

# تطبيق نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير لتحديد إمكانات حصاد مياه الأمطار في حوض وادي الاحسبة غرب المملكة العربية السعودية

افراح احمد علي الزهراني

قسم نظم المعلومات الجغرافية، كلية العلوم الاجتماعية، جامعة جدة، جدة، المملكة العربية السعودية.

## المستخلص

تهدف الدراسة إلى التحليل المكاني لمعايير حصاد المياه في حوض وادي الاحسبة، وتحديد مدى ملائمة الحوض لحصاد مياه السيول حسب كل معيار، وتطبيق نموذج الملائمة المكانية لتحديد انصب المناطق لحصاد مياه الامطار باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، إذ تم جمع بيانات متعددة ومعالجتها تمهيدا لاشتقاق طبقات معايير نموذج الملائمة المكانية للحصاد، وتحديد ملائمتها المكانية حسب كل متغير، وبالتالي تم حساب اوزان هذه المتغيرات باستخدام طريقة التحليل الهرمي (AHP)، ودمج المعايير حسب اوزانها لإنتاج خريطة الملائمة المكانية لحصاد مياه الامطار في الحوض اعتمادا على جميع المتغيرات المكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وتوصلت نتائج الدراسة الى تراوح نسبة الملائمة المكانية لحصاد مياه الأمطار في الحوض بين 29.4% الى 90.6% في المناطق ذات الملائمة العالية جدا لحصاد مياه السيول في الحوض وبلغت مساحة المنطقة التي تعاني من ملائمة ضعيفة جداً لحصاد المياه حيث تقل نسبة الملائمة عن 40% نحو 73.14 كم<sup>2</sup> بنسبة 5.72% من مساحة الحوض ومساحة المنطقة التي تتصف بملاءمة معتدلة حيث تتراوح نسب الملائمة بين 50-60% نحو 506.9 كم<sup>2</sup> بنسبة 39.68% من مساحة الحوض ومساحة المنطقة التي تتصف بملاءمة عالية حيث تتراوح نسب الملائمة المكانية بين 60-70% نحو 231.3 كم<sup>2</sup> بنسبة 18.1% من مساحة الحوض ومساحة المنطقة التي تتصف بملاءمة عالية جدا حيث تتجاوز نسبة الملائمة 70% نحو 56.57 كم<sup>2</sup> بنسبة 4.42% من مساحة الحوض.

الكلمات المفتاحية: نمذجة الحصاد المائي، الملائمة المكانية، مياه الأمطار، وادي الاحسبة، التحليل الهرمي.

## Application of Multi-criteria Geographic Information System to Determine the Potential of Rainwater Harvesting in the Wadi Al-Hasbah basin Western Kingdom of Saudi Arabia

Afrah A. Alzahrani

Geographic Information Systems Department, College of Social Sciences, University of Jeddah, Jeddah, KSA.

## Abstract

The study aims at the spatial analysis of water harvesting standards in the Wadi Al-Hasbah basin, Determining the suitability of the basin for harvesting runoff according to each criterion and applying the spatial suitability model to determine the most suitable areas for runoff harvesting using geographic information systems. Multiple data were collected and processed in preparation for deriving the spatial suitability model criteria for harvesting and determining their spatial suitability according to each variable. Therefore, the weights of these variables were calculated using the Analytic Hierarchy Process (AHP), and the criteria were merged according to their importance to produce a map of the spatial suitability of rainwater harvesting in the basin, depending on all spatial variables using GIS. The study's results revealed that the proportion of spatial suitability for rainwater harvesting in the basin ranged from 29.4% to 90.6% in areas with very high suitability for harvesting floodwaters. About 73.14 km<sup>2</sup>, at a rate of 5.72% of the basin area, and the area of the region that is characterized by poor suitability, as suitability rates range between 40-50%, is about 409.68 km<sup>2</sup>, or 32.06% of the basin area. The region's area characterized by moderate suitability, where suitability rates range between 50-60%, is about 506.9 km<sup>2</sup>, or 39.68% of the basin area. The basin area and the area are characterized by very high suitability, as the suitability rate exceeds 70%, about 56.57 km<sup>2</sup>, or 4.42% of the basin area.

**Keywords:** water harvest modeling, spatial fit, rainwater, Wadi Al-Ahsaba, Analytic Hierarchy Process.

## المقدمة

تعد المملكة من أكثر البلدان الصحراوية شبه الاستوائية حرارة وجفافاً في العالم، ويؤكد ذلك متوسط الامطار 112 ملم سنوياً، وحجم الجريان 158.47 مليار م<sup>3</sup> سنوياً (Mahmoud، 2014)، ومن اسباب تفاقم مشكلة المياه في المملكة الافتقار لنظم ممارسة الحصاد (Mahmoud وآخرون، 2015).

Corresponding author.

Email: faaalzahrani@uj.edu.sair

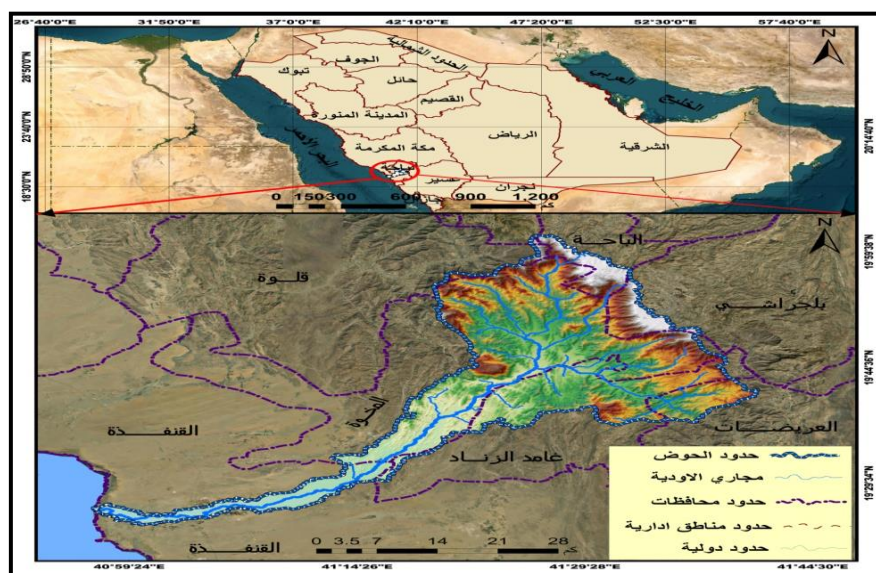
<https://doi.org/10.36531/ijds.2023.139464.1034>

Received 2 April 2023; Received in revised form 11 June 2023; Accepted 22 June 2023

حيث مارست المملكة في الماضي أشكال مختلفة للحصاد، وحالياً بدأت تمارس العديد من أنظمة حصاد مياه الأمطار لزيادة تغذية المياه الجوفية وتحقيق أهداف التنمية المستدامة (Mbilinyi وآخرون، 2007).

وتعتبر ندرة المياه قضية رئيسية بالمناطق الجافة وشبه الجافة، بسبب زيادة عدد السكان، ومن أهم الحلول المقترحة لتلبية المتطلبات حصاد مياه الأمطار، الذي أصبح أحد أكثر المصادر البديلة للمياه العذبة التي يمكن استخدامها في هذه المناطق. ومع ذلك هناك عدد قليل من الدراسات، معظمها لأحواض صغيرة حددت المناطق المحتملة للحصاد مع مراعاة العوامل الاجتماعية والاقتصادية. (Toosi وآخرون، 2020).

ويتم اختيار المناطق المحتملة لحصاد مياه الأمطار حسب منظمة الأغذية والزراعة بالاعتماد على معايير فيزيائية وحيوية واجتماعية واقتصادية للمنطقة المستهدفة. (Kahinda وآخرون، 2008). ولتوفير المياه في المناطق الجافة وشبه الجافة كحوض وادي الاحسبة، لابد من تحديد المواقع الملائمة للحصاد. بالاعتماد على مجموعة متنوعة من خصائص كل منطقة. (Setiawan و Nandin، 2011)، ويكتسب حصاد مياه الأمطار أهمية في قضايا إمدادات المياه، ويعد اختيار مواقع الحصاد، وتوفير خرائط الملائمة لمواقعها مفيدة لصانع القرار لاستخدامها في إدارة المياه. والتخفيف من الفيضانات وإدارة الموارد المائية المتاحة من الأمطار النادرة (Abdel-Kader وآخرون، 2012). ويقع حوض وادي الاحسبة غرب المملكة ضمن منطقتي الباحة ومكة (شكل 1)، بين دائرتي عرض 14°: 23' : 19° - 34° : 01' : 20° شمالاً، وخطي طول 30°: 55' : 40° - 41°: 40' : 55° شرقاً، بمساحة 1277.6 كم<sup>2</sup>، وتبدأ روافده من مرتفعات بلجرشي والباحة والعرضيات شرقاً، ثم تتجه غرباً بمحافظات المخوة وغامد الزناد والقنفذة ليصب في البحر الاحمر غرباً.



الشكل 1. خريطة موقع منطقة الدراسة

\*The map shows the details of the study area, such as the borders of the basin and the course of the valleys in relation to the borders of the neighboring governorates.

بناءً على ما سبق تهدف الدراسة الحالية إلى التحليل المكاني لمعايير حصاد المياه في حوض وادي الاحسبة. وتحديد مدى ملائمة الحوض لحصاد مياه السيول حسب كل معيار. وتطبيق نموذج الملائمة المكانية لتحديد انطباق المناطق لحصاد مياه الأمطار باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. ويفتقر الحوض لدراسات حصاد المياه لذا ستعرج الدراسة بشكل مختصر لأهم دراسات الحصاد حيث رسم Awawdeh وآخرون (2010) خرائط المواقع المحتملة للحصاد في الأردن باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير. وطور Mahmoud و Alazba (2015) منهجية تحديد المناطق المناسبة للحصاد باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وحدد Mahmoud وآخرون (2015) المواقع المحتملة لتجميع مياه الأمطار في محافظة الباحة، السعودية، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية القائمة على عدة معايير. وقيم Balkhair و UrRahman (2019) خريطة ملائمة الحصاد باستخدام التسلسل الهرمي وتقنيتي نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد. وطبق Toosi وآخرون (2020) نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير لتحديد امكانيات الحصاد في حوض سهل مشهد شمال إيران. وتطرق Alzghoula و Al-husbanb (2021) لحصاد المياه بمنطقة عسير باستخدام النمذجة المكانية متعددة المعايير. وحدد Abd-el-Kader وآخرون (2021) المناطق الملائمة لحصاد المياه بحوض وادي النساء، السعودية، باستخدام

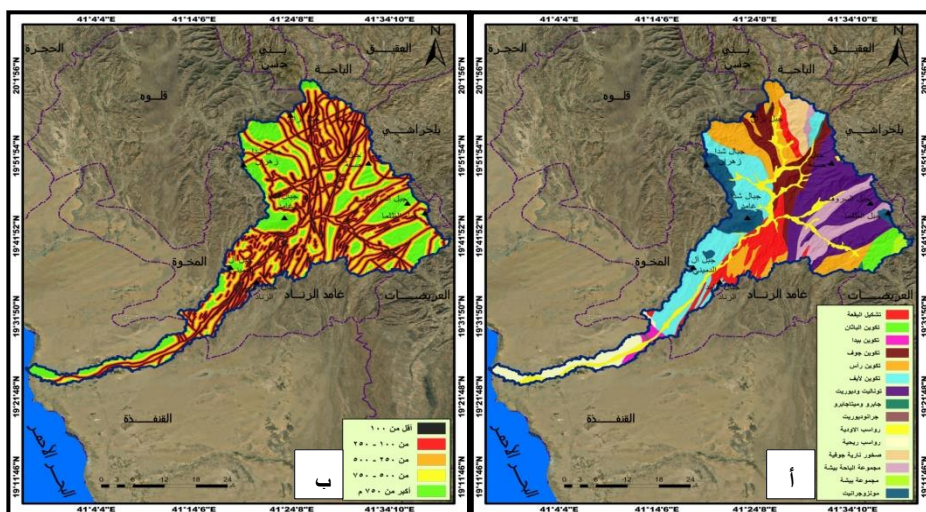
نظم المعلومات الجغرافية متعدد المعايير. وحدد Setiawan و Nandin (2021) المواقع المناسبة للحصاد في جزيرة نوسا بينيدا، إندونيسيا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير.

### خصائص حصاد المياه في الحوض

#### 1. التركيب والبنية الجيولوجية:

يظهر الشكل 2 - أ التراكيب الجيولوجية أكبرها تكوين (Lif formation) شمال غرب الحوض، ويتألف من صخور متحولة من أصل ناري بازلتي بمساحة 225.38 كم<sup>2</sup> بنسبة 17.64%، ومن ثم تأتي صخور التوناليت والدايوريت شرق الحوض، وهي صخور نارية جوفية، بمساحة 224.39 كم<sup>2</sup> بنسبة 17.56% ويليهما تكوين (Ras formation) شمال وجنوب ووسط الحوض، ويتألف من صخور نارية سطحية بمساحة 164.2 كم<sup>2</sup> بنسبة 12.85%، ويليهما تكوين (Buqah formation) جنوب ووسط شمال الحوض، ويتألف من صخور نارية بازلتية بمساحة 116.65 كم<sup>2</sup> بنسبة 9.13% ومن ثم رواسب الأودية (Alluvial deposits) وسط شمال وادنى الحوض، وتتألف من مقتتات رملية وغرينية وطينية بمساحة 109.47 كم<sup>2</sup> بنسبة 8.56% وبعدها جاء تكوين (Gof formation) ووسط وشمال الحوض، ويتكون من صخور البريشا والتف البركاني بمساحة 106.58 كم<sup>2</sup> بنسبة 8.34% وأعقبه مجموعة بيثشة جنوب شرق الحوض وهي صخور متحولة خشنة الحبيبات بمساحة 91.84 كم<sup>2</sup> بنسبة 7.18%. وبعدها مجموع (Monzogranite) جنوب شرق وشمال غرب الحوض، وهي صخور نارية سطحية أهمها مونزوجرانيت بمساحة 76.18 كم<sup>2</sup> بنسبة 5.96% وبعدها جاء الرواسب الريحية غرب الحوض، وتتألف من الرمال والحصى والصلت بمساحة 61.86 كم<sup>2</sup> بنسبة 4.84% وبالتالي الصخور النارية الجوفية والمتحولة جنوب شرق الحوض، وتتألف في الغالب من الجرانودورايت والاورثوسس بمساحة 40.19 كم<sup>2</sup> بنسبة 3.14% وبعدها تكوين باثا (Bathan formation) جنوب شرق حوض وادي الاحسبة، وتتألف من صخور رسوبية طباقية بمساحة 34.37 كم<sup>2</sup> بنسبة 2.69% ويليهما تكوين بيدا (Baid formation) وسط غرب الحوض، وهي صخور رسوبية بمساحة 13.04 كم<sup>2</sup> بنسبة 1.02% وبالتالي جاءت مجموعة بيثشة جنوب شرق الحوض، وهي صخور طباقية نارية ورسوبية ومتحولة بمساحة 8.74 كم<sup>2</sup> بنسبة 0.68% وبعدها جاءت صخور الجابرو شرق الحوض وهي صخور نارية خشنة النسيج بمساحة 3.26 كم<sup>2</sup> بنسبة 0.25% وأخيرا صخور الجرانودورايت الأورثوجينيس شرق الحوض بمساحة 1.44 كم<sup>2</sup> بنسبة 0.11% من إجمالي مساحة الحوض.

في المقابل تظهر نتائج تحليل البعد من الصدوع تراوح البعد بين 0 - 3928 م بمتوسط 477 م والشكل 2 - ب وقوع المناطق ضعيفة الملائمة جدا لمنشآت حصاد المياه حيث يقل البعد من الصدوع عن 100 م بمساحة 275.74 كم<sup>2</sup> بنسبة 21.59% من مساحة الحوض. وتقع المناطق التي تتصف بملاءمة ضعيفة للحصاد حيث البعد من الصدوع بين 100 - 250 م بمساحة 293.12 كم<sup>2</sup> بنسبة 22.94% من مساحة الحوض والمناطق المعتدلة الملاءمة حيث البعد بين 250 - 500 م بمساحة 294.21 كم<sup>2</sup> بنسبة 23.02% من مساحة الحوض، ومناطق الملاءمة العالية للحصاد حيث البعد بين 500 - 750 م بمساحة 153.76 كم<sup>2</sup> بنسبة 12.03% من مساحة الحوض والمناطق ذات الملاءمة العالية جدا للحصاد حيث يتجاوز البعد من الصدوع 750 م بمساحة 260.79 كم<sup>2</sup> بنسبة 20.41% من مساحة الحوض.



الشكل 2: يبين الخرائط التالية: (أ) خريطة التركيب الجيولوجي لحوض وادي الأحسبة (ب) خريطة البعد من الصدوع في حوض وادي الأحسبة (المصدر: الخريطة الجيولوجية، لوحة القنفذة، مقياس 1:250000).

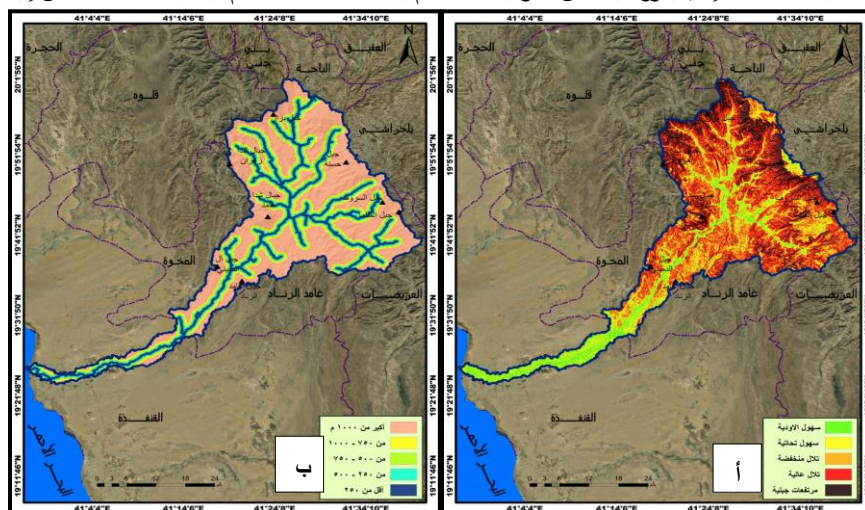


\*The maps show the geological structure northwest of the basin, as the basin consists of several geological structures, the largest of which is formation. As shown by the analysis of the distance of the faults, as the distance ranges between 0 - 3928 m, with an average of 477 m.

## 2. تضاريس الحوض:

تلعب الخصائص التضاريسية دوراً أساسياً في تحديد مواقع منشآت الحصاد المائي وبذلك بلغت مساحة الحوض 1277.66 كم<sup>2</sup> ومحيطه 335.96 كم، وطوله 98.5 كم وعرض الحوض 24 كم ومعامل شكله 0.14 ومتوسط انحداره 17.1° ويظهر الشكل 3- أ وقوع المنطقة التي تتصف بملاءمة عالية جداً لإقامة منشآت حصاد المياه، بمناطق سهول الاودية ادنى ووسط الحوض، حيث يقل الانحدار عن 2° بمساحة 130.45 كم<sup>2</sup> بنسبة 10.21% من مساحة الحوض وتقع الثانية بمناطق السهول التحتانية حيث الملاءمة عالية للحصاد والانحدار بين 2 - 7.99° بمساحة 248.96 كم<sup>2</sup> بنسبة 19.48% من مساحة الحوض، والثالثة معتدلة الملائمة للحصاد بمناطق التلال المنخفضة حيث الانحدار بين 8 - 15.99° بمساحة 225.99 كم<sup>2</sup> بنسبة 17.68% من مساحة الحوض والرابعة لها ملاءمة منخفضة للحصاد بمناطق إنتشار التلال المرتفعة جنوب شرق ووسط الحوض، إذ الانحدار بين 16 - 29.99° بمساحة 474.39 كم<sup>2</sup> بنسبة 37.13% من مساحة الحوض والخامسة تتسم بملائمة منخفضة جداً للحصاد حيث يتجاوز الانحدار 29.99° شمال وشرق وشمال غرب الحوض بمساحة 197.86 كم<sup>2</sup> بنسبة 15.48% من مساحة الحوض.

وبعد البعد من مجاري الاودية من الخصائص المحددة لمواقع الحصاد فالعلاقة بينها عكسية فكلما قربت المسافة من المجاري زادت امكانية حصاد المياه والعكس وتراوحت المسافة من اودية الحوض بين 0 - 5866.3 كم بمتوسط 1304.2 م. ويظهر الشكل 3- ب وقوع المنطقة التي تتصف بملاءمة عالية جداً لمنشآت الحصاد حيث يقل البعد من الاودية عن 250 م بمساحة 167.46 كم<sup>2</sup> بنسبة 13.1% من مساحة الحوض وتتصف الثانية بملائمة عالية للحصاد حيث يتراوح البعد من الاودية بين 250 - 500 م بمساحة 148.6161 كم<sup>2</sup> بنسبة 11.63% من مساحة الحوض والثالثة تتسم بملائمة معتدلة للحصاد حيث يتراوح البعد من الاودية بين 500 - 750 م بمساحة 139.05 كم<sup>2</sup> بنسبة 10.88% من مساحة الحوض، والرابعة تتصف بملاءمة منخفضة للحصاد بمناطق البعد من الاودية بين 750 - 1000 م بمساحة 130.48 كم<sup>2</sup> بنسبة 10.21% من مساحة الحوض والخامسة بمناطق الملائمة المنخفضة جداً للحصاد، إذ يتجاوز البعد من الاودية 1000 م بمساحة 692.03 كم<sup>2</sup> بنسبة 54.17% من إجمالي مساحة الحوض.



الشكل 3. يبين الخرائط التالية: (أ) خريطة الاشكال الجيومورفولوجية في حوض وادي الأحسبة (ب) خريطة البعد من مجاري الاودية في حوض وادي الأحسبة (المصدر: نموذج ارتفاع رقمي دقة 30 م، USGS، 2022).

\* The maps show the area that is highly suitable for the establishment of water harvesting facilities in the valley plains below and in the middle of the basin. It is noted that there is a region that is very suitable for harvesting facilities, as the distance from the valleys is less than 250 m, with an area of 167.46 km<sup>2</sup>.

## 3. بيديولوجية الحوض:

تؤثر التربة في تحديد مواقع منشآت الحصاد المائي، لأهمية خصائصها في تحديد حجم الجريان، فالتربة ناعمة النسيج قليلة التسرب تعزز حجم الجريان الذي يمكن حصاده والعكس، وبذلك يبين الشكل 4- أ ستة أنواع من الترب في الحوض اكبرها تربة البروزات الصخرية (توري اورثنتس)، وهي ترب طميية حصوية يتراوح انحدارها بين 15 - 80%، ويقل عمق الطبقة غير المنفذة عن 50 سم، ونفاذيتها تتراوح بين 5.1 - 15 سم ساعة<sup>-1</sup>،

بمساحة 1045.95 كم<sup>2</sup>، بنسبة 81.87% من مساحة الحوض. وتأتي بعدها تربة ليثك توري اورثنتس اعلى الحوض، وهي تربة طميية حصوية يتراوح انحدارها بين 15-60%، ويقل عمقها عن 50 سم، ونفاذيتها بين 1.5-5.1 سم ساعة<sup>-1</sup> بمساحة 171.77 كم<sup>2</sup> بنسبة 13.44% من مساحة الحوض وتعقبها تربة الكامب اورثيدز ادنى الحوض، وهي تربة طميية عميقة انحدارها بين 0-3% ويزيد عمقها عن 150 سم، ونفاذيتها بين 1.5-5.1 سم ساعة<sup>-1</sup>، بمساحة 30.5 كم<sup>2</sup> بنسبة 2.38% من مساحة الحوض، وتلتها تربة التوري فلوونتس توري سامنتس أدنى الحوض، وهي تربة طميية رملية انحدارها بين 0-2%، ويزيد عمقها عن 140 سم، ونفاذيتها بين 1.5-5.1 سم ساعة<sup>-1</sup> بمساحة 17.93 كم<sup>2</sup>، بنسبة 1.4%. وبعدها تربة يودي سامنتس توري سامنتس بمخرج الحوض، وهي تربة رملية انحدارها بين 3-60%، ويزيد عمقها عن 150 سم، وتتجاوز نفاذيتها 15 سم ساعة<sup>-1</sup>، بمساحة 8.2 كم<sup>2</sup>، بنسبة 0.64% من مساحة الحوض. وأخيراً تربة التوري اورثنتس كالسي اورثيدز، وهي تربة رملية انحدارها بين 0-5%، ويزيد عمقها عن 150 سم، وتتجاوز نفاذيتها 15 سم/ساعة بمساحة 3.3 كم<sup>2</sup>، بنسبة 0.25% من مساحة الحوض.

ومن محددات موقع الحصاد رطوبة التربة التي تؤثر بزمن الاستجابة للجريان، فارتفاعها يقلل من زمن الاستجابة، ويعزز من امكانية الحصاد والعكس، وبذلك تراوحت رطوبة تربة الحوض بين 11.2-51.45%، بمتوسط مكاني 35.73%. وبين الشكل 4-ب وقوع منطقة الملاءمة العالية جداً للحصاد اعلى الحوض، حيث تتجاوز الرطوبة 40% بمساحة 359.32 كم<sup>2</sup>، بنسبة 28.12% من مساحة الحوض. وتقع منطقة الملاءمة العالية وسط اعلى الحوض، حيث الرطوبة بين 35-40% بمساحة 531.59 كم<sup>2</sup>، بنسبة 41.6% من مساحة الحوض. وتظهر منطقة الملائمة المعتدلة وسط الحوض، حيث الرطوبة بين 30-35% بمساحة 173.08 كم<sup>2</sup>، بنسبة 13.54% من مساحة الحوض، ومنطقة الملاءمة الضعيفة وسط الحوض، حيث الرطوبة بين 30-25% بمساحة 61.1 كم<sup>2</sup>، بنسبة 4.78% من مساحة الحوض، ومنطقة الملاءمة الضعيفة جداً اينما تقل رطوبة التربة عن 25% أدنى الحوض، بمساحة 152.6 كم<sup>2</sup>، بنسبة 11.94% من مساحة الحوض.

وتعد المجموعات الهيدرولوجية للتربة من أهم خصائص تحديد مواقع حصاد الأمطار، ولهما علاقة طردية فزيادة قيم هيدرولوجية التربة تعزز إمكانية الحصاد والعكس، فالمجموعة (A) تتصف بنسيج خشن كالتربة الحصوية والرملية تؤخر زمن الاستجابة، اما المجموعة (D) فتتسم بنسيج ناعم جداً كالترب الطموية وتقلص زمن الاستجابة، ويظهر الشكل 4-ج ثلاثة مجموعات هيدرولوجية للتربة، الاولى (B) التي تتصف بملاءمة معتدلة للحصاد، وتقع أدنى ووسط الحوض، بمساحة 112.12 كم<sup>2</sup>، بنسبة 8.77% من مساحة الحوض، والثانية (C) التي تتسم بملاءمة عالية بمساحة 1132.53 كم<sup>2</sup>، بنسبة 88.64% من مساحة الحوض. والثالثة (D) التي تتصف بملائمة عالية جداً بمساحة 33.01 كم<sup>2</sup>، بنسبة 2.58% من مساحة الحوض.

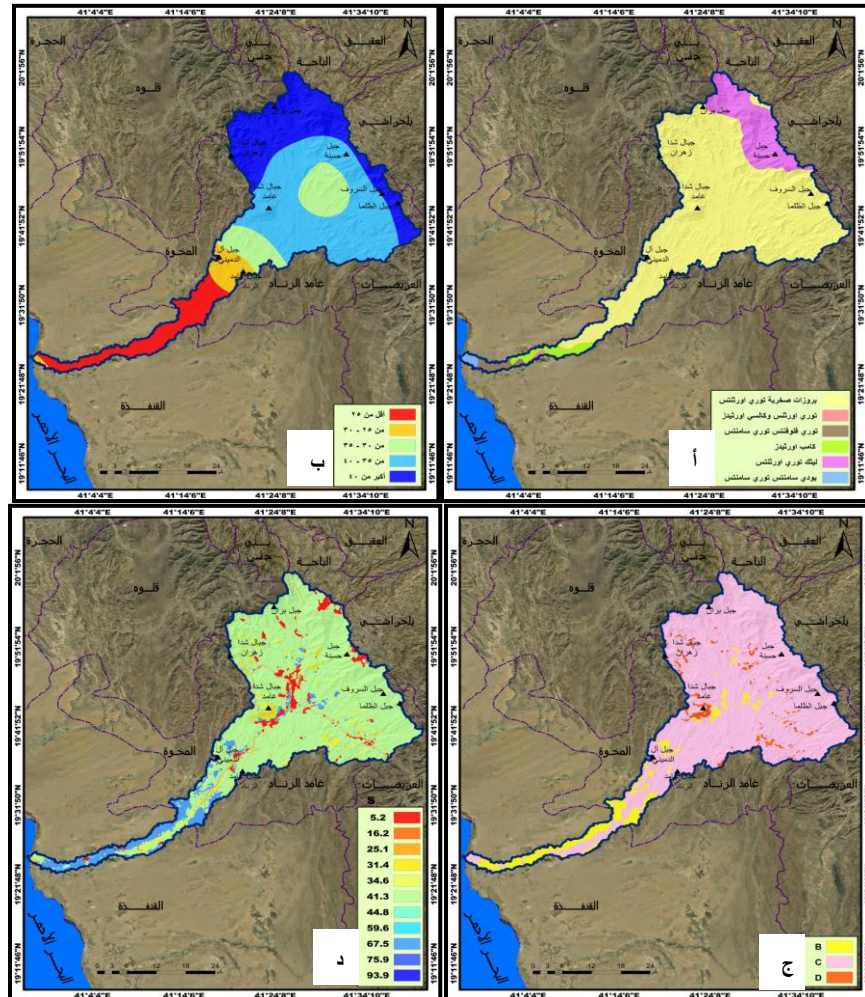
وتعد قدرة التربة التخزينية من أهم محددات مواقع حصاد المياه، وتتصف علاقتهما بالعكسية، فارتفاع قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء تزد زمن استجابتها للجريان، وتقلل من إمكانية حصاد الامطار والعكس، وعليه تراوحت الامكانية القصوى للتربة على الاحتفاظ بالماء في الحوض بين 5.2 ملم بمناطق الطرق والعرمان والسود، الى 93.9 ملم بمناطق النبات ضمن المجموعة الهيدرولوجية (B) للتربة.

وبين الشكل 4-د وقوع منطقة الملاءمة العالية جداً للحصاد حيث تقل امكانية التربة على الاحتفاظ بالماء عن 15 ملم بمناطق العرمان والبرك ضمن مختلف المجموعات شرق ووسط الحوض بمساحة 58.51 كم<sup>2</sup>، بنسبة 4.58% من مساحة الحوض. وتظهر المنطقة التي تتصف بملاءمة عالية للحصاد حيث تتراوح قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء بين 15-30 ملم بمناطق الاراضي الفضاء ضمن المجموعات (C, D)، ومناطق الزراعة ضمن المجموعة (D) وسط الحوض، بمساحة 9.92 كم<sup>2</sup>، بنسبة 0.77% من مساحة الحوض. وتغطي المنطقة التي تتصف بملاءمة معتدلة لحصاد مياه الامطار غالبية الحوض حيث تتراوح الامكانية التربة على الاحتفاظ بالماء بين 15-45 ملم بمناطق المراعي ضمن المجموعتين (C, D) ومناطق الزراعة ضمن المجموعة (C)، والأراضي الفضاء ضمن المجموعة (B)، ومناطق الشجيرات ضمن المجموعة (C)، بمساحة 1104.32 كم<sup>2</sup>، بنسبة 86.44% من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتصف بملاءمة ضعيفة للحصاد المائي حيث تتراوح امكانية التربة على الاحتفاظ بالماء بين 45-60 ملم بمناطق الزراعة ضمن المجموعات (B) أدنى الحوض، بمساحة 4.97 كم<sup>2</sup>، بنسبة 0.38% من مساحة الحوض. وتقع المنطقة التي تتصف بملاءمة ضعيفة جداً للحصاد حيث تتجاوز امكانية التربة على الاحتفاظ بالماء 60 ملم أدنى ووسط الحوض، بمناطق المراعي ضمن المجموعة (B)، ومناطق الشجيرات ضمن المجموعة (B)، ومناطق الاشجار ضمن المجموعة (C)، بمساحة 99.85 كم<sup>2</sup>، بنسبة 7.81% من مساحة الحوض.

#### 4. مناخ الحوض :

تلعب خصائص المناخ دوراً مهماً في تحديد مواقع الحصاد فالحرارة تؤثر في تبخر الامطار قبل وبعد وصولها للسطح مما ينعكس على الجريان الذي يمكن حصاده وتراوحت حرارة الحوض بين 19.1-30.6°م بمتوسط 27.1°م ويظهر شكل 5-أ وقوع منطقة الملاءمة الضعيفة جداً لحصاد المياه أدنى الحوض، حيث تجاوزت الحرارة 29°م بمساحة 257.74 كم<sup>2</sup> بنسبة 20.17% من مساحة الحوض. وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة حيث الحرارة بين 29-27°م وسط الحوض بمساحة 611.27 كم<sup>2</sup> بنسبة 47.85%. ومنطقة الملائمة المعتدلة حيث الحرارة بين 27-25°م جنوب ووسط الحوض

بمساحة 188.22 كم<sup>2</sup> بنسبة 14.73% من مساحة الحوض. وتقع منطقة الملائمة العالية حيث الحرارة بين 25 - 23° أعلى الحوض بمساحة 82.03 كم<sup>2</sup> بنسبة 6.42%. وتظهر المنطقة التي تتصف بملائمة عالية جداً للحصاد، حيث تقل الحرارة عن 23° أعلى الحوض بمساحة 138.39 كم<sup>2</sup> بنسبة 10.83% من إجمالي مساحة الحوض. وتعد الأمطار من أهم متغيرات تحديد مواقع حصاد المياه، ولهما علاقة طردية بزيادة الأمطار تعزز من حجم الجريان الذي يمكن حصاده والعكس، وتتراوح أمطار الحوض بين 119.9 - 149.7 ملم بمتوسط 132.3 ملم سنوياً.

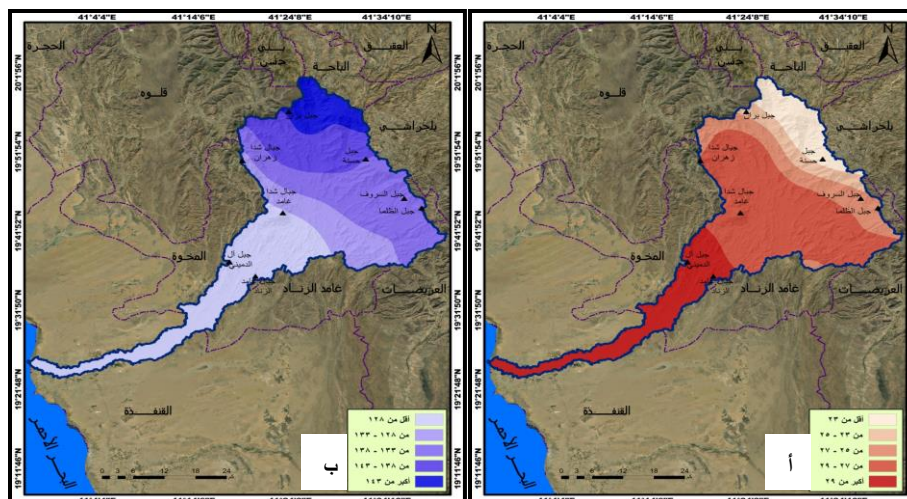


الشكل 4. يبين الخرائط التالية: (أ) خريطة نوع التربة في حوض وادي الأحسية (المصدر: Ministry of Agriculture and Water, 1986). (ب) رطوبة التربة في حوض وادي الأحسية (المصدر: مرئية القمر AMSR2، NASA، 2022). (ج) المجموعات الهيدرولوجية للتربة في حوض وادي الأحسية المصدر: طبقة رقمية للمجموعات الهيدرولوجية، دقة مكانية 240م، (NASA، 2022). (د) الامكانية القصوى للتربة على الاحتفاظ بالماء قبل بدأ الجريان المصدر: تطبيق معادلة الامكانية القصوى للتربة على الاحتفاظ بالماء حسب طريقة (CN).

\* It is evident that there are six types of soils in the basin, the largest of which is the soil of rocky outcroppings with a percentage of 81.87% of the basin area. Also, the very high suitability for harvesting is located at the top of the basin with an area of 359.32 km<sup>2</sup>. It was found that the area of very high suitability for harvesting, as the ability of the soil to retain water is less than 15 mm, is located in the areas of urbanization and ponds within the various groups, east and middle of the basin, with an area of 58.51 km<sup>2</sup>.

ويظهر شكل 5- ب وقوع منطقة الملاءمة الضعيفة جداً للحصاد أدنى الحوض، حيث تقل الأمطار عن 128 ملم سنوياً بمساحة 396.22 كم<sup>2</sup> بنسبة 31.01% من مساحة الحوض. وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة وسط الحوض، إذ الأمطار بين 128 - 133 ملم بمساحة 193.23 كم<sup>2</sup> بنسبة 15.12% من مساحة الحوض. ومنطقة الملائمة المعتدلة جنوب شرق ووسط الحوض حيث الأمطار بين 133-138 ملم سنوياً بمساحة 376.93 كم<sup>2</sup> بنسبة 29.51%. وتقع منطقة الملائمة العالية وسط أعلى الحوض حيث الأمطار بين 138-142 ملم بمساحة 199.49 كم<sup>2</sup> بنسبة 15.62%. وتظهر منطقة الملاءمة العالية جداً أعلى الحوض، حيث تتجاوز الأمطار 142 ملم سنوياً بمساحة 111.78 كم<sup>2</sup> بنسبة 8.74% من مساحة الحوض.





الشكل 5. يبين الخرائط التالية: خريطة (أ) متوسط درجات الحرارة بحوض وادي الأحسبة بين 2000 – 2022 المصدر: مرئية القمر FLADS، (NASA)، (2022). (ب). خريطة متوسط الأمطار بحوض وادي الأحسبة بين 2000 – 2021 المصدر: مرئية القمر GPM (NASA)، (2022).

\*The map shows areas suitable for water harvesting based on climate characteristics. Climate characteristics play an important role in determining harvesting sites. Temperature affects rain evaporation before and after reaching the surface, which is reflected in the runoff that can be harvested. It also shows the area that is very suitable for harvesting, as the temperature is less than 23 °C at the top of the basin with an area of 138.39 km<sup>2</sup>, or 10.83% of the total area of the basin.

#### 5. هيدرولوجية الحوض:

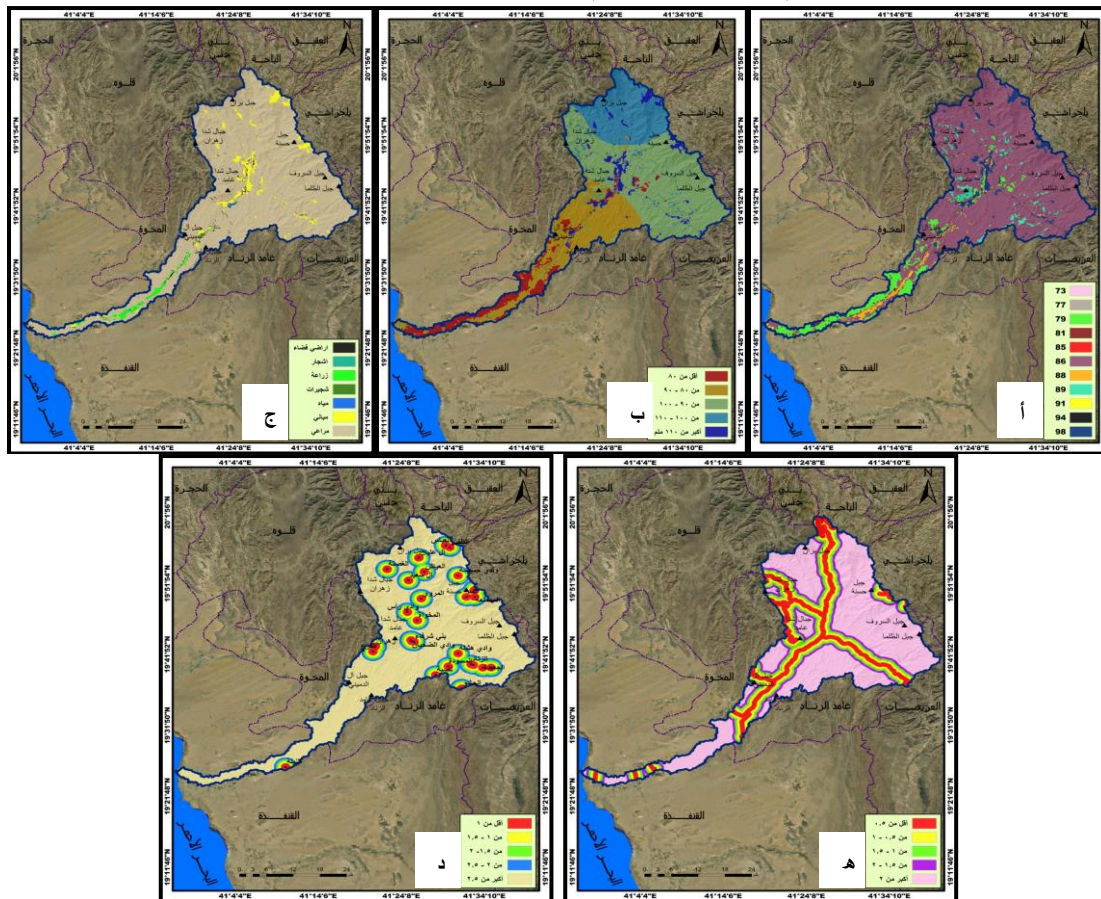
تعتبر الأرقام المنحنية من المؤشرات المهمة لتقدير الجريان وتحديد مواقع منشآت الحصاد، ولهما علاقة طردية، وتتراوح الأرقام المنحنية بالحوض بين 73 بمواقع النبات ضمن مجموعة التربة الهيدرولوجية (C)، إلى 98 حيث العمران والبرك. وتقع منطقة الملاءمة العالية جداً للحصاد شكل 6-أ شرق ووسط الحوض حيث تتجاوز الأرقام المنحنية 95 بمناطق العمران والبرك ضمن مختلف المجموعات بمساحة 58.51 كم<sup>2</sup> بنسبة 4.58% من مساحة الحوض. وتظهر منطقة الملاءمة العالية حيث الأرقام المنحنية بين 90-95 بمناطق الزراعة مع المجموعة (D)، والأراضي الفضاء بالمجموعتين C و D وسط وأدنى الحوض، بمساحة 9.92 كم<sup>2</sup>، بنسبة 0.77%. وتغطي منطقة الملاءمة المعتدلة المراعي ضمن المجموعتين C و D الزراعة والشجيرات مع المجموعة (C)، والأراضي الفضاء بالمجموعة (B)، إذ الأرقام المنحنية بين 85-90 بمساحة 1104.32 كم<sup>2</sup> بنسبة 86.43%. وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة بمناطق الزراعة بالمجموعة (B) أدنى الحوض، إذ الأرقام المنحنية بين 80 - 85 بمساحة 4.97 كم<sup>2</sup> بنسبة 0.38% ومنطقة الملاءمة الضعيفة جداً بمناطق المراعي والشجيرات بالمجموعة (B) والأشجار بالمجموعة (C)، إذ يقل الرقم المنحني عن 80 أدنى ووسط الحوض بمساحة 99.86 كم<sup>2</sup> بنسبة 7.81% من مساحة الحوض.

ولعمق الجريان أهمية في تحديد مواقع حصاد المياه، ولهما علاقة طردية، وتتراوح عمق الجريان في الحوض بين 54.2 ملم إلى 143.7 ملم سنوياً، بمتوسط 93.4 ملم سنوياً. ويوضح الشكل 6-ب وقوع منطقة الملاءمة العالية جداً للحصاد حيث تتجاوز عمق الجريان 110 ملم شرق ووسط الحوض، بمساحة 59.54 كم<sup>2</sup>، بنسبة 4.66% من مساحة الحوض. وتبرز منطقة الملاءمة العالية للحصاد حيث عمق الجريان بين 110 - 100 ملم شمال الحوض بمساحة 249.37 كم<sup>2</sup>، بنسبة 19.51% من مساحة الحوض. وتغطي منطقة الملاءمة المعتدلة للحصاد جنوب شرق ووسط وشمال غرب الحوض حيث العمق بين 90-100 ملم بمساحة 573.7 كم<sup>2</sup> بنسبة 44.9%. وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة حيث عمق الجريان بين 90-80 ملم بمساحة 292.97 كم<sup>2</sup>، بنسبة 22.93%. وتظهر مناطق الملاءمة الضعيفة جداً حيث يقل العمق عن 80 ملم أدنى ووسط الحوض، بمساحة 102 كم<sup>2</sup> بنسبة 7.98% من مساحة الحوض.

#### 6. الخصائص البشرية للحوض:

تعتبر أغشية واستعمالات الأرض أحد أهم محددات مواقع منشآت حصاد المياه فمناطق العمران والطرق من الأسطح التي تعزز من حجم الجريان بصورة أكبر من التربة ومناطق الزراعة والغطاء النباتي حيث يقل حجم الجريان بسبب تسرب جزء كبير من مياه الأمطار، وعلى الرغم من أهمية الطرق والعمران في تحويل مياه العواصف إلى جريان، لكن مواضعهم غير ملائمة لإقامة منشآت الحصاد كبقية الأغشية الأخرى. يظهر الشكل 6-ج وقوع المنطقة التي تتصف بملاءمة ضعيفة جداً للحصاد المائي بمناطق العمران والبرك، بمساحة 58.59 كم<sup>2</sup> بنسبة 4.579% من مساحة الحوض.

وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة حيث تنتشر الأراضي الفضاء وسط وأدنى الحوض بمساحة 11.18 كم<sup>2</sup> بنسبة 0.87% من مساحة الحوض وتقع منطقة الملاءمة المعتدلة حيث تغطي المراعي غالبية مساحة الحوض، بمساحة 1187.58 كم<sup>2</sup> بنسبة 92.95% من مساحة الحوض. ومنطقة الملاءمة العالية بمناطق الأشجار والشجيرات أدنى ووسط أعلى الحوض بمساحة 0.101 كم<sup>2</sup> بنسبة 0.007% من مساحة الحوض. وتحتوي المنطقة التي تتصف بملائمة عالية جدا للحصاد الغطاء الزراعي أعلى الحوض بمساحة 20.2 كم<sup>2</sup> بنسبة 1.58% من مساحة الحوض. وبعد البعد من الطرق من الخصائص المهمة لاختيار مواقع الحصاد فتوفر الطرق يقلل تكاليف تشييد منشآت الحصاد والعكس وتراوح البعد من طرق الحوض بين 0-10.5 كم، بمتوسط 2.97 كم. ويظهر الشكل 6-د وقوع منطقة الملاءمة العالية جدا للحصاد شمال ووسط الحوض، حيث يقل البعد من الطرق عن 0.5 كم بمساحة 169.71 كم<sup>2</sup> بنسبة 13.28% من مساحة الحوض. ومنطقة الملاءمة العالية حيث البعد بين 0.5-1 كم بمساحة 137.14 كم<sup>2</sup> بنسبة 10.73% من مساحة الحوض. ومناطق الملاءمة المعتدلة حيث البعد بين 1-1.5 كم، بمساحة 114.1 كم<sup>2</sup> بنسبة 8.93% من مساحة الحوض. ومناطق الملاءمة المنخفضة ومناطق الملاءمة المنخفضة جدا للحصاد حيث يتجاوز البعد من الطرق 2 كم، بمساحة 733.17 كم<sup>2</sup> بنسبة 57.39% من مساحة الحوض.



الشكل 6. يبين الخرائط التالية: (أ) خريطة الأرقام المنحنية للجريان في حوض وادي الأحسبة (المصدر: الخريطة 4 ج، 5). (ب) خريطة عمق الجريان السطحي في حوض وادي الأحسبة (المصدر: الخريطة 4 د و 5 ب) (ج) اغطية واستعمالات الأرض بحوض وادي الأحسبة عام 2021 (المصدر: مرئية القمر Sentinel 2، دقة مكانية 10 م، ازري، 2022/12/30) (د) البعد من الطرق في حوض وادي الأحسبة (المصدر: طبقة Shapfile للطرق، أمانة منطقة الباحة، المملكة العربية السعودية). (هـ) البعد من تجمعات السكان في حوض وادي الأحسبة (المصدر: طبقة Shapfile، لتجمعات السكان، أمانة منطقة الباحة، المملكة العربية السعودية).

\* According to the maps, the area of very high suitability for harvesting is located in the east and center of the basin. It also shows the occurrence of a very high suitability area for harvesting, where the runoff depth exceeded 110 mm in the east and center of the basin. The distance from the roads is one of the important characteristics for selecting the harvesting sites. The distance from the basin roads ranged between 0-10.5 km, as the area of very high suitability for harvesting is located in the north and center of the basin. The distance from the population gatherings is important in determining the locations of the harvesting facilities. The distance in the basin ranged between 0-23.3 km, as it is clear that the area of very high suitability for harvesting facilities is located, as the distance is less than 1 km in the middle, north and south of the basin.



وللبعد من تجمعات السكان اهمية في تحديد مواقع منشآت الحصاد، وتراوح البعد في الحوض بين 0-23.3 كم، بمتوسط مكاني 5.05 كم. ويوضح الشكل 6-هـ وقوع منطقة الملاءمة العالية جدا لمنشآت الحصاد، إذ يقل البعد عن 1 كم وسط وشمال وجنوب الحوض، بمساحة 72.97 كم<sup>2</sup> بنسبة 5.71% من مساحة الحوض. وتقع منطقة الملاءمة العالية، إذ البعد بين 1 - 1.5 كم بمساحة 75.99 كم<sup>2</sup>، بنسبة 5.94% من مساحة الحوض. وتقع المناطق المعتدلة الملائمة حيث البعد بين 1.5 - 2 كم بمساحة 95.56 كم<sup>2</sup> بنسبة 7.47% من مساحة الحوض. ومناطق الملاءمة المنخفضة حيث البعد بين 2 - 2.5 كم بمساحة 103.66 كم<sup>2</sup> بنسبة 8.11% من مساحة الحوض. ومناطق الملاءمة المنخفضة جدا حيث تجاوز البعد 2.5 كم بمساحة 929.44 كم<sup>2</sup> بنسبة 72.74% من إجمالي مساحة الحوض.

## المواد وطرائق العمل

### 1. جمع ومعالجة البيانات واشتقاق الطبقات:

- أ. مراجعة الادبيات السابقة في البيانات الجبلية شبة الجافة لتحديد معايير نموذج ملائمة حصاد المياه بالحوض.
- ب. خريطة جيولوجية مقياس 1:250000 (وزارة البترول والموارد المعدنية، الرياض، 1983). تم اعادة ارجاعها ومنها اشتقت طبقتي انواع الصخور والصدوع.
- ج. نموذج ارتفاع رقمي DEM للقمر (SRTM) دقة 30 م تم الحصول عليه من موقع المساحة الجيولوجية الأمريكية (<https://earthexplorer.usgs.gov>)، وتم معالجته ومنه اشتقت طبقتي التضاريس والأودية.
- د. خرائط التربة مقياس 1:250000 (وزارة الزراعة والمياه، الرياض، 1986). تم معالجتها واشتقاق طبقة نوع التربة. واشتقت رطوبتها من طبقة (Raster) من موقع ناسا (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>)، واشتقت مجموعات التربة الهيدرولوجية من طبقة (Raster) من موقع ناسا (<https://daac.ornl.gov/>)، اما خريطة معامل احتفاظ التربة بالماء فتم اشتقاقها بتطبيق المعادلة الآتية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية:  

$$S = 25400 / (CN - 254) \cdot (USDA, TR-55, 2-1).$$
حيث S الإمكانيات القصوى للتربة على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان، CN الأرقام المنحنية الناتجة من مطابقة أغشية الأرض والمجموعات الهيدرولوجية للتربة.
- هـ. بيانات مناخية للحرارة والأمطار، تم الحصول عليها على شكل طبقات (Raster) من موقع ناسا (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov>)، وتم معالجة كل منها تمهيداً لاشتقاق خريطتي حرارة وأمطار الحوض.
- و. بيانات الهيدرولوجيا كالأرقام المنحنية (CN) المشتقة من جداول مصلحة صيانة التربة الأمريكية بعد دمج طبقتي مجموعات هيدرولوجية التربة وأغشية الأرض بخوارزمية (Combine) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، اما طبقة عمق الجريان السطحي فقد اشتقت بتطبيق معادلة مصلحة صيانة التربة الأمريكية:

$$Q = (P - 0.2S)^2 / ((P + 0.8S) \cdot (USDA, TR-55, 2-1)).$$

إذ أن: Q عمق الجريان، P طبقة الأمطار، S طبقة إمكانيات التربة القصوى على الاحتفاظ بالماء بعد بدء الجريان، Ia المستخلصات الأولية قبل بدء الجريان وتساوي خمس قيمة إمكانيات احتفاظ التربة بالماء.

- ز. بيانات الغطاء الأرضي اشتقت من طبقة (Raster) بدقة مكانية 10 م للقمر (Sentinel 2) تم الحصول عليها من موقع اريزي (<https://www.arcgis.com>)، اما طبقتي البعد من الطرق والسكان فقد تم اشتقاقهما باستخدام خوارزمية المسافة الإقليدية في بيئة نظم المعلومات الجغرافية بالاعتماد على طبقتي (Shapfile line, Shapfile points) تم الحصول عليهما من أمانة منطقة الباحة.
- ي. تهيئة البيانات بإعادة ارجاع طبقات (Raster) من نظام الارجاع الجغرافي (Gcs\_WGS\_1984) الى النظام المترى (UTM\_ZONL\_37N)، وتحسين دقتها المكانية وتوحيدها مع دقة طبقة اغشية الارض عند 10 م، وذلك من خلال تحويل طبقات (Raster) الى (Shapfile Point)، وعمل (Interpolation) باستخدام خوارزمية (Spline) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية.

$$S(x,y) = T(x,y) + \sum_{j=1}^N \lambda_j R(r_j). \quad (Franke, 1982, p. 276)$$

### 2. بناء نموذج الملاءمة:

بعد الانتهاء من اشتقاق الطبقات تم إعادة تصنيفها وترميزها، وبدايةً دمجت طبقات متغيرات كل معيار على حده لتحديد ملائمته للحصاد، وبالتالي تم بناء نموذج ملائمة مكانية لتحديد انصب مواقع حصاد المياه في الحوض باستخدام طريقتي التسلسل الهرمي (Analytic Hierarchy Process)، لتحديد اوزان المعايير، ونظم المعلومات الجغرافية حيث جبرت المعايير الجيولوجية والطبوغرافية والمناخية والبيدولوجية والهيدرولوجية والبشرية بالحاسبة الخلوية (Raster Calculator) في بيئة نظم المعلومات الجغرافية، لنحصل على طبقة واحدة تبين نسب ملائمة الحوض للحصاد وفقاً لجميع معايير النموذج.

### النتائج والمناقشة

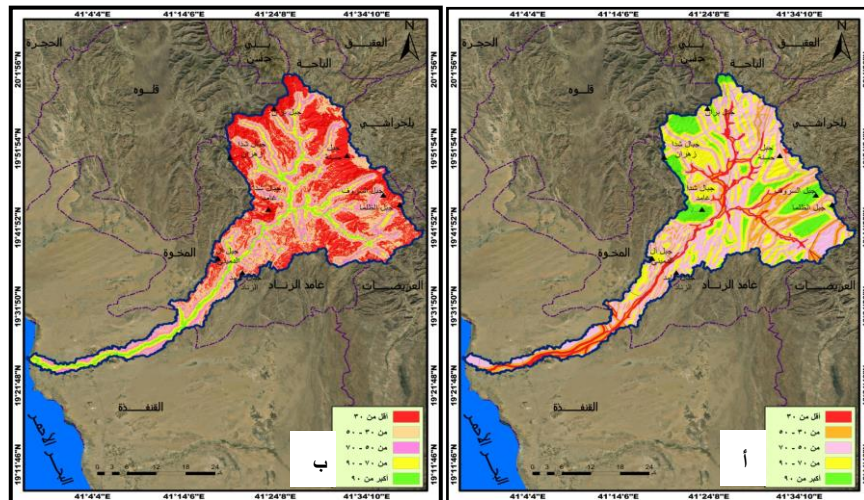
#### ملاءمة معايير النموذج لحصاد المياه في الحوض

##### ملاءمة الجيولوجية للحصاد المائي:

توصلت نتائج نمذجة الخصائص الجيولوجية تراوح ملائمتها بين 20% الى 100%، بمتوسط مكاني 68.6%. وتظهر منطقة الملاءمة الضعيفة جداً لمنشآت الحصاد الشكل 7-أ وسط وأدنى الحوض حيث تقل الملاءمة عن 30%، بمساحة 107.49 كم<sup>2</sup>، بنسبة 8.41% من مساحة الحوض. وتظهر مناطق الملائمة الضعيفة جنوب شرق وشمال شرق وأدنى الحوض، حيث الملاءمة بين 30-50% بمساحة 163.47 كم<sup>2</sup>، بنسبة 12.8%. وتغطي منطقة الملاءمة المعتدلة جنوب شرق وشمال وأدنى الحوض حيث الملاءمة بين 50-70% بمساحة 500.14 كم<sup>2</sup>، بنسبة 39.15%. ومنطقة الملاءمة العالية بين 70-90% شمال غرب وجنوب وأدنى الحوض، بمساحة 358.18 كم<sup>2</sup>، بنسبة 28.03%. وتقع منطقة الملاءمة العالية جداً حيث تتجاوز النسبة 90% شرق وشمال غرب الحوض، بمساحة 148.3 كم<sup>2</sup>، بنسبة 11.6% من مساحة الحوض.

##### ملاءمة التضاريس للحصاد المائي

تؤكد نتائج نمذجة متغيرات تضاريس الحوض للحصاد تراوح ملائمتها بين 20% الى 100%، بمتوسط مكاني 49.2%. وتقع منطقة الملائمة الضعيفة جداً لمنشآت حصاد المياه الشكل 7-ب حيث تقل نسبة الملاءمة عن 30% اعلى الحوض، بمساحة 456.18 كم<sup>2</sup>، بنسبة 35.7% من مساحة الحوض. ومنطقة الملاءمة الضعيفة حيث النسبة بين 30-50% شمال وشرق ووسط الحوض، بمساحة 378.86 كم<sup>2</sup>، بنسبة 29.65%. وتظهر منطقة الملاءمة المعتدلة حيث الملاءمة بين 50-70% شمال وجنوب شرق ووسط وأدنى الحوض، بمساحة 236.49 كم<sup>2</sup>، بنسبة 18.51%. وتقع المنطقة ذات الملاءمة العالية بين 70-90% وسط وأدنى الحوض، بمساحة 157.2 كم<sup>2</sup>، بنسبة 12.3%. وتبرز منطقة الملاءمة العالية جداً للحصاد حيث تتجاوز الملاءمة 90% بمحاذاة مجاري الأودية، بمساحة 48.86 كم<sup>2</sup> بنسبة 3.82% من إجمالي مساحة الحوض.



الشكل 7. يبين الخرائط التالية: (أ) خريطة ملائمة الخصائص الجيولوجية للحصاد بحوض وادي الاحسبة استناداً الى الشكل 2 أ، ب. (ب) خريطة ملائمة خصائص التضاريس للحصاد بحوض وادي الاحسبة استناداً الى الشكل 3.

\* It is noted that the high suitability zone is located northwest, south, and the lowest of the basin. As for the very high, it is located east and northwest of the basin. The results of modeling the topography variables of the basin for harvest confirm the

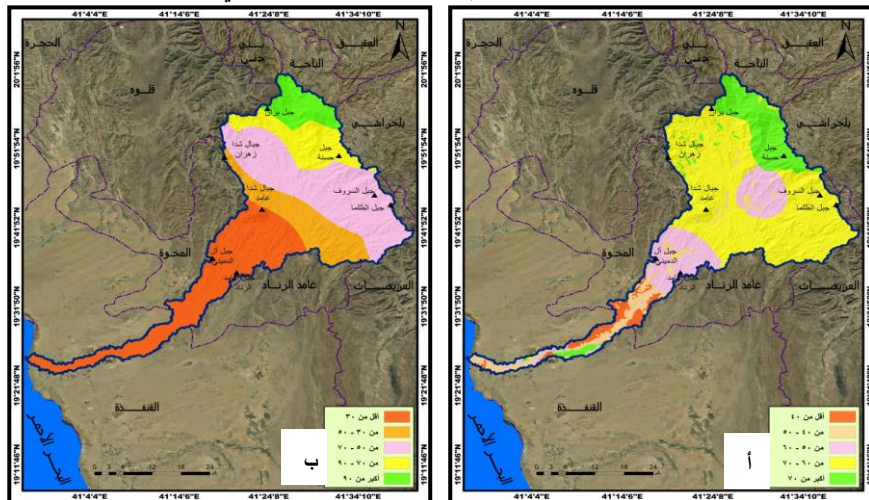
occurrence of highly suitable areas in the middle and lower part of the basin. The area of very high suitability for harvesting stands out along the streams of the valleys.

### ملاءمة البيولوجية للحصاد المائي

تظهر نتائج نمذجة خصائص تربة الحوض تراوح ملاءمتها للحصاد المائي بين 30% إلى 88% بمتوسط 62.8%. وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة جداً للحصاد الشكل 8-أ أدنى الحوض بملاءمة تقل عن 40%، بمساحة 51.28 كم<sup>2</sup>، بنسبة 4.01% من مساحة الحوض. وتبرز منطقة الملاءمة الضعيفة للحصاد حيث تتراوح النسبة بين 40-50% شمال وأدنى ووسط الحوض، بمساحة 89.3 كم<sup>2</sup>، بنسبة 6.99%. وتقع المنطقة التي تتسم بملاءمة معتدلة وسط وأدنى الحوض حيث الملاءمة بين 50-60%، بمساحة 223.78 كم<sup>2</sup>، بنسبة 17.51%. ومنطقة الملاءمة العالية حيث النسبة بين 60-70% وسط وجنوب شرق وشمال غرب الحوض بمساحة 711.3 كم<sup>2</sup>، بنسبة 55.67%. وتظهر منطقة الملاءمة العالية جداً شمال شرق وجنوب الحوض، حيث تتجاوز الملاءمة 70%، بمساحة 201.92 كم<sup>2</sup>، بنسبة 15.8% من مساحة الحوض.

### ملاءمة المناخ للحصاد المائي

تبين نتائج نمذجة خصائص المناخ لمنشآت حصاد المياه تراوح الملاءمة بين 20% إلى 100%، بمتوسط 50.4%. وتقع المنطقة التي يتصف مناخها بملاءمة ضعيفة جداً للحصاد الشكل 8-ب أدنى الحوض، حيث تقل الملاءمة عن 30% بمساحة 395.6 كم<sup>2</sup>، بنسبة 30.96% من مساحة الحوض. وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة وسط الحوض، حيث الملاءمة بين 30-50% بمساحة 193.16 كم<sup>2</sup>، بنسبة 15.11%. ومنطقة الملاءمة المعتدلة جنوب شرق ووسط وشمال غرب الحوض حيث الملاءمة بين 50-70% بمساحة 430.15 كم<sup>2</sup>، بنسبة 33.67%. ومنطقة الملاءمة العالية جنوب شرق ووسط وشمال غرب الحوض، حيث الملاءمة بين 70-90%، بمساحة 154.37 كم<sup>2</sup>، بنسبة 12.08%. وتظهر منطقة الملاءمة العالية جداً شمال شرق الحوض، حيث تتجاوز الملاءمة 90% بمساحة 104.31 كم<sup>2</sup>، بنسبة 8.16% من إجمالي مساحة الحوض.



الشكل 8. يبين الخرائط التالية: (أ) خريطة ملائمة خصائص التربة للحصاد بحوض وادي الأحسية استناداً إلى الشكل (4-أ). (ب) خريطة ملائمة خصائص المناخ للحصاد في حوض وادي الأحسية استناداً إلى الشكل (5 أ، ب).

\* The basin soil character modeling map shows that the zone of high suitability is located in the center, southeast, and northwest of the basin. The region of very high suitability is in the northeast and south of the basin. The climate-characteristics modeling map for water-harvesting facilities shows that the high suitability region is located in the southeast, center, and northwest of the basin. The region shows very high suitability in the northeast of the basin.

### ملاءمة الهيدرولوجيا للحصاد المائي

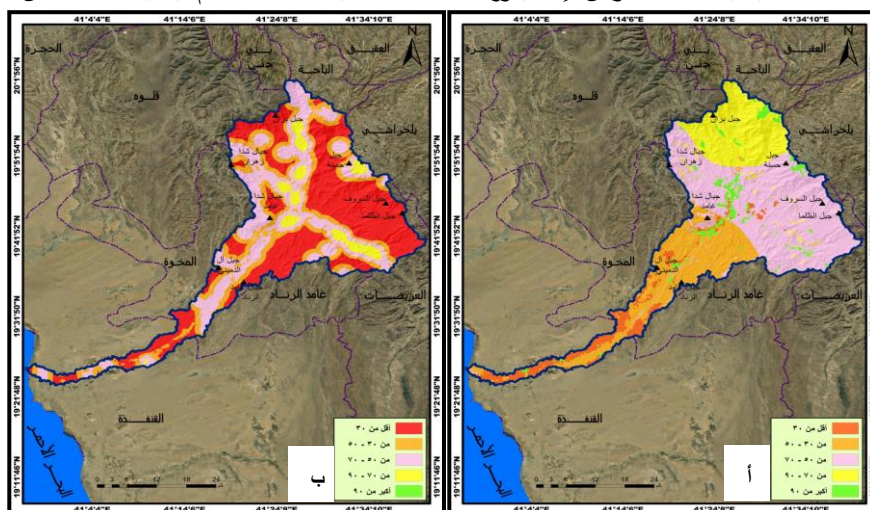
تبين نتائج نمذجة ملاءمة خصائص هيدرولوجية الحوض للحصاد، تراوح نسبة الملاءمة بين 20% إلى 100% بمتوسط 58.4%. وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة جداً للحصاد الشكل 9-أ أدنى الحوض حيث تقل نسبة الملاءمة عن 30% بمساحة 101.61 كم<sup>2</sup> بنسبة 7.95% من مساحة الحوض.



وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة وسط وأدنى الحوض بملاءمة بين 30-50% بمساحة 292.78 كم<sup>2</sup> بنسبة 22.91%. ومنطقة الملاءمة المعتدلة جنوب شرق ووسط وشمال غرب الحوض بملاءمة بين 50-70% بمساحة 574.56 كم<sup>2</sup> بنسبة 44.97%. وتظهر منطقة الملاءمة العالية شمال وشمال شرق الحوض بملاءمة بين 70-90% بمساحة 249.5 كم<sup>2</sup> بنسبة 19.52%. ومنطقة الملاءمة العالية جداً شمال وشرق ووسط الحوض، حيث تتجاوز الملائمة 90%، بمساحة 59.14 كم<sup>2</sup> بنسبة 4.62% من مساحة الحوض.

#### ملائمة الخصائص البشرية للحصاد المائي

توصلت نتائج نمذجة الخصائص البشرية لحصاد المياه تراوح ملاءمتها بين 20% الى 100%، بمتوسط 42.8%. وتقع منطقة الملاءمة الضعيفة جداً الشكل 9-ب جنوب شرق وشمال وأدنى الحوض بملاءمة تقل عن 30% بمساحة 557.29 كم<sup>2</sup> بنسبة 43.62%. وتبرز منطقة الملاءمة الضعيفة وسط وغرب الحوض بملاءمة 30-50% بمساحة 299.05 كم<sup>2</sup> بنسبة 23.4%. وتقع منطقة الملاءمة المعتدلة وسط وشمال غرب الحوض بملاءمة 50-70% بمساحة 351.44 كم<sup>2</sup> بنسبة 27.5%. ومنطقة الملاءمة العالية شرق ووسط الحوض، بالملاءمة بين 70-90% بمساحة 69.65 كم<sup>2</sup> بنسبة 5.45%. ومنطقة الملاءمة العالية جداً شمال الحوض، إذ تتجاوز الملاءمة 90% بمساحة 0.15 كم<sup>2</sup> بنسبة 0.01% من مساحة الحوض.



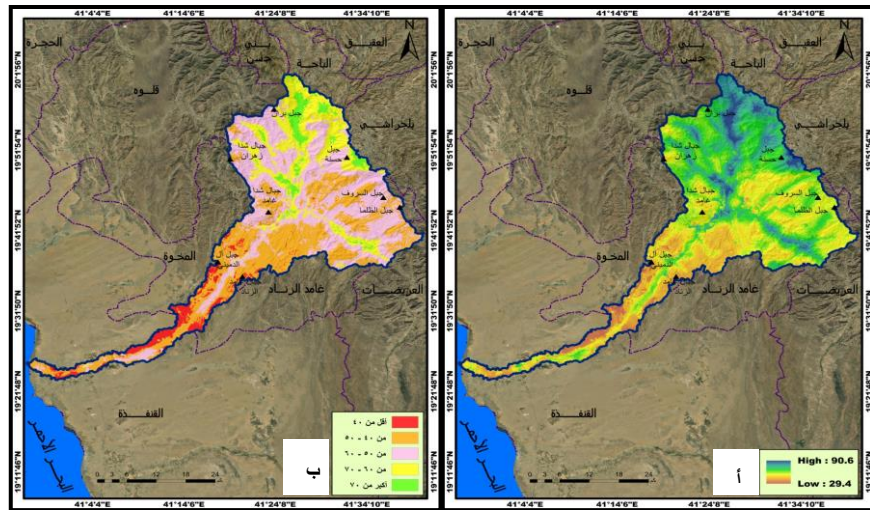
الشكل 9. يبين الخرائط التالية: (أ) خريطة ملائمة الخصائص الهيدرولوجية للحصاد بحوض وادي الأحسبة استناداً الى الشكل (6). (ب) خريطة ملائمة الخصائص البشرية لحصاد المياه بحوض وادي الأحسبة استناداً الى الشكل (6 ج-د-هـ).

\* A modeling map of the suitability of the basin's hydrological characteristics for harvesting shows that the high suitability area is located north and northeast of the basin. The very high suitability zone is in the north, east and center of the basin. The anthropogenic modeling map of aquatic harvesting represents a region of high suitability in the east and center of the basin. The region of very high suitability is in the north of the basin.

#### الملائمة المكانية لحصاد المياه في الحوض

توصلت نتائج نموذج الملاءمة المكانية لحصاد مياه الأمطار بجبر طبقات معايير الجيولوجيا بوزن 10% والتضاريس 15% والتربة 25% والمناخ 15% والهيدرولوجيا 15% والمعيار البشري 20% في نظم المعلومات الجغرافية الشكل 10-أ تراوحت نسبة الملاءمة بين 29.4% الى 90.6% بمتوسط مكاني 53.4%.

وتقع منطقة الملاءمة المكانية الضعيفة جداً لمنشآت حصاد المياه الشكل 10-ب جنوب وأدنى الحوض، حيث تقل نسبة الملائمة عن 40%، بمساحة 73.14 كم<sup>2</sup>، بنسبة 5.72% من مساحة الحوض. وتغطي منطقة الملاءمة الضعيفة وسط وأدنى وجنوب شرق الحوض، حيث نسب الملائمة بين 40-50%، بمساحة 409.68 كم<sup>2</sup> بنسبة 32.06% من مساحة الحوض. وتقع منطقة الملاءمة المعتدلة وسط وجنوب شرق وشمال غرب الحوض، إذ نسب الملائمة بين 50-60% بمساحة 506.9 كم<sup>2</sup> بنسبة 39.68% من مساحة الحوض. ومنطقة الملاءمة العالية شمال ووسط الحوض، حيث نسب الملاءمة بين 60-70% بمساحة 231.3 كم<sup>2</sup> بنسبة 18.1% من مساحة الحوض. ومنطقة الملاءمة العالية جداً شمال ووسط الحوض، إذ تتجاوز نسبة الملائمة 70% بمساحة 56.57 كم<sup>2</sup> بنسبة 4.42% من مساحة الحوض.



الشكل 10. يبين الخرائط التالية: (أ) خريطة نسب الملائمة المكانية لحصاد المياه بحوض وادي الأحسبة استناداً الى الشكل (8-أ). (ب) فئات الملائمة المكانية لحصاد المياه في حوض وادي الأحسبة استناداً الى الشكل (8-ب).

\* The spatial fit model map for rainwater harvesting in the basin is illustrated. The suitability rate ranged from 29.4 to 90.6%, with a spatial mean of 53.4%. The suitability zone for high and very high-water harvesting facilities is located in the north and center of the basin.

#### الاستنتاجات

توصلت الدراسة الى امتلاك حوض وادي الاحسبة متغيرات بيئية مكانية تشجع على عملية الحصاد المائي في الحوض، ومن تلك المتغيرات تنوع التركيب الجيولوجي وتوفر مناطق آمنة لتشييد منشآت الحصاد المائي في الحوض، حيث بلغ متوسط ملائمة الحوض جيولوجياً 68.6%. فضلاً عن توفر خصائص جيومورفولوجية ومورفومترية ومساحية وشكلية وطبوغرافية تدعم عملية الحصاد المائي في الحوض، اذ بلغ متوسط ملائمة تضاريس الحوض 49.2%. وتدعم بعض متغيرات التربة عملية الحصاد، فجفاف التربة لا يشجع كثيراً على الحصاد، ويؤكد ذلك متوسط رطوبتها الذي لا يتعدى 35.73%، في حين تدعم مجموعات هيدرولوجية للتربة بصورة كبيرة عملية الحصاد في الحوض، فنحو 91.22% من إجمالي مساحة الحوض تقع بمناطق تتصف بملاءمة عالية الى عالية جداً للحصاد، وتشجع قدرة التربة التخزينية للمياه بشكل نسبي عملية الحصاد في الحوض، اذ لا تتجاوز نسبة مساحة المناطق التي تتصف بملاءمة عالية الى عالية جداً للحصاد 5.35% من مساحة الحوض، مع ذلك يعتبر معيار التربة أكثر اهمية في دعم عملية الحصاد المائي مقارنة بالتضاريس، ويؤكد ذلك متوسط ملائمتها للحصاد بلغت 62.8%. وأكدت نتائج تحليل مناخ الحوض جدوى استغلال متغيري الحرارة والامطار في عملية الحصاد في الجزئين الاعلى والأوسط من الحوض بعكس الجزء الادنى منه، ويبلغ متوسط ملائمة معيار المناخ 50.4%. وتعكس نتائج تحليل المتغيرات الهيدرولوجية في الحوض وجود امكانية جيدة لاستغلالها في حصاد المياه، فقد اظهرت قيم الارقام المنحنية للجريان سطح الحوض على تحويل ما نسبته 73% الى 98% من مياه الامطار الى جريان، ووقوع غالبية مساحة الحوض ضمن المنطقة التي لها قدرة على تحويل 81% من مياه الامطار الى جريان سطحي يمكن حصاده، ومتوسط عمق الجريان السطحي 93.4 ملم سنوياً، وهذا يعني ان هناك امكانية لحصاد 119.34 مليون متر مكعب سنوياً، وبذلك بلغ متوسط ملائمة المعيار الهيدرولوجي 58.4%. ويمتلك الحوض شبكة جيدة من الطرق يمكن تسهم في تقليل تكاليف تشييد منشآت الحصاد، وبلغ متوسط ملائمة المعيار البشري 42.8%. وتوصلت نتائج تطبيق النموذج الى انه لا توجد منطقة في الحوض تعاني من انعدام الملاءمة المكانية للحصاد، ويؤكد ذلك ان ادنى نسبة ملائمة بلغت 29.4%، كما لا يوجد أي منطقة في الحوض حققت ملائمة بنسبة 100%، اذ بلغت أعلى نسبة ملائمة مكانية للحصاد في الحوض 90.6%، بمتوسط على المستوى المكاني للحوض بلغ 53.4%. وبذلك توصي هذه الدراسة الجهات المختصة في وزارة الزراعة والمياه الى استغلال هذه الامكانيات البيئية لتنمية الموارد المائية، وتخفيف الآثار البيئية لموقع الحوض، لاسيما التخفيف من حدة الجفاف بأنواعه المختلفة المناخي والهيدرولوجي والزراعي والاجتماعي والاقتصادي، خاصة في الجزئين الاعلى والأوسط حيث تتوفر المقومات المكانية الجيدة للحصاد، وتنتشر التجمعات السكانية بما يضمن تغطية احتياجات السكان من المياه في مختلف الاستخدامات، وتحقيق التنمية البيئية المستدامة لمختلف مكونات النظام البيئي في الحوض.

## References

- Abd-el-Kader, M., Elfeky, A., Saber, S., AlHarbi, M., & Alataway, A. (2021). Designating Appropriate Areas for Determining Potential Rainwater Harvesting in Arid Region Using a GIS-based Multi-criteria Decision Analysis, pp.1-36.
- Alzghoula, M., & Al-husbanb, Y. (2021). Rainwater harvesting and storage in Asir, Kingdom of Saudi Arabia, using spatial modeling and geographic information systems. *Desalination and Water Treatment*, 233, pp.19–29.
- Awawdeh, M., Obeidat, M., & Seelawi, N. (2010). Mapping Potential Sites for Rainwater Harvesting (Dams) in the Pan-Handle of Jordan Using Geographic Information Systems, International Conference on Water Resources and Arid Environments, Riyadh, Saudi Arabia, pp. 844- 857.
- Balkhair, K. S., & Ur Rahman, K. (2019). Development and assessment of rainwater harvesting suitability map using analytical hierarchy process. *GIS and RS techniques Geocarto International*, 36(4), 421-448.
- ESRE, Land use/land cover. (2022). Source imagery, Sentinel-2, spatial resolution 10 m.
- Kahinda, J. M., Lillie, E. S. B., Taigbenu, A. E., Taute, M. & Boroto, R. J. (2008). Developing suitability maps for rainwater harvesting in South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, 33, 788–799.
- Mahmoud, S. H., & Alazba, A. A. (2015). The potential of in situ rainwater harvesting in arid regions: developing a methodology to identify suitable areas using GIS-based decision support system. *Arab J Geosci*, 8, 5167–5179.
- Mahmoud, S. H., Mohammad, F. S., & Alazba. A. A. (2015). Delineation of potential sites for rainwater harvesting structures using a geographic information system-based decision support system. *Hydrology Research*, 46, 591-606.
- Mahmoud, S. H. (2014). Delineation of potential sites for groundwater recharge using a GIS-based decision support system. *Environmental Earth Sciences*, 72, 3429–3442.
- Mbilinyi, B. P., Tumbo, S. D., Mahoo, H. & Mkiramwinyi, F. O. (2007). GIS-based decision support system for identifying potential sites for rainwater harvesting. *Phys. Chem. Earth*, 32 (15), 1074–1081.
- Ministry of Agriculture and Water.(1986). Atlas of the General Map of Soils. Soil Maps (184, 185), scale, 1:250000, Riyadh, pp. 1-314.
- Ministry of Petroleum and Mineral Resources. (1983). Al-Qunfudhah Geological Map. scale 1:250000, Riyadh.
- NASA, Digital Earth Climate Data. (2022), spatial resolution of 0.25-0.50°.
- NASA, Several datasets including land cover, biophysical parameters, elevation, and selected ORNL DAAC archived data are available through SDAT. (2022). spatial resolution of 228- 1088 m.
- Setiawan, O., & Nandin, R. (2021). Identification of suitable sites for rainwater harvesting using GIS based multi-criteria approach in Nusa Penida Island, Bali Province. Indonesia, 4th International Conference on Environmental Resources, Management (ICERM-2021) *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 1039 (2022) 012010, IOP Publishing, pp1-19.
- Toosi, A. S., Tousi, E. G., Ghassemi, S. A., Cheshomi, A., & Alaghmand, S. (2020), A multi-criteria decision analysis approach towards efficient rainwater harvesting. *Journal of Hydrology*, 582, 124- 135.
- USGS. Digital elevation modeling. 2022. spatial resolution 30 m.
- USDA, TRR-55. (1986). Urban Hydrology for small watersheds, USA.