مجلـــــة العلـــــوم التربـــــوية والدراســـــات الإنســـــانيـــة
ISSN: 2709-0302 (online)

Humanities and Educational Sciences Journal
ISSN: 2617-5908 (print)

تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار لتغذية المياه الجوفية اصطناعياً في الحوض المائي لمدينة إب - اليمن باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية(*)

د/ عادل حمود لطف ناجي
أستاذ الجيولوجيا المساعد - قسم الجغرافيا
كلية الآداب - جامعة إب - اليمن.
joodtabark2021@gmail.com

أ/ محمد عبده أحمد علي الورافي
قسم الجغرافيا كلية الآداب
جامعة إب - اليمن.
m772269889@gmail.com

*) تاريخ تسليم البحث 5/4/2022 تاريخ قبوله للنشر 7/7/2022
*) موقع المجلة: http://hesj.org/ojs/index.php/hesj/index

تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار لتغذية المياه الجوفية اصطناعياً في الحوض المائي لمدينة إب - اليمن باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية

د/ عادل حمود لطف ناجي
أستاذ الجيولوجيا المساعد - قسم الجغرافيا
كلية الآداب - جامعة إب - اليمن.

أ/ محمد عبده أحمد علي الورافي
قسم الجغرافيا كلية الآداب
جامعة إب - اليمن.

المستخلص

تُعنى هذه الدراسة بتحديد المواقع الملائمة لأماكن تجميع مياه الأمطار والسيول في مدينة إب، فضلاً عن تحديد أهم نظم حصاد المياه المناسبة للمواقع المختارة، تم الاستعانة في هذه الدراسة ببيانات نموذج الارتفاع الرقمي لمدينة إب، ونظم المعلومات الجغرافية، لاستخلاص الخصائص الطبوغرافية، والهيدرولوجية لمنطقة الدراسة، ومن خلال تحليل الخصائص الطبوغرافية، والجيولوجية، والهيدرولوجية لمدينة إب، تم استخلاص أهم المعايير والاعتبارات المناسبة لتحديد المواقع الملائمة لحصاد المياه، التي تلبي المتطلبات الأساسية لتقنية الحصاد المقترح إقامتها، بحيث تتوافق طريقة التقنية الملائمة لحصاد المياه مع الظروف الاجتماعية، والاقتصادية، والزراعية، والجيولوجية، والطبوغرافية للمنطقة، واستناداً لذلك توصلت الدراسة إلى تحديد (3) مواقع مثلى لأماكن تجميع مياه الجريان السطحي لتغذية المياه الجوفية، الموقع الأول المقترح الرئيس تم تحديده في الركن الجنوبي الشرقي لمنطقة الدراسة، عند بداية الرتبة الخامسة للمجرى المائي الرئيس لالتقاء معظم المجاري المائية لسطح المدينة (سائلة مفرق ميتم)، واقتراح إقامة سد ترشيحي لحصاد المياه مع تنفيذ آبار للشحن، أما الموقع الثاني فاختير عند بداية الرتبة الرابعة، واقترح إنشاء حاجز مائي على مجرى الوادي لسائلة جبلة، وأخيراً الموقع الثالث المقترح فيقع بالقرب من سائلة قحزة – السبل، والطريقة المناسبة لحصاد المياه هي بإنشاء حفر مائية اصطناعية (برك أو كرف).

الكلمات المفتاحية: نظم حصاد المياه، التغذية الاصطناعية، الخصائص الهيدرولوجية، المعايير والاعتبارات، المواقع المختارة لحصاد المياه، مدينة إب – اليمن.

Identifying the Optimal Sites for Rainwater harvesting (RWH) for Artificial Recharge of Groundwater in the Basin of Ibb city Using RS and GIS

Dr. Adel Hammood Lotf Nagi
Assistant Professor of Geology, Department of Geography, College of Arts, Ibb University, Yemen

Mohammed Abdu Ahmed Ali Al-Warafi
Department of Geography, College of Arts, Ibb University, Yemen.

Abstract

This study is concerned with identifying the optimal sites for rainwater and torrential rainwater collection sites in the city of Ibb, as well as identifying the most important water harvesting systems suitable for the selected sites. In this study, the data of the digital elevation model of the city of Ibb and geographic information systems were used to extract the topographic and hydrological characteristics of the study area. Through the analysis of the topographical, geological, and hydrological characteristics of the city of Ibb, the most important criteria and appropriate considerations were extracted to identify the suitable sites for water harvesting, which meet the basic requirements of the proposed harvesting technology. This is done to ensure that the appropriate technique of water harvesting is compatible with the social, economic, agricultural, geological and topographical conditions of the area. Based on that, the study concluded that (3) optimal sites for surface runoff water collection sites to recharge groundwater: the first proposed main site was identified in the southeast corner of the study area, at the beginning of the fifth grade of the main waterway to meet most of the waterways of the city's surface (Maitam junction fluid), and a proposal to build a filter dam to harvest water with the implementation of shipping wells; the second site was chosen at the beginning of the rank fourth. It was also suggested to establish a water barrier on the course of the valley for Jeblah waterway. The third proposed site, finally, is located near Qahza-Sabal waterway, and the appropriate way to harvest water is to create artificial water pits (ponds or kerfs).

Key words: water harvesting systems, artificial feeding, hydrological characteristics, standards and considerations, selected sites for water harvesting, Ibb city-Yemen.

المقدمة:

في ثمانيات وتسعينات القرن الماضي كان الحوض المائي لمدينة إب من الأحواض ذات الفائض المائي، إلا أن مدينة إب في السنوات الأخيرة وبالأخص في بداية عام (2015م) شهدت بدء مشكلة عجز في المياه، وانخفاض مستوى المياه في الآبار، بينما تعاني حالياً تفاقماً مشكلة العجز في المياه، ونظراً إلى أن كميات السحب من المياه الجوفية أكثر بكثير من كميات التغذية السنوية، ولعل أن من أهم أسباب هذه المشكلة الزيادة الكبيرة في الكثافة السكانية، والتوسع العمراني الكبير الحاصل في مدينة إب؛ ما أدى إلى ازدياد الحاجة للمياه، واشتداد الطلب له ونظراً لما تتمتع به هذه مدينة إب من مقومات مشجعة لتطبيق تقنيات حصاد المياه؛ كون المدينة محاطة بسلسلة من الجبال المرتفعة والتي تتميز بانحدارها الشديد وانحدار الوديان (المجاري المائية الموسمية) نحو البحر، وتفادياً لضياع كمية كبيرة من مياه الأمطار التي تسقط بغزارة في مواسم الأمطار على مساحة صغيرة. وانطلاقاً من حاجة مدينة إب للمياه فقد كان لا بدء من التفكير بالقيام بمشاريع حصاد مياه الأمطار لدعم تغذية المياه الجوفية وفق الطرق العلمية والتقنيات الحديثة.

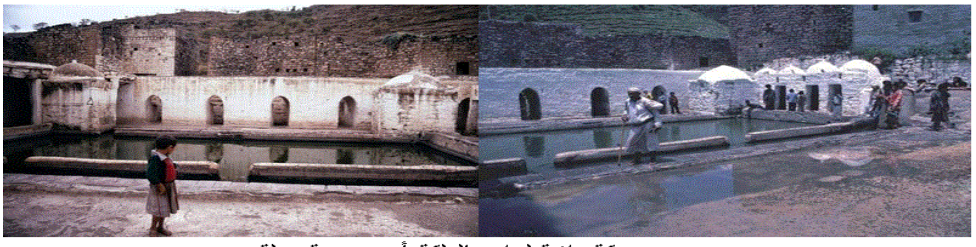
ومن الجدير بالذكر في هذا السياق الإشارة إلى المزارع اليمني لا سيما في منطقة الدراسة قد تنبه إلى هذه الفكرة (استثمار مياه الأمطار والسيول) منذ مئات السنين وترجم ذلك عملياً بابتكار وسائل وتقنيات وفقاً للمتاح، حيث لوحظ وجود بقايا لبعض تقنيات حصاد مياه الأمطار في مدينة إب وفي ضواحيها مثل: وجود القنوات المائية (قناة لنقل المياه من المناطق الجبلية المرتفعة إلى داخل المدن) لتزويد البيوت والمساجد بالمياه، وعلى سبيل المثال قناة نقل المياه من جبل بعدان إلى داخل مدينة إب القديمة، كذلك قناة نقل المياه إلى داخل مدينة جبلة التاريخية لوحة (1)، كذلك اشتهرت مدينة إب قديماً ببناء السدود المائية (البرك المائية) وهي عبارة عن حفر متوسطة الحجم تم حفرها داخل الأرض لحجز مياه الأمطار والسيول فيها، ولعلى من أشهرها ما كان يعرف بسد الإبي، وسد أبلان، وسد بهور، والبركة المائية لجامع الملكة أروى، والبركة المائية للجامع الكبير لمدينة إب القديمة لوحة (2).

القنوات المائية (الساقية) لمدينة إب القديمة

القنوات المائية لمدينة جبلة التاريخية

لوحة (1): صور للقنوات المائية (الساقية) في مدينة إب وفي مدينة جبلة.

سد أبلان (بركة مائية) في مدينة إب سد بهور (داخل جامعة إب) مدينة إب



بركة مائية لجامع الملكة أروى مدينة جبلة

لوحة (2): صور سد أبلان وسد بهور في مدينة إب والبركة المائية لجامع الملكة أروى في مدينة جبلة.

وفي السنوات الثلاث الأخيرة قامت السلطة المحلية لمحافظة إب ممثلة بمكتب مؤسسة المياه والصرف الصحي فرع إب بتجارب ومشاريع التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية، حيث تم حفر برك اصطناعية (كرفانات) في منطقة الحوض المائي وما حوله خصوصاً جوار مجرى

السيول لتجميع مياه الأمطار من أجل تسريب هذه المياه إلى جوف الأرض لتغذية مياه الحوض المائي، وهذه البرك الاصطناعية عبارة عن حفر في الأرض (كرف)، وبمساحات سطحية تتراوح ما بين (1000–1500)م^2، وبأعماق تتراوح بين (10–20)م، وذات سعة تخزينية تتراوح ما بين (13300–90000)م^3، يتم تنفيذها جوار مجرى السيول الواقعة أعلى ووسط الأحواض المائية، وحتى نهاية عام 2021م تم حفر (5) كرفانات في مدينة إب واللوحة (3) صور لأعمال الحفر والإنشاء في الكرفانات التالية:

1–كرف ميتم رقم (1) البحوث الزراعية بسعة (90000)م^3.

2–كرف ميتم رقم (2) بسعة (13300)م^3.

3–كرف جبلة رقم (1) بسعة (30000)م^3.

4–كرف جبلة رقم (2) بسعة (15000)م^3.

5–كرف قحزة الخربة بسعة (15000)م^3، (المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي محافظة إب، 2021، ص1). ولا بد من الإشارة إلى أن إنشاء هذه الكرفانات من قبل المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي محافظة إب تم بطرق تقليدية، وبدون اتباع منهج علمي، يعتمد على التقنيات الحدية كالاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، كذلك عدم الأخذ بالمعايير والاعتبارات الواجب توافرها في أي موقع والتي يتم استخلاصها من خلال تحليل الخصائص الطبوغرافية، والجيولوجية، والهيدرولوجية للمواقع الملائمة لإقامة الكرفانات فيها. وهو ما يمثل مشكلة تستدعي القيام ببحوث علمية لتقديم الحلول والمعالجات، ومن ثم جاء هذا البحث بغرض الإسهام في تقديم تصور علمي من خلال التركيز على تحديد المواقع المثلى لتجميع مياه الأمطار والسيول بمدينة إب باختيار طرق أخرى ملائمة لحصاد المياه وفقاً للمعايير والاعتبارات الواجب توافرها في المواقع المختارة، وذلك باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) من أجل بناء قاعدة معلومات مكانية عن طريق تحليل نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمدينة إب؛ وذلك لاستنباط الخصائص الطبوغرافية والهيدرولوجية لسطح المدينة، للوصول إلى تحديد المواقع المناسبة لإقامة مرافق تخزين مياه الأمطار والسيول لتغذية الخزان المائي الجوفي للمدينة، التي تنطبق عليها المعايير والاعتبارات لا سيما أن الموقع المقترح لحصاد المياه يلبي المتطلبات الأساسية لتقنية الحصاد المقترحة، وتوافق نظم الحصاد المقترحة مع الظروف الاجتماعية، والاقتصادية، والممارسات الزراعية لمدينة إب.

صور لمراحل الحفر في كرف جبلة رقم (1)

صور كرف ميتم رقم (1) صور لمراحل إنشاء كرف قحزة الخربة

لوحة (3): صور لمراحل الحفر والإنشاء في كرف جبلة رقم (1) وكرف قحزة الخربة وكرف ميتم رقم (1).

المصدر: الباحثان اعتماداً على تقارير المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي محافظة إب، 2021م.

مشكلة الدراسة:

تتلقى مدينة إب كميات كبيرة من الأمطار خلال موسم التساقط المطري (صيفاً)، الذي يشهد في كثير من السنوات هطول أمطار غزيرة، يمتد لعدة ساعات، تؤدي إلى زيادة الجريان السطحي لمياه الأمطار، عبر المجاري المائية الموسمية (الوديان) غير المستغلة حتى الآن بشكل جيد في المدينة، الذي معظمه يذهب إلى البحر، وهذه المجاري المائية (تعرف بالسائلة) تمر داخل مدينة إب فتسبب عرقلة حركة المرور في بعض الشوارع والطرقات، وحدوث خسائر كبيرة في الممتلكات العامة والخاصة، وخسائر في الأرواح، في الوقت الذي مازالت تعاني فيه مدينة إب من أزمة توفير مياه الشرب للسكان؛ بحيث كان بالإمكان الاستفادة من مياه الأمطار والسيول من خلال تجميعها (حصادها) وإعادة شحنها لتغذية خزانات المياه الجوفية، بدلاً من صرف كميات كبيرة منها باتجاه البحر، وتفادياً لمخاطر الفيضانات والخسائر الناتجة عنها، ومن هنا يمكن صياغة مشكلة الدراسة بالتساؤلات الآتية:

1- كيف يمكن تحديد واختيار المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار والسيول في مدينة إب باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية؟ وما هي أفضل الطرق أو

النظم لحصاد المياه في المواقع المقترحة التي تتلاءم مع الموقع المقترح لحصاد المياه وقدرة الموقع المقترح على تلبية المتطلبات الأساسية للتقنية المراد إنشائها وإقامتها فيه؟

2- ما هي المعايير والاعتبارات العلمية الواجب توافرها في المواقع المختارة لحصاد المياه في مدينة إب؟

أهمية الدراسة:

تنبع أهمية الدراسة من النقاط الآتية:

1- ما تم تنفيذه من مشاريع الكرفانات لحصاد المياه لتغذية المياه الجوفية في مدينة إب تم بطرق تقليدية، وبدون تحديد المعايير والاعتبارات الواجب توافرها في مواقع الكرفانات، ومن هنا تكمن أهمية هذه الدراسة في اعتمادها على أساليب وتقنيات دقيقة وحديثة في تحليل الخصائص التضاريسية والجيولوجية والهيدرولوجية لشبكة التصريف المائية لأحواض التصريف في مدينة إب كتقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، واجراء التحليلات المكانية وصولاً إلى نتائج سريعة ودقيقة مقارنة مع الطرق التقليدية.

2- الحاجة الماسة إلى الحفاظ على المورد المائي الوحيد (الأمطار) لمدينة إب، كونها تتلقى أمطاراً غزيرة وبمتوسط (800) ملم/سنة، معظمها لا يستفاد منها تذهب إلى البحر وبسبب الطبيعة المعقدة للتضاريس وافتقار منطقة الدراسة للسهول الواسعة علاوة على ما تشهده مدينة إب من نمو سكاني كبير وزيادة في التوسع العمراني؛ فبدأت المدينة تعاني من شحة المياه الجوفية وانخفاض مستوى المياه في الآبار التي تغذي المدينة بالماء؛ ما يتطلب القيام بمشاريع متنوعة للحصاد المائي وفق طرق علمية ضرورة حيوية.

3- إمكانية تغذية خزانات المياه الجوفية في مدينة إب من خلال تطبيق أحد أساليب مفهوم حصاد المياه غير تقنية الكرفانات المستخدمة حالياً في المدينة، والذي يؤدي مع مرور الزمن إلى خزن المياه وتوفيرها في المنطقة وتفاد لمخاطر السيول.

أهداف الدراسة:

تتلخص أهداف الدراسة فيما يأتي:

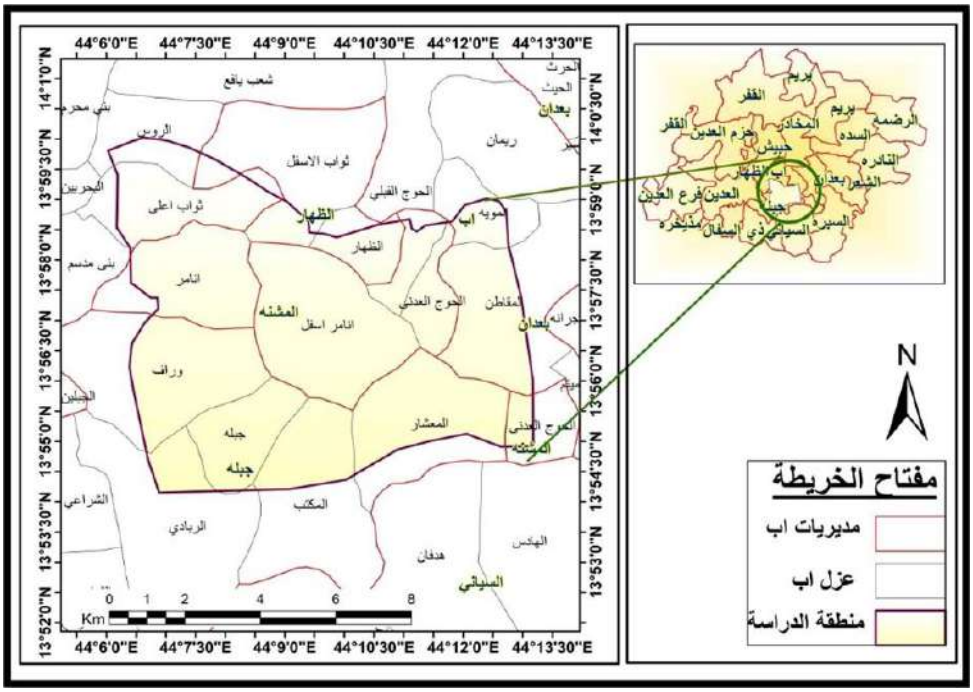
1- تحديد أهم المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار والسيول في مدينة إب باستخدام تقانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية.

2- اختيار إحدى التقنيات المناسبة لحصاد مياه الأمطار والسيول في المواقع المختارة في مدينة إب، التي تستخدم لغرض التغذية الاصطناعية لخزانات المياه الجوفية.

3- تحديد أهم المعايير والاعتبارات الواجب توافرها عند إمكانية إقامة مشاريع حصاد المياه في منطقة الدراسة؛ بحيث يتلاءم الموقع المقترح للحصاد مع تقنية الحصاد المقترحة، التي تتوافق مع الظروف الاجتماعية، والاقتصادية، والممارسات الزراعية لمدينة إب.

منطقة الدراسة:

تُعد مدينة إب مركز محافظة إب الواقعة في الوسط الجنوبي الغربي لليمن؛ حيث يشمل البحث الحالي دراسة الحوض المائي لمدينة إب، الذي يمتد بين دائرتي عرض (54′ 13° 00″)، (30″ 00′ 14°) شمالاً، وبين خطي طول (00″ 06′ 44°)، (30″ 13′ 44°) شرقاً الشكل (1)، وتبلغ المساحة المدروسة حوالي (95) كم^2، ويحدها من الشمال وادي السحول ومن الشرق جبل بعدان ومن الجنوب سلسة جبلية تتبع مديرية جبلة، ويحدها من الغرب سلسلة جبلية من منطقة السبل الى منطقة مشورة، ويبلغ عدد السكان في مدينة إب حوالي مليون نسمة وفقاً لتقديرات الجهاز المركزي للإحصاء لعام (2021م). وتتميز منطقة الدراسة بأمطارها الغزيرة خصوصاً في فصل الصيف التي تسقط بشكل زخات قوية لا تستطيع التربة امتصاصها كلها؛ فتسيل على سطح الأرض وتعمل على جرف التربة من سفوح المرتفعات الجبلية، ويصل الساقط المطري السنوي إلى أكثر من (800) ملم/سنة، ويبلغ متوسط درجة الحرارة في الصيف حوالي (25°)، ومتوسط درجة الحرارة في الشتاء (15°).

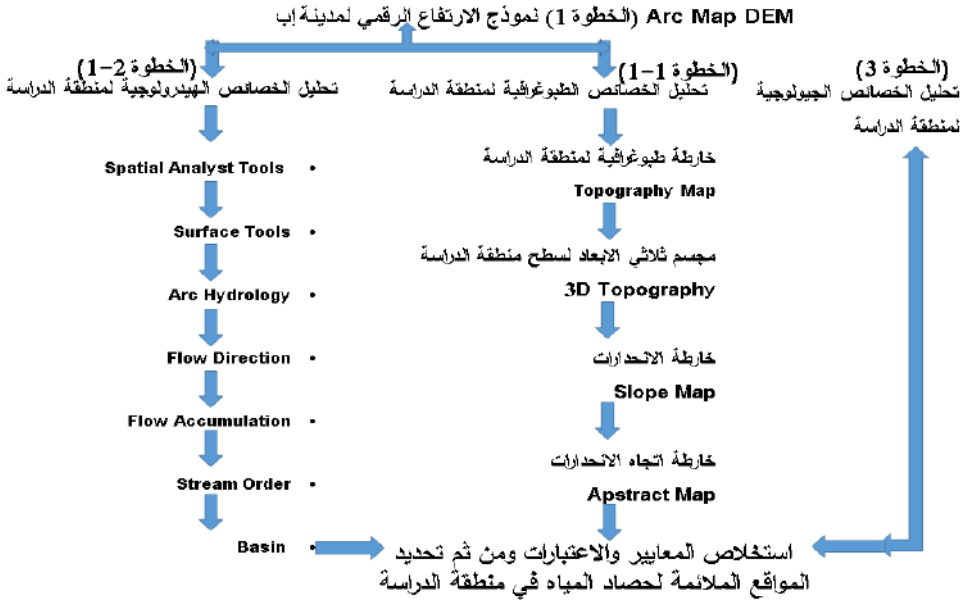


الشكل (1): موقع منطقة الدراسة بالنسبة لمحافظة إب.

المصدر: الباحثان باستخدام Arc GIS 10.8.

منهجية الدراسة:

في هذه الدراسة تم استخدام المنهج الوصفي لوصف الظواهر الطبيعية المؤثرة في عملية حصاد مياه الأمطار والسيول في مدينة إب، والمنهج التحليلي لتحليل وتفسير الخصائص الطبوغرافية، والجيولوجية، والهيدرولوجية بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) وبرنامج نظم المعلومات الجغرافية (GIS)؛ للوصول إلى النتائج المرجوة من الدراسة، وفقاً للخطوات الموضحة في الشكل (2).



الشكل (2): مخطط لمنهجية الدراسة في التحديد والاختيار للمواقع الملائمة لحصاد المياه.

1.حصاد المياه: المفهوم، المكونات، طرق نظم الحصاد، التغذية الجوفية الاصطناعية:

تُعرف عملية حصاد مياه الأمطار والسيول: بأنها التقنية التي تستخدم في حجز مياه الأمطار والسيول وتخزينها في أوقات سقوطها بطرائق تختلف باختلاف الغاية من تجميعها ومعدلات هطولها سواءً بطريقة مباشرة عن طريق تمكين التربة أكبر قدر ممكن من مياه الأمطار الساقطة عليها، وتخفيف سرعة الجريان الزائد عليها، أم بطريقة غير مباشرة؛ وذلك بتجميع مياه الجريان السطحي في منطقة تصريف وتخزين غير معرضة للانجراف وإعادة استخدامها عند الحاجة إليها، وذلك بهدف الشرب أو الري التكميلي أو سقاية الحيوان أو تغذية المياه الجوفية (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2002، ص44).

1.1. مكونات نظم حصاد المياه:

المكونات الرئيسة لنظم حصاد المياه ما يأتي:

1.1.1.منطقة المستجمع المائي:

هي جزء من الأرض يسهم في بعض أو كامل حصته من مياه الأمطار لصالح المنطقة المستهدفة الواقعة خارج حدود ذلك الجزء. وقد تكون منطقة الجمع صغيرة لا تتجاوز أمتار مربعة أو كبيرة تصل إلى عدة كيلومترات مربعة، ويمكن أن تكون أرضاً زراعية أو صخرية أو هامشية أو حتى سطح منزل أو طريقاً معبداً (نعمان، 2013، ص26).

1.1.2.مرفق التخزين:

هو المكان الذي تحتجز فيه المياه الجارية من وقت جمعها وحتى استخدامها. ويمكن أن يكون التخزين في خزانات أرضية أو تحت أرضية مثل الخزانات، أو في التربة ذاتها كرطوبة تربة أو في مكامن المياه الجوفية (نعمان، 2013، ص26).

1.1.3.المنطقة المستهدفة:

هي المنطقة التي تستخدم فيها المياه التي جرى حصادها لصالحها (المنطقة المستفيدة من حصاد المياه في تغذية المياه الجوفية فيها أو للإنتاج الزراعي أو للإيفاء باحتياجات الإنسان، والحيوان، والنبات).

1.2.نظم حصاد المياه وطرائقها:

تعتمد ملاءمة منطقة ما لحصاد المياه على قدرتها على تلبية المتطلبات التقنية الأساسية لنظام الحصاد، ويجب أن تتوافق أية تقنية يتم اختيارها مع الظروف الاجتماعية، والممارسات الزراعية من أجل وضع خطط نظم حصاد المياه وتصميمها وتنفيذها، ومن أجل اختيار الطريقة المثلى لا بد من استخدام الوسائل التالية: الزيارات الميدانية، معاينة الموقع، الخرائط الطبوغرافية، الصور الفضائية (الاستشعار عن بعد)، نظم المعلومات الجغرافية (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2002، ص74). وهناك عوامل يجب مراعاتها عند تصميم أنظمة الحصاد المائي أهمها ما يأتي:

أ- توزيع الأمطار على مدار الموسم الزراعي.

ب- شدة الهطل المطري.

ج- خصائص الجريان السطحي للتربة السطحية ونفاذية التربة.

د- قدرة التربة على تخزين الماء (عمق التربة وقوامها).

ر- تضاريس المنطقة المعنية.

س- نوع وحجم الاستخدام.

الشكل (3) يوضح نظم حصاد المياه وطرائقها. تنقسم نظم حصاد المياه إلى نوعين رئيسين هما:

1.2.1.نظم حصاد المنشآت المائية الصغيرة:

هذه الطرق لا تعتمد على القيم المتوسطة للهطل المطري للمنطقة؛ بل على قيم أدنى وذات احتمالات حدوث أعلى وذلك لضمان إمكانية نجاحها، وتشمل نظماً على مستوى المزرعة ونظم الأسطح (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2002، ص90).

1.2.2.نظم حصاد المنشآت المائية الكبيرة ونظم مياه السيول:

هي النظم التي تتصف بما يأتي:

أ- تحتاج إلى تصميم السدود والمنشآت التحويلية، ونظم نقل المياه وتوزيعها، ومرافق تخزين المياه.

ب- تجمع مياه الجريان من مستجمع كبير نسبياً، وغالباً ما يكون المستجمع مسقطاً مائياً كاملاً أو بادية أو منطقة جبلية.

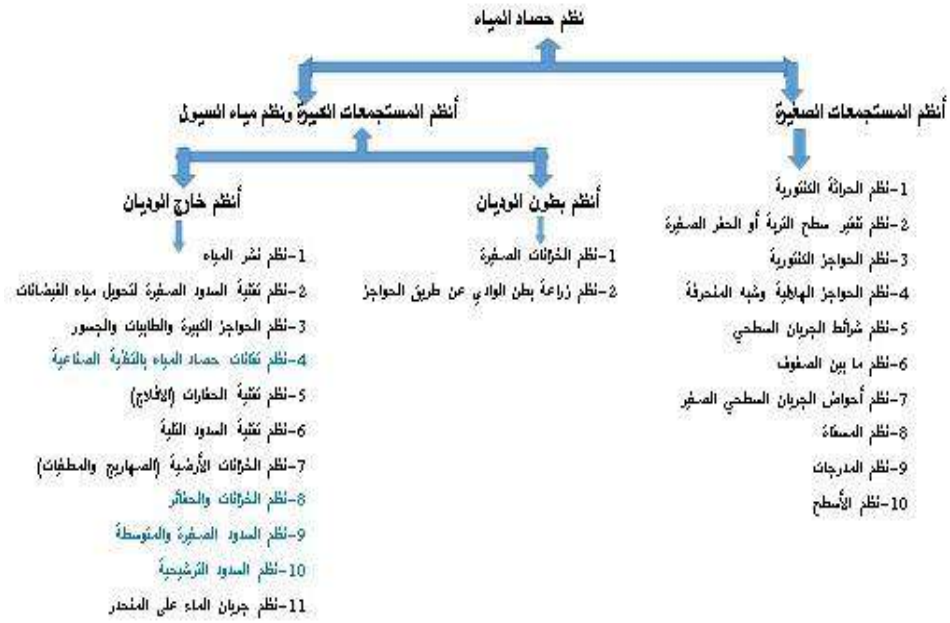
ج- توجد المستجمعات المائية لهذه النظم خارج حدود المزرعة؛ حيث يكون تحكم المزارعين فيها ضئيلاً أو معدوماً.

د-يطلق على نظم المستجمعات المائية الكبيرة في المناطق البوادي أو في المناطق الجافة اسم نظم حصاد مياه السيول.

ر- يشار إلى نظم المستجمعات الكبيرة أحياناً بعبارة الحصاد من المنحدرات الطويلة.

س- المياه التي يتم جمعها من الجريان السطحي من نظم المستجمعات الكبيرة أدنى من تلك التي هي جارية في نظم المستجمعات الصغيرة، وتتراوح بين نسب ضئيلة حتى (50%) من الهطل المطري السنوي.

ص- تخزن المياه في خزانات سطحية أو تحت سطحية، وتخزن المياه أحياناً في الطبقات الحاملة للماء بوصفها نظماً لتغذية المياه الجوفية، (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2002، ص 90).



الشكل (3): مخطط نظم حصاد المياه وطرائقها.

المصدر: الباحثان اعتماداً على (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2002، ص79,80).

1.3.أهم نظم حصاد المياه المقترحة لتغذية خزانات المياه الجوفية في مدينة إب اصطناعياً:

الشحن الاصطناعي للخزانات الجوفية يتميز بالآتي: تكاليف رأسمالية منخفضة، ولا يؤثر في استخدامات الأرض، وقلة آثاره البيئية، إلى جانب انخفاض تكاليف تشغيله وصيانته، فضلاً عن التخزين لفترات طويلة، وعدم تلوث المياه الجوفية، (داود، 2013، ص،70). واستناداً إلى ما سبق ذكره، وإلى الهدف الرئيس من هذه الدراسة؛ فإن منطقة الدراسة (مدينة إب) بحاجة إلى تطبيق نظم حصاد المياه من نوع نظم المستجمعات المائية الكبيرة ونظم مياه السيول (النظم التي تقع خارج الوادي)، وبالأخص النظم التي تستخدم في إعادة شحن المياه الجوفية. وفيما يأتي نبذة مختصرة عن أهم تقانات حصاد المياه، التي يمكن إقامتها وإنشائها في مدينة إب لغرض تغذية المياه الجوفية، التي تتوافر متطلباتها الأساسية في منطقة الدراسة:

1.3.1.السدود الترشيحية:

عبارة عن سدود تبنى في مناطق معينة؛ بحيث يرشح الماء من بحيرة السد خلال التربة لتغذية المياه الجوفية، ومما يميز هذه السدود قدرتها الكبيرة على رفع منسوب المياه بشكل ملحوظ في الآبار والمجاري لمنطقة السد، وهي تقام بعرض الوادي في أضيق المناطق، بشكل

سدود ترابية أو حجرية أو إسمنتية، وتتكون من جسم السد، وبحيرة التخزين، ومصرف الفائض، وقناة التحويل (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2002، ص 119).

1.3.2.نظم الخزانات والحفائر الأرضية:

تعرف بالبرك المائية الصناعية لتخزين مياه السيول، وتعد الحفائر خزانات اصطناعية، وتتألف عادة من أحواض ترابية يتم حفرها في سطح الأرض في مناطق قليلة الانحدار تستقبل مياه الجريان السطحي القادمة إما من الوادي وإما من منطقة مستجمع مائي كبير (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2002، ص111). وفي اليمن تعرف هذه الخزانات بالبرك المائية أو بالسدود المائية لوحة (2)، يتم بناؤها عادة بعمل جدران حجرية تتراوح الطاقة الاستيعابية لهذه البرك بضع مئات من الأمتار المكعبة، ولقد تم الإشارة سابقاً إلى أن هذا النوع من نظم حصاد المياه كانت معروفة قديماً لدى أبناء محافظة إب منذ مئات السنين لوحة (2)، وحالياً أطلق على الحفر الاصطناعية التي تم إقامتها لغرض التغذية الجوفية في مدينة إب بالكرفانات لوحة (3).

1.3.3.آبار الشحن:

عبارة عن شحن المياه السطحية في باطن الأرض عبر الآبار، التي يمكن تنفيذها في حوض السد الترشيحي.

1.3.4.الحواجز المائية والسدود:

إقامة حواجز وسدود في مجاري الأودية، ثم تحويل المياه المخزونة عبر قناة إلى مناطق منخفضة مجاورة ومعروفة مسبقاً خصائصها الجيولوجية، والطبوغرافية المناسبة التي تسمح بتغذية الطبقات المائية فيها.

1.4.المعلومات المطلوبة لاختيار نظم التغذية الجوفية:

يتوقف اختيار أي من طرق أو نظم الحصاد لتغذية المياه الجوفية، والمشار إليها أعلاه بالمعرفة المسبقة عن الآتي:

أ- توافر المياه السطحية المستخدمة في عملية التغذية.

ب- نوع التربة وتركيبها وحالة تماسكها في الطبقات العليا ونفاذيتها.

ج- معرفة جيدة بخصائص الطبقة الحاملة للمياه الجوفية من الناحية الجيولوجية والهيدروجيولوجية.

د- معرفة الخصائص الهيدرولوجية وخصائص الرسوبيات.

ر- معرفة نوعية مياه التغذية.

س– معرفة المتطلبات الأساسية للتقنية المراد إقامتها في المواقع المقترحة.

ص– توافق أية تقنية حصاد يتم اختيارها مع الظروف الاجتماعية، والاقتصادية، والممارسات الزراعية للمنطقة المعنية بحصاد المياه.

1.5.أهم قواعد اختيار موقع السدود والدراسات العلمية المطلوبة:

تتمثل القواعد التي يبنى عليها اختيار موقع سدود التغذية الجوفية؛ فيما يأتي:

أ) – كمية المياه التي يتوقع ضياعها سنوياً من مياه فيضان الوادي.

ب) – طبوغرافية وجيولوجية الموقع.

ج) – طبيعة الأرض الخلفية لموقع السد المقترح.

د) – نوعية السد.

ر) – مكان حجز المياه بالسد، (الزدجالي، 2013، ص182).

قبل الشروع بإنشاء السدود لابد من إجراء دراسة علمية تتضمن ما يأتي:

– تحديد موقع السد طبوغرافياً.

– إجراء دراسة جيولوجية لبحيرة وموقع حجم السد.

– دراسة الحوض الصباب، ومساحته، وميله، وغطائه النباتي، وشبكته الهيدرولوجية، والنشاط البشري الذي يمارس فيه.

– دراسة وتحليل الهطل المطري واحتماليه، تحديد حجم الجريان السطحي.

– دراسة التدفقات العظمى وتحديد الموجات الفيضانية.

– دراسة العناصر المناخية المختلفة وخصوصاً التبخر، والبخر–نتح.

– دراسة جيوتكنيكية تفصيلية لموقع جسم السد، وتحديد المواقع للركام، والتربة، والغضار التي ستستخدم في بناء جسم السد.

– تصميم السد (تحديد عرض قاعدة السد، وقمة السد، والميل الجانبي، وارتفاع السد، وخط الرشح، واتزان السد)، (المنظمة العربية للتنمية الزراعية، 2002، ص115).

1.6.الدراسات العلمية المطلوبة لإقامة وإنشاء الحفائر الأرضية:

يعتمد إنشاء الحفائر بصورة أساسية على توفر المياه ووجود الأرض الكتيمة أو التربة ذات الطبقة الكتيمة منخفضة النفاذية. وفي معظم الأحيان فإنه يتم اختيار الحفير بناء على الظواهر والظروف الطبيعية، ويحتاج كل حفير لعمل دراسات تفصيلية تشمل الآتي:

* **اختيار الموقع:** يتم عمل زيارات استطلاعية لاختيار موقع مناسب لعمل الحفير من حيث خلوه من الأشجار والمرتفعات وقربه من الاستغلال المتوقع.

* **اختبار التربة:** يتم عمل حفريات للتربة بواسطة الأيدي أو بعض الآلات لتحديد نوعية وعمق التربة. يتم أخذ عينات واختبارها حقلياً لتحديد صنف التربة، نوع التربة، لون التربة ومحتويات رطوبة التربة.

* **المسح الطبوغرافي:** يتم إجراء مسح طبوغرافي بوضع الحفير حتى مدخل المورد المائي بالموقع إذا كان خور أو منطقة تجميع ذاتي لمياه الأمطار. ويجب أن يوضح المسح طبوغرافية المنطقة أو الموقع، والجبال واتجاه سريان المياه هذا بالإضافة إلى عمل قطاع للوادي.

* **الحسابات الهيدروليكية:** لابد من جمع البيانات اللازمة لحساب الموازنة المائية للحفير. وفي هذه الحالة فإن بعض البيانات يمكن جمعها عن طريق طرح الأسئلة لسكان المنطقة، والمتعلقة بكثافة، وطول فترة الهطول المطري، عدد مرات الفيضانات وارتفاعها.

* **التقرير الفني:** ويشمل التقرير خلفية عن الموارد المائية التقليدية لمنطقة الدراسة، عدد السكان، معدل النمو، معدل استخدام المياه.

2.خطوات تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه الأمطار والسيول في مدينة إب:

لتحديد أفضل الأماكن لتجميع مياه الجريان السطحي من سطح مدينة إب واختيار المواقع الملائمة نقوم بالتحليل والتفسير للبيانات والمعلومات.

2.1.جيولوجية مدينة إب وتكتونيتها:

تواجد في مدينة إب رسوبيات الوديان الرباعية الحديثة مكونة من: الطين، الحصى، الرمل وهذه الترسبات تغطي الوديان الرئيسة (المجاري المائية الموسمية)، ويصل سمكها إلى (33)م في وادي جبلة، و(70)م في وادي ميتم. وتقع أسفل هذه الطبقة الرسوبية الحديثة طبقات من الصخور البركانية (بركانيات اليمن) يعود عمرها إلى العصر الثلاثي ممثلة بطبقات البازلت المتداخلة (Tuff and Olivine-Alkaline Basalt, and Rhythmic Alternation of Tholeiitic)، وتختلف هذه الصخور من منطقة إلى أخرى من حيث الصلابة، والتكوين المعدني، وقد يصل سمك هذه الطبقة الصخرية إلى أكثر من (480)م (الشجاع، 2006، ص9).

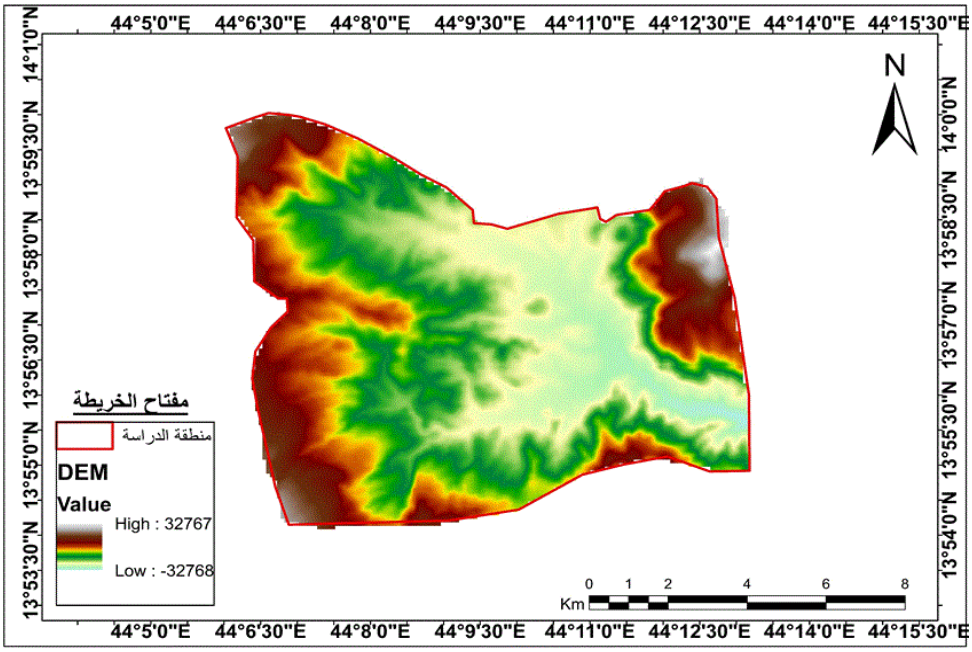
وقد تعرضت المنطقة إلى النشاط البركاني في العصر الثلاثي؛ نتيجة انفصال الدرع العربي عن الدرع الأفريقي؛ حيث تكون البحر الأحمر، وتكونت السلاسل الجبلية المرتفعة؛ إذ تنتشر في منطقة الدراسة السلاسل الجبلية البازلتية في اتجاهين رئيسين: الأول (SSE-NNW) باتجاه وادي السحول، والآخر (ESE-WNW) باتجاه الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة، ونتيجة انفتاح خليج عدن نتج عنه تكون فوالق موازية لحركة انفتاح البحر الأحمر، وقد لوحظ في منطقة الدراسة مجموعة من الفوالق الاعتيادية وهي:

– فالق اعتيادي يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي السبل.

– فالق اعتيادي يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي الذهوب (الشجاع، 2005، ص3).

2.2.تحليل الخصائص الطبوغرافية لمدينة إب:

تُفيد دراسة الخصائص التضاريسية لسطح مدينة إب لتميز خصائص الشبكة المائية، خاصة فيما يتعلق باتجاهات الجريان السطحي للمياه، وكمياته، الشكل (5) يمثل خارطة التضاريسية لمدينة إب المشتقة من خلال نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لسطح مدينة إب الشكل (4).



الشكل (4): نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمنطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتماداً على (http://srt.csi.cgior.org/SELECTION/inputcoorod.sp) باستخدام Arc GIS 10.8.

ومن خلال الشكل (5)؛ يتضح أن مدينة إب محاطة من جميع الاتجاهات بسلاسل من المرتفعات الجبلية العالية، وأن التوسع العمراني والتجمع السكاني للمدينة يتوزع على الجبال والتلال وفي الوديان. ومن خلال الخارطة الطبوغرافية لمدينة إب الشكل (5) يتضح أن سطح المدينة ينحصر ما بين خطي كنتور (1793–2736) متر فوق مستوى سطح البحر، وبمتوسط ارتفاع (2200) متر، وبانحراف معياري بلغ (1000) متر، وهو أقل بكثير من

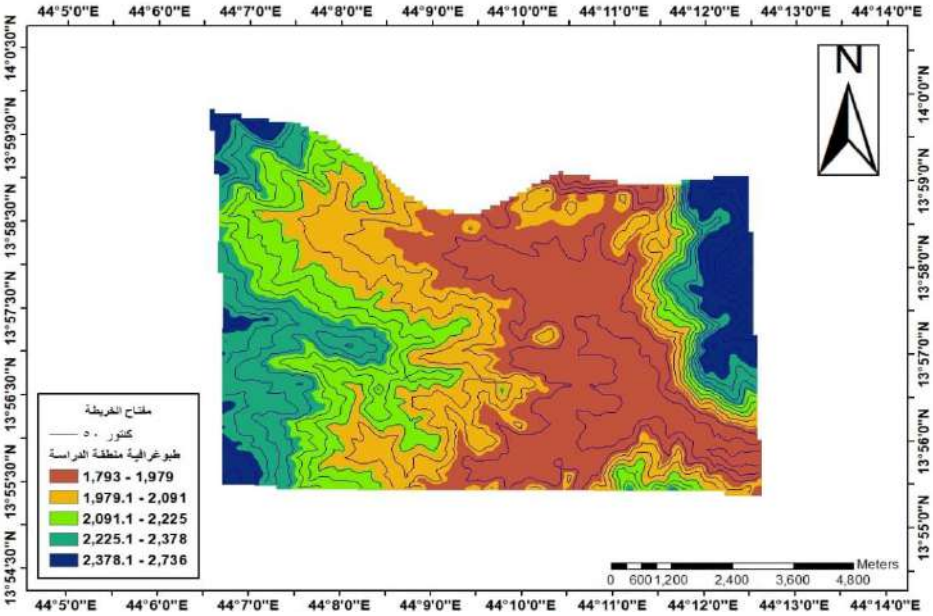
المتوسط الحسابي للارتفاع؛ ما يشير إلى أن أغلب سطح المدينة متجانس من حيث الارتفاع عن سطح البحر؛ إذ نجد أن ارتفاع مدينة إب القديمة والتاريخية حوالي (2000) متر، والارتفاع وسط المدينة (شارع العدين) (1900) متر، بينما يكون ارتفاع منطقة مفرق ميتم (في الركن الجنوبي الشرقي للمدينة) حوالي (1793) متر. وبناءً على ذلك تحتوي منطقة الدراسة على أحد أشكال الأرض المناسبة لتحقيق مفهوم حصاد مياه الأمطار المتمثلة بالمجاري المائية الموسمية (تعرف باليمن بالسائلة)؛ إذ توجد داخل مدينة إب وفي أطرافها الشمالية الغربية والجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية، وهي أحد أشكال سطح الأرض ذات الأصل النهري مكونة من ترسبات نهرية مختلفة الأحجام، ذات نفاذية ومسامية عاليتين، وهاتان الصفتان مهمتان في تحقيق مفهوم حصاد مياه الأمطار. وأهم الوديان الموسمية الجريان (السوائل المائية) التي توجد في منطقة الدراسة:

أ- وادي (سائلة) قحزة – السبل – صلبة السيدة (يمتد من غرب مدينة إب حتى جنوبها).

ب- وادي (سائلة) جبلة (يمتد من الجنوب الغربي من مدينة جبلة حتى وادي ميتم في الجنوب الشرقي لمدينة إب).

ج- سائلة وادي الذهوب الواقعة في الجزء الشرقي لمدينة إب (منطقة الجمري).

د- وادي ميتم الواقع في الجزء الجنوبي لمدينة إب، ويعد الحوض المائي الرئيس للمدينة، والمصب لجميع الأودية الموجودة في مدينة إب.

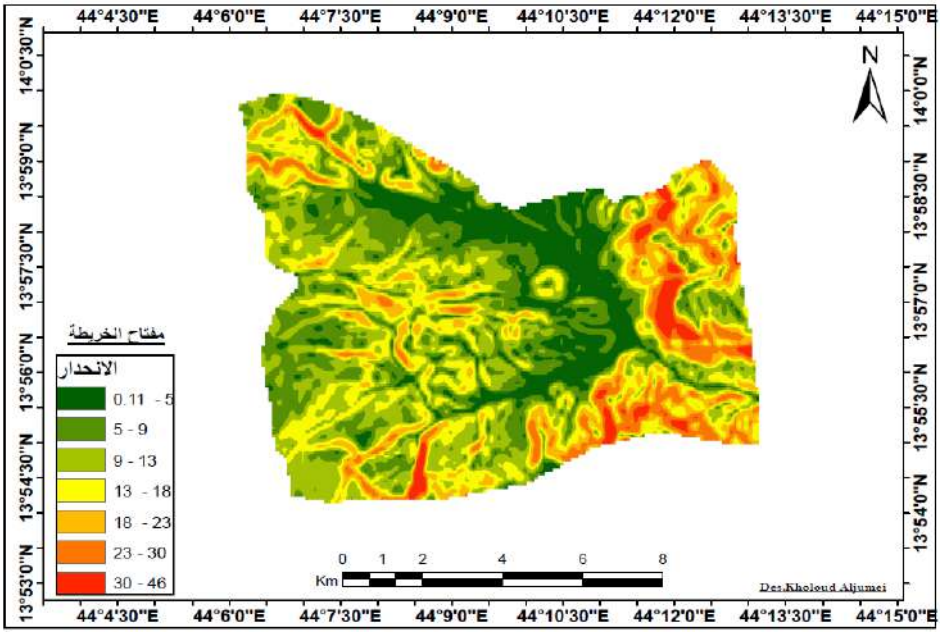


الشكل (5) خارطة طبوغرافية لمنطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS 10.8.

2.2.1.الانحدارات الجبلية لمدينة إب:

يُعد الانحدار عاملاً ضرورياً لتطبيق حصاد المياه وتجميعها؛ حيث يزداد الجريان السطحي للمياه بزيادة الانحدار بما يتوافق مع غزارة الساقط المطري. والشكل (6) يبين دراجات انحدار سطح مدينة إب؛ إذ يلاحظ أن غالبية سطح المدينة يغلب عليه الانحدار الشديد، ويتراوح ما بين (°18–13) يمثل ما نسبته (35%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، أما الانحدار الشديد جداً ما بين (°46–30) فيشكل ما نسبته (17%)، بينما الأراضي المنبسطة (°5–0) تشكل ما نسبته (23%) وتتمثل في معظم المجاري المائية في منطقة الدراسة.

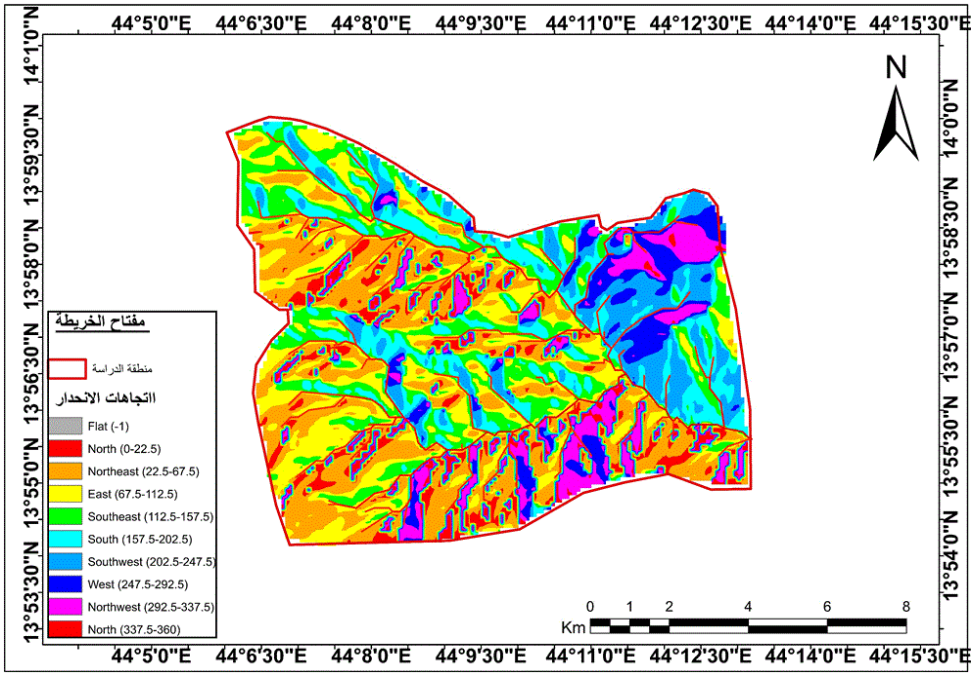


الشكل (6): الانحدارات الجبلية لمنطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS.

2.2.2.اتجاه المنحدرات الجبلية لمدينة إب:

من خلال الشكل (7)؛ يتضح أن المنحدرات ذات اتجاه الشمال الشرقي تشكل ما نسبته (28%) من إجمالي مساحة المنطقة المدروسة، واتجاه الجنوب يشكل (20%)، بينما اتجاه المنحدرات باتجاه الشرق يشكل ما نسبته (17%) من مساحة منطقة الدراسة.



الشكل (7): اتجاه المنحدرات الجبلية في منطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS.

2.3.تحليل خصائص الساقط المطري لمدينة إب:

العنصر المطري من أهم عناصر المناخ لدوره المهم والاساسي في دراسة الخصائص المورفومترية والهيدرولوجية، ويُعد من العوامل المهمة للتعريف بالمواقع المحتملة لحصاد المياه؛ تبعاً لمعدل الساقط المطري السنوي وغزارته، علاوة على أن معدلات الساقط المطري تُشكل دوراً فعالاً في اختيار تقانات حصاد مياه الأمطار الملائمة لكل منطقة، وذلك بالتوازي مع تأثير الانحدار (الميول) بنسب محدودة، مثلاً يتم تطبيق نظم الحصاد الصغيرة في المناطق ذات الساقط المطري الأقل من (400) ملم/سنة، وميول متوسطة وخفيفة (الصارم، 2018، ص 11)؛ لأنه كلما كان المسقط المائي صغيراً فإن معامل الجريان السطحي للمياه مرتفعاً، وبذلك تكون كفاءة تطبيق نظم الحصاد الصغير أعلى؛ كونها تعتمد على مساحات صغيرة للمساقط المائية، ومع زيادة الساقط المطري سيرتفع معامل الجريان (عبدالعال، 2017).

وتُعد محافظة إب من أكثر المناطق في اليمن تساقطاً للأمطار عموماً؛ إذ يصل معدل التساقط المطري من (1000) ملم/سنة إلى (2000) ملم/سنة (الشجاع، 2005، ص3)، وبشكل عام فإن أمطار منطقة الدراسة (مدينة إب) غزيرة إلا أنها تتصف بالتذبذب الكبير في كمياتها من سنة إلى أخرى؛ فغالباً ما تسقط الأمطار على المدينة على شكل زخات قوية خلال

فترات قصيرة في اليوم الواحد، إلا أن ما يميز أمطار مدينة إب هو التباين في التوزيع خلال موسم التساقط المطري؛ بحيث يمكن أن يسقط المطر خلال يوم أو يومين من الشهر بكميات تفوق المعدل الشهري للشهر نفسه؛ ما يُشير إلى أن سطح المدينة يمكن أن يتلقى كميات كبيرة من الأمطار خلال فترات زمنية قصيرة، تؤدي إلى زيادة الجريان السطحي للمياه بحيث تؤدي إلى ملء المجاري المائية للأودية وفيضانات وتكون بركاً مائية في الشوارع.

وتبدأ الأمطار هطولها في مدينة إب في نهاية مارس/ بداية أبريل، ويشتد الهطول حتى نهاية يوليو – أغسطس ليتوقف بشكل مفاجئ في شهر أكتوبر من كل عام، أما الشهور بين نوفمبر – فبراير؛ فتكون بشكل عام جافة، بالرغم من احتمالية هبوب عواصف رعدية عرضية تجلب معها بعض الأمطار خلال هذه الشهور. علماً بأن المتوسط السنوي للأمطار خلال الفترة (1970–1991) لمحافظة إب يساوي (249.14) ملم، والمعدل السنوي للأمطار خلال الفترة نفسها يساوي (1449.2) ملم، وأن نوع الإقليم في محافظة إب بشكل عام رطب جداً (عبدالله، 2010، ص95)، وذكر المركز الوطني للمعلومات في اليمن حول مناخ محافظة إب، بأن المتوسط السنوي لكمية الأمطار خلال الفترة (1982–2004م) يقدر بحوالي (800) ملم، وأن المعدل السنوي لكمية الأمطار خلال تلك الفترة يتراوح ما بين (600–1200) ملم، وبلغ المعدل السنوي للأمطار في مدينة إب عام 2021م حوالي (856.5) ملم (العمامي، 2021، ص32).

2.4.تحليل الخصائص الهيدرولوجية لسطح مدينة إب:

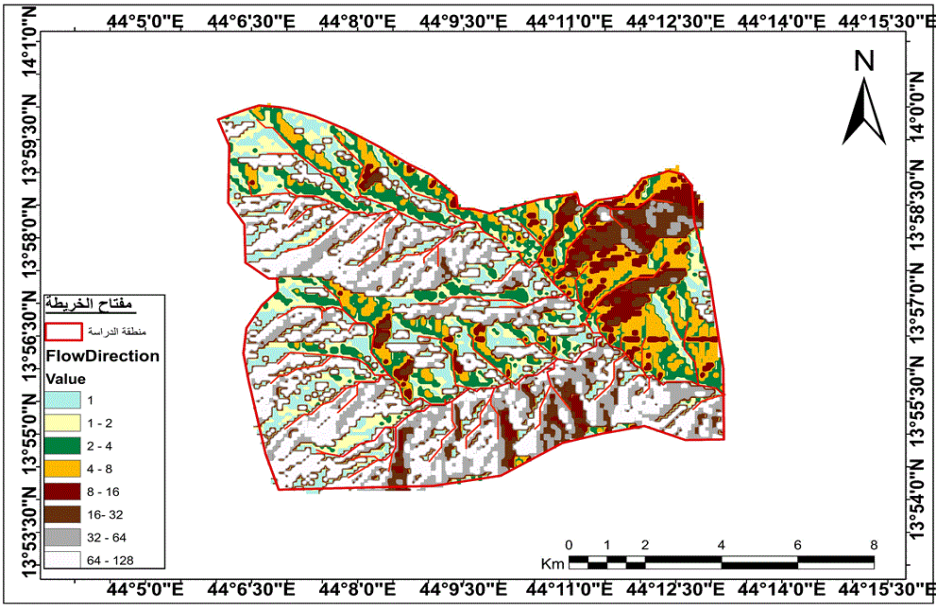
الخصائص الهيدرولوجية لسطح الأرض عبارة عن مجموعة من الخصائص التي تتحكم في حركة المطر المتساقط على سطح الأرض أو المياه السطحية عموماً، ولفهم حركة المياه على سطح مدينة إب اعتمدت هذه الدراسة على نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) لمدينة إب الشكل (4) لاستخلاص الخصائص الهيدرولوجية لسطح المدينة؛ وذلك عبر سلسلة من الخطوات التي ينتهي كل منها بإنتاج خارطة (طبقة) تبين إحدى الخصائص الهيدرولوجية، وذلك عبر استخدام الامتداد لـ (Arc Hydrology)، والموضحة بالشكل (2). وفيما يأتي أهم الخصائص الهيدرولوجية لسطح مدينة إب:

2.4.1.اتجاه الجريان السطحي للمياه:

تُعرف المياه الجارية فوق سطح الأرض بالسيول، وتُعد أهم جزء في الدورة الهيدرولوجية للمياه، ويبدأ الجريان السطحي عادة في الطبيعة في القنوات والمجاري المائية الصغيرة في المنطقة المرتفعة، ثم تتجمع لتشكل قنوات أكبر وتنتهي في الأودية التي تحمل المياه لتصب في

البحار أو لتختفي في الأرض. ويتأثر اتجاه الجريان السطحي وكمياته بعدة عوامل؛ أهمها: العوامل الطبوغرافية، كثافة الغطاء النباتي، استعمالات الأرض (التنمية الحضرية) التي تتحكم بشكل كبير في مقدار واتجاه الجريان السطحي؛ فزيادة الاسطح المصمتة التي لا تسمح بنفاذ كميات كبيرة من المياه كالطرق والشوارع (المعبدة) والمباني التي تؤدي إلى زيادة سرعة الجريان السطحي وكمياته، وكذلك يزداد الجريان السطحي للمياه مع وجود غطاء نباتي غير متصل وتربة ليست مغطاة بشكل كامل، وكذلك تكون المنحدرات العارية شديدة التعرض لفعل الأمطار والجريان.

ومن خلال الشكل (8) الذي يوضح اتجاه الجريان السطحي للمياه على سطح مدينة إب نجد أن اتجاه الجريان السطحي السائد في أغلب سطح مدينة إب هو باتجاه الشمال والشمال الشرقي بنسبة (40%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، وهو الاتجاه السائد نفسه للمنحدرات الجبلية، أما اتجاه الشمال الغربي للجريان السطحي للمياه فيشكل ما نسبته (20%).



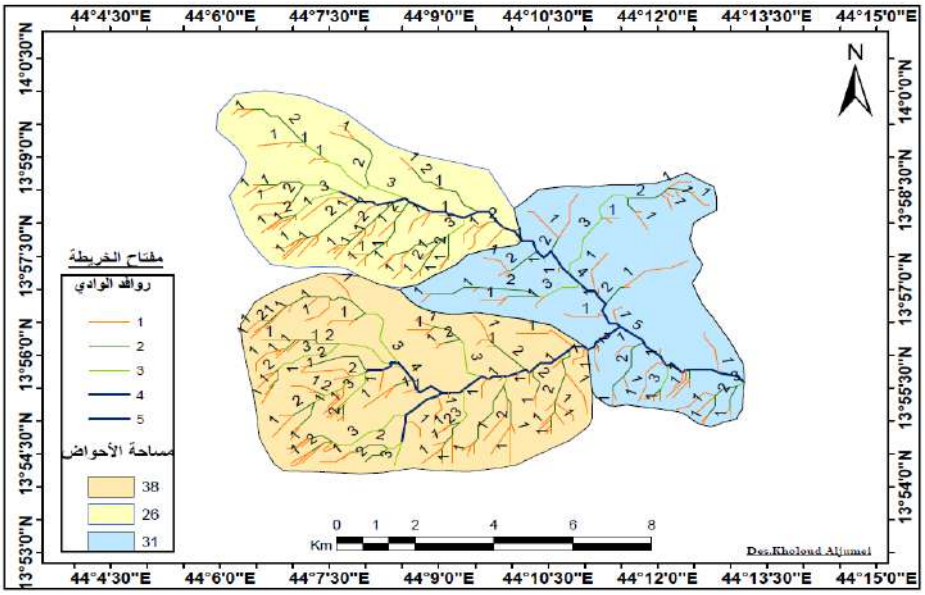
الشكل (8): اتجاه الجريان السطحي للمياه في منطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS.

2.4.2.تحديد مناطق تجمع المياه:

الشكل (9) يوضح المجاري المائية (روافد الوديان) التي تصب فيها المياه (أي المناطق التي تتجمع فيها المياه)، وهي الأماكن المعرضة أكثر من غيرها لأخطار الفيضان عند حصول أمطار غزيرة. وفي منطقة الدراسة أهم المجرى المائي الرئيس والأول فيها، يمتد من الشمال

الغربي حتى الجنوب الشرقي للمدينة (سائلة قحزة – السبل – صلبة السيدة – مفرق ميتم)، والمجرى المائي الثاني فيمتد من الجنوب الغربي حتى الجنوب الشرقي للمنطقة (سائلة جبلة – مفرق ميتم).



الشكل (9) المجاري المائية وأحواض التصريف في منطقة الدراسة.

المصدر: الباحثان اعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، باستخدام Arc GIS.

2.4.3.تحديد رتب مجاري الوديان المائية:

وفي هذه الدراسة الحالية تم اعتماد طريقة (Strahler, 1964, PP 571–596) في تصنيف وحساب الرتب النهرية لأحواض التصريف السطحي لمدينة إب، وباستخدام برنامج (Arc GIS 10.8) تم تحديد الرتب النهرية، وأعدادها كما هي موضح في الشكل (9)، حيث تم تحديد التدرج الرقمي لمجموع الروافد التي يتكون منها المجرى الرئيس للمياه للحوض المائي الكلي لمدينة والبالغ (278) مجرى مائي تمثل شبكة التصريف المائي لجميع أحواض التصريف السطحي لمنطقة الدراسة، وسجلت كل من الرتبة الأولى والثانية العدد الأكبر في الحوض المائي الكلي لمدينة إب، وقد بلغ عدد الروافد ذات الرتبة الأولى في جميع أحواض منطقة الدراسة حوالي (141) مجرى مائياً، أما الرتبة الثانية فعددها حوالي (71) رافد، بينما عدد الروافد للرتبة الثالثة (24) رافد، أما الرتبة الرابعة (41)، وأخيراً عدد روافد الرتبة الخامسة بلغ (1) مجرى مائي، في حوض وادي سائلة الذهوب–مفرق ميتم وهو الحوض الوحيد الذي يحمل أعلى الرتب النهرية في منطقة الدراسة (الرتبة الخامسة، وهي الرتبة الأخيرة التي يتكون منها الحوض المائي الكلي لمدينة إب).

2.4.4.تحديد أحواض التصريف المائية لمدينة إب:

ومن المعروف أن لكل مجرى مائي في الحوض أياً كانت رتبته حدوداً حوضية يصرف فيها مياهه، أي أن عدد الأحواض المائية الصغيرة (ضمن الحوض المائي الرئيسي الكبير) تساوي عدد الروافد المائية مهما كان قياسها. وفي دراستنا هذه تم اعتماد الأحواض الفرعية أساس أنها تلك الأحواض المائية للرتب العليا في الحوض المائي الرئيس لمدينة إب ابتدأ من الرتبة الثالثة حتى الرتبة الخامسة على أن تتصل بالمجرى الرئيس للحوض (المصب الرئيس لجميع الروافد المائية). وعلية فقد تم تقسيم الحوض المائي الرئيس لمدينة إب إلى (3) أحواض فرعية كما هو موضح في الشكل (9) بناءً على أساس التحليل الهيدرولوجي لمنطقة الدراسة، وعلى أن حوض التصريف المائي: يمثل المساحة التي تشمل سمك التصريف المحددة بخط تقسيم المياه، أي بناءً على تحديد المساحة المساهمة في تجميع مياه الجريان السطحي لكل مجرى مائي، ومن هذا المنطلق فقد تم تسمية الأحواض الفرعية الثلاثة التابعة للحوض المائي الرئيس لمدينة إب حسب الاسم المشهور به الوادي الرئيس (السائلة، المجرى المائي، ذات الرتب العليا) الموجودة فيها وهي:

1-الحوض الأول حوض وادي سائلة جبلة في الجزء الجنوبي لمدينة إب، وتبلغ مساحته (38) كم^2 ويشمل أراضي القسم الجنوبي والجنوبي الغربي لمدينة إب، وجميع المجاري المائية فيه تصب في المجرى المائي الرئيس للحوض المعروف بسائلة جبلة والمتمثلة بالرتبة الرابعة.

2- الحوض الثاني حوض وادي سائلة الذهوب-مفرق ميتم في الجزء الشرقي لمدينة إب، ويغطي أغلب أراضي القسم الشرقي للمدينة بمساحة (31) كم^2، وتصب المجاري المائية فيه بالمجرى الرئيس لوادي ميتم والمتمثلة في الرتبة الخامسة.

3- الحوض الثالث حوض وادي سائلة قحزة – السبل في الجزء الشمالي الغربي لمدينة إب، ويغطي الحوض الثالث أغلب أراضي القسم الشمالي والشمالي الغربي وتبلغ مساحته (26) كم^2، والمجرى المائي الرئيس لهذا الحوض الذي تصب فيه جميع المجاري المائية يعرف بسائلة قحزة-السبل والمتمثلة بالرتبة الرابعة؛ وبذلك أمكن تحديد شبكة التصريف المائي لمدينة إب والمجاري الرئيسة فيها.

2.5.تحديد الأماكن المثلى لتجميع مياه الأمطار والجريان السطحي ونظم التغذية الجوفية في مدينة إب:

مما سبق تم التعرف إلى الخصائص الجيولوجية، والطبوغرافية، والهيدرولوجية لمنطقة الدراسة، ومن خلال الزيارات الحقلية؛ تم التوصل إلى تحديد واقتراح (3) مواقع ملائمة لإقامة

إحدى طرق التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية في الثلاثة الأحواض لمدينة إب، وكما هو موضح في الجدول (1)، وفيما يأتي تفصيل لكل من: تحديد المواقع المناسبة لحصاد المياه، وتحديد نظم الحصاد.

2.5.1.تحديد الأماكن المثلى لتجميع مياه الأمطار والسيول في مدينة إب:

تم تحديد الموقع الرئيس المثالي لتجميع كل مياه الجريان السطحي لمدينة إب اعتماداً على تصنيف رتب المجاري المائية للمدينة؛ حيث تم اختيار بداية الرتبة الخامسة لتجميع مياه الجريان السطحي لكل أحواض مدينة إب، التي تمثل المجرى المائي الرئيس لالتقاء جميع المجاري المائية الفرعية لكل سطح مدينة إب والبالغ عددها (278) مجرى مائياً الشكل (9)، والواقعة في منطقة مفرق ميتم (وادي ميتم) ضمن الحوض المائي الثاني (31) كم^2 في الجزء الشرقي لمدينة إب، وبناءً على ذلك؛ يمكن إقامة إحدى تقانات حصاد المياه (مرافق لتجميع مياه السيول) في منطقة مفرق ميتم في الركن الجنوبي الشرقي لمنطقة الدراسة عند إحداثيات (13° 57′ 00″ N, 44° 12′ 00″ E) لغرض التغذية الجوفية.

وكذلك يمكن اختيار بداية الرتبة الرابعة لتجميع مياه الجريان السطحي في كل من:

أ- الحوض المائي الأول (38) كم^2 والذي يشمل أراضي القسم الجنوبي والجنوبي الغربي لمدينة إب الشكل (9)، حيث تمثل الرتبة الرابعة المجرى المائي الرئيس لهذا الحوض (سائلة جبلة)، وأفضل الأماكن لتجميع مياه الجريان السطحي فيه عند إحداثيات (13° 57′ 00″ N, 44° 11′ 00″ E).

ب- الحوض المائي الثالث (26) كم^2 يشمل أراضي القسم الشمال والشمال الغربي لمدينة إب الشكل (11)، حيث تمثل الرتبة الرابعة المجرى المائي الرئيس لهذا الحوض (سائلة قحزة- السبل)، وأفضل الأماكن لتجميع مياه الجريان السطحي فيه عند إحداثيات (13° 58′ 38″ N, 44° 10′ 30″ E).

2.5.2.تحديد الطريقة الملائمة لحصاد مياه الأمطار في المواقع الثلاثة المقترحة في مدينة إب:

لكون الهدف الرئيس لهذه الدراسة هو تحديد نظم عملية تغذية المياه الجوفية للحوض المائي لمدينة إب لتعويض النقص الحاصل في المخزون المائي الجوفي فيها، فيمكن باستخدام إحدى طرق التغذية الاصطناعية الجوفية (Artificial Recharge)، التي تتم إما طبيعياً من خلال غيض مياه الساقط المطري وإما من خلال التسرب من الخزانات السطحية أو اصطناعياً عن طريق نشر مياه التساقط أو تصميم حواجز توضع على مجاري الوديان الموسمية (السائلة)

لإعاقة جريان الماء السطحي وإطالة زمن غيض الماء داخل التربة أو عن طريق حفر آبار الحقن، وعلى أعماق مختلفة؛ حيث تصلح هذه الآبار لتغذية الخزانات الجوفية المحصورة أو غير المحصورة. وفي ضوء معرفة أنواع نظم التغذية الاصطناعية التي سبق عرضها، يمكن في هذه الدراسة اقتراح (3) أنظمة للتغذية الاصطناعية للمياه الجوفية لمدينة إب موضحة في الجدول (1)؛ كونها تلائم المواقع والأماكن الثلاثة المختارة وفقاً للمعايير والاعتبارات الواجب توافرها في المواقع المقترحة لحصاد المياه والموضحة بالتفصيل أدناه:

جدول (1): إحداثيات المواقع المثلى المقترحة لتجميع مياه الجريان السطحي وطريقة التغذية الاصطناعية الجوفية في مدينة إب.

الموقع	الحوض المائي في منطقة الدراسة (المساحة)	رتبة المجرى المائي	إحداثيات الموقع المقترح	عنوان الموقع المقترح	طريقة التغذية الجوفية المقترحة
الأول	الحوض الثاني شرق مدينة إب (31) كم^2	الخامسة	13° 50′ 00″ N, 44° 12′ 00″ E	سائلة مفرق ميتم	سد ترشيحي + آبار الشحن
الثاني	الحوض الأول جنوب غرب مدينة إب (38) كم^2	الرابعة	13° 56′ 00″ N, 44° 11′ 00″ E	سائلة جبلة	نظم الحواجز المائية والسدود
الثالث	الحوض الثالث شمال غرب مدينة إب (26) كم^2	الرابعة	13° 58′ 38″ N, 44° 10′ 30″ E	سائلة فحزة-السيل	نظم الحفائر والخزانات الاصطناعية (البرك أو الكرفانات)

المصدر: الباحثان اعتماد على نتائج تحليل الخصائص الجيولوجية، والطبوغرافية، والهيدرولوجية لمنطقة الدراسة وعلى الشكل (9).

2.5.3.المعايير والاعتبارات الواجب توافرها في المواقع الثلاثة المقترحة لحصاد مياه الأمطار والسيول في مدينة إب:

تم اختيار المواقع الثلاثة المقترحة لحصاد المياه في مدينة إب، وكذلك تم تحديد نظم التغذية الاصطناعية الجوفية بناءً على احتياجات مدينة إب، وموقعها الجغرافي، ووضعها الجيولوجي والتكتوني، علاوة على تحقيقها للمعايير، والاعتبارات الطبوغرافية، والهيدرولوجية، والجيولوجية، التي تم استخلاصها من نتائج تحليل الخصائص الجيولوجية، والطبوغرافية، والهيدرولوجية لمنطقة الدراسة، ومن نتائج تطبيق تقنية الاستشعار عن بعد وتقنية نظم المعلومات الجغرافية، التي تتلخص في النقاط الآتية:

1. أن يكون الموقع المختار لحصاد المياه قادراً على تلبية المتطلبات الأساسية نظم الحصاد المقترحة للموقع.

2. يجب أن تتوافق التقنية أو طريقة الحصاد المقترحة مع الظروف الاجتماعية، والاقتصادية، والممارسات الزراعية لسكان منطقة الدراسة.

3. وقوع المواقع الثلاثة المقترحة ضمن أحواض التغذية (أي ضمن أحواض صبابة).

4. وقوع المواقع المختارة في بداية المجاري المائية ذات الرتبة الرابعة والرتبة الخامسة لمنطقة الدراسة.

5. أن تكون الأراضي التي تقع عليها المواقع المقترحة ذات انحدار (ميول) بسيط (خفيف)، لتفادي انجراف التربة.

6. المعيار الأساسي الذي يعتبر أحد أهم أهداف هذه الدراسة هو أن يستفاد من المواقع الثلاثة المقترحة في تغذية خزانات المياه الجوفية بصورة أساسية، وهذا متوافر في المواقع المقترحة في منطقة الدراسة؛ كون الترسبات في المواقع المقترحة عبارة عن ترسبات نهرية عالية النفاذية (حصى، رمال، طين)، وهذه الطبقة تغطي الوديان الرئيسة؛ إذ تصل سمك هذه الرسوبيات السطحية ما بين (33) متر في وادي جبلة إلى (70) متر تقريباً في وادي ميتم.

7. عدم وجود فوالق وفواصل كبيرة عالية النفاذية في المواقع المقترحة لهذه (السدود أو الحواجز أو الحفر المائية) تعمل إن وجدت على تغلغل مياه الجريان السطحي إلى أعماق بعيدة عن السطح، عدا فالقين: الأول فالق اعتيادي (Normal Fault) يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي السبل (أي وقوعه ضمن الحوض المائي الثالث وقريب من مصب الرتبة الرابعة لسائلة قحزة–السبل، وعلى أساس ذلك؛ تم اقتراح إقامة نظم الحفائر والخزانات الاصطناعية (البرك أو الكرفانات) المائية في هذا الحوض)، والفالق الآخر فالق اعتيادي يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي الذهوب، أي بعيد جداً عن الموقع المقترح في الحوض المائي الثاني في سائلة ميتم، والذي تصب في هذا الموقع جميع المجاري المائية لمدينة إب، حيث تم اقتراح إقامة سد ترشيحي وآبار للشحن، أما الموقع الثالث المقترح في سائلة جبلة فتم اقتراح إقامة حاجز مائي في هذا الموقع؛ نظراً لطبيعة تضاريس هذه المنطقة لكون معظم امتداد المدرى المائي يقع بين مرتفعين عاليين يلائم بناء حاجز كبير في الموقع المقترح.

8. من أجل تحديد المكان المناسب والتصميم الملائم لإنشاء السد الترشيحي الرئيس لمدينة إب وتنفيذ آبار تغذية الطبقات السطحية في حوض السد المقترح؛ وذلك في منطقة وادي مفرق ميتم في الركن الجنوبي الشرقي لمنطقة الدراسة، (ضمن الحوض المائي الثاني الأساسي للمدينة

(31) كم^2، ذات الكثافة السكانية العالية، وفي المكان الذي تلتقي فيه جميع المجاري المائية الموسمية)، ينبغي اتباع الخطوات الآتية:

8.1.تقدير كمية تدفقات السيول السنوية التي تسير في المجرى الرئيس ذي الرتبة الخامسة منطقة مفرق ميتم؛ وذلك من أجل التصميم الأمثل للسد الترشيحي المقترح.

8.2.أن يكون الموقع المختار في أخفض منطقة (أقل ارتفاع).

8.3.أن يكون للمجرى المائي للوادي مرتفعان لبناء حاجز كبير للسد المقترح.

8.4.تقدير الموازنة الهيدرولوجية، وتقدير كميات المياه الجوفية والسطحية لمدينة إب؛ وذلك لتقدير التغذية الجوفية من نظام حصاد الأمطار.

8.5. تنفيذ آبار تغذية الطبقات السطحية، وتحديد عدد آبار التغذية التي سيتم إنشاؤها في حوض السد الترشيحي المقترح.

8.6.تعين مناسيب سطح الأرض بالنسبة لمفيض السد المقترح؛ وذلك بهدف تحديد المواقع المناسبة لحفر آبار التغذية وتركيب الأنابيب عليها، وتحديد ارتفاعات المحابس المثبتة على كل منها.

8.7.حفر آبار التغذية بأعماق متفاوتة في حوض السد المقترح حسب طبيعة الطبقات الرسوبية.

8.8.تصميم بئر التغذية الاصطناعية ومراقبة مستوى الماء في آبار المياه المجاورة للسد المقترح قبل هطول الأمطار، وبعد إجراء عمليات التغذية الاصطناعية التي تلي هطول الأمطار.

9.تحديد مكان موقع الحفر المائية (البرك أو الكرفانات) المقترحة لحصاد المياه في الحوض المائي الثالث لمدينة إب (26) كم^2، في سائلة قحزة–السبل مع الأخذ بعين الاعتبار ما يأتي:

9.1.القرب من مجرى مائي غير عميق.

9.2.عند إنشاء الحفر (البرك أو الكرف)، يجب أن يكون الضلع الأطول له متعامداً مع اتجاه الرياح السائدة في المنطقة لتقليل التبخر.

9.3.يجب أن تكون الأرض التي ينشأ عليها الحفر (البرك أو الكرف) واسعة الامتداد غير صخرية لتفادي صعوبة الحفر إلى العمق المطلوب، وتقليل التكلفة.

9.4.يجب أن تكون التربة رملية أو خليطاً من الرمل والحصى؛ لكي تتسرب المياه وتغذي الخزان المائي الجوفي، لأن التربة غير الرملية فتمنع تسرب المياه.

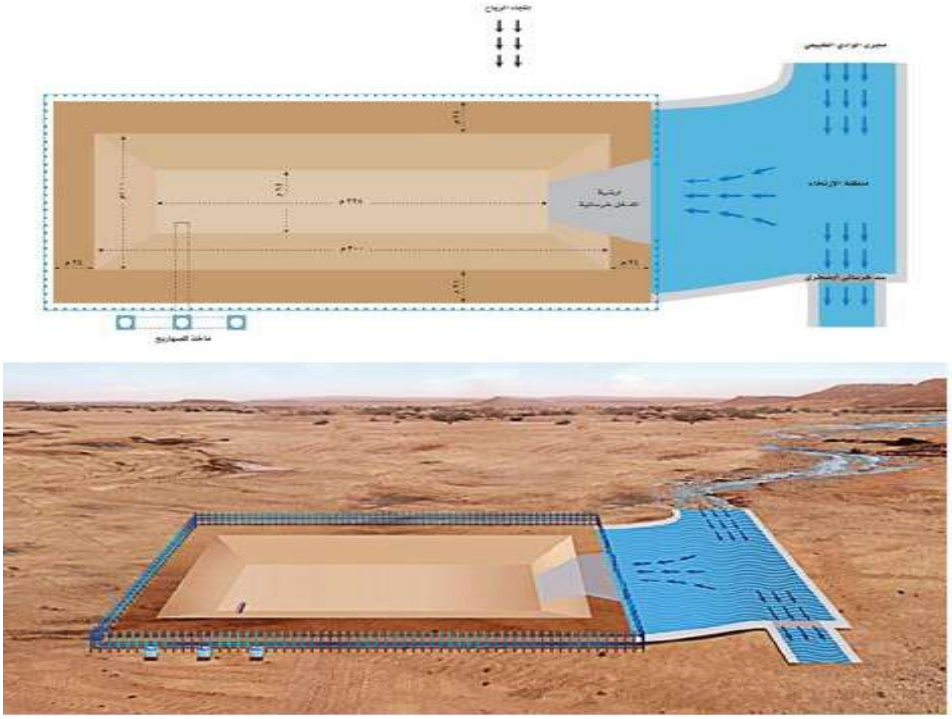
9.5.من أجل التصميم المناسب للحفر (البرك أو الكرف) المائية، يفضل أن تكون مواصفاتها العامة كما هو مبين في الشكل (11):

(أ) لطول (300) متر، العرض (100) متر، العمق (9) أمتار (بسام، 2013، ص 169).

(ب) تناقص الميل الجانبي للحفرة بنسبة (5:1) نحو الأسفل.

(ج) عمل جدار من التربة المزاحة على الضلع الأطول والمتعامد مع الرياح، وبعرض لا يقل عن (20) متراً وارتفاع لا يقل عن (2.5) متر؛ لتخفيف أثر الرياح والحد من التبخر (بسام، 2013، ص 169).

(د) التأكد من عدم انهيار الجدران الجانبية للحفرة بتثبيت التربة برصها.



الشكل (11): مخطط للحفر الاصطناعية المائية المقترحة في الموقع الثالث سائلة قحزة –السبل.

المصدر :(بسام، 2013، ص169).

النتائج:

استهدف البحث الحالي تحديد كل من: المواقع الملائمة والمناسبة لتجميع مياه الأمطار والسيول لتغذية المياه الجوفية للحوض المائي لمدينة إب، واختيار وتحديد أهم نظم حصاد المياه الملائمة لمنطقة الدراسة، اعتماداً على بيانات نموذج الارتفاع الرقمي (DEM)، وعلى استخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، وفي ضوء ذلك؛ تم التوصل إلى عدد من النتائج؛ أهمها:

1- ما تم تنفيذه في مدينة إب من مشاريع حصاد مياه الأمطار والسيول بإنشاء الكرفانات بوصفها نظم حصاد للمياه لغرض تغذية المياه الجوفية تم بطرق تقليدية بدون استخدام منهجية تعتمد على التقنيات الحديثة (GIS & RS)، وبدون المعايير والاعتبارات الواجب توافرها في المواقع وفي نوع طريقة أو نظم الحصاد.

2- تحتوي منطقة الدراسة أحد أشكال الأرض المناسبة لتحقيق مفهوم حصاد مياه الأمطار والمتمثلة بالمجاري المائية الموسمية، التي توجد داخل مدينة إب وفي أطرافها الشمالية الغربية والجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية، وتمثل أحد أشكال سطح الأرض ذات الأصل النهري، مكونة من ترسبات نهرية مختلفة الأحجام، ذات نفاذية ومسامية عاليتين، وهاتان الصفتان مهمتان في تحقيق مفهوم حصاد مياه الأمطار.

3- توجد في مدينة إب رسوبيات الوديان الرباعية الحديثة؛ مكونة من: الطين، الحصى، الرمل، وهذه الترسبات تغطي الوديان الرئيسة (المجاري المائية الموسمية)، ويصل سمكها إلى (33) م في وادي جبلة، و(70)م في وادي ميتم. وتقع أسفل هذه الطبقة الرسوبية الحديثة طبقات من الصخور البركانية التي يعود عمرها إلى العصر الثلاثي ممثلة بالصخور البازلتية.

4-تنتشر في منطقة الدراسة السلاسل الجبلية البازلتية في اتجاهين رئيسين؛ الأول (SSE-NNW) باتجاه وادي السحول، والآخر (ESE-WNW) باتجاه الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة؛ ونتيجة انفتاح خليج عدن نتج عنه تكون فوالق موازية لحركة انفتاح البحر الأحمر، وقد لوحظ في منطقة الدراسة مجموعة من الفوالق الاعتيادية: فالق اعتيادي يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي السبل، وفالق اعتيادي يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي الذهوب شرق منطقة الدراسة.

5- قدمت الدراسة قاعدة بيانات جغرافية ذات متغيرات هيدرولوجية لأحواض التصريف المائية لمدينة إب متمثلة في تحديد اتجاه الجريان المائي السطحي، وأماكن تجميع المياه، ومن خلال تلك البيانات لوحظ أن اتجاه الجريان السطحي السائد في أغلب سطح مدينة إب هو باتجاه الشمال والشمال الشرقي بنسبة (40%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة البالغة (95) كم^2،

وهو الاتجاه نفسه السائد للمنحدرات الجبلية، أما اتجاه الشمال الغربي للجريان السطحي فيشكل ما نسبته (20%)، فضلاً عن ذلك تم تحديد (278) مجرى مائياً تمثل شبكة التصريف المائي لسطح المدينة، وبناءً على ذلك تم تحديد المواقع المثلى لتجميع مياه الأمطار والسيول.

6- حددت الدراسة ثلاثة مواقع ملائمة لتجميع مياه الأمطار والسيول تحقق الغرض منها، حيث تم اختيار المواقع الثلاثة المقترحة لحصاد المياه بناءً على أساس تحقيقها لمعايير واعتبارات طبوغرافية، وجيولوجية، وهيدرولوجية مستخلصة من خلال تقنية الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، ومن خلال ذلك فالمواقع الثلاثة المقترحة لمنطقة الدراسة هي:

6-1- الموقع الأول المقترح الرئيس لتجميع معظم مياه الأمطار والسيول لتغذية المياه الجوفية للحوض الرئيس لمدينة إب يقع في منطقة مفرق ميتم (وادي ميتم) ضمن الحوض المائي الثاني (31) كم^2 في الجزء الجنوبي الشرقي لمدينة إب، عند بداية الرتبة الخامسة التي تمثل المجرى المائي الرئيس لالتقاء معظم المجاري المائية الفرعية لكل سطح مدينة إب وبناءً على خصائص هذا الموقع فإن الطريقة الملائمة لحصاد المياه تتمثل في إقامة سد ترشيحي على مجرى الوادي (سائلة ميتم) عند إحداثيات (13° 57′ 00″ N, 44° 12′ 00″ E)، وتقترح الدراسة تنفيذ آبار تغذية الطبقات السطحية في هذا السد الترشيحي المقترح.

6-2- بينما الموقع الثاني المقترح والمناسب كأفضل الأماكن لتجميع معظم مياه الجريان السطحي فيقع في الحوض المائي الأول (38) كم^2 والذي يشمل أراضي القسم الجنوبي والجنوبي الغربي لمدينة إب (وادي سائلة جبلة)، عند بداية الرتبة الرابعة، عند احداثيات (13° 57′ 00″ N, 44° 11′ 00″ E)، وبناءً على المعايير والاعتبارات التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة فإن الطريقة الملائمة لتجميع مياه الجريان السطحي تتمثل في إنشاء نظم السدود (الحواجز المائية) نظراً لطبيعة تضاريس المنطقة.

6-3- وأخيراً الموقع الثالث المقترح فيقع في الحوض المائي الثالث (26) كم^2 والذي يشمل أراضي القسم الشمال والشمال الغربي لمدينة إب، حيث تمثل الرتبة الرابعة المجرى المائي الرئيس لهذا الحوض (سائلة قحزة-السبل)، وأفضل الأماكن لتجميع مياه الجريان السطحي فيه عند إحداثيات (13° 58′ 38″ N, 44° 10′ 30″ E)، وأفضل طريقة لحصاد المياه في هذا الموقع المختار هي إنشاء الحفر المائية الاصطناعية (البرك أو الكرف)، نظراً لوجود فالق اعتيادي (Normal Fault) في هذه المنطقة يمتد من الجزء السفلي من وادي صلبة السيدة حتى وادي السبل.

المصادر والمراجع

الحمدي، عبدالواحد محمد، (2013). حصاد المياه والتغذية الجوفية في الجمهورية اليمنية، حلقة العمل القومية حول حصاد المياه والتغذية الجوفية الاصطناعية في الوطن العربي، المنظمة العربية للتنمية الزراعية، مسقط، سلطنة عمان.

الشجاع، خالد، (2005). التقرير الفني عن الآبار الاسعافية لمدينة إب ضمن البرنامج الاستثماري لعام 2004م، الهيئة العامة للموارد المائية، مكتب تعز–إب، وزارة المياه والبيئة، اليمن.

الشجاع، خالد، (2006). التقرير الفني عن المصادر المائية الاسعافية لمدينة إب، الهيئة العامة للموارد المائية، مكتب تعز – إب، وزارة المياه والبيئة، اليمن.

الزدجالي، منير سعود (2013). تقييم كفاءة سدود التغذية الجوفية للمياه في سلطنة عمان، حلقة العمل القومية حول حصاد المياه والتغذية الجوفية الاصطناعية في الوطن العربي، المنظمة العربية للتنمية الزراعية، مسقط، سلطنة عمان.

الصارم، علي محي الدين، (2018). تحديد المواقع الملائمة لحصاد مياه المطر (RWH) في منطقة مصياف باستخدام تقانات GIS/RS، رسالة ماجستير (غير منشورة)، قسم الهندسة الريفية، كلية الهندسة الزراعية، جامعة دمشق، دمشق، سوريا.

العمامي، مطيع عبده على، (2021). التحليل الجغرافي لتوزيع الجريمة في محافظة إب باستخدام GIS، رسالة ماجستير (غير منشورة)، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة إب، إب، اليمن.

المركز الوطني للمعلومات اليمن، تقرير عن مناخ محافظة إب، بتاريخ 05–11–2021، http//yemen-nic-info.

المنظمة العربية للتنمية الزراعية، (2002). الدراسات القطرية حول تعزيز استخدام تقانات حصاد المياه في الدول العربية (التجربة اليمنية، والسودانية، والسورية).

المؤسسة المحلية للمياه والصرف الصحي محافظة إب، (2021). الورشة الفنية لمشروع كرف قحزة الوادي–الظهار–إب، الهيئة العامة للموارد المائية، مكتب تعز–إب، وزارة المياه والبيئة، اليمن.

بسام، عبدالعزيز محمد، (2013). حصد وخزن مياه الأمطار والسيول في المملكة العربية السعودية وجهود معهد الأمير سلطان لأبحاث البيئة والمياه والصحراء، حلقة العمل القومية حول حصاد المياه والتغذية الجوفية الاصطناعية في الوطن العربي، المنظمة العربية للتنمية الزراعية، مسقط، سلطنة عمان.

داود، محمد عبدالحميد محمد، (2013). إعادة شحن الخزانات الجوفية اصطناعياً في المناطق الجافة، حلقة العمل القومية حول حصاد المياه والتغذية الجوفية الاصطناعية في الوطن العربي، المنظمة العربية للتنمية الزراعية، مسقط، سلطنة عمان.

عبدالعال، عاطف، (2017). التطبيقات العلمية لأنظمة الحصاد المائي، دورة تدريبية، مركز البحوث العلمية الزراعية السويداء.

عبدالله، عبدالحكيم محمد يوسف، (2010). القيمة الفعلية للأمطار في اليمن، مجلة الأندلس للعلوم الاجتماعية والتطبيقية، المجلد (3)، العدد (5).

نعمان، عبدالله عبدالقادر، (2013). تقنيات وطرق مناسبة لحصاد مياه الأمطار كاستراتيجية للتأقلم مع تقلبات هطول الأمطار في المناطق الجافة، حلقة العمل القومية حول حصاد المياه والتغذية الجوفية الاصطناعية في الوطن العربي، المنظمة العربية للتنمية الزراعية، مسقط، سلطنة عمان.

Strahlar, A.N. (1964): *Quantitative Geomorphology of Erosional Topography*, Bullentin of the Geological Society of America, 67: pp. 571-596.