثنى عملياً من التخطيط، اذ تُشكل تحدياً هندسياً كبيراً دون تحقيق كفاءة عالية في الترشيح (Zhu, Q. and Abdelkareem, M., 2021⁽¹⁾).

2- الانحدار:

يعد الانحدار أحد أهم المحددات الطبوغرافية المؤثرة في العمليات الهيدرولوجية السطحية، وهو معيار لا غنى عنه في نمذجة ملائمة المواقع للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية، اذ يرتبط الانحدار بعلاقة عكسية مع زمن مكوث المياه على السطح. فكلما زاد الانحدار، زادت سرعة الجريان السطحي (علي، اسراء عبد الواحد، 2025)⁽²⁾. وهذه الزيادة في السرعة تؤدي إلى تقليل الفترة الزمنية المتاحة أمام المياه للتسرب عمودياً عبر التربة والصخور والوصول إلى الخزان الجوفي، كما تؤدي الانحدارات الشديدة إلى زيادة معدلات تآكل التربة ، مما يتسبب في حمل كميات أكبر من الرواسب الناعمة ، وصول هذه الرواسب إلى منشآت التغذية الاصطناعية (كأحواض الترشيح) يؤدي إلى انسداد مسامات التربة في قاع الحوض ، مما يقلل بشكل كبير من كفاءة الترشيح بمرور الوقت. لذلك، تُفضل دائماً المناطق ذات الانحدار المنخفض لتجنب هذه المشكلات. و تم استخراج الانحدار بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي ، و تصنيف ذلك ، لتقسيم قيم الانحدار أربع فئات ، يلاحظ جدول (2)، وخريطة (3).

جدول (2) تصنيف فئات الانحدار ودرجات ملائمتها الهيدرولوجية للتغذية الاصطناعية

فئة الانحدار (بالدرجات)	الوصف الطبوغرافي	المساحة/كم ²	الملائمة للتغذية الاصطناعية
0° - 1.9°	مسطح / مستو (سهول ووديان)	90341.7	عالية جداً - يضمن أقصى زمن مكوث للمياه، وهو مثالي لبناء أحواض الترشيح.
2° - 7.9°	تموج خفيف (سفوح وأقدام جبال)	11291.5	عالية- يسمح بتجميع جيد للمياه مع جريان سطحي بطيء ومتحكم فيه.
8° - 15.9°	تموج (تلال منخفضة)	288.3	متوسطة- يبدأ الجريان السطحي في التسارع، مما يقلل من كفاءة الترشيح. قد يحتاج منشآت توجيه أو مصاطب.
16° - 29.9°	مقطع / متقطع (تلال مرتفعة)	30.2	منخفضة- الجريان سريع ويزداد خطر التآكل. يُفضل تجنبها لمنشآت التغذية المباشرة.
	المجموع	101951.7	

المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (15*15)م لسنة 2024 ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

• **الفئة الأولى (0 – 1.9):** اذ تشمل هذه الفئة قيعان الأودية، السهول، والمنخفضات ، اذ بلغت مساحتها حوالي (90341.7) كم² من مساحة المنطقة وتمثل هذه المناطق الوجهة النهائية للجريان السطحي. اذ الانحدار المنخفض يضمن أن تكون سرعة المياه شبه معدومة، وبالتالي يتحقق أقصى زمن مكوث للمياه فوق السطح. تُعد هذه الفئة هي الموقع المثالي والنموذجي لإنشاء البنى التحتية الكبيرة للتغذية، مثل أحواض الترشيح والبرك التجميعية، لأنها تحقق أعلى كفاءة ترشيح وأقل خطر للتآكل.

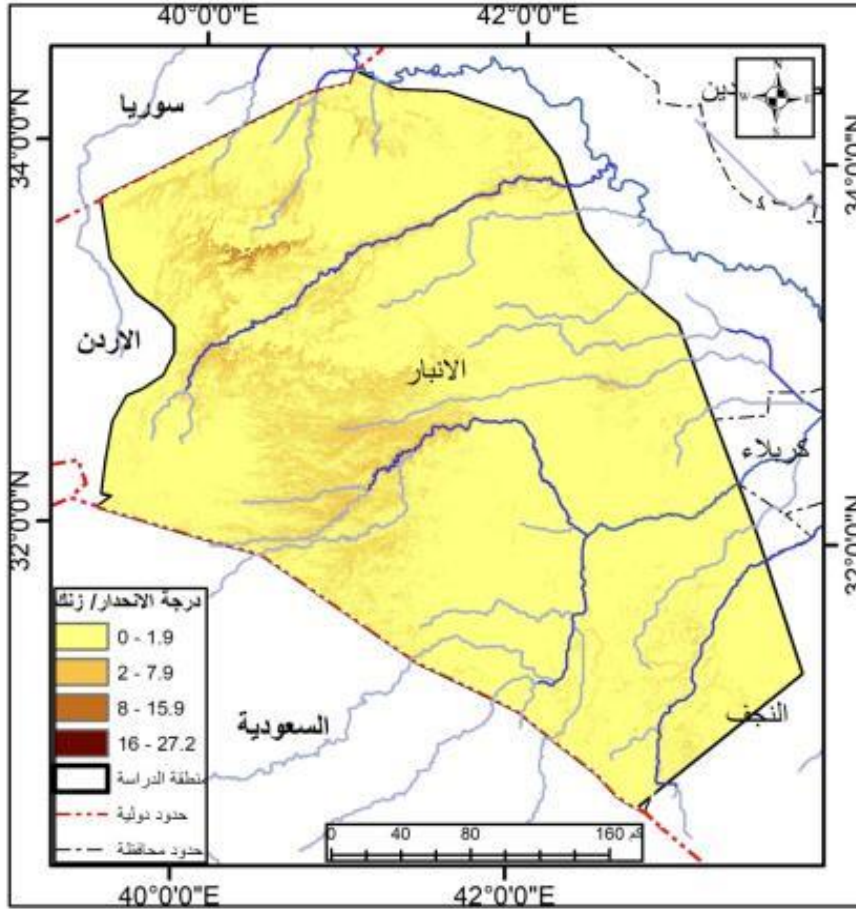
• **الفئة الثانية (2 – 7.9):** تشمل سفوح التلال الخفيفة والأجزاء الممتدة عند أقدام الجبال، وتشمل مساحة تقدر بنحو (11291.5) كم²، ويبدأ الجريان السطحي في التحرك بسرعة بطيئة ومتحكم فيها وبالتالي يوفر وقت كافيًا

للسماح بترشيح جيد للمياه ، كما أن هذه السفوح تساهم في تجميع المياه من المناطق الأعلى. هذه المناطق مناسبة جداً لمنشآت التغذية المساعدة، مثل سدود التحويل الصغيرة أو حواجز الإبطاء التي يمكن أن تبطن جريان المياه وتزيد من معدلات الترشيح المحلية.

• **الفئة الثالثة (8 – 15.9):** تبلغ مساحتها حوالي (288.3) كم² من مساحة المنطقة ، اذ تشمل الأجزاء الوسطى من المنحدرات والتلال المنخفضة ذات التموج الواضح، تزداد سرعة الجريان السطحي هنا بشكل ملحوظ، مما يقلل من فرصة الترشيح الطبيعي. كما تبدأ مخاطر تآكل التربة وتكوين الأخاديد في الظهور، هذه الفئة لا تُعتبر الخيار الأمثل للتغذية الاصطناعية المباشرة. إذا تم استخدامها، فإنها تتطلب تخطيطاً هندسياً دقيقاً ومكلفاً، مثل إنشاء المدرجات أو المصاطب ، وظيفتهما الأساسية غالباً هي توجيه المياه وحماية التربة بدلاً من تحقيق كفاءة عالية في الترشيح.

• **الفئة الرابعة (16 – 29.9):** تضم المناطق ذات انحدار عالٍ ومتقطع، لاسيما التلال المرتفعة، وتشغل مساحة حوالي (30.2) كم² من مساحة المنطقة، وتتميز بالجريان السطحي السريع جداً والاندفاعي، وبالتالي فإن المياه تتحرك بسرعة كبيرة، مما يقلل زمن المكوث إلى حد كبير ويجعل عملية الترشيح غير فعالة عملياً. كما أن هذه المناطق هي الأكثر عرضة للتآكل الشديد. تُصنف هذه الفئة كمناطق مولدة للجريان، أي أن وظيفتها الأساسية هي إمداد المياه للمناطق الأدنى (الفئة الأولى والثانية). وهذه المناطق لا تُفضل هندسياً أو هيدرولوجياً لإنشاء منشآت التغذية بسبب التكلفة الهائلة والصعوبة التشغيلية.

خريطة (3) فئات الانحدار وفق تصنيف زنك



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (15*15)م لسنة 2024 ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

3- اتجاه الانحدار:

يقصد باتجاه الانحدار الاتجاه الذي يواجهه المنحدر، ويُقاس بالدرجات من الشمال (0-360) باتجاه عقارب الساعة. على الرغم من أن هذا المعيار لا يؤثر مباشرة على الجريان السطحي مثل الارتفاع والانحدار، إلا أنه يؤثر بشكل حاسم على الخصائص المناخية والهيدرولوجية للمنحدر. وباعتماد على نموذج الرقمي للارتفاعات (DEM) تم استخراج طبقة اتجاه الانحدار باستخدام أداة (Aspect) داخل بيئة (Arc map) الذي يقوم بحساب اتجاه أقصى تغير في قيمة الارتفاع لكل خلية، يلاحظ جدول (3) و خريطة (4):

جدول (3) اتجاه الانحدار ومساحتها لمنطقة الدراسة

الفئات الاتجاهات (بالدرجات)	الاتجاهات	المساحة (كم ²)	الملائمة للتغذية الاصطناعية
0	مسطح (Flat)	700.4	(محايد)
(0 - 22.5) و (337.5 - 360)	شمال (North)	13765.1	عالية الملائمة- أقل تعرضاً للإشعاع الشمسي، تبخر أقل، رطوبة أعلى.
22.5 - 67.5	شمال شرق (NE)	15287.4	عالية الملائمة- تحافظ على رطوبة التربة لفترة أطول مما يعزز الترشيح.
67.5 - 112.5	شرق (East)	15485.6	متوسطة الملائمة- تعرض متوسط للشمس في فترات الصباح.
112.5 - 157.5	جنوب شرق (SE)	14156.3	متوسطة الملائمة- بداية زيادة حدة التبخر.
157.5 - 202.5	جنوب (South)	11621.2	أقل المناطق ملائمة بسبب الجفاف السريع للمياه قبل ترشيحها.
202.5 - 247.5	جنوب غرب (SW)	9713.9	تعرض شديد لأشعة الشمس، تبخر عالي جداً للمياه السطحية.
247.5 - 292.5	غرب (West)	9747.0	متوسطة الملائمة- تعرض متوسط للشمس في فترات المساء.
292.5 - 337.5	شمال غرب (NW)	11474.9	عالية الملائمة- ظلال تضاريسية تساعد في تقليل الفاقد المائي بالتبخر.
المجموع		101951.7	

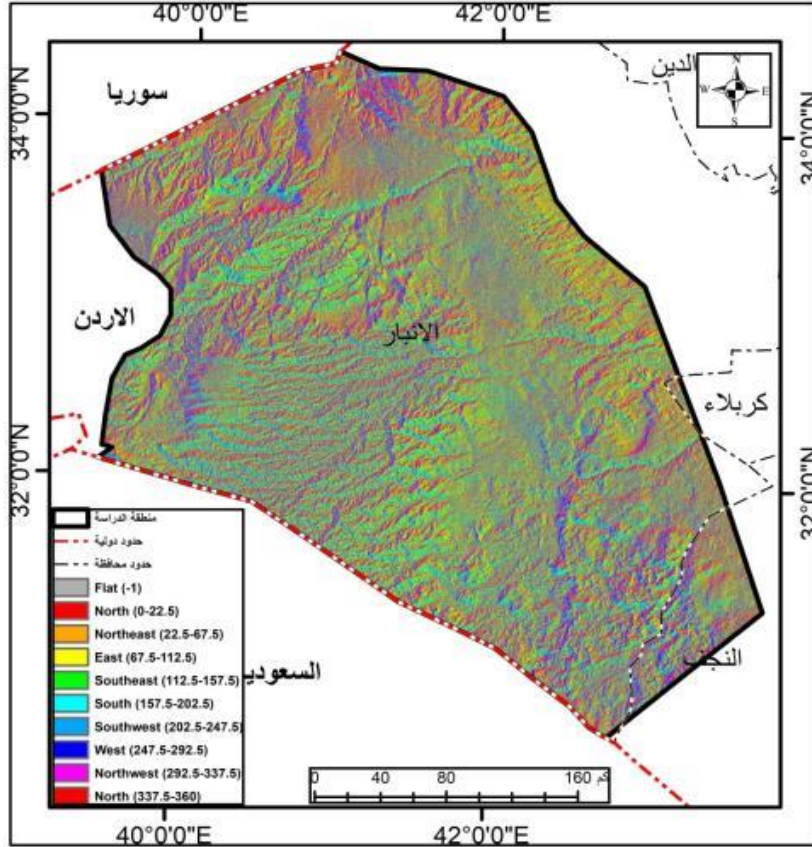
المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (15*15)م لسنة 2024 ومخرجات برنامج Arc map 10.8

• **المساحات المسطحة:** تشمل المناطق التي تم تصنيفها بأنها ذات انحدار شبه معدوم (0-1) وهي لا تؤثر على التعرض الشمسي أو الرياح.
 مناطق ذات ملائمة عالية للترشيح: تشمل اتجاهات الشمال، والشمال الشرقي، والشمال الغربي، إذ بلغت مساحتها (13765.1، 15287.4، 11474.9) وعلى التوالي، إذ تتعرض المنحدرات المواجهة للشمال والشمال الشرقي والشمال الغربي، أقل كمية من الإشعاع الشمسي المباشر مقارنة بالاتجاهات الجنوبية، هذا يؤدي إلى انخفاض معدل التبخر، وبالتالي انخفاض درجة حرارة التربة والرطوبة الأعلى. مما يسهم باحتفاظ أطول بالمياه السطحية، كل هذه العوامل تزيد من فرصة الترشيح.

• **المناطق ذات الملائمة المتوسطة:** وتشمل اتجاهات الشرق، الجنوب الشرقي، الغرب، إذ تبلغ مساحتها (15485.6، 14156.3، 9747.0) كم²، وعلى التوالي، إذ تتعرض هذه الاتجاهات إلى قدرًا متوسطًا من الإشعاع الشمسي.

• **مناطق ذات ملائمة ضعيفة للترشيح:** وتشمل اتجاهين الجنوب، والجنوب الغربي، إذ تبلغ مساحتها (11621.2، 9713.9) كم² وعلى التوالي، إذ تتعرض المنحدرات المواجهة للجنوب والجنوب الغربي لأقصى قدر من الإشعاع الشمسي المباشر في نصف الكرة الشمالي، لاسيما في منطقة الوديان. هذا يؤدي إلى ارتفاع معدلات التبخر والنتج وجفاف أسرع للتربة، وبالتالي تقليل الفترة الزمنية المتاحة للترشيح.

خريطة (4) اتجاه الانحدار لمنطقة الدراسة



المصدر: بالاعتماد على نموذج الارتفاع الرقمي DEM ، بدقة (15*15)م لسنة 2024 ومخرجات برنامج Arc map 10.8.

ثانياً: نمذجة الخصائص الجيولوجية ودورها في التغذية الاصطناعية:

- 1- المنكشفات الجيولوجية: يعد المعيار الجيولوجي الحجر الأساس في تحديد ملائمة المواقع للتغذية الاصطناعية، إذ أن السعة الاستيعابية للخرانات الجوفية تعتمد كلياً على نوع الصخور، ومساميتها، ونفاذيتها. تتنوع التكوينات المنكشفة في منطقة الدراسة من العصر البرمي (الأقدم) وصولاً إلى الرواسب الحديثة، يلاحظ جدول(4) وخريطة (5)، إذ تم تصنيف التكوينات الجيولوجية هيدروجيولوجياً بناءً على قدرتها على إمرار وتخزين المياه، وقد تم تقسيمها إلى أربع مجموعات رئيسية:
 - مجموعة ذات النفاذية العالية: إذ تتمثل برواسب العصر الرباعي والبلايوسين لاسيما منكشفات(الهبارية، حوران، ملء المنخفضات، وتكوين الزهرة). إذ تبلغ المساحة الإجمالية حوالي (25000)كم²، تتكون هذه الرواسب من حصى ورمال غير متصلبة، وبالتالي، تسمح بترشيح مباشر وسريع جداً (Sissakian, V. K., & Fouad, S. F. (2012)⁽³⁾)، والتي تشكل الهدف الاستراتيجي الأول لإنشاء منشآت التغذية.
 - مجموعة النفاذية الثانوية: وتتمثل بالخرانات الكربوناتيّة - الكريتاسي والإيوسين، إذ تضم تكوينات الطيارات، أم ارضمة، الفرات، والدمام، إذ تشكل الكتلة الأكبر في منطقة الدراسة بمساحة تتجاوز (35000) كم²، تعتمد هذه الصخور (حجر جيرى ودولوميت) على النفاذية الثانوية الناتجة عن التشققات والفجوات الكارستية(Barwary, A. M., & Slewa, N. A. (1993)⁽⁴⁾)، تم منحها ملائمة عالية لقدرتها العالية على تخزين ونقل كميات ضخمة من المياه إلى أعماق الخزان الجوفي.

• **مجموعة النفاذية المتوسطة:** وتتمثل بالصخور الرملية والمتداخلة، والتي تتمثل بتكوينات، الرطبة، القعرة، الرطكة، وعكاشات، وتتكون غالباً من حجر رملي أو تداخلات كلسية و رملية. وتمتاز بنفاذيتها الجيدة لكنها أقل سرعة من الرواسب الحديثة أو الصخور المتشققة بشدة (Yacoub, S. Y. (1993))⁽⁵⁾.

• **مجموعة الطبقات المقيدة:** وتتمثل بصخور المارل والأطيان والمتمثلة بتكوينات، النفايل، الديكمة، والجل. إذ تشغل مساحة كبيرة نسبياً نظراً لغنى هذه التكوينات بالمارل والأطيان أو المواد التبخرية، فإنها تعمل كطبقات شبه صماء تعيق الترشيح العمودي (Hassan, K. M., Sissakian, V. K., & Al Ameer, E. A. (1994))⁽⁶⁾.

جدول (4) المنكشفات الجيولوجية لمنطقة الدراسة

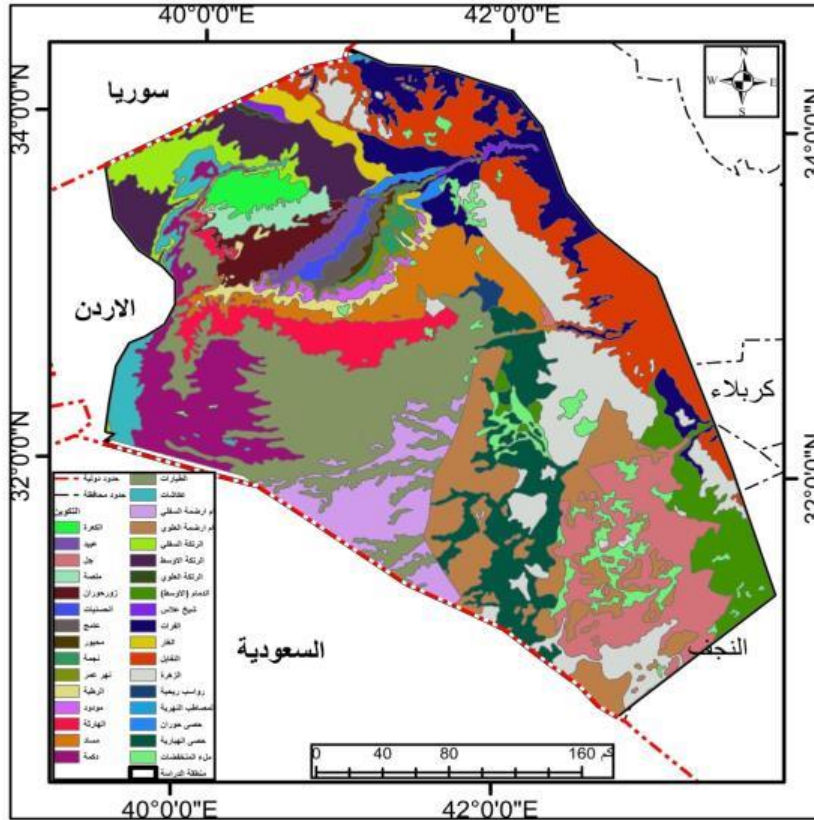
ت	العصر الجيولوجي	التكوين الجيولوجي	المساحة (كم ²)	الملائمة للتغذية الاصطناعية
1	البرمي الأسفل	تكوين الكعرة (Ga'ara)	1165.00	متوسطة - صخور رملية وصلصالية، تمتلك نفاذية أولية مقبولة، وتحسن كفاءتها بوجود الصدوع عالية
2	الترياسي الأسفل	تكوين عبيد (Ubaid)	776.3	متوسطة - صخور كلسية ودولوميتية متماسكة؛ نفاذيتها متوسطة وتحد منها بعض التداخلات الطينية.
3	الترياسي الأوسط	تكوين الجل (Jill)	6695.70	متوسطة - منخفضة-صخور ذات نسيج كثيف ومسامية منخفضة، مما يقلل من معدلات الترشيح العمودي.
4	الترياسي الأعلى	تكوين ملصة (Mulussa)	1029.80	متوسطة- تداخلات من الحجر الجيري والصلصال؛ تعمل الطبقات الصلصالية كعائق جزئي لمرور المياه.
5	الترياسي الأعلى	تكوين زور حوران (Zor Hauran)	1710.70	عالية جداً-صخور كلسية مسامية جداً تحتوي على تجاويف كارستية تسمح بمرور كميات ضخمة من المياه.
6	الجوراسي الأسفل	تكوين الحسنيات (Hussainiyat)	476.6	متوسطة - عالية - صخور رملية وتكوينات حديدية؛ تمتلك قدرة جيدة على تمرير المياه عبر الفراغات البينية.
7	الجوراسي الأسفل	تكوين عامج (Amij)	594.9	متوسطة- صخور جيرية رملية؛ نفاذيتها مقيدة بطبيعة المادة الرابطة بين الحبيبات.
8	الجوراسي الأوسط	تكوين محبور (Muhaiwir)	270.9	متوسطة- تتابعات من الحجر الجيري والمارل؛ المارل يقلل من الكفاءة الهيدروليكية للتكوين.
9	الجوراسي الأعلى	تكوين نجمة (Najmah)	514.5	متوسطة-صخور جيرية صلبة؛ تعتمد في نفاذيتها بشكل أساسي على وجود الشقوق الثانوية فقط.
10	الكريتاسي الأسفل	تكوين نهر عمر (Nahr Umr)	676	متوسطة - عالية - صخور رملية ناعمة إلى متوسطة؛ تمتاز بمسامية أولية جيدة تدعم حركة المياه الجوفية.
11	الكريتاسي الأسفل	تكوين الرطبة (Rutbah)	1065.80	عالية-صخور رملية بيضاء نفية؛ تمتاز بنفاذية عالية جداً وتعتبر وسطاً ممتازاً للتخزين والترشيح.
12	الكريتاسي الأوسط	تكوين مودود (Mauddud)	677.2	متوسطة - عالية- صخور جيرية تحتوي على أحافير؛ نفاذيتها جيدة وتزداد في مناطق التكسر التكتوني.
13	الكريتاسي الأعلى	تكوين الهارثة (Hartha)	3259.80	متوسطة - عالية-صخور جيرية دولوميتية؛ تعتبر خزناً ثانوياً جيداً لقدرتها على تمرير مياه التغذية.
14	الكريتاسي الأعلى	تكوين مساد (Msad)	4015.80	متوسطة - منخفضة- صخور جيرية كثيفة؛ مساميتها منخفضة مما يجعل استجابتها للتغذية الاصطناعية محدودة.
15	الكريتاسي الأعلى	تكوين دكمة (Digma)	5373.30	منخفضة- صخور فسفاوية ومارلية؛ تعمل الطبقات المارلية (الطينية) كحاجز يمنع تسرب المياه للأسفل.
16	الكريتاسي الأعلى	تكوين الطيارات (Tayarat)	13135.50	عالية- خزان جوفي كربوناتي رئيسي؛ يتميز بنفاذية شقوقية وكارستية واسعة النطاق.
17	الباليوسين	تكوين عكاشات (Akashat)	1802.20	متوسطة- صخور فسفاوية وكلسية؛ نفاذيتها متوسطة وتتأثر بوجود المواد الناعمة في نسيج الصخر.
18	الباليوسين	أم أرضة - السفلي	4513.10	عالية- من أهم الخزانات في المنطقة؛ صخور كلسية هشة



عالية التكسر تضمن وصول مياه التغذية للأعماق.		(U.E.R. Early)		
عالية- امتداد هيدروليكي للجزء السفلي؛ يتميز بوجود فجوات ذوبان تزيد من سعة الاستقبال المائي.	8502.10	أم أرضمة - العلوي (U.E.R. Late)	الباليوسين	19
متوسطة- صخور كلسية طباشيرية؛ مساميتها جيدة لكن نفاذيتها محدودة بسبب صغر حجم المسام.	2154.90	تكوين الرتكة - السفلي (Ratga) (Early)	الإيوسين	20
متوسطة- مشابه للجزء السفلي؛ يعمل كموصل مائي متوسط الكفاءة في نظام التغذية.	3892.60	تكوين الرتكة - الأوسط (Ratga) (Middle)	الإيوسين	21
متوسطة- صخور كلسية صوانية؛ الصلابة العالية تحد من النفاذية ما لم تكن الصخور مكسرة تكتونياً.	89.2	تكوين الرتكة - العلوي (Ratga) (Late)	الإيوسين	22
عالية- خزان جوفي كلسي متميز؛ يحتوي على أنظمة شقوق متطورة تدعم التغذية الاصطناعية بكفاءة.	3681.50	تكوين الدمام - الأوسط (Dammam) (Middle)	الإيوسين	23
متوسطة- صخور جيرية مرجانية؛ نفاذيتها متباينة وتعتبر متوسطة بشكل عام في منطقة الدراسة.	320.7	تكوين شيخ علاس	الأوليغوسين	24
عالية- صخور جيرية فجوية وكارستية؛ تمتاز بقدرة عالية على امتصاص وتمير المياه السطحية.	6043.20	تكوين الفرات (Euphrates)	الميوسين الأسفل	25
عالية- صخور رملية وحصوية؛ تمتاز بنفاذية أولية ممتازة تجعلها هدفاً سهلاً لعمليات الحقن المائي.	1201.40	تكوين الغار (Ghar)	الميوسين الأسفل	26
منخفضة- سيادة الصخور الطينية والمارلية؛ تسبب ركود المياه على السطح وتمنع التغلغل الباطني.	8844.70	تكوين النفايل (Nfayil)	الميوسين الأوسط	27
عالية جداً- صخور كلسية هشة جداً ومتكرنة؛ تمتاز بأعلى معدلات النفاذية الثانوية في المنطقة.	9602.00	تكوين الزهرة (Zahra)	الباليوسين	28
عالية- رمال مفككة؛ تسمح بترشيح مياه الأمطار فور سقوطها بفعل مساميتها البينية العالية.	284.6	رواسب ريحية (Aeolian)	العصر الرباعي	29
عالية جداً- خليط من الحصى والرمل؛ تمثل مرشحات طبيعية مثالية لنقل المياه إلى التكوينات الصخرية الأسفل.	47.7	المصاطب النهرية (River Terraces)	العصر الرباعي	30
عالية جداً- رواسب وديان خشنة؛ توفر مسارات جريان سريعة جداً للمياه نحو الخزانات الجوفية.	393.3	حصى حوران (Horan Gravels)	العصر الرباعي	31
عالية جداً- تمتاز بنفاذية هيدروليكية فائقة؛ وتعتبر من أفضل المواقع السطحية لبدء عملية التغذية.	5971.00	حصى الهبارية (Habbariyah) (Gravels)	العصر الرباعي	32
عالية جداً- رواسب غرينية وحصوية في قيعان المنخفضات؛ تعمل كأقماع ترشيح طبيعية تجمع وتصرف المياه.	3169.90	ملء المنخفضات (Depression) (Fill)	العصر الرباعي	33
	101951.70			المجموع

المصدر: Sissakian, V. K., & Fouad, S. F. (2012). Geological Map of Iraq, scale 1: 1000 000. Iraq Geological Survey Publications, Baghdad.

خريطة (5) التوزيع المكاني للمنكشفات الجيولوجية



المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8 و Sissakian, V. K., & Foud, S. F. (2012). Geological Map of Iraq, scale 1: 1000 000. Iraq Geological Survey Publications, Baghdad.

2- مسافة البُعد عن الصدوع والشقوق والفواصل: تعد تكتونية العراق نتاجاً للتفاعل الحركي بين الصفيحة العربية والصفحة الأوراسية (عبد الحسين، بسمة علي، (2025))⁽⁷⁾. اذ يقع العراق في الجزء الشمالي والشمالي الشرقي من الصفيحة العربية، ويتميز بتقسيم تكتوني يعكس تطور أحواض الترسيب والحركات الجبلية عبر العصور الجيولوجية المختلفة، بناءً على الدراسات التكتونية الحديثة (بوداي وجاسم والزبيدي، 1987)، يتضح ان منطقة الدراسة تقع ضمن الرصيف المستقر ((Buday, T., & Jassim, S. Z. (1987))⁽⁸⁾، يلاحظ خريطة(6) :

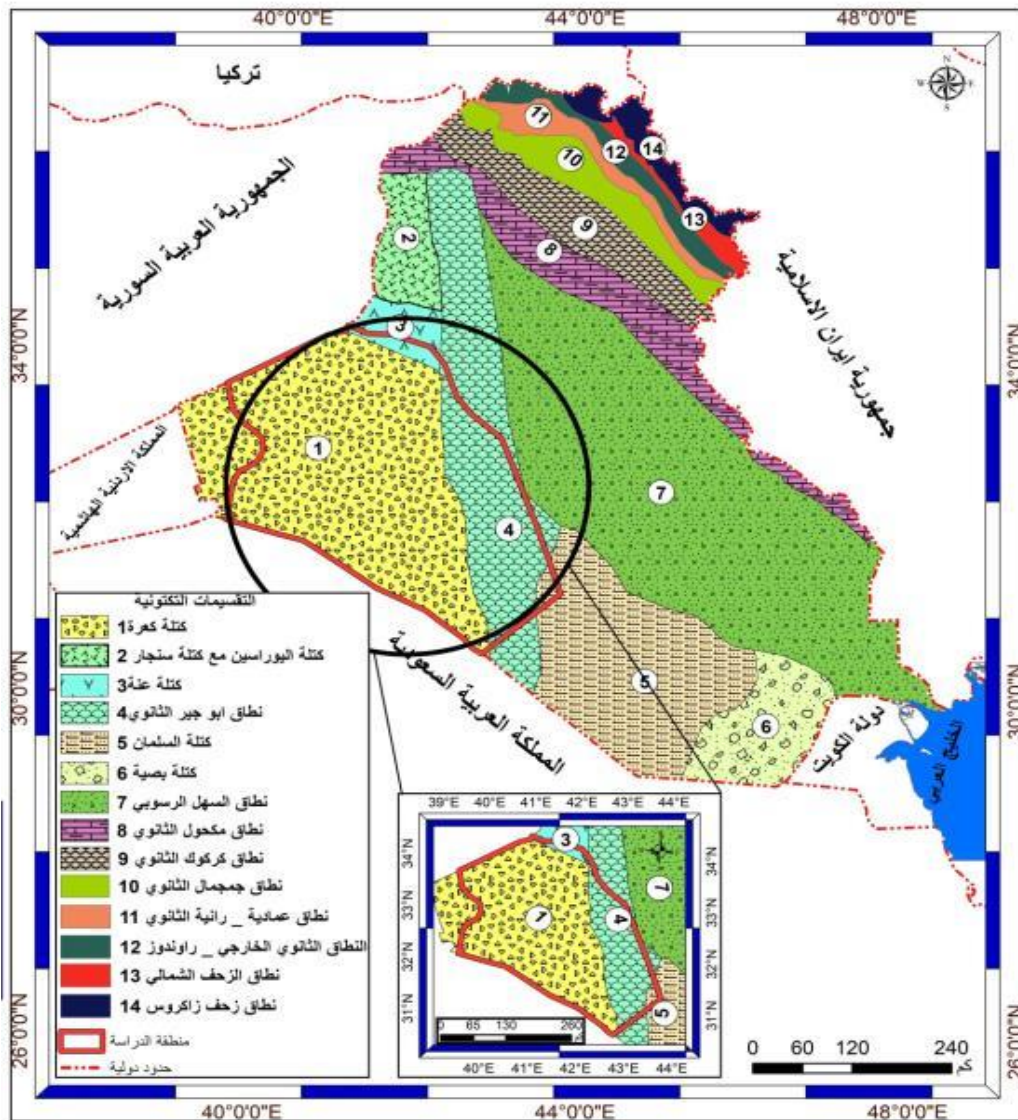
• **المرتفعات والمنخفضات التركيبية:** وتتمثل بمرتفع الرطبة هو العنصر التركيبي الأبرز الذي أدى إلى انكشاف التكوينات القديمة (مثل الكعرة والملصّة). ومنخفض الكعرة ناتج عن حركة تكتونية قديمة رفعت صخور القاعدة ثم تعرضت للتعرية، مما كشف عن صخور العصر البرمي.

• **الصدوع والشقوق:** توجد في المنطقة صدوع عميقة تمتد باتجاه (شرق-غرب) أو (شمال شرق- جنوب غرب) مثل صدع عنة وصدع هيت- أبو جبر. هذه الصدوع تعمل كفتحات لنقل المياه بين الخزانات الجوفية أو كحواجز هيدرولوجية تعيق الحركة الجانبية. على الرغم من استقرار الرصيف، إلا أن الإجهادات التكتونية الناتجة عن حركة الصفيحة العربية نحو الشمال والشمال الشرقي أدت إلى نشوء شبكة من الشقوق في الصخور الكلسية (مثل تكوينات الطيارات وأم ارضمة). هذه الشقوق هي المسؤولة عن النفاذية الثانوية التي تسمح بتسرب مياه التغذية السطحية إلى باطن الأرض.

ويتبين من جدول(5) وشكل(1)، استجابة تكتونية مكثفة للطبقات الصخرية الهشة المتمثلة بتكوينات الدمام وأم الرضمة والطيارات، إذ أدت الإجهادات الإقليمية الناتجة عن حركة الصفيحة العربية إلى تكسير هذه التكوينات

وخلق شبكة من الصدوع والشقوق. اذ يظهر سيطرة واضحة للاتجاه شمال-شمال شرق ، يليه الاتجاهات الشمالية الشرقية إلى الشرقية، في حين يُلاحظ ضعف نسبي للاتجاه شرق-غرب. ويعكس هذا التوزيع استجابة بنيوية مباشرة للإجهادات التكتونية الإقليمية المرتبطة بحركة الصفحة العربية، كما يشير إلى دور مهم للتراكيب الخطية في تعزيز النفاذية الثانوية للتكوينات الكلسية، مما يجعلها عاملاً حاسماً في رفع كفاءة مواقع التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية.

خريطة (6) التقسيمات التكتونية ضمن منطقة الدراسة



Buday. The Regional Geology of Iraq. 1987.

ويتضح من خريطة (7) ان الكثافة العالية للتراكيب الخطية تمثل استجابة تكتونية مكثفة للطبقات الصخرية الهشة التابعة لتكوينات (الدمام ، وأم الرضمة، والطيارات)، اذ أدت الإجهادات الإقليمية الناتجة عن حركة الصفحة العربية إلى تكسير هذه التكوينات وخلق شبكة من الصدوع والشقوق. ويرتبط هذا التوزيع المكاني للكثافة ارتباطاً وثيقاً بالنسيج التكتوني للمنطقة، اذ تتقاطع الاتجاهات السائدة (شمال غرب - جنوب شرق) مع الاتجاهات المستعرضة (شمال شرق - جنوب غرب)، مما ينتج عنه بؤر تركيز إنشائي تظهر بوضوح في الكثافة

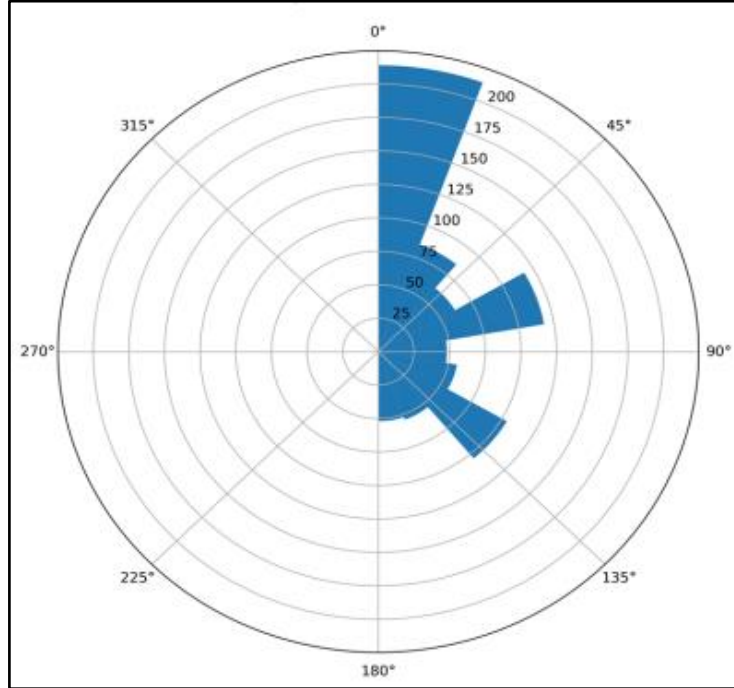
العالية. هذا الترابط البنيوي يحول التكوينات الجيولوجية من طبقات رسوبية مصمتة إلى منظومات هيدروليكية ذات نفاذية ثانوية عالية، ما يجعل هذه المسارات هي المتحكم الرئيسي في حركة المياه الجوفية.

جدول (5) التراكيب الخطية نطاق الزاوية واتجاهاتها واعدادها

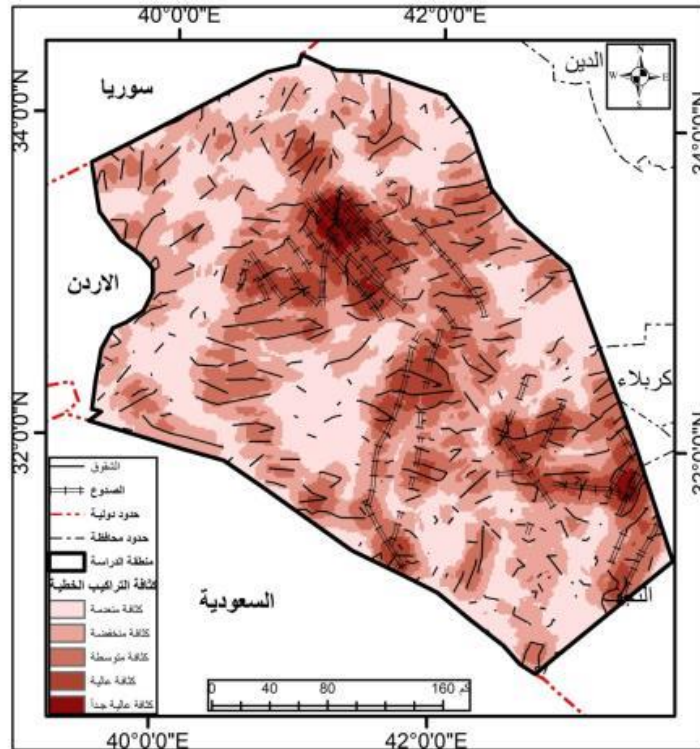
نطاق الزاوية (بالدرجات)	الاتجاه الجغرافي	اعداد التراكيب	درجة الملائمة
0° - 20°	شمال - شمال شرق	214	عالية جداً- الاتجاه السائد والأكثر كثافة، إذ يمثل ممرات النفاذية الرئيسة
20° - 40°	شمال شرق	85	عالية- نطاق تكتوني نشط يوفر نفاذية ثانوية جيدة تدعم الربط مع الخزانات العميقة.
40° - 60°	شمال شرق - شرق	62	متوسطة او عالية- كثافة تراكيب متوسطة تساهم في تعزيز المسامية الشقوقية للصخور الكربوناتيية.
60° - 80°	شرق - شمال شرق	118	عالية- كثافة مرتفعة تتقاطع مع شبكة الأودية، مما يسهل اعتراض الرشح المائي السطحي.
80° - 100°	شرق - غرب	48	منخفضة- الاتجاه الأقل كثافة، يمثل نطاقات ذات تماسك صخري أعلى ونفاذية محدودة.
100° - 120°	شرق - جنوب شرق	56	متوسطة- ممرات ثانوية تعمل كقنوات ربط عرضية بين الصدوع الرئيسة في المنطقة.
120° - 140°	جنوب شرق	104	عالية- يتوافق مع الميل الإقليمي للهبسة، مما يعزز حركة المياه الجوفية باتجاه الخزانات.
140° - 160°	جنوب - جنوب شرق	54	منخفضة او متوسطة- شقوق ذات امتدادات محدودة وكثافة منخفضة، مما يقلل من كفاءتها في عمليات التغذية.
160° - 180°	جنوب - جنوب غرب	52	منخفضة او متوسطة- نطاق ذو فعالية هيدروليكية محدودة، يوفر مسارات ترشيح ثانوية غير متصلة بشكل واسع.

المصدر: بالاعتماد على برنامج Arc map 10.8 ومخرجات برنامج Rock works16 .

شكل (1) التراكيب الخطية نطاق الزاوية واتجاهاتها واعدادها



المصدر: بالاعتماد على برنامج Arc map 10.8 ومخرجات برنامج Rock works16 .
خريطة (7) كثافة التراكيب الخطية لمنطقة الدراسة



المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8.



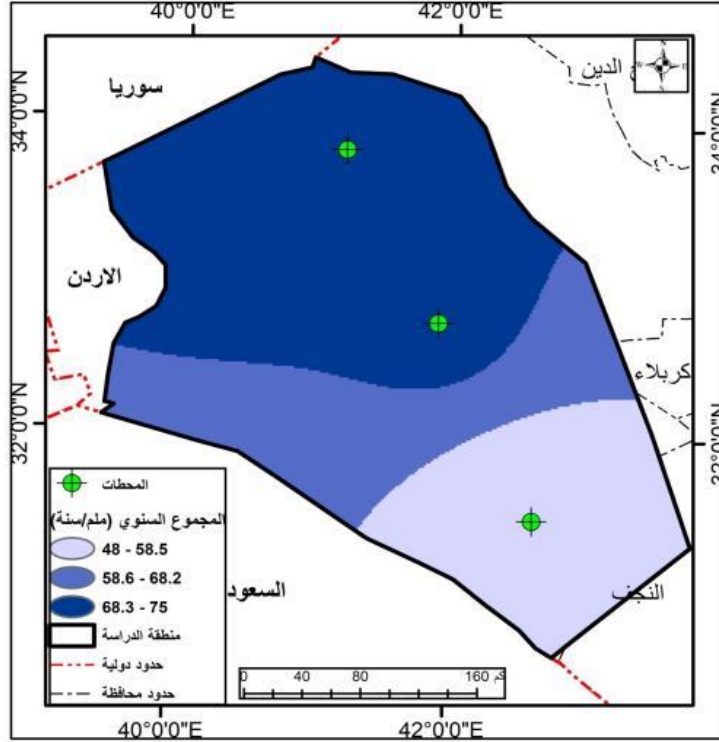
ثالثاً- الهطول:

يُعد الهطول المطري المصدر الرئيس لتجديد الموارد المائية، ولا سيما المياه الجوفية، في البيئات الجافة وشبه الجافة، إذ تمثل كميات الأمطار وتوزيعها الزماني والمكاني العامل الأساسي المتحكم بعمليات التغذية الطبيعية للخزانات الجوفية. ولا تقتصر أهمية الهطول المطري على إجمالي كميته السنوية فحسب، بل تمتد لتشمل شدة الهطول، مدته، وتكراره، إضافة إلى تزامنه مع الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية والجيومورفولوجية للمنطقة، والتي تحدد مع مقدار ما يمكن أن يتسرب من المياه إلى باطن الأرض مقارنة بما يفقد بالجريان السطحي أو التبخر (علي، اسراء عبد الواحد، (2025))⁽⁹⁾. ومن ملاحظة خريطة (8) وجدول (6)، الذي يوضح التباين الزمني والمكاني للمجموع السنوي للأمطار (ملم/سنة) في ثلاثة نطاقات مكانية و للمدة الممتدة (2001 - 2024)، إذ تُظهر البيانات وجود تذبذب ملحوظ في كميات الأمطار بين السنوات المختلفة، وهو ما يعكس الطبيعة المناخية شبه الجافة إلى الجافة السائدة في المنطقة، إضافة إلى تأثير التغيرات المناخية الإقليمية، إذ سجل النطاق الجنوبي أدنى القيم المطرية مقارنة ببقية النطاقات، إذ بلغ المعدل السنوي نحو 48.1 ملم/سنة، مع سنوات جفاف واضحة لاسيما 2005، 2009، 2017، في حين سجل 2023 أعلى قيمة بلغت 171.6 ملم/سنة. ويشير هذا التذبذب الحاد إلى محدودية التغذية الطبيعية للمياه الجوفية في هذا النطاق، مما يجعل مشاريع التغذية الاصطناعية ضرورة ملحة لتعويض العجز المائي، لاسيما عبر استثمار سنوات الأمطار الغزيرة وتوجيه الجريان السطحي نحو أحواض وخزانات ترشيح.

أما النطاق الأوسط، فقد أظهر قيمًا مطرية متوسطة نسبيًا، إذ بلغ المعدل السنوي 71.2 ملم/سنة، مع تزايد ملحوظ في السنوات الأخيرة، ولا سيما خلال الفترة (2018-2020) وسنة (2023). وتوفر هذه الخصائص المطرية فرصة مناسبة لتطبيق تقنيات التغذية الاصطناعية، مثل السدود الترايبية الصغيرة، وحصاد مياه الأمطار، وتعزيز تسرب المياه في مناطق الأودية والسهول الفيضية، لاسيما عند توافر ظروف جيولوجية وهيدرولوجية ملائمة.

في المقابل، سجل نطاق الشمال أعلى القيم المطرية، بمعدل سنوي بلغ 75.5 ملم/سنة، وبلغت الذروة خلال عامي (2019، 2020)، وتشير هذه القيم إلى إمكانات أعلى للتغذية الطبيعية للمياه الجوفية مقارنة بالنطاقين الجنوبي والأوسط، إلا أن شدة الأمطار وتكرارها قد تؤدي إلى زيادة الجريان السطحي السريع بدلاً من التسرب العمودي، مما يستدعي اعتماد أساليب التغذية الاصطناعية للتحكم بالجريان وتعزيز تغذية الخزانات الجوفية بصورة مستدامة.

خريطة (8) مجموع الامطار السنوي والمعدل للمدة (2001 – 2024) لمنطقة الدراسة



المصدر: بالاعتماد على مخرجات برنامج Arc map 10.8

جدول (6) مجموع الامطار السنوي للمدة (2001 – 2024) لمنطقة الدراسة

السنوات	نطاق الجنوب	النطاق الوسط	نطاق الشمال
	المجموع السنوي (ملم/سنة)	المجموع السنوي (ملم/سنة)	المجموع السنوي (ملم/سنة)
2001	43.8	80.3	62.1
2002	29.2	62.1	73.0
2003	21.9	62.1	73.0
2004	40.3	51.2	58.6
2005	7.3	43.8	40.2
2006	25.6	62.1	80.3
2007	25.6	47.5	51.1
2008	18.3	29.3	22.0
2009	7.3	40.2	47.5
2010	62.1	91.3	94.9
2011	43.8	65.7	80.3
2012	22.0	40.3	29.3
2013	47.5	76.7	91.3
2014	47.5	54.8	51.1
2015	36.5	84.0	94.9

40.3	43.9	32.9	2016
29.2	32.9	18.3	2017
138.7	138.7	69.4	2018
160.6	138.7	73.0	2019
139.1	117.1	109.8	2020
51.1	47.5	36.5	2021
69.4	73.0	73.0	2022
127.8	127.8	171.6	2023
106.1	98.8	91.5	2024
75.5	71.2	48.1	المعدل السنوي

المصدر: NASA/POWER, 2024. Prediction of Worldwide Energy Resources, MERRA-2 Precipitation Corrected (PRECTOTCORR). Available at: <https://power.larc.nasa.gov/> (Accessed: January 2026).

رابعاً: نمذجة خصائص التربة:

بعد تصنيف التربة من أهم العوامل الهيدرولوجية المؤثرة في عملية التغذية الاصطناعية، إذ تتحكم خصائص التربة الفيزيائية، ولاسيما النفاذية، والمسامية، ونسبة المحتوى الطيني (مراد، اسراء عبد الواحد علي، وآخرون، (2023)⁽¹⁰⁾، في معدلات الترشيح العمودي للمياه. فالترب ذات القوام الخشن، مثل الترب الرملية والحصى، تتميز بنفاذية عالية تسمح بمرور المياه بسهولة نحو الطبقات التحت سطحية، مما يجعلها أكثر ملائمة لمشاريع التغذية الاصطناعية (الجانقلي، سامي محمود الياس، وإسماعيل، عمر عبد الله. (2025)⁽¹¹⁾). في المقابل، تُعد الترب الطينية أو الغرينية ذات النفاذية المنخفضة أقل ملائمة، بسبب قدرتها العالية على الاحتفاظ بالمياه وزيادة الجريان السطحي، فضلاً عن قابليتها على انسداد المسامات في منشآت التغذية بمرور الزمن. وعليه، تم إعطاء أوزان ملائمة أعلى للترب عالية النفاذية ضمن نموذج التحليل المكاني.

ويتضح من جدول (7) وخريطة (9)، ان نتائج تصنيف التربة وفق نظام منظمة الأغذية والزراعة (FAO) إلى هيمنة واضحة للترب الصحراوية الغنية بكاربونات الكالسيوم (Yk) والترب الصحراوية ذات الأفق الطيني المتراكم (YI)، اذ تشكلان معاً أكثر من (98%) من المساحة الكلية للمنطقة، وتتميز الترب الصحراوية بنفاذيتها العالية التي تسمح بترشيح كميات كبيرة من المياه السطحية نحو الخزان الجوفي. أما الترب الصخرية الضحلة (I) والترب الجبسية (Je)، فرغم محدودية امتدادها المكاني، إلا أنها تُعد أقل ملائمة للتغذية الاصطناعية بسبب خصائصها الفيزيائية التي تحد من النفاذية أو تفرض مخاطر هيدرولوجية وهندسية محتملة.

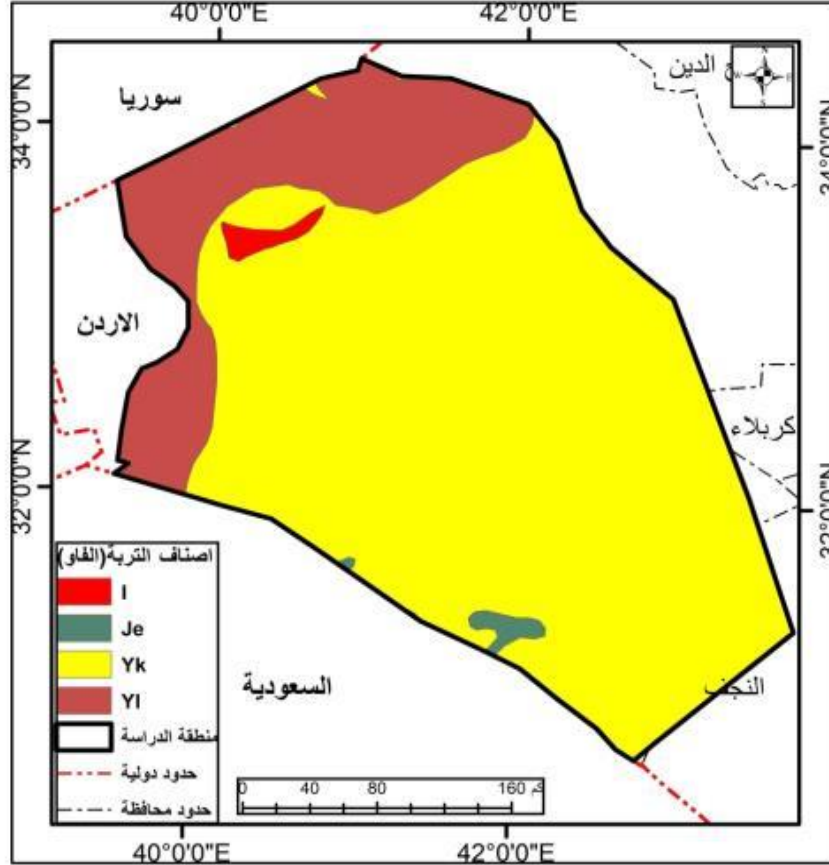
جدول (7) اصناف الترب في منطقة الدراسة

الرمز	الوصف	المساحة (كم ²)	الملائمة للتغذية الاصطناعية
I	تربة صخرية ضحلة جداً	746.4	منخفضة جداً - تربة تفتقر للعمق والمسامية اللازمة لتصفية وترشيح المياه.
Je	تربة جبسية	683.6	منخفضة او متوسطة - وجود الجبس قد يؤدي إلى مشاكل كيميائية في جودة المياه، كما أن النفاذية تكون مقيدة بالتركيب البلوري للجبس.
Yk	ترب صحراوية تحتوي على كربونات الكالسيوم	81414.90	عالية جداً - التربة المثالية للتغذية، اذ تسمح كربونات الكالسيوم بنفاذية عالية وتمنع ركود المياه، مما يسهل وصولها للطبقات الصخرية.
YI	ترب صحراوية تحتوي على أفق طيني متراكم	19106.80	متوسطة او عالية - نفاذية جيدة، لكن وجود الأفق الطيني قد يبطئ من سرعة الرشح العمودي
المجموع	—		

المصدر: 1- FAO-Unesco, Soil map of the world: 1: 5 000 000.1977.

مخرجات برنامج Arc map 10.8

خريطة (9) اصناف التربة ضمن منطقة الدراسة



المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.

خامساً: نمذجة شبكة الأودية والتصريف:

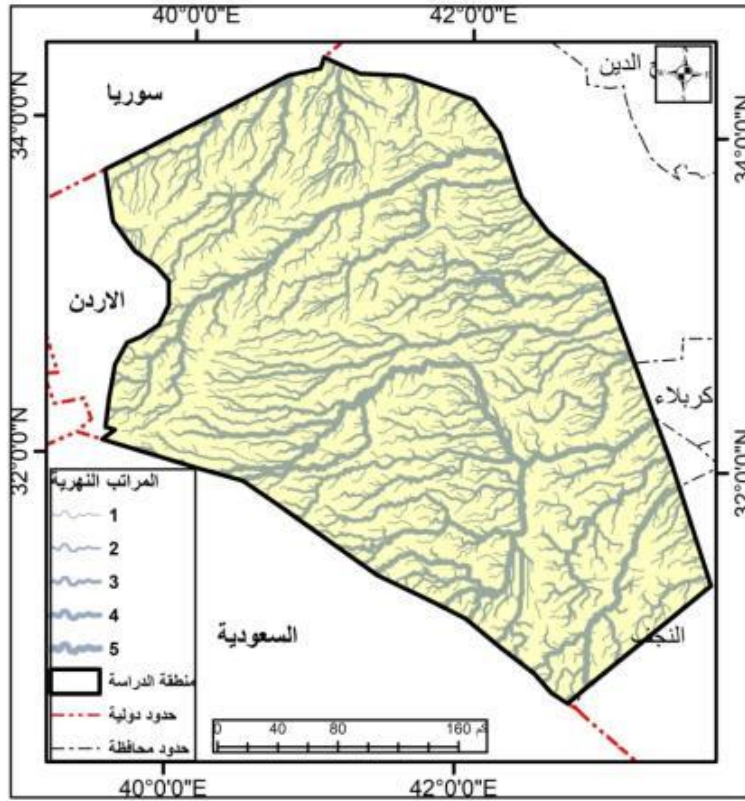
تم تحليل الخصائص المورفومترية لشبكة الأودية في منطقة الدراسة بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي (DEM)، إذ شمل التحليل استخراج عدد المجاري المائية وأطوالها وكثافتها المكانية. ويُعد هذا التحليل من المؤشرات الأساسية لتقدير كفاءة النظام الهيدرولوجي السطحي، إذ تعكس كثافة التصريف قدرة المنطقة على تجميع ونقل الجريان السطحي خلال الفترات المطرية القصيرة. ويُعد القرب من مجاري الأودية عاملاً حاسماً في اختيار مواقع التغذية الاصطناعية، إذ تُعد هذه المجاري مصادر طبيعية للمياه يمكن استثمارها في توجيه الجريان السطحي نحو منشآت التغذية، مثل السدود الصغيرة وأحواض الترشيح (Ganapuram, S., Kumar, G. T., 2009) (V., Krishna, I. V. M., Kahya, E. & Demirel, 2009).

اذ تم استخراج كثافة المجاري المائية بالاعتماد على أداة (Line Density) ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (ArcMap). إذ تقوم هذه الأداة بحساب مجموع أطوال المجاري المائية الواقعة داخل نطاق محدد، ومن ثم تقسيمها على مساحة الخلية المكانية، لإنتاج طبقة تمثل كثافة التصريف بوحدة (كم/كم²). وتُعد هذه الطريقة من أكثر الأساليب دقة في إظهار التباين المكاني لشبكة التصريف، كونها لا تكفي بالحساب العددي للأطوال، بل تعكس درجة تركيز المجاري المائية وتداخلها داخل المساحة المدروسة.

ويتضح من خريطة (10)، وجود تحكم بنوي قوي في نظام التصريف المائي، إذ يتضح أن اتجاهات المجاري المائية الرئيسية تتطابق مع النظام التكتوني السائد (شمال – شمال شرق)، مما يشير إلى أن الأودية قد اتخذت من الصدوع والشقوق الناتجة عن حركة الصفائح العربية مسارات طبيعية لها. لاسيما تركيز هذه التراكيب

في تكوينات (الدمام، أم الرضمة، والطيارات) الهشة يعزز من كفاءة هذه المسارات كقنوات اتصال هيدروليكي مباشر مع الخزانات الجوفية.

خريطة (10) شبكة الأودية لمنطقة الدراسة



المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.

ويتبين من جدول(8)، وخريطة(11)، أن قيم كثافة التصريف المائي تراوحت بين كثافة منخفضة جداً الي عالية جداً. فقد سجلت مناطق الكثافة المنخفضة جداً أدنى القيم، ما يعكس ضعف تطور شبكة المجاري المائية وقلة القدرة على تجميع الجريان السطحي، الأمر الذي يقلل من ملاءمتها لإنشاء مواقع التغذية الاصطناعية. في المقابل، أظهرت مناطق الكثافة العالية والعالية جداً قيماً مرتفعة لكثافة التصريف، مما يدل على تركيز المجاري المائية ضمن مساحات محدودة وزيادة كفاءة النظام الهيدرولوجي في تجميع ونقل المياه خلال فترات الهطول المطري. ويُعد هذا التركيز مؤشراً هيدرولوجياً مهماً يعزز من إنشاء منشآت التغذية الاصطناعية، ولاسيما عند توافق هذه المناطق مع انحدارات منخفضة وتكوينات جيولوجية نفاذة، الأمر الذي يرفع من كفاءة وصول المياه السطحية إلى الخزانات الجوفية.

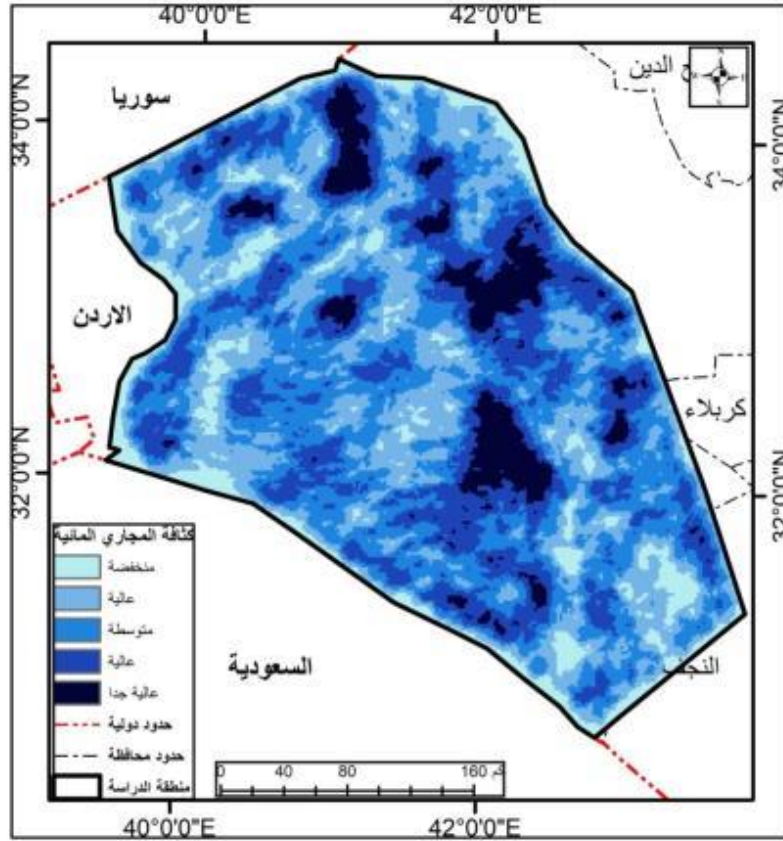
جدول (8) ملائمة كثافة التصريف المائي للتغذية الاصطناعية

الملائمة للتغذية الاصطناعية	كثافة التصريف كم ² /كم ²	المساحة (كم ²)	مجموع الأطوال (كم)	أعداد المجاري
منخفضة جداً – مناطق فقيرة مائياً من الناحية السطحية	0.184	10405.1	1913.6	578
منخفضة – تباعد المجاري يقلل فرص التجميع	0.192	28571.2	5489.2	1339
متوسطة – ملائمة بشروط مساعدة	0.218	32865.8	7169.9	1587
عالية – شبكة تصريف فعالة	0.259	22481.5	5821.5	1151

عالية جداً – مناطق تجميع كبرى	0.322	7627.2	2459.0	443
-------------------------------	-------	--------	--------	-----

المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.

خريطة (11) الكثافة التصريفية لمنطقة الدراسة



المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.

سادساً: تطبيق منهجية التقييم متعدد المعايير باستخدام التحليل الهرمي (AHP):

عند تحديد المواقع الملائمة للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية يتطلب دمج عدد كبير من العوامل الجيولوجية والهيدرولوجية والطبوغرافية. ولغرض التعامل مع هذا التعقيد، تم اعتماد منهجية التقييم متعدد المعايير ، بالاستناد إلى أسلوب التحليل الهرمي (AHP)، لما يتميز به من قدرة عالية على تنظيم المعايير المختلفة وتحديد أهميتها النسبية بصورة كمية قابلة للتحليل المكاني ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS).

1-بناء مصفوفة المقارنة المزدوجة:

تم الاعتماد على مقياس Saaty ، لتحديد الأهمية النسبية بين المعايير من خلال مقارنتها بشكل زوجي ضمن مصفوفة المقارنة (AHP). إذ يستند هذا المقياس إلى سلم تقييم يتراوح من 1 إلى 9، إذ تشير القيمة (1) إلى تساوي الأهمية بين معيارين، وتزداد القيم تدريجياً حتى (9) لتعكس تفوق أحد المعايير بشكل حاسم على الآخر. تُستخدم القيم الفردية (مثل 3 أو 5 أو 7) لتمثيل مستويات مختلفة من التفضيل، بينما تشير القيم العكسية (مثل 2/1، 3/1، 5/1...) إلى أن المعيار الثاني أكثر أهمية من الأول بنفس الدرجة، يلاحظ جدول (9). ومن الجدير بالذكر أن مصفوفة المقارنة تكون متناظرة عكسياً ، أي أن القيم في الجهة المقابلة من العمود الرئيسي تُحسب كمعكوس القيمة المقابلة لها، مثلاً إذا كانت A1 مقارنة بـ A2 تساوي 3، فإن A2 مقارنة بـ A1 تساوي (3/1).

ومن ملاحظة جدول (10) تم وضع المعايير السبعة والتي تمثلت (الكثافة الخطية، كثافة التصريف، درجة الانحدار، نوع التربة و(الهطول)، الجيولوجيا، اتجاه الانحدار، والارتفاع) ، في الصفوف والأعمدة ومقارنتها زوجياً، فإذا كان المعيار في الصف (أ) أكثر أهمية من المعيار في العمود (ب)، يُمنح قيمة صحيحة، بينما يُمنح المعيار المقابل القيمة المقلوبة ، إذا مُنحت الكثافة الخطية القيمة (3/2) مقابل كثافة التصريف، فإن كثافة التصريف ، تأخذ تلقائياً القيمة (3/2) مقابل الكثافة الخطية، وهكذا لجميع المعايير السبعة لضمان الاتساق المنطقي بين المقارنات.

جدول (9) مقياس Saaty لتقييم أهمية المعايير

الوصف	الرقم
تساوي الأهمية – كلا المعيارين لهما نفس التأثير تماماً	1
أهمية بينية – أحدهما أهم قليلاً	2
أهمية معتدلة – أحد المعيارين أكثر أهمية بشكل واضح لكن ليس بدرجة كبيرة	3
أهمية بينية	4
أهمية قوية – أحد المعيارين مهم بوضوح أكثر من الآخر	5
أهمية بينية	6
أهمية قوية جداً – أحد المعايير يُفضل كثيراً على الآخر	7
أهمية بينية	8
أهمية مطلقة – أحد المعيارين أكثر أهمية بشكل حاسم جداً	9

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. New York: McGraw-Hill.

جدول (10) مصفوفة المقارنة المزدوجة بالقيم الكسرية

المعايير	الكثافة الخطية	كثافة التصريف	درجة الانحدار	نوع التربة	الجيولوجيا	اتجاه الانحدار	الارتفاع
الكثافة الخطية	1	3/2	2	2	3	4	4
كثافة التصريف	2/3	1	3/2	3/2	2	3	3
درجة الانحدار	1/2	2/3	1	1	2/3	2	2
(التربة، الهطول)	1/2	2/3	1	1	3/2	2	2
الجيولوجيا	1/3	1/2	2/3	2/3	1	3/2	3/2
اتجاه الانحدار	1/4	1/3	1/2	1/2	2/3	1	6/5
الارتفاع	1/4	1/3	1/2	1/2	2/3	5/6	1

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (9).

ولإجراء العمليات الحسابية اللازمة مثل التطبيق وحساب الأوزان النسبية، يُحوّل الجدول إلى مصفوفة رقمية تحتوي على أعداد عشرية بدلاً من الكسور، كما هو موضح في جدول (11).

جدول (11) مصفوفة المقارنة المزدوجة بالقيم العشرية

المعايير	الكثافة الخطية	كثافة التصريف	درجة الانحدار	نوع التربة	الجيولوجيا	اتجاه الانحدار	الارتفاع
الكثافة الخطية	1	1.5	2	2	3	4	4
كثافة التصريف	0.67	1	1.5	1.5	2	3	3
درجة الانحدار	0.5	0.67	1	1	1.5	2	2
(التربة، الهطول)	0.5	0.67	1	1	1.5	2	2

1.5	1.5	1	0.67	0.67	0.5	0.33	الجيولوجيا
1.2	1	0.67	0.5	0.5	0.33	0.25	اتجاه الانحدار
1	0.83	0.67	0.5	0.5	0.33	0.25	الارتفاع
14.7	14.33	10.34	7.17	7.17	5	3.5	المجموع

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول(10).

تم استخراج الأوزان النسبية للمعايير من خلال تطبيق مصفوفة المقارنات الزوجية بقسمة قيم كل صف في العمود على مجموعها، ثم حساب المتوسط الحسابي لقيم كل صف، والذي يمثل متجه الأولوية في التحليل الهرمي (AHP). وقد بلغ مجموع الأوزان (100)، مما يؤكد سلامة التوزيع النسبي للمعايير، يلاحظ جدول(12).

جدول (12) مصفوفة التطبيق للمعايير

الوزن النسبي	المتوسط الحسابي	الارتفاع	اتجاه الانحدار	الجيولوجيا	التربة	الانحدار	كثافة التصريف	الكثافة الخطية	المعايير
28%	0.28	0.27	0.28	0.29	0.28	0.28	0.30	0.29	الكثافة الخطية
20%	0.20	0.20	0.21	0.19	0.21	0.21	0.20	0.19	كثافة التصريف
14%	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14	الانحدار
14%	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14	(التربة، الهطول)
10%	0.10	0.10	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.09	الجيولوجيا
7%	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	اتجاه الانحدار
7%	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	الارتفاع
100%	1.00								مجموع

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على جدول(11).

وبعد استخراج الأوزان النسبية عبر تطبيق مصفوفة المقارنة الزوجية وحساب المتوسط الحسابي لصفوفها. لا بد من التحقق من دقة هذه الأوزان، وعلى هذا الأساس فقد تم الاعتماد على قيمة نسبة الاتساق (CR) ، الذي يحول الرأي الشخصي إلى نتيجة علمية قابلة للقياس والتحقق . فاذا كانت قيمة نسبة الاتساق اقل من (0.10)، والذي يشير الى تحقق أعلى درجات الدقة والاتساق المنطقي في توزيع أوزان المعايير السبعة ، مما يعطي الصلاحية العلمية لدمج هذه المعايير مكانياً لإنتاج خريطة التغذية الاصطناعية. وحساب نسبة الاتساق (CR) ، يطبق المعادلة الآتية:

$$CR = CI / RI$$

اذ ان:

CI= مؤشر الاتساق

RI= مؤشر العشوائية

وبما ان عدد المعايير (7) فان قيمة المؤشر العشوائي الثابتة(1.32) بحسب جدول المعد من قبل (Saaty 1980) ، يلاحظ جدول(13).

جدول (13) المؤشر العشوائي بحسب (Saaty 1980)

المؤشر العشوائي (RI)	عدد المعايير (n)
0	1
0	2
0.58	3
0.9	4
1.12	5



1.24	6
1.32	7
1.41	8
1.45	9

Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York.

وتم حساب مؤشر الاتساق (CI) باستخدام المعادلة التالية (Saaty.1980)⁽¹³⁾:
$$(CI) = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$$

اذ ان :

$N =$ عدد المعايير.

λ_{max} = القيمة الذاتية العظمى (ويستخرج من ضرب مصفوفة المقارنة الأصلية في المتوسط لنحصل على متجه المجموع الموزون، ثم نقسم كل قيمة في هذا المتجه على الوزن المقابل لها لنحصل على متوسط متجه الاتساق. يلاحظ الجدول (14).

جدول (14) حساب مؤشر الاتساق (CI)

متجه الاتساق	متجه المجموع الموزون	المعايير
7.2	2.016	الكثافة الخطية
7.16	1.432	كثافة التصريف
7.15	1.002	الانحدار
7.15	1.001	(التربة، الهطول)
7.12	0.712	الجيولوجيا
7.15	0.501	الارتفاع
7.12	0.499	اتجاه الانحدار
7.15		متوسط متجه الاتساق

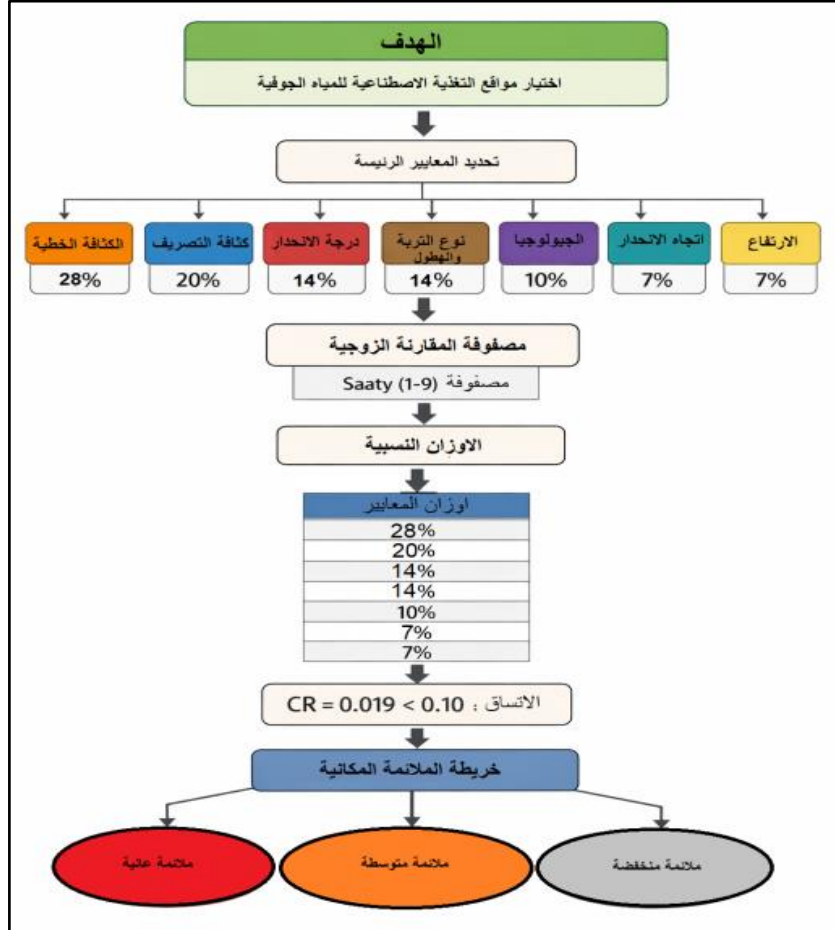
المصدر: بالاعتماد على معادلة مؤشر الاتساق النسبي.

وبتطبيق المعادلة فان مؤشر الاتساق بلغت (0.025)، وبتعويض هذه القيمة في معادلة نسبة الاتساق نحصل على القيمة (0.019) هي أقل من (0.10)، فهذا يعني أن المصفوفة التي أعدتها لمنطقة الوديان تتمتع باتساق عالٍ جداً. هذا يؤكد أن تقدير الأهمية بين المعايير لم يكن عشوائياً، بل مبني على منطق هيدرولوجي سليم، ونتائج الخريطة النهائية ستكون دقيقة وموثوقة.

2- بناء نموذج الملائمة المكانية لموقع التغذية الاصطناعية باستخدام أداة Weighted Overlay:

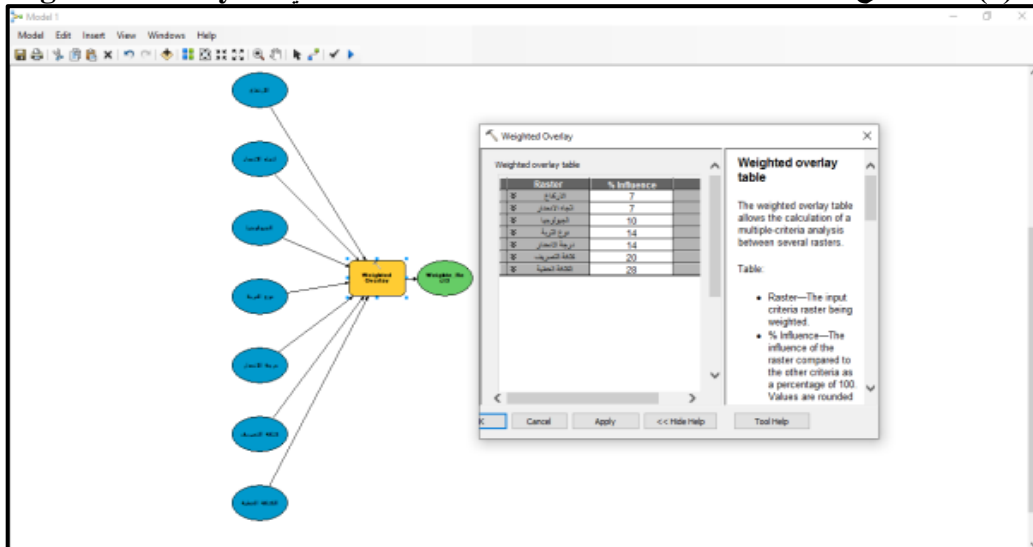
بعد تحديد الأوزان النسبية للمعايير السبعة بالاعتماد على منهجية التحليل الهرمي (AHP)، تم الانتقال إلى مرحلة التحليل المكاني بهدف إنتاج خريطة الملائمة النهائية لمواقع التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية، يلاحظ شكل (2)، تم بناء نموذج الملائمة من خلال الاداة (Model)، وقد نُفذت هذه المرحلة باستخدام أداة Weighted Overlay ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، إذ تم تحويل جميع المعايير المعتمدة في التحليل (الكثافة الخطية، كثافة التصريف، درجة الانحدار، نوع التربة، الجيولوجيا، اتجاه الانحدار، والارتفاع) إلى طبقات راستر، وبعد ذلك تم إعادة تصنيف كل طبقة مكانية إلى فئات ملائمة متدرجة (من الأقل إلى الأعلى) اعتماداً على خصائص كل معيار وعلاقته بعملية التغذية الاصطناعية، بحيث تعكس القيم الأعلى ملائمة أكبر للتغذية، وتم إدخال الأوزان النسبية المستخرجة من تحليل AHP في أداة Weighted Overlay، بهدف إنتاج خريطة الملائمة المكانية لمناطق التغذية الاصطناعية، يلاحظ شكل (3).

شكل (2) تحديد الأوزان النسبية للمعايير السبعة بالاعتماد على منهجية التحليل الهرمي (AHP)



المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.

شكل (3) بناء نموذج إدخال الأوزان النسبية المستخرجة من تحليل AHP في أداة Weighted Overlay



**المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.**

تم تصنيف خريطة الملائمة لمناطق التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة إلى أربع فئات رئيسية، والتي تعكس التفاعل المكاني المتكامل بين المعايير السبعة المدخلة في النموذج، إذ لم تُحدد درجة ملائمة أي موقع بناءً على معيار منفرد، وإنما جاءت نتيجة التراكم المكاني الموزون لتأثيرات الكثافة الخطية، وكثافة التصريف، ودرجة الانحدار، ونوع التربة، والجيولوجيا، واتجاه الانحدار، والارتفاع. يلاحظ جدول(14) وخريطة(12). وعلى النحو الآتي:

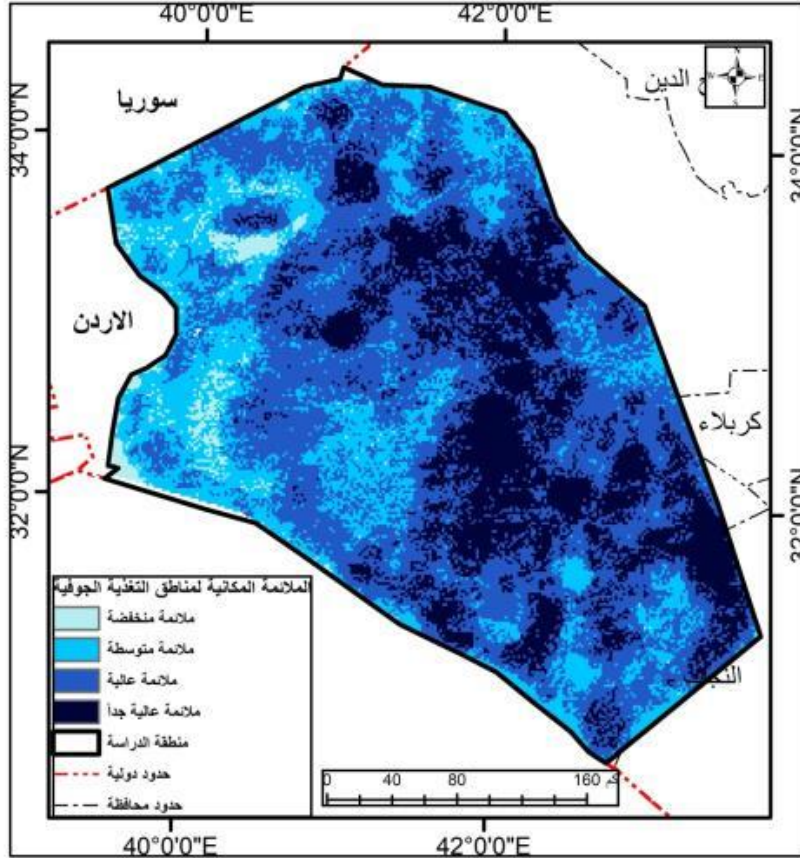
1- فئة الملائمة المنخفضة: بلغت مساحتها حوالي 2634.4 كم² وبنسبة 2.6%، من المساحة الكلية لمنطقة الدراسة، وتشمل المناطق التي تمتاز بانخفاض الكثافة التصريفية والكثافة الخطية، فضلاً عن وجود تكوينات جيولوجية وترب ذات نفاذية محدودة، ومناطق الانحدارات الشديدة وذات الاتجاهات الجنوبية.

جدول (15) فئات الملائمة المكانية ومساحتها ضمن منطقة الدراسة

النسبة المئوية	المساحة	فئات الملائمة المكانية
2.58	2634.4	ملائمة منخفضة
23.96	24433.9	ملائمة متوسطة
47.79	48727.3	ملائمة عالية
25.66	26155.1	ملائمة عالية جداً
100	101950.7	

المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.

خريطة (12) ملائمة المكانية لمناطق التغذية الاصطناعية لمنطقة الدراسة



المصدر: مخرجات برنامج Arc map 10.8.

2- فئة الملائمة المتوسطة : تشغل هذه الفئة مساحة تقدر 24433.9 كم²، ونسبة 24% من مساحة المنطقة، وتعكس هذه الفئة مناطق ذات خصائص انتقالية، إذ تتوافر بعض معايير الملائمة لاسيما انحدارات معتدلة أو كثافة تصريف متوسطة، إلا أن كفاءة التغذية الاصطناعية تتأثر بوجود محددات جزئية، ككثافة جيولوجية متوسطة أو انخفاض نسبي في الكثافة الخطية. وتُعد هذه المناطق ملائمة بشروط هندسية مساندة، ويمكن توظيفها في مشاريع توجيه الجريان أو الحصاد المائي، بدلاً من التغذية المباشرة عالية الكفاءة.

3- فئة الملائمة العالية : تمثل هذه الفئة الامتداد الأكبر، إذ بلغت مساحتها 48727.3 كم²، أي ما يعادل 47.8% من المساحة الكلية. ويرتبط هذا الانتشار الواسع بتوافر معظم الشروط الهيدرولوجية والجيولوجية الملائمة، ولاسيما، كثافة تصريف مائي جيدة، وانحدارات منخفضة تزيد من زمن مكوث المياه، وتكوينات جيولوجية ذات نفاذية جيدة، فضلاً عن توفر تربة صحراوية عالية القابلية للتريش.

4- فئة الملائمة العالية جداً : بلغت مساحة هذه الفئة حوالي 26155.1 كم²، ونسبة 25.7% من المساحة الكلية، وتمثل المناطق ذات الأولوية القصوى للتغذية الاصطناعية. ويعود تصنيف هذه المناطق ضمن أعلى درجات الملائمة إلى التوافق المكاني الكامل بين كثافة خطية مرتفعة تمثل مسارات نفاذية ثانوية فعالة، وكثافة تصريف عالية جداً مرتبطة بشبكة الأودية الرئيسية، وانحدارات منخفضة جداً، وتوفر تكوينات كربونانية منشقة ذات سعة تخزينية عالية، وترب ذات نفاذية عالية، وتُعد هذه المناطق الأنسب لإنشاء أحواض التريش والسدود الصغيرة ومنشآت التغذية المباشرة، لما تتمتع به من كفاءة هيدرولوجية عالية وأقل فاقد مائي ممكن.

يتضح مما سبق ان حوالي 73.5% من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن فئتي الملائمة العالية والعالية جداً، والذي يشير الى قابلية المنطقة على لتنفيذ مشاريع التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية. ويعكس هذا التوزيع



نجاح نموذج AHP في إبراز المناطق ذات الأولوية استناداً إلى تكامل المعايير الطبوغرافية، الجيولوجية، والهيدرولوجية.

الاستنتاجات:

- 1- أظهرت نتائج الملائمة الطبوغرافية أن الانحدار المنخفض والارتفاعات القليلة في قيعان الأودية تعد الأكثر ملائمة للتغذية الاصطناعية، حيث توفر زمن ترشيح أطول للمياه وتحسن كفاءة الترشيح. حوالي 59% من مساحة منطقة الدراسة تقع ضمن الفئات العالية والعالية جداً للملائمة الطبوغرافية.
- 2- ان التكوينات الصخرية الكلسية والحصى (مثل تكوينات الهبارية، حوران، الزهرة) تتمتع بنفاذية عالية جداً، وتشكل مناطق استراتيجية للتغذية الاصطناعية، إذ تغطي أكثر من 60% من مساحة الدراسة، مما يدل على التوافق المكاني بين الجيولوجيا وقيعان الأودية.
- 3- ان التأثير التكتوني المتمثل بكثافة الفوالق والشقوق تُعد العامل الحاسم في تعزيز النفاذية الثانوية، إذ ترتبط المناطق ذات الكثافة العالية بالتوزيع المكاني للرواسب الكلسية، مما يزيد من فعالية نقل المياه السطحية إلى الخزانات الجوفية.
- 4- ان كثافة الأودية وقربها من المناطق منخفضة الانحدار يساهم في جمع المياه السطحية بشكل فعال، ويزيد من فرص ترشيح المياه إلى الخزانات الجوفية.
- 5- ان الترب الصحراوية الغنية بالكربونات (Yk) والترب ذات الأفق الطيني المتراكم (YI) توفر نفاذية جيدة وتدعم التغذية الاصطناعية، بينما الترب الطينية والصخرية المحدودة العمق تمثل عائقاً أمام الترشيح الفعال.
- 6- ان دمج المعايير الطبوغرافية والجيولوجية والهيدرولوجية باستخدام التحليل الهرمي ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية أدى إلى تحديد مناطق ذات ملائمة عالية وعالية جداً، موجهة بشكل أساسي لإنشاء أحواض الترشيح وسدود التغذية.

التوصيات:

- 1- التركيز على إنشاء منشآت التغذية الاصطناعية في قيعان الأودية والمناطق الوسطى والجنوبية الشرقية، حيث التوافق بين الانحدار المنخفض، الكثافة العالية للفوالق، والتكوينات الكلسية النفاذة.
- 2- تصميم أحواض الترشيح والسدود الصغيرة في المناطق ذات الانحدار المنخفض والكثافة العالية للمجري المائية لضمان أعلى كفاءة لترشيح المياه.
- 3- ضرورة مراقبة المنشآت لتجنب انسداد المسامات في التربة بسبب الرواسب الناعمة، خاصة في المناطق ذات الانحدار المتوسط، للحفاظ على فعالية التغذية.
- 4- ينبغي متابعة التطورات التكتونية والفوالق الجديدة التي قد تؤثر على النفاذية الثانوية، لضمان استدامة مشاريع التغذية الاصطناعية.
- 5- التوصية بالاستمرار في استخدام نظم المعلومات الجغرافية وتقنيات التقييم متعدد المعايير لتحديث خرائط الملائمة المكانية بشكل دوري مع تغير الظروف البيئية والهيدرولوجية.

المصادر والهوامش:

- 1-Zhu, Q. and Abdelkareem, M., 2021. Mapping Groundwater Potential Zones Using a Knowledge-Driven Approach and GIS Analysis. Water, Vol. 13, No. 5, 579 P9.
- 2-علي، إسراء عبد الواحد. (2025). دمج تقنيات نظم المعلومات الجغرافية والذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالجريان السطحي والاستدامة البيئية – دراسة مستقبلية (2025-2050) لحوض وادي حقلان. مجلة مداد الآداب، المجلد 15، العدد 41، ص 1083-1085. <https://doi.org/10.58564/ma.v15i41.2217>
- 3-Sissakian, V. K., & Fouad, S. F. (2012). Geological Map of Iraq, scale 1: 1000 000. Iraq Geological Survey Publications, Baghdad, pp11.
- 4-Barwary, A. M., & Slewa, N. A. (1993). The geology of Al-Maaniya quadrangle, sheet NH-38-5 (GM 35) scale 1:250 000. State Establishment of Geological Survey and Mining (GEGSURV), Baghdad, pp10.

5-Yacoub, S. Y. (1993). The geology of Wadi-Houran and H-4 quadrangles, sheets NI-37-15 and NI-37-14 (GM 22 and 23) scale 1:250 000. State Establishment of Geological Survey and Mining (GEOSURV), Baghdad,p9.

6-Hassan, K. M., Sissakian, V. K., & Al Ameer, E. A. (1994). The geology of Saba Ebyar and Al-Rutba quadrangle, sheets NI-37-10 and NI-37-11 (GM 16 & 17) scale 1:250 000. State Establishment of Geological Survey and Mining (GEGSURV), Baghdad,pp19.

7-عبد الحسين، بسمة علي. (2025). المسح التكاملي لدراسة الأشكال الجيومورفولوجية لحوض وادي ترجيل وبأستخدام تقنيتي (GIS, RS) المسح التكاملي لدراسة الأشكال الجيومورفولوجية لحوض وادي ترجيل وبأستخدام تقنيتي (GIS, RS) (مداد الآداب، 2349-2418، 15(39)، ص2354 .

8-Buday, T., & Jassim, S. Z. (1987). The Regional Geology of Iraq: Tectonics, Magmatism and Metamorphism. Baghdad, Iraq,pp18.

9-علي، اسراء عبد الواحد، (2025)، ص1085.

10-مراد، اسراء عبد الواحد علي، عليوي، ايات سعيد حسين & عبد الحسين، بسمة علي (2023). هيدرولوجية حوض وادي العرجاوي غرب بحيرة الرزازة. Journal of Educational and Human Sciences, (24), 102-124. <https://doi.org/10.33193/JEAHS.24.2023.364>

11-الجانقلي، سامي محمود الياس، وإسماعيل، عمر عبد الله. (2025). النمذجة المكانية لاحتمالية توطن المياه الجوفية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (محافظة نينوى أنموذجاً). (المجلة الوطنية العراقية لعلوم الأرض، 25(2)، 38-56، ص46.

12-Ganapuram, S., Kumar, G. T. V., Krishna, I. V. M., Kahya, E. & Demirel, M. C. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. Adv. Eng. Softw. 40, 506–518 (2009).

13-Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill.